



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

CAIO CESAR FARIAS DIAZ

**PRECIPITAÇÃO E PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ-PE: VARIABILIDADE ANUAL E
INTERANUAL**

RECIFE
2017

CAIO CESAR FARIAS DIAZ

**PRECIPITAÇÃO E PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ-PE: VARIABILIDADE ANUAL E
INTERANUAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Ranyére Silva Nóbrega

RECIFE
2017

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

D542p Diaz, Caio Cesar Farias.
Precipitação e produtividade agrícola na bacia hidrográfica do Rio
Pajeú-PE : variabilidade anual e interanual / Caio Cesar Farias Diaz. –
2016.

139 f. : il. ; 30 cm.

Orientador : Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2016.

Inclui Referências e anexos.

1. Geografia. 2. Agricultura de regiões áridas. 3. Climatologia agrícola.
4. Mudanças climáticas. 5. Irrigação agrícola. 6. Precipitação
(Meteorologia) – Variabilidade. 7. Agricultura irrigada. I. Nóbrega,
Ranyére Silva (Orientador). II. Título.

918 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2017-164)

CAIO CESAR FARIAS DIAZ

**PRECIPITAÇÃO E PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ-PE: VARIABILIDADE ANUAL E
INTERANUAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 17/02/2017.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Hernani Loebler Campos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Werônica Meira de Sousa (Examinador Externo)
Universidade Estadual de Campinas

"Eu acredito que talento é primeiramente a habilidade de agarrar
a chance e ter calma suficiente para aprender com seus erros"

(Sugie, Shigeru)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, soberano do universo, a meus pais Emílio e Nieve e ao meu irmão Vantuir por sempre estarem comigo nessa empreitada cheia de desafios.

Ao meu orientador Ranyére Nóbrega, por sempre dar aquela norteadada e me ajudar a trilhar meus passos na academia.

Aos meus amigos Sillas e Rafael, por darem aquela quebra de gelo no cotidiano monótono de cada dia e aos meus colegas de curso de japonês Phillip e Luana, por me ajudar a crescer, em paralelo, rumo a um sonho possível.

A Danielle Ferreira, que me ajudou em algumas questões referentes ao trabalho e cuja dissertação é a base desta.

A Andrezza, por ser meu oráculo e me dar conselhos cruciais para realização deste trabalho e de outras questões acadêmicas e a Iwelton, por contribuir com relevantes discussões e me ajudar a definir opiniões acerca de várias questões sociais e sobre a vida.

A Luciana, pois me ajudou bastante nos últimos dois anos (<3) e aos colegas de grupo de pesquisa, pois sem eles não há grupo e sem grupo não há união.

E finalmente a todos que de alguma forma contribuíram para todas as minhas conquistas até aqui.

RESUMO

A maior parte da renda nos municípios do sertão pernambucano vem da agricultura em virtude das atividades agrícolas desenvolvidas no semiárido que é feita, majoritariamente, em sequeiro sendo, portanto, esse tipo de atividade altamente dependente da precipitação que ocorre na região. O objetivo principal deste trabalho foi, portanto, analisar a influência da variabilidade da precipitação sobre a produtividade agrícola na bacia hidrográfica do rio Pajeú. Foram utilizados para realização da pesquisa, métodos estatísticos aplicados não apenas na precipitação nas mais diversas escalas temporais, como também na produtividade agrícola anual de mandioca, milho, feijão e banana e em anomalias de temperatura da superfície do mar no Pacífico e Atlântico. Percebeu-se que a precipitação tem maior influência nas produtividades de mandioca e banana e menor influência nas produtividades de milho e feijão. As anomalias de pressão e TSM no Pacífico e Atlântico mostraram ter influências específicas em determinadas regiões do Pajeú ditando o deslocamento e intensidade dos sistemas atmosféricos. A precipitação e a produtividade apresentaram padrões com diferentes níveis de definição ao longo do tempo de acordo com a cultura estudada e percebeu-se que o potencial de previsibilidade da produtividade agrícola usando a precipitação para os padrões adotados na pesquisa foi satisfatório, porém, com alguns erros que podem ser vitais para a qualidade de previsão para até 10 anos.

Palavras-chave: Precipitação. Agricultura de sequeiro. Agricultura irrigada. Semi-árido. Anomalias climáticas. IOS.

ABSTRACT

The majority of income at the counties of the pernambucan semiarid arrive of agriculture because of agricultural activities developed in semiarid that have been done in dry farming being, therefore, highly dependent of precipitation that happens in the region. The main aim of this research was analyze the influence of precipitation variability over the agricultural productivity in Pajeu River basin. Were used to realization of the research, statistical methods applied not only to rainfall in otherwise time scales, as also in yearly agricultural productivities of cassava, corn, bean and banana and also in sea surface temperature anomalies in Pacific and Atlantic oceans. Figured out that rainfall engage major influences in productivities of cassava and banana and minor influences in productivities of corn and bean. Pressure and SST anomalies of Pacific and Atlantic oceans showed to have specific impacts in certain Pajeu regions looking to control the movement and intensity of the main atmospheric systems of Nordeste. Rainfall and productivity presented standards with different levels of definition over time according with the culture researched and figured out that the potential of predictability of the agricultural productivity using rainfall to the adopted standards in the researches was satisfied, however, with some errors that can be relevant to the quality of the forecasting until 10 years.

Keywords: Rainfall. Dry farming. Irrigated agriculture. Semiarid. Climate anomalies. SOI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Atuação de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o NEB em 16/12/2016.....	25
Figura 2 - Baixa da zona de convergência intertropical atuante sobre o Norte do NEB em 17/03/2016.....	28
Figura 3 - Regiões de ocorrência do fenômeno ENOS no Oceano Pacífico.....	34
Figura 4 - Localização e hipsometria da Bacia do Rio Pajeú.....	48
Figura 5 - Precipitação média anual da bacia do Rio Pajeú entre 1994 e 2014.....	58
Figura 6 - Série temporal e média do trimestre chuvoso na bacia do rio Pajeú.....	60
Figura 7 - Precipitação média durante o período chuvoso (janeiro a maio) entre 1994 e 2014.....	61
Figura 8 - Série temporal e média do trimestre seco na bacia do rio Pajeú.....	63
Figura 9 - Precipitação média durante o período seco entre 1994 e 2014.....	64
Figura 10 - Média histórica trimestral da precipitação entre os meses de janeiro, fevereiro e março (a); abril, maio e junho (b); julho, agosto e setembro (c); e outubro, novembro e dezembro (d).....	66
Figura 11 - Diferença entre os acumulados médios trimestrais de precipitação.....	66
Figura 12 - DEM para os municípios de Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d).....	67
Figura 13 - DEM mensal dos municípios de Itapetim (e), Mirandiba (f), São José do Belmonte (g), Serra Talhada (h) e Triunfo (i).....	68
Figura 14 - DEM sazonal dos municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta.....	69
Figura 15 - DEM sazonal dos municípios de Itapetim, Mirandiba, São José do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.....	70
Figura 16 - Aspectos da produção agrícola de mandioca em Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Itapetim.....	71
Figura 17 - Aspectos da produção agrícola de mandioca em S. Jose do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.....	72

Figura 18 - Aspectos da produção agrícola de milho em Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta.....	73
Figura 19 - Aspectos da produção agrícola de milho em Itapetim, Mirandiba, S. Jose do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.....	74
Figura 20 - Aspectos da produção agrícola de feijão em Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta.....	75
Figura 21 - Aspectos da produção agrícola de feijão em Itapetim, Mirandiba, S. Jose do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.....	76
Figura 22 - Aspectos da produção agrícola de banana em Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta.....	77
Figura 23 - Aspectos da produção agrícola de feijão em Itapetim, Mirandiba, S. Jose do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.....	78
Figura 24 - Valores de F (ANOVA) para mandioca, milho, feijão e banana na bacia do Pajeú.....	81
Figura 25 - Dados de produtividade original (y) e corrigidos (y ajustado) para a mandioca nos municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Itapetim.....	84
Figura 26 - Dados de produtividade original (y) e corrigidos (y ajustado) para a mandioca nos municípios São José do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.....	84
Figura 27 - Dados de produtividade original (y) e corrigidos (y ajustado) para a banana nos municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta.....	85
Figura 28 - Dados de produtividade original (y) e corrigidos (y ajustado) para a banana nos municípios de Itapetim, Mirandiba, São José do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.....	86
Figura 29 - Coeficiente R para a mandioca na bacia hidrográfica do rio Pajeú.....	88
Figura 30 - Coeficiente R para o milho na bacia hidrográfica do rio Pajeú.....	89
Figura 31 - Coeficiente R para o feijão na bacia hidrográfica do rio Pajeú.....	91
Figura 32 - Coeficiente R para a banana na bacia hidrográfica do rio Pajeú.....	92
Figura 33 - Correlação entre a precipitação e a produtividade da mandioca.....	95

Figura 34 - Correlação entre a precipitação e a produtividade do milho.....	97
Figura 35 - Correlação entre a precipitação e a produtividade de feijão durante os meses de janeiro, fevereiro e março (a) e abril, maio e junho (b).....	99
Figura 36 - Correlação entre a precipitação e a produtividade de banana.....	100
Figura 37 - Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola da mandioca em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Itapetim (d).....	102
Figura 38 - Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola da mandioca em São José do Belmonte (e), Serra Talhada (f) e Triunfo (g).....	102
Figura 39 - Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (AMJ) e produtividade agrícola do milho em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d), Itapetim (e), Mirandiba (f), São José do Belmonte (g), Serra Talhada (h) e Triunfo (i).....	104
Figura 40 - Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola do feijão em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d).....	106
Figura 41 - Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola do feijão em São José do Belmonte (e), Serra Talhada (f) e Triunfo (g).....	106
Figura 42 - Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (AMJ) e produtividade agrícola do feijão em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d).....	108
Figura 43 - Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (AMJ) e produtividade agrícola do feijão em São José do Belmonte (e), Serra Talhada (f) e Triunfo (g).....	108
Figura 44 - Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola da banana em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d), Itapetim (e), Mirandiba (f), São José do Belmonte (g), Serra Talhada (h) e Triunfo (i).....	110
Figura 45 - Correlação entre os dados de IOS (atraso de 3 meses) e a precipitação mensal sobre a bacia do Rio Pajeú.....	113
Figura 46 - Correlação entre os dados de temperatura do Niño 3 (atraso de 3 meses) e a precipitação mensal sobre a bacia do Rio Pajeú.....	115
Figura 47 - Correlação entre os dados do dipolo do Atlântico tropical e a precipitação mensal sobre a bacia do Rio Pajeú.....	117

Figura 48 - Dados de produtividade estimada com base na precipitação e observada de mandioca em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c), Itapetim (d), São José do Belmonte (e), Serra Talhada (f) e Triunfo (g).....	119
Figura 49 - Precisão da previsão de produtividade da mandioca utilizando raiz do erro médio quadrático e erro médio absoluto.....	121
Figura 50 - Dados de tendência para a produtividade estimada da mandioca.....	122
Figura 51 - Correlações entre a produtividade estimada e observada de mandioca para os anos de 2005 a 2014.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Média anual de precipitação dos municípios pesquisados.....	58
Tabela 2	- Precipitação durante o período chuvoso entre 1994 e 2004.....	59
Tabela 3	- Precipitação durante o período chuvoso entre 1994 e 2014.....	62
Tabela 4	- Teste de Duncan para a produtividade de mandioca.....	81
Tabela 5	- Teste de Duncan para a produtividade de feijão.....	81
Tabela 6	- Teste de Duncan para a produtividade de banana.....	82
Tabela 7	- valores do coeficiente de determinação R	87
Tabela 8	- Valores de coeficiente de correlação para os trimestres mais bem correlacionados em cada cultura.....	93

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

NEB	Nordeste Brasileiro
ENOS	El-Niño Oscilação Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
FUNCEME	Agência cearense de Meteorologia
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
NCEP	National Center of Environmental Prediction
ANOVA	Analysis of Variance
IOS	Índice de Oscilação Sul
NOAA	Nacional Oceanic and Atmospheric Administration
ATSM	Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Changes
MIT	Massachusetts Institute of Technology
SPI	Standard Precipitation Index
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
hPa	hecto Pascal
PMN	Pressão ao Nível do Mar
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OAN	Oscilação do Atlântico Norte
DOI	Dipolo Oceânico do Índico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
PROMATA	Programa de Apoio ao Desenvolvimento Sustentável da Zona da Mata de Pernambuco
ANA	Agência Nacional de Águas
IAC	Índice de Anomalias de Chuva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivos geral e específico	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	A agroclimatologia	18
2.2	Sistemas atmosféricos (VCAN e ZCIT)	23
2.2.1	VCANs.....	24
2.2.2	ZCIT.....	27
2.3	Anomalias climáticas (acoplamento oceano-atmosfera)	30
2.4	Principais características das culturas agrícolas	39
2.4.1	Mandioca.....	40
2.4.2	Milho.....	41
2.4.3	Feijão.....	43
2.4.4	Banana.....	45
3	MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1	Caracterização geral da área	47
3.2	Dados	49
3.3	Procedimentos metodológicos	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	Caracterização da precipitação e da produção agrícola sobre a bacia hidrográfica do Rio Pajeú	57
4.2	Relações precipitação x produtividade agrícola	82
4.3	Padrões anômalos de precipitação, desvios de produtividade agrícola e anomalias climáticas	101
4.4	Potencial de previsibilidade para a produtividade da mandioca	118
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
	REFERÊNCIAS	129
	ANEXO A – VALORES CRÍTICOS DE R e r	137
	ANEXO B – VALORES CRÍTICOS DE t	138
	ANEXO C – VALORES CRÍTICOS DE F	139

1 INTRODUÇÃO

Os estudos do clima, em todas as suas instâncias, datam de milênios, desde antes de Aristóteles, aos dias atuais. Na Idade Antiga, os impactos climáticos mais evidentes eram relacionados ao campo, como questões de secas prolongadas que afetavam as lavouras e o pasto e conseqüentemente afetavam negativamente o abastecimento alimentar dos próprios camponeses produtores como também das pessoas das cidades-estados da época. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), nos primórdios da humanidade, o conhecimento sobre a atmosfera era muito pobre, assim como o era, de maneira geral, todo o conhecimento humano naquela época.

As adversidades no clima podem ser causadas por mudanças antropogênicas ou naturais. As alterações climáticas de origem antropogênica são causadas pela ação do homem no meio físico e, de um modo geral, são irreversíveis e apresentam escala de extensão variando de pequena até a meso-escala. Quanto às alterações de origem natural, estas podem variar sua extensão da meso à grande escala e estão relacionadas com a circulação geral da atmosfera (enchentes, secas, etc.), além de estarem associadas com eventos climáticos extremos (FERREIRA, 2005).

Dentre as variáveis que compõem o clima na Terra a que apresenta maior vínculo com o ser humano, de fato, é a precipitação (seja ela em estado líquido ou sólido), uma vez que a mesma não se apresenta de forma contínua e onipresente no globo e o homem demanda fortemente dela, fazendo com que sua presença/ausência seja continuamente notada. Molion e Bernardo (2002), afirma que a precipitação é a variável climatológica mais importante nos trópicos e que sua facilidade de manuseio faz com que também se torne difícil de ser observada e estudada com precisão, uma vez que apresenta erros instrumental, de exposição e de localização.

A variabilidade da precipitação constitui-se como um fator climático primordial para o gerenciamento e manutenção das atividades agrícolas de forma que qualquer perturbação de ordem anômala que possa afetar o regime natural das chuvas, seja ela em qualquer escala (desde mensal até multidecadal), impacta de forma incisiva na agricultura, ainda que hoje em dia, a tecnologia tenha avançado de forma a amenizar tais impactos. Segundo Coral, *et al.* (2005), as conseqüências de situações meteorológicas adversas levam constantemente a graves impactos sociais, acarretando prejuízos econômicos significativos que podem ser difíceis de serem quantificados. O tempo afeta qualquer região e mesmo nas áreas mais preparadas, com maior disponibilidade de mecanismos tecnológicos é capaz de produzir enormes danos econômicos.

No Brasil e, sobretudo, no semiárido brasileiro existem as lavouras permanentes, voltadas para culturas perenes e que mantêm sua produção durante o ano (geralmente relacionada a fruteiras ou árvores frutíferas) e as lavouras temporárias, que são voltadas para espécies de plantas que mantêm sua produção durante um curto período. Devido à importância da agricultura na vida das famílias na região Semiárida do Nordeste do Brasil, é fundamental a adoção de técnicas que aumentem a produtividade do cultivo. Uma boa estratégia é escolher a época ideal ao plantio. Segundo Amorim Neto, Araújo e Beltrão (2001), a época da sementeira refere-se ao período do ano mais propício para o início de cultivo de uma espécie vegetal. Deve-se observar com cautela a época de plantio, evitando o baixo índice de germinação nas culturas e retardamento no crescimento inicial. A época de plantio tem sido uma importante estratégia de convivência com as pragas (Morales, 2002).

As lavouras temporárias abarcam grande importância no Nordeste brasileiro e quando não submetidas a um eficiente sistema de irrigação, respondem muito facilmente a variabilidade do clima, principalmente no que consta a precipitação, seja em sua falta ou em seu excesso. Ferreira, *et al.* (2008) afirma que a escassez de chuva durante longos períodos do ano e a distribuição irregular das precipitações pluviais faz parte do cenário climático do Nordeste brasileiro, resultando em risco da atividade agrícola, associado a dificuldades de plantio em épocas adequadas.

No caso do Nordeste, é mais frequente a associação da escassez de chuva como fator natural para problemas de produção agrícola do que o excesso atrelado a intensidade de um evento agudo de precipitação. Esse déficit de chuvas no Nordeste, quando intensificado, é facilmente associado a eventos de anomalias climáticas. Kayano e Andreoli (2009, p. 218) apontam que as variações interanuais de precipitação no NEB têm, em associação, anomalias de outros elementos meteorológicos na região e em outras regiões do globo, relacionados a sistemas dinâmicos da circulação atmosférica e entre estes, o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é apontado como um dos principais fenômenos responsáveis por tais flutuações.

Uvo *et al.* (1998) mostram que estudos prévios têm identificado relações entre a variabilidade da precipitação sobre o Nordeste brasileiro com eventos de ENOS, variação da temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico, mudança nos ventos e na pressão ao nível do mar, na posição da ZCIT (Zona de convergência intertropical) sobre o oceano Atlântico e as frentes frias. De forma conjuntural, a dinâmica atmosférica atrelada aos eventos anômalos de variação térmica identificados nos oceanos Pacífico e Atlântico, ajudam a perfilar o cenário agrícola na região do semiárido, sobretudo na área de estudo em questão, a bacia do rio Pajeú.

Tendo em vista o cenário atual do Nordeste no aspecto climático, a bacia do Pajeú vem sendo amplamente estudada. Destacam-se do ponto de vista climatológico, os estudos de Ribeiro *et al* (2015), que fizeram um estudo espaço-temporal da variabilidade pluviométrica no Pajeú e Lacerda *et al.* (2009), que pesquisaram a frequência de eventos extremos de precipitação face às mudanças climáticas na bacia do rio Pajeú.

1.2 Justificativa

A bacia do rio Pajeú além de ser a maior de Pernambuco, apresenta culturas importantes para o sertão como a do algodão herbáceo da cana-de-açúcar, do milho, do arroz, etc. Atualmente o rio encontra-se bastante degradado, face as variadas atividades ao qual ele está vinculado e as secas recorrentes. Estudar as influencias e os impactos proporcionados pela variabilidade pluviométrica interanual nas diversas culturas praticadas na região em questão é fundamental para auxiliar no planejamento da produção agrícola de uma forma geral. Portanto, esperam-se obter informações que possam subsidiar um melhor planejamento agrícola em face às flutuações climáticas e conseqüente redução de prejuízos relevantes a produtividade da região.

1.3 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral da pesquisa foi analisar a influência da precipitação sobre a produtividade agrícola na bacia hidrográfica do rio Pajeú.

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- Avaliar a variabilidade pluviométrica e da produtividade agrícola entre os municípios estudados;
- Analisar a influência de anomalias climáticas sobre a precipitação e a produtividade das culturas de milho, feijão, mandioca e banana dentro da bacia partindo da base de dados do IBGE;
- Investigar o potencial de previsibilidade da produtividade visando descrever o comportamento da produtividade através da precipitação observada e/ou estimada na área de estudo em questão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A agroclimatologia

Ao longo do século XX, por conta dos grandes avanços tecnológicos a que o mundo galgava, havia-se uma grande demanda por estudos que tinham como objetivo o monitoramento ambiental. O entendimento dos fenômenos naturais na época estavam se tornando imprescindíveis, uma vez que a população mundial junto aos meios de comunicação crescia fortemente. Assim a demanda alimentícia também estava crescendo em grandes proporções.

Com isso, uma gama de trabalhos com o objetivo de entender eventos climáticos extremos que afetam, entre outros setores, a agricultura, tem sido produzidos. Rose (1936) que era da escola de Chicago, trabalhou com intercorrelações entre a chuva e a temperatura no cinturão do milho nos Estados Unidos. Apesar de ter sido um ensaio, o trabalho constituiu-se como uma proeminente pesquisa que dava ênfase na aplicação de métodos estatísticos em variáveis climáticas para a gestão de abastecimento.

Anos mais tarde, McGuire e Palmer (1957), estudaram a seca de 1957 que atingiu o leste dos Estados Unidos. Dentre as variáveis físicas estudadas, cita-se precipitação mensal, umidade do solo, escoamento superficial estimado e vazão. Eles identificaram que a seca na região durou de abril a agosto, tendo junho e julho como os meses mais severos. Eles destacaram no trabalho que as condições das colheitas para cada estado afetado variaram, onde ora a seca não chegou a afetar de forma tão agressiva em algumas áreas, porém em outras houveram severos impactos nas colheitas.

Muitas vezes, a utilização de modelos de previsão agroclimatológica são necessários quando uma dada região agrícola se encontra a pleno risco de quebra de safra face a mudanças anômalas no regime pluviométrico e até mesmo nos padrões termais da região, bem como dos padrões de outras variáveis. O conhecimento prévio das safras agrícolas torna-se cada vez mais uma questão estratégica para o país, seja para o planejamento do abastecimento interno, seja para a orientação das ações referentes ao mercado externo. A produtividade envolve vários fatores como insumos, avanços técnicos, fatores biológicos e climáticos, na qual esse último é fundamental, podendo ser bem caracterizado através de modelos agrometeorológicos (DOS SANTOS e CAMARGO, 2006).

Assad *et al.* (2003) compararam métodos de espacialização de modelos numéricos, ou seja, métodos geoestatísticos de índices agrometeorológicos avaliando assim sua variação

espacial e gerar assim uma otimização de mapas de riscos climáticos na cultura de milho no estado de São Paulo. Interessante que neste trabalho, preocupou-se em utilizar a variação temperatura do ar para estimar os modelos apresentados, já que este influi de forma efetiva nos plantios de milho, fato que não ocorre no sertão, uma vez que a temperatura do ar não apresenta uma variação marcante na região.

Camargo *et al.* (2005), testou um modelo agrometeorológico para previsão da produtividade do café no Estado de São Paulo. Foram identificados os períodos com maior quebra de safra, o modelo apresentou um bom grau de exatidão e precisão, os erros na estimativa foram leves com pequenas subestimativas e superestimativas culminando assim em uma conjuntura de resultados que indicam um bom desempenho do modelo para tal fim.

O mesmo trabalho foi, a posteriori, aprimorado em Dos Santos e Camargo (2006) onde foi feita uma modificação e calibração do modelo para o café visando considerar também, segundo eles, os efeitos da produtividade do ano anterior e de temperaturas adversas. Este trabalho também utilizou coeficientes e índices estatísticos para avaliar a precisão, exatidão e a associação entre os dois itens, do modelo agrometeorológico proposto após sua modificação e calibração. Eles identificaram para as regiões cafeeiras em estudo, que de forma geral houveram boas relações estatísticas entre os resultados do modelo e os dados observados, erros sistemáticos baixos com leve superestimação em duas das quatro regiões, mostrando assim que o modelo com as modificações feitas parece ser consistente para desempenhar estimativas de produtividade do café no estado de São Paulo.

Sob o espectro da realidade do Nordeste, sabe-se que a maioria das atividades agrícolas é conduzida por pequenos e médios agricultores, podendo eles, fazerem parte da agricultura familiar e/ou campesina. De forma majoritária, esses agricultores são responsáveis pelo abastecimento alimentício (em várias escalas), de uma determinada região. Cultivos como leguminosas (feijão, fava), tubérculos (mandioca, inhame, macaxeira), milho e diversas fruteiras são amplamente cultivadas pelos pequenos e médios agricultores.

O fato é que a agricultura familiar e camponesa no Nordeste ainda é bastante vulnerável as variações e anomalias climáticas, face a pouca tecnificação e aparelhamento agrícola utilizado no gerenciamento das lavouras. Adamgbe e Ujoh (2013) citam que as atividades e operações que são mais frequentemente citadas como as mais afetadas pela variabilidade climática são a agricultura, áreas florestais, hidrologia e pesca. Vale, portanto, a assertiva de Silva, Prela-Pantano e Sant'Anna Neto (2008) quando afirmam que:

As atividades agrícolas dependem da distribuição da vegetação natural, das culturas e das diferentes atividades agrícolas, pois quanto melhor

for o conhecimento que se tem das condições ambientais que prevalece numa região, mais apto se estará para a seleção das culturas mais adequadas, das melhores épocas de plantio/semeadura, das melhores variedades, dos sistemas de cultivo mais racionais, buscando sempre uma agricultura mais produtiva (SILVA, PRELA-PANTANO e SANT'ANNA NETO, 2008).

Muitos são os problemas já encarados por agricultores familiares no Nordeste e Norte do Brasil. Especialmente aqueles relacionados a pobreza e seus efeitos: problemas com a ocupação da terra, mobilização da população, incluindo migração para as cidades, fragmentação da ocupação da terra, analfabetismo, interrupção na difusão do conhecimento, degradação ambiental causada por pela população e pobreza, monoculturas ou agricultura de subsistência, e problemas de saúde que reduz a oferta de trabalho doméstico e capacidade para produção de alimentos. As atuais vulnerabilidades sociais dessas populações provavelmente podem aumentar se os esperados impactos de mudanças ocorrerem nessas regiões (FILHO, 2015).

Por isso, é dada relevância a estudos climáticos que envolvem o melhor entendimento do desenvolvimento de culturas agrícolas sujeitas a impactos negativos provindos do clima dentro do Nordeste, em especial, no semiárido. Cordão *et al.* (2006) trabalharam com culturas no semiárido, mais especificamente com a cultura da banana no Ceará e propuseram uma metodologia para determinar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura da banana, baseada em cálculos estatísticos e em índices para obtenção do fluxo de calor latente, calor sensível e saldo de radiação.

Ferreira, *et al.* (2008), estudaram o consumo relativo de água do feijão-caupi e do milho através do índice de satisfação de necessidade de água (ISNA) em Teresina-PI, sob dois sistemas de cultivo, solteiro e consorciado e foi identificado que há maior exigência hídrica e maior demanda de evapotranspiração no sistema de cultivo consorciado, enquanto que nos cultivos de solteiro os maiores valores de ISNA para as duas culturas estudadas.

Já Moura *et al.* (2011) estudaram o crescimento do cultivo de feijão (caupi) e milho no semiárido brasileiro através de três modelos de crescimento para dois tipos de sistemas de plantios de forma experimental. Eles utilizaram métodos estatísticos de precisão e exatidão, entre outros, com a finalidade de avaliar o desempenho dos modelos utilizados. Para destacar a importância do trabalho, os autores ainda enfatizam que: A produção de milho e feijão para a alimentação humana constitui uma atividade básica e generalizada na grande maioria das pequenas propriedades rurais do Nordeste brasileiro, destacando-se pela sua importância socioeconômica (MOURA *et al.*, 2011).

Um relatório elaborado por Filho (2015) sobre impactos das mudanças climáticas, anuncia que é esperado em anos futuros que a temperatura média no Nordeste do Brasil aumente

entre 2 a 6°C e na região semiárida, a precipitação média durante o verão tenderá a diminuir. Ele afirma também que vários problemas sociais e de cunho natural na região semiárida podem ser potencializados pelas mudanças climáticas e que a aplicação de políticas públicas para sanar problemas como analfabetismo e pobreza, que são o estigma dessas regiões, associados ao investimento para a difusão de técnicas para o melhoramento da produção e produtividade de culturas praticadas pela agricultura familiar podem vir a ser a melhor solução para adaptar o agricultor ou mitigar esses problemas apontados.

A nível nacional, a relação entre a pluviosidade de uma região e suas influencias sobre a produtividade de determinadas culturas é amplamente estudada e explorada. Com relação a isso, Silva, Prael-Pantano e Sant'Anna Neto (2008), procuraram relações estatísticas entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola em uma região do Paranapanema, São Paulo. Neste trabalho, também foi utilizado um método para o preenchimento de falhas de precipitação. Apesar do raso tratamento estatístico, o trabalho conseguiu resultados relevantes, diferenciando a relação existente entre a precipitação e as atividades agrícolas vinculadas ao agronegócio e às vinculadas com os pequenos e médios agricultores e tendo relações diferente, inclusive, entre as culturas e pluviosidade da região.

