



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

VANESSA VASCONCELOS BARBOSA

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AMBIENTE: Influência da  
variabilidade do clima na produção de leite do Agreste de Pernambuco, Brasil**

**RECIFE**

**2017**

Vanessa Vasconcelos Barbosa

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AMBIENTE: Influência da  
variabilidade do clima na produção de leite do Agreste de Pernambuco, Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do título de mestre.

Área de concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Werônica Meira de Souza – UAG/UFRPE (Orientadora)  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Josiclêda Dominicano Galvêncio – DCG/UFPE (Coorientadora)

**RECIFE**

**2017**

**Catálogo na fonte**  
**Bibliotecária Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262**

**B239c** **Barbosa, Vanessa Vasconcelos.**

**Cenários de mudanças climáticas e ambiente : influência da variabilidade do clima na produção de leite do Agreste de Pernambuco, Brasil / Vanessa Vasconcelos Barbosa. – 2017. 78 f. : il. ; 30 cm.**

Orientadora : Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Werônica Meira de Souza.

Coorientadora : Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Josiclêda Dominicano Galvício

**Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2017.**

**Inclui Referências.**

**1. Meio ambiente. 2. Gestão ambiental. 3. Leite – Produção. 4. Clima – Testes de impacto. 5. Precipitação (Meteorologia) – Variabilidade. I. Souza, Werônica Meira de (Orientadora). II. Galvício, Josiclêda Dominicano (Coorientadora). III. Título.**

**363.7 CDD (22. ed.)**

**UFPE (BCFCH2017-089)**

VANESSA VASCONCELOS BARBOSA

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AMBIENTE: Influência da  
variabilidade do clima na produção de leite no Agreste de Pernambuco, Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre.

Aprovada em: 03/03/2017.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Werônica Meira de Souza (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Josiclêda Domiciano Galvêncio (Co-orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. Cláudio Jorge Moura de Castilho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Valéria Sandra de Oliveira Costa (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Renata Maria Mendes de Oliveira Carvalho (Examinador Externo)  
Instituto Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, e ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA pela oportunidade de encontrar novas formas de contribuir com o avanço do conhecimento científico.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro prestado através da bolsa durante o ano final de curso.

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) por meio do projeto de pesquisa APQ-0762-1.07/15.

A professora e orientadora Werônica Meira de Souza, pela atenção, compreensão, apoio e dedicação durante todo o período de curso.

Ao Programa de Educação Tutorial – PET Geografia, e ao tutor Hernani Loebler Campos, que desde sempre apoiaram e incentivaram minha formação.

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por intermédio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do edital MCTI/CNPq/ANA n.23/2015.

Agradeço a meus pais, Maria do Carmo Vasconcelos e José Barbosa da Silva, pelo apoio incondicional, incentivo e amor que me dedicaram ao longo da vida, acompanhando cada conquista obtida.

As amigas Mariângela Badarau e Jessica Castro, pelo estímulo, torcida e auxílio durante todas as fases de minha vida acadêmica.

A Gliedson Alves da Silva, pelo companheirismo, incentivo, apoio incondicional e paciência durante todo o período de realização da pesquisa.

Aos amigos do CONDEPE-FIDEM, Andrezza, Núbia, Graça, Ascensão, Ângela e Henrique que contribuíram imensamente para meu ingresso no curso de mestrado.

Aos colegas de curso do PRODEMA, pela parceria e união ao longo do curso.

## RESUMO

A região Agreste do estado de Pernambuco possui na pecuária leiteira uma de suas principais bases econômicas, contribuindo com mais de 25% da produção estadual de leite. Considera-se a pecuária leiteira como um dos setores mais sensíveis às variações do clima e o importante papel dessa atividade na sustentabilidade das propriedades rurais de base familiar do Agreste. Com isso, o objetivo dessa pesquisa é analisar o impacto da variabilidade climática na produção de leite em escala temporal no Agreste pernambucano e os cenários futuros de mudanças climáticas. Foram obtidos dados de precipitação diária de 1960 a 2014 oriundos da APAC e de produção anual de leite por meio do IBGE. O aplicativo Climap 3.0 foi utilizado para analisar as tendências climáticas da precipitação pluviométrica, enquanto o Microsoft Office Excel e o Statistical Package for Social Science (SPSS) foram empregados para avaliar o impacto da variabilidade climática na produção de leite em escala temporal e determinar um modelo que represente estatisticamente essa influência. Os dados referentes aos cenários climáticos de precipitação e temperatura dos anos 2025 e 2055 no Agreste foram adquiridos junto ao CPTEC/INPE, para avaliar os possíveis impactos na produção de leite. As análises das tendências climáticas da precipitação pluviométrica indicaram a alta variabilidade do clima e a má distribuição das chuvas durante o ano, concentrando o período chuvoso nos primeiros trimestres. Os índices extremos climáticos sugerem tendências negativas das chuvas na região, enquanto o desvio padronizado não insinuou tendência. Verificou-se que a produção de leite concentra-se em sua maioria no Agreste Meridional. A partir dos modelos de regressão Cúbico e Quadrático, identificou-se que as chuvas contribuem com mais de 30% da produção leiteira. Os cenários climáticos para os anos de 2025 e 2055 indicaram tendência de diminuição das chuvas e aumento das temperaturas médias para todo o Agreste em 1° C e 2° C, respectivamente, exceto o Meridional no ano de 2025. Tais evidências impactam na produção leiteira através da redução das reservas de água disponíveis para o gado e necessárias ao cultivo da palma forrageira, além de oferecer risco considerável de aumento de estresse térmico nos animais, reduzindo sua produtividade e eficiência e acarretando perdas sociais e econômicas significativas, sobretudo para as famílias que sobrevivem da prática dessa atividade.

**Palavras-chave:** Precipitação pluviométrica. Semiárido. Tendência climática. Climap.

## ABSTRACT

The region Agreste of the state of Pernambuco has in dairy farming one of main economic bases, contributing more than 25% of the state milk production. It is considered dairy farming as one of the sectors most sensitive to climate variations, and the important role this activity on the sustainability of rural properties of the Agreste family base. Thus, the objective of this research is to analyze the impact of climate variability in milk production in time scale in Agreste and future climate change scenarios. Daily precipitation data were obtained from 1960 to 2014 from APAC and annual milk production through IBGE. The CLIMAP 3.0 application was used to analyze climate trends in rainfall, while Microsoft Office Excel and the Statistical Package for Social Science (SPSS) were used to assess the impact of climate variability in milk production in time scale and determine a model that statistically represent this influence. The data on the climatic scenarios of precipitation and temperature of years 2025 and 2055 in Agreste were acquired by the CPTEC/INPE. To assess the possible impact on milk production. The analysis of climate trends in rainfall indicated the high variability of climate and bad distribution of rainfall during the year concentrating the rainy season in the first and second quarters. Climate extreme indices suggest negative trends, while the standard deviation does not intimated trend. It was found that milk production is concentrated mostly in the South Agreste. From the cubic and quadratic regression models it was identified that rainfall contributes more than 30% of dairy production. Climate scenarios for the years 2025 and 2055 showed decreasing trend in rainfall and increase in average temperatures throughout the Agreste, in 1 ° C and 2 ° C, respectively, except the South in the year 2025. Such evidence has an impact on dairy production through reduction of water reserves available for livestock and necessary for the cultivation of forage palm, besides offering a considerable risk of increased thermal stress in the animals, reducing their productivity and efficiency and causing significant social and economic losses, especially for families who survive the practice of this activity.

**Keywords:** Rainfall. Semi-arid. Climate trend. Climap.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do Agreste pernambucano.....	30
Figura 2 - Localização dos postos pluviométricos do Agreste pernambucano.....	36
Figura 3 - Imagem da janela do software SPSS.....	39
Figura 4 - Médias históricas mensais e trimestrais da precipitação pluviométrica de São Bento do Una, Caruaru, Garanhuns, Bom Conselho, Pedra e Jucati.....	42
Figura 5 - Totais anuais da precipitação pluviométrica e DPP dos municípios de Bom Conselho, Caruaru, Garanhuns e Pedra.....	45
Figura 6 - Distribuição espacial das tendências dos índices extremos de precipitação.....	48
Figura 7 - Distribuição temporal da produção de leite nas regiões dos Agrestes Setentrional, Meridional e Central e a média regional de 1974 a 2014.....	52
Figura 8 - Distribuição temporal da precipitação pluviométrica nas regiões dos Agrestes Setentrional, Meridional e Central de Pernambuco e a média da região no período de 1974 a 2014.....	54
Figura 9 - Evolução temporal da precipitação pluviométrica e da produção de leite no Agreste no período de 1974 a 2014.....	55
Figura 10 - Registro fotográfico do cultivo de palma forrageira em propriedades rurais no Agreste.....	56
Figura 11 - Fotografia - Danos da praga <i>Cochonilha do Carmin</i> encontrada em palma forrageira no Agreste pernambucano durante a seca de 2012 (A) e rebanho morto em Itaíba, Agreste Meridional de Pernambuco (B).....	58
Figura 12 - Resposta dos modelos de correlação estatística às variáveis produção de leite e precipitação pluviométrica.....	62
Figura 13 - Cenários climáticos da precipitação anual pluviométrica para os anos de 2025 e 2055.....	64
Figura 14 - Cenários climáticos da temperatura média do ar para os anos de 2025 e 2055....	68

## LISTA DE SIGLAS

AOGCM	Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
AR4	Fourth Assessment Report
CGM	Modelos Globais Atmosféricos
CILPE	Companhia de Industrialização do Leite em Pernambuco
COLA	Ocean Land Atmosphere Studies
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Assuntos Climáticos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FCN	Fundo Constitucional do Nordeste
FNE	Fundo de Desenvolvimento do Nordeste
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
JC	Jornal do Comércio
MCGA	Modelo Atmosférico Global
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PRODEPE	Programa de Desenvolvimento de Pernambuco
PIB	Produto Interno Bruto
RD	Região de Desenvolvimento
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SERGEO	Grupo de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento
SINDILEITE-PE	Sindicato da Indústria de Laticínios de Pernambuco
SINPROLEITE-PE	Sindicato dos Produtores de Leite de Pernambuco
SPSS	Statistical Package for Social Science
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
ZCAS	Zona de Convergência da América do Sul
ZCIT	Zona de Convergência Inter Tropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	Objetivo geral.....	14
1.2	Objetivos específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1	Variabilidade climática da precipitação pluviométrica .....	15
2.2	Índices extremos climáticos .....	18
2.3	Impacto das mudanças climáticas no meio ambiente .....	19
2.4	Modelos climáticos globais e modelos regionais .....	23
2.5	A cadeia produtiva de leite na região semiárida e o contexto socioambiental.....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
3.1	Delimitação e caracterização da área de estudo .....	30
3.1.1	Localização .....	30
3.1.2	Aspectos socioeconômicos .....	31
3.1.3	Clima .....	32
3.1.4	Geologia e geomorfologia .....	33
3.1.5	Vegetação .....	34
3.1.6	Hidrografia .....	34
3.2	Obtenção e análise de dados .....	35
3.2.1	Precipitação .....	35
3.2.2	Produção de leite .....	36
3.3	Procedimentos metodológicos.....	37
3.3.1	Tendências climáticas da precipitação pluviométrica .....	37
3.3.2	Impactos da variabilidade climática na produção de leite.....	38
3.3.3	Modelo de regressão linear .....	38
3.3.4	Cenários climáticos .....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
4.1	Análise das tendências climáticas da precipitação pluviométrica .....	41
4.1.1	Médias históricas mensais e trimestrais .....	41
4.1.2	Tendências climáticas da precipitação pluviométrica a partir do desvio padronizado....	44
4.1.3	Tendências climáticas a partir dos índices extremos de precipitação .....	47
4.2	Impactos da variabilidade climática na produção do leite em escala temporal .....	50
4.2.1	Distribuição temporal da produção de leite.....	50

4.2.2	Distribuição temporal da precipitação pluviométrica.....	54
4.2.3	Influência da variabilidade na produção de leite .....	55
<b>4.3</b>	<b>Modelo de regressão .....</b>	<b>59</b>
4.3.1	Análise do modelo .....	59
4.3.2	Diagnóstico.....	62
<b>4.4</b>	<b>Cenários climáticos futuros .....</b>	<b>63</b>
4.4.1	Cenários climáticos da precipitação pluviométrica .....	63
4.4.2	Cenários climáticos da temperatura média do ar.....	67
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mudança do clima global se constitui como um dos desafios mais significativos da humanidade, estando associada ao aquecimento do planeta alterado pela concentração de gases estufa na atmosfera, ocasionado principalmente pela interferência humana. Apesar de incerto quanto à sua magnitude, tornou-se um fato aceito pela comunidade científica e uma preocupação de grande parte dos países desde o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas organizado em 2013. Por ser global, o problema une a todos em torno de si na busca por caminhos e soluções que permitam que a civilização continue a prosperar em sua trajetória futura.

Os impactos das mudanças climáticas já são visíveis em escala global, pois tem afetado a agricultura, os recursos hídricos, as zonas costeiras, a saúde humana e os animais. Além disso, surgem novas evidências de aumento dos desastres naturais associados à intensificação de fenômenos meteorológicos e climáticos extremos (SOUZA, 2011). Segundo o relatório do IPCC (2007), as regiões semiáridas e áridas são mais vulneráveis, sendo imprescindível um estudo mais detalhado das mudanças regionais e locais, pois só assim é possível mitigar os impactos associados às mudanças do clima.

De acordo com Marengo (2009), as projeções apresentadas nos Relatórios de Clima foram geradas usando modelos climáticos globais e regionais, e o fato de todos os modelos convergirem numa situação de clima mais quente e seco pode fazer com que se considerem essas projeções como tendo um grau de certeza elevado. Considerando um modelo em particular (o Modelo do Centro Climático Britânico - Hadley Centre) e o cenário pessimista, apresenta uma tendência de extensão da deficiência hídrica por praticamente todo o ano para o Nordeste do Brasil, isto é, tendência a “aridização” da região semiárida até final do século XXI.

Os cenários climáticos projetados para este século pelo quarto relatório do IPCC (Fourth Assessment Report – AR4) indicam que a temperatura média do planeta continuará subindo no mínimo mais 1,8°C e, no máximo, cerca de 4,0°C, com a melhor estimativa em torno de 3,0° C (IPCC, 2007a). Este aquecimento varia segundo o grau de emissão dos Gases Efeito Estufa (GEE).

A região Nordeste do Brasil e especialmente o Estado de Pernambuco está entre as regiões mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, devido às características de um clima semiárido de alta densidade populacional (MARENGO et al., 2009). Assim, para que os cenários de mudanças climáticas tenham uma aplicação prática em Pernambuco, há

que se detalhar a região, pois só assim os prováveis impactos podem ser detectados e previstos em escalas de tempo de algumas décadas no futuro.

No Agreste de Pernambuco, localizado na região semiárida, a economia tem na pecuária leiteira sua principal base, sendo conhecida como bacia leiteira do Estado, participando com mais de 25% na produção total de leite em Pernambuco. A cadeia produtiva do leite possui assim expressiva importância, configurando uma das atividades mais praticadas do semiárido e convivendo com condições proporcionadas por um regime climático desafiador.

Segundo Monteiro et al. (2007), em Pernambuco, cerca de 14 mil pequenos e médios produtores estão na atividade leiteira, concentrados principalmente na região Agreste. Nestas pequenas e médias propriedades, com características de agricultura familiar, geralmente essa atividade é a principal fonte de renda. “A falta de informação, assistência e investimentos na produção leiteira geram baixas produtividade e qualidade do produto Monteiro et al. (2007, p.667).” Nesse contexto, fenômenos relacionados às condições climáticas, a exemplo das secas, refletem impactos diretos na sustentabilidade dessas propriedades, ocasionando perdas sociais e ambientais algumas vezes irreversíveis.

Tendo em vista que essa atividade deve garantir a segurança alimentar, que segundo Bressan e Martins, (2004, p. 27), “se constitui num dos requerimentos atuais da sociedade a disponibilidade de alimentos seguros, saudáveis e nutritivos de todos os segmentos que constituem a cadeia produtiva do leite [...]”, a busca para garantir a equidade social na produção leiteira se inicia pelo conhecimento do comportamento climático para a criação de possibilidades de adaptação a tais condições, principalmente entre os produtores de base familiar, de forma a assegurar-lhes renda e qualidade de vida.

Conforme exposto pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco - CONDEPE/FIDEM (2016), entre as principais dificuldades encontradas pelos produtores de leite, podem se destacar as elevadas temperaturas da região e o conseqüente estresse calóricos dos rebanhos, bem como a busca de raças mais adaptadas ao ambiente de maior rusticidade, de altas temperaturas e ao déficit hídrico característico do regime de precipitação da região, a falta de aporte tecnológico adequado e a falta de capacitação dos produtores rurais para lidar com a gestão do negócio e o manejo operacional.

Segundo o SEBRAE (2013), existem em Pernambuco vários outros desafios para o desenvolvimento pleno da atividade leiteira local. Porém, o potencial de produção existente e o mercado de lácteos em plena expansão são fatores que, juntos, evidenciam as boas

oportunidades de negócios envolvendo a pecuária de leite, o que demonstra boas perspectivas para a realização de pesquisas nesse sentido.

Com a análise do impacto da variabilidade climática na produção de leite no Agreste pernambucano, o presente trabalho espera contribuir de forma significativa para reduzir as dificuldades relacionadas às adversidades climáticas, numa tentativa de proporcionar a criação de alternativas futuras que, considerando os cenários de mudanças climáticas regionais gerados, possibilitem a detecção das potencialidades e eliminação das barreiras ao desenvolvimento da cadeia produtiva do leite, aproveitando o potencial e dinamizando essa atividade no Estado.

Diante do exposto, é salutar mencionar a necessidade de estudos dessa natureza para o Estado de Pernambuco, sobretudo em razão da insuficiência de pesquisas e impactos das mudanças climáticas por parte das academias e órgãos governamentais, e ainda, a total ausência sobre efeitos desta na produção leiteira. A fim de evitar danos socioeconômicos e ambientais na região Agreste, é de fundamental importância gerar cenários futuros de mudanças climáticas e avaliar os impactos na produção de leite, visto que a pecuária leiteira tem um importante papel na economia do Estado, assim como na sustentabilidade das propriedades de base familiar, tanto no autoconsumo quanto na geração de renda.

## **1.1 Objetivo geral**

Analisar o impacto da variabilidade climática na produção de leite em escala temporal no Agreste pernambucano e os cenários futuros de mudanças climáticas.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Verificar as tendências climáticas da precipitação pluviométrica na região estudada a partir dos dados observados;
2. Avaliar a evolução temporal da precipitação pluviométrica e da produção de leite nas regiões do Agreste Meridional, Central e Setentrional de Pernambuco, e os impactos decorrentes da variabilidade climática;
3. Determinar um modelo que represente a influência da variabilidade da precipitação pluviométrica na produção leiteira do Agreste pernambucano;
4. Gerar cenários de mudanças climáticas regionais para os anos de 2025 e 2055 no Agreste pernambucano para as variáveis da precipitação pluviométrica e temperatura média do ar na região.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Na corrente seção, encontra-se a fundamentação teórica constituída pela literatura consultada durante toda a realização da pesquisa, relativa aos principais itens que compõem este estudo, explanando pausadamente cada ponto abordado, a saber: a variabilidade climática da precipitação pluviométrica, os índices extremos climáticos, os modelos climáticos globais e regionais, os impactos das mudanças climáticas no ambiente e o desenvolvimento da cadeia de produção de leite na região semiárida e o contexto socioambiental.

### 2.1 Variabilidade climática da precipitação pluviométrica

As condições climáticas de uma região são um dos principais componentes do quadro natural. O clima é comumente definido como o conjunto de fenômenos meteorológicos que se caracterizam em estado médio da atmosfera em uma dada localidade (ANDRADE, 2009). O clima da terra é determinado em grande parte pela circulação geral da atmosfera e dos oceanos. A circulação geral da atmosfera é resultante do aquecimento diferencial entre o equador e o polo, da rotação da terra e da distribuição assimétrica dos continentes e oceanos (NOBRE, 1994).

Sabe-se que as circulações oceânicas, de forma mais evidentemente do que as atmosféricas, são originadas em parte como resposta à atuação do vento na superfície e em parte devido aos gradientes horizontais da concentração de sais e da temperatura dos oceanos. Dessa forma, ambos funcionam interligados, redistribuindo calor e umidade sobre o globo e constituindo os regimes climáticos das diversas regiões do planeta.

É prudente diferenciar a variabilidade da mudança climática, que de acordo com o IPCC (2007), são mudanças temporais do clima devido aos condicionantes naturais do planeta e suas interações, referindo-se a flutuações no estado médio e outras estatísticas de elementos climáticos em todas as escalas espaciais e temporais, além das de eventos climáticos individuais. Enquanto as mudanças climáticas, por outro lado, são consideradas pelo IPCC como uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado, geralmente décadas ou mais.

As variações climáticas são atributos naturais e inerentes ao clima. Pinto et al. (2003) comenta que ao longo de sua história evolutiva a terra vivenciou períodos de superaquecimento e glaciações contínuas, resultantes das interrelações recorrentes de sua dinâmica interna e externa, que abrangem desde variantes no sistema solar, gerando efeitos

sobre a órbita da terra, até atividades vulcânicas e interações atmosféricas, numa escala temporal de milhares de anos. Como fenômeno recente, as mudanças climáticas globais consistem em alterações no clima em todo o mundo, constituído a partir da intervenção humana num processo de aceleração de uma dinâmica natural preexistente por meio de atividades que interferem no equilíbrio desse sistema.

As flutuações climáticas devem-se ao ténue equilíbrio entre a intensidade da radiação solar incidente e o efeito estufa, proporcionado principalmente pela quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera (TEIXEIRA et al. 2009). A variabilidade climática se expressa nas oscilações das condições meteorológicas, sendo determinada pela associação das escalas temporal e espacial dos elementos meteorológicos. A pluviosidade, que se refere à quantidade de água precipitada sobre a superfície da terra, se constitui como um dos principais elementos climáticos a serem considerados (CONDEPE/FIDEM, 2011), e com o acompanhamento da conduta do padrão de precipitação pluviométrica é possível determinar o comportamento e tendências de variação climática das regiões.

Sabendo-se que os efeitos das mudanças climáticas atingem de forma diferenciada cada localidade a partir de suas características físico-naturais e humanas, o monitoramento da variabilidade climática de cada região representa uma ação decisiva no combate aos efeitos da mudança climática global, uma vez que considera as particularidades de cada lugar, contribuindo no âmbito do planejamento e gestão do território na elaboração de políticas específicas adequadas a cada local.

Em Pernambuco as condições climáticas recebem influências de sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais (representados pelas massas de ar Equatorial Continental, Tépida Kaalariana, Ondas de Leste, Zona de Convergência Intertropical e Frente Polar Atlântica), onde os avanços e recuos desses sistemas ao longo do ano determinam o tempo atmosférico (ANDRADE, 2009), influenciando conseqüentemente a variabilidade do clima e os fenômenos meteorológicos recorrentes no Estado. Em localidades como o Agreste pernambucano, que apresenta configurações físico-naturais diferenciadas, fenômenos oriundos da variabilidade climática podem acarretar em problemáticas também diferenciadas, a exemplo de secas e chuvas intensas, resultando em impactos na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde e sobre o meio ambiente (SOUZA, 2011).