Silva, Sartori e Wollman (2014) investigaram a relação existente entre a variabilidade da precipitação e o rendimento de soja para o município de Ibirubá-RS. Basearam-se através do comportamento pluviométrico ao longo dos anos, classificando os totais anuais de chuva em abaixo, acima e na média do habitual e relacionaram isso com a produtividade. Eles constataram que o El Niño desempenha papel importante no aumento das chuvas, potencializando o rendimento de soja na região e separando as etapas do ciclo fenológico da soja, viu-se que os totais pluviométricos e sua distribuição durante os meses, interfere diretamente no desenvolvimento fisiológico. Os resultados deste trabalho mostram o quão importante é o estudo e entendimento da distribuição pluviométrica em uma região agrícola.

O advento das mudanças climáticas pode ser considerado como um evento em escala global de grande preocupação para o cenário agrícola dentro dos trópicos, uma vez que tais mudanças podem proporcionar cenários negativos no que consta perda hídrica em todas as fases do ciclo da água, resultando assim, em uma maior demanda de água nas atividades agrícolas devido ao aumento da temperatura média e menor oferta de água para essas atividades.

Com isso, vários trabalhos vinculando as atividades agrícolas e as mudanças climáticas vem sendo realizados. Silva *et al.* (2012), investigaram o impacto das mudanças climáticas sob os cenários propostos pelo IPCC, sobre a cultura do algodão herbáceo no Nordeste do Brasil

utilizando para isso a variação do ISNA tendo como produto primordial, mapas de risco de cultivo da cultura em questão. Eles identificaram que os riscos climáticos para o cultivo do algodão no NEB aumentam quando há uma associação entre o aumento da temperatura e a diminuição da precipitação diminuindo assim a disponibilidade hídrica para a planta e que independente da disponibilidade de água ao longo do tempo, o aumento de temperatura acima de 1,5° torna-se um cenário crítico para o cultivo do algodão herbáceo no Nordeste.

Por sua vez, Blanc (2012), pesquisador do Massachusetts Institute of Technology (MIT), fez uma estimativa de impactos de mudanças climáticas em algumas das principais culturas agrícolas da África Subsaariana, uma delas o milho, utilizando índice de precipitação normalizada (SPI) e estimativa de evapotranspiração. Ele utilizou regressões colineares para relacionar as culturas e as variáveis atmosféricas, além de fazer uma predição com esta técnica e usou a raiz do erro médio quadrático para avaliar o teste especificado.

O autor concluiu que, a nível de interesse, as análises de regressão provem uma sensível e significativa estimativa da produção, a raiz do erro médio quadrático se mostrou eficiente para avaliar o erro dos modelos apresentados para cada cultura, revelando que o modelo de ET-SPI se mostrou mais eficaz que o modelo T-P para a cultura de milho e que o impacto da precipitação nas colheitas agrícolas depende das condições agrícolas do país/região de estudo. Apesar da área de estudo de Blanc se encontrar fora dos trópicos, em uma área temperada, a região acaba apresentando fortes secas e déficit hídrico, mesmo tendo um patamar historicamente úmido, o que não isenta o nordeste dos EUA de sofrer com anomalias nos padrões climáticos.

Outro estudo de extrema relevância agroclimatológica foi realizado por Akpenpuun e Busari (2013), que estudaram os impactos do clima no cultivo de mandioca, inhame e batata doce na Nigéria utilizando como métodos de análise, regressão múltipla, análise de tendência e correlação linear. Com esses três métodos de análise foi constatado que existe para algumas variáveis climáticas da região, uma relação de função e de tendência positiva para a variabilidade da produção das três culturas mencionadas. Vale frisar que nesta região, as condições de produção são as mais rudimentares possíveis, fazendo com que haja uma forte dependência do crescimento vegetal dessas culturas com as variações do tempo e do clima.

Jerie e Ndabaningi (2011) estudaram relações entre a variabilidade da precipitação e a produção de tabaco em sequeiro na província de Manicaland no Zimbábue utilizando metodologia estatística, além de entrevista com fazendeiros da região. Eles identificaram uma forte relação entre a produção em sequeiro de tabaco e a precipitação, evidenciando, através de

uma metodologia simples, o quão vulnerável pode ser uma cultura com pouca tecnificação face a variação da disponibilidade hídrica natural.

Adamgbe e Ujoh (2013) também procuraram relações entre a variabilidade da precipitação e o cultivo de milho em uma região da Nigéria usando testes estatísticos de correlação e regressão linear. Eles revelam que para a área de estudo, existe uma forte influência da variação do número de dias chuvosos e da precipitação total anual com o cultivo de milho por hectare e que há uma alta variabilidade nas características da precipitação que traduzem e explicam a alta variabilidade na produção de milho por hectare na região em questão.

2.2 Sistemas atmosféricos (VCAN e ZCIT)

Segundo Ayoade (2007) citado por Silva, Sartori e Wollman (2014), os processos atmosféricos influenciam na biosfera, hidrosfera e litosfera, e nesse sentido, as atividades econômicas, tais como o comércio, indústria, transportes, comunicação e agricultura são afetados pelas variações meteorológicas em diversas escalas. Mesmo com o rápido progresso científico e tecnológico, o homem ainda é extremamente dependente das condições naturais, principalmente com ênfase na variável clima.

Hastenrath (1984) aponta que a marcha anual dos eventos atmosféricos nos trópicos é primariamente refletida nas atividades pluviométricas e cita que a circulação geral da atmosfera causa alternações de estações chuvosas e secas em várias áreas continentais e insulares no Atlântico, uma delas, a região Nordeste, que concentra as chuvas na maior parte de suas terras, entre os meses de março e abril e que tem como fatores causadores destas chuvas: a banda de convergência deslocada para o hemisfério sul; formação de células de circulação meridionais provindas da diferenciação térmica entre os hemisférios oceânicos; e águas sul equatoriais relativamente quentes que geram umidade e instabilidade dos fluxos de camada limite.

Segundo Molion e Bernardo (2002), dentre os sistemas que atuam sobre o Nordeste brasileiro, destacam-se os sistemas frontais e a zona de convergência intertropical (ZCIT) como sistemas de macroescala. Perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, complexos convectivos e brisas marítima e terrestre fazem parte da mesoescala, enquanto circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem-se fenômenos da microescala.

No que consta os sistemas de macro escala, destaca-se também os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCANs). Os VCANs e a ZCIT são os sistemas que mais provocam chuva na região

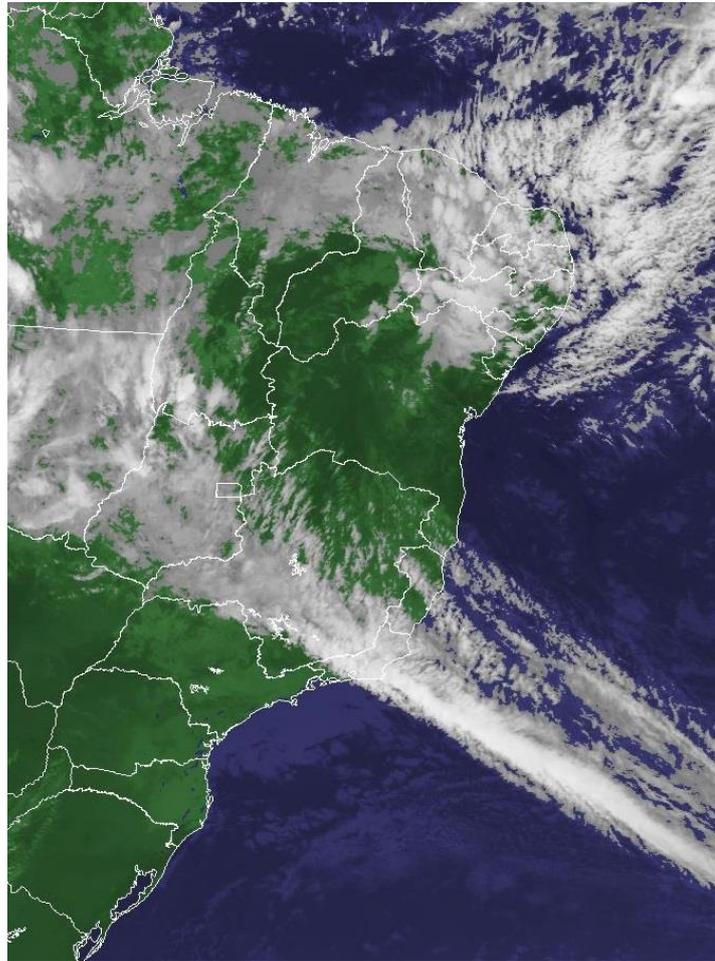
da bacia hidrográfica do Pajeú sendo, portanto, o motivo pela qual esses sistemas serem explanados no próximo subcapítulo.

2.2.1 VCANs

Segundo Ramirez, Kayano & Ferreira (1999), os VCANs se originam sobre áreas oceânicas, com a circulação confinada em 200-hPa, o centro mais frio em 300-hPa e permanecem confinados na alta e média troposfera. O tempo médio de vida dos VCANs varia de 4 dias em junho a 11 dias em fevereiro. Os VCAN são exemplos de sistemas transientes, que por sua persistência e deslocamento têm um papel importante no regime de precipitação nas regiões dos trópicos e extratropicais. Classificam-se em tropicais e subtropicais, sendo que os VCAN subtropicais se formam nas regiões Sul e Sudeste do Brasil associados a padrões em altos níveis que chegam pela costa oeste da América do Sul vindos do Pacífico (LOURENÇO *et al.*, 1996). Um exemplo de VCAN é mostrado na Figura 1.

Ramirez, Kayano & Ferreira (1999) fizeram um estudo estatístico para investigar o comportamento e os padrões dos vórtices ciclônicos de altos níveis no nordeste do Brasil. Eles identificaram que os VCANs apresentam uma significativa variabilidade sazonal e interanual com maior frequência sazonal durante o verão austral e que os anticiclones de altos níveis do atlântico sul possuem relação com a ZCAS (zona de convergência do Atlântico Sul), durante o período de maior ocorrência.

Figura 1: Atuação de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o NEB em 16/12/2016.



Fonte: CPTEC. Imagem: GOES-13/NOAA.

Essa relação entre a atuação de outros sistemas atmosféricos (entre eles os VCANs) com a ZCAS também é explanada no trabalho de Carvalho, *et al.* (2002) ao estudarem eventos extremos de precipitação decorrentes de atividades convectivas na América do Sul tropical e subtropical e da ZCAS, identificaram que o El Niño parece modular a ocorrência de eventos extremos associados a intensa convecção na ZCAS. Vale ressaltar que, um evento extremo de precipitação é definido quando 20% ou mais do total climatológico sazonal em um dado local, cai em apenas 1 dia (CARVALHO, *et al.*, 2002; LIEBMANN, *et al.*, 2001).

Alguns trabalhos mostraram que existe uma relação intrínseca entre a formação e a intensificação da Alta da Bolívia entre os Andes e o território brasileiro e a formação de VCANs no hemisfério sul do Atlântico tropical o que poderia implicar ou não em chuvas advindas deste último sistema para o NEB como é proposto em Kousky e Gan (1981) e Ramirez (1997). Virji (1981) também constatou que durante os processos de formação da alta da Bolívia, a dinâmica em altos níveis formava um cavado também em altos níveis sobre o Nordeste do Brasil o que

implica em áreas de divergência (convergência) em altos níveis onde há movimentos ascendentes (descendentes dos ventos) gerando, por fim, áreas encobertas (de céu claro) sobre o NEB.

Kousky & Gan (1981) analisaram o comportamento dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste brasileiro procurando encontrar padrões nos processos de formação do referido sistema. É um dos trabalhos mais importantes no que se refere a investigação sobre a formação de VCANs. Eles mostraram que no atlântico, os VCANs podem se formar a uma amplitude de 10 a 25° de latitude, detectaram que há uma relação direta entre a ocorrência dos vórtices e a presença de anticiclones sobre áreas continentais e uma relação indireta entre o avanço de frentes frias a latitudes baixas e a formação desses ciclones e concluíram que ao passo que os VCANs avançam em direção a costa brasileira, as atividades convectivas no norte do Nordeste se elevam grandemente.

Mishra, *et al.* (2001) investigaram a estrutura horizontal e evolução de fluxos de larga escala em VCANs, mais especificamente um sistema ocorrido em janeiro de 1993. O trabalho mostrou que a intensificação da alta da Bolívia associada a mudança de trajetória para leste, orientação leste-oeste de um cavado na América do sul e sua intensificação e a presença de um cavado na porção oeste equatorial contribuíram para o desenvolvimento de uma zona de cisalhamento estreita entre 17,5 e 7,5°S durante o período de formação do Vórtice, a energia cinética do fluxo de cisalhamento do vórtice diminuiu, enquanto o desenvolvimento do vórtice sugere se que há um aumento da energia cinética das escalas sinóticas.

Mishra, *et al.* (2007) também investigaram a formação e gênese dos VCANs no Nordeste do país utilizando o que os autores chamam de um estudo primitivo de equações de instabilidade barotrópica examinando a variação latitudinal dia a dia e os perfis verticais médios zonais de vento na camada de 100 a 350 hPa durante a pré-formação dos vórtices. Eles concluíram que as dinâmicas barotrópicas e as zonas de cisalhamento na pré-formação desempenham papel fundamental e influente no desenvolvimento dos VCANs.

Os VCAN podem apresentar deslocamento regular ou irregular. Os cavados de latitudes médias, associados a sistemas frontais e uma bifurcação inter-hemisférica a noroeste da América do Sul pode causar deslocamento irregular. Enquanto, que para os VCAN com deslocamento regular, é comum observar a presença do anticiclone em altos níveis e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ao sul (RAMÍREZ, 1997).

Existem alguns métodos empíricos para se identificar a ocorrência de um VCAN com alta intensidade em uma determinada região. Um método simples constitui se na visualização

de imagens de satélite, onde observa-se uma área de alta pressão central sem nuvens formando um arco nebuloso em uma área de baixa pressão em sua borda, com a observação de movimentos ciclônicos dos ventos a 250 hPa. Coutinho *et al* (2010), entretanto, elaboraram um método objetivo para identificação de VCANs na região tropical sul e compararam os resultados do método desenvolvido com os da análise de campos de vento e vorticidade relativa. Os resultados do trabalho mostraram que o modelo objetivo apresentou desempenho compatível a análise de campos e as imagens de satélite, subestimando a identificação dos VCANs em algumas características e superestimando em outras.

Coutinho *et al.* (2010) dizem que apesar da ocorrência de sistemas que apresentaram nebulosidade associada (denominado VCANs úmidos), os estudos sinóticos mostram a existência de alguns casos observados em imagens de satélite no canal do vapor d'água, que não estão associados à nebulosidade (denominados VCANs secos). Em outras palavras, nem sempre os VCANs podem ser associados a ocorrência de chuvas, isso vai depender do período anual de maior intensidade e duração dos vórtices.

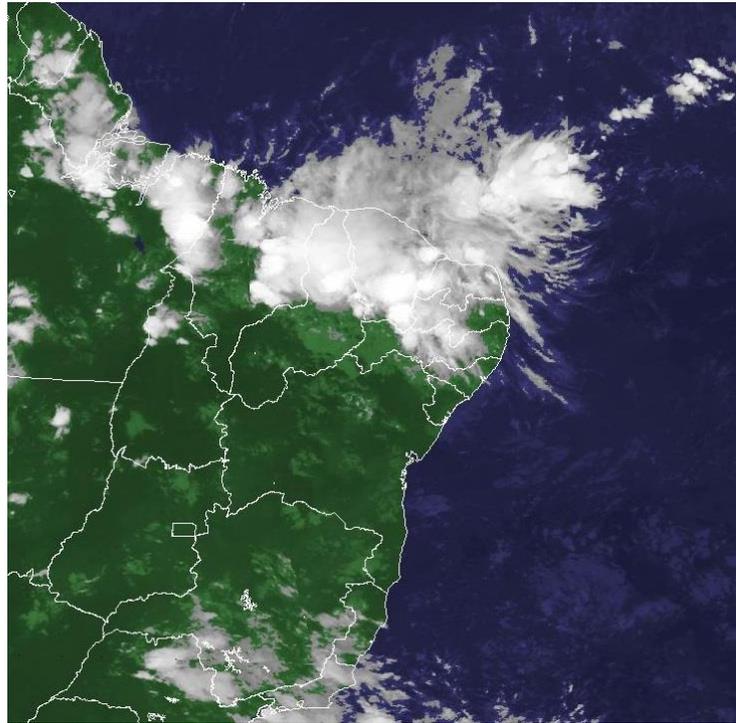
Lima (2010, p. 60,110 e 157) durante as décadas de 80 e 90, dentre as ocorrências de VCANs formados sobre o hemisfério sul do Atlântico tropical, cerca de 90 e 58%, respectivamente, dos casos ocorreram quando as ATSM encontravam se mais aquecidas sobre o setor Sul do Atlântico, entretanto na década de 2000 viu se o contrário, as ocorrências de VCANs foram diagnosticadas quando as ATSM estavam mais aquecidas no setor norte do Atlântico.

2.2.2 ZCIT

Segundo Yiengar *et al.* (2001), a ZCIT é caracterizada por uma descontinuidade ventos de superfície com velocidade horizontal convergente e um crescente movimento em escala global, ou seja, ela pode ser considerada o limite equatorial da célula de Hadley localizada próxima a essa borda equatorial como é mostrado na Figura 2.

Molion e Bernardo (2002) descreve a ZCIT como uma grande região de confluência dos ventos alísios de nordeste, oriundos do sistema de alta pressão ou anticiclone subtropical do hemisfério norte, e dos ventos alísios de sudeste, oriundos da alta subtropical do hemisfério sul, caracterizada por uma banda de nebulosidade e chuvas no sentido leste-oeste aproximadamente.

Figura 2: baixa da zona de convergência intertropical atuante sobre o Norte do NEB em 17/03/2016.



Fonte: CPTEC. Imagem: GOES-13/NOAA.

Hastenrath e Lamb (2004) notaram que, aliado a relação terra-água, a geometria da radiação solar variando sazonalmente controla os padrões de TSM, que, por sua vez, determina a posição de um cavado de baixa pressão próxima ao equador. Incorporado a este cavado de baixa pressão está a linha de confluência entre os canais de ar vindas dos dois hemisférios e uma zona de convergência, a chamada zona de convergência intertropical. Fala-se ainda de uma zona de divergência intertropical localizada sobre o leste do pacífico configurada como uma zona limite de fraca divergência centrada levemente para o norte do equador.

É importante que, dentro da esfera da agroclimatologia no Nordeste, entendamos o comportamento da ZCIT no que consta a variabilidade de sua posição, de sua intensidade e sua estrutura. Segundo Uvo (1989, p. 5) e Ferreira (1996), a ZCIT está inserida numa região onde ocorre a interação de características marcantes atmosféricas e oceânicas: i) zona de confluência dos Alísios de SE e NE (ZCA); ii) zona do cavado equatorial; iii) zona de máxima temperatura da superfície do mar (TSM); iv) zona de máxima convergência de massa; e v) zona da banda de máxima cobertura de nuvens convectivas, todas interagindo próximas à faixa equatorial.

A ZCIT posiciona-se através da linha do Equador, uma permanente área de baixa pressão que marca o Equador meteorológico onde há troca de ventos em superfície, carregado

de calor e umidade da evaporação superficial e calor sensível, converge-se em uma zona acrescida de convecção, nebulosidade e precipitação (WALISER, 2002).

Sobre o Oceano Atlântico, a ZCIT – chamada de ZCIT Atlântica – desloca-se em média de 14°N (agosto e setembro) a 2°S (março e abril), (CARVALHO & OYAMA, 2013; UVO, 1989). Segundo Hastenrath e Lamb (1977), citado por Uvo (1989, p. 7), durante o verão boreal, imediatamente ao sul do Equador aparece uma faixa de águas frias seguida de um pronunciado aumento de temperatura em direção norte. Uma faixa de máximas TSMs estende-se, então, entre 5° e 14°N, com a temperatura máxima acontecendo em torno de 12°N, o que altera a estrutura vertical da ZCIT.

Um dos fatores que contribuiria para este padrão de TSM na região, segundo o autor, poderia ser a advecção lateral na porção “jusante” da corrente das canárias e em uma região de águas frias da porção meridional do Atlântico equatorial, supondo que talvez os gradientes de temperatura entre a porção norte e sul do Atlântico equatorial possam estar ligados a níveis de intensidade e troca de energia entre as correntes marítimas do oceano.

Porém, apesar da literatura geral enfatizar que a ZCIT migra de sua posição mais ao norte a 14° até 4 ou 5° S, alguns sistemas acoplados a ZCIT tais como pulsos e uma segunda banda de nebulosidade e a junção teleconectiva entre fortes anomalias positivas de TSM no Pacífico central e leste e no Atlântico sul, podem gerar chuvas além de 5°S atingindo os setores norte de todo o sertão (incluindo o Pajeú) e agreste pernambucano e também o litoral.

Carvalho e Oyama (2013), estudaram a ZCIT na região atlântica com tal objetivo e concluíram que a ZCIT quando posicionada no hemisfério sul, é menos intensa e menos larga que no hemisfério norte dada a interferência de outros sistemas atmosféricos, mostraram que há indícios entre o aumento anômalo da largura da ZCIT e a patamares menores de TSM na região, porém, sem significância estatística e foram constatadas fracas correlações entre a precipitação produzida pelo sistema e a TSM.

Segundo Waliser (2002), o sistema de nuvens da ZCIT provém uma importante contribuição para o albedo planetário, forma uma banda continua ao redor do Equador que migra latitudinalmente conforme a temperatura e umidade oceânica e continental. Ele comenta que a precipitação média proveniente da ZCIT tende a se concentrar um pouco a norte do Equador sobre os oceanos pacífico e atlântico e tende a se manter sobre o Equador nos continentes sul-americano e africano.

A ZCIT também possui uma banda dupla, responsável por ocasionar chuvas mais ao sul da ocorrência da banda principal. Uvo (1989, p 60) considera como banda dupla, o

aparecimento de uma segunda banda de cobertura convectiva ao sul da banda principal. Essa segunda banda não é tão bem organizada quanto a principal (segundo a autora) e, em geral, não permanece por muito tempo. Ela ocorre principalmente entre fevereiro, março e abril.

De fato, devido a inúmeros fatores geográficos de cunho geomorfológico e meteorológico, a ZCIT costuma ter um comportamento variado ao redor do globo e um dos fatores que variam com mais evidência é a precipitação gerada por esse sistema. Moura & Vitorino (2012) analisaram a variabilidade da precipitação em escala temporal e espacial na ZCIT utilizando técnicas matemáticas e estatísticas e associaram a precipitação com o ENOS. Eles concluíram que a precipitação na ZCIT se comporta de forma diferenciada ao redor do globo e que o ENOS possui influencia na precipitação total anual, sazonal e intrasazonal nas 3 localidades investigadas no trabalho (Belém, Nairóbi e Jakarta).

A intensidade da ZCIT é variável tanto no tempo como no espaço, as precipitações excedem-se bastante, devido à umidade fornecida pela evaporação das superfícies oceânicas abaixo dela e pela evapotranspiração em algumas regiões continentais (MOURA; VITORINO, 2012).

Yiengar *et al.* (2001) examinaram características estruturais e a intensidade em condições de atividade e fraqueza da ZCIT durante o experimento de uma específica sonda e sob um sistema que compreende um modelo espectral global chamado GDAFS. Eles concluíram que os modelos de análise em tempo real do GDAFS refletem de forma satisfatória as épocas típicas de forte e fraca intensidade da ZCIT sobre o oceano Índico equatorial e que a previsão de 3 dias consecutivos do modelo mostrou-se bastante eficaz em prever as características do aumento da intensidade da ZCIT na região em estudo.

Sobre os aspectos termais da ZCIT, Waliser indaga que os sistemas tendem a permanecer sobre a linha do Equador dada a quantidade de radiação incidida nessa região, entretanto existem desvios de temperatura provenientes de alguns fatores tais como correntes marítimas, a base geométrica oceânica e a interação com a atmosfera, incluindo a própria ZCIT.

2.3 Anomalias climáticas (acoplamento oceano-atmosfera)

Trenberth (1997) afirma que o aquecimento das águas costeiras de Peru e Equador é muitas vezes associado a outras áreas de extensivo aquecimento no oceano Pacífico e que este fenômeno forma ligações com padrões anômalos do clima global. Ele afirma também que a componente atmosférica atrelada ao El Niño é chamada de oscilação-sul e que é amplamente

empregado o termo ENOS para definir a ação conjunta entre os fenômenos atmosférico e oceânico, portanto, o El Niño seria a fase quente do ENOS.

Os eventos ENOS são selecionados através do índice da região do Niño-3, definida por Trenberth *et al.* (1997), como sendo a média espacial das ATSM sobre a região delimitada por 4 °N, 4 °S, 150 °W e 90 °W. Valores trimestrais do Niño-3 para DJF (dezembro-janeiro-fevereiro) maiores que 0,9 °C (menores que -0,7 °C) identificam o ano que corresponde a dezembro como sendo o ano inicial [ano (0)] do evento quente (frio) do ENOS.

Lu *et al.* (2011), conduziram um estudo envolvendo relacionar os efeitos do ENOS na precipitação e no escoamento superficial nas cabeceiras do Rio Amarelo na China, com o objetivo de usar os dados do ENOS como uma ferramenta de predição meteorológica. Foi constatado no trabalho que existe uma forte correlação em alguns períodos do ano entre o fenômeno ENOS com a precipitação e vazão, na área estudada e que tal constatação leva a crer que os dados do El Niño-Oscilação Sul constituem como uma importante ferramenta para predição e ajuda na manutenção de recursos hídricos.

Compostos de anomalias climáticas históricas fornecem informações úteis sobre os impactos típicos do ENOS. Porém, o relacionamento do ENOS com as anomalias climáticas esperadas não é simples e direto. Para as mesmas magnitudes e estruturas de TSM de eventos ENOS, a inerente imprevisibilidade da atmosfera levará a diferentes anomalias climáticas para cada evento. As interações não lineares com as anomalias de TSM dos outros oceanos e a existência de diferenças inter-El Niños aumentam as incertezas sobre as anomalias climáticas esperadas (SANSIGOLO e REIS, 2014).

Walker (1928) notou uma associação entre a variação da pressão atmosférica em Taiti (Pacífico Central) e em Darwin (norte da Austrália). Quando a pressão aumenta em Taiti há decréscimo na pressão em Darwin, e vice-versa. A essa aparente gangorra barométrica leste-oeste denominou de Oscilação Sul (OS). O autor observou que, quando a pressão é muito alta em Tahiti e baixa em Darwin, as chuvas são intensas na Austrália, sudeste Asiático e Índia, e quase inexistentes na costa oeste da América do Sul. A situação das chuvas é invertida quando a pressão diminui em Taiti e aumenta em Darwin. Ressalta-se que o gradiente de pressão não se inverte, apenas há uma desintensificação dos centros de alta e baixa pressão (Lima, 2010, p. 31).

O fenômeno da Oscilação-Sul é representado por um índice (IOS) que expressa a intensidade e a fase do fenômeno. O IOS é determinado pela diferença entre os desvios de pressão atmosférica ao Nível do Mar (PNM) registradas nas estações meteorológicas do Taiti

(latitude 17°33'S, e longitude 149°31'W), no Pacífico Central e Darwin (latitude 12°20'S, e longitude 130°52'E), no norte da Austrália. Em outras palavras, o IOS é dado pela PNM do Taiti menos a PNM de Darwin (GALVANI; PEREIRA; KLOSOWSKI, 1998).

Galvani, Pereira e Klosowski (1998), relacionaram a ocorrência de eventos de IOS com os desvios de precipitação em Maringá, estado do Paraná. A maior particularidade do trabalho efetuado por eles foi que para a região em estudo, as anomalias barométricas do pacífico pareciam apresentar maiores relações e efeitos com os desvios totais mensais de chuva de três meses após as manifestações no pacífico. Isto sugere que o IOS poderia servir para predizer, ou pelo menos indicar, se haverá súbito aumento ou diminuição de chuvas no terceiro mês após a ocorrência do fenômeno.

Trenberth (1997) comenta que várias versões do IOS existem embora, em anos recentes, convencionou-se no que consta a pressão atmosférica ser mais usual as versões dos dados do Tahiti e de Darwin. Em uso do IOS baseado em apenas duas estações, deve ser reconhecido que há muitos fenômenos em alta frequência e em pequena escala na atmosfera, a exemplo da Oscilação de Madden-Julian (OMJ), que podem influenciar a pressão nas estações envolvidas na formação do IOS, mas que não reflete a oscilação sul propriamente dita.

Em condições normais, o ramo ascendente da Célula de Walker que é favorável à formação de nuvens convectivas com grande desenvolvimento vertical ocorre sobre o Pacífico Oeste-Equatorial, onde as águas são mais quentes, conseqüentemente acompanhadas de pressões atmosféricas mais baixas. O contrário ocorre sobre a região do Pacífico Leste, próximo à costa Ocidental da América do Sul, onde se pode observar águas mais frias e pressões atmosféricas mais altas, com isso há a formação do ramo subsidente da Célula, inibindo a precipitação. Quando se configura o fenômeno El Niño ocorre o deslocamento da Célula para o Pacífico Leste devido ao aquecimento anômalo da superfície do mar, favorecendo subsidência de ar sobre a bacia centro-oeste e sobre o Atlântico Equatorial, incluindo a Amazônia Oriental e o Nordeste do Brasil (SANTIAGO e NÓBREGA, 2014).

Em todo caso, o fenômeno do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) constitui uma parte natural do sistema climático global resultante da interação entre os oceanos e a atmosfera que ocorre principalmente através da região do pacífico tropical-subtropical até a bacia do Oceano Índico (ALLAN, 2000).

O termo “El Niño” foi originalmente aplicado para um fraco aquecimento anual do oceano que ocorre sobre a costa do Peru e do Equador durante o natal (por isso “Niño”, termo usado para menino Jesus em espanhol) e que somente depois foi associado a incomuns

aquecimentos em larga escala que ocorrem frequentemente mudando, então a ecologia regional e local (TRENBERTH, 1997).

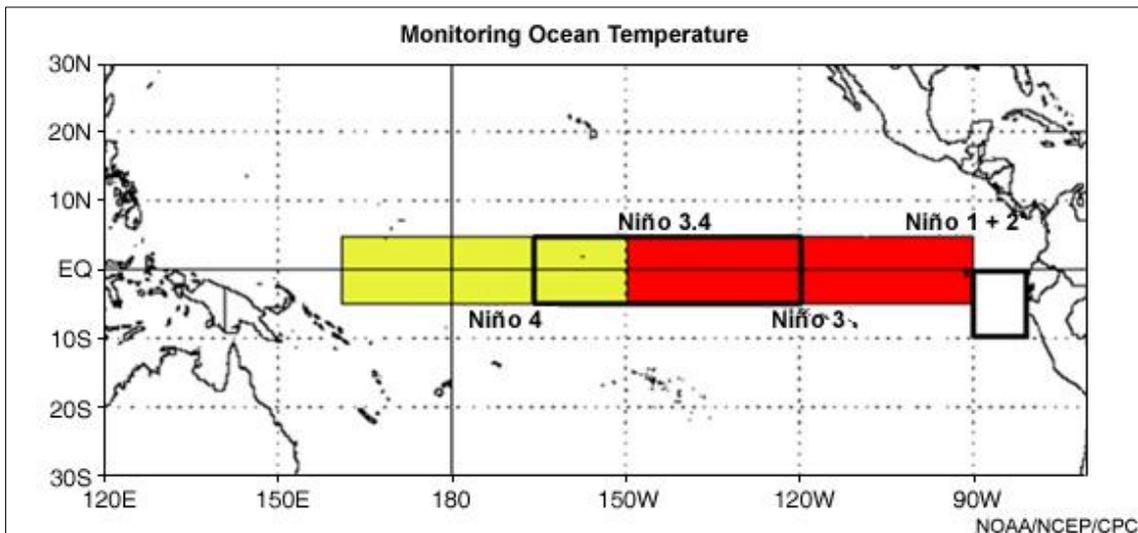
Os oceanos cobrem mais de 72% do planeta, e suas variações térmicas são responsáveis por diversos eventos meteorológicos e climáticos em várias regiões do globo (ALVES *et al.*, 2014). O oceano Pacífico Equatorial favorece a chuva do Sertão de Pernambuco quando a TSM for abaixo dos valores climatológicos, nesse caso, diz-se que há atuação do fenômeno La Niña. No caso oposto, quando as águas do oceano estão mais quentes que o normal, há atuação do fenômeno El Niño, e as chuvas no Sertão Pernambucano geralmente são reduzidas no período de sua maior ocorrência (de janeiro a abril). Esse fenômeno altera a circulação do ar sobre o Nordeste do Brasil (NEB) causando subsidência (movimento do ar de cima para baixo) que inibe a formação de nuvens de chuva e, conseqüentemente reduzindo a precipitação (APAC, 2015).

Wolter e Timlin (1998) fizeram comparações minuciosas entre vários eventos de El Niño e La Niña a partir de 1950 até 1998 afim de verificar a força e duração desses eventos constatando que definitivamente durante este período o El-Niño de 97/98 havia se tornado o mais forte até então desbancando o El niño de 82/83. Contribuíram também classificando os dois índices entre forte, moderado e fraco, constituindo 7 níveis.

Veiga, Mendes e Yoshida (2000) fizeram breve estudo sobre as anomalias de TSM sobre o oceano Pacífico e suas relações com o regime de chuvas da Amazônia e constataram que as regiões do Niño 1+2, 3 e 3.4 parecem influenciar significativamente os totais pluviométricos durante o trimestre mais chuvoso da porção mais setentrional da Amazônia sendo a região do El Niño 1+2 a área que parece mais afetar a pluviometria local. Tais setores do El Niño no Pacífico tropical podem ser observados na Figura 3.

Wollmann e Sartori (2009) procuraram relações entre os eventos de El Niño e a ocorrência de enchentes na bacia do rio Caí-RS além de estudarem o comportamento sazonal de tais enchentes. Diferente do Nordeste, no sul do Brasil, o El Niño influencia nas chuvas e nos sistemas atmosféricos por lá, de forma positiva intensificando os eventos. O estudo dos autores propôs que os eventos de El Niño atuam em mais de 60% das enchentes observadas e que a maioria dessas enchentes ocorrem no inverno.

Figura 3: Regiões de ocorrência do fenômeno ENOS no Oceano Pacífico.



Fonte: NOAA/NCEP/CPC.

Lacerda *et al.* (2009) estudaram o comportamento da precipitação na região do Pajeú face as mudanças e anomalias climáticas e observaram que ao longo das décadas, houve aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação e temperatura tais como chuvas intensas diárias, períodos longos de estiagem e veranicos comprovando que há uma tendência positiva na frequência desses fenômenos na região.

Pereira *et al.* (2011) procuraram identificar relações entre episódios de El Niño e La Niña sobre os totais pluviométricos do município de Mossoró e constataram que sabendo que os eventos de El Niño (La Niña) seriam responsáveis pela diminuição (aumento) de totais pluviométricos anuais no Norte da região NEB, apenas cerca de metade dos anos estudados, atingidos por tais eventos, corresponderam as consequências pluviométricas esperadas de chuva abaixo (acima) da média. Um resultado como este pode indicar que os eventos de ENOS por si só não conseguem explicar de forma evidente, as anomalias de precipitação anual sobre o Nordeste, cabendo então, o estudo integrado dos eventos de ENOS com outros eventos de interação oceano-atmosfera.

Também Junior e Almeida (2012), estudaram a influência do El Niño no comportamento pluvial no semiárido paraibano através de técnicas estatísticas. De acordo com os resultados deles, os eventos de El Niño e La Niña forte para a região estudada (microrregião de Sousa-PB) coincidem com anos de estiagem e chuva acima da média durante o período chuvoso, porém agrupando todos os eventos de ENOS, em qualquer intensidade, nos anos estudados, não se constatou evidência estatística de que o fenômeno tem influência no comportamento pluviométrico da região.

Isso pode reforçar a hipótese de que os fenômenos de ENOS, sozinhos, não são capazes de explicar a variabilidade pluviométrica sazonal no semiárido brasileiro, uma vez que outros fenômenos e interações de ordem tanto regional, como interregional e global como as teleconexões, são indispensáveis para tal estudo, precisando assim, haver uma integração de análise simultânea entre essas anomalias e as consequências que elas implicam na atmosfera.

Sansigolo e Reis (2014), porém, afirmam em seu estudo que os eventos extremos de ENOS na verdade, afetam a precipitação sobre o NEB de forma diferenciada entre uma região e outra e sob diferentes metodologias. Eles verificaram que os eventos de ENOS tem significativo impacto sobre o norte do NEB durante os meses de outono (MAM), na fase de decaimentos do ENOS e a La Niña tem forte impacto sobre o leste do NEB durante os meses de inverno (JJA). Em outras palavras, existem diferenças temporais e espaciais no impacto dos eventos de El Niño e La Niña sobre a precipitação da região Nordeste.

Outro sistema de anomalias inerentes ao acoplamento oceano-atmosfera configura-se sobre o Atlântico tropical. Segundo a APAC (2015), a influência do oceano Atlântico na chuva do NEB se dá devido ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (principal sistema indutor de chuva no norte do NEB, incluindo o semiárido de Pernambuco). Em anos em que o oceano Atlântico Norte está mais frio que o Atlântico Sul (dipolo negativo) a ZCIT desloca-se para sua posição sul e favorece a ocorrência da chuva no NEB. No caso contrário, isto é, a parte Sul que está mais fria que a parte Norte (dipolo positivo), a ZCIT fica na posição mais a Norte, reduzindo a chuva em Pernambuco.

A precipitação acima (abaixo) da média climatológica durante a estação chuvosa do Nordeste foi ligada a um padrão de dipolo de TSM com anomalias positivas (negativas) de TSM sobre o Atlântico Tropical Sul e negativas (positivas) sobre o Atlântico Tropical Norte. Considerando a circulação atmosférica sobre o Atlântico, anomalias positivas (negativas) de precipitação foram relacionadas com uma intensificação (enfraquecimento) da alta dos Açores e conseqüentemente dos alísios de NE, e com um enfraquecimento (fortalecimento) da alta do Atlântico Sul e, portanto, dos alísios de SE (UVO, 1989, p. 1).

Uvo (1989) e Uvo *et al.* (1998) notaram também, uma boa correlação estatística entre os padrões de TSM e a precipitação no norte do NEB, constatando que anomalias positivas (negativas) de TSM sobre o Atlântico tropical sul e anomalias negativas (positivas) de TSM sobre o Atlântico tropical norte podem influenciar e causar aumento (diminuição) da precipitação total ocorrida nessa região. O mesmo ocorre com a mudança de intensidade dos

alísios de NE (SE), cujo diferencial de intensidade pode empurrar a ZCIT para norte ou para sul.

A tese de Uvo foi corroborada, entre outros trabalhos, sob a ótica de Hastenrath (1984) que detectou e mostrou estatisticamente a relação entre anomalias positivas (negativas) de precipitação no Nordeste associada a temperaturas mais altas (mais baixas) das águas superficiais do Atlântico tropical sul, mostrando simultaneamente o cenário inverso sobre o Atlântico tropical norte, o que estaria associado também com a migração e deslocamento interanual da ZCIT para norte ou para sul durante essa diferenciação do gradiente termal entre os dois hemisférios do oceano.

Alves *et al.* (2014) apontam, entretanto, que quando se compara a variabilidade das anomalias do gradiente meridional de TSM no Atlântico Tropical e precipitação, nota-se que não há uma relação direta de anomalias positivas (negativas) do gradiente meridional de TSM e a precipitação abaixo (acima) da média no setor norte do NEB.

Hastenrath e Lamb (2004) notaram que, em relação a TSM, no atlântico leste e em especial no pacífico leste, as águas são mais frias para o sul do equador e mais quentes no hemisfério norte e que este contraste meridional não se estende para o pacífico central, onde a TSM na região diminui “monotonamente” em direção ao norte através da zona equatorial. Isso se daria porque nas regiões do Atlântico e Pacífico leste, existem duas correntes marítimas (Humboldt e de Benguela) que fazem a manutenção de águas mais frias nas respectivas regiões.

Ele fala que com a componente meridional dos ventos vindos do Sul, o transporte oceânico de Ekman é direcionado para oeste no hemisfério sul e para leste no hemisfério norte, junto a efeitos maiores próximo ao equador. No hemisfério sul isto implica em um transporte para longe da costa oeste da África e América do Sul e, então, ressurgindo lá, que podem além disso, serem aumentados a oeste pelo transporte ocidental de Ekman devido a maiores componentes meridionais do vento sendo localizadas bem longe da costa (HASTENRATH e LAMB, 2004). Esta componente é um dos fatores que contribuem para uma associação entre os ventos que atravessam o equador e a TSM atlântica.

De fato, as variações na temperatura das águas superficiais no Pacífico e no Atlântico tropical podem modular características de certos sistemas atmosféricos (e conseqüentemente na precipitação onde esses sistemas atuam) sobre o Brasil (BARREIRO *et al.*, 2002; Carvalho *et al.*, 2004). No trabalho de Aragão (1998), estudou os impactos do ENOS e do dipolo sobre o comportamento pluviométrico no norte do Nordeste do Brasil. Ele achou correlações fortes entre anomalias de temperatura da superfície do mar no atlântico e no pacífico e índices de

anomalia de precipitação durante a estação chuvosa da região (março e abril) e indicou que as anomalias de temperatura no oceano atlântico parecem ser mais impactantes a precipitação do norte do NE que as anomalias de temperatura no pacífico.

Veiga, Marengo e Rao (2002), por exemplo, afirmam que há quatro regiões no Pacífico tropical e equatorial, cujas anomalias de TSM podem influenciar a formação das ditas chuvas de monção de verão no continente sul-americano impactando de alguma forma, a ZCAS e a formação dos VCANs. Eles propõem, também, que anomalias frias de TSM no Atlântico Sul, provocam intensificação e formação de chuvas sobre a região.

Tomaziello e Gandu (2013), entretanto, indicaram que há indícios de que o aumento da TSM no Atlântico tropical sul influencia o volume da ZCAS, pois induz maior evaporação das águas superficiais gerando nebulosidade nos níveis mais baixos do sistema. Este indício contrapõe, portanto, uma das proposições feitas no trabalho de Veiga, Marengo e Rao (2002).

Pesquisando índices de eventos extremos de precipitação (tais como dias consecutivos secos, dias consecutivos úmidos, entre outros) no Norte do NEB e suas relações com ATSM no Pacífico e Atlântico, Dos Santos e Brito (2007), constataram que o gradiente térmico das águas superficiais entre os hemisférios do Atlântico tropical, ao modificar a dinâmica de atuação da ZCIT, parece ser capaz de interferir na dinâmica pluviométrica em escala diária, tanto na Paraíba, quanto no Rio Grande do Norte e o mesmo ocorre com as regiões do Niño 1+2 e Niño 3, na qual o aquecimento das águas do pacífico nessas regiões parece ser capaz de implicar em uma menor quantidade de dias úmidos durante um ano.

Ao estudar a influência de anomalias atmosféricas e oceânicas, é importante, também, entender que diferentes anomalias ao redor do globo podem ocorrer de forma simultânea e suas atividades em conjunto podem potencializar alguma mudança em variáveis climáticas, mudança esta que não ocorreria tão intensamente se tais atividades ocorressem sozinhas.

Trenberth e Hurrell (1994), mostraram que existe um forte teleconexão presente que liga mudanças sobre o pacífico com mudanças sobre a América do Norte em escala interanual e que no pacífico tropical, a interação do acoplamento oceano-atmosfera resulta em modos de acoplamento onde o fenômeno ENOS é mais proeminente, resultado este que em escala interanual de variabilidade, possui duração de a 7 anos, porém com variações decadais de menor amplitude.

Uvo *et al.* (1998) apontam uma relação intrasazonal significativa entre as TSMs do Pacífico e do Atlântico e as precipitações do Nordeste durante os meses de fevereiro a maio. Essa relação configura-se como negativa (positiva) ao se constatar que anomalias positivas

(negativas) de TSM no Pacífico e diferenças positivas (negativas) de TSM entre os Atlânticos Norte e Sul proporcionam anos secos (chuvosos) sobre o NEB.

Santiago e Nóbrega (2014) evidenciam isto ao estudarem as tendências de aumento da TSM no Pacífico e no Atlântico e suas ações sobre a precipitação em Pernambuco. Em todos os municípios estudados houve relação entre chuvas anuais abaixo da média com a teleconexão El Niño/fase positiva do dipolo do Atlântico. Eles enfatizam ainda que ambos os eventos quando ocorrem isoladamente exercem influência na precipitação do estado, no entanto quando agem em conjunto percebe-se que essa influência é mais acentuada.

Araujo, *et al.* (2013) apontam que estudos que examinam a variabilidade interanual de precipitação nas regiões norte e nordeste da América do Sul devem levar em conta as variações interanuais de TSM associadas ao fenômeno ENOS e as que ocorrem no AT (atlântico tropical), bem como suas relações.

Além dos padrões de teleconexão intrasazonal e interanual, existe ainda o padrão interdecadal (com duração maior que 10 anos), representada entre outras anomalias, pela Oscilação Decadal do Pacífico. A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) é mais frequentemente referida como um El Niño de longa vida como padrão de variabilidade do oceano Pacífico e é definida como o componente principal de condução de TSMs mensais (ZHANG *et al.*, 1997). Segundo Mantua (2003), a ODP é um El Niño com padrões oscilatórios de variabilidade climática centrado sobre o oceano Pacífico e a América do Norte e o monitoramento de suas variações é feita com índices construídos através de padrões de TSM e de baixa pressão da superfície do Pacífico.

Mudanças na temperatura de superfície surgem de mudanças na advecção de temperatura e umidade sobre o Pacífico por ventos anômalos e através de mudanças associadas a fluxos de superfície e mixagens verticais além do oceano. Ventos anômalos vindos do norte sobre o oceano são tipicamente não apenas frios mas também secos, de forma que aumenta o fluxo em superfície do calor sensível e calor latente que podem ser esperados na atmosfera, assim esfriando o oceano. A mixagem convectiva e mecânica no oceano pode espalhar essas influências através de uma considerável profundidade e podem também arrastar para baixo a termoclina, prolongando o tempo de vida das anomalias (TRENBERTH e HURRELL, 1994).

Segundo Mantua e Hare (2002), durante a fase quente da ODP, a TSM tende a ser anormalmente quente no centro norte do Pacífico coincidindo com TSMs anormalmente quentes ao longo da costa oeste das Américas. Na média de novembro a março, anomalias de pressão a nível do mar na fase quente da ODP apresenta pressão baixar sobre o Norte do

Pacífico que causa intensificação de ventos no sentido anti-horário, e alta pressão a nível do mar sobre o Pacífico subtropical norte causando intensificação de ventos no sentido horário. As ODPs podem apresentar flutuações em suas fases mais energéticas e periodicidade na faixa de 15 a 25 e de 50 a 70 anos (MINOBE, 2000).

Segundo o trabalho de Willmot e Matsuura (2000), existe uma correlação entre o índice de ODP durante o período de novembro a abril e dados de temperatura e precipitação sobre a superfície emersas. Nessas regiões do globo ocorrem períodos anormalmente secos durante a fase quente da ODP no leste da Austrália, Coreia, Japão, extremo leste da Rússia, interior do Alasca, em grande parte da América Central e norte da América do Sul. Essa fase quente coincide também com períodos anormalmente úmidos na costa do Golfo do Alasca, sudoeste dos EUA e México, sudeste do Brasil, centro-sul da América do Sul e oeste da Austrália.

Wang *et al.* (2012) ao estudarem a sazonalidade da ODP, constataram que existe uma forte variabilidade com picos de temperatura que ocorrem em maio e junho. Essa variabilidade também é associada a estrutura vertical do oceano, onde em fases frias, constata-se anomalias negativas de temperatura a cerca de 250m de profundidade durante a primavera e a cerca de 100-150m de profundidade durante o verão. Os autores destacam também uma forte relação entre essa sazonalidade da ODP com campos de vento, onde em determinada época do ano, movimentos ciclônicos sobre o norte do Pacífico são detectados e essa relação possui um atraso de resposta entre a TSM do Pacífico e os ventos de superfície em 1 mês.

Xiao, Zhang e Singh (2015) procuraram relações conjuntas entre o ENOS, Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Dipolo Oceânico do Índico (DOI) e a Oscilação Decadal do Pacífico e o regime sazonal pluviométrico sobre a bacia do Rio Yangtze e ele verificaram que o ENOS é o mecanismo que mais afeta a precipitação dentro da região, tendo efeito junto as demais anomalias nas 4 estações do ano.

2.4 Principais características das culturas agrícolas

A escolha das culturas de mandioca, milho, feijão e banana para a pesquisa decorre de alguns fatores técnicos e metodológicos. Primeiramente escolheu-se essas culturas devido a sua importância no cenário alimentício pernambucano e regional como um todo. Há também a relevância dessas culturas na economia dos municípios estudados e a melhor condição na aquisição dos dados agrícolas dessas culturas em relação as demais culturas disponíveis na plataforma SIDRA.

2.4.1-Mandioca

A mandioca tem importância para o ser humano desde antes do descobrimento do Brasil para os europeus. É uma planta que já fazia parte da dieta alimentar indígena e também de outros povos ao redor do mundo. Também fez parte da dieta alimentar não só de nativos do Brasil como também de negros escravos e de homens livres durante o Brasil colônia, desempenhando um papel na política na época, onde segundo a EMBRAPA, para se obter direito a voto e ser votado no século XIX era necessário ser detentor de, no mínimo, 150 alqueires de mandioca.

Dentre as 98 espécies do gênero *Manihot* (família das euforbiáceas) registradas, a espécie *Manihot esculenta* Crantz, é a espécie mais difundida e usada comercialmente ou para alimentação de subsistência. Crepaldi (1992), relata em seu trabalho de revisão, que esta espécie se origina da América do Sul e que, dentre as hipóteses lançadas, tem seu centro de diversidade biogeográfica entre o cerrado e a caatinga sendo, portanto, uma planta de origem tropical.

A mandioca é uma cultura de origem brasileira, cultivada em todo país, destacando-se no Nordeste como a maior região produtora com uma média, no período de 2005 a 2015, de 44,1% da área cultivada e 31,3% da produção segundo dados do IBGE. A tolerância a seca e a solos com baixa fertilidade e ácidos, tem permitido o seu cultivo em regiões de baixa precipitação, desde que o solo apresente boa drenagem, textura arenosa ou areno-argilosa, profundidade superior a 1 metro e ausência de salinidade. Apesar da elevada tolerância a seca, a cultura possui elevado potencial produtivo, que permite aproveitar melhor os eventuais períodos de chuvas abundantes (CAVALCANTI, 2000).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o cultivo da mandioca no semiárido pode produzir 12 t/ha entre 14 e 18 meses com possibilidade de diminuição desse tempo para 8 meses quando feito o plantio no início da estação chuvosa (que no semiárido pode ocorrer entre dezembro e fevereiro), em condições de sequeiro. Em condições irrigadas, o tempo de produção diminui para 7 a 10 meses após o plantio, podendo-se obter 10 t/há de raízes comerciais.

Também, segundo a EMBRAPA, a mandioca suporta altitudes que vão do nível do mar até cerca de 2.300 m, sendo as altitudes de 600 m a 800 m as mais favoráveis. No entanto, áreas de depressão ou de grandes altitudes são desfavoráveis ao crescimento da planta, pois podem causar, respectivamente, saturação (e conseqüente apodrecimento) das raízes por

encharcamento e diminuição na produção de amido, reduzindo o potencial nutritivo da planta. Como é uma planta de origem tropical, a temperatura ideal para cultivo gira em torno de 20 a 27°C. no tocante a necessidade hídrica, o Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) informa que a cultura da mandioca para fins comerciais é capaz de suportar ambientes cujo déficit hídrico chegue a até 200mm.

No estado de Pernambuco, a mandioca também desempenha um papel socioeconômico relevante. Pimentel e Vital (2005) afirmam, por exemplo, que a mandioca se destaca por ser produto de grande consumo na dieta do nordestino representando para muitas famílias da zona rural uma importante fonte de renda e de sustentabilidade para a unidade produtiva. Sampaio (2005) apud Pimentel e Vital (2005) comenta que dentre os programas de desenvolvimento que o Governo Federal e o Banco Mundial financiaram, o cultivo da mandioca já foi contemplado pelo Programa de Diversificação Econômica desenvolvido pelo Programa de Apoio ao Desenvolvimento Sustentável da Zona da Mata de Pernambuco (PROMATA) e pelo projeto RENASCER, que financia o projeto casa de farinha. Esses programas estão em vigor até hoje e são fonte de crédito e instalações para implantação de casas de farinha para pequenos produtores e oferta de assistência técnica. No sertão, no entanto, o cultivo da mandioca tem já a algum tempo, suporte vindo da EMBRAPA.

Porém, apesar do assistencialismo estatal que vem sendo produzido para o cultivo da mandioca no país, em escala estadual (em específico Pernambuco), segundo Cuenca e Mandarinó (2006), a cultura da mandioca, que é associada a cultura de feijão e outras culturas de subsistência que não ultrapassam os 50h, vem diminuindo sua produção no estado com queda avaliada em 52% entre 1990 e 2004.

2.4.2 Milho

O cultivo do milho é um dos mais antigos dentro das Américas e assim como a mandioca, possui uma grande importância histórica e social. Sua origem provém do novo continente e como é falado em Brieger (1944), As variedades que foram encontradas em cultivo por ocasião da descoberta das Américas foram em grande parte idênticas às variedades ainda hoje cultivadas, e não há restos "fósseis" propriamente ditos de milho, mas apenas espigas ou reproduções encontradas nos túmulos de tempos antes de Cristo, às quais correspondem exatamente as variedades que os índios ainda hoje cultivam. Então há uma teoria também relatada em Brieger (1944) de que, em termos específicos, a primeira variedade de milho seja mexicana.

Brieger (1944) frisa também que o centro de origem do milho doméstico, ou seja, o resultado do cruzamento entre o milho selvagem e uma espécie de gramínea do gênero *tripsacum*, ocorreu entre o oeste dos Andes, os chacos paraguaio e boliviano e no estado de Mato Grosso (na época havia apenas um Mato grosso), o que teria como resultado o surgimento em terras mexicanas a espécie *Zea mays*.

Esta espécie, como informa Barros e Calado (2014), é cultivada a mais de 8 mil anos e possui grande capacidade adaptativa, por sua variada quantidade de genótipos, permitindo assim, com que seu cultivo ocorra desde o Equador até os limites das zonas temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3600 metros, encontrando-se, assim, em climas tropicais, subtropicais e temperados.

Quanto a fenologia do milho, Ritchie, Hanway e Benson (1993), classificaram em estádios vegetativos (da emergência ao pendoamento) e reprodutivos (desde a polinização até a maturação fisiológica). Segundo Cruz *et al* (2011), os cultivares de milho na safra 2009/2010, dependendo de sua classificação de zoneamento agrícola para riscos climáticos, precisaram entre menos de 110 dias até mais de 145 dias para atingirem a maturação fisiológica a partir da fase de emergência. Segundo Bergamaschi e Matzenauer (2014) A região Nordeste do Brasil, por secas prolongadas, e as regiões Sul e Sudeste, por estiagens frequentes, têm grande variabilidade na produção agrícola. Sendo sensível ao déficit hídrico, o milho é uma das culturas mais afetadas pela variabilidade no regime pluviométrico.

O período de crescimento e desenvolvimento do milho é limitado pela água, temperatura e radiação solar ou luminosidade. A cultura do milho necessita que os índices dos fatores climáticos, especialmente a temperatura, a precipitação pluviométrica e o fotoperíodo, atinjam níveis considerados ótimos, para que o seu potencial genético de produção se expresse ao máximo (CRUZ, *et al.*, 2010). Segundo Carvalho *et al.* (2013), a demanda hídrica do milho varia entre 500 e 800 mm a depender do autor. Barros e Calado (2014) apontam que devido à pouca disponibilidade de água no solo ou devido à elevada transpiração (o que sucede nas horas do dia de temperaturas mais elevadas) a planta desenvolve mecanismos fisiológicos que lhe permite reduzir a perda de água, como por exemplo, fechando os estômatos ou alterando o ângulo foliar e desse modo reduzindo a incidência dos raios solares. Segundo o IPA, no semiárido a cultura de milho irrigado deve ser feita no início da estação chuvosa que pode ocorrer entre o final do último trimestre anual e o primeiro trimestre do ano seguinte.

A produção de milho no Brasil, juntamente com a soja, contribui com cerca de 80% da produção de grãos no Brasil. A diferença entre as duas culturas está no fato que soja tem

liquidez imediata, dada a sua característica de "commodity" no mercado internacional, enquanto que milho tem sua produção voltada para abastecimento interno. Apesar disto, o milho tem evoluído como cultura comercial apresentando, nos últimos vinte e oito anos (a partir da data de publicação do trabalho, ou seja, 2010), taxas de crescimento da produção de 3,0% ao ano e da área cultivada de 0,4% ao ano (DUARTE, 2010).

Por ser uma cultura cosmopolita, o milho é produzido do norte ao sul do Brasil com características e sistemas de produção diferentes. Por ser uma cultura que é amplamente cultivada em pequenas propriedades, uma parcela importante do milho produzido destina-se ao consumo ou transformações em produtos destinados ao consumo na própria fazenda (CRUZ *et al.*, 2011). Apesar disso, no caso específico de Pernambuco, a cultura do milho não tem grande expressividade nacional, pois segundo Duarte (2010), a produtividade entre 1998 e 2001 no estado não ultrapassou 2 mil ton/ha, estando bem abaixo da média nacional.