Um dos fatores mais expressivos para determinar a qualidade da estação chuvosa sobre o semiárido nordestino é a posição latitudinal da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT) sobre o Atlântico ocidental próximo à costa da América do Sul. Conforme Mitchell e Wallace (1992), uma vez que a ZCIT é parte da circulação geral da atmosfera, é de se esperar

que os fatores condicionantes da variabilidade interanual de sua posição latitudinal e intensidade estejam vinculados com a circulação atmosférica de escala planetária e das condições de contorno sobre o oceano, notadamente as temperaturas da superfície do mar. Andrade (2009) explica que se trata de um sistema atmosférico de baixa pressão, de caráter planetário, que é alinhado pelos fluxos dos alísios de sudeste-nordeste. A confluência dos alísios provoca movimentos ascendentes do ar com elevado teor de umidade.

Conforme Galvínio e Moura (2005), o problema comum de secas na região Nordeste do Brasil está mais relacionado com a distribuição irregular de chuvas do que propriamente com a falta das mesmas. Outros fatores, tais como a baixa capacidade de retenção de umidade no solo e altas taxas de evaporação e evapotranspiração contribuem para agravar o problema. O regime pluviométrico da região Agreste de Pernambuco é bastante irregular, sobretudo em relação à distribuição espacial das precipitações. O Agreste pernambucano está submetido aos seguintes regimes de chuvas: outono-inverno e verão-outono, segundo Andrade e Lins (1989, p.92):

As chuvas de outono-inverno, consideradas como de caráter frontológico, relacionam-se principalmente às interferências da Frente Polar Atlântica e das Ondas de Leste. A frente fria tem origem quando do encontro da Massa Polar Atlântica, ocorrendo nas proximidades do paralelo de 40° sul. Outro mecanismo atmosférico responsável pelos elevados índices pluviométricos de outono-inverno são as ondas de leste, que na verdade são ondulações que ocorrem no seio da massa de ar tépida Kaalariana. As chuvas de verão-outono, de características convectivas, são ocasionadas pela Convergência Intertropical e pela massa de ar Equatorial Continental.

Os geógrafos pernambucanos Andrade e Lins (1989), estudando as condições climáticas do Nordeste brasileiro, indicaram uma massa de ar tropical, seca, originada na parte oriental do Anticiclone do Atlântico Sul. Por passar parte do ano sobre o deserto do Kalaari, no sudoeste da África, denominaram-na Tépida Kalaariana. Segundo Andrade (2009), é uma massa de ar estável, advectiva, seca e de altas pressões. Ela é a responsável direta pela instalação, no Nordeste brasileiro, da enorme área semiárida. Assim, todo o semiárido pernambucano recebe sua influência.

O único sistema atmosférico extratropical que exerce influência no Estado é a Frente Polar Atlântica, resultante do choque entre uma massa de ar tropical e uma massa polar. Segundo Andrade (2009), essa frente avança em direção às áreas de baixas latitudes, atingindo Pernambuco já bastante modificada, influenciando a precipitação dos meses de

maio a agosto e acarretando consideráveis reduções de temperaturas nas áreas mais elevadas do Agreste.

## 2.2 Índices de Extremos Climáticos

Catástrofes relacionadas às instabilidades atmosféricas têm adquirido grande expressividade diante da comunidade científica, dos governos e da sociedade, considerando além dos efeitos propriamente ditos, as condições sociais que influenciam o modo como os efeitos dessas perturbações são sentidos pelas pessoas. Nesse âmbito, é importante ressaltar o que afirmam Calbete, Rozante e Lemos (1996), destacando que a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos das diversas regiões do Brasil. Tal importância deve-se às consequências que estas podem ocasionar quando ocorridas em excesso (precipitação intensa), para os setores produtivos econômico e social (agricultura, transporte, hidrologia, etc.), podendo provocar enchentes, assoreamento de rios, deslizamento de encostas, entre outros transtornos.

Ponderando que a precipitação pluviométrica pode estar associada a fenômenos extremos de diversas naturezas, dependendo do padrão, intensidade e frequência do regime pluvial, Souza (2011) afirma que as chuvas, consideradas um fenômeno natural, associadas com o padrão de ocupação urbana irregular têm provocado danos e prejuízos, os quais geram dimensões ambientais, materiais e humanas, alguns identificáveis e passíveis de avaliação, enquanto outros subjetivos e incalculáveis. É prudente considerar que a mudança climática global pode ser intensificada localmente pelas mudanças regionais (SOUZA, AZEVEDO, 2009).

Considerando que a evolução do comportamento atmosférico não segue uma sequência linear, ou seja, apresenta flutuações com o passar dos meses e anos, expressando-se em curto, médio e longo prazo, pode-se nesse ínterim originar eventos meteorológicos influenciados por índices extremos de precipitação pluviométrica, e conseqüentemente diversos transtornos em áreas de ocupação humana, que em geral não possui estrutura para enfrentar este tipo de evento. Segundo Souza (2011, p.9):

Chuvas intensas e/ou duradouras podem causar inundações, escorregamentos e alagamentos temporários com incidentes de pequena proporção, promover um colapso de serviços de infraestrutura ou, até mesmo, causar perdas de vidas humanas, devido a acidentes ou propagação de doenças de veiculação hídrica. Além dos danos à saúde humana, existem os danos à saúde psicológica da população, devido ao “stress” causado pelas situações enfrentadas nos momentos das enchentes.

Comenta Confalonieri por sua vez (2003, p. 194), que “[...] como índice extremo climático, a seca tem efeitos diretos na saúde insidiosos e indiretos, por perda da produção agrícola e conseqüentemente impacto nutricional, queda nos padrões de higiene pessoal, entre outros.” A esse respeito, Ayoade (1996, p. 277) afirma que “a produção agrícola sofre perdas periódicas provocadas por pestes e doenças, que são dependentes do clima.” Nesse contexto, as perdas socioambientais advindas da ocorrência de índices extremos climáticos na região Agreste podem ser consideradas inicialmente a partir dos efeitos que se expressem na redução de recursos alimentícios da população e conseqüentemente da segurança alimentar, na redução do alimento para o gado e suas implicações na produção de leite e na economia das propriedades rurais.

Para minimizar os efeitos destrutivos associados aos extremos de precipitação, além da compreensão da vulnerabilidade específica para o semiárido pernambucano, é necessária a investigação da variabilidade climática responsável pelas oscilações naturais da precipitação e do clima a nível local e regional, percebendo comportamento climático da área de estudo com todos os seus condicionantes e variantes, além de mensurar os efeitos de eventos em mesoescala.

Sabendo que, conforme Ayoade (1996, p.288) “a vulnerabilidade é a medida pela qual uma sociedade é suscetível a sofrer por causas climáticas”, e ponderando que dentre várias questões, pode-se estimar que uma sociedade seja mais vulnerável à medida que suas atividades econômicas dependam de fatores relacionados ao clima, quanto menos preparada esteja a população para lidar com impactos adversos climáticos ou quanto menos desenvolvido seja seu sistema de transporte para deslocar suprimentos de áreas de excedentes para áreas de déficit, o Agreste pernambucano consiste numa área de evidente vulnerabilidade devido à relação entre os fatores de produção e os fatores climáticos, baixa infraestrutura viária e quase nula preparação da população para lidar com situações climáticas extremas.

### **2.3 Impactos das mudanças climáticas no ambiente**

As mudanças climáticas, conforme Barry e Chorley (2013) são consideradas uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado, geralmente de décadas ou mais. Estas podem ser decorrentes de processos internos naturais, forçantes externas naturais ou mudanças antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso da terra.

Apontado comumente como principal acelerador da mudança climática global, Teixeira et al. (2009) afirmam que o efeito estufa natural se configura quando o planeta recebe radiação solar em ondas curtas e reemite essa radiação em comprimento de ondas mais longas. Parte da radiação é refletida de volta para o espaço e outra ainda é absorvida pela superfície dos continentes e oceanos. Conforme explica o IPCC (2007), aproximadamente metade da radiação solar é absorvida pela superfície. Esta energia é transferida para a atmosfera pelo aquecimento do ar em contato com a superfície, por evapotranspiração e por irradiação de ondas eletromagnéticas longas. Ainda Teixeira et al. (2009) comentam que o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> ocorre primeiramente por queima de combustíveis fósseis e por mudanças no uso da terra.

De acordo com o IPCC (2007), as mudanças na quantidade de gases de efeito estufa e aerossóis da atmosfera, na radiação solar e nas propriedades da superfície terrestre alteram o equilíbrio energético do sistema climático. Em escalas continental, regional e da bacia oceânica, observam-se também mudanças generalizadas na quantidade de precipitação, salinidade do oceano, padrões de vento e aspectos de eventos climáticos extremos, como secas, precipitação extrema, ondas de calor e intensidade dos ciclones tropicais (IPCC, 2007).

Embora estejamos numa fase ainda inicial das projeções de tendências do aquecimento global, as respostas ecológicas às alterações climáticas recentes já são claramente visíveis (WALTHER et al., 2002), o que trará implicações diretas à existência humana na terra. Os sistemas humanos que são sensíveis à mudança climática incluem principalmente os recursos hídricos, agricultura, silvicultura, zonas costeiras e sistemas marinhos, assentamentos humanos, energia, indústrias e a saúde humana. A vulnerabilidade destes varia de acordo com a localização geográfica, o tempo, as condições socioeconômicas e ambientais (IPCC, 2001).

Com o aquecimento global, espera-se, para um futuro próximo, um cenário de clima mais extremo com secas, inundações e ondas de calor mais frequentes (MARENGO et al., 2007). A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e, conseqüentemente, há maior demanda hídrica. Segundo Thomas et al. (2004), com a elevação das temperaturas, 18 espécies estarão ameaçadas de extinção até o ano 2050, considerando-se o cenário mais otimista. Segundo Teixeira (2009, p.124):

Nos oceanos, observações diretas desde o ano de 1961 mostram que a temperatura global média vem crescendo em profundidades de até 3000 metros. Onze dos doze anos de 1995 a 2006 estão entre os onze doze anos mais quentes desde 1850. As temperaturas médias do hemisfério Norte durante a segunda metade do século XX

foram provavelmente as mais altas dos últimos 1300 anos. Entre 1961 e 2003, o nível do mar subiu em média 1,8mm ao ano, o que se acentuou no período de 1993 a 2003 com uma média de 3,1mm/ano. Com isso, a subida do nível do mar ao longo do século XX foi de 0,17 metros. Levando em consideração as informações paleoclimáticas disponíveis, a exemplo de dados de testemunhos de gelo, a última vez em que as regiões polares estiveram mais quentes do que atualmente foi a 125 mil anos, quando as temperaturas médias eram de 3 a 5 °C maiores e o derretimento do gelo polar levou a um aumento do nível do mar de 4 a 6 m.

A probabilidade de ocorrência de seca sobre o Nordeste, com base no registro histórico de ocorrência de secas sobre a região durante os últimos 400 anos é aproximadamente 20% (MAGALHÃES, REBOUÇAS, 1988). A maior parte do conhecimento atual sobre mudanças climáticas provém dos resultados de experimentos com modelos de circulação geral na atmosfera, que simulam numericamente o comportamento do sistema climático da terra. Podem-se utilizar dois métodos para gerar cenários de mudança climática: reconstrução a partir de registros paleoclimáticos através do uso de registros históricos e por simulação numérica usando modelos de circulação geral da atmosfera. (LAMB, 1987).

Magalhães (1992, p.47), referindo-se a um cenário climático para os 25 anos futuros (23 anos atrás) buscando em seu trabalho compreender as implicações do aquecimento global no Nordeste do Brasil, afirmou:

A variabilidade climática aumentará. As secas serão mais frequentes. A evaporação mais intensa pode causar chuvas mais fortes por pequenos períodos de tempo. As temperaturas máximas podem se tornar maiores. A temperatura do verão no semiárido pode tornar-se quase insuportável.

No contexto de estudos que envolvem vários países, relativo às consequências do aquecimento global, Magalhães (1992) produziu um cenário extremamente preocupante para o Nordeste e os domínios do semiárido em especial, baseado nas tendências detectadas em 1992 e no conhecimento de seus possíveis desvios, alertando para o risco de profundas tensões sociais e ambientais até o final do século XXI. Nessa previsão, entre outros fatores destacam-se:

A atividade agrícola será pesadamente afetada pelas mudanças climáticas, especialmente a produção de alimentos no Semiárido; os recursos de água no Nordeste podem ser severamente afetados. Secas extremas e secas com dois anos ou mais de duração se tornarão mais frequentes e poderão causar o esgotamento das reservas de água, o que pode vir a ser calamitoso para a oferta de água para o uso humano, nas áreas urbanas e rurais, assim como para o gado e a irrigação. Além disso, secas frequentes nas regiões do Sertão do São Francisco podem causar severa

restrição à produção de energia e à irrigação; A cobertura vegetal sofrerá com a escassez de água, embora a caatinga seja adaptada ao clima semiárido, um aumento na frequência e na severidade das secas pode causar desequilíbrios que, juntamente com o uso intensivo da terra e a ocupação de terras mais marginais, são ambientalmente destruidores. (MAGALHÃES, 1992, p.49).

No que diz respeito às vulnerabilidades aos fenômenos climáticos, a região Agreste apresenta grande tensão antrópica sobre os recursos naturais, especialmente os recursos florestais. No desenvolvimento dessa atividade a ação do homem se processa com intensidade, resultando em áreas degradadas pelo consumo da lenha, segundo o Plano Estadual de Mudanças Climáticas (2011).

Há de se ponderar que a relação entre o desenvolvimento econômico e mudanças no espaço físico dessa região, bem como as expressivas alterações observadas no quadro ambiental, e sabendo-se ainda que a variabilidade climática exerça uma influência bastante significativa sobre as atividades humanas, sendo evidenciadas em cenários climáticos passados as tendências à aridização das regiões semiáridas, o monitoramento de tendências de mudanças climáticas atuais da região Agreste de Pernambuco se torna imprescindível para mitigar ações de possíveis desastres naturais associados a estes fenômenos, evitando perdas socioambientais e econômicas.

No que se refere mais especificamente à produção de leite, o efeito das condições climáticas sobre o desempenho de vacas leiteiras é marcante, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, razão pela qual o conhecimento das relações funcionais entre o animal e o meio ambiente, permite-se adotar procedimentos que elevam a eficiência da exploração leiteira (DAMASCEN; TARGA, 1997).

Conforme comentado por Silva et al. (2010), deve-se considerar que pecuária leiteira pode ser afetada direta e indiretamente pelas mudanças climáticas. Os fatores indiretos estão associados à redução da disponibilidade e ao aumento dos preços de grãos; às alterações na distribuição de pragas e doenças e à diminuição da produção e qualidade de plantas forrageiras (SIROHI; MICHAELWA, 2007). De maneira mais direta, as mudanças no clima podem intensificar o estresse térmico em decorrência de alterações no balanço de energia térmica entre o animal e o ambiente, o qual é influenciado pelos fatores ambientais (radiação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento) e mecanismos de termorregulação (condução, radiação, convecção e evaporação) (SIROHI; MICHAELWA, 2007).

Assim, quaisquer alterações nesses fatores podem modificar a zona de termoneutralidade e provocar desconforto para o animal. Sob condições de estresse térmico,

várias alterações metabólicas e comportamentais podem ser induzidas em vacas leiteiras, com destaque para o aumento da temperatura corporal e da frequência respiratória, tal como mudanças no balanço químico corporal dos animais (SRIKANDA KUMA; JOHNSON, 2004). Adicionalmente, podem ser observadas reduções no consumo alimentar, na reprodução, na gestação, na lactação e, conseqüentemente, na eficiência produtiva (SILVA et. al, 2010).

Há de se considerar que, conforme expressa Prata (1998), a indústria leiteira mundial atravessa um período de intensas transformações em sua estrutura, e podem-se identificar como principais tendências a diferenciação do pagamento ao produtor e o aumento nas exigências de qualidade do leite por parte das indústrias, assim como maior preocupação dos consumidores com relação à segurança alimentar. Nesse âmbito, ponderando que as propriedades rurais de base familiar formam o maior contingente de pessoas ocupadas com a atividade leiteira no país, embora sejam responsáveis por pequena parcela da oferta global, se expressa a necessidade de fornecer-lhes condições seguras de produção, a fim de garantir renda e qualidade de vida (BRESSAN E MARTINS, 2004).

Nesse contexto, além dos efeitos diretamente ligados à produção, devem ser avaliadas as implicações das mudanças climáticas na vida do pequeno produtor, tanto no âmbito do trabalho, no desenvolvimento da atividade que garantirá sua sobrevivência, visto que o aporte tecnológico e a capacidade de adaptação são limitados, quanto no seu bem estar, disponibilidade de alimentos e situação de vulnerabilidade.

## **2.4 Modelos Climáticos Globais e Regionais**

O processo de modelagem das condições climáticas atuais e futuras se desenvolveu a partir de um entendimento mais aprofundado do comportamento complexo da atmosfera e dos processos climáticos, onde a contribuição dos modelos numéricos do clima e do tempo representam papéis expressivos à medida que descrevem processos físicos por meio de relações matemáticas. O aporte dos modelos climáticos globais e regionais se dá principalmente no âmbito da geração de cenários climáticos futuros e na previsão de tendências a possíveis mudanças climáticas, apresentando estes modelos diferenciações a partir da escala adotada para a realização da previsão, sendo de mesoescala ou escala sinótica.

Segundo Marengo (2006), os modelos do clima são ferramentas adotadas comumente para obter e avaliar projeções climáticas passadas e futuras, sendo Modelos Globais Atmosféricos (CGMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs), que

conforme Barry e Chorley (2013) funcionam integrando processos dinâmicos e termodinâmicos e trocas de radiação e massa utilizando conjuntos de equações como as tridimensionais do movimento, as da continuidade, da conservação de energia, de estado para a atmosfera e de conservação para outros constituintes atmosféricos. Esse autor ainda comenta que o único modelo de circulação geral da atmosfera global com resultados publicados com desenvolvimentos na América do Sul é o Modelo Atmosférico Global (MCGA) do Centro de Previsão e Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

Os modelos climáticos globais, que segundo Tomé (2004) possuem resolução acima de 200 km, procuram identificar o comportamento global da atmosfera sobre uma área extensa, sendo adequados para identificar fenômenos meteorológicos apenas de grandes escalas onde a influência de elementos localizados são suavizados para que se demonstre o estado médio de toda a célula da área abordada, perdendo-se detalhes localizados. Essa dinâmica de funcionamento pode ser exemplificada através de estudos realizados por Paulo Nobre (2014), que indicam no modelo MCGA do CPTEC/INPE a consideração de elementos essenciais como a variação sazonal da precipitação, pressão ao nível do mar, ventos em altos e baixos níveis e a estrutura vertical dos ventos e temperatura, que apesar de serem bem simulados, em virtude da escala utilizada apresenta erros sistemáticos como a subestimação da precipitação em diversas áreas, sobretudo as influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da América do Sul (ZCAS).

A versão inicial desse modelo, Ocean-Land-AtmosphereStudies (COLA) foi desenvolvida em 1994 pelo CPTEC, e segundo Cavalcanti et al. (2002) ele se diferencia do MCGA principalmente pelo tipo de truncagem utilizada, que no COLA consistia em romboidal, que posteriormente foi alterado para triangular no MCGA, que em alta resolução tem um desempenho superior. Conforme Nobre (2014), os desacertos gerados pelos modelos globais podem ser minimizados por meio da implementação de um esquema de parametrizações, como a redução de ondas curtas que chegam à superfície ou a inclusão de ondas curtas e longas, aproximando os fluxos de radiação simulados aos observados e por sua vez apresentando impactos na precipitação.

Os modelos climáticos regionais, por sua vez, evidenciam mais detalhes sobre a distribuição e a amplitude nas variações de precipitação e temperatura na América do Sul e no Brasil, uma vez que com o aumento da escala de abrangência os processos físicos e os mecanismos climáticos são representados e verificados com uma melhor resolução.

Segundo Barry e Chorley (2013, p.211):

O modelo climático regional típico tem grade de aproximadamente 50 km de lado, proporcionando uma situação climática com maior resolução para uma área limitada. Desse modo, efeitos de pequena escala, como a topografia local, os corpos d'água ou as circulações de importância regional, podem ser representados em uma simulação climática. Todavia, esses efeitos locais não costumam ser retransmitidos para o modelo maior atualmente. Além disso, os modelos regionais tem um tratamento mais realista dos processos de pequena escala, que podem levar a simulações mais precisas.

Dessa forma, adequando à precisão de previsibilidade climática da região Agreste de Pernambuco adota-se o modelo regional de previsão numérica do tempo (Eta), oriundo de um trabalho em conjunto da Universidade de Belgrado com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, atualmente utilizado pelo CPTEC/INPE, que segundo Chou (1996), proporciona uma previsão mais detalhada tratando-se de fenômenos associados a frentes, orografia, brisa marítima, tempestades severas e sistemas organizados em mesoescala.

O modelo regional Eta utiliza um esquema de diferenças finitas que tem como variáveis prognósticas a temperatura do ar, umidade específica, componente zonal e meridional do vento, pressão à superfície, energia cinética turbulenta e hidrometeoros da nuvem. Essas variáveis são distribuídas horizontalmente na grade E de Arakawa (LAMB, 1987). De acordo com França (2008), a peculiaridade do modelo é a utilização da coordenada vertical especializada Eta ( $\eta$ ), que dá origem ao nome do modelo, utilizada para lidar com as mudanças súbitas na topografia que um modelo de alta resolução encontra. Segundo Barry e Chorley (2013), o modelo regional Eta, como todo os modelos meteorológicos operacionais, está em um ciclo contínuo de aperfeiçoamento e redesenho, e atualmente possui uma malha com espaçamento de 12 km e 60 camadas verticais.

Vale salientar que todos os modelos apresentam limitações no que concerne à insuficiência de dados que possam subsidiar as análises, bem como as parametrizações, que segundo Barry e Chorley (2013) são criadas para levar em consideração o efeito médio de processos envolvendo nuvens ou vegetação sobre uma célula inteira da malha utilizando-se de relações estatísticas entre os valores de grande escala. Em termos de exatidão quantitativa não existem previsões isentas de erros, o que evidencia a necessidade da minuciosa atenção no tratamento dos dados e a incorporação de tantas variáveis quanto forem possíveis para uma representação aproximada da realidade, uma vez que pequenas falhas causadas por restrições na observação podem ter um efeito considerável na correção da análise.

## 2.5 A cadeia produtiva de leite na região semiárida e o contexto socioambiental

Embora a maior parte da produção de leite no Brasil concentre-se nas regiões Sudeste e Sul, representando 68,2% da produção nacional, enquanto a região Nordeste 10,9% (IBGE, 2003) foi no Nordeste brasileiro, mais especificamente na Zona da Mata, que se iniciou a exploração de gado bovino no Brasil. “Até meados do século XIX, estes animais introduzidos durante a colonização eram basicamente explorados para produção de carne e trabalho” (SEBRAE, 2013, p.9). Somente após esse período é que a comercialização do leite passou a ter alguma importância na alimentação da população nordestina.