2.4.3-Feijão

Em termos gerais, o feijoeiro é uma planta leguminosa da família das fabáceas, herbácea, anuais (neste caso o ciclo da cultura dura aproximadamente 3 meses) com caule do tipo haste e, portanto, sem lenho, folhas trifoliadas, raízes axiais que nitrogenam o solo (e por isso é muito comum o cultivo do feijoeiro em consórcio com outras culturas). Como toda leguminosa, o feijoeiro produz vagens, com formato cilíndrico e que produzem numerosas sementes dicotiledôneas (magnoliopsida). Nesta sessão serão abordados as duas espécies de feijoeiro mais comuns no Brasil, o feijão-comum e o feijão-caupi.

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) é uma das principais culturas produzidas no Brasil e no mundo. Sua importância extrapola o aspecto econômico, por sua relevância enquanto fator de segurança alimentar e nutricional e sua importância cultural na culinária de diversos países e culturas. O feijoeiro-comum é, historicamente, um dos principais alimentos consumidos no Brasil e no mundo (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

Sobre a influência climática no crescimento do feijoeiro, Barboza e Gonzaga (2012) destacam que a temperatura do ar é a variável climática que mais influência no crescimento das vagens onde o florescimento e a frutificação são as etapas mais prejudicadas por altas temperaturas. Já em relação a precipitação, os mesmos autores afirmam que a cultura do feijoeiro quando se encontra em estresse hídrico, apresenta redução da área foliar e aumento da resistência estomática e quando a déficit hídrico durante a floração, a altura da planta, o tamanho

das vagens e o número de vagens e sementes por vagens podem ser afetados, culminando em menor rendimento da cultura. Isso explica a importância do monitoramento da variabilidade pluviométrica, bem como de estudos da melhor época de plantio.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão macaçar, é muito consumido e produzido no Nordeste brasileiro. Filho *et al.* (2011) comentam que o feijão comum e o feijão-caupi foram as únicas espécies consideradas como feijão pelo ministério da agricultura, pecuária e abastecimento em 2008.

Filho *et al.* (2011) também afirmam que o cultivo do feijão-caupi está se expandindo para as regiões de cerrado do Norte, Nordeste e Centro-oeste como arranjo produtivo de safrinha após outras culturas maiores. Entretanto, em específico sobre a região Nordeste, a cultura do feijão-caupi encontra-se concentrada no semiárido, onde outras leguminosas anuais, face a variabilidade e irregularidade pluviométrica e altas temperaturas, não possuem pleno desenvolvimento. Portanto, ainda segundo o autor, a produção de feijão-caupi nas regiões Norte e Nordeste é feita por agricultores familiares que ainda utilizam técnicas tradicionais de cultivo.

Dentre os elementos de clima conhecidos que mais influenciam o feijão-caupi, destacam-se a precipitação e a temperatura do ar que, por intermédio do zoneamento de risco climático, possibilitam verificar a viabilidade e a época adequada para a implantação da cultura do feijão-caupi. Outros elementos do clima que exercem influência no crescimento e desenvolvimento dessa cultura são: fotoperíodo, vento e radiação solar (JUNIOR *et al.*, 2002).

Ainda segundo Junior *et al.* (2002), o cultivo do feijão-caupi exige um mínimo de 300mm dentro do período cíclico da cultura sem a utilização da prática de irrigação, ou seja, grande parte do semiárido brasileiro estaria apto para a vigência da cultura, porém o autor enfatiza que a irregularidade das chuvas pode ser mais relevante para a cultura do que os totais pluviométricos no período fenológico da planta. Segundo Santos *et al.* (2007), O feijão-caupi é cultivado no Semiárido brasileiro devido à sua capacidade de tolerância ao estresse hídrico e a solos pobres, quando comparado com outras leguminosas importantes como feijão comum e grão-de-bico. As temperaturas propícias para o cultivo do feijão-caupi giram em torno de 18 a 34° revelando que a planta é típica de climas quentes, apesar de que seu cultivo em plenamente possível no verão de climas subtropicais.

Com o passar dos anos, a produção de feijão vem ganhando forte assistência dentro do âmbito da pesquisa através do melhoramento genético. Esse tipo de estudo é importante, pois possibilita com que o feijoeiro (tanto o comum quanto o caupi), obtenha melhor resistência a pragas de lavoura, a variabilidade de variáveis climáticas, sobretudo a precipitação e melhora a

adaptabilidade da planta a solos menos férteis. Santos *et al.* (2007), discorrem que programas de melhoramento genético do feijão-caupi no Nordeste tem desenvolvido ou desenvolvem cultivares de ciclo superior a 60 dias para colheita de grãos secos, que são em geral, mais resistentes a viroses e doenças oriundas de estresse ou déficit hídrico.

Segundo a classificação utilizada pelo IBGE no Censo Agropecuário 2006, a cultura do feijão tem grande expressão dentro da realidade da agricultura familiar, onde cerca de 90% dos estabelecimentos em escala familiar trabalham com a cultura do feijão. Essa situação é enfatizada por Manos *et al.* (2013), onde é mostrado que a produção de feijão concentra-se, em porcentagem, na agricultura familiar, mantendo o patamar de aproximadamente também de 90%.

2.4.4-Banana

O centro de origem da banana se encontra no sul e sudeste do continente Asiático. Embora existam centros secundários de origem na África Oriental e nas ilhas do Pacífico, além de um importante centro de diversidade na África Ocidental. Estende-se desde a Índia até a Papua Nova Guiné, incluindo a Malásia e a Indonésia (DIAS e BARRETO, 2011).

Segundo a sistemática botânica de classificação hierárquica, as bananeiras produtoras de frutos comestíveis são plantas da classe das *Monocotyledoneae* (liliopsida), ordem *Scitaminales*, família *Musaceae*, da qual fazem parte as subfamílias *Heliconioideae*, *Strelitzioideae* e *Musoideae*. Esta última inclui, além do gênero *Ensete*, o gênero *Musa*, constituído por quatro séries ou seções: *Australimusa*, *Callimusa*, *Rhodochlamys* e (Eu-) *Musa* (SIMMONDS, 1973 apud TRINDADE *et al.*, 2000, p. 12-13).

A bananeira é uma planta tipicamente tropical, cujo bom desenvolvimento exige calor constante, elevada umidade e boa distribuição de chuvas. Essas condições são registradas na faixa compreendida entre os paralelos de 30° de latitude norte e sul, nas regiões onde as temperaturas situam-se entre os limites de 15°C e 35°C. Há, entretanto, a possibilidade de seu cultivo em latitudes acima de 30° de latitude norte e sul, desde que a temperatura e o regime hídrico sejam adequados (MOREIRA, 1987).

Trindade *et al.* (2000) recomendam que a bananeira é uma planta com preferência a climas com baixa amplitude térmica, desde em escala anual, quanto diário e baixas temperaturas podem culminar na deformação dos cachos, inviabilizando a comercialização, em contrapartida, temperaturas acima de 35° podem causar desidratação da planta, principalmente das folhas.

Quanto a questão pluviométrica, Trindade *et al.* (2000) destacam que a bananeira necessita de altos índices pluviométricos (acima de 1900mm) com boa regularidade anual de chuvas, ou seja, sem um período seco, para que haja um ótimo produtivo em peso, aspecto e quantidade. A produção de banana, face ao déficit hídrico, pode oferecer seu período fenológico mais crítico na época da floração e no início da frutificação. Essas características implicam no fato de que no semiárido brasileiro, o cultivo da bananeira requer além de solos profundos, irrigação constante, uma vez que a precipitação total anual e a concentração de chuvas quase que total em apenas uma estação no sertão não suprem as necessidades hídricas da planta. Vale salientar que devido a longevidade, a cultura da banana é permanente, portanto, duram anos.

Sendo a bananeira uma planta tropical, é comum que muitas pragas de insetos, fungos, entre outros, se proliferem e ataquem as lavouras de banana, principalmente quando o manejo da cultura é praticado pela agricultura familiar. Martins e Furlaneto (2008) apontam que dentre as principais pragas e problemas encontrados nas lavouras de banana, destacam-se a broca da bananeira (inseto), Sigatoka-amarela (fungo), Siégatela-amarela (fungo) e mal-do-Panamá (fungo). As autoras também sugerem algumas técnicas de manejo que podem evitar ou ao menos mitigar a ocorrência dessas pragas para a região em que elas estudaram.

A bananeira é cultivada em todos os estados do Brasil, ocupando uma área de 520 mil hectares e uma produção estimada de 6,8 milhões de toneladas. A baixa produtividade está relacionada ao sistema de cultivo de subsistência adotado. Os estados de São Paulo, Bahia, Pará, Santa Catarina, Minas Gerais, Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio de Janeiro são os maiores produtores, sendo desenvolvidas atividades em nível empresarial (DIAS e BARRETO, 2011).

A nível regional, os estados da Bahia, Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte vem sendo os maiores produtores de banana do Nordeste, constituindo a maior região produtora da fruta no país. A bananicultura, portanto, é de fundamental importância para a geração de renda de inúmeros produtores nordestinos. No entanto, a desorganização da cadeia produtiva é evidente. Os produtores, em sua maioria, atuam de forma isolada, o que dificulta a negociação de insumos e a comercialização do produto. Impossibilitados de transportar a produção, a maioria dos produtores passa a depender da atuação dos intermediários (SENA, 2011).

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 Caracterização geral da área

A bacia do rio Pajeú é a maior do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.685,63 km², correspondendo a 16,97% da área do Estado. A área de drenagem da bacia envolve 27 municípios dos quais 7 possuem suas sedes inseridas na bacia (Carnaíba, Carnaubeira da Penha, Floresta, Igaraci, Itacuruba, Mirandiba e São José do Belmonte). Os municípios totalmente inseridos na bacia são: Afogados da Ingazeira, Betânia, Brejinho, Calumbi, Flores, Ingazeira, Itapetim, Quixabá, Santa Cruz da Baixa Verde, Santa Terezinha, São José do Egito, Serra Talhada, Solidão, Tabira, Triunfo e Tuparetama (APAC, 2010).

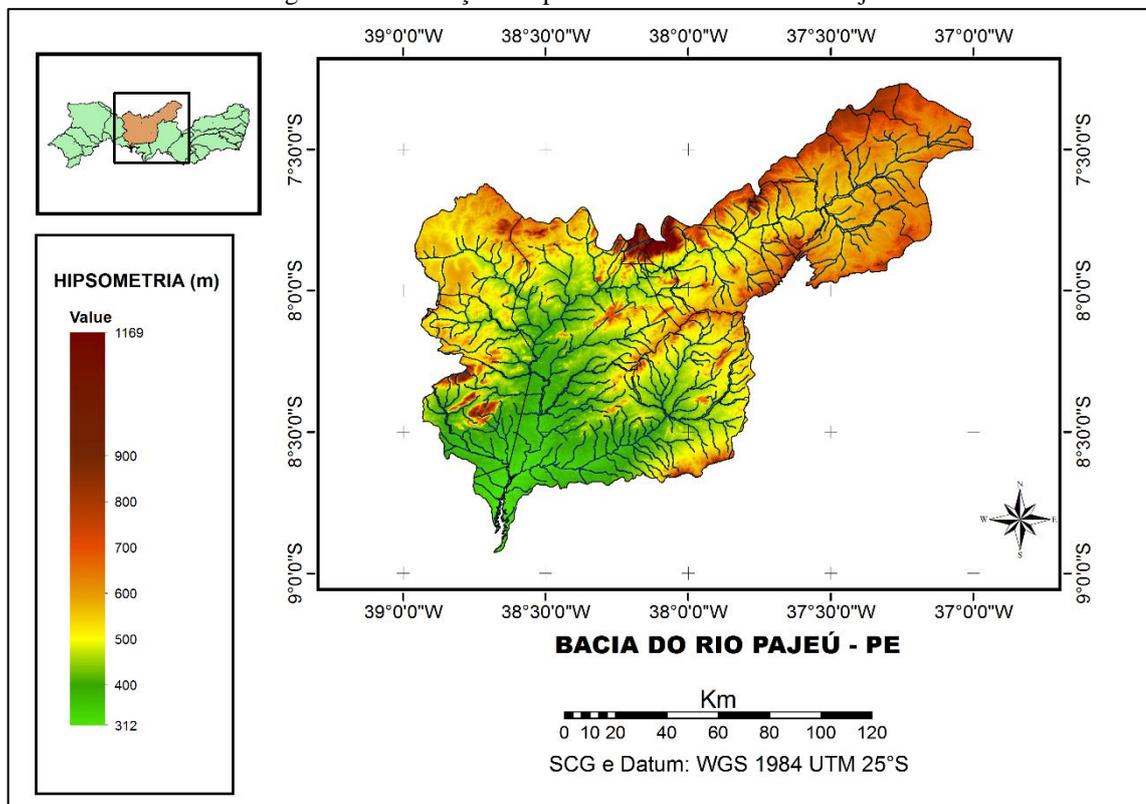
. A área da bacia hidrográfica do rio Pajeú apresenta uma grande diversidade de formas e estruturas na sua distribuição geomorfológica, principalmente por conta da presença das grandes bacias sedimentares dissecadas, pouco dissecadas e retrabalhadas, das estruturas cristalinas dissecadas, escarpadas e preservadas e das áreas rebaixadas e de depressões (FEITOSA, 2012). Graças as grandes altitudes proporcionadas pelo soerguimento planáltico, essas áreas apresentam as maiores amplitudes térmicas ao longo do ano, uma vez que a média durante o verão permanece quente, durante o inverno, no entanto, o ar frio e seco torna as temperaturas durante o período, mais baixas do que o resto da região chegando a $\cong 17^{\circ}\text{C}$ durante julho em algumas localidades.

Na depressão sertaneja, o embasamento cristalino foi modelado pela drenagem do rio Pajeú até desembocar no Rio São Francisco. Aqui os totais pluviométricos anuais são bem mais baixos do que nas áreas planálticas e as médias térmicas são mais altas desenvolvendo assim uma taxa de evapotranspiração com maior déficit hídrico e proporcionando demasiada deficiência na formação edáfica culminando em solos mais rasos e pobres. O conjunto desses fatores torna a vegetação da depressão sertaneja do Pajeú (e do semiárido como um todo) típica e única o que gerou hiperxerofilismo nas plantas como consequência adaptativa do ambiente mais hostil formando assim o que conhecemos por caatinga que, segundo Feitosa (2012), pode ser classificada em caatinga arbórea, arbóreo-arbustiva e arbustiva. A figura 4 mostra a localização da bacia do Pajeú e sua hipsometria.

O clima predominante na área da bacia é o BShw segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, caracterizado por um clima semi-árido quente com chuvas de primavera-verão, porém em alguns trechos de brejo de altitude, onde a umidade é mais alta devido a diminuição

das taxas de evaporação proporcionada por temperaturas mais amenas e o favorecimento da formação de chuvas orográficas, o clima muda e essas áreas são classificadas como tropicais úmidas e semiúmidas. Os municípios de Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde, por exemplo, possuem clima Aw, segundo Köppen-Geiger com período chuvoso também durante a primavera-verão, porém com totais anuais bem mais elevados que as regiões circundantes. Segundo Assis (2015), na área do submédio São Francisco, onde o Pajeú se insere, os totais pluviométricos podem oscilar entre 300 a 1200mm como os maiores valores atingindo o Alto Pajeú, enquanto que os menores acumulados anuais se encontram nas áreas próximas ao Rio São Francisco, onde, por conseguinte, a semiaridez é bem acentuada.

Figura 4: Localização e hipsometria da Bacia do Rio Pajeú



Fonte: ZAPE Geodados/CNPM EMBRAPA

Em termos econômicos, os dados do senso agropecuário municipal do IBGE apontam que a agropecuária se configura como a atividade econômica mais importante entre os municípios na região do Pajeú. Triunfo é o único município, no entanto, onde o turismo torna-se a atividade econômica mais forte, devido as baixas temperaturas durante o inverno. Dentro da agropecuária, a agricultura (em especial a familiar e campesina) possui destaque. Apenas alguns municípios da região apresentam a pecuária (como São José do Egito) como atividade econômica principal.

Sobre os aspectos sociais, os municípios ao longo da bacia alternam-se populacionalmente, entre a maioria da população urbana e a maioria rural. Serra Talhada neste aspecto, é o município com a maior relação entre população urbana/rural, onde 77,4% da população do município vive em área urbana, enquanto que 22,6% vive no campo, segundo o censo do IBGE/2010. O IDH dos municípios, de um modo geral, é considerado como médio, oscilando, em sua maioria, entre 0,500 e 0,699, segundo dados de 2013 do PNUD, configurando assim, a bacia do Rio Pajeú, como uma região socialmente vulnerável.

3.2 Dados

Para a execução da pesquisa, foram utilizados dados mensais de precipitação observada entre 1994 e 2014 de 9 municípios inseridos na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, são eles: Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores, Floresta, Itapetim, Mirandiba, São José do Belmonte, Serra Talhada, Triunfo. Tais dados foram obtidos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Em algumas séries, haviam dados faltantes, exigindo-se a utilização de preenchimento de falhas, onde para tal procedimento, viu-se a necessidade do uso de dados de outros municípios oriundos da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A).

Também foram utilizados dados anuais de área plantada (em hectares), área colhida (em hectares), quantidade produzida (em Toneladas) e rendimento médio (Ton/hect) das culturas de mandioca, milho, feijão e banana também de 1994 a 2014 dos 9 municípios estudados. Tais dados são oriundos do censo agropecuário municipal que pode ser acessado através do banco de dados agregados SIDRA, no endereço eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dentre os dados citados, apenas os dados de rendimento médio, foram analisados estatisticamente junto aos dados de precipitação.

Para as análises das anomalias climáticas, foram utilizados dados mensais de IOS sobre o oceano Pacífico, TSM na região do Niño 3, que é visto como a região de aquecimento que mais impacta a região do semiárido (DOS SANTOS e BRITO, 2007) e TSM dos Atlânticos Norte e Sul, obtidos no endereço eletrônico da National Center of Environmental Prediction (NCEP) que pode ser acessado em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>. Neste endereço, é possível também, obter dados de outros índices além dos que foram coletados para esta pesquisa. Todos os dados coletados de anomalias de pressão e temperatura encontram-se em escala temporal mensal correspondendo também aos anos de 1994 a 2014.

3.3 Procedimentos metodológicos

Antes da realização das análises, foi necessário aplicar um método de preenchimento de falhas de precipitação nos municípios de Betânia, Itapetim e São José do Belmonte. Os primeiros anos da série em estudo estavam com algumas ausências de dados nessas localidades, portanto, foi selecionado o método de preenchimento de falhas por interpolação, a ponderação regional. Constitui-se de um cálculo simples, onde seleciona-se postos pluviométricos próximos e o mais equidistantes possíveis daquele posto que se quer preencher. Além desta exigência, é importante que os postos interpolados estejam na mesma região ecoclimática como é proposto em Leivas et al (2005), porém não há problema disso ocorrer, pois o posto pluviométrico com falhas pode estar inserido em área de transição ecoclimática. A ponderação regional é retratada em alguns trabalhos (PRUSKI et al., 2004; LEIVAS et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2010).

O cálculo da ponderação regional é expresso na equação 1:

$$\hat{p} = \sum(\frac{\bar{p}}{\bar{p}_i} * x_i) / N_p \quad (1)$$

Em que \hat{p} é o valor a ser estimado, \bar{p} é a média da precipitação do posto com falhas, \bar{p}_i é a média de cada posto próximo ao posto com falhas, x_i é a precipitação do posto próximo no mês i , e N_p é o número de postos próximos ao posto com falhas que estão sendo utilizados.

Como foi retratado na revisão bibliográfica, no Nordeste as culturas de mandioca e Banana recebem assistência governamental para a sua produção e no caso da banana, o cultivo é feito de forma irrigada no semiárido. O objetivo deste trabalho, no entanto, é trabalhar a influência da precipitação sobre a produtividade dessas culturas minimizando a atuação de incentivos agrícolas e programas rurais. Enquanto as culturas de feijão e milho são cultivadas em sequeiro no semiárido, os dados de produtividade da mandioca e banana precisariam de um ajuste para a retirada das influências técnicas exercidas nelas.

Sendo assim, optou-se pela aplicação da regressão linear para fazer tal ajuste e gerar a partir dos dados brutos de produtividade, dados simulados de mandioca e banana. O uso desta técnica estatística foi proposto por Ferreira (2005), que a usou para minimizar as tendências tecnológicas de produtividade do milho e da soja na região Sul e Sudeste. No caso do semiárido essas tendências são respaldadas por Cuenca e Mandarinino (2006) e Lichtemberg e Lichtemberg

(2011) para mandioca e banana, respectivamente, onde ambos revelam que houve em Pernambuco nos últimos anos, aumento da produtividade nessas culturas.

Portanto, o modelo de regressão foi aplicado segundo Ferreira (2005) em duas etapas: primeiro utilizou o ano como variável independente, para retirar o efeito das tecnologias adotadas nos sistemas de produção (no caso, os investimentos feitos pelo estado e pela própria iniciativa privada com maquinário, adubos, pesticidas e irrigação). O cálculo utilizado para isso é descrito na equação 2:

$$Y_{ci} = Y_i - Y(xi) + Y(xo) \quad (2)$$

Onde Y_{ci} é a produtividade simulada do ano “i”, Y_i é a produtividade original do ano “i”, $Y(xi)$ é a produtividade do ano i estimado pelo modelo de regressão e $Y(xo)$ é a produtividade do primeiro ano da série histórica de produtividade estimada pelo modelo de regressão.

Entretanto esta equação é válida quando se percebe uma tendência positiva da produtividade ao longo dos anos. Quando a tendência é negativa, é necessário inverter os sinais de adição e subtração da equação, caso contrário, haverá um aumento no valor simulado da produtividade, cenário este completamente incoerente com a realidade. Esta ideia parte do pressuposto que havendo uma tendência negativa da produtividade original, implica em que, mesmo com a introdução de incentivos agrícolas e melhorias na produção, o rendimento médio ainda pode cair por “n” fatores (condições climáticas adversas, desistência de agricultores, falhas na logística, etc). Esses incentivos agrícolas teriam o papel, então, de minimizar o impacto desses fatores negativos.

A segunda etapa do uso da regressão na produtividade agrícola, foi utilizada para correlacionar os dados agrícolas simulados (de mandioca e banana) e originais (de feijão e milho) com a precipitação anual através do coeficiente de determinação “R²” da regressão linear com nível de significância de 95% e 99%, onde desta vez a precipitação seria variável determinante e a produtividade, a variável dependente. Esta etapa teve o intuito, portanto, de entender a influência direta da precipitação na produtividade agrícola.

A equação 3 descreve o coeficiente de determinação como:

$$R^2 = \frac{\sum(Y-\bar{Y})^2}{(\sum y^2) - n(\bar{y})^2} \quad (3). \text{ Fonte: Ferreira et al. (2005)}$$

Em que: Y é o valor da reta de ajuste para o ano “i”, \bar{Y} é a média dos valores da reta, y é o valor simulado da produtividade e n é o número de pares correlacionados.

Assim como a regressão linear, o método estatístico da correlação linear também foi utilizado para analisar a influência da variabilidade pluviométrica na produtividade agrícola das culturas estudadas. Entretanto, neste método, não existe uma relação de variável condicionante e variável condicionada, mas tanto a precipitação quanto a produtividade são variáveis independentes. Durante o processo, a precipitação foi dividida sazonalmente (em trimestres) centradas nos meses de fevereiro (JFM), maio (AMJ), agosto (JAS) e novembro (OND) e correlacionada com a produtividade de cada município estudados para a 4 culturas.

A equação 4 descreve a correlação linear como:

$$r = \frac{n \sum X_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}} \quad (4). \text{ Fonte: Ferreira } et al. (2005)$$

Em que r (anexo 1) é o coeficiente de correlação entre a variáveis, X e Y são as variáveis consideradas e n é o tamanho da amostra.

Após isso foi calculado a significância estatística da correlação através do teste de hipóteses *t-student* que segundo Ferreira (2005) e Oliveira (2008) é aplicado para variáveis independentes com um número pequeno de amostras, ou seja, <30 e onde o número de tratamentos não ultrapasse 4. Para este teste optou-se por um nível de significância de 95% e 99% assim como foi na regressão linear. Por meio deste teste, pudemos constatar se as correlações foram significantes e altamente significantes e qual foi o período trimestral mais bem correlacionado com a produtividade de cada cultura.

A equação 5 a seguir descreve o teste *t-student* como:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (5). \text{ Fonte: Ferreira } et al. (2005)$$

Em que t (anexo 2) é o valor tabelado, r é o coeficiente de correlação da variáveis X e Y , n é o número de amostras e $n-2$ é o grau de liberdade do teste.

A variabilidade da precipitação na bacia hidrográfica do rio Pajeú foi analisada estatisticamente, em separado da produtividade agrícola. Para aferir o nível de variabilidade pluviométrica na região, foram calculados desvios do erro médio (DEM) em duas escalas: a primeira em escala mensal para se ter ideia da amplitude da variabilidade, bem como, períodos chuva abaixo ou acima da média; a segunda em escala semestral, ou melhor dizendo, durante o período chuvoso que no caso do Pajeú compreende os meses de janeiro a maio (podendo prolongar-se para Junho) com base nos dados coletados. Neste caso, a ideia é saber como a

precipitação varia e detecta épocas de chuva abaixo ou acima da média durante o período mais importante para lavouras.

Uma segunda análise usando o DEM, foi efetuada, desta vez, trabalhando com a precipitação em escala trimestral juntamente com a produtividade agrícola. Neste caso, o intuito seria o de avaliar o comportamento da produtividade agrícola das quatro culturas estudadas, durante o trimestre chuvoso mais bem correlacionado com a produtividade, portanto, aqui o DEM foi aplicado tanto para os dados pluviométricos, quanto para os dados agrícolas.

O cálculo dos desvios da média padronizados é descrito nas equações 6 e 7 como:

$$P_x = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} \quad (6). \text{ Fonte: Ferreira et al. (2005)}$$

$$P_y = \frac{Pd_i - \bar{Pd}}{\sigma} \quad (7). \text{ Fonte: Ferreira et al. (2005)}$$

Em que P_x é o valor do DEM para o mês ou período “x”, P_y é o valor do DEM da produtividade no ano “y”, P_i é o valor da precipitação no mês ou período “i”, Pd_i é o valor da produtividade no ano “i”, \bar{P} é a média da série pluviométrica calculada, \bar{Pd} é a média da produtividade e σ é o desvio padrão da série calculada.

A produtividade agrícola também foi analisada em separado da precipitação. Com o intuito de comparar a produtividade das culturas entre os municípios, foi utilizado o teste de hipóteses da ANOVA, que se constitui como um teste desenvolvido para se comparar médias entre vários tratamentos simultaneamente. Neste teste é possível comparar médias de tratamentos com números amostrais ou populacionais iguais ou diferentes, bem como um grande número de amostras. Portanto, a Análise de Variância é um método suficientemente poderoso para poder identificar diferenças entre as médias populacionais devidas a várias causas atuando simultaneamente sobre os elementos da população (COSTA NETO, 1977).

Na ANOVA faz-se um cálculo comparativo entre os tratamentos, entre as repetições (número de tratamentos) e gera-se um valor chamado resíduo. Utiliza-se, posteriormente, do teste de F para identificar se houve ou não significância estatística após os cálculos. Segundo Oliveira (2008), O valor assim calculado de F deve ser comparado àquele tabelado (anexo 3) segundo os graus de liberdade da fonte testada e do resíduo, respectivamente nas colunas e linhas daquela tabela. O valor tabelado é também chamado de valor crítico e se o valor calculado for maior que o tabelado, indica-se que houve diferenças estatísticas entre as médias, se não, não houve diferença estatística. Para o cálculo da ANOVA e constatação de significância estatística, dispôs-se do software “Statdisk” que além de fazer os cálculos, é capaz de gerar

gráficos informando sobre o valor crítico de F segundo os graus de liberdade e o nível de significância adotado que foi de 95%.

Havendo diferença entre as médias, faz-se necessário a utilização de teste que nos diga quais médias são diferentes entre si, pois a ANOVA apenas nos diz se há ou não diferenças. Para isso adotou-se o teste de Duncan, um teste robusto e complexo que compara as médias de cada tratamento entre si uma a uma. Para a execução do cálculo, é necessário primeiro que se ordene as médias envolvidas em ordem decrescente e após isso, calcular a diferença mínima significativa (DMS) descrito na equação 8:

$$DMS = z \sqrt{\frac{QME}{r}} \quad (8)$$

Onde z (anexo 4) é um valor tabelado obtido através do nível de significância adotado e o número de médias abrangidas no contraste das médias em comparação, QME é o quadrado médio do erro (ou do resíduo), obtido durante o cálculo da análise de variância e r é o número de repetições.

Quando o número de repetições (que equivale também ao número de amostras) for diferente, é necessário o uso do DMS ponderado descrito na equação 9 como:

$$DMS = z \sqrt{\frac{QME}{n} * \left(\frac{1}{r_1} \mid \frac{1}{r_2} \dots \right)} \quad (9)$$

Onde n é o número de médias comparadas no teste e r_1 , r_2 , etc., é o número de repetições de cada tratamento envolvido. Após calcular o DMS de cada média envolvida, calcula-se a diferença entre as médias uma por uma e compara-se cada valor com o valor encontrado de DMS segundo a quantidade de médias abrangidas no cálculo da diferença. Se o valor de cada diferença for maior que o valor do DMS comparado, há diferença estatística entre as médias comparadas, se não, não há diferença entre as médias comparadas.