Em uma linha do tempo, Correia (2012) caracterizou o desenvolvimento da pecuária pernambucana em sete períodos, que demonstram desde o pré-desenvolvimento, interiorização, expansão, inserção de tecnologias de produção, criação de políticas intervencionistas, até a crise da Companhia de Industrialização de Leite de Pernambuco (Cilpe) e as incertezas de reconstrução do setor.

Correia (2012) expressa que na análise dos últimos 227 anos da história de produção do leite em Pernambuco, período entre 1779 e 2006, há um processo de crescimento na escala produtiva, da ordem de 5.332%, o que parece caracterizar uma atividade econômica que se estabeleceu na região, porém, como atividade básica para a subsistência do pequeno produtor. A respeito do desenvolvimento da cadeia produtiva do leite, Correia (2012, p.49) comenta:

“[...] forma-se pela reunião de vários segmentos em uma economia, que vai da geração de empregos, impostos e riquezas, além do seu papel social em manter a viabilidade do modo de vida dos pequenos produtores, situados em pequenas fazendas, principalmente em regiões de pouco desenvolvimento econômico.”

A cadeia produtiva do leite possui grande expressividade socioeconômica para o Nordeste brasileiro, sendo uma das atividades mais presentes na região semiárida. Conforme Monteiro (2007), em Pernambuco, cerca de 14 mil pequenos e médios produtores estão na atividade leiteira, concentrados principalmente na região Agreste, e geram uma produção diária de 980 mil litros. Porém, o baixo nível tecnológico aplicado na exploração leiteira e a falta de gestão mais profissionalizada nas propriedades conferem ao segmento produtivo indicadores técnicos aquém das suas reais potencialidades (SEBRAE, 2013). Ponderando sobre as restrições ao desenvolvimento da cadeia produtiva do leite no Brasil, que se dão de forma muito evidente nos segmentos tecnológico e institucional, são por sua vez as restrições

socioeconômicas que possuem maior expressividade no Agreste pernambucano. Comentam Bressan e Martins (2004, p.28):

“As principais restrições socioeconômicas dizem respeito à necessidade de estudos que identifiquem e mensurem, por categoria de produtor, os impactos de políticas do governo e da iniciativa privada, de estímulo à produção e à produtividade; identificação de custos e benefícios da melhoria da qualidade do leite na fazenda, para o segmento da produção; estudos regionalizados de custos da atividade leiteira; estudos sobre a viabilidade técnica e socioeconômica da produção orgânica de leite e identificação de fatores relacionados com a baixa eficiência gerencial dos agentes produtivos e formas de superá-la.

Uma característica marcante dessa atividade é a existência de pequenas e médias propriedades com características de agricultura familiar, onde comumente essa atividade é basilar na geração de renda, muitas vezes fazendo parte de um contexto histórico de tradição transmitida através das gerações. Nesse ínterim, “(...) a falta de informação, assistência e investimentos na produção leiteira geram baixas produtividade e qualidade do produto (MONTEIRO, 2007, p. 667).”

Sabendo-se do importante papel que a atividade leiteira desempenha na sustentabilidade das propriedades rurais de base familiar na região Agreste de Pernambuco, uma vez que mesmo não sendo responsáveis por parte substancial da produção global, insere boa parte da população num contexto de geração de renda, é importante que se busque equidade social no desenvolvimento dessa atividade, proporcionando condições seguras de produção de leite nas variadas escalas de produção.

Dentre as alternativas mais adotadas como suporte para resistir a períodos de estiagem característicos do regime climático do Agreste está o cultivo da palma forrageira, espécie vegetal de alta produtividade, adaptadas ao estresse hídrico decorrente dos baixos índices pluviométricos. Sua utilização se dá principalmente como fonte de alimentos para rebanhos bovinos, ovinos e caprinos, e mais recentemente tem sido incluído na alimentação humana.

O êxito no cultivo da palma, no entanto, tem sido comprometido em virtude da infestação dos palmais pela cochonilha do carmim, pertencente ao gênero *Dactylopius* e considerada praga mais danosa à cultura, que atua debilitando as plantas até a morte. Considerando o cultivo da palma como importante ferramenta na sustentabilidade da pecuária regional, é importante frisar, conforme Almeida et al. (2011), que o desenvolvimento dessa praga causa sério risco para a economia local, afetando a reserva de alimento do rebanho no

período seco, e também sua utilização como moeda de troca nas épocas de estiagem, onde o seu preço duplica ou até mesmo triplica.

Cabe salientar os reais desafios impostos pelas condições climáticas da região semiárida e suas influências na produção do leite, conforme informações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2008), que indica a pecuária leiteira como um dos setores mais sensíveis às variações do clima, corroborada por Pires, Teodoro e Campos (2000), quando comentam que nesta região as altas temperaturas do ar, associadas com intensa radiação solar, impõe carga adicional de calor nos animais a pasto, ocasionando estresse calórico e queda na produção.

Segundo Pires (2006), o estresse térmico é o conjunto das alterações que ocorrem no organismo animal na tentativa de reagir às condições ambientais como: altas temperaturas, alta umidade do ar e excesso de radiação solar. Os fatores ambientais são um dos principais problemas que interferem na produção de leite, sobretudo em vacas de alta produção que necessitam de maior ingestão de alimentos e conseqüentemente maior produção de calor metabólico conforme Pegorer (2006).

Rossarola (2007) expõe que mesmo com clima adverso à produção animal, em boas condições de conforto térmico, a bovinocultura leiteira é uma atividade de grande relevância para a economia das regiões de clima semiárido, gerando emprego e renda para as populações do campo e conseqüente suprimento das necessidades alimentares de leite e seus subprodutos, tanto para a população rural como a urbana.

A partir das condições naturais encontradas no ambiente semiárido, é possível pressupor a necessidade de adaptação, sobretudo ao clima, para o desenvolvimento de variadas atividades. Na prática da pecuária leiteira essa adaptação dar-se-á em diversos níveis, dependendo do contexto. É necessário mencionar as diferentes condições de adaptação em que se encontram o pequeno produtor e os grandes empreendimentos, uma vez que este primeiro se apresenta muito mais vulnerável às adversidades climáticas, bem como frisar que estes dois agentes possuem diferenciado poder de intervenção socioambiental.

No Agreste pernambucano, os diferentes níveis de intervenção socioambiental no desenvolvimento da cadeia produtiva de leite podem ser exemplificados através da instalação de um complexo industrial para processamento de laticínios no município de Bom Conselho, RD Agreste Meridional de Pernambuco, que por sua dimensão acarretou na construção de vários equipamentos e a fusão de vários empreendimentos que alteraram significativamente a configuração do ambiente e seu entorno. A CONDEPE/FIDEM, (2016, p.12) expõe:

“Com a constituição da BR Foods, a partir da fusão entre a Sadia e a Perdigão-Batavo, em 2009, houve uma concentração da planta industrial de Bom Conselho no processamento de laticínios. Desse modo, dos investimentos previstos inicialmente foram implantados, além da unidade lácteos, o Centro de Distribuição (CD) e a barragem de acumulação de água para o abastecimento da unidade industrial. Em 2014, a BR Foods transferiu várias plantas industriais de seu segmento de lácteos para a Parmalat S/A, dentre as quais a planta do recém construído parque industrial localizado em Bom Conselho.”

A possibilidade de grandes investimentos nesse setor pode implicar em maior probabilidade de ajustamento frente a fatores naturais, sobretudo climáticos, bem como uma adequação às questões de segurança alimentar. No entanto, é preciso que tais iniciativas alcancem os pequenos produtores, de forma a garantir efetivamente equidade social no desenvolvimento da cadeia produtiva de leite em suas diferentes escalas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

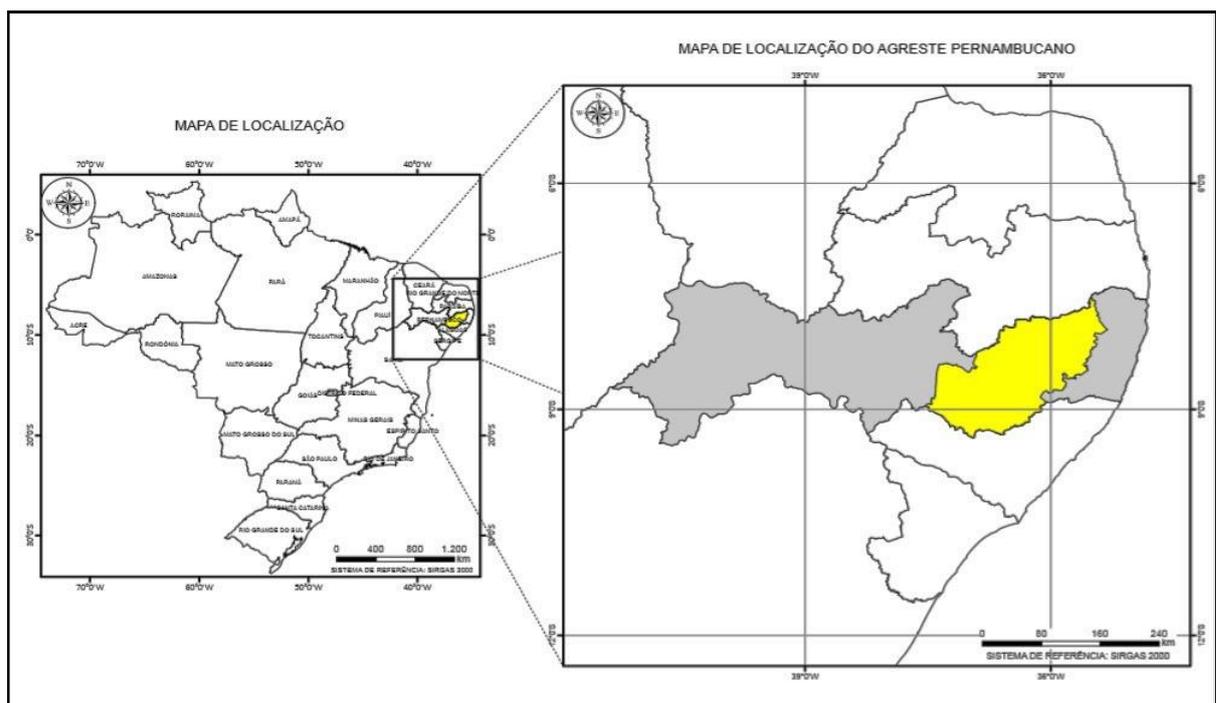
Este item apresentará a delimitação e caracterização da área de estudo, com todas as informações pertinentes à corrente análise, tais como localização, aspectos socioeconômicos, clima, geologia e geomorfologia, vegetação e hidrografia. Posteriormente, são expostos os dados que subsidiaram o diagnóstico da pesquisa, seguido dos procedimentos de realização da mesma, com uma descrição detalhada das metodologias utilizadas.

#### 3.1 Delimitação e caracterização da área de estudo

##### 3.1.1 Localização

A região Agreste de Pernambuco é subdividida em três Regiões de Desenvolvimento (RD's): Agreste Central, Agreste Meridional e Agreste Setentrional, de acordo com a sanção da lei nº 11.725, de 23 de dezembro de 1999 que dispôs sobre o Plano Plurianual do Estado para o quadriênio 2000-2003, sendo compostas por 26, 26 e 19 municípios, respectivamente, apresentando um total de 71 municípios, conforme demonstramo mapa de localização exposto na Figura 1 e o quadro na Figura 2.

Figura 1 – Mapa de localização do Agreste pernambucano



Fonte: ITEP – Modificado pela autora (2015).

Com uma extensão de 23.982,8 km<sup>2</sup>, o Agreste pernambucano limita-se ao Norte com o Estado da Paraíba, ao Sul com o Estado de Alagoas, a Leste com a região da Mata pernambucana, e a Oeste com o Sertão, de acordo com a Figura 1.

Quadro 1 – Municípios componentes das Regiões de Desenvolvimento Agreste Meridional, Central e Setentrional de Pernambuco.

REGIÃO DE DESENVOLVIMENTO	MUNICÍPIOS E DISTRITO ESTADUAL
AGRESTE CENTRAL	Agrestina, Alagoinha, Altinho, Barra de Guabiraba, Belo Jardim, Bezerros, Bonito, Brejo da Madre de Deus, Cachoeirinha, Camocim de São Félix, Caruaru, Cupira, Gravatá, Ibirajuba, Jataúba, Lagoa dos Gatos, Panelas, Pesqueira, Poção, Riacho das Almas, Sairé, Sanharó, São Bento do Una, São Caitano, São Joaquim do Monte e Tacaimbó.
AGRESTE MERIDIONAL	Águas Belas, Angelim, Bom Conselho, Brejão, Buíque, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Iati, Itaíba, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa do Ouro, Lajedo, Palmeirinha, Paratama, Pedra, Saloá, São João, Terezinha, Tupanatinga e venturosa.
AGRESTE SETENTRIONAL	Bom Jardim, Casinhas, Cumaru, Feira Nova, Frei Miguelino, João Alfredo, Limoeiro, Machados, Orobó, Passira, Salgadinho, Santa Cruz do Capibaribe, Santa Maria do Cambucá, São Vicente Férrer, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama, Vertente do Lério e Vertentes.

Fonte: Agência CONDEPE/FIDEM (2011).

### 3.1.2 Aspectos Socioeconômicos

A população total residente do Agreste Setentrional foi registrada com 526.905 habitantes de acordo com o censo demográfico do IBGE (2010), que distribuídos em 3.538,33 km<sup>2</sup> corresponde a uma densidade demográfica de 149 hab./km<sup>2</sup>. No que se refere à taxa de alfabetização, ainda de acordo com informações do IBGE (2010), o Agreste Setentrional apresentou percentuais de 74,13%. Os municípios com maior representação no Produto Interno Bruto (PIB) da região são Santa Cruz do Capibaribe, Limoeiro, Surubim, Bom Jardim e Toritama. Entre as atividades de maior expressividade no PIB estadual destacam-se a

horticultura, leite, bovinos, banana, aves, feijão, café, construção civil, distribuição de energia elétrica, administração pública, aluguéis, serviços prestados às empresas, comércio e confecções (CONDEPE/FIDEM, 2011).

No Agreste Central, o censo demográfico do IBGE (2010) registrou 1.048.968 habitantes, que distribuídos em 10.100,52 km<sup>2</sup> indica uma densidade demográfica igual a 104 hab./km<sup>2</sup>. Ainda segundo dados do censo, a taxa de alfabetização é igual a 74,71%. Os municípios com maior representação na economia na região são Caruaru, Belo Jardim, Gravatá, Pesqueira e Bezerros, enquanto as atividades que mais contribuem com o PIB da RD são a horticultura, leite, avicultura, bovinocultura, tomate, indústria de transformação construção civil, administração pública, hipermercados, varejo de combustíveis e serviços prestados às empresas (ANDRADE, 2009; CONDEPE/FIDEM, 2011). Vale salientar a expressividade de Caruaru, cidade polo classificada como capital regional, situada estrategicamente no entroncamento das rodovias BR-232 de BR-104, área onde se desenvolve o polo têxtil e de confecções, com relevante contribuição para o desenvolvimento econômico da RD e do Estado.

No Agreste Meridional de Pernambuco, de acordo com o IBGE (2010) a população é de 641.727 habitantes em uma área de 10.841,18 km<sup>2</sup>, o que configura uma densidade demográfica de 59 hab./km<sup>2</sup>. Quanto à taxa de alfabetização, o percentual expresso é de 68,41%. De acordo com informações da CONDEPE/FIDEM (2011), os municípios com maior participação na economia da região são Garanhuns, Buíque, Bom Conselho, Itaíba e Águas Belas. As atividades que mais contribuem com o PIB da RD são a produção de leite, feijão, bovinocultura, mandioca, construção civil, indústria de transformação, administração pública, aluguéis, serviços prestados às empresas e comércio, entre outros.

Quanto aos aspectos gerais da poluição e seus impactos ambientais na região Agreste do Estado de Pernambuco, destaca-se o evidente desmatamento, a poluição dos mananciais, o esgotamento sanitário e a destinação do lixo como os principais problemas consolidados. Como consequências especificamente da prática da agricultura e da pecuária, manifestam-se problemas como o uso de agrotóxicos, rejeitos da atividade pecuária, queimadas e desmatamento.

### 3.1.3 Clima

São identificados no Agreste pernambucano os tipos climáticos As' (quente e úmido com chuvas de outono-inverno), BShs' (seco, de baixas latitudes, com chuvas de outono-

inverno) e Cs'a (mesotérmico com verões quentes e chuvas de outono-inverno), de acordo com a classificação de Köppen, expressa por Andrade (2003, 2009). Através do relatório final para delimitação do semiárido nordestino e do polígono das secas, identificam-se na área predominantemente os climas: tropical quente e seco, tropical quente ou sub-úmido seco, e pequenas áreas onde se apresentam os climas tropical quente e úmido e tropical de altitude.

Conforme informações da CONDEPE/FIDEM (2011), o clima predominante, tropical quente e seco, apresenta alta temperatura do ar, umidade relativa do ar baixa e grande amplitude térmica diária, chegando a 15° C. Os valores de mais alta temperatura são alcançados durante o dia, enquanto à noite as temperaturas decrescem, atingindo valores mínimos durante a madrugada. Ocorrem duas estações bem definidas: uma seca e outra chuvosa, enquanto o segundo tipo climático mais presente, sub-úmido seco, localizado em uma zona de transição, apresenta características referentes ora ao clima tropical quente e úmido, ora ao tropical quente e seco, sem que se configurem valores extremos desses dois tipos climáticos.

Em pequenas proporções, encontra-se um clima tropical de altitude, em áreas elevadas acima de 1000 m, onde ocorrem particularidades como a diminuição da temperatura, o aumento da umidade relativa do ar e da pluviosidade, com duas estações bem definidas: verão (quente e úmido) e inverno (frio e seco). Encontra-se ainda em uma área que abrange apenas quatro municípios do Agreste meridional o clima tropical quente e úmido, caracterizado por médios e altos valores de umidade relativa do ar.

#### 3.1.4 Geologia e geomorfologia

O Agreste pernambucano em quase toda a sua totalidade assenta-se sobre terrenos antigos de idade pré-cambriana, pertencentes ao núcleo nordestino do Escudo brasileiro, mais especificamente na província estrutural da Borborema (ALMEIDA et al., 1977). Andrade e Lins (1989) afirmam que mais de 90% da referida área é ocupada por rochas ígneas e metamórficas do pré-cambriano, predominando granitos, gnaisses e migmatitos. Os terrenos fanerozóicos estão representados por arenitos grosseiros e formação Tacaratu (siluro-devoniano) e sedimentos argilo-arenosos.

No que diz respeito ao relevo, elaborado ao longo do cenozoico, as altitudes da região Agreste podem variar de 100 a 1200m, mas a predominância do relevo da área está entre 500 e 800m de altitude. Quanto às compartimentações e feições que compõem as paisagens geomorfológicas interferindo diretamente na definição das condições climáticas e

ambientais e fitogeográficas da região Agreste de Pernambuco, de acordo com a CONDEPE/FIDEM (2011), o IBGE (2002) e Andrade (2009), decorrente da interação de ações e fenômenos climáticos, tectônicos e litológicos, se apresenta o planalto da Borborema, principal formação geológica do Estado, demarcando a transição do litoral para o interior e constituindo um divisor de águas, com blocos falhados, maciços residuais e áreas dobradas que foram arrastadas por prolongadas fases erosivas e a escarpa, também conhecida como Serra das Russas. Sua altitude varia entre 500 e 800 metros, com picos que chegam a 1000m, como em Brejo da Madre de Deus e em Triunfo. Segundo Andrade e Lins (1989), o Agreste pernambucano está contido ainda nas unidades geomorfológicas: faixa sedimentar costeira, níveis cristalinos que antecedem a Borborema, depressão periférica do São Francisco, superfícies de pediplanos com inselbergues e bacia do Jatobá.

### 3.1.5 Vegetação

A cobertura vegetal dominante na zona fisiogeográfica do Agreste pernambucano é a caatinga, caracterizada por formações xerófilas, lenhosas, decíduas, em geral espinhosas, com presença de plantas suculentas e extrato herbáceo estacional (ANDRADE E LINS, 1989).

A vegetação primitiva da região era composta quase predominantemente por caatinga hipoxerófila, composta por formações arbóreas e arbustivas adaptadas à escassez de água que perdem as folhas na estação seca, a exemplo do mulungu, da macambira, marmeleiro e mandacaru. Ocorre ainda a presença de floresta subcaducifólia ou “mata seca”, de formação arbórea de grande porte, latifoliadas, a exemplo do pau brasil, a sucupira e o pau-d’arco, e a caatinga hiperxerófila, correspondente a um conjunto arbóreo e arbustivo também adaptado à falta de água, onde comumente são encontradas cactáceas e bromeliáceas que perdem as folhas na estação seca, como o xiquexique, caroá, e o angico. Seus domínios são as áreas mais secas do Estado, ocorrendo em apenas parte do Agreste. (ANDRADE, 2003, 2009; CONDEPE/FIDEM, 2011). Pela presença da atividade humana, a vegetação encontra-se bastante alterada.

### 3.1.6 Hidrografia

As bacias hidrográficas de maior expressividade na região Agreste são a do rio Capibaribe, Ipojuca, Una, Mundaú, Ipanema e Sirinhaém, que drenam para o oceano

Atlântico. Os rios e riachos dessa área possuem, de forma geral, um regime fluvial sazonal intermitente, o que significa dizer que passam maior parte do ano secos, uma vez que estão submetidos ao regime fluvial semiárido e sub-úmido. Quando a ZCIT avança sobre essas regiões, de acordo com Andrade (2003), no final do verão e outono, os rios recebem uma grande quantidade de água que, em pouco tempo, evapora, infiltra-se ou se desloca superficialmente em direção ao oceano.

O regime hidrológico dos rios agrestinos se dá em função de diversos fatores, como a topografia da bacia, condições climáticas, cobertura vegetal e natureza do solo e subsolo. Numa região que seja homogênea, o regime dos rios vai depender, sobretudo, da capacidade do terreno de deixar penetrar a água das precipitações (ANDRADE E LINS, 1989). Considerando-se a classificação de zonas de permeabilidade estabelecida por Nouvelot (1974), a área estudada está contida nas zonas P<sup>1</sup> e P<sup>3</sup>H, que correspondem à zona impermeável e zona heterogênea com permeabilidade média elevada, respectivamente. Ainda segundo Andrade e Lins (1989), a primeira é dominante, correspondendo aos trechos ocupados pelos terrenos do complexo cristalino. A segunda, que ocupa um pequeno setor da bacia do Jatobá, desenvolve-se em terrenos sedimentares.