As anomalias de temperatura da superfície do mar e de pressão média do mar que ocorrem nos oceanos Pacífico e Atlântico são destacadas em vários trabalhos (UVO, 1989; UVO et al., 1998; ARAUJO et al., 2013; SANTIAGO; NÒBREGA, 2014) como um dos fatores influenciadores na variabilidade dos padrões de precipitação por todo o globo. Esses efeitos por sua vez, irão influenciar nas atividades agrícolas, sobretudo, aquelas vinculadas a uma maior dependência das chuvas. Com isso, foram detectados e classificados os anos de ocorrência de El Niño/La Niña utilizando os dados de IOS.

Foi adotado o método utilizado por Junior e Almeida (2012) para identificar a ocorrência do fenômeno ENOS com base no IOS, método este proposto pela NOAA/NCEP descrita em

(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products>). O IOS foi o procedimento adotado para estabelecer as fases quente (EL Niño) e fria (La Niña), considerando-se a ocorrência de $\text{IOS} \geq 0,50$ e $\text{IOS} \leq -0,50$ respectivamente com pelos menos cinco meses consecutivos; e entre -0,4 e 0,4 de anos Neutros (sem ENOS).

Após essa classificação, os eventos de El Niño/La Niña detectados, foram analisados junto aos desvios da média padronizados de precipitação. A ideia central aqui é saber empiricamente se esses eventos apresentam influencia positivas ou negativas na precipitação. Foram feitas, também correlações entre os dados de IOS com a precipitação em escala mensal para saber estatisticamente se há influência nos padrões anômalos de pressão a nível do mar no pacífico com as chuvas nos municípios estudados.

Parte do mesmo procedimento foi repetido agora com dados de temperatura da superfície do mar da região do Niño 3, localizado no centro leste o Pacífico. Algumas literaturas (NEALE, RICHTER e JOCHUM, 2007; WANG *et al.*, 2012) indicam que os efeitos do ENOS só ocorrem no Norte e Nordeste do Brasil alguns meses depois de sua intensificação no oceano. Sendo assim foram correlacionados dados de TSM do Niño 3 com dados de precipitação em escala mensal, utilizando 3 meses de atraso, ou seja, o valor de TSM no mês de outubro será correlacionado com o de chuva no mês de janeiro, já pressupondo que anomalias de TSM apenas provocarão alguma modificação na dinâmica atmosférica 3 meses após a sua ocorrência.

Assim como no Pacífico, as anomalias de temperatura da superfície do mar sobre o Atlântico tropical também constituem papel fundamental nas precipitações sobre o Nordeste (HASTENRATH, 1984; UVO, 1989; ALVES *et al.*, 2014). Com isso o fenômeno do Dipolo do Atlântico, constituído pela diferença entre as ATSM do Atlântico tropical Norte com as ATSM do Atlântico tropical Sul, bem como sua teleconexão com as ATSM do Niño 3, também foram correlacionados com a precipitação sobre a Bacia Hidrográfica do Pajeú.

Para investigar o potencial de previsibilidade da precipitação sobre a produtividade agrícola, foi preciso primeiramente escolher uma das culturas estudadas para a aplicação do experimento. Foi escolhido, portanto, a cultura da mandioca, pois é a única das quatro estudadas que apresenta dados suficientes e completos de produtividade, uma vez que as outras possuem dados anuais faltantes de produtividade agrícola.

Foram separados, os períodos trimestrais chuvosos mais bem correlacionados com a produtividade entre os municípios que foram compreendidos como os meses de JFM ou AMJ dependendo do município. Para a execução do teste, foi aplicado a metodologia de Ferreira (2005), porém mais simplificada e adaptada ao estudo que consiste na separação da série

histórica de precipitação e produtividade compreendida entre 1994 e 2014 em 2 períodos. No primeiro período entre 1994 e 2004 (11 anos), foi aplicado uma regressão linear com a precipitação como variável condicionante e através da reta de ajuste, juntamente com a equação $\alpha + \beta x$, onde “ α ” representa o ponto onde a reta de ajuste toca no eixo de y, “ β ” representa o ângulo de inclinação da reta e “x” representa os dados trimestrais se precipitação, foram gerados dados previstos de produtividade que representam o segundo período de estudo compreendido entre 2005 e 2014.

Em posse das duas séries de dados de produtividade agrícola no período de 2005 a 2014, foram utilizados testes estatísticos com o objetivo de se conhecer o grau de erro e capacidade de previsão do modelo aplicado, bem como constatar se há tendência de aumento ou diminuição da produtividade. Os testes usados foram a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), Erro Médio Absoluto (EMA) e Tendência (TEND), descritos nas equações 10, 11 e 12 respectivamente:

$$REMQ = \sqrt{\sum_{y=2005}^{2014} \frac{(Pdy_p - Pdy_o)^2}{n}} \quad (10)$$

$$EMA = \frac{\sum_{y=2005}^{2014} |Pdy_p - Pdy_o|}{n} \quad (11)$$

$$TEND = \frac{\sum_{y=2005}^{2014} (Pdy_p - Pdy_o)}{n} \quad (12)$$

Onde y é o ano onde a previsão começa, n é o número de anos compreendidos, Pdy_p é a produtividade prevista pelo modelo no ano y e Pdy_o é a produtividade observada (aquela que foi corrigida com base nos anos) no ano y .

O EMQ é a raiz quadrada da média das diferenças individuais quadráticas entre a previsão e as observações. O EMA é a média das diferenças dos valores absolutos entre previsão e a observação de um campo particular e a tendência (TEND) mede a tendência do modelo para avaliar uma variável (FERREIRA, 2005). A correlação de Pearson também foi aplicada com o mesmo objetivo de se mensurar o caráter potencial do modelo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

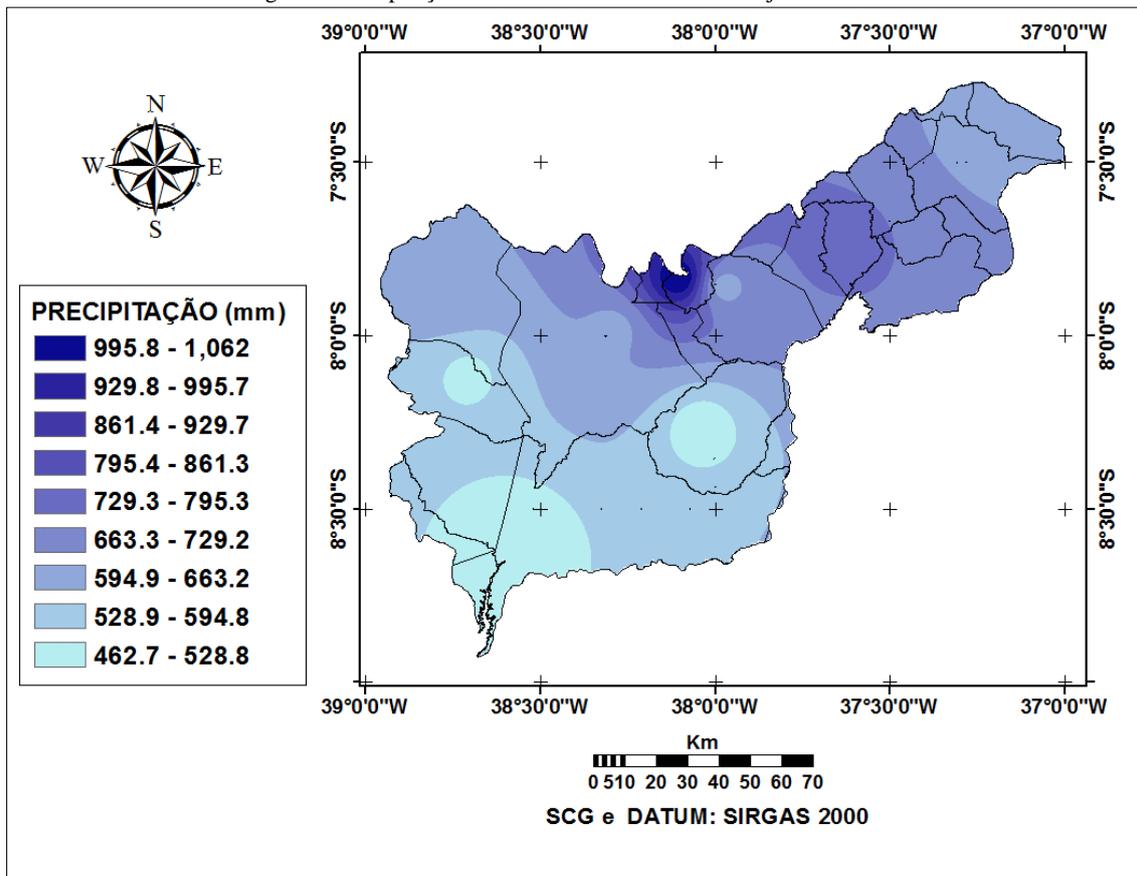
Neste capítulo serão apresentados os resultados da pesquisa bem como o diálogo entre tais resultados e os apresentados por pesquisas feitas por outros autores. O capítulo será subdividido em 4 tópicos sendo eles a caracterização da precipitação e da produtividade agrícola sobre a bacia hidrográfica do Rio Pajeú; relações entre a precipitação e a produtividade; efeitos das anomalias climáticas e sistemas atmosféricos sobre a precipitação e potencial pluviométrico de previsibilidade agrícola sobre mandioca na bacia hidrográfica.

4.1 Caracterização da precipitação e da produção agrícola sobre a bacia hidrográfica do Rio Pajeú

A região da bacia do Pajeú apresenta grande variabilidade pluviométrica regional, devido a existência de brejos de altitude e a depressão sertaneja que aumentam a diferença entre as regiões de maior e menor pluviosidade. Na figura 5 percebe-se essa diferença. Com a média de 21 anos de dados entre 1994 e 2014, as regiões mais altas do Planalto da Borborema na bacia apresentam as maiores médias pluviométricas anuais, tendo o município de Triunfo como posto representante desta assertiva com média anual de 1076,8mm. Entretanto, os municípios de Flores e Santa Cruz da Baixa Verde, que também estão situado em áreas de brejo de altitude, também apresentam altos índices anuais de chuva em relação aos outros municípios do Pajeú.

Em contrapartida, os postos pluviométricos localizados na depressão do São Francisco são os que apresentam as menores cotas pluviométricas oscilando entre 400mm e 520mm, sendo estes valores, representados pelos postos de Mirandiba, Floresta e Betânia. A análise da tabela 1, elucida com detalhes pontuais entre os municípios, essa variabilidade regional de pluviosidade. Percebe-se que há uma substancial diferença de 597,4mm entre a maior (Triunfo) e menor (Floresta) média pluviométrica, face a localização geográfica destes dois municípios. Entretanto, o município de Afogados da Ingazeira, cuja sede já não se localiza em áreas de brejo, também apresenta pluviosidade média anual bem acima do município de Floresta (diferença de 282,1mm), apesar de Afogados da Ingazeira denotar média pluviométrica típica do semiárido. A resposta para essa diferença dá-se pelo fato de que Afogados da Ingazeira se localiza mais ao norte onde a atuação da ZCIT durante o verão é mais forte e o município se encontra em uma altitude mais elevada, no piemonte da Borborema, favorecendo (em menor intensidade que as áreas de brejo) a orografia formada no sentido N-S.

Figura 5: Precipitação média anual da bacia do Rio Pajeú entre 1994 e 2014



Fonte dos dados: APAC/ANA. Imagem: Caio Diaz

Tabela 1: Média anual de precipitação dos municípios pesquisados

Municípios	Prec (mm)
Afogados da ingazeira	760,7
Betânia	496,8
Flores	644,6
Floresta	478,6
Itapetim	635,9
Mirandiba	527,8
S. jose do Belmonte	674,3
Serra Talhada	655,3
Triunfo	1076,8

Fonte dos dados brutos: APAC/ANA

O período chuvoso no Pajeú resume-se aos 5 primeiros meses do ano e em média representa no mínimo 66% e no máximo 76% de todo o volume de chuva no ano. Entretanto este valor pode aumentar consideravelmente devido a diferente variabilidade intra anual entre os municípios. Em 1998, ano de forte El niño, o município de Itapetim, por exemplo, choveu apenas 146mm sendo que 123mm foram somados entre janeiro e maio totalizando 84% do total anual. Percentagem semelhante foi encontrado, agora em 2006, um ano de acumulado acima da

média anual, no município de Afogados da Ingazeira. Naquele ano choveu 902mm durante o período chuvoso, cerca de 80% do total anual de 1121mm e no mesmo município, em 2007, dos 586mm de chuva que caiu naquele ano, 90% ou 530mm se concentrou na quina chuvosa (mais detalhes podem ser encontrados na tabela 2 e na Figura 6). Isso denota o quão concentrado o regime pluviométrico pode ser na região.

Regionalizando o período chuvoso, temos que as maiores cotas pluviométricas, novamente se setorizam nas áreas mais elevadas, sentido Nordeste e perto ou na fronteira com a Paraíba, enquanto que a depressão do São Francisco na região representa as menores médias da quina chuvosa em toda a bacia, reforçando mais uma vez, o papel da ZCIT na diferenciação regional desses índices. O mapa da Figura 7 revela essa diferenciação, com a porção centro-norte da bacia que abrange os municípios de Triunfo, Santa Cruz da Baixa Verde e parte de Flores representando as maiores médias de toda a bacia e a porção Sul da bacia abrangendo os municípios de Betânia, Floresta, Carnaubeira da Penha, Mirandiba e partes dos municípios de Itacuruba e Belém de São Francisco.

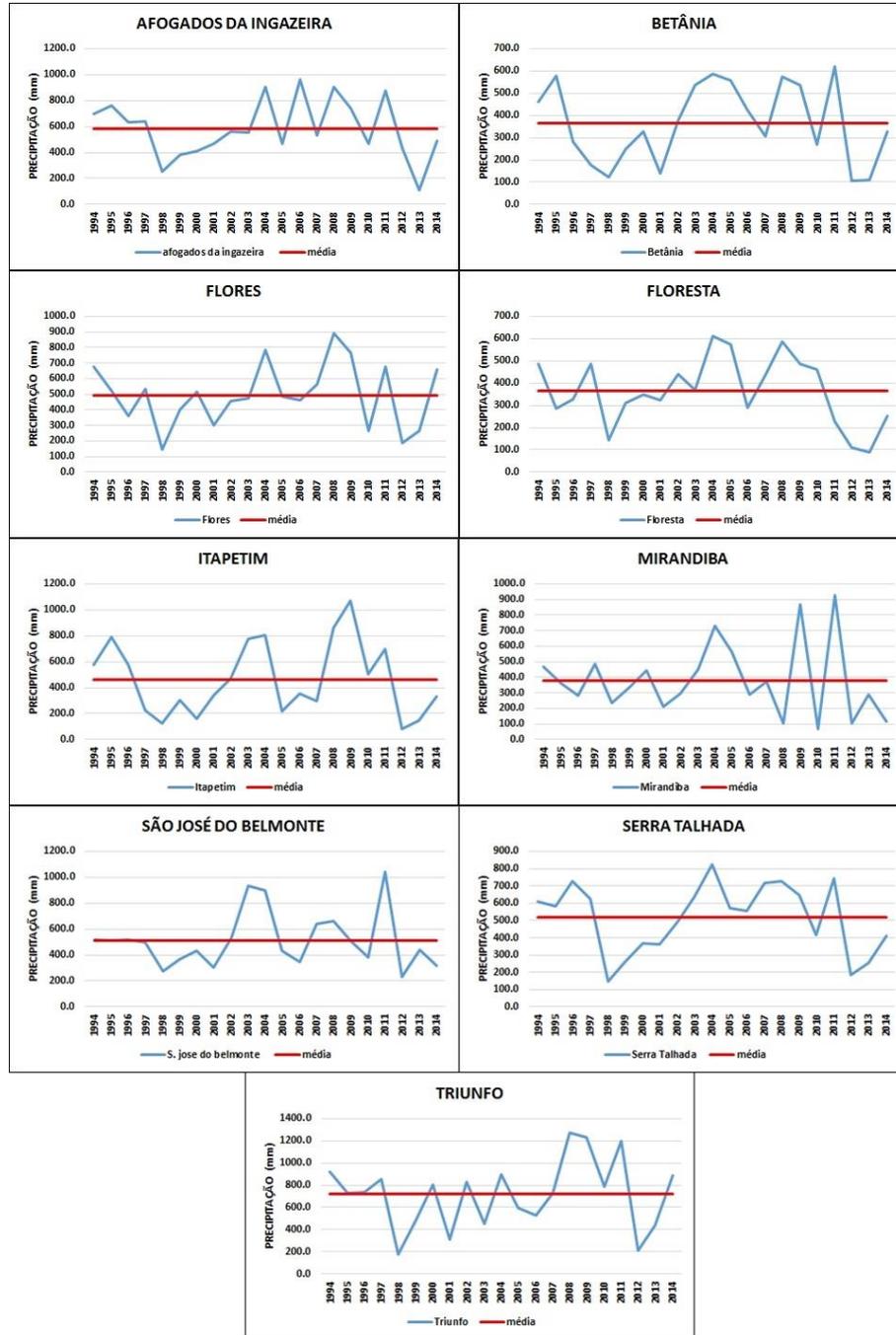
Tabela 2: Precipitação durante o período chuvoso entre 1994 e 2014

Período chuvoso	Afogados da Ingazeira	Flores	Floresta	Itapetim	Mirandiba	Serra Talhada	Triunfo	Betânia	São Jose do Belmonte
1994	700,6	677,5	487,1	573,0	465,7	608,2	919,4	461,3	517,7
1995	761,8	520,8	286,3	791,9	362,8	581,6	726,9	577,7	510,5
1996	636,8	358,5	327,1	575,0	280,4	725,4	737,2	283,0	517,1
1997	642,6	533,1	488,0	228,4	483,5	626,9	853,5	178,6	498,4
1998	255,2	144,9	145,6	123,0	236,4	146,4	176,0	123,1	275,0
1999	380,0	402,3	310,4	306,8	336,0	261,8	485,2	248,2	370,8
2000	412,8	513,7	348,5	163,4	442,9	369,7	803,0	329,0	433,6
2001	467,0	302,9	325,6	339,3	210,5	360,2	310,6	137,7	303,2
2002	560,9	456,0	439,7	468,6	296,0	492,6	827,2	376,4	531,0
2003	551,6	475,1	368,1	780,0	451,2	635,0	453,7	535,0	937,0
2004	902,4	785,9	610,3	806,9	731,3	824,8	898,6	585,4	898,4
2005	471,5	483,5	572,7	218,5	563,8	569,7	596,5	557,0	431,5
2006	961,7	464,7	291,8	354,4	290,6	553,5	524,6	425,9	350,4
2007	530,1	562,5	435,2	294,0	373,9	714,5	732,5	308,8	642,9
2008	907,9	892,5	585,2	863,9	104,7	725,8	1272,0	572,3	659,5
2009	740,5	768,3	487,0	1071,0	867,0	511,4	1233,9	534,8	502,8
2010	466,4	262,6	461,0	502,0	69,2	417,0	791,1	269,1	384,7
2011	879,4	679,4	228,1	695,0	927,0	743,8	1199,4	618,6	1044,8
2012	432,4	188,3	109,8	82,0	103,0	184,1	210,2	107,9	233,8
2013	107,3	266,4	88,2	144,0	288,0	257,4	436,6	112,1	439,3

2014	489,3	656,4	251,7	335,0	113,7	409,4	886,9	328,9	316,1
Média	583,7	495,0	364,2	462,7	380,8	510,4	717,9	365,3	514,2

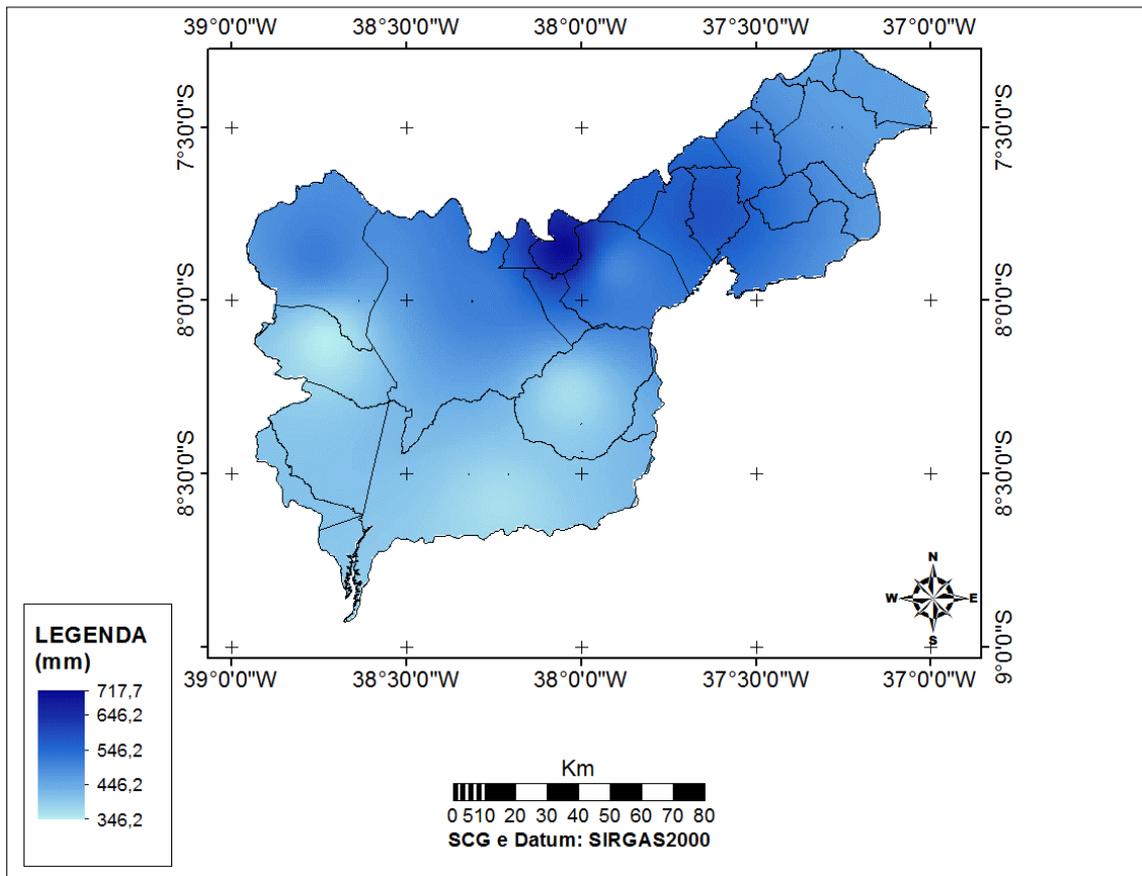
Fonte dos dados brutos: APAC/ANA

Figura 6: série temporal e média do trimestre chuvoso na bacia do rio Pajeú



Fonte: Caio Diaz

Figura 7: Precipitação média durante o período chuvoso (janeiro a maio) entre 1994 e 2014.



Fonte dos dados: APAC/ANA. Imagem: Caio Diaz

Quanto ao período seco que se estende de junho a dezembro, observa-se bastante instabilidade entre os anos para cada município estudado, ou seja, a amplitude pluviométrica interanual de cada município pode variar bastante podendo chegar a mais de 500mm de diferença. A tabela 3 e a Figura 8 revelam que em Afogados da Ingazeira por exemplo, registrou-se apenas 5mm de chuva em 2012 durante o período seco, enquanto que em 2000, no mesmo período, registrou 365mm. Outro exemplo extremo é o município de Mirandiba que registrou 29mm de chuva no período seco em 2014 e 552mm em 2007 no mesmo período. Esse registro mostra que houve naquele ano uma inversão no regime pluviométrico do município fazendo com que de junho a dezembro chovesse mais de 59% do total anual, decorrente de instabilidades associadas a frentes frias que conseguiram atingir o NEB durante o período seco. Já a precipitação média do período seco comporta-se de maneira homogênea para os municípios a exceção de Triunfo com média até 3 vezes maior que os demais.

No que consta a regionalização da precipitação média, o período seco segue a mesma lógica da quina chuvosa, com os maiores acumulados ocorrendo majoritariamente nas áreas de brejo de altitude do centro Norte e Nordeste da bacia do Pajeú e os menores acumulados

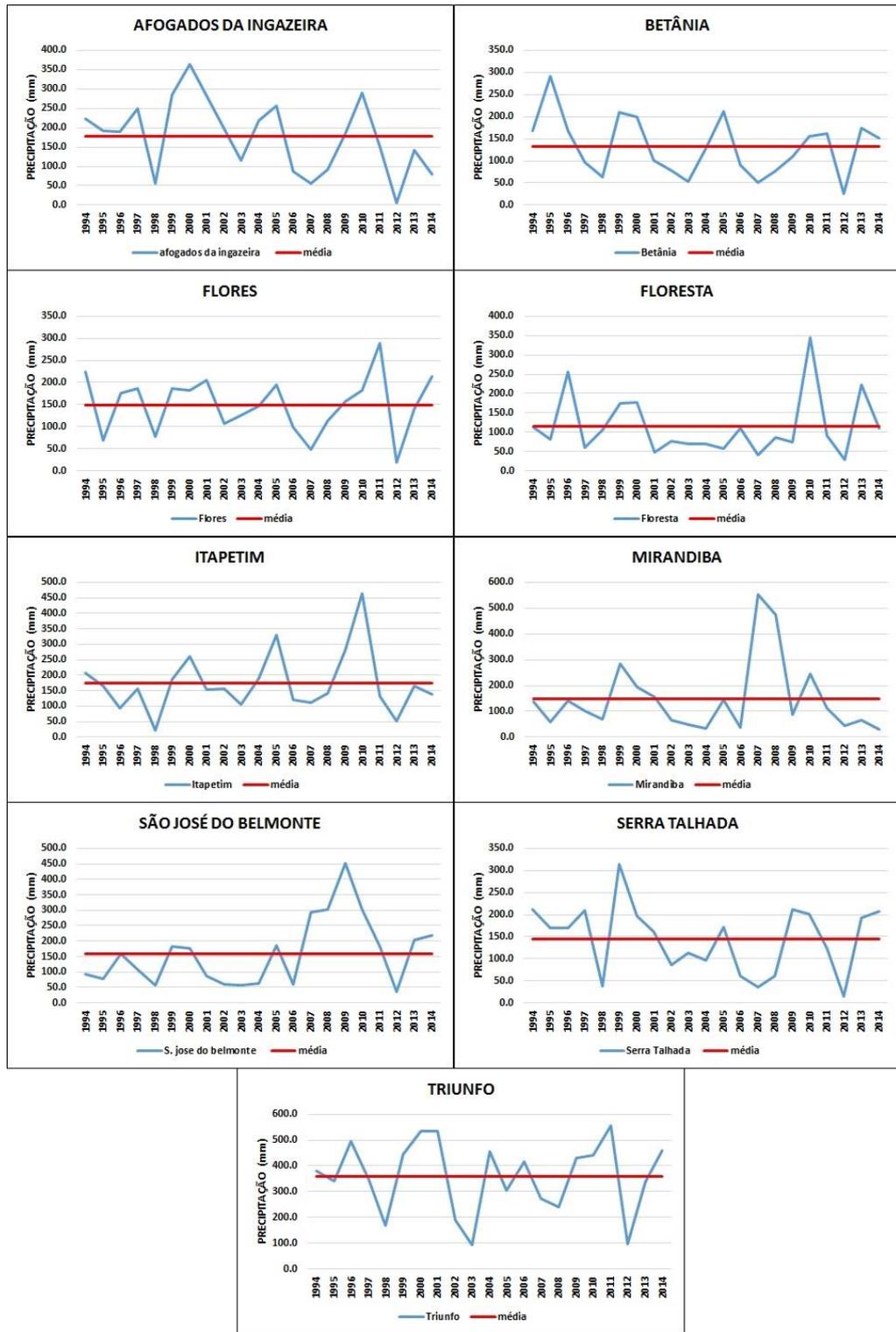
ocorrendo comumente na porção meridional da região onde predominam altitudes medianas a baixas da depressão sertaneja (Figura 9). Essa diferenciação regional se dá pelo fato de que durante o período seco nas áreas planálticas, a altitude favorece a formação de nuvens através da orografia, propiciando razoáveis acumulados de chuva. Outra possível razão assenta nas características fitogeográficas que podem proporcionar umidade em microescala através da evapotranspiração da mata densa latifoliada.

Tabela 3: Precipitação durante o período seco entre 1994 e 2014

Período seco	Afogados da ingazeira	Flores	Floresta	Itapetim	Mirandiba	Serra Talhada	Triunfo	Betânia	São Jose do Belmonte
1994	222,6	224,2	112,6	205,8	137,8	211,3	381,2	168,6	93,2
1995	191,0	69,9	82,2	166,8	58,6	169,7	339,7	291,8	79,2
1996	190,2	174,9	255,3	95,0	142,3	170,7	496,3	167,0	157,5
1997	250,4	186,9	60,4	155,6	101,1	210,0	348,9	97,9	109,1
1998	55,6	78,2	106,3	22,9	69,2	37,2	169,8	64,2	58,5
1999	285,8	187,1	175,8	185,5	283,2	314,6	443,9	209,7	183,9
2000	365,2	182,0	176,3	260,4	193,8	196,1	534,8	198,6	177,9
2001	281,8	205,9	48,8	152,3	157,0	161,2	534,1	101,1	86,8
2002	196,3	106,5	75,9	157,0	65,3	86,0	189,1	78,3	59,5
2003	116,4	124,7	70,6	105,3	49,6	112,3	92,0	52,3	56,2
2004	219,0	146,0	70,4	190,5	33,1	95,6	455,9	128,1	63,4
2005	257,3	194,7	59,0	329,6	143,7	170,8	305,1	212,1	185,0
2006	87,8	98,0	109,7	121,3	38,4	61,0	417,5	89,9	59,6
2007	56,0	49,3	40,3	112,7	552,4	36,2	272,7	50,0	294,5
2008	92,2	112,4	87,5	141,4	474,6	62,0	240,0	75,9	302,5
2009	183,9	157,3	75,1	282,0	89,0	211,6	431,1	109,1	452,5
2010	289,4	181,2	344,0	463,2	243,4	200,3	442,7	156,1	301,5
2011	150,6	289,7	90,3	131,8	112,6	124,3	554,4	160,9	183,1
2012	5,0	19,1	29,5	53,3	46,0	14,2	97,9	26,5	35,0
2013	141,9	140,8	223,7	166,0	67,3	192,5	335,7	174,1	204,6
2014	78,6	214,1	110,7	140,0	29,7	206,4	459,1	151,5	218,9
Média	177,0	149,7	114,5	173,3	147,1	145,0	359,1	131,6	160,1

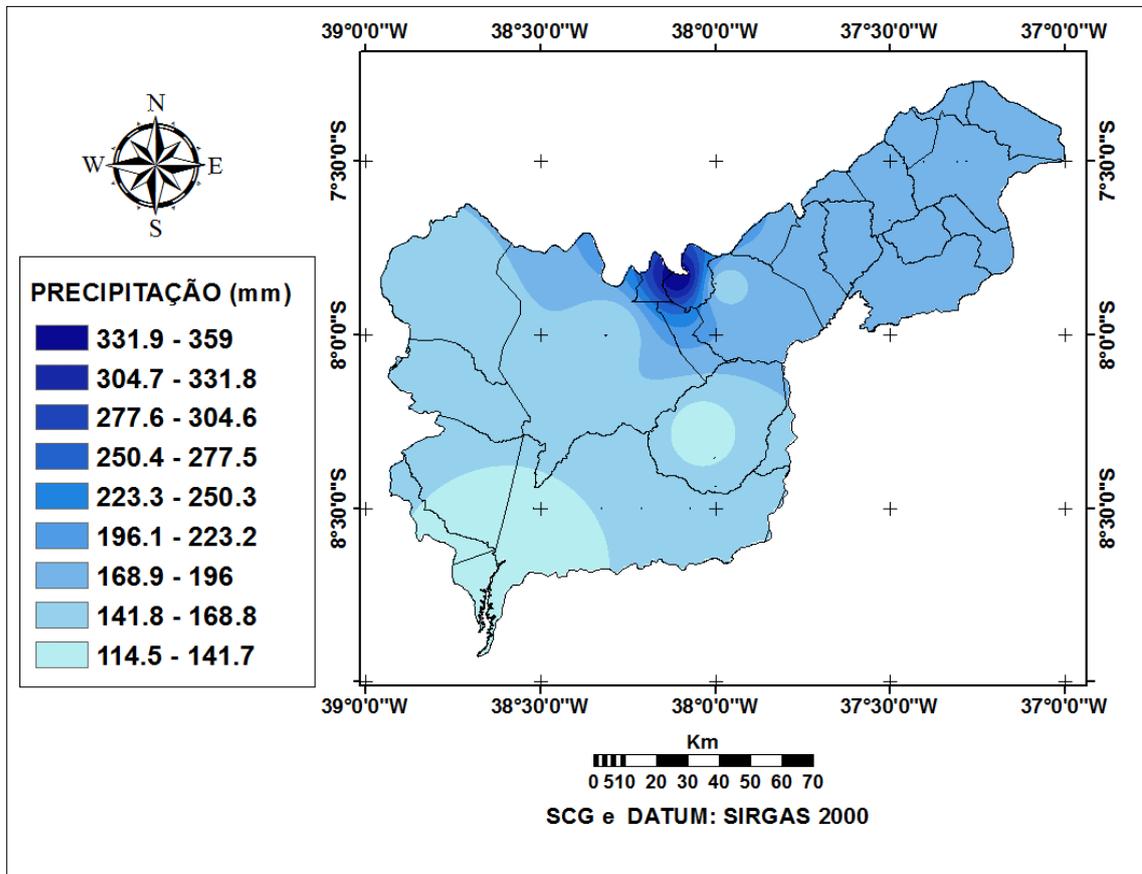
Fonte dos dados brutos: APAC/ANA

Figura 8: série temporal e média do trimestre seco na bacia do rio Pajeú



Fonte: Caio Diaz

Figura 9: Precipitação média durante o período seco entre 1994 e 2014.



Fonte dos dados: APAC/ANA. Imagem: Caio Diaz

Em escala trimestral, a bacia do Pajeú apresenta peculiaridades pluviométricas derivadas de fatores hipsométricos e locacionais, porém mantendo os mesmos padrões nas escalas anteriores (anual e intraanual/semestral). Os maiores patamares são encontrados nos setores Norte e Nordeste da região, enquanto que as menores médias, em geral se manifestam no Pajeú meridional. A Figura 10 mostra 4 mapas que representam as médias acumuladas de chuva trimestral centradas nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro.

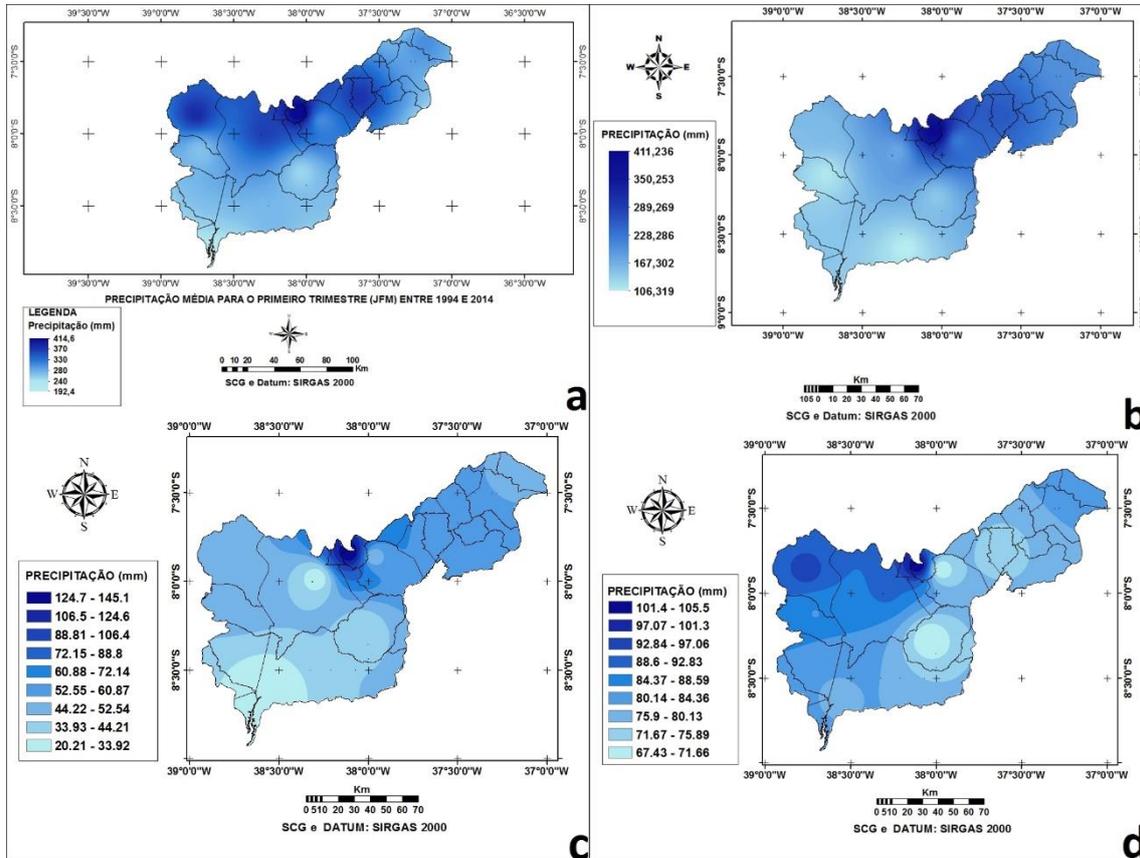
Percebe-se que as chuvas se concentram essencialmente nos dois primeiros trimestres do ano, sobretudo no Norte-Nordeste da bacia, onde se revela uma diferença substancial de chuvas se comparado com os dois últimos trimestres. Essa discrepância se dá pelo volume total de chuvas em um ano nessa região e pelo regime pluviométrico definido em dois períodos. Quanto maior esse volume (que se concentra em sua maioria no período chuvoso), maior será a diferença entre os trimestres mais e menos chuvosos. O caso mais expressivo disso é Triunfo e Afogados da Ingazeira, com as maiores médias pluviométricas anuais e consequentemente,

as maiores diferenças entre o trimestre mais chuvoso (JFM) e mais seco (JAS) em Triunfo e OND em Afogados da Ingazeira) para estes municípios com diferenças superiores a 300mm.

Em contrapartida os municípios do Sul da bacia, por terem índices pluviométricos menores, apresentam diferenças entre os trimestres mais e menos chuvosos, tendo assim, um aspecto menos concentrado de chuvas, ainda que na prática, a concentração pluviométrica se encontre bastante evidente em todo o sertão. Em Mirandiba e Betânia, por exemplo, essa diferença não ultrapassa os 250mm (Figura 11). A localização mais ao sul explica os índices pluviométricos com pouca expressividade durante o primeiro trimestre, já que a ZCIT não consegue se deslocar para o Sul com a mesma intensidade no Norte, gerando essa diferença menor. O resultado desta análise, tanto nas escalas trimestral como anual entra de acordo com os resultados encontrados por Ribeiro *et al.* (2016), onde foi mostrado um mapa revelando as áreas com as maiores (setor Norte-Nordeste) e menores (Pajeú meridional) médias históricas de chuva.

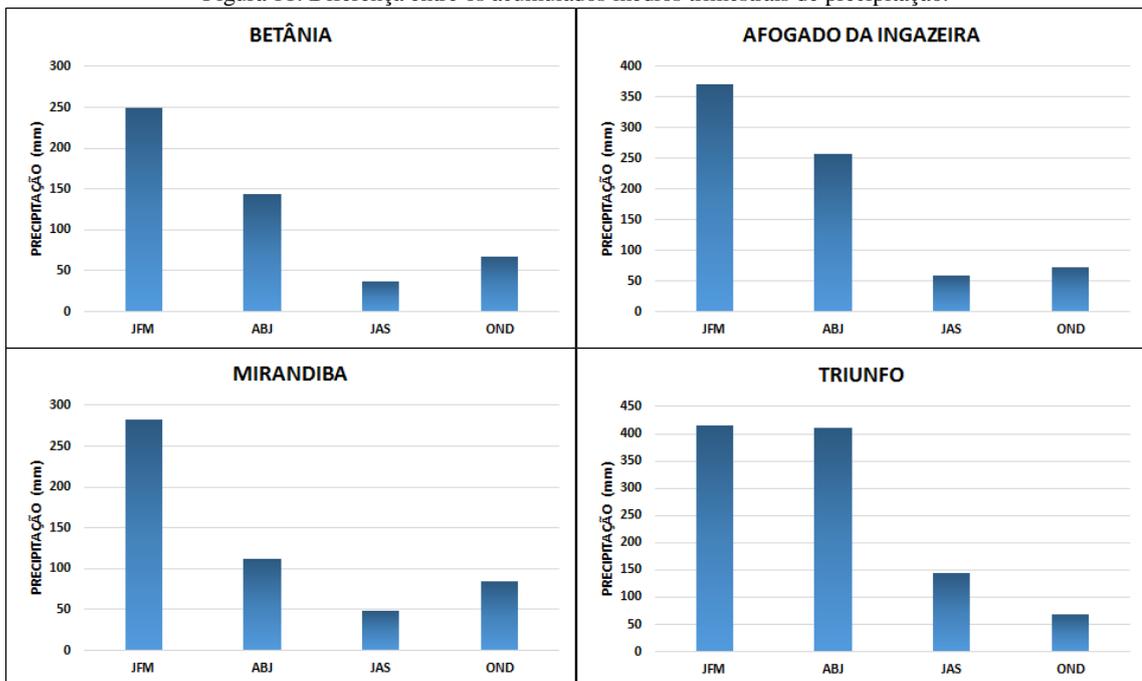
A análise estatística para se detectar taxas pluviométricas acima ou abaixo da média com base no DEM (desvios do erro médio) mostrou alguns resultados interessantes. Na escala mensal, a análise do DEM foi mais eficaz para detectar picos de chuvas muito acima da normal histórica e para se analisar o prolongamento de períodos secos e chuvosos. Neste sentido, acompanhando o comportamento dos gráficos nas figuras 12 e 13, o regime de chuvas manifesta-se de forma mais ou menos equilibrada a partir do começo da série até 2007, quando aí inicia-se um período prolongado de chuvas abaixo do padrão (caracterizado como 0) até o final de 1998, destacando aí, o município de Itapetim, que teve o período de escassez antecipado a partir de 1996. Neste cenário, o fator El Niño de 1998 foi preponderante para quebrar o ciclo equilibrado de chuvas na região.

Figura 10: média histórica trimestral da precipitação entre os meses de janeiro, fevereiro e março (a); abril, maio e junho (b); julho, agosto e setembro (c); e outubro, novembro e dezembro (d).



Fonte dos dados: APAC/ANA. Imagem: Caio Diaz

Figura 11: Diferença entre os acumulados médios trimestrais de precipitação.

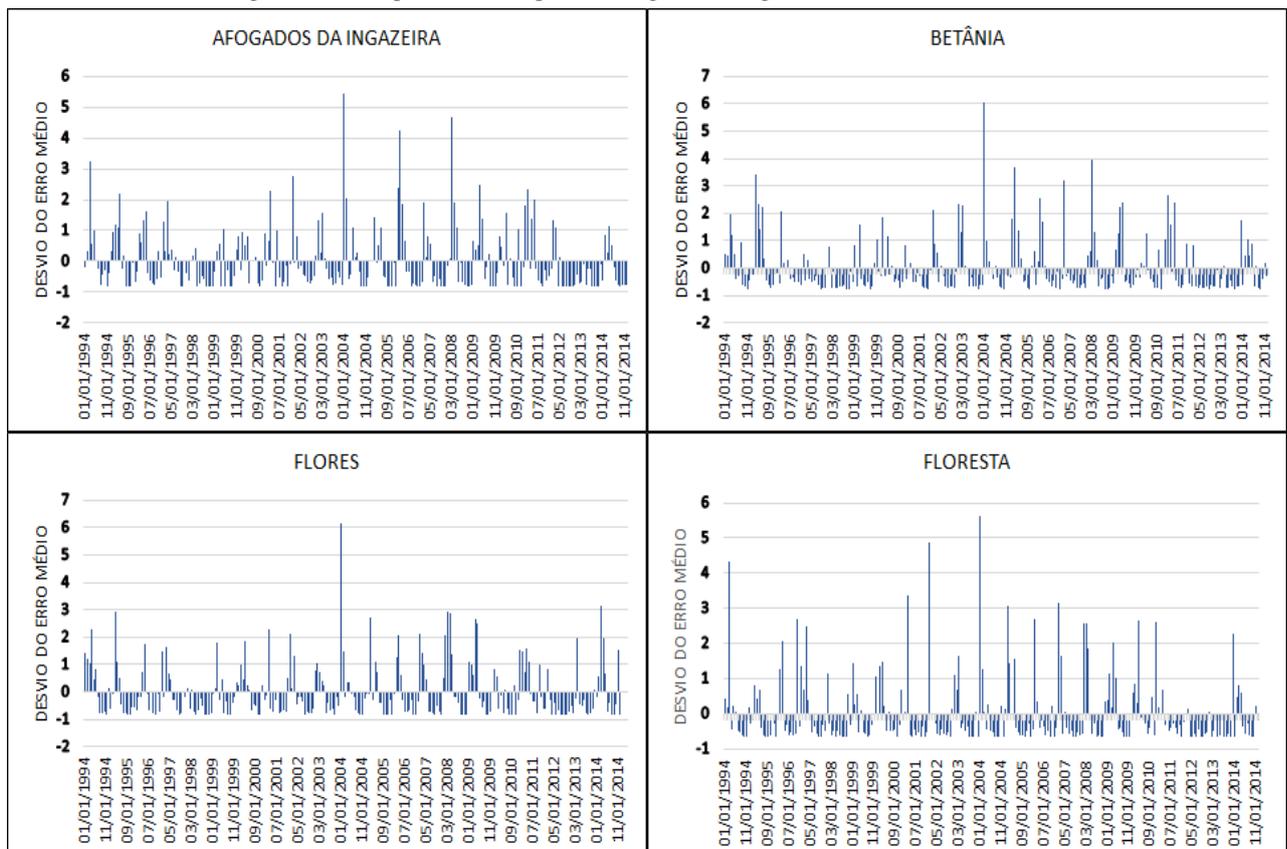


Fonte: Caio Diaz

A partir de 1999, os valores de DEM gradualmente começam a subir em toda a região culminando em 2004 em que todos os municípios estudados apresentaram picos altíssimos de chuva, especificamente em janeiro daquele ano, quando o acumulado no referido mês foi expressivo, configurando-se como o maior acumulado da série mensal. O mesmo ocorre entre os anos de 2007 e 2009 com picos de chuva mensal variando de acordo com o município.

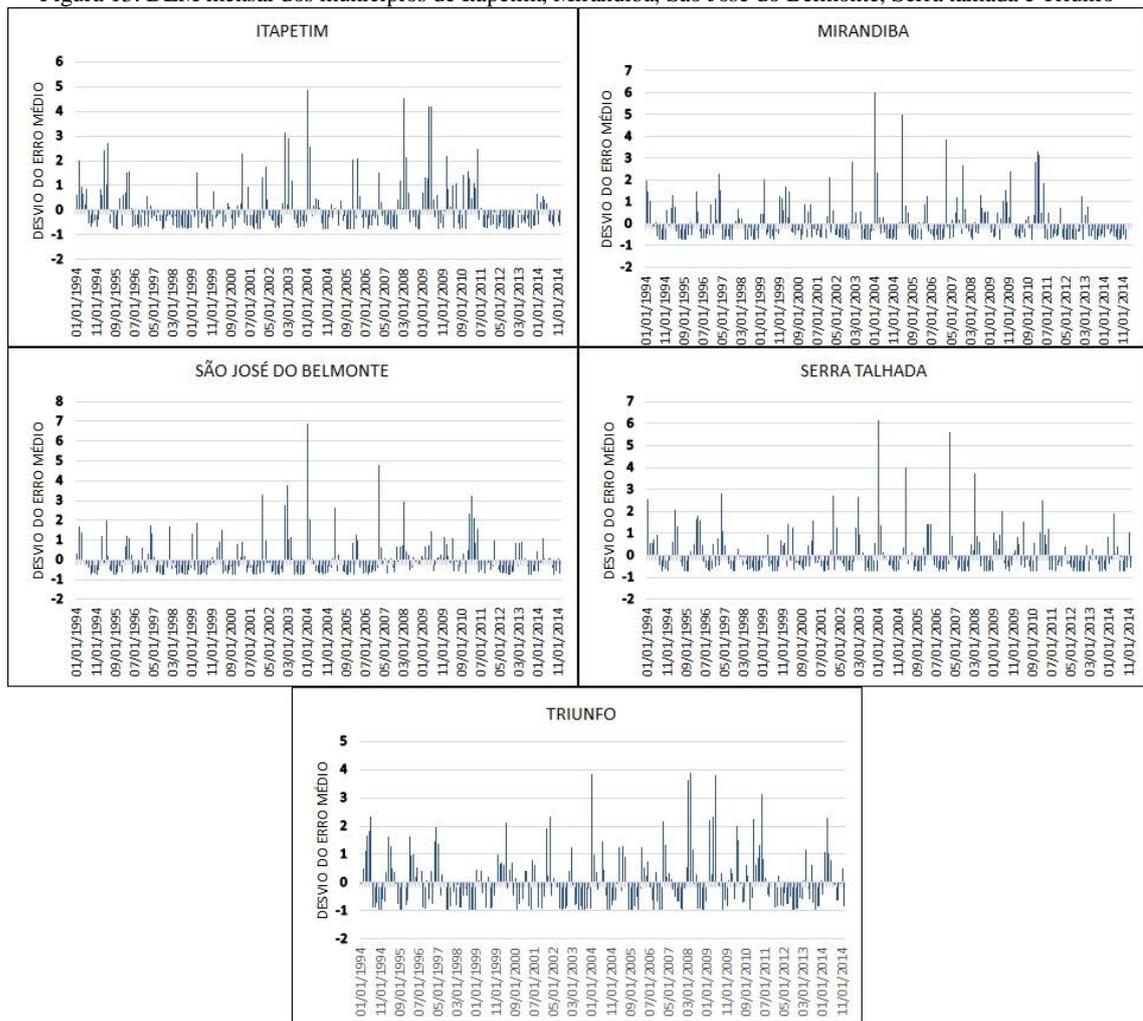
Entretanto, esses picos mensais de chuva vão descendo de patamar suavemente até 2011, onde um novo cenário de seca prolongada se inicia com poucos meses com valores de desvios acima do padrão para todos os municípios e assim continua até o último ano da série, 2014, que se manifesta de maneira equilibrada à exceção de Mirandiba, São José do Belmonte e Serra Talhada, onde ali as chuvas permanecem abaixo da média naquele ano, prolongando assim a seca. Tal prolongamento pode ser explicado pela localização dos municípios na bacia (Pajeú ocidental) e a relação desta localização com a formação de sistemas provedores de chuva estarem privilegiando mais a porção leste da região.

Figura 12: DEM para os municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta



Fonte: Caio Diaz

Figura 13: DEM mensal dos municípios de Itapetim, Mirandiba, São José do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo



Fonte: Caio Diaz

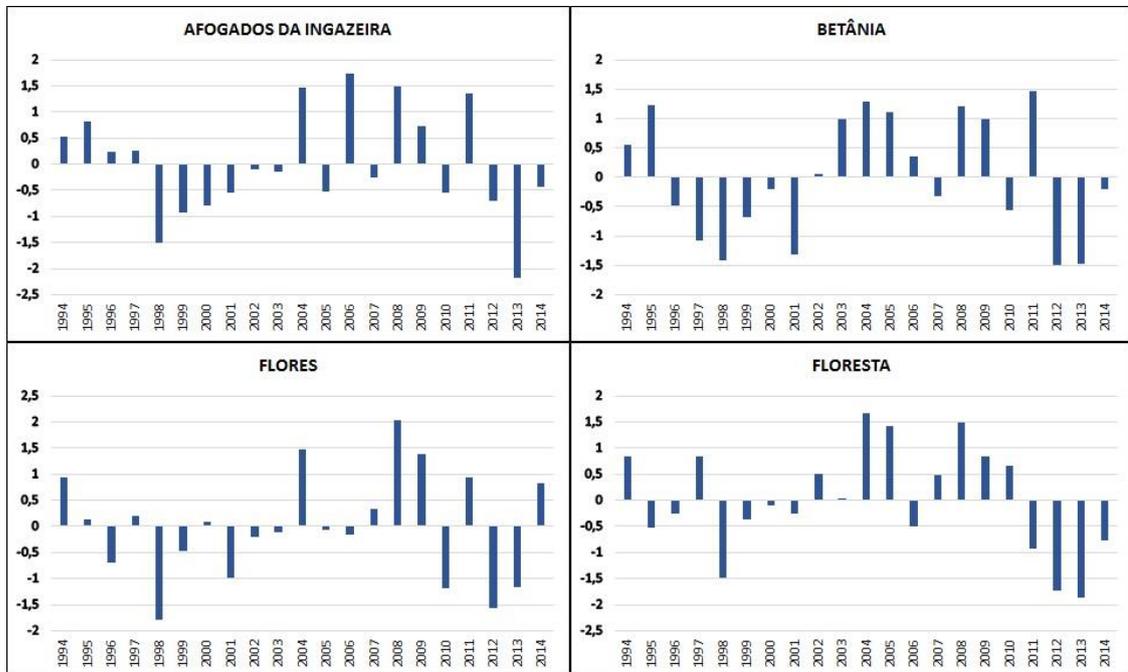
Analisando os desvios do erro médio da precipitação durante o período chuvoso, verificamos alguns padrões em relação a análise em escala mensal. Utilizando os gráficos das figuras 14 e 15, vemos que no começo da série, os períodos chuvosos anuais tendem a estar acima do padrão até 1998 quando o cenário de seca começa a se tornar efetivo. Os 9 municípios do estudo apresentaram valores negativos de DEM (períodos chuvosos abaixo do padrão) em 1998 e esse padrão se manteve nos anos seguintes até 2001, prolongando até 2003 em alguns municípios. Destaca-se os municípios de Afogados da Ingazeira, que apresentou valores negativos de 98 a 2003 e Betânia com valores negativos de 96 a 2001, este último em uma situação um pouco mais delicada, já que o acumulado histórico no período chuvoso é menor que Afogados da Ingazeira e em virtude disso, apresenta menor disponibilidade hídrica para culturas de sequeiro.

Após este período, vemos na maioria dos municípios valores positivos nos anos subsequentes, indicando acumulados de chuva consideráveis. Nesta parte da série, verificamos

que desta vez, 2004 não se configurou como ano de maiores acumulados da série, indicando que o mês de janeiro daquele ano foi, de fato, um ponto fora da curva e concentrou grande parte das chuvas do acumulado anual total. O maior valor de DEM da série (com maior período chuvoso acima do padrão) se distribuiu nos 9 municípios entre os anos de 2004 (2), 2006 (1), 2008 (2), 2009 (1) e 2011 (3) e entre os anos citados, o padrão se manteve equilibrado, oscilando em anos com valores ora negativos, ora positivos.

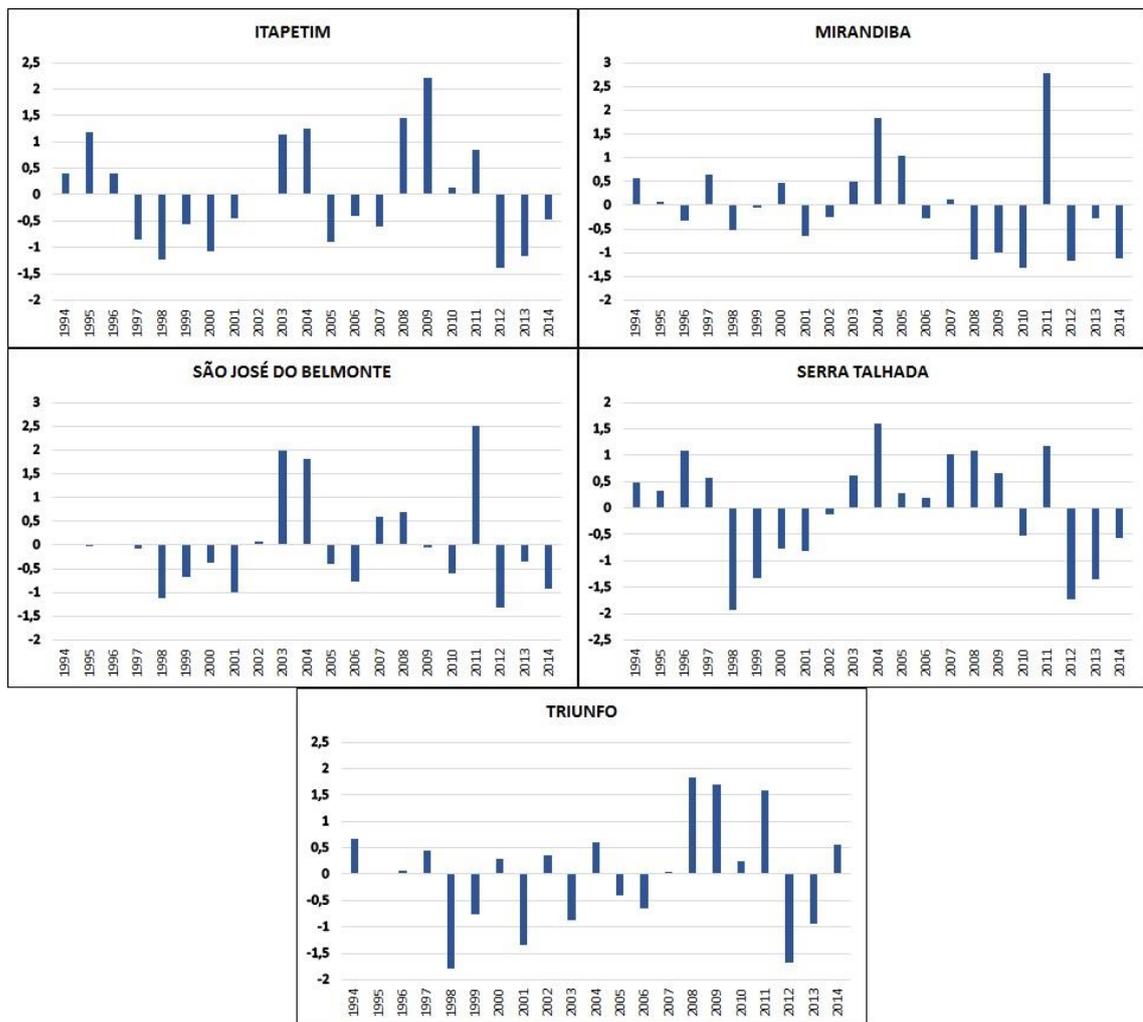
A partir de 2012 até o fim da série, o que vemos é o que se configura como um prolongado período de seca, com acumulados no período chuvoso abaixo da média padrão em todos os municípios a exceção de 2014 em Triunfo e Flores (os dois únicos dos 9 municípios com áreas de brejo em seu território), cenário este que preocupou bastante já que, como podemos ver, tem o período chuvoso como o mais afetado por períodos de seca prolongada. Ribeiro *et al.* (2015), utilizando o índice de anomalias de chuva (IAC), chegou a resultados similares aos aqui propostos pelo uso do DEM. Ele aplicou o IAC no Pajeú tanto em escala anual, quanto durante o período chuvoso e as constatações foram muito próximas, corroborando, ainda que com metodologia diferente, os valores aqui apresentados.