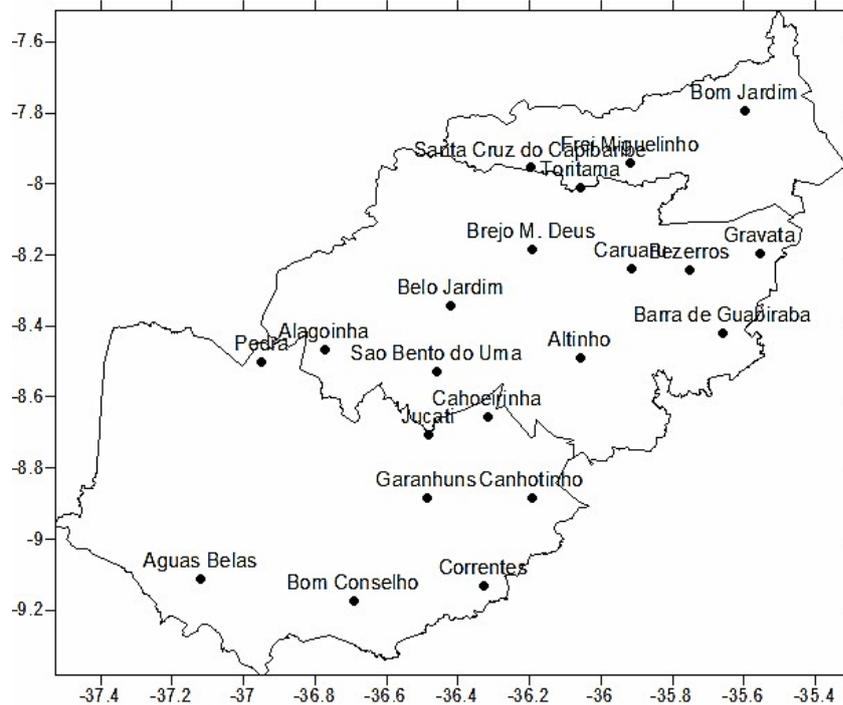
## **3.2 Obtenção e análise de dados**

### **3.2.1 Precipitação**

Foram obtidos dados de precipitação diária registrados em 21 postos pluviométricos através do banco de dados Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), referentes aos municípios componentes do Agreste Setentrional, Meridional e Central de Pernambuco do período de 1960 a 2014, cuja distribuição dos postos pode ser observada na Figura 2.

Foi realizada uma análise de consistência das séries através do diagnóstico da qualidade dos dados pluviométricos brutos e verificação da homogeneidade dos mesmos em relação ao padrão regional.

Figura 2 - Localização dos postos pluviométricos do Agreste Pernambucano.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Inicialmente, foram encontradas dificuldades para a obtenção dos dados, uma vez que as séries em sua maioria apresentavam grandes falhas ou ausência de dados para o período requerido. No entanto, numa tentativa de evitar estimativas que pudessem induzir a um equívoco nas análises e para atingir maior coesão com a real situação do comportamento da precipitação na área de estudo, optou-se pela não utilização de métodos de preenchimento de dados, havendo então uma seleção dos postos que representariam de forma mais fidedigna a precipitação do Agreste.

Através da interpretação dessas informações e com o auxílio do aplicativo Climap 3.0, foi possível caracterizar o regime histórico de precipitação para o Agreste pernambucano, indicando a variabilidade climática e estimando o comportamento das tendências às mudanças climáticas globais.

### 3.2.2. Produção de leite

Os dados referentes à produção de leite foram adquiridos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para cada município componente do Agreste pernambucano, correspondendo a 71 municípios. Tais dados apresentam-se unicamente referentes ao leite de vaca, produzido anualmente por cada município, em mil litros, do

período de 1974 a 2014, não existindo registros oficiais de produção de leite no período anterior ao ano de 1974.

Utilizou-se o Statistical Package for Social Science for Windows (SPSS), software livre, para determinar o modelo que tenha um melhor ajuste para as variáveis precipitação e produção do leite. O SPSS é um software para análise estatística de dados, em um ambiente amigável, utilizando-se de menus e janelas de diálogo, que permite realizar cálculos complexos e visualizar seus resultados de forma simples e autoexplicativa.

Foram adquiridos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) os cenários climáticos para o estado de Pernambuco, correspondentes aos anos de 2025 e 2055 para o cenário A1B.

### **3.3 Procedimentos metodológicos**

A pesquisa foi desenvolvida em cooperação técnica com a Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco com a Universidade Federal de Pernambuco, por meio do Grupo de pesquisa de Sensoriamento Remoto (SERGEO). As etapas de sua realização consistiram em:

#### **3.3.1 Tendências climáticas da precipitação pluviométrica**

As tendências climáticas da precipitação pluviométrica na região estudada foram analisadas através do aplicativo Climap 3.0, com interface gráfica, que auxilia a análise das séries de dados meteorológicos de chuva e de temperatura do ar com a associação de informações e criação de gráficos. Na corrente pesquisa foram utilizadas apenas as informações de precipitação.

O aplicativo Climap 3.0, que consiste numa versão aprimorada do Climap 1.1 desenvolvido por Salvador em 2014, foi utilizado para analisar as séries de dados meteorológicos diários de chuva, a partir de uma organização dos dados em formato txt da seguinte forma: ano, mês, dia e chuva, onde os dados faltantes de temperatura foram preenchidos por NULL, foram geradas séries mensais, trimestrais e anuais, sendo os índices utilizados:

- i. Totais mensais, trimestrais e anuais da precipitação pluviométrica;
- ii. DPP: Desvio padronizado da precipitação dos totais mensais, trimestrais e anuais.

$$DPP = (\text{total-média}) / \text{desvio-padrão};$$

- iii. Pr1: Número de dias por ano com chuvas significativas ( $\geq 1$  mm/dia);
- iv. Pr10: Número de dias por ano com precipitação  $\geq 10$  mm;
- v. Pr20: Número de dias por ano com precipitação  $\geq 20$  mm;
- vi. Pr50: Número de dias por ano com precipitação  $\geq 50$  mm;
- vii. Per95p: Número de dias com precipitação  $\geq$  ao percentil 95 das chuvas significativas (ocorrência/ano);
- viii. Per99p: Número de dias com precipitação  $\geq$  ao percentil 99 das chuvas significativas (ocorrência/ano);
- ix. Prmax1d: Maior precipitação ocorrida em um dia por ano (mm).

Foram gerados ainda histogramas com uma curva normal (Gamma) para todos os meses e trimestres, utilizando o número de classes 5.

A escolha deste recurso se deu em virtude de sua linguagem de alto nível e a possibilidade do uso livre e com bons recursos de aplicação científica, com ampla capacidade de utilização em diversas áreas.

### 3.3.2 Impactos da variabilidade climática na produção de leite

Para identificar o impacto da variabilidade climática na produção do leite em escala temporal no Agreste pernambucano foi realizado o levantamento de dados de produção de leite através do IBGE de 26 municípios localizados no Agreste Meridional, 26 no Agreste Central e 19 no Agreste Setentrional no período de 1974 a 2014. Também foram identificadas as estações pluviométricas e plataforma de coleta de dados (PCD's) com totais anuais no mesmo período existentes nas três regiões do Agreste, avaliando a distribuição espacial dos dados históricos.

Após devidamente arquivados num banco de dados e agrupados por microrregião, foi realizado a média aritmética por região através do Excel e gerados gráficos que permitem a visualização da produção dos municípios selecionados em relação à média da microrregião, evidenciando os municípios que possuem maior expressividade nessa atividade.

### 3.3.3 Modelo de regressão linear

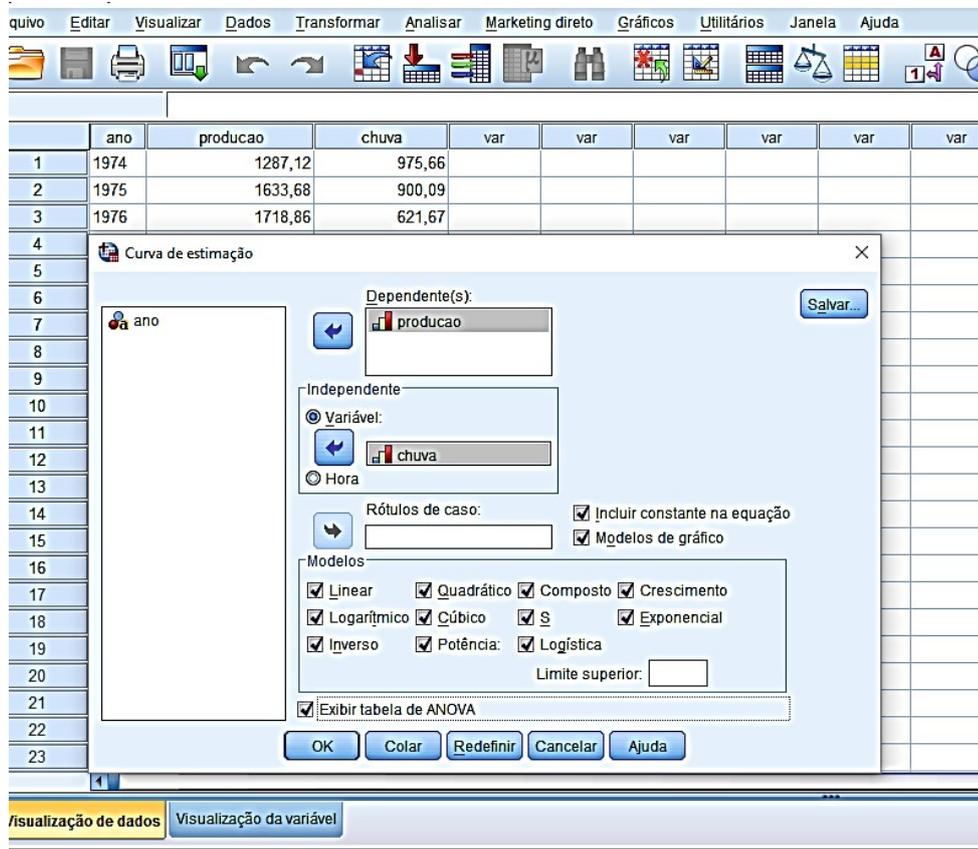
Para determinar um modelo que represente a influência da variabilidade da precipitação pluviométrica na produção leiteira no Agreste pernambucano, foi utilizado o

Statistical Package for Social Science for Windows SPSS, software de apoio à tomada de decisão que inclui: aplicação analítica, Data Mining, Text Mining e estatística que transformam os dados em informações importantes que proporcionam aplicações relevantes nas diversas áreas do saber. A primeira versão data de 1968 e, a mais recente é a SPSS for Windows 16 (2007).

Assim sendo, para saber como estão associadas às variáveis foram elaboradas tabelas com informações observadas no período de 1974 a 2014 da precipitação pluviométrica e da produção do leite no Agreste de pernambucano, a partir da média aritmética dos dados observados nas regiões do Agreste Meridional, Central e Setentrional.

Com o software SPSS, determinou-se que a variável dependente é a produção de leite e a variável independente é a precipitação pluviométrica, e partir desses dados de entrada foram selecionados todos os modelos oferecidos pelo software (linear, Logarítmico, Inverso, Quadráticos, Cúbico, Potência, Composto, S, Logística, Crescimento e Exponencial, incluindo também a tabela de ANOVA (Figura 3), para verificar qual dos modelos existem mais se ajustam as variáveis observadas.

Figura 3 - Ilustração da janela do software SPSS para determinar o modelo de regressão para as variáveis precipitação e produção de leite



Fonte: elaborada pela autora (2015).

### 3.3.4 Cenários climáticos

Para gerar cenários regionalizados para a região Agreste de Pernambuco, foram adquiridos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) os cenários climáticos correspondentes aos períodos de 2025 e 2055 para o cenário A1B para Pernambuco, para as variáveis precipitação e temperatura média do ar. Estes cenários são baseados no modelo HadCM3, modelo do centro climático do Reino Unido (Hadley Centre), que gera condições de contorno e fornece condições para o modelo regional Eta.

O modelo regional Eta foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, que se tornou operacional no National Centers For Environmental Prediction (NCEP). Pela necessidade de se ter resultados mais específicos e detalhados, as simulações dos cenários serão regionalizados pela técnica de downscaling, já que os modelos globais apresentam uma baixa resolução.

O modelo Eta CPTEC inclui o aumento dos níveis de concentração de CO<sub>2</sub> conforme o cenário de emissão e a variação diária do estado da vegetação durante o ano. Este modelo reproduz o cenário A1B do IPCC SRES, fornecido pelo modelo global acoplado oceano-atmosfera HadCM3, em 4 membros (versões) de perturbação do modelo global (sem perturbação - CNTRL; baixa sensibilidade - LOW; média sensibilidade - MID; alta sensibilidade - HIGH), que representam a incerteza das condições de contorno. O modelo regional foi integrado na resolução horizontal de 40 km, para o período entre 1961 e 1990 e os cenários futuros foram gerados em três períodos de 30 anos (de 2011 a 2040, de 2041 a 2070, de 2071 a 2100) (CHOU et al., 2012).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise das tendências climáticas da precipitação pluviométrica

A análise das tendências climáticas da precipitação pluviométrica avaliada a partir das médias históricas mensais e trimestrais, do desvio padronizado e dos índices extremos de precipitação encontrados para a região Agreste de Pernambuco através do Climap 3.0 demonstra como a referida variável se apresentou historicamente na área de estudo, possibilitando o conhecimento da distribuição do regime de precipitação ao longo do ano, bem como a ocorrência de eventos extremos climáticos. Tal investigação contribui diretamente para a estimativa da influência desse fator no desenvolvimento de diversas atividades antrópicas, a exemplo da pecuária leiteira.

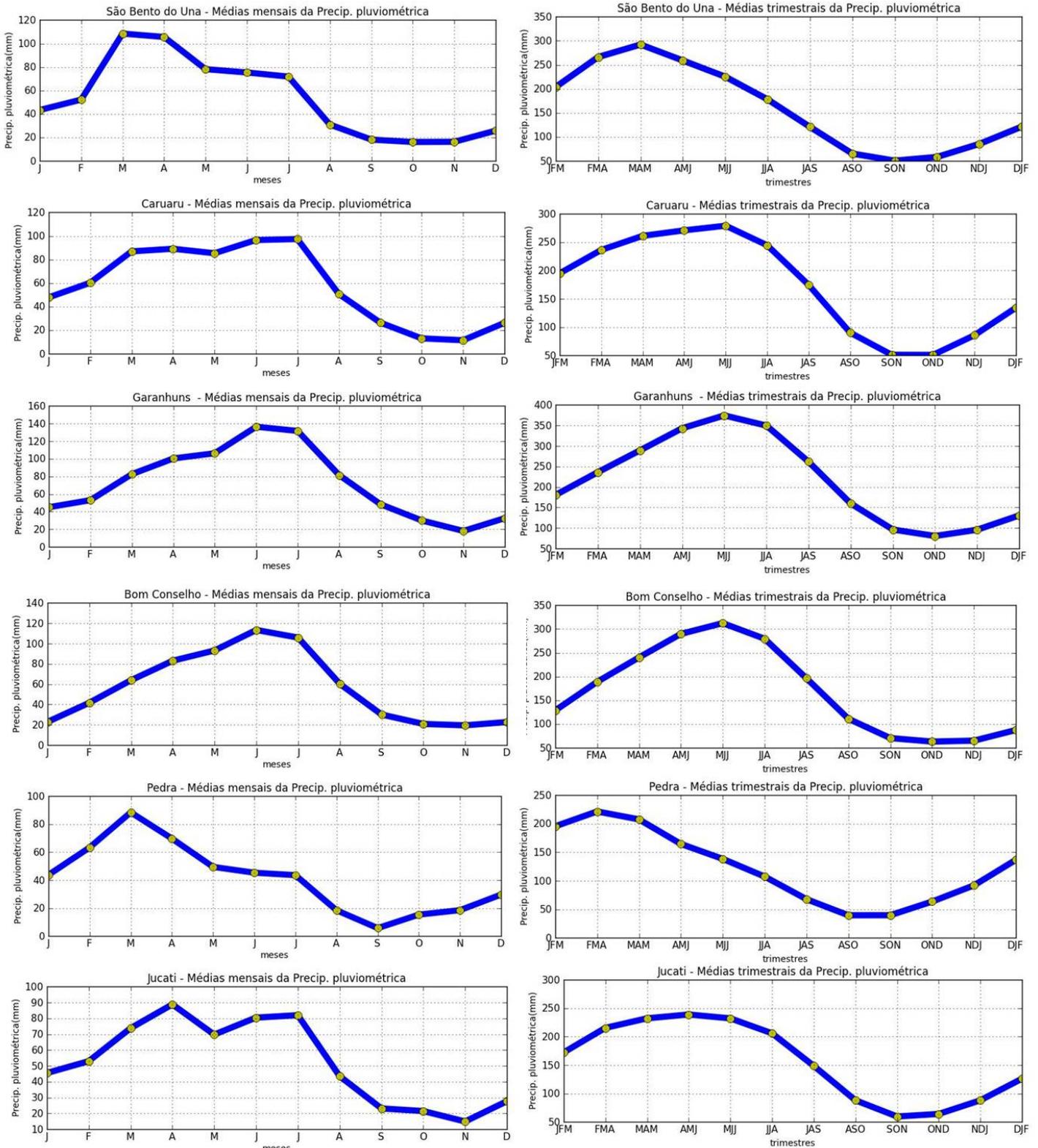
#### 4.1.1 Médias históricas mensais e trimestrais

A partir da verificação das séries pluviométricas mais consistentes encontradas entre os municípios componentes das três microrregiões do Agreste de Pernambuco, constatou-se que apenas nos municípios de São Bento do Una e Caruaru, no Agreste Central, e também Garanhuns, Bom Conselho, Pedra e Jucati, no Agreste Meridional, foi possível gerar os gráficos mensais e trimestrais da precipitação pluviométrica, reunidos na Figura 4.

Analisando uma série de cerca de 50 anos (entre 1960 e 2014), verificou-se que o comportamento histórico da precipitação nos municípios supracitados demonstra, de forma geral, uma concentração do período chuvoso nos dois primeiros trimestres do ano, com maior expressividade entre os meses de março a julho, apresentando de outubro a novembro os menores índices de precipitação.

Tais condições revelam a má distribuição da precipitação ao longo do ano, evidenciando a concentração desta em um período relativamente curto, enquanto em grande parte do ano ocorre um evidente déficit hídrico, chegando a uma total ausência de chuvas. Esse comportamento climático corresponde ao regime predominante nos climas tropical quente e seco (semiárido) e tropical quente sub-úmido seco, predominantes entre os referidos municípios.

Figura 4 - Médias históricas mensais e trimestrais da precipitação pluviométrica dos municípios de São Bento do Una, Caruaru, Garanhuns, Bom Conselho, Pedra e Jucati.



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Dentre as características do regime climático dessa área, a mais evidente é a definição de uma estação seca e outra chuvosa, sendo a chuvosa mais concentrada, e a seca, predominante ao longo do ano. Apesar de existirem vários tipos climáticos dentro da região agreste, essas condições revelam de forma geral o comportamento da precipitação na região Agreste do Estado de Pernambuco.

A irregularidade na distribuição sequencial das precipitações pluviais pode se configurar como um dos elementos mais limitantes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de leite no âmbito da produção rural, uma vez que representa uma das variáveis climatológicas mais expressivas na região tropical.

Tal como no diagnóstico do estudo realizado por Moraes et al. (2005), investigando a variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará, no período chuvoso, a precipitação se caracteriza pela forte intensidade, enquanto em períodos menos chuvosos são frequentes as estiagens de duração variável, elevando o risco de exploração agrícola. Da mesma forma é possível considerar que a produção de leite pode ser afetada pela má distribuição das chuvas no Agreste pernambucano, tanto pela disponibilidade hídrica direta para o gado, quanto para a produção destinada à sua alimentação, recorrente no desenvolvimento dessa atividade em pequenas propriedades.

Ponderando que na região Agreste a concentração de chuvas em um curto período de tempo atrelada à baixa capacidade do solo de retenção de água possa acarretar outros problemas ambientais, como levar ao escoamento superficial e erosão, perda do solo, do alimento e redução da produção, assoreamento e poluição dos recursos hídricos, deve-se conjecturar que os investimentos ligados ao desenvolvimento do setor nessa área atentem para a busca de maior adaptação distribuição da precipitação ao longo do ano, otimizando seu uso enquanto recurso e evitando perdas econômicas e socioambientais.

Considerando que a distribuição sazonal do regime de chuva também afeta as variações de temperatura e umidade relativa do ar, há de se cogitar condições de oscilação no conforto térmico dos rebanhos, que constituem probabilidades de ocorrência de estresse térmico em períodos de estiagem, refletindo proporcionalmente a produção de leite. Cruz et al. (2011) afirmam que o estresse térmico afeta negativamente em vários aspectos a produção leiteira, a diminuição da produção de leite e as perdas reprodutivas causam um impacto significativo no potencial econômico das granjas produtoras de leite. Avaliando tais efeitos no contexto do pequeno produtor, as perdas socioeconômicas podem ser irreversíveis.

Diante do exposto, compreende-se que o conhecimento do comportamento característico das chuvas por meio das médias históricas mensais e trimestrais expostas na

Figura 4 pode exercer relevante papel no planejamento de práticas que procurem garantir boas condições de produção de leite na região Agreste, mesmo estando sujeita a um padrão irregular de distribuição da precipitação pluviométrica que possa dificultar a atividade.

A ocorrência de períodos trimestrais de chuvas intensas pode sugerir, por exemplo, a necessidade de investimentos em tecnologias de captação e armazenamento de água que busquem o aproveitamento das chuvas de alta intensidade nos dois primeiros trimestres do ano e consigam, por sua vez, suprir as demandas de água para a produção rural de base familiar nos trimestres consecutivos, de longa estiagem e déficit hídrico, aumentando a capacidade de adaptação dos produtores rurais à variação sazonal da precipitação.

#### 4.1.2 Tendências climáticas da precipitação pluviométrica a partir do desvio padronizado

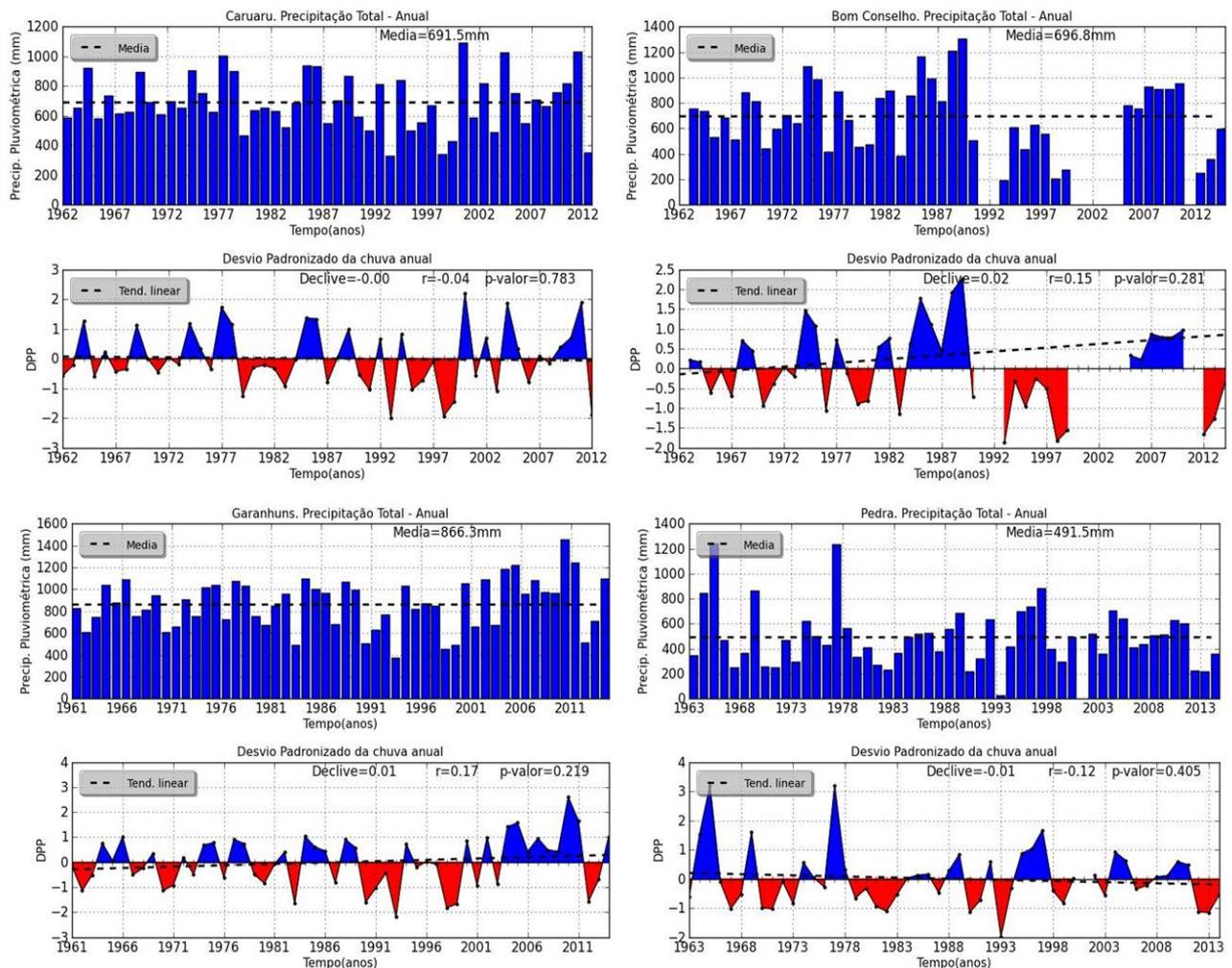
Na área de estudo, apenas os municípios de Caruaru no Agreste Central, Bom Conselho, Garanhuns e Pedra no Agreste Meridional apresentaram índices significativos de precipitação total e desvio padronizado (Figura 5), em virtude principalmente da qualidade dos dados obtidos.

A partir de sua interpretação é possível conhecer o comportamento temporal do regime de precipitação da região Agreste de Pernambuco, associando que além da má distribuição das chuvas já detectada durante os meses do ano através dos índices mensais e trimestrais, existe também grande irregularidade interanual desta variável, expressa nos valores totais (colunas azuis com linhas de média) e nos desvios padronizados positivos (em azul) e negativos (em vermelho).

Conforme exposto na Figura 5, as séries evidenciam ampla variabilidade anual no volume total de precipitação, demonstrando grande oscilação entre os índices, com a ocorrência de anos extremamente secos e outros chuvosos sem, no entanto, haver uma uniformidade no comportamento da precipitação pluvial, aparentando aleatoriedade entre os municípios pertencentes às microrregiões que compõem a área de estudo.

A diversidade retratada, por sua vez, apresenta semelhanças entre os municípios diante da existência e intensidade de eventos extremos, alertando que tais ocorrências impactam de forma significativa toda a região Agreste. Tais episódios são evidentes nos desvios padronizados negativos nos anos de 1967, 1970, 1993 e 2012 e positivos em 1977 e 2010 nos quatro municípios (Figura 5), embora na precipitação total anual não seja visível.

Figura 5 - Totais anuais de precipitação pluviométrica e desvio padronizado dos municípios de Caruaru, Bom Conselho, Garanhuns e Pedra.



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

As médias anuais da precipitação no Agreste se apresentam muito baixas, variando de 490 a 866 mm, e considerando que assim como nos valores totais existem alterações importantes em torno da média anual, o desvio padronizado DPP demonstra as probabilidades dos valores se distanciarem da média, positivamente ou negativamente. Foram evidenciadas ocorrências positivas e negativas de DPP, tornando ainda mais expressiva a variabilidade climática na área de estudo.

Destacam-se na avaliação deste item os desvios negativos ocorridos em Caruaru nos anos de 1993 e 1998, em Bom Conselho entre 1992 e 1997, em Garanhuns e Pedra em 1990 e 1993. Entre os valores positivos de DPP, podem-se citar em Caruaru os anos de 2000, 2003 e 2010, em Bom Conselho de 1984 a 1988, em Garanhuns de 2004 a 2011 e em Pedra, os anos de 1964 e 1977 e 1995.

As médias anuais observadas na Figura 5 para os municípios do Agreste pernambucano atentam para ocorrência de baixos índices de precipitação em toda a região, situação que se agrava ainda mais nos episódios de anos extremos secos. Considerando o uso e ocupação do solo na região, predominantemente rural, bem como as atividades desenvolvidas ligadas à agricultura e pecuária, tal constatação reforça as condições naturais da região Agreste como desafiadoras em níveis de precipitação.

Comparativamente a este estudo, Medeiros et al. (2015), que avaliou uma série de dados de precipitação diária de um período semelhante (1961 a 2012) numa análise quantitativa da variabilidade de chuvas em João Pessoa – PB, identificou médias anuais que variam em torno de 972 a 3800 mm para a referida localidade. Nesse caso, a alta variabilidade anual da precipitação expressa em um contexto regional distinto, com elevados índices de precipitação pluviométrica numa área predominantemente urbana anuncia como a gravidade dos impactos associados aos eventos extremos climáticos podem também variar de acordo com as características de cada ambiente e de cada regime de precipitação.

Não foram identificadas tendências de precipitação negativas ou positivas significativas nesta análise, exceto no município de Bom Conselho, que pode ter apresentado esta alteração em virtude da ausência de dados em parte da série avaliada. A não existência de tendências de precipitação no Agreste, por sua vez, não figura elemento de grande expressividade no contexto climático da área de estudo, visto que a variabilidade anual encontrada por si só já representa uma característica custosa de ser manipulada.

A influência da variável precipitação, além de associada a riscos ambientais já pressupostos nesta análise, pode ainda ser atrelada a ocorrências de incêndios, conforme identificam estudos realizados por Pezzopane, Neto e Vilela (2011) no município de Viçosa – MG. Baseados em dados de precipitação diária do período de 1968 a 1996, buscaram detectar locais de maior risco de incêndios considerando que são estes muitas vezes responsáveis pela perturbação de ecossistemas naturais e perdas nos setores agrícola e florestal. Os autores comentam ainda que as preocupações com estas ocorrências são constantes nos meses de inverno e primavera devido, principalmente, aos baixos índices pluviométricos.

Cabe salientar que o Estado de Minas Gerais, segundo informações do IBGE (2016) lidera a produção nacional de leite, com cerca de nove bilhões de litros anuais, cerca de 27% do volume captado no Brasil. Considerando que o contexto histórico de desenvolvimento da cadeia produtiva de leite em Minas Gerais tenha se construído de forma muito distinta de Pernambuco, é plausível pressupor que da mesma forma possa existir uma correlação entre a precipitação, os problemas ambientais por ela acarretados e prática de atividades como a

produção de leite. No entanto, há de se considerar que os investimentos em tecnologia aplicados a essa conjuntura possam ser muito mais intensivos nesse local, fazendo com que a relação de dependência dos fatores climáticos seja menos expressiva pela representatividade do setor na economia.

O conhecimento do comportamento histórico da precipitação anual apresentado na Figura 5 é uma das etapas mais fundamentais na redução do risco climático associado a setores produtivos como o leiteiro, uma vez que a variabilidade temporal traz significativas informações acerca de possíveis periodicidades, tendências ou descontinuidades climáticas, fornecendo suporte em estudos direcionados ao desenvolvimento da capacidade adaptativa da região Agreste por meio das forçantes moduladoras das qualidades meteorológicas.

#### 4.1.3 Tendências climáticas a partir dos índices extremos de precipitação

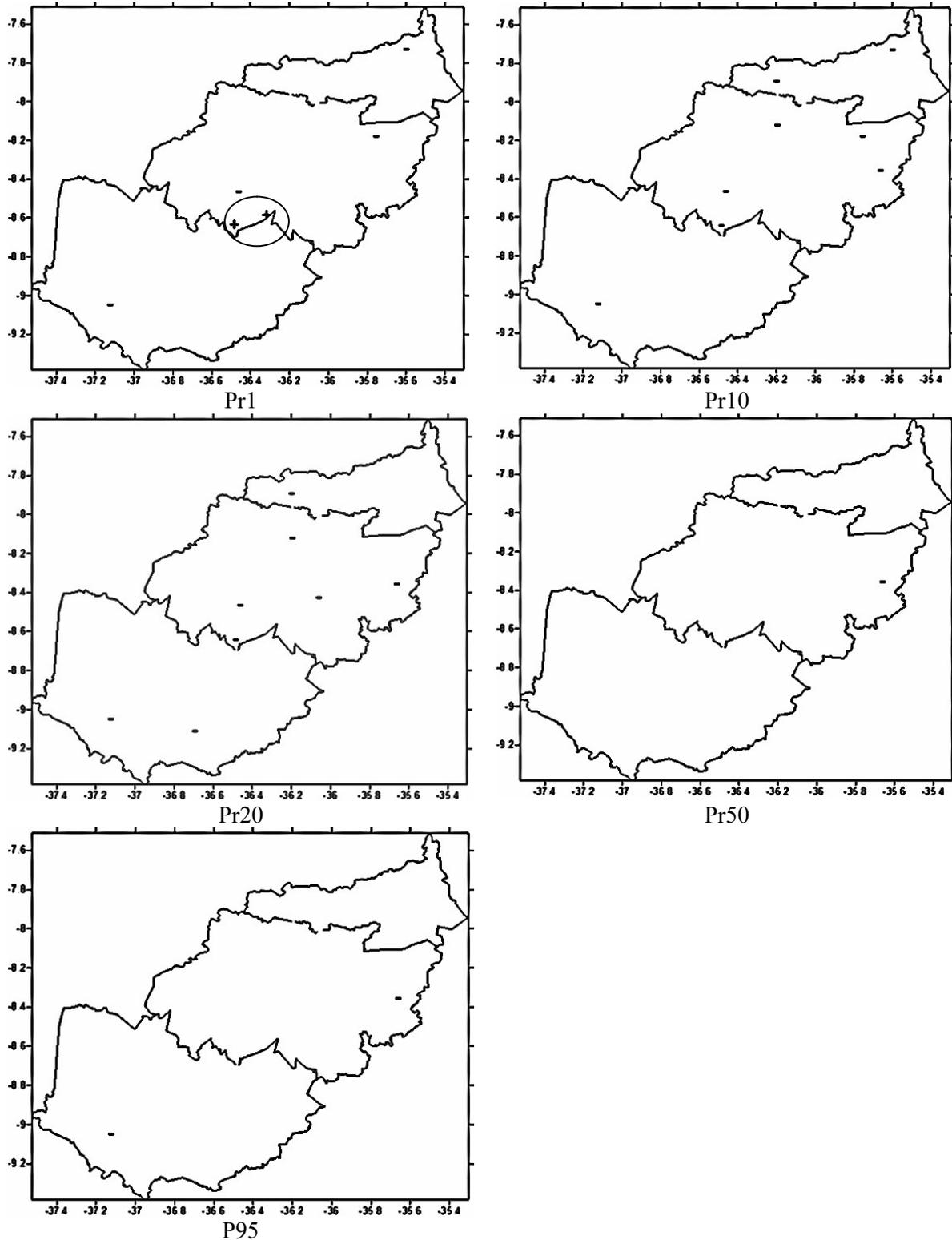
Como forma de expor a ocorrência de níveis extremos de precipitação, foram selecionados os valores representativos do número de dias por ano com chuvas significativas  $\geq 1$  mm,  $\geq 10$  mm,  $\geq 20$  mm,  $\geq 50$  mm/dia e número de dias com precipitação  $\geq$  ao percentil 95 das chuvas expressivas (Tabela 1), e partir destes, as tendências de aumento ou diminuição de sua ocorrência foram identificados nas três microrregiões do Agreste pernambucano, expostas nos mapas da Figura 6, distribuídas espacialmente entre os Agrestes Setentrional, Central e Meridional, apenas nos locais em que o diagnóstico apresentou significância estatística.

Os resultados obtidos através do Climap 3.0 reunidos na Figura 6 demonstram que no Agreste Setentrional, apenas os índices Pr1, Pr10 e Pr20 obtiveram resultados significativos, todos com tendência à diminuição de sua ocorrência, enquanto no Agreste Central todos os índices apresentaram resultados expressivos, predominantemente com tendência à diminuição, exceto pelo Pr1, que apresenta tendências positivas em dois postos. O Agreste Meridional, por sua vez, expressou disposições de diminuição de todos os índices registrados, excetuando-se o Pr50, que não apresentou significância estatística em nenhum posto dessa microrregião.

A Tabela 1 expõe os valores encontrados para cada índice supracitado atrelado aos municípios que compõem a área de estudo, retratados nos mapas a partir das coordenadas geográficas dos postos de coleta. Por meio desses resultados, é possível perceber que não há total uniformidade no que alude às tendências desses índices entre as localidades, no entanto, existe uma predominância de tendências negativas para a maioria dos índices. De forma geral, entretanto, a proporção de postos com significância estatística diante da quantidade de postos

analisados indica que a ocorrência de índices extremos não possui considerável expressividade no contexto da corrente pesquisa.

Figura 6- Distribuição espacial das tendências (- tendência de diminuição e + tendência de aumento) dos índices extremos da precipitação pluviométrica.



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

O indicativo de baixa ocorrência de eventos extremos na área de estudo, bem como as tendências de diminuição constatadas interpreta-se de forma positiva para a região Agreste, considerando o elevado grau de vulnerabilidade que essa região apresenta às adversidades do clima. No entanto, os riscos ocasionados pela própria variabilidade natural da precipitação não se incluem nessa consideração, e representam ainda grande risco socioambiental diante do não investimento em enfrentamento a estas questões.

Tabela 1 - Valores encontrados para os índices extremos climáticos (Pr1, Pr10, Pr20, Pr50 e Per95p) através do Climap 3.0. Os índices marcados em negrito apresentam significância estatística (\*p<0,05: alta significância estatística; \*\*p<0,1: boa significância estatística)

RD	Município	Pr1	Pr10	Pr20	Prnn50	Pr95
Agreste Setentrional	Bom Jardim	<b>-0,75*</b>	<b>-0,27*</b>	-0,08	0,00	-0,01
	Frei Miguelinho	-0,14	-0,06	<b>0,01**</b>	-0,01	-0,01
	Santa Cruz do Capibaribe	0,27	<b>-0,23**</b>	-0,11	-0,01	-0,03
	Toritama	0,21	-0,07	-0,06	-0,02	-0,01
Agreste Central	Alagoinha	<b>-0,06**</b>	-0,04	-0,04	-0,01	-0,03
	Altinho	0,17	-0,13	<b>-0,10**</b>	-0,01	-0,04
	Barra de Guabiraba	-0,06	<b>-0,74**</b>	<b>-0,49**</b>	<b>-0,09*</b>	<b>-0,12*</b>
	Belo Jardim	-0,27	-0,15	-0,03	-0,01	-0,02
	Bezerros	<b>-0,63*</b>	<b>-0,23*</b>	-0,05	-0,01	-0,03
	Brejo da Madre de Deus	-0,14	<b>-0,22**</b>	<b>-0,09*</b>	0,02	0,01
	Cachoeirinha	<b>0,50*</b>	<b>-0,11**</b>	<b>-0,02**</b>	0,00	-0,01
	Caruaru	0,19	-0,09	0,00	0,00	0,00
	Gravatá	0,09	0,05	0,02	0,00	0,01
	São Bento do Una	<b>-1,03**</b>	<b>-0,32**</b>	<b>-0,15**</b>	-0,02	-0,04
Agreste Meridional	Águas Belas	<b>-0,70*</b>	<b>-0,19*</b>	<b>-0,08**</b>	-0,01	-0,04
	Bom Conselho	-0,16	-0,20	<b>-0,08**</b>	0,00	-0,03
	Canhotinho	-0,04	-0,09	-0,02	0,01	0,03
	Correntes	0,34	-0,02	-0,06	-0,01	-0,01
	Garanhuns	0,16	0,08	0,02	0,00	0,03
	Jucati	0,55	-0,26	-0,11	-0,02	-0,03
	Pedra	0,00	-0,08	-0,05	-0,01	-0,01

Fonte: elaborado pela autora (2016).

Cabe salientar que, sobretudo nos índices Pr50 e Per95p, houveram pouquíssimos postos que demonstraram significância estatística, portanto, não é possível afirmar tendências seguras que correspondam a todos os municípios da área de estudo. Considerando que esses índices advertem a ocorrência de eventos extremos que revelariam níveis de precipitação

intensa, seria desejável que a consistência dos dados favorecesse uma avaliação mais clara e consistente a fim de prevenir a tais ocorrências.

A metodologia empregada para a obtenção dos resultados dessa pesquisa é a mesma empregada por Salvador (2014), para analisar índices extremos de precipitação para a região definida como MATOPIBA, que compreende uma nova fronteira agrícola no Brasil, ocupando parte dos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, utilizando o Climap 1.1. Da mesma forma, como resultado, foram identificadas em sua maioria tendências negativas dos extremos da precipitação, sugerindo possível diminuição gradativa da ocorrência desse tipo de evento.

Similarmente, Santos, Melo e Brito (2016), por sua vez, procuraram analisar tendências de índices extremos climáticos para o Estado do Amazonas utilizando dados diários de precipitação do período de 1970 a 2010, para os mesmos índices, utilizando um recurso distinto (RClindex), obtendo resultados variados para cada item. De forma geral, os autores comentaram que poucos postos apresentaram significância estatística, sendo a ausência de um banco de dados climáticos de longo prazo pontual obstáculo à quantificação dos eventos extremos de forma satisfatória.

Corroborando com a constatação de Santos, Melo e Brito (2016), a falta de atenção e investimentos designados à obtenção de dados climatológicos em quantidade e qualidade em longo prazo dificulta não só a realização de estudos consistentes, como a própria previsão do clima e planejamento e gerenciamento eficiente dos recursos. Espera-se que com a concretização de estudos desse nível se contribua para essa questão, alertando para tal necessidade.

## **4.2 Impactos da variabilidade climática na produção de leite em escala temporal**

Por meio da exposição da distribuição da produção de leite em escala temporal no Agreste pernambucano, bem como a distribuição temporal do regime de precipitação pluviométrica, este subitem procura associar essas duas variáveis e discutir como pode se apresentar a influência da precipitação na prática da pecuária leiteira a partir dos dados obtidos. Com isso, é possível conjecturar os impactos associados aos fenômenos climáticos, contribuindo para o planejamento estratégico direcionado na área de estudo.

### **4.2.1 Distribuição temporal da produção de leite**

A Figura 7 demonstra como está distribuída a produção de leite entre as microrregiões do Agreste pernambucano no período de 1974 a 2014, onde o Agreste Meridional (em azul) possui grande destaque, produzindo temporalmente muito acima da média (linha tracejada) da região. O Agreste Central (verde) é o segundo maior produtor da área de estudo, enquanto o terceiro e menos representativo é o Agreste Setentrional (em vermelho).

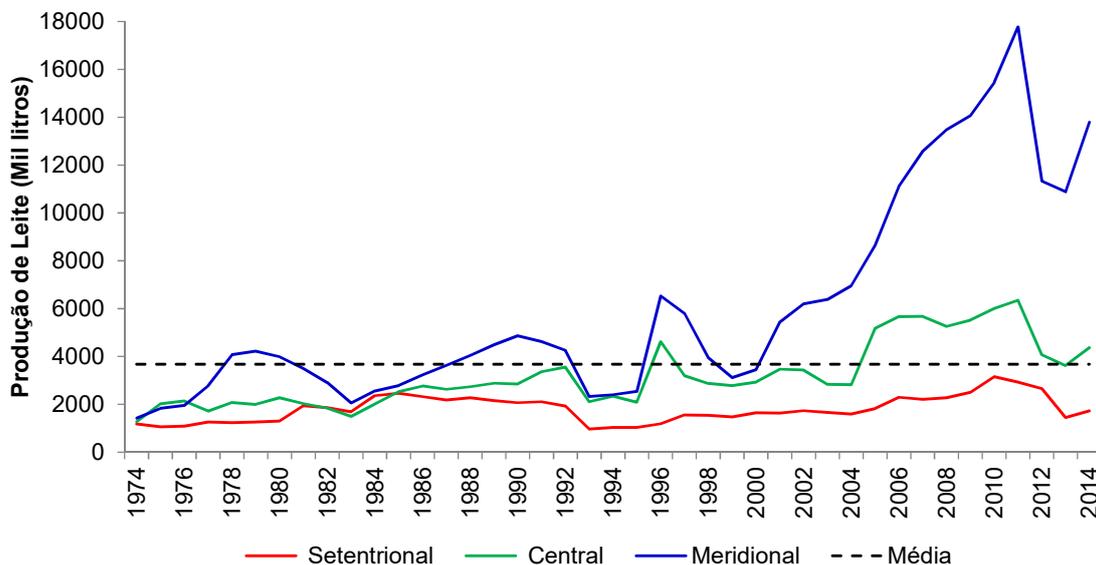
Ao longo do período supracitado ocorreram variações graduais da produção de leite nas três microrregiões, tal como se apresenta o comportamento da precipitação pluviométrica para o mesmo período, não considerando inicialmente a existência de uma correlação direta entre essas variáveis. Só mais recentemente houve uma elevação significativa dessa produção (Figura 7).

De forma geral, houve um evidente crescimento da produção ao longo do período estudado, que se deu principalmente em virtude de diversos investimentos realizados no setor. Conforme Correia (2012), no período de 1990 a 1998 ocorreram tentativas de soerguimento das ações na retomada da pecuária leiteira bovina no Nordeste, que se encontrava então em declínio, inclusive com o incremento do Fundo de Desenvolvimento do Nordeste (FNE). A autora comenta ainda que, com o incentivo às micro e pequenas empresas de Pernambuco a lançados partir dos anos 2000, posteriores à privatização da Companhia de Industrialização de Leite de Pernambuco (CILPE) e ao surto de febre aftosa, produziram-se novas expectativas de crescimento de desenvolvimento da pecuária leiteira.

Tais informações corroboram com os resultados expostos na Figura 7, que demonstram a partir do ano 2000 um crescimento diferenciado da produção de leite, especialmente no Agreste Meridional, que em 2010 chega a produzir 18000 litros, estabelecendo-se muito acima da média de produção da região, que se expressa em torno de 4000 L.

Outra ação que pode ter potencializado o crescimento da produção de leite no Agreste Meridional mais recentemente foi a instalação do complexo agroindustrial da Perdigão-Batavo (atual Parmalat-Lactalis) no município de Bom Conselho, que anunciado em 2007, conforme exposto pela CONDEPE/FIDEM (2016), previram inicialmente investimentos da ordem dos 130 milhões, contando com o aporte dos recursos do Fundo Constitucional do Nordeste (FCN) e com o incentivo do Governo de Pernambuco, por meio do Programa de Desenvolvimento de Pernambuco (PRODEPE). Este empreendimento possui uma demanda de 150 mil L/dia, enquanto a empresa Betânia, instalada em Garanhuns, demanda cerca de 100 mil L/dia.