Figura 14: DEM sazonal dos municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta.



Fonte: Caio Diaz

Figura 15: DEM sazonal dos municípios de Itapetim, Mirandiba, São José do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo



Fonte: Caio Diaz

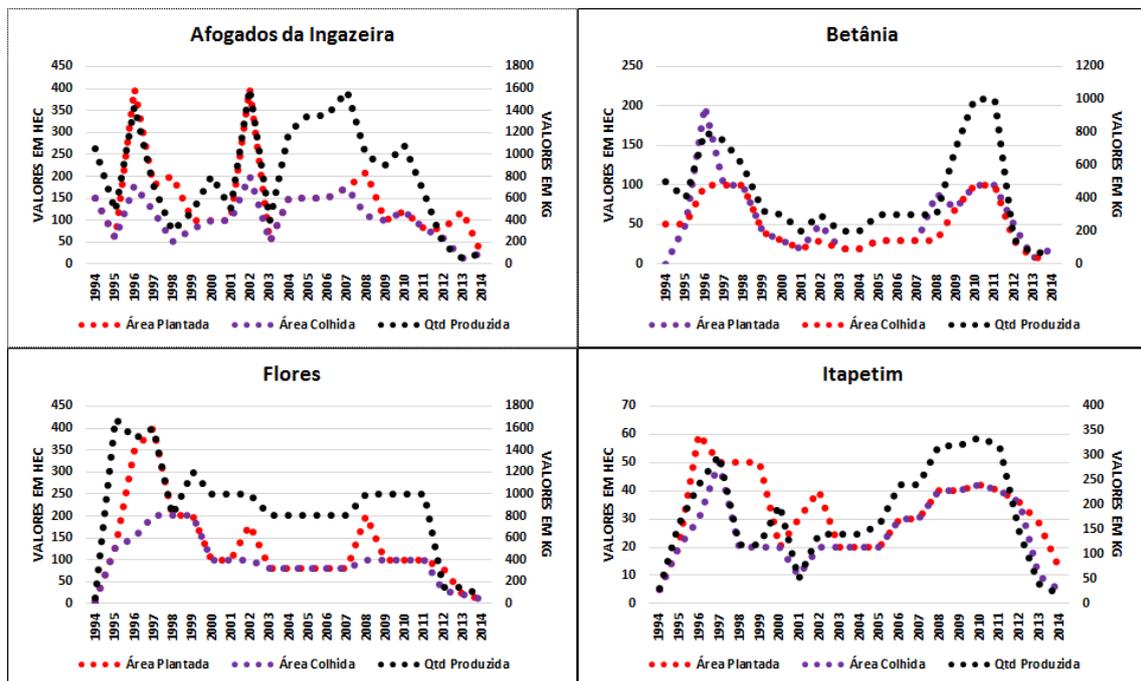
A produção agrícola sobre a bacia é repleta de disparidades na escala municipal. Devido a diferenças econômicas e históricas, apresentam prioridades e domínios de algumas culturas em relação a outras. Outro fator dessa disparidade é a viabilidade em algumas localidades de determinados tipos de culturas que crescem apenas nesses locais devido aos aspectos climáticos diferenciados, caso dos brejos e também há o domínio da pecuária extensiva em alguns municípios, que acaba cobrindo, por vezes vastas áreas das zonas rurais.

Em relação a produção da mandioca, constatou-se descendência da produção quanto as áreas plantada e colhida (e conseqüentemente da quantidade produzida) em alguns municípios (Ver gráficos das figuras 16 e 17), fruto talvez, da migração de agricultores por outros tipos de cultura. Uma das hipóteses para essa queda, pode ser a forte seca que ocorreu a partir de 1997, o que pode ter sido a causa da perda de rendimento ao agricultor, mas também pode ter ocasionado um desestímulo ao plantio nos anos subsequentes. Betânia, Flores e Itapetim, por

exemplo, estabilizaram a produção após 98 e tiveram forte ascendência a partir de 2007/08, voltando a ter uma forte queda a partir de 2012, coincidindo com o começo de um novo período de seca prolongada. Ao mesmo tempo, São José do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo obtiveram uma descendência a partir de 1997 e dali estagnaram sem nenhum movimento expressivo.

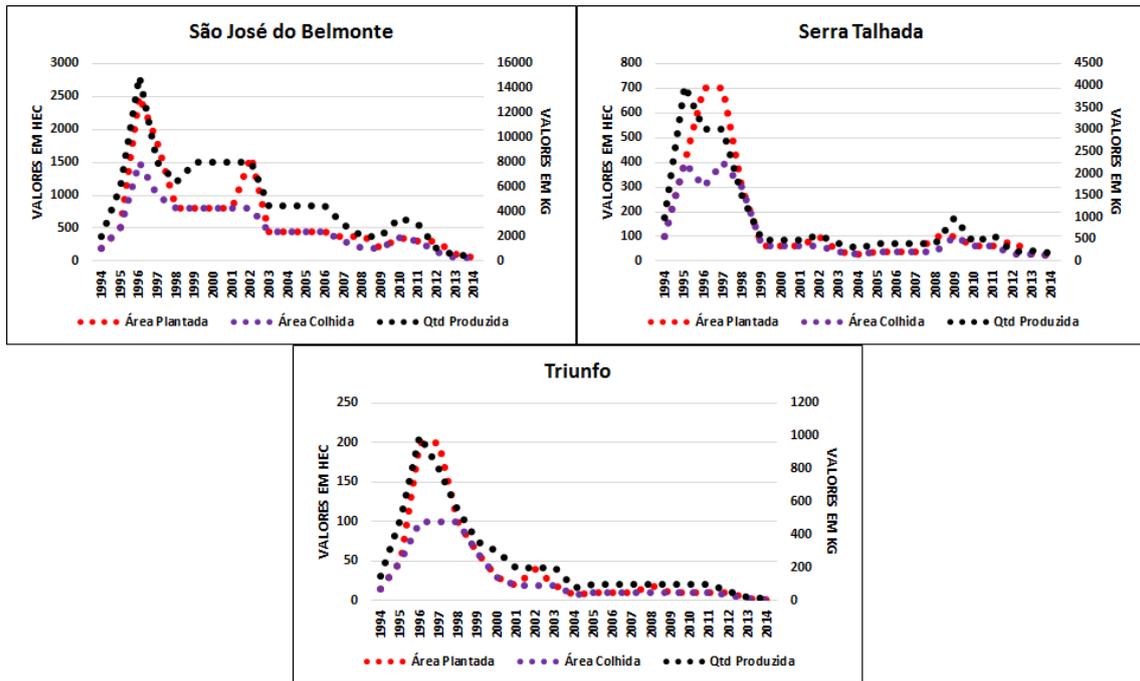
Outro aspecto importante é a relação da área plantada com a colhida. Alguns municípios não apresentaram entre 97 e 2001 perda de área colhida, apesar da queda, mas mantiveram a relação de colher a mesma área que plantaram (caso de Flores, São José do Belmonte e Triunfo), entretanto todos os municípios tiveram perda de produção durante os três últimos anos da série. Ressalta-se ainda, a perda de produção em períodos chuvosos como em 2008, em que Afogados da Ingazeira e Flores colheram menos do que plantaram e casos de ascendência exponencial na quantidade produzida de Betânia e Itapetim a partir de 2004 e 2002, respectivamente, ocorrido também durante uma fase de ótimos pluviométricos durante o período chuvoso.

Figura 16: aspectos da produção agrícola de mandioca em Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Itapetim.



Fonte:

Figura 17: aspectos da produção agrícola de mandioca em S. Jose do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo



Fonte:

Caio Diaz

A produção de milho na bacia do Pajeú apresenta-se de maneira bem diferente, porém com algumas semelhanças. Produz-se mais (em toneladas) de milho do que de mandioca na região e o mesmo, porém, é mais susceptível a perda de produção e quebra de safra. Na maioria dos municípios estudados percebe-se um acompanhamento das áreas plantada e colhida por vários anos seguidos e sempre ocorrendo no meio da série histórica (período em que choveu mais). Em contrapartida percebeu-se também fortes perdas de produção de milho no começo e no fim da série (coincidindo com os períodos de seca). As exceções ficam por conta de Afogados da Ingazeira e Itapetim onde a diferença entre as áreas plantada e colhida persistem por toda a série de dados (ver gráficos das figuras 18 e 19).

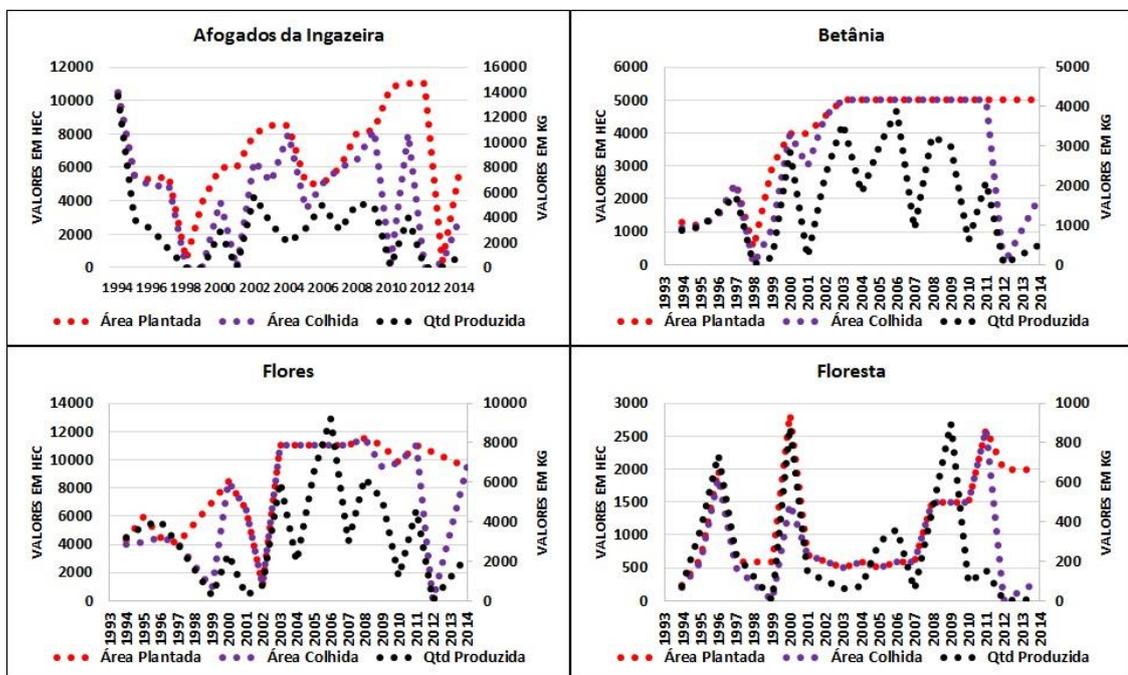
Outro fato diz respeito a forte quebra do milho em 2012, considerado um ano apocalíptico para a agricultura no sertão. Sem exceções, todos os municípios investiram grande área para plantio, porém tiveram suas colheitas praticamente zeradas. Betânia, por exemplo mantinha um bom patamar de colheita desde de 2002, entretanto dispendiou-se 5000 hec de terra no município para não se colher nada, o que fez com que no ano seguinte, não houvesse colheita de milho, face ao receio dos produtores ou mais provavelmente a falta de verba dos mesmos. Mesmo Triunfo, com aporte hídrico maior que os demais municípios, teve perda total.

Constatou-se o mesmo em 1998/99, quando daqueles anos, se não houve perda total, houve colheita mínima com menos 1% a pouco menos de 5% à exceção de São José do

Belmonte que conseguiu manter uma colheita razoável, porém ainda com forte queda, ou ainda houve municípios onde não houve plantio nesse período.

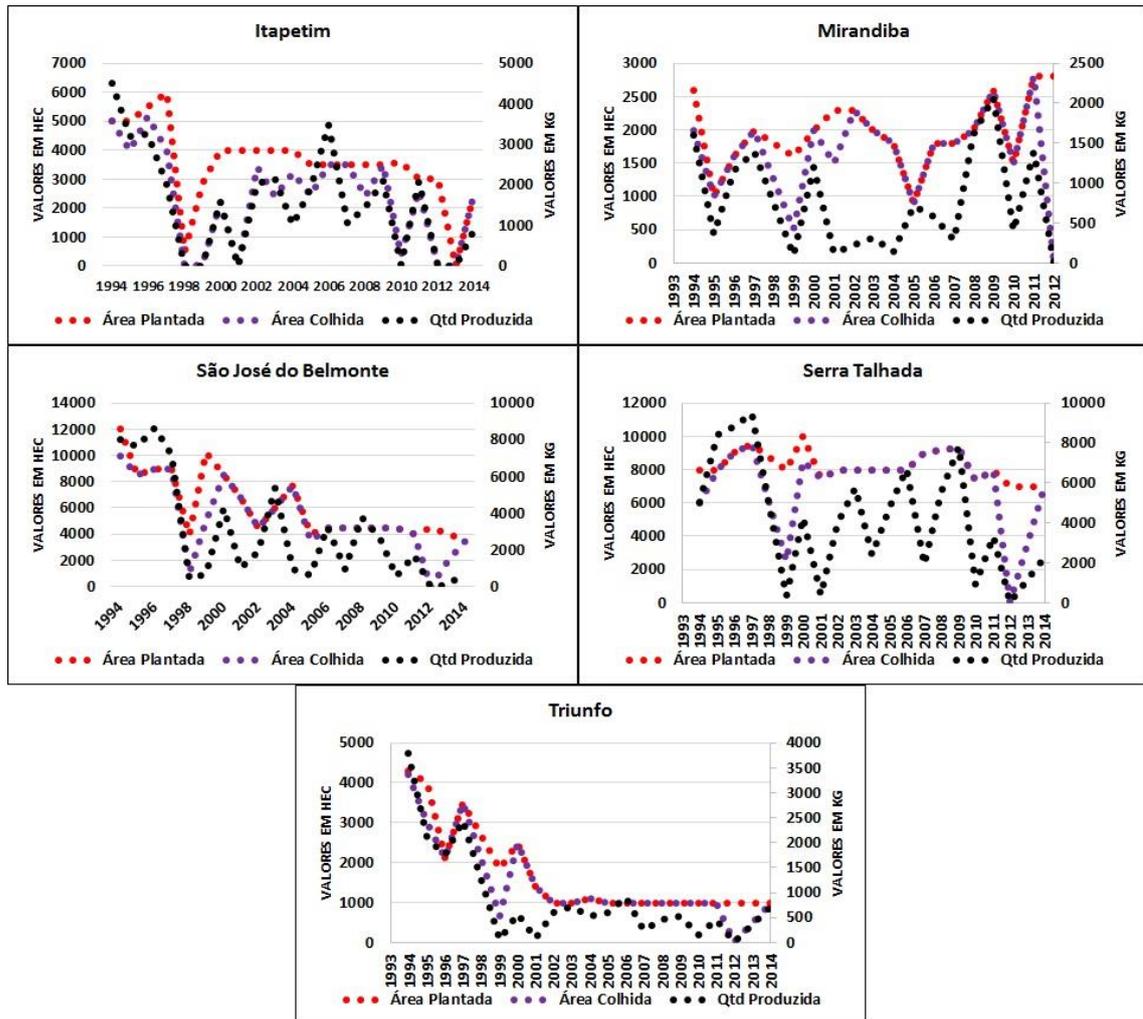
A produção em toneladas, importante para se ter uma ideia do desempenho geral das lavouras, oscilou bastante durante a série em estudo. Alguns municípios que conseguiram manter a relação área plantada/colhida a 100% em vários anos seguidos, teve produção desigual entre esses anos. A exemplo disso temos Betânia, Flores e Serra Talhada, onde a produção (e, por conseguinte a produtividade), oscilou entre os anos de boa colheita. A hipótese de cunho climático mais plausível para isso está assentada na distribuição de chuva entre os meses do período de cultivo. O ano de 2004, por exemplo, onde não houve perda de área colhida, concentrou grande parte das chuvas do período chuvoso no mês de janeiro. Essa concentração pode ter prejudicado as lavouras de milho da região quando em sua fase inicial de crescimento. Em outros anos para outros municípios, este fenômeno também ocorre. Em Mirandiba entre 2002 e 2004 e Triunfo entre 2000 e 2001, dá área plantada não houve perda, entretanto, a produção foi demasiada fraca. Nestes anos, as chuvas do período chuvoso também se concentraram durante o mês de janeiro e nos meses seguintes, o acumulado foi baixo o bastante para que o somatório entre fevereiro e maio não chegasse ao acumulado de janeiro.

Figura 18: aspectos da produção agrícola de milho em Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta



Fonte: Caio Diaz

Figura 19: aspectos da produção agrícola de milho em Itapetim, Mirandiba, S. Jose do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo



Fonte: Caio Diaz

O desempenho da produção de feijão dos últimos 20 anos foi marcada por altos e baixos. Diferentemente das outras lavouras, o cultivo de feijão pode ser feito em até 3 meses, desde o plantio até a colheita dos grãos. Isto faz com que seja viável duas safras de feijão por ano no sertão (sendo a última chamada de safrinha). Os municípios da região apresentam produção variada para este tipo de cultivo sendo os municípios de Afogados da Ingazeira e São José do Belmonte, os municípios que mais disponibilizam terra para a cultura.

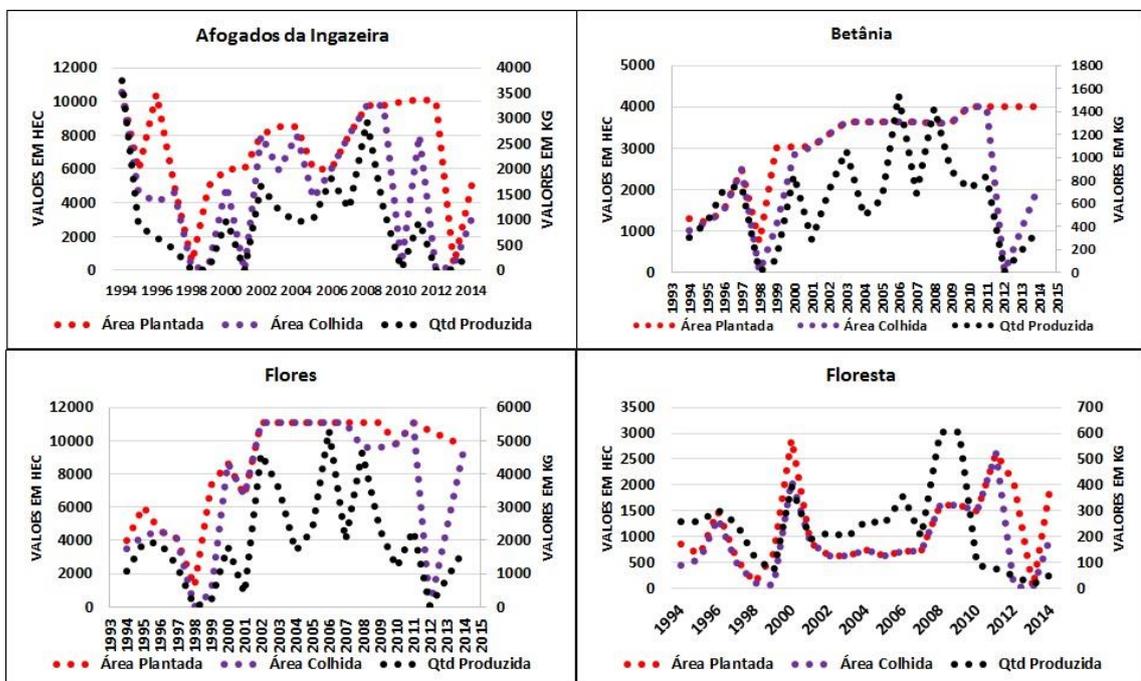
O feijão-caupi é uma espécie de planta relativamente resistente a períodos de chuva muito abaixo ou acima da média, entretanto seguindo os gráficos das figuras 20 e 21, nem sempre essa resistência configura-se eficiente. Percebe-se no começo das 9 séries, uma certa instabilidade no plantio, cultivo e produção, onde a maioria apresenta forte descendência até 1999 com massiva quebra de safra do feijão e produção nula em alguns municípios. Os casos mais graves configuraram-se em Afogados da Ingazeira e Itapetim onde, apesar do plantio

irrisório em 1998, houve uma forte alta no plantio de 1999, porém com a mesma resposta do ano anterior e consequentemente maior perda.

A partir de 2000 houve forte ascendência nas atividades da cultura do feijão, agora configurando certa estabilidade com a relação área plantada/colhida e instabilidade dos valores destas áreas e da produção ano a ano. Um caso como exemplo fica por parte de Mirandiba que manteve a taxa em 100% das áreas plantada e colhida durante 11 anos (2000 a 2011), mas com altos e baixos na produção, inclusive um fato interessante diz respeito aos anos de 2007 e 2009 no município, onde no primeiro ano houve maior colheita que no segundo, porém no segundo ano houve maior produção do que no primeiro, inferindo diretamente na produtividade desses anos, uma forte disparidade. Os outros municípios à exceção de A. Ingazeira mantiveram o mesmo padrão de Mirandiba, porém em menor escala de tempo.

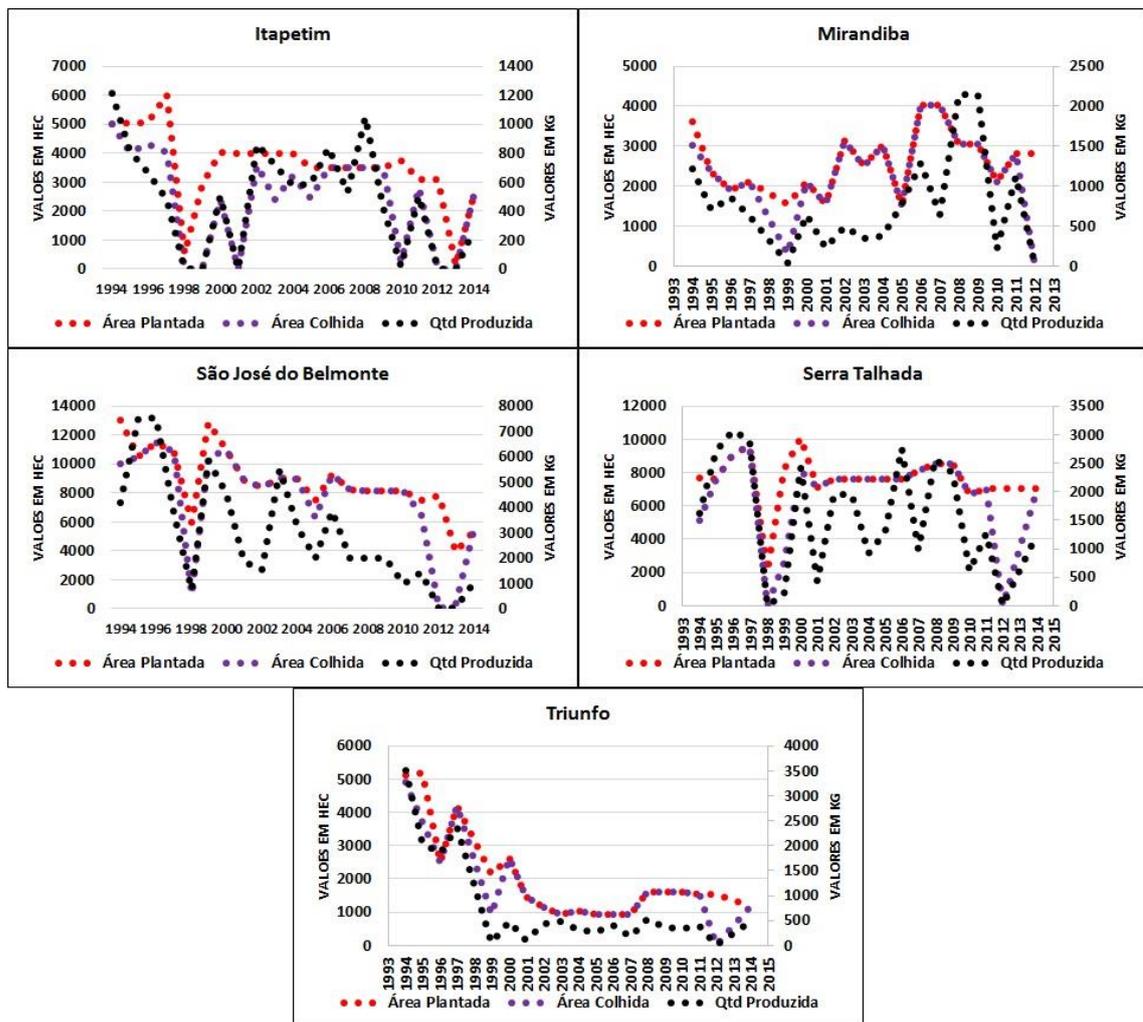
Nos anos de 2012 e 2013 configurou-se o período prolongado de seca que derrubou a produção de mandioca e milho e com o feijão-caupi não foi diferente. Todos os municípios tiveram colheita e produção nula ou quase nula em 2012 e como consequência, houve uma queda vertiginosa no plantio do ano seguinte pelos mesmos motivos citados na análise da cultura do milho. As atividades da cultura voltam a crescer, então apenas em 2014.

Figura 20: aspectos da produção agrícola de feijão em Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta



Fonte: Caio Diaz

Figura 21: aspectos da produção agrícola de feijão em Itapetim, Mirandiba, S. Jose do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo



Fonte: Caio Diaz

Diferentemente das outras culturas, as lavouras de banana na bacia do Pajeú ocorrem geralmente em áreas de baixio, perto de rios e seu manejo é feito de maneira irrigada. Desta forma existe um controle maior sobre a produção, de maneira que a área plantada e a área colhida é quase sempre a mesma. Sendo assim, na análise da produção de banana, não será explanado a área plantada, visto que todos os municípios estudados não apresentaram perda de área cultivada da banana.

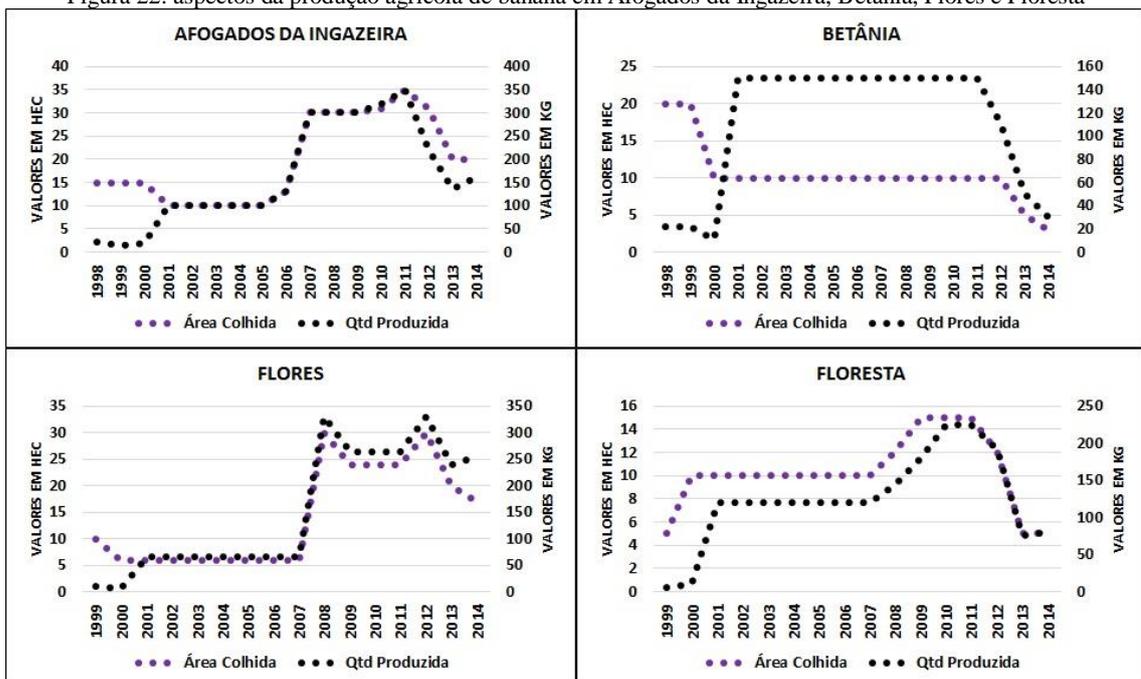
Nos gráficos das figuras 22 e 23 percebe-se que, devido a exigência por irrigação constante e por condições edáficas favoráveis, a área cultivada, bem como a produção da banana no Pajeú é menor que a das demais culturas, entretanto, os resultados do cultivo são bem mais estáveis ao longo dos anos e parecem sofrer menos impactos as intempéries do clima, sobretudo, da precipitação.