Figura 7 – Distribuição temporal da produção de leite nas regiões do Agreste Setentrional, Central e Meridional e a média da região no período de 1974 a 2014



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Considerando que a bacia leiteira de Pernambuco é a segunda maior do Nordeste, atrás apenas da Bahia, cabe pontuar que concentração produtiva desse leite se dá na região Agreste, segundo Correia (2012), por fatores históricos, culturais, climáticos e geográficos. Sendo esta atividade uma das alavancas econômicas para o estado, vale salientar que o Agreste Meridional, historicamente, produziu muito mais leite que as outras microrregiões, e que sua tendência de crescimento da produção nos últimos anos conduz a uma representatividade diferencial no setor em nível regional.

Estudos sobre a competitividade da cadeia produtiva de leite em Pernambuco realizados pela EMBRAPA (2009) analisaram que as participações das regiões Agreste Meridional, Central e Setentrional na produção total de leite do Agreste foram de 48%, 39% e 14% em 1995 e de 65%, 27% e 8% em 2007, respectivamente. Relacionando tais informações à Figura 7, confirma-se que entre 1995 e 2007, somente a região Agreste Meridional aumentou sua participação no volume total da produção da região Agreste, significando um incremento de 259,5 milhões de litros de leite, em valores absolutos.

É preciso ainda atrelar as informações expostas no gráfico da Figura 7 aos resultados encontrados por Correia (2012), que justificam o aumento substancial da produção de leite ocorrido principalmente no Agreste Meridional a partir de 2005, que se dá em virtude do surgimento do novo cenário do leite em Pernambuco, com a instalação de pequenas e médias

empresas de derivados do leite e com a fortificação dos sindicatos (SINDILEITE) em 2006 e da instalação de empresas de grande expressividade já mencionadas.

Conforme identificado pela EMBRAPA (2009), o crescimento da produção de leite de 1995 a 2007 nos Agrestes Meridional e Central ocorreram mais em função do crescimento numérico do rebanho do que de ganhos de produtividade, contrastando com o Agreste Setentrional, cujo aumento da produção ocorreu basicamente devido ao crescimento da produtividade, com adoção de novas tecnologias no processo de produção leiteira. Não cabe nesta análise identificar pausadamente todos os fatores responsáveis por esse crescimento em cada microrregião em virtude da grande quantidade de variáveis a ser consideradas, em cada contexto microrregional e em cada período histórico. Entretanto, vale salientar que não se pode supor que exista homogeneidade nas condições de produção.

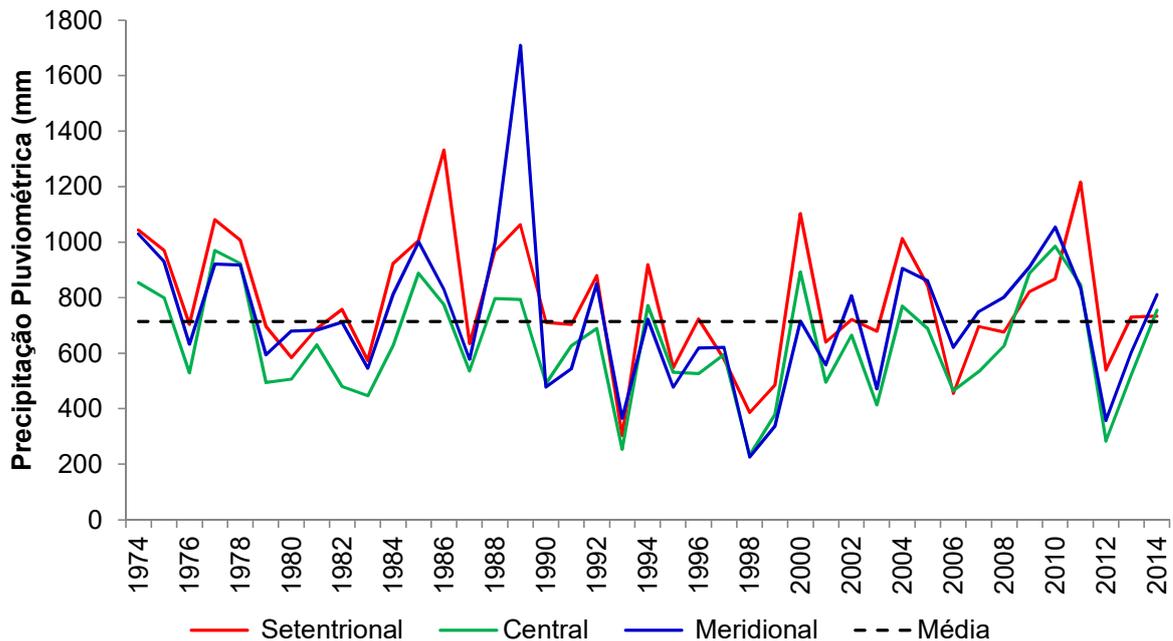
Embora o aumento da produção tenha sido significativo em todo o Agreste, ainda que por motivos distintos, o Agreste Meridional, por receber incentivos específicos advindos da instalação de novas companhias de grande porte, obteve maior destaque na produção da região a partir de então, concentrando grande parte dos investimentos realizados no setor.

#### 4.2.2 Distribuição temporal da precipitação

Na Figura 8 se expõe a distribuição temporal da precipitação pluviométrica para o mesmo período, nas três microrregiões do Agreste pernambucano. Assim como demonstram as figuras 4 e 5, a variabilidade climática é evidente, e segue o mesmo comportamento nos Agrestes Meridional, Central e Setentrional. A média anual da região está em torno de 700 mm, e existem algumas diferenças substanciais em volume de precipitação entre as microrregiões, visto que os Agrestes Setentrional e Meridional apresentam um volume de precipitação maior, implicando em mais anos com chuvas acima da média da região, enquanto o Agreste Central encontra-se abaixo das médias regionais, ultrapassando-a apenas em anos atípicos (Figura 8).

Além da variabilidade climática que se expressa na não linearidade da precipitação ao longo dos anos, observa-se com mais nitidez a ocorrência de eventuais extremos climáticos. A Figura 8 exibe curvas semelhantes para as três regiões do Agreste de Pernambuco que revelam a existência de anos extremos chuvosos e secos no período estudado.

Figura 8 – Distribuição temporal da precipitação pluviométrica nas regiões do Agreste Setentrional, Central e Meridional e a média da região no período de 1974 a 2014.



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Diante de tanta heterogeneidade, podem-se destacar os anos de 1978, 1986, 1989, 2000, 2005 e 2010 como anos atípicos em que o índice de precipitação foi muito superior à média da região, tendo seus indicadores mais altos no ano de 1986 no Agreste Setentrional, em torno de 1400 mm, e em 1989 no Agreste Meridional, ultrapassando os 1700 mm.

A partir dos resultados expostos na Figura 8, conclui-se que também os anos secos se mostram de forma muito similar nas três microrregiões, não apresentando grandes divergências nesse sentido. O comportamento da precipitação nos anos de 1993, 1998 e 2012, com os índices mais baixos registrados durante o período estudado, são praticamente iguais nos Agrestes Meridional, Setentrional e Central, chegando a 300 mm anuais, o que representa um grave déficit hídrico em toda a região.

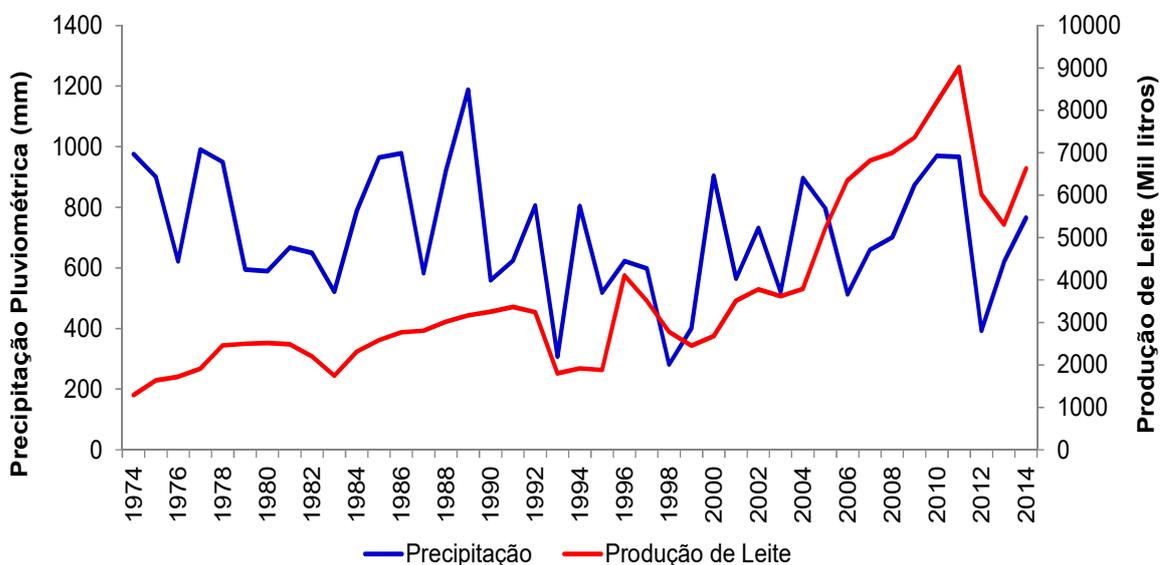
Efeitos diretos dos fenômenos climáticos extremos podem atuar sobre os processos sociais, culturais, demográficos, a qualidade da água e do ar ou a saúde humana. Como já pressuposto, a ocorrência de tais índices extremos podem acarretar expressivas alterações socioambientais na região, uma vez que o aporte tecnológico para lidar com essas adversidades é insuficiente. Dessa forma, o estudo da intensidade e constância das precipitações extremas na área de estudo é de grande interesse não só para a meteorologia, mas também de áreas afim.

#### 4.2.3 Influência da variabilidade da precipitação na produção de leite

A partir da Figura 9 é possível associar a evolução temporal da precipitação pluviométrica à produção de leite em toda a região Agreste, no período de 1974 a 2014. Nota-se que, embora não haja uma correspondência direta entre as duas variáveis, considerando de um lado a variabilidade do clima, e de outro toda a história do desenvolvimento de uma cadeia produtiva de leite com todos os seus elementos condicionantes, historicamente, o comportamento da precipitação correlaciona-se à produção de leite na ocorrência de eventos extremos climáticos, havendo respostas evidentes desta produção ao comportamento do regime pluviométrico, durante esses eventos.

Observa-se no gráfico da Figura 9 que nos anos de 1983, 1993, 1998 e 2012 a produção de leite caiu, seguindo a curva da queda no regime de precipitação pluviométrica. Da mesma maneira, nota-se que de 2008 a 2011 as linhas de precipitação e produção exibem paralelamente o mesmo comportamento, aumentando a produtividade à medida que aumentam os índices de precipitação da região Agreste.

Figura 9 - Evolução temporal da precipitação pluviométrica e da produção de leite no período de 1974 a 2014 no Agreste pernambucano.



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Uma investigação realizada por Santos et al. (2012) aponta para um fenômeno marcante na história das secas no Nordeste, uma estiagem que se estendeu do ano de 1979 até 1983. Esse período, marcado pela ocorrência do El Niño 1982/1983, provocou intensas modificações no regime pluviométrico, causando uma estiagem considerada como uma das

mais longas e severas da história do Nordeste, onde o número de mortos foi considerado como de uma calamidade pública. Tal fenômeno pode ser facilmente observado na Figura 9, onde os baixos índices pluviométricos são refletidos em toda a região Agreste, paralelamente a uma queda na produção de leite registrada no período.

De forma geral, nos anos em que ocorrem situações de índices extremos climáticos, a resposta a essas condições expressa nas atividades humanas será mais evidente, uma vez que sua sensibilidade aos períodos de estiagem prolongada ou excesso de chuva é maior, pois embora se compreenda a variabilidade climática, não existe preparo suficiente para a ocorrência de eventos extremos.

Nesse contexto, é prudente considerar que a influência da precipitação na produção de leite no Agreste se dá especialmente em virtude da disponibilidade hídrica que proporciona o cultivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes, largamente utilizada na região semiárida por sua adaptabilidade às condições naturais e contribuindo para suprir a oferta de alimento aos animais no período de estiagem.

Figura 10 – Registro fotográfico do cultivo de palma forrageira em propriedades rurais no Agreste Pernambucano



Fonte: Werônica Meira (2016).

A Figura 10 exibe um registro do cultivo da palma forrageira para alimentação do gado em propriedades rurais de base familiar na região Agreste, demonstrando como estes produtores adaptam-se para obter bom desempenho na produção e garantir sua geração de renda. Observa-se a plantação da palma forrageira em vários terrenos de pequenas propriedades, gado leiteiro e cisternas para a captação e armazenamento da água da chuva.

Júnior et al. (2014) comenta que os fatores determinantes para o incentivo ao cultivo de palma são, entre outros elementos, a preocupação ambiental com a conservação da biodiversidade forrageira da Caatinga, a lucratividade da atividade pecuária para garantir a segurança alimentar das populações que vivem em áreas marcadas pela instabilidade climática e os indicadores de alterações climáticas previstas para os próximos anos. Expressa essa apreensão, os eventos extremos climáticos podem representar um grande desafio às possibilidades de sucesso dessa atividade, da própria pecuária e da produção de leite.

A partir dos anos 2000, como grande desafio imposto ao cultivo da palma forrageira, ocorreu avanço biológico e estabelecimento da praga Cochonilha-do-Carmim, assim descrita por Cândido et al. (2013), a praga surgiu de forma inesperada, pois a introdução da mesma no Brasil teve por finalidade primária a produção de um corante natural, o carmim, para ser usado na indústria de alimentos e de cosméticos. Existem graves indicativos de que houve a inserção errônea da espécie *Dactylopius opuntiae* ao invés da correta, *Dactylopius coccus*, com o desígnio de fabricação do corante em escala experimental.

Desde então, a palma forrageira vem sofrendo intenso ataque da Cochonilha do Carmim, traduzido pela agressividade e pela explosão populacional dessa praga. Conforme Júnior et al. (2014), as perdas de produção alcançam até 100% praticamente inviabilizando a pecuária bovina, caprina e ovina, com sérios prejuízos para o agronegócio pecuário.

Um fenômeno recente de grande expressividade nas duas variáveis expostas na Figura 11 demonstra a ocorrência de um acontecimento atípico no ano de 2012, uma queda significativa na produção de leite em razão do baixo índice de precipitação pluviométrica registrado neste ano. Essa ocorrência extrema foi comprovada a partir de variadas pesquisas científicas e retratada em várias passagens veiculadas na mídia impressa e digital.

Dados do ano de 2012 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) expõem que a forte estiagem registrada em toda a região semiárida acarretou danos expressivos na pecuária e na agricultura. As culturas de feijão e de milho apresentaram perdas superiores a 80,0%. No estado da Paraíba, estimou-se perdas de 93,5% na produção de feijão e de 95,7% no milho. No Rio Grande do Norte, perda de 89,6% na produção de feijão e de 90,1% no milho, e no Ceará as perdas foram de 87,3% no feijão e 92,2%, na cultura do milho.

Filho e Oliveira (2016), salientando que no Agreste pernambucano predomina utilização de sistemas de produção “sequeiro” (sem uso da irrigação) e a palma forrageira como fonte principal de alimento dos rebanhos, admitiram que a pluviosidade em 2012 foi muito inferior à média histórica, mostrando-se essa atividade extremamente vulnerável e evidenciando a necessidade em se realizar ajustes no modelo produtivo. Os autores comentam ainda que diante dessa realidade é preciso estruturar o suporte forrageiro nas propriedades, caso contrário, a pecuária leiteira na região continuará vulnerável às intempéries climáticas.

O Jornal do Comércio (JC) online, publicado em 06/12/2012 às 10h00, onde na matéria “Seca reduz produção leiteira”, a redatora Ângela Belfort, a partir de informações do Sindicato dos Produtores de Leite de Pernambuco (Sinproleite-PE) comenta que a seca e a perda da palma forrageira trouxeram grandes prejuízos à bacia leiteira de Pernambuco, acarretando aumento do preço do leite. Enfatizando que em dezembro do ano anterior (2011) eram produzidos 2,3 milhões de litros diários, e em dezembro de 2012, apenas 900 mil litros por dia destinados à indústria, figuram uma diminuição de quase 60%, sendo um rebanho de 500 mil cabeças de gado de leite reduzido a 300 mil.

Em outro artigo publicado pelo JC em 28/07/2015, cujo título “Os efeitos da seca foram diferentes na bacia leiteira do Ceará e de Pernambuco” reportava ao auge do período da estiagem (2012), onde o então diretor da Consultoria Leite & Negócios, Raimundo Reis, afirmava que as perdas em Pernambuco foram maiores porque, além da pouca água, o problema foi agravado pela praga da Cochonilha do Carmim (Figura 13-A), que fez os produtores de leite apresentassem uma perda significativa da palma forrageira.

Figura 11 - Fotografia – Danos da Cochonilha do Carmim em palma forrageira identificada no Agreste pernambucano durante a seca de 2012 (A), rebanho morto em pequena propriedade de Itaíba, Agreste Meridional (B)



Fonte: Jornal do Comércio (2012), Portal G1 (2013).

Nesse mesmo período, o portal de notícias G1 publicou em artigo de Patrícia Miranda que em Pernambuco a seca havia causado a morte do rebanho, derrubando em 70% a produção de leite. Nesse período, foi registrado que 200 mil animais morreram e outros 528 mil foram abatidos precocemente. Tal ocorrência impactou diretamente na renda das famílias, que não possuindo condições de manter o gado comprando ração e água, presenciaram a morte do rebanho com a falta de chuvas no Agreste pernambucano (Figura 13-B).

No referido período, Santos et al. (2012) identificaram em seu estudo de caso no distrito de Nova Iguaçu/Canindé-CE, também localizado na região semiárida do Nordeste, que a estiagem de 2012 estava tomando proporções imensas quanto as grandes secas já registradas no ano de 1777-1779 e a do ano de 1888 que ficou conhecida como “a seca dos três oitos”, o que corrobora com as informações locais disponíveis.

A partir das evidências encontradas na ocorrência de extremos climáticos, comprovadas através da análise do comportamento climático histórico na região Agreste de Pernambuco, correlaciona-se a produção de leite e a precipitação pluviométrica na área de estudo, salientando as condições climáticas extremas que anunciam essa relação. Tal dependência vem a afetar não apenas diretamente o rebanho no âmbito do conforto térmico, como a quantidade e qualidade do pasto, refletindo seus efeitos no setor industrial e na sobrevivência das famílias tradicionais de pequenos produtores.

### **4.3 Modelo de Regressão**

Como forma de comprovar estatisticamente a existência de uma correlação entre a precipitação pluviométrica e a produção de leite no Agreste do Estado de Pernambuco, foi buscada uma equação que pudesse determinar um valor percentual que melhor expressasse essa relação utilizando como suporte o software SPSS. Os modelos de regressão são modelos matemáticos que relacionam o comportamento de uma variável X com outra Y, sendo uma dependente e outra independente. A relação entre essas variáveis pode dar suporte a estudos de previsão de fenômenos, como também simular efeitos sobre uma variável em decorrência de alterações ocorridas em outra.

#### **4.3.1 Análise do modelo**

O modelo de regressão experimentou uma série de equações, buscando atrelar a variável dependente (produção de leite) e a variável independente (precipitação), para

selecionar a melhor resposta. São estes o modelo de regressão Linear, Logarítmico, Inverso, Quadrático, Cúbico, Potência, Composto, S, Logística, Crescimento e Exponencial, cujos resumos encontram-se reunidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos modelos de regressão

Modelo de regressão	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
Linear	0,194	0,038	-0,031	540,302
Logarítmico	0,173	0,03	-0,039	542,512
Inverso	0,158	0,025	-0,045	543,893
<b>Quadrático</b>	<b>0,333</b>	0,111	-0,026	538,886
<b>Cúbico</b>	<b>0,365</b>	0,133	0	532,157
Composto	0,128	0,016	-0,054	0,256
Potência	0,111	0,012	-0,058	0,257
<u>S</u>	0,1	0,01	-0,061	0,257
Crescimento	0,128	0,016	-0,054	0,256
Exponencial	0,128	0,016	-0,054	0,256
Logística	0,128	0,016	-0,054	0,256

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o primeiro modelo experimentado, de regressão linear, apresentou uma correlação estatística baixa para a variável produção de leite e precipitação, não sendo considerada utilizável para esta análise. Os valores se expressaram em R 194, o que representa um nível de correlação de cerca de 19%. Este modelo demonstrou-se eficiente na realização de estudos em ciências sociais e na área de saúde em diversos estudos, entretanto, não demonstrou eficiência no âmbito da corrente pesquisa.

O modelo de regressão Logarítmico, por sua vez, apresentou um nível de correlação ainda mais baixo, expresso em R173 (17%), resultado este insatisfatório para demonstrar os objetivos pretendidos nesta análise, assim como o Inverso, que também não adequou-se a este estudo, em virtude também de seu baixo nível de correlação, exibido em R158 (15%), pois a tentativa não exibiria respostas significativas com nível percentual tão baixo (Tabela 2).

O modelo de regressão quadrático, contudo, apresentou resposta expressiva para as variáveis consideradas neste diagnóstico. A correlação exposta em R333 apresenta uma correlação estatística de 33% entre as variáveis produção de leite e precipitação pluviométrica, podendo ser aplicada nesse contexto e servindo de suporte à promoção de estudos ou ao planejamento (Tabela 2).

Nesse sentido, cabe salientar que o apoio quantitativo de um modelo matemático pode fornecer subsídios a estruturação de propostas concisas de enfrentamento a questões desafiadoras, como as de adaptação a fenômenos cíclicos e variáveis como já pressupostos no decorrer da pesquisa.

O modelo de regressão Cúbico, assim como o quadrático, apresentou resposta satisfatória para os dados em questão, constituindo uma ferramenta utilizável e válida no contexto da pesquisa. A relação expressa em R365 destaca a melhor correlação até agora identificada, com percentual de 36%. Com isso, se pode considerar uma influência significativa da precipitação na produção de leite na região Agreste, confirmada estatisticamente.

O modelo de regressão Composto, por sua vez, não apresentou resultados utilizáveis para as variáveis analisadas. Conforme pode ser observado em R128, a correlação de 12% se mostra pouco representativa para os dados em questão, enquanto o modelo de regressão Potência expressa um resultado de R111 (11% de correlação entre os itens), não possuindo expressividade considerável no âmbito do corrente estudo.

Ainda conforme pode ser visto na Tabela 2, o modelo de regressão S apresentou resultados ainda menos animadores que os anteriores, expostos através de R10. Um nível de correlação tão baixa não atribuiria nenhuma credibilidade na análise em andamento, portanto, não deve ser considerada para estas variáveis. Similarmente, os modelos de regressão Crescimento, Exponencial e Logística não demonstraram eficácia para a correlação dos dados aqui avaliados, (12% de correlação), expressas em R128.

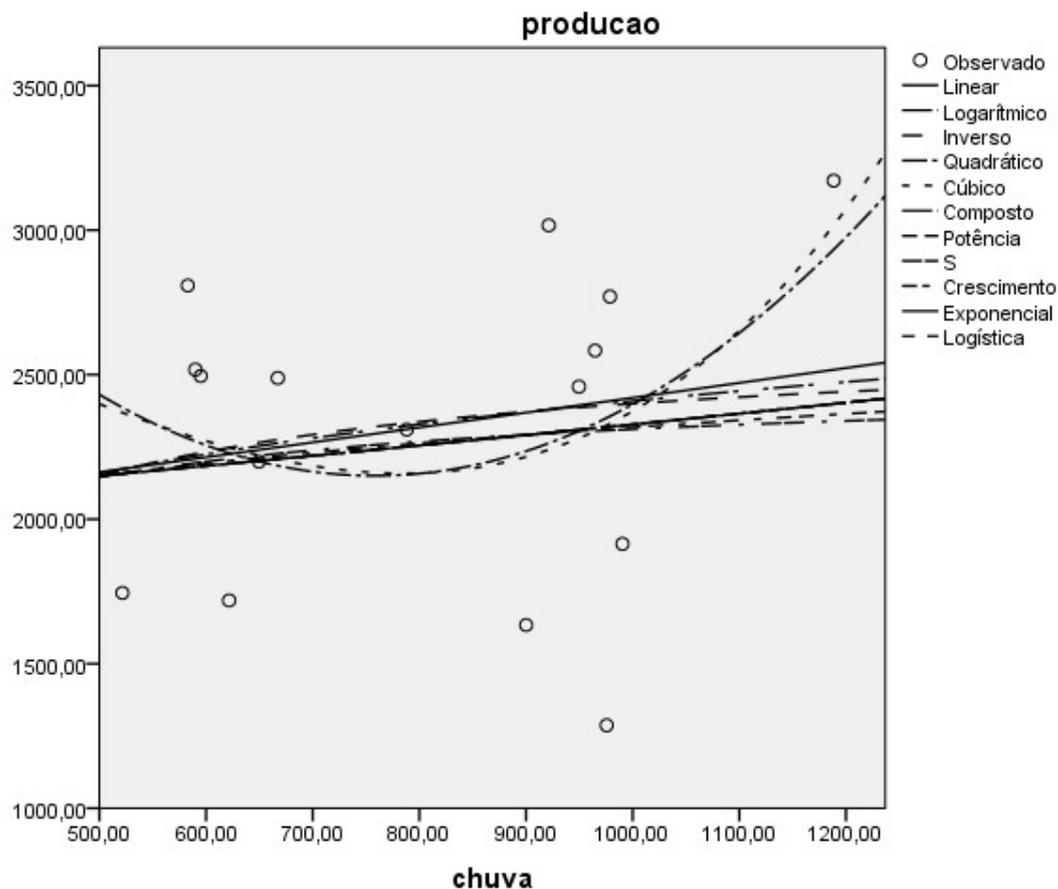
O modelo de regressão exponencial não apresentou resultados satisfatórios para as variáveis consideradas neste estudo, assim como relatado no item anterior, apresentando o mesmo resultado para R, 128, correspondendo a uma baixa relação (12%).

Assim sendo, os modelos de regressão Cúbico e Quadrático apresentaram os melhores resultados, indicando que a precipitação contribui com 36% (Cúbico) e 33% (Quadráticos) respectivamente com a produção de leite na região. É importante ressaltar que outras variáveis, como as temperaturas máxima e mínima, umidade relativa do ar e disponibilidade hídrica também devem apresentar um percentual de contribuição na produção.

### 4.3.2 Diagnóstico

Conforme já identificado, a avaliação dos modelos resultou na identificação de duas respostas expressivas para correlacionar a produção de leite ao comportamento da precipitação pluviométrica na área de estudo: estes modelos, conforme pode ser observado na Figura 12, são o quadrático (33%) e o cúbico (36%), que apresentam uma curva acentuada, diferenciando-se dos demais modelos experimentados. Estes resultados implicam na consolidação de ferramentas que podem subsidiar análises científicas e constituir estudos direcionados à adaptação da atividade ao comportamento climático em vários âmbitos.

Figura 12 – Resposta dos modelos de correlação às variáveis produção de leite e precipitação pluviométrica



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Estatisticamente, os modelos de regressão utilizáveis identificados através deste diagnóstico podem representar uma ferramenta científica de acentuada representatividade, uma vez que para a elaboração de políticas públicas, sobretudo, os métodos quantitativos se figuram um dos instrumentos substanciais para subsidiar as decisões direcionadas ao planejamento estratégico no desenvolvimento de setores produtivos. Conjecturando acerca

das possíveis elaborações de políticas direcionadas ao desenvolvimento da cadeia produtiva de leite do Agreste pernambucano, a correlação obtida neste ensaio pode ser amplamente utilizada para o fim supracitado.

#### **4.4 Cenários climáticos futuros**

Os cenários climáticos futuros para a região Agreste de Pernambuco descritos nessa seção demonstram perspectivas do comportamento das variáveis precipitação pluviométrica e temperatura média do ar para os anos de 2025 e 2055. É possível perceber a evolução destes cenários em cada microrregião do Agreste pernambucano a partir das Figuras 13 e 14, evidenciando a diversidade esperada dentro da área de pesquisa.

Tendo em vista que a previsão numérica do tempo tem sido cada vez mais utilizada como informação estratégica de planejamento para diversas áreas de atividades econômicas e sociais, através destes resultados, é possível mensurar os efeitos das variáveis climatológicas num cenário futuro, o que possibilita entre outras ações a promoção de políticas públicas direcionadas a antecipar os prováveis efeitos negativos oriundos das adversidades climáticas.

Dessa forma, o conhecimento do comportamento climático futuro materializado neste ensaio pretende-se estimular a capacidade de adaptação ao ambiente semiárido, e dentro desse processo, a garantia da coesão social no investimento e desenvolvimento das atividades locais como a produção leiteira, garantindo, sobretudo, a sustentabilidade das propriedades rurais de base familiar.

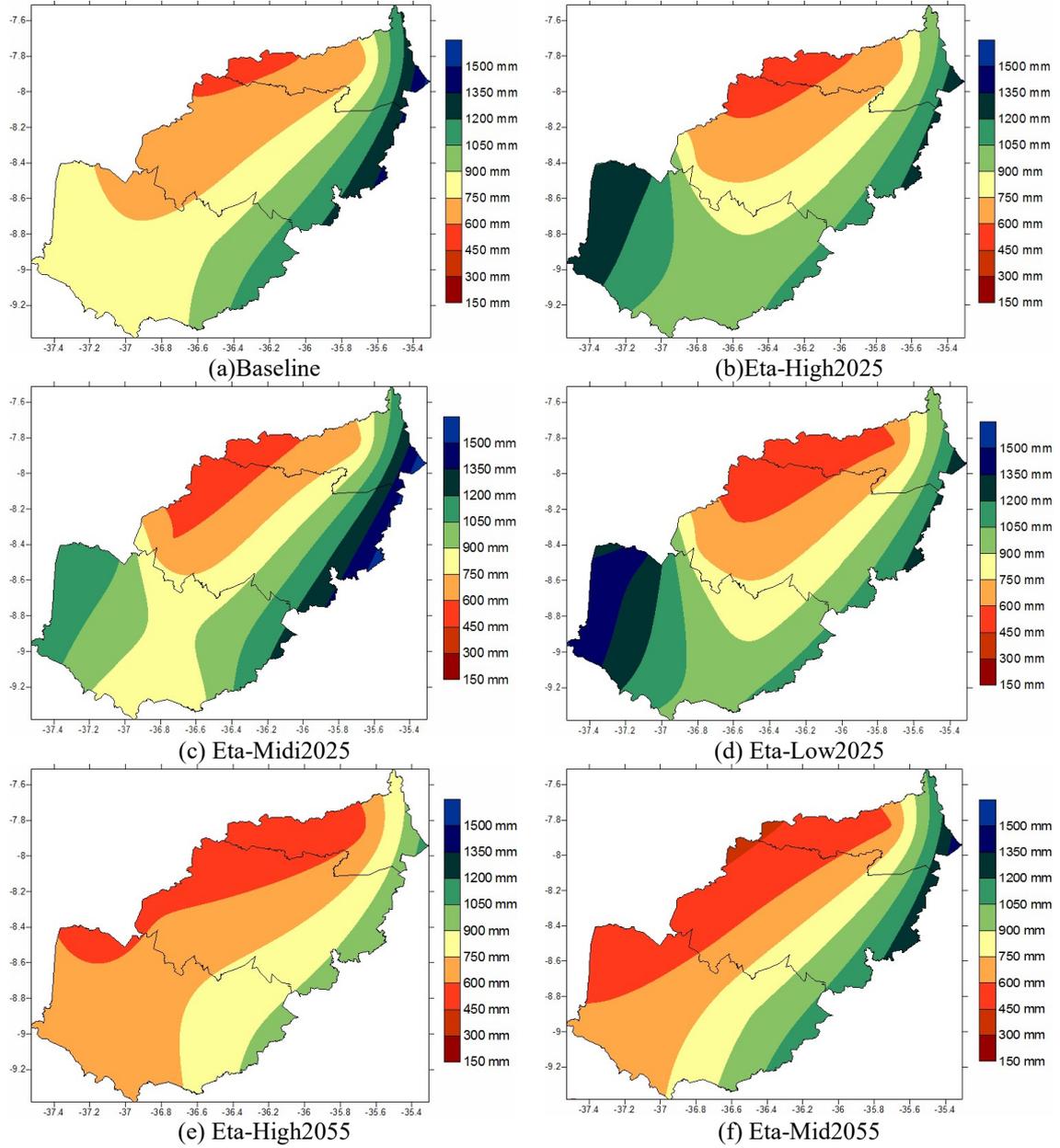
##### **4.4.1 Cenários climáticos da precipitação pluviométrica**

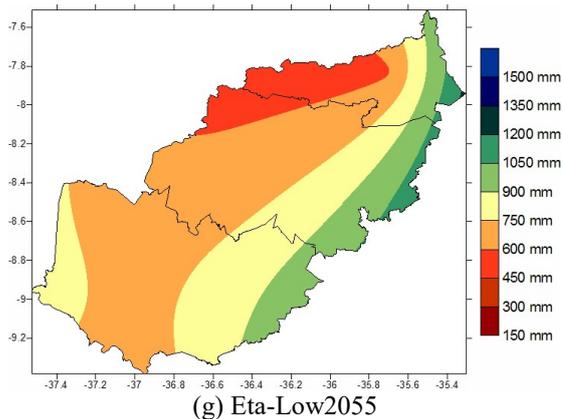
Os cenários climáticos futuros da precipitação pluviométrica para os anos de 2025 e 2055 estão reunidos na Figura 13, apresentando em (a) a Baseline, composta por dados referentes à climatologia da precipitação no período de 1960 a 1991, enquanto os cenários para o ano 2025 se apresentam em (b)Eta-High, (c)Eta-Midi e (d)Eta-low, correspondendo à alta, média e baixa sensibilidade, respectivamente, enquanto os cenários de 2055 se expressam em (e)Eta-High, (f)Eta-Midi e (g)Eta-Low, da mesma forma, alta, média e baixa sensibilidade.

Conforme apresentado a Figura 13, a Baseline (a) expressa um cenário de altos índices de precipitação em toda a parte leste dos Agrestes Meridional, Central e Setentrional de Pernambuco, chegando a 1500 mm anuais, principalmente na área de transição com a Zona

da Mata, e diminuição gradativa para 1050, 900 e 750 mm anuais à medida que se avança no sentido leste-oeste na região.

Figura 13 - Cenários climáticos da precipitação pluviométrica anual para os anos de 2025 e 2055 para o Agreste Pernambucano





Fonte: CPTEC/INPE (2016).

A área oeste do Agreste Central, representando quase metade da microrregião, o noroeste do Agreste Meridional e o oeste do Agreste Setentrional apresentam baixos índices de precipitação pluviométrica anual, em torno de 600 mm em (a) Baseline. E ainda, no noroeste dos Agrestes Setentrional e Central, cobrindo uma área relativamente pequena, estão os mais baixos índices, em torno de 450 mm (Figura 13).

Cabe salientar que as áreas em que se situam os índices mais baixos de precipitação se dão provavelmente pela proximidade com o Sertão pernambucano, uma vez que as divisões microrregionais não representam nenhum limite físico para a transição das condições naturais que, de uma região para outra. Assim, as alterações climáticas futuras previstas tendem a apontar para um aumento da interrelação entre os fenômenos das áreas de maior proximidade física, especialmente as limítrofes.

Os cenários Eta-High (b), Eta-Midi (c) e Eta-Low (d) para o ano de 2025 (Figura 13) demonstram uma tendência de aumento dos índices de precipitação no Agreste Meridional, principalmente em sua porção oeste, chegando a 1200 mm em (b), 1050 em (c) e 1350 em (d), que apresenta o cenário mais otimista para a microrregião. Os Agrestes Central e Setentrional, por sua vez, exibem alterações significativas apenas em sua porção oeste, onde ocorre a expansão da área com baixos índices de precipitação (450 mm).

Os cenários Eta-High (e), Eta-Midi (f) e Eta-Low (h) (Figura 13) para o ano de 2055 exibem perspectivas menos otimistas para a região Agreste de Pernambuco. O modelo Eta-High (e) demonstra diminuição dos índices de precipitação em toda a área Leste da região, na transição com a Zona da Mata, para 900 mm anuais, caindo já para 750, 600 e 450 mm, seguindo a direção leste-oeste.

O Eta-Midi (f) para o ano de 2055 exibe o cenário mais pessimista para a porção oeste de toda a região Agreste, com a diminuição substancial dos índices anuais de precipitação pluviométrica para 450 mm, chegando a 300 mm no extremo noroeste do Agreste Central e oeste do Setentrional. Na direção leste da região, em relação ao Eta-High (e) há certo melhoramento nos índices de precipitação, semelhantes aos expostos em na Baseline (a), de 900 a 1200 mm, evidenciando que nessa área não há grandes alterações nessa versão.

Ainda na Figura 13, o modelo Eta-Low (g) para o ano de 2055 demonstra a ampliação moderada dos baixos índices de precipitação de 450 mm no noroeste do Agreste Central e oeste do Setentrional e a expansão das médias de 600 mm anuais, já recorrentes em grande parte dos Agrestes Central e Setentrional, também para o Agreste Meridional, o que implica em uma tendência à diminuição das médias de precipitação pluviométrica. Além disso, observa-se na parte leste da região que diminui a ocorrência de altas médias de precipitação, apresentando na transição com a Zona da Mata, a área mais úmida, em torno de 900 mm e máximo de 1050 mm.

De forma geral, os cenários climáticos da precipitação pluviométrica anual para os anos de 2025 e 2055 em alta, média e baixa sensibilidade exibem um aumento muito significativo da abrangência dos baixos índices de precipitação pluviométrica (450 mm), nos Agrestes Central e Setentrional em 2025 e também no meridional em 2055, o que pode representar uma perspectiva desafiadora para o desenvolvimento da cadeia produtiva de leite do Agreste pernambucano.

O Agreste Meridional no ano de 2025 apresenta cenários bastante otimistas, com o aumento das médias de precipitação em diferentes níveis, gerando boas expectativas para o setor de produtivo. No entanto, no ano de 2055, em todos os cenários ocorre o inverso dessa previsão. A tendência é que o Agreste Meridional se torne mais seco, podendo impactar diretamente em sua produção. Da mesma forma, no ano de 2055, é percebida uma sensível diminuição das médias na porção leste das três microrregiões, expressando um cenário menos otimista em âmbito regional.

Diversas são as aplicabilidades de métodos de previsão da precipitação numérica. Em virtude disso, são crescentes os estudos aplicados utilizando variadas metodologias e diferentes ferramentas para gerar esse tipo de conhecimento. Pode-se citar Lima, Firmino e Filho (2008), que empregaram uma metodologia semelhante para avaliar a relação da precipitação pluviométrica com a ocorrência dos casos de dengue nos Estados de Alagoas e

Paraíba. Similarmente à corrente pesquisa, utilizaram um modelo atmosférico regional e modelos de regressão para avaliar este dado.

Outro estudo que expõe análises de previsão da precipitação, também utilizando o modelo regional Eta, foi aplicado a modelos de previsão semanal de vazão natural nas bacias dos rios Iguaçu, Paraná e Paranaina por Silva et. al (2010), constituindo importante elemento na tomada de decisão da gestão em recursos hídricos e agricultura desses Estados.

Do mesmo modo, a identificação do comportamento futuro da precipitação pluviométrica para o Agreste pernambucano procura direcionar as atenções da promoção de políticas públicas de combate e mitigação aos efeitos das mudanças climáticas na região, subsidiando decisões estratégicas ao desenvolvimento da cadeia produtiva de leite em todos os níveis, principalmente voltadas ao pequeno produtor.

#### 4.4.2 Cenários climáticos da temperatura média do ar

Da mesma forma que os cenários gerados para a precipitação pluviométrica, os cenários climáticos da temperatura média anual do ar apresentam-se na Figura 14 em (a)Baseline, (b)Eta-High2025, (c)Eta-Midi2015, (d)Eta-Low2025, (e)Eta-High2055, (f)Eta-Midi2055 e (g)Eta-Low2055.

Os dados de entrada expostos em (a) demonstram a ocorrência de temperaturas médias do ar em torno de 23,5° C predominantes em toda a região Agreste, abrangendo grande parte das três microrregiões. Apenas na porção leste do Agreste Setentrional, nordeste do Agreste Central e no sul do Agreste meridional apresentam-se temperaturas médias anuais de 24,5° C. Ainda, no Agreste Meridional, encontram-se localidades com temperaturas mais baixas, em torno de 21,5° C, e outras no Agreste Meridional e parte do Central, com médias de 22,5° C (Figura 14). Nota-se que a evento de temperaturas mais baixas nesses locais está atrelada ao relevo, visto que incidem em áreas de abrangência do planalto da Borborema.

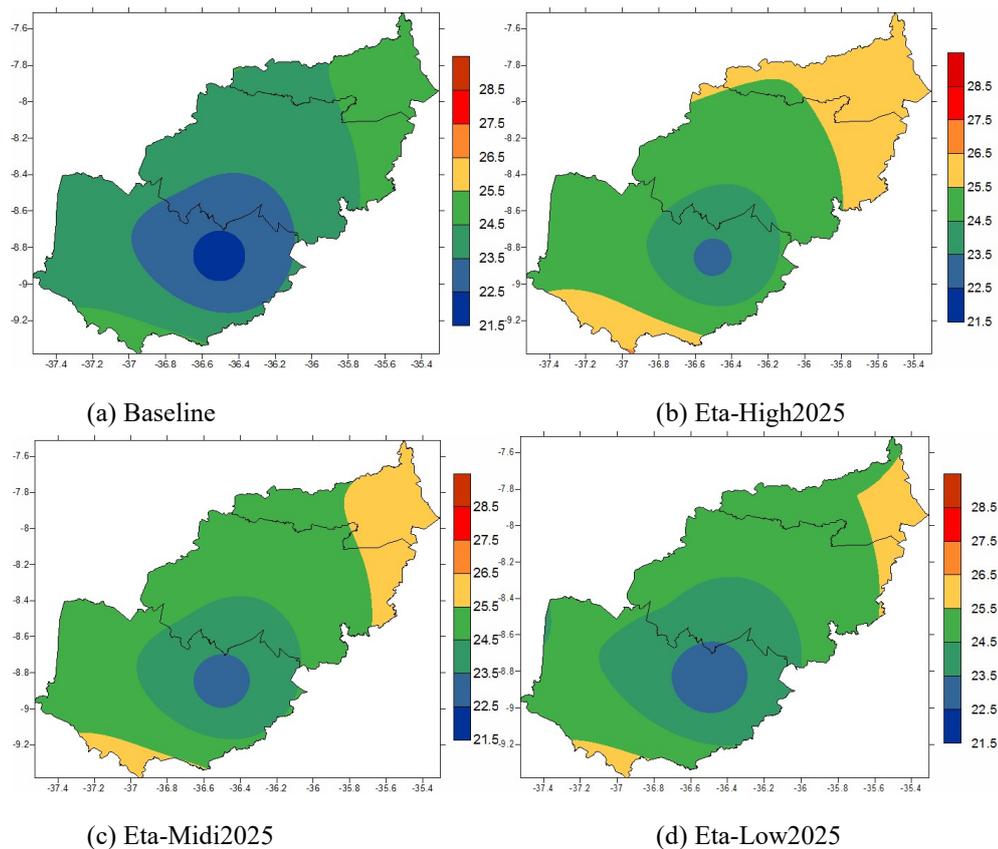
O modelos Eta-High, Eta-Midi e Eta-Low para o ano de 2025, expostos em (b), (c) e (d) respectivamente, retratam o aumento da temperatura média do ar em praticamente todas as localidades do Agreste pernambucano. Dessa forma, a porção leste dos Agrestes Central e Setentrional e extremo sul do Meridional exibem médias de 25,5° C em todas as projeções para 2025, bem como a maior parte do Agreste, que passa a demonstrar médias de 24° C.

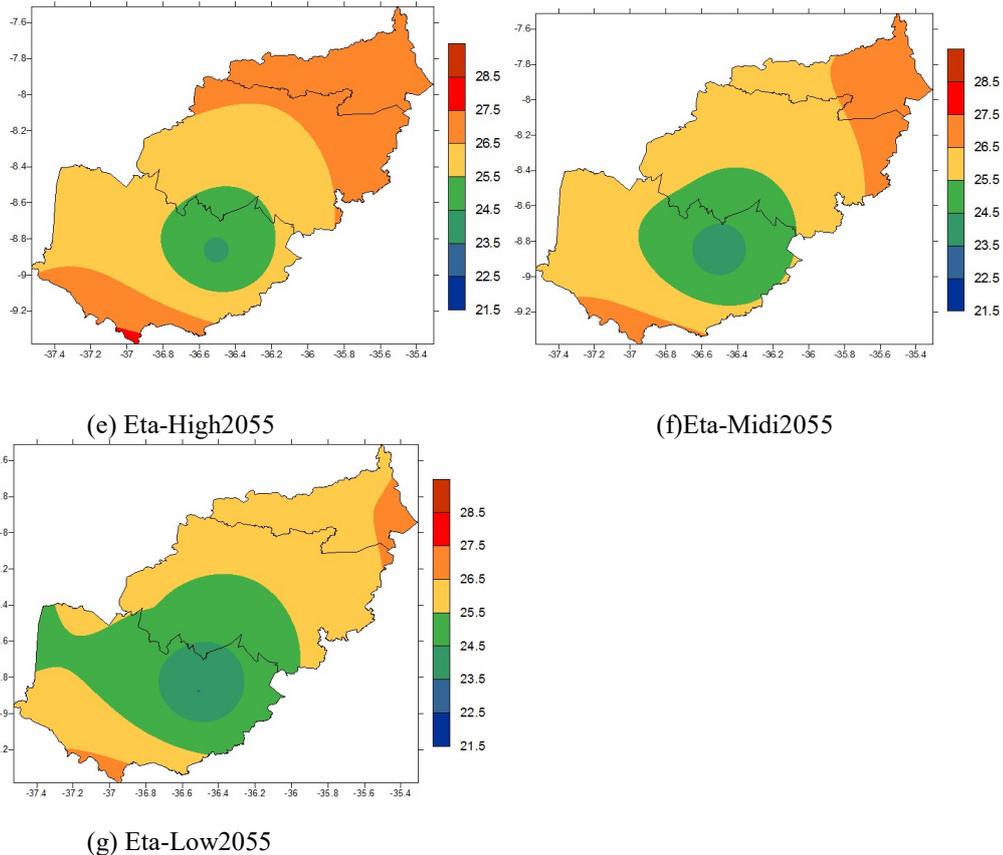
Nas áreas do planalto da Borborema, onde se encontravam temperaturas mais amenas em (a), o aumento da temperatura também se deu em torno de 1° C, sendo a média

mínima recorrente na área de 22,5° C e máxima de 23,5° C (Figura 14). Estes resultados expressam um cenário pouco otimista para o ano de 2025, com o aumento da temperatura média anual em torno de um grau para todas as microrregiões do Agreste pernambucano

Os cenários climáticos da temperatura média do ar correspondentes ao ano de 2055 expressos em (e), (f) e (g) evidenciam uma situação ainda menos otimista para o Agreste (Figura 14). O modelo Eta-High (e) exhibe temperaturas médias de 26,5°C em todo o Agreste Setentrional, no norte do Agreste Central e extremo sul do Agreste Meridional, enquanto na maior parte dos Agrestes Central e Meridional são observadas temperaturas em torno de 25,5° C. A área de ocorrência de temperaturas mais amenas, na direção nordeste do Agreste Meridional, além de diminuir visivelmente sua abrangência, demonstra um aumento de temperatura em 2° C, correspondendo a 23,5 e 24,5° C.

Figura 14 - Cenários climáticos da temperatura média do ar anual para os anos de 2025 e 2055 para o Agreste Pernambucano.





Fonte: CPTEC/INPE (2016).

Observa-se no modelo Eta-Midi (f) para 2055 a ocorrência de temperaturas médias em torno de 26,5°C apenas no extremo sul do Agreste Meridional, leste do Agreste Setentrional e nordeste do Agreste Central, enquanto nas três microrregiões predominam temperaturas médias anuais de 25,5° C. Ao mesmo tempo, notam-se temperaturas médias em torno de 23,5 e 24,5° C no nordeste do Agreste Meridional, abrangendo esta última até a parte sul do Agreste Central.

O modelo Eta-Low para 2055 exposto em (g) demonstra uma expansão da área de ocorrência de temperaturas mais amenas, passando a compreender a maior parte do Agreste Meridional e da parte sul do Agreste Central, embora essa temperatura sofra um aumento de 2° C em relação à Baseline (a), sendo então as médias de 23,5 e 24,5° C. As temperaturas médias em torno de 26,5° C ocorrem apenas no extremo leste do Agreste Setentrional e extremos sul do Agreste Meridional, mas com área de abrangência pouco significativa. Em contrapartida, as temperaturas médias anuais em torno de 25,5°C são predominantes nos Agrestes Setentrional e Central, bem como em parte do Meridional.

Silva, Guimarães e Tavares (2008) procuraram investigar a Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia - MG com modelos de séries temporais, estimando que aplicada a fatores climatológicos, a análise de séries temporais atraiam especial interesse, pois exercem

papel significativo no sucesso ou fracasso de muitos empreendimentos. Estima-se que no Agreste pernambucano esta variável também desempenhe papel crucial, sobretudo em empreendimentos de diversos níveis voltados à pecuária leiteira.

Os resultados encontrados para os cenários futuros climáticos de temperatura média do ar de 2025 e 2055 indicam a possibilidade do aumento das temperaturas médias anuais em todas as microrregiões do Agreste Pernambucano, em diversas configurações. Relacionando-os à análise dos cenários futuros da precipitação pluviométrica para o mesmo período, que também sugeriam diminuição dos índices de precipitação, tais resultados representam perspectivas desafiadoras para a região, refletindo no desenvolvimento de diversas atividades humanas, sobretudo, a produção de leite do Agreste pernambucano.

Ponderando que a temperatura média do ar pode influenciar diretamente a prática da pecuária leiteira proporcionando estresse calórico aos rebanhos quando submetidos a altas temperaturas, os resultados encontrados para os índices futuros de temperatura do ar no Agreste alertam para possíveis riscos a essa atividade, além sugerir a necessidade de aprimoramento da tecnologia aplicada ao armazenamento de água, sugere mais cuidados ao armazenamento e manejo do leite, para garantir sua qualidade e a segurança alimentar.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na análise das tendências climáticas da precipitação pluviométrica através do Climap 3.0, as médias mensais e trimestrais da precipitação indicaram grande irregularidade na distribuição do período chuvoso ao longo do ano, concentrando sua ocorrência no final do primeiro e no segundo trimestres. Os totais anuais da precipitação e o desvio padronizado, por sua vez, comprovaram a alta variabilidade anual do clima, mas a qualidade dos dados foi insatisfatória na geração do gráfico de desvio padronizado para gerar resultados concisos acerca das tendências de precipitação, que não expuseram tendências significativas. Por outro lado, os índices extremos de precipitação demonstraram, em sua quase totalidade, tendências negativas para as três microrregiões do Agreste pernambucano, apontando a diminuição da ocorrência destes índices, com a exceção do extremo sul do Agreste Setentrional, que aponta tendências positivas para Pr1.

A partir da análise dos impactos da variabilidade climática na produção de leite em escala temporal, evidenciou-se que a distribuição temporal da produção de leite na região de estudo atribui ao Agreste Meridional a maior contribuição na produção, sendo sua produtividade muito acima da média da região. Quanto à distribuição temporal da precipitação pluviométrica, em contrapartida, se expressa de forma muito semelhante nas três microrregiões, mas os Agrestes Setentrional e Meridional apresentam índices um pouco mais elevados. Há de se considerar ainda que, na ocorrência de extremos climáticos, os índices de precipitação das três microrregiões apresentam o mesmo comportamento. O modelo de regressão identificou respostas diretas do comportamento da produção à precipitação, especialmente na ocorrência de eventos extremos climáticos.

O modelo de regressão apresentou diversas equações na tentativa de correlacionar estatisticamente os dados de precipitação pluviométrica e produção de leite, de forma a materializar relações numéricas entre as variáveis. A experimentação obteve resultados significativos para os modelos cúbico e quadrático, que apresentaram os melhores resultados, indicando que a precipitação contribui com 36% (Cúbico) e 33% (Quadráticos) com a produção de leite na região. É importante ressaltar que outras variáveis, como as temperaturas máxima e mínima, umidade relativa do ar e disponibilidade hídrica também devem apresentar um percentual de contribuição na produção leiteira.

Os cenários futuros climáticos para a Região Agreste de Pernambuco nos anos de 2025 e 2055 indicaram tendências de diminuição dos índices de precipitação pluviométrica anual para as três microrregiões, com exceção do Agreste Meridional no ano de 2025, que

indica a tendência inversa. Quanto à temperatura média do ar anual, apresenta tendência de aumento em 1° em 2025 para todo o Agreste, e de 2° para 2055, sob várias configurações. De forma geral, os resultados dos cenários climáticos sugerem que a região Agreste de Pernambuco pode tornar-se mais quente e seca, representando um alerta para o planejamento futuro de desenvolvimento da cadeia produtiva de leite e quaisquer atividades humanas.

Tais evidências atentam para a ocorrência de impactos significativos na produção leiteira, expressos na redução da disponibilidade de água, afetando as reservas disponíveis para o gado e necessárias ao cultivo da palma forrageira, além de oferecer risco considerável de aumento de estresse térmico nos animais, proporcional ao aumento da temperatura do ar, reduzindo sua produtividade e eficiência e acarretando perdas sociais e econômicas significativas, sobretudo para as famílias que sobrevivem da prática dessa atividade.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Como proposição para a utilização dos dados aqui identificados, recomenda-se que no planejamento público estejam previstos o incentivo de longo prazo à adoção de tecnologias apropriadas como instrumento de desenvolvimento local, considerando as especificidades da região Agreste para adaptação às adversidades climáticas do ambiente semiárido; a inserção dos pequenos produtores nos espaços de diálogo e tomada de decisão para fortalecimento da produção de agricultura familiar; a busca por formas de produção menos impactantes ao ambiente; possibilidades de garantir o acesso das propriedades rurais às espécies de palma forrageira mais adequadas às condições de cada local em que se encontram, bem como oportunizá-las o dimensionamento proporcional desse suporte ao tamanho do rebanho; A garantia de tecnologias para formas de armazenamento de água em quantidade e qualidade suficientes para suas necessidades de produção, a partir das previsões de precipitação pluviométrica.

Para aperfeiçoar os resultados de pesquisas dessa natureza, sugere-se inicialmente o investimento no registro de dados climatológicos em longo prazo em quantidade e qualidade, a fim de subsidiar análises posteriores, onde se forneçam dados precisos para gerar análises cada vez mais fidedignas e através dos quais seja possível um nível de detalhamento apropriado para cada realidade local, considerando todas as suas especificidades.

Como proposta de investigação futura que venha a complementar esse diagnóstico, sugere-se a investigação da capacidade de adaptação do ambiente semiárido e da pecuária leiteira às condições climáticas previstas. Propõe-se também a investigação dos impactos das mudanças climáticas em cada nível de escala de produção, atentando para mais conseqüências ainda não previstas no presente diagnóstico, na tentativa de ampliar a apreensão das necessidades no contexto de cada tipo de produtor. E ainda, é preciso que existam constantes investigações sobre os recursos disponíveis para melhor adaptação às adversidades climáticas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO – CONDEPE/FIDEM. **Pernambuco em Mapas**. Recife, 2011.

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO – CONDEPE/FIDEM. **Anuário estatístico de Pernambuco**. Recife, 2012. Disponível em: <http://www.anuario.pe.gov.br/>. Acesso em: 15/07/2015.

ALMEIDA, A.A., SILVA, R.A., ARAÚJO, W.L., OLIVEIRA, A.V.B., LEITE, D.T. Problemas fitossintáticos causados pela Cochonilha do Carmin a palma forrageira no Cariri ocidental paraibano. **Revista verde**. Mossoró/RN: v6, n3, p. 98-108, dezembro de 2011.

ALMEIDA, F.F.M. et al. Províncias estruturais brasileiras. In: **Simpósio de Geologia do Nordeste**, 8. Campina Grande, Sociedade Brasileira de Geologia, 1977.

ANDRADE, M. C. **Geografia de Pernambuco: Ambiente e sociedade**. João Pessoa –PB. Editora Grafset, 2009. 35p.

ANDRADE, M. C. **Atlas escolar de Pernambuco: espaço geo-histórico e cultural**. João Pessoa: Grafset, 2003.

ANDRADE, R. O., LINS, R. C. **As áreas de exceção do Agreste pernambucano**. SUDENE/PSU/SER, 1989.

ARAÚJO, W.S., BRITO, J.I.B. Índices de tendências de mudanças climáticas para os estados da Bahia e Sergipe por meio de índices pluviométricos diários e sua relação com TSM do pacífico e atlântico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, 541-554, 2011.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BELFORT, A. Seca reduz produção leiteira. **Jornal do Comércio**. 06/12/2012, Economia, Estiagem, Pernambuco. Disponível em: <http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2012/12/06/seca-reduz-producao-leiteira-65838.php>. Acesso em: 03/09/2016, 08h53.

CALBETE, N.O.; ROZANTE, J.R.; LEMOS, C.F. Precipitações intensas ocorridas no período de 1986 a 1996 no Brasil. **Climanálise**. CPTEC, Cachoeira Paulista- SP, outubro de 1996.

CÂNDIDO, M.J.D., GOMES, G.M.F., LOPES, M.N., XIMENES, L.J.F. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. **Informe Rural Etene**. 7(3): 1-7, 2013.

CAVALCANTI, I. F.; MAREGO, J. A.; PRAKKI, S.; NOBRE, C. A.; TROSNIKOV, I.; JUNIOR, H. C. et al. Global Climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. **J. Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002. Disponível em: <[http://clima1.cptec.inpe.br/gpc/pdf/Cavalcanti\\_et\\_al\\_2002](http://clima1.cptec.inpe.br/gpc/pdf/Cavalcanti_et_al_2002) Acesso em: 01 de setembro de 2015.

CHOU, S. C. et al. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-011-1002-8, 2012.

CHOU, S. C.; NOBRE, P. Avaliação de modelos globais e regionais climáticos. In: **Base científica das mudanças climáticas**. Vol1. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Cap. 8, 2014. p.325-362.

CHOU, S. C. Modelo regional Eta. **Climanálise Especial Edição Comemorativa de 10 anos**, MCT/INPE/CPTEC. Cachoeira paulista, 1996.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Boletim de Grãos, Setembro de 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/busca.php?filtro=BOLETIM%20DE%20GRAOS>. Acesso em: 13 de outubro de 2016.

CONDEPE/FIDEM. **Plano de Desenvolvimento Sustentável Área de Influência do Município de Bom Conselho**. AGR gráfica e Editora Ltda. Recife, 2016.

CORREIA, E. Bloqueios e possibilidades para o surgimento de espaços inovativos periféricos: o caso do setor leiteiro na região de Garanhuns/ Pernambuco. **Tese** (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós -Graduação em Geografia, 2012.

CRUZ, L.V., ANGRIMANI, D.S.R., RUI, B.R., SILVA, M.A. Efeitos do estresse térmico na produção leiteira. **Revista científica eletrônica de medicina veterinária**. Ano IX, n 16, janeiro de 2011.

DAMASCENO, J. C.; TARGA, L. A. Definição de variáveis climáticas na determinação da resposta de vacas holandesas em um sistema "freestall". *Energia na Agricultura*, Botucatu, v.12, n.2, 1997. p.12-25.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de produção de leite. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Fon-tesHTML/Leite/LeiteCerrado/index.html>. 19 Fev. 2008

\_\_\_\_\_. **Competitividade da cadeia produtiva do leite em Pernambuco**. Juiz de Fora, Embrapa, 2009, 376p.

FRANÇA, V. D. J. Avaliação da metodologia de previsão de nevoeiro e visibilidade horizontal do modelo Eta. **Dissertação de Mestrado**. INPE, São José dos Campos, 2008.

FILHO, R.J.C.R., OLIVEIRA, F.Z. **Opções de produção de alimento para pecuária de Pernambuco – uso das áreas irrigadas**. SEBRAE (2016).

GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M.S.B. Aspectos climáticos da captação de água de chuva no Estado de Pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife, vol.22,Nº2, 2005.

GOMES, G. M. **Velhas secas em novos sertões**: continuidade e mudanças na economia do semiárido e dos cerrados nordestinos. Brasília, IPEA, 2001.

IBGE. **Área territorial oficial**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal>. Acesso em: 22/07/2015.

IBGE. **Atlas geográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. Indicadores IBGE: **Estatística da produção pecuária junho de 2016**. [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/abate-leite-couro-ovos\\_201601caderno.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201601caderno.pdf). Acesso em: 15/12/2016.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change – The physical science basis**. Contribution of working group I to the fourth assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Genebra, Suíça, 2001.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Summary for Policymakers. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2dez07.pdf> Acesso em: 10 de agosto de 2012, 2007.

JORNAL DO COMÉRCIO. Os efeitos da seca foram diferentes na bacia leiteira do Ceará e de Pernambuco. 28/07/2015, Caderno de Economia, Pernambuco. Disponível em: <http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2015/07/28/os-efeitos-da-seca-foram-diferentes-na-bacia-leiteira-do-ceara-e-de-pernambuco-192005.php>. Acesso em: 03/09/2016, 09h17.

- JUNIOR, J.G.B., SILVA, J.B.A., MORAIS, J.H.G., LIMA, R.N. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**. v8, n.2, p. 78-85, 2014.
- LAMB, M. C. On the development of regional climatic scenarios for policy-oriented climatic-impact assessments. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 1987.
- LIMA, E.A.L., FIRMINO, J.L.N., FILHO, M.F.G. A relação da previsão da precipitação pluviométrica e os casos de dengue nos Estados de Alagoas e Paraíba no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v23, n.3, 264-269, 2008.
- MAGALHÃES, A. R. Understanding the implications of global warming in developing regions: **The case of Northeast Brazil**. In: Schmandt, Jurgen e Judith Clarkson (ends.), 1992.
- MAGALHÃES, A. R., REBOUÇAS, O. E. Introduction: drought as a policy and planning issue in Northeast in Brazil. In: **The impact of climatic variations on agriculture**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988.
- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI. **Series Biodiversidade** No. 26, MMA, 2006.
- MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C., 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.1863. 2009.
- MEDEIROS, B.C., BARRETO, A.B., OLIVEIRA, J.D.A., ARAGÃO, M.R.S. Análise quantitativa da variabilidade da chuva em João Pessoa - PB, em várias escalas de tempo. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v8 (2015), 1748-1761.
- MIRANDA, P. Em PE, seca causa morte de rebanho e derruba 70% em a produção de leite. **Portal G1 Pernambuco**. 20/03/2013, Pernambuco. Disponível em: <http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2013/03/em-pe-seca-causa-morte-de-rebanho-e-derruba-em-70-producao-de-leite.html>. Acesso em: 03/09/2016, 10h50.
- MITCHELL, T. P., WALLACE, J. M. On the annual cycle in equatorial convection and sea-surface temperature. Submitted to **J. Climate**, 1992.
- MONTEIRO, A.A., TAMANINI, R., SILVA, L.C.C., MATTOS, M.R., MAGNANI, D.F., OVIDIO, D., NERO, L.A., BARROS, M.A.F., PIRES, E.M.F., PAQUEREAU, B.P.D., BELOTI, V. Características da produção leiteira da região Agreste do Estado de Pernambuco, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v.8, n4, p. 665-674, out/dez. 2007.

MORAES, B.C., COSTA, J.M.N., COSTA, A.C.L., COSTA, M.H. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazônica**. Vol 35(2) 2005: 207-214.

NOBRE, P. Clima e Mudanças climáticas no Nordeste. **Projeto Áridas**: Uma estratégia de desenvolvimento sustentável. Brasília: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República, 1994.

NOUVELOT, J.F. **Planificação da implementação de bacias representativas**. Recife, SUDENE/DRN, 1974.

PEGORER, M. F. Influência do estresse calórico na reprodução de vacas leiteiras de alta produção. **Tese (Doutorado em Reprodução Animal)**- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2006.

PEZZOPANE, J.E.M, NETO, S.N.O., VILELA, M.F. Risco de incêndios em função da característica do clima, relevo e cobertura do solo. **Floresta e Ambiente**. V8, n1, p. 161-166, 2011.

PINTO, H. S. et al. Variabilidade climática. In: **Água, Agricultura e meio ambiente: avanços e desafios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. V. 1, p. 1-13.

PIRES, M. F. A.; TEODORO, R. L.; CAMPOS, A. T. Efeito do estresse térmico sobre a produção de bovinos. In: Congresso Nordestino de Produção de Ruminantes. Ruminantes E Não Ruminantes, 2., 2000, Teresina. **Anais**. Teresina: Sociedade Nordestina de Produção Animal, 2000. p.87- 105.

PIRES, M. F. A. Manejo nutricional para evitar o estresse calórico, EMBRAPA, Juiz de Fora, MG, p. 1-4, Nov 2006. (Comunicado técnico, 52).

ROSSAROLLA, G. Comportamento de vacas leiteiras da raça holandesa, em pastagem de milheto com e sem sombra. 2007. 46f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Rurais – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MARENCO, J. A., NOBRE, C. A., SALATI, E., AMBRIZZI, T. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. **Sumário técnico**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio. 2007.

PRATA, L. F. **Fundamentos de ciência do leite**. São Paulo: Unesp, 1998.

SANTOS, C.A.C., MELO, M.S., BRITO, J.I.B. Tendências de índices extremos climáticos para o Estado do Amazonas e suas relações com a TSM dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.31, n.1, 1-10, 2016.

SANTOS, E., MATOS, H., ALVARENGA, J., SALES, .M.C.L. A seca no Nordeste no ano de 2012: relatório sobre a estiagem na região e o exemplo de prática de convivência com o Semiárido no distrito de Iguaçú/Canindé-CE. **Revista Geonorte**, Ed. Especial 2, v1, n.5, p. 819-930, 2012.

SEBRAE. **Cenários para o Leite e Derivados na Região Nordeste em 2020**. Recife: SEBRAE, 2013.

SILVA, B.B., FERREIRA, M.A.F., SILVA, V.P.R., FERREIRA, R.C. Desempenho de modelo climático aplicado à precipitação pluvial do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v14, n.4, p. 387-395, 2010.

SILVA, M.I.S., GUIMARÃES, E.C., TAVARES, M. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v12, n.5, p. 480-485, 2008.

SILVA, T.G.F.; MOURA, M.S.B; SÁ, I.I.S.; ZOLNIER, S.; TURCO, S.H.N.; SOUZA, L.S;B. **Cenários de mudanças climáticas e seus impactos em Estados nordestinos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol/. 14, N°8, p.863-870, 2010. Campina Grande, PB.

SIROHI, S.; MICHAELWA, A. Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. **Climatic Change**, v.100, p.120-134, 2007.

SRIKANDAKUMAR, A.; JOHNSON, E. H. Effect of heat stress on milk production, rectal temperature, respiratory rate and blood chemistry in Holstein, Jersey and Australian milking zebu cows. **Tropical Animal Health and Production**, v.36, p.685-692, 2004.

SOUZA, W. M. Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 121 f., Campina Grande-PB, 2011.

SOUZA, W. M; AZEVEDO, P. V. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 01 (2012) 143-159, Recife, 2012.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Avaliação das tendências de temperatura em Recife-PE: Mudanças Climáticas ou Variabilidade? **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 462-472, set/dez 2009.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R; TOLEDO, M. C. M. TAIOLI, F. **Decifrando a terra**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

THOMAS, C.D., CAMARON, A., GREEN, R.E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L J., COLLINGHAM, Y.C., ERASMUS, B.F.N., SIQUEIRA, M.F., GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., JAARVELD, A.S.V., MIDGLEY, G.F., MILES, L., HUERTA, M.A.O., PETERSON, A.T., PHILLIPS, O.L., WILLIAMS, S.E. Extinction risk from climate change. **Nature**, Vol. 427 (135-148), 2004. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v427/n6970/full/nature02121.html>.

TOMÉ, Ricardo Filipe Domingos. **Previsão do tempo com modelos de mesoscala: casos de estudo com modelo MM5 nos Açores**. Dissertação. Faculdade de Ciências-Universidade de Lisboa, 2004.

WALTHER, G.R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T.J.C.; FROMENTIN, J.M.; GULDBERG, O.H.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. **Nature**. International weekly journal of science. Vol 416 (2002) 389-395. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v416/n6879>.

ZHAO, Q.; CARR, F. H. A. **Prognostic Cloud Scheme for Operational NWP Models**. *Monthly Weather Review*, vol. 125, p. 1931–1953, 1997.