Ainda assim, é possível perceber que no começo da série, iniciada em alguns municípios por 1998 e em outros em 1999, a colheita e a produção foram muito baixas até o ano de 2000. Um dos motivos pode ser a seca prolongada desses anos, mas também pode ter sido o crescente desenvolvimento de tecnologias e técnicas, tanto estruturais quanto genéticas que fomentaram uma maior e melhor produção após o período de seca, o que teria aumentado de forma incisiva a produção.

O aumento da produção (e consequentemente da produtividade) após o ano de 2000 é bem evidente nos gráficos, mostrando inclusive que em alguns municípios a área colhida diminuiu substancialmente após 2000 e a produção de forma inversamente proporcional, aumenta e se mantém constante. Já em outros municípios, fica evidente como a produção acompanha os padrões oscilatórios da área colhida, fazendo com que a produtividade ano a ano seja mais ou menos a mesma.

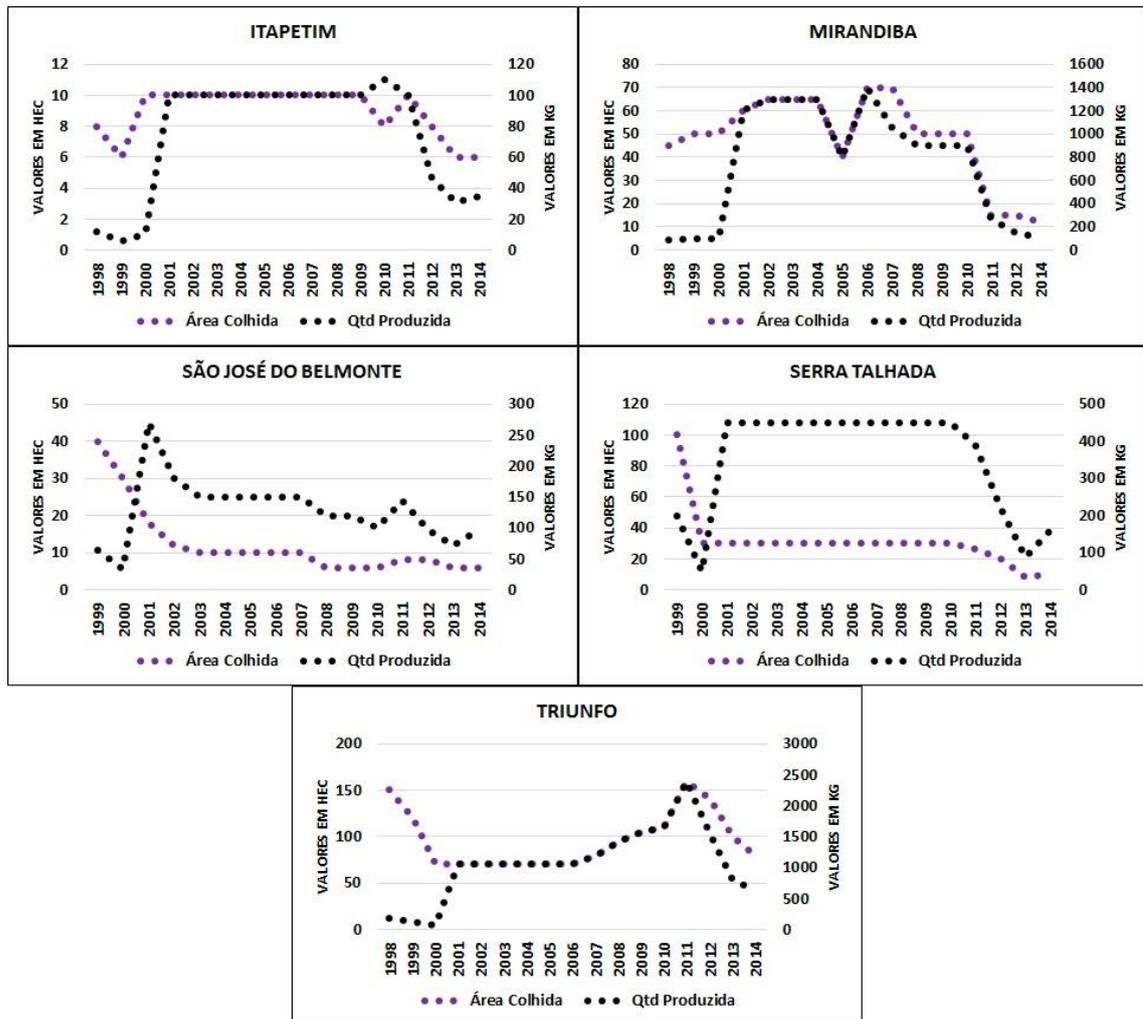
Alguns casos isolados, no entanto, são interessantes de ressaltar. Itapetim em 2010 teve uma leve queda na colheita, porém de forma proporcional, obteve um aumento na produção. São José do Belmonte em 2001 obteve grande produção sendo a maior da série, apresentando nos anos seguintes, um patamar produtivo menor e constante, porém mantendo ao longo desses anos, área colhida relativamente semelhante. Todos os municípios também demonstraram evidente queda após ou a partir de de 2011 coincidindo com os anos de forte seca de 2012, 2013 e 2014.

Figura 22: aspectos da produção agrícola de banana em Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta



Fonte: Caio Diaz

Figura 23: aspectos da produção agrícola de feijão em Itapetim, Mirandiba, S. Jose do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo



Fonte: Caio Diaz

Ferreira (2005), ao analisar a área e a produção de milho e soja no Sul e Sudeste do Brasil encontrou comportamento semelhante destas lavouras no que consta oscilações frequentes, porém sempre com uma tendência de aumento na escala produtiva ao longo da série em estudo (entre 1974 e 1999). Essa oscilação, entretanto, está relacionada a produção e não a área colhida, uma vez que a autora trabalhou com culturas irrigadas em larga escala (*commodities*) e, portanto, o valor da área apresentou pouca variação, diferentemente dos cultivos na bacia do Pajeú que é feita em sequeiro e se irrigada, o é em escala reduzida. A análise da produção agrícola exposta neste trabalho e no de Ferreira, apresenta então, certas semelhanças, mas também grandes disparidades.

A comparação entre as médias de produtividade (relação da área colhida com a quantidade produzida) da mandioca, milho, feijão e banana foi realizada através da análise de variância. Essa análise foi feita com os dados de produtividade anual de mandioca e banana já corrigidos pela regressão linear (correção esta que será melhor explanada no próximo capítulo) e posteriormente foi efetuado o Teste de Duncan para se comparar média, por média.

A ANOVA foi utilizada para saber se as médias de produtividade entre os municípios, para cada cultura são estatisticamente diferentes ou não e o resultado pode ser analisado através dos gráficos da figura 24. Para que exista diferença em pelo menos uma média em relação as demais, é necessário que o valor crítico de $F < \text{valor encontrado na análise}$ e nos gráficos podemos perceber que nas culturas de mandioca, feijão e banana foi encontrado pelo menos uma média diferente das demais. Essa diferença consiste no valor absoluto de uma média ser muito maior ou muito menor que as demais, porém isto não parece ocorrer na cultura de milho, onde os municípios parecem apresentar médias equivalentes uns com os outros. Isto quer dizer que nas produções de mandioca, feijão e banana há municípios que produzem, do ponto de vista estatístico, bem mais ou bem menos que os demais, diferentemente do que ocorre com o milho.

Entretanto a ANOVA não é capaz de identificar quais médias são estatisticamente diferentes de quais. Por isto a utilização do teste de Duncan (que tem a ANOVA como base) é importante e foi utilizado. Porém, ele só é usado quando existem tais diferenças, o que não foi constatado nas médias de milho. Sendo assim a produtividade do milho não foi analisada sob a ótica de tal teste. As tabelas 4, 5 e 6 apresentam o teste para a produtividade de mandioca, feijão e banana onde é possível observar os municípios com suas respectivas médias e classificações.

O teste para as médias de produtividade da mandioca obteve resultados mais diretos. Como o valor encontrado de F da ANOVA foi muito alto, houve grandes disparidades entre as médias semelhantes e as diferentes. Podemos observar que a média de Afogados da Ingazeira é cerca de 1900 kg/hec menor que a média de Flores, formando um limiar para duas classificações, médias classificadas por “a” e médias classificadas por “b”, ou seja, Afogados da Ingazeira e Itapetim apresentam produtividade de mandioca bem inferiores que Triunfo, Betânia, São José do Belmonte, Serra Talhada e Flores.

Quanto a produtividade de feijão e banana, o valor encontrado de F ficou bem próximo do valor crítico, portanto, houveram nuances entre as médias, dando complexidade a classificação e consequentemente a análise. Primeiramente sobre os aspectos da produtividade de feijão, temos que as três maiores médias são semelhantes entre si formando uma matriz 3x3 com as letras a, b e c, entretanto a maior média (Floresta) é a mais distinta de todas por diferir

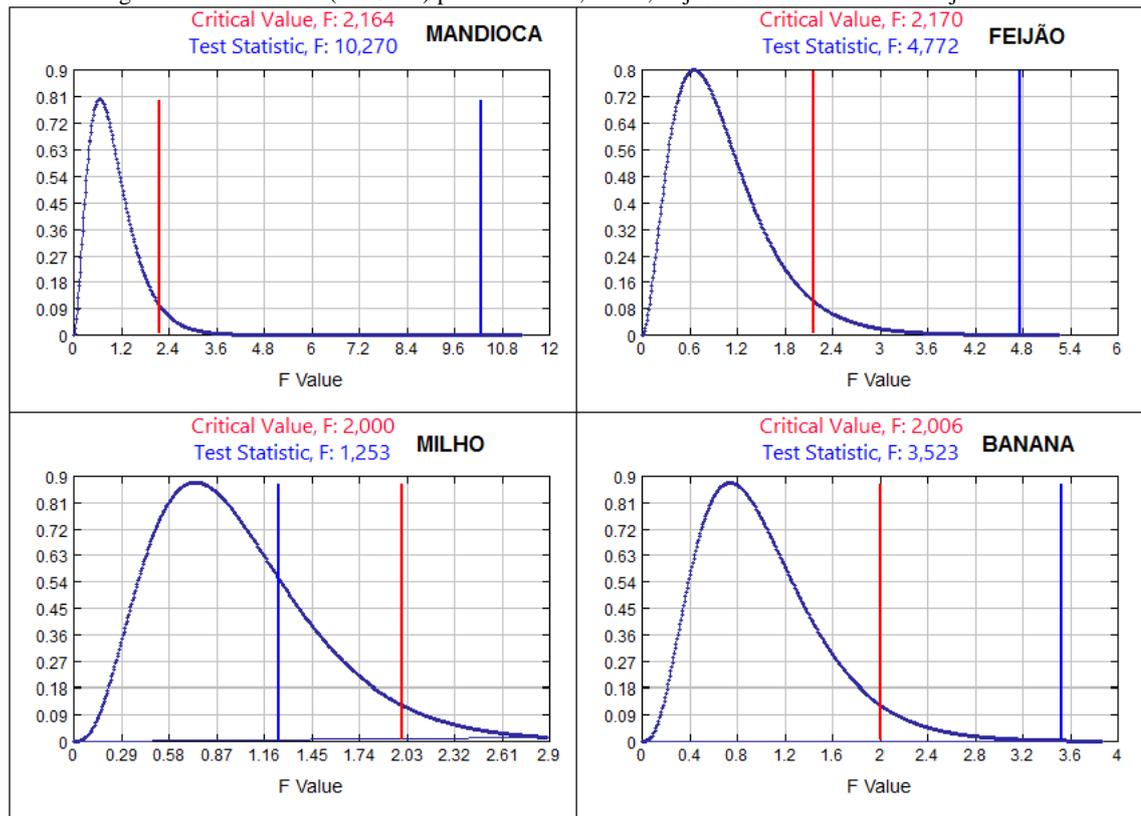
de outras 4 médias, uma vez que a diferença entre a produtividade média de Floresta e Flores (a primeira a diferir), chega a mais de 200 kg/hec. Da segunda maior média (São José do Belmonte) até a penúltima (Serra Talhada) forma-se uma nova matriz de semelhança agora 5x5 com as letras “b, c, d, e e f”, e de Flores a Afogados da Ingazeira (a menor média de produtividade), forma-se uma terceira matriz 4x4 que vai da letra “d” a “g”, que compõem o conjunto de médias que se diferem da maior média.

Assim, de maneira simplificada podemos classificar a produtividade de feijão em 3 conjuntos de médias: a, para a média de Floresta (que se assemelha a mais duas médias); b, de São José do Belmonte até Serra Talhada (que se assemelham a 5 médias); e c, para Afogados da Ingazeira (que se assemelham a mais 4 médias).

Por fim para os aspectos da produtividade de banana, temos uma relação de médias mais complexa. A maior média (Mirandiba) assemelha-se estatisticamente a mais 4 médias, adquirindo disparidades a partir de Floresta com quase 5000 kg/hec de diferença. Serra Talhada apresenta as mesmas condições de Mirandiba, porém a partir da terceira média há mudanças, pois São José do Belmonte passa a ter semelhanças com Floresta e Flores. Já Triunfo e Betânia possuem valores similares a todas as outras médias, Flores e Floresta diferem das duas maiores médias e Itapetim e Afogados da Ingazeira diferem das 4 primeiras médias. Se fossemos classificar essas médias em matrizes equilaterais não seria possível, pois São José do Belmonte, por exemplo, possui características próprias e as outras médias se assemelham em pares.

Assim sendo temos 5 classes simplificadas para a produtividade de banana sendo elas: a, composta por Mirandiba e Serra Talhada; b, composta por São José do Belmonte (único a não se assemelhar com apenas as duas últimas médias); c, composta pelas médias que se assemelham com todas as demais (Triunfo e Betânia); d, composta por Floresta e Flores (pois suas médias diferem apenas das duas primeiras); e “e”, composta por Itapetim e Afogados da Ingazeira (que diferem das 4 primeiras médias).

Figura 24: valores de F (ANOVA) para mandioca, milho, feijão e banana na bacia do Pajeú



Fonte: Caio Diaz

Tabela 4: Teste de Duncan para a produtividade de mandioca

T. Duncan (mandioca)	Médias		
Triunfo	9123,377	y7	a
Betânia	8919,913	y6	a
S. J. do Belmonte	8781,385	y5	a
Serra Talhada	8704,329	y4	a
Flores	8517,316	y3	a
A. da ingazeira	6670,996	y2	b
Itapetim	6162,771	y1	b

Fonte: Caio Diaz

Tabela 5: Teste de Duncan para a produtividade de feijão

T. Duncan (Feijão)	Médias		y7	y6	y5	y4	y3	y2	y1
Floresta	485,7143	y7	a	b	c				
São José do Belmonte	366,35	y6	a	b	c	d	e	f	
Triunfo	354,8889	y5	a	b	c	d	e	f	
Flores	282,1053	y4		b	c	d	e	f	g
Betânia	266,8421	y3		b	c	d	e	f	g
Serra Talhada	245,3158	y2		b	c	d	e	f	g
Afogados da Ingazeira	166,4211	y1				d	e	f	g

Fonte: Caio Diaz

Tabela 6: Teste de Duncan para a produtividade de banana

T. Duncan (banana)	Médias		y9	y8	y7	y6	y5	y4	y3	y2	y1
Mirandiba	11132,4	y9	a	b	c	d	e				
Serra Talhada	9733,824	y8	a	b	c	d	e				
São José do Belmonte	9446,574	y7	a	b	c	d	e	f	g		
Triunfo	8296,078	y6	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Betânia	7941,176	y5	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Floresta	6250	y4			c	d	e	f	g	h	i
Flores	6191,912	y3			c	d	e	f	g	h	i
Itapetim	5777,784	y2				d	e	f	g	h	i
Afogados da Ingazeira	5450,333	y1				d	e	f	g	h	i

Fonte: Caio Diaz

4.2 Relações precipitação x produtividade agrícola

As correções na produtividade agrícola com o intuito de minimizar os efeitos de técnicas para melhoria na produção das culturas ao longo dos anos, tais como maior tecnificação no campo, melhoramento genético e subsídios governamentais ou privados de fomento à produção deve ser explanado antes das análises relacionadas a produtividade e a precipitação. Ferreira (2005), ao utilizar tal técnica com mesmo objetivo, o fez nas lavouras de milho e trigo do Sul e Sudeste, em grande parte como latifúndios e obteve expressivo sucesso em sua análise. No presente trabalho, esta correção se mostrou inviável para culturas de produção reduzida, uma vez que os valores se distorciam, chegando a ficar reduzidos. Com isso, apenas os dados de produtividade de mandioca e banana sofreram ajuste de regressão, até porque são as culturas que mais cresceram ao longo dos anos e as que receberam maiores suportes tecnológicos e financeiros.

Tomando como ponto de partida a produtividade de mandioca, podemos constatar nos gráficos das figuras 25 e 26, que apesar da importância dada a cultura da mandioca, a mesma apresenta tendência negativa, devido principalmente, a queda na produção a partir de 2012. Mesmo assim, com uma forte tendência negativa, os dados corrigidos se mostrariam bem dispares em relação aos dados originais. Acontece que a diferença entre tais dados depende decisivamente do grau de angulação da reta de ajuste ou beta, ou seja, quanto maior o valor de beta (para + ou para -) maior será a diferença no ajuste do modelo. No caso da mandioca, alguns municípios apresentaram fraca tendência com valores perto de 0, diminuindo a diferença entre os dados originais e os dados ajustados.

A exemplo disso temos Betânia e Triunfo. Sobre o primeiro, a produtividade original em 2014 foi de 7500 kg/hect, enquanto que a produtividade corrigida foi de 7435 kg/hect. Como é possível perceber, a maior diferença entre os dados ocorre no último ano e em Betânia essa diferença se mostrou irrisória. Levando isto para o campo das suposições é como se ao longo dos anos não tivesse havido mudanças relevantes no município ao ponto de haver melhorias visíveis nas lavouras de mandioca. O mesmo vale para Triunfo, porém agora com maior diferença chegando próximo a 200 kg/hect em 2014 (8000 kg/hect nos dados originais e 7818 kg/hect nos dados corrigidos), mostrando também maior visibilidade no gráfico. Diferentemente dos demais, esses dois municípios apresentaram tendência positiva, o que leva a crer que os baixos valores dos 3 últimos anos tenham diminuído o valor de beta.

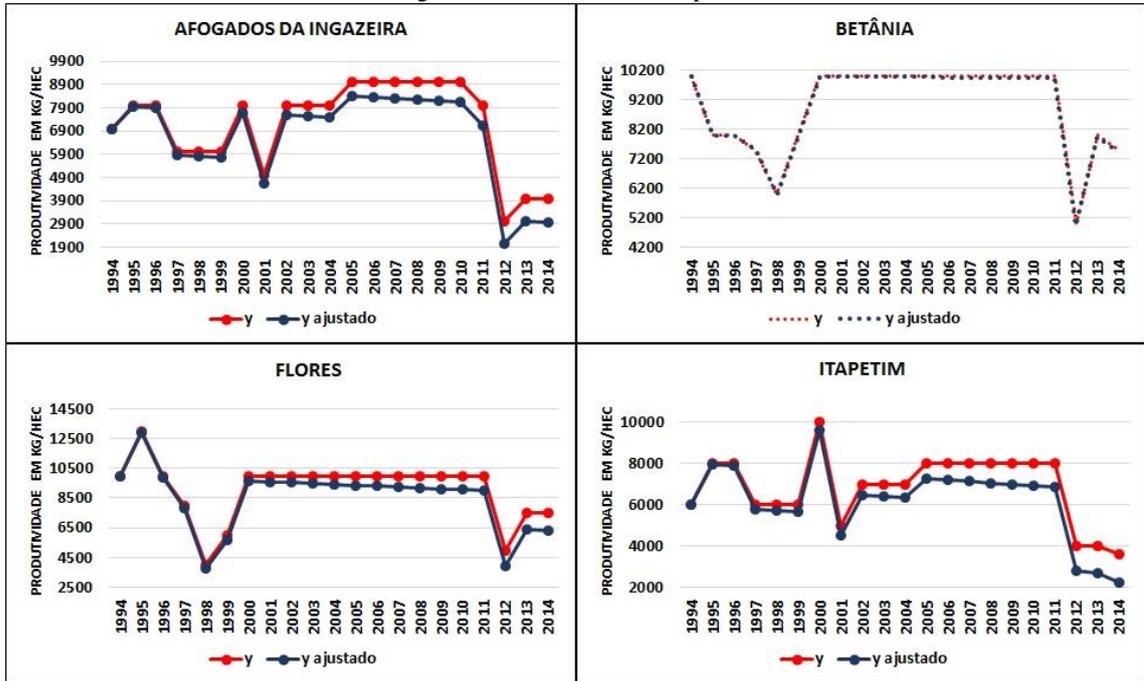
Com relação aos outros 5 municípios estudados, São José do Belmonte obteve a maior correção para os dados de mandioca onde a produtividade original em 2014 foi de 7500 kg/hect e a corrigida foi de 5967 kg/hect, mais de 1500 kg/hect de diferença. Este valor está ligado ao valor de angulação beta estar bem baixo (mais de -76), o que indica tendência negativa. Os municípios de Afogados da Ingazeira e Itapetim também adquiriram expressiva diferença entre os dados, onde o primeiro atingiu em 2014 produtividade de 4000 kg/hect com correção para 2961 kg/hect e o segundo obteve produtividade de 3600 kg/hect com correção de 2249 kg/hect. Flores apresentou correção em 2014 de quase 15,5% a partir dos dados originais e Serra Talhada, como também apresentou fraca tendência, teve correção do último ano da série¹ abaixo de 5%.

Os dados de produtividade da banana apresentaram ajustes mais incisivos, uma vez que os valores de beta estiveram bem distantes de 0, apresentando números altíssimos e positivos para todos os municípios estudados, evidenciando a tendência positiva na produtividade da banana ao longo da série. Podemos observar nas figuras 27 e 28 a diferença entre os dados originais e corrigidos de produtividade em que alguns municípios se destacam.

Um desses destaques fica por conta de Floresta, que apresenta um crescimento de produtividade bem evidente e, por conta disto, o maior ajuste do estudo com 16mil kg/hect de produtividade original em 2014 contra 5087 kg/hect (cerca de 62% de diferença). Logo atrás vem São José do Belmonte e Flores com 55 e 50% de ajuste, respectivamente. Em 2014 os dois municípios obtiveram uma forte produção de banana chegando ao patamar

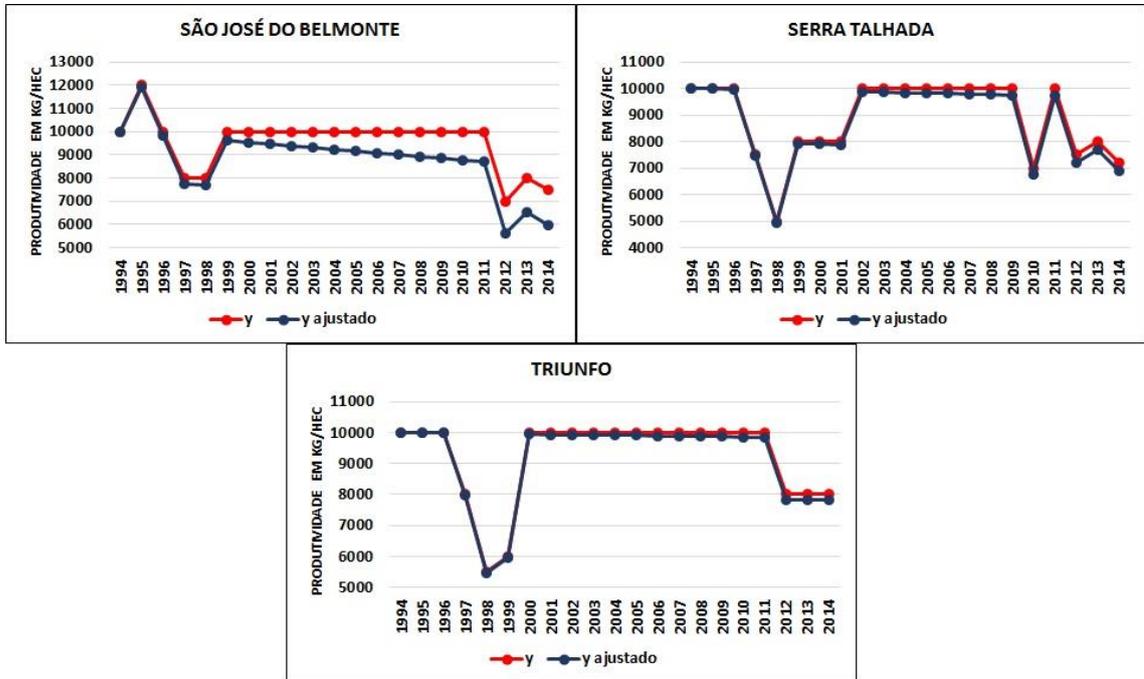
(¹) O ano de 2014 está sendo usado como base já que, como foi explicado, é nele onde a maior diferença entre os dados originais e corrigidos é verificada.

Figura 25: dados de produtividade original (y) e corrigidos (y ajustado) para a mandioca nos municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Itapetim.



Fonte: Caio Diaz

Figura 26: dados de produtividade original (y) e corrigidos (y ajustado) para a mandioca nos municípios São José do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.



Fonte: Caio Diaz

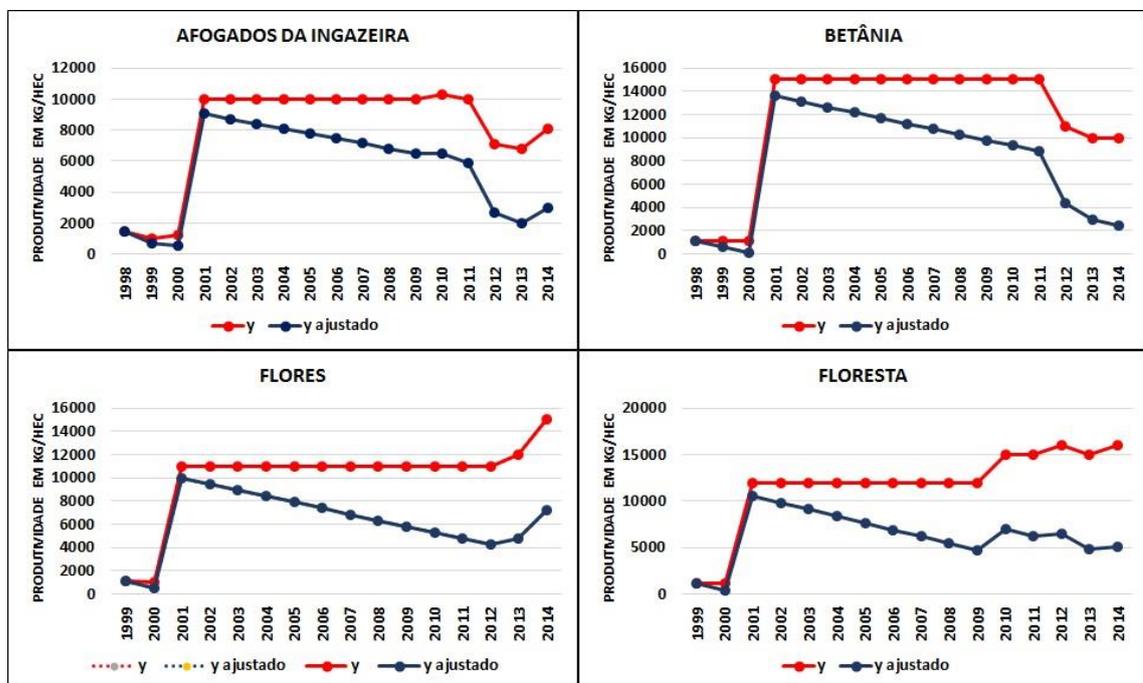
de 15000 kg/hec, não sendo o maior valor da série desses municípios, mas mostrando evolução nos últimos 3 anos. Esse ajuste, porém, derrubou os valores para menos da metade, demonstrando o impacto do modelo sobre os dados originais.

O município com menor diferença de produtividade (e com menor valor de angulação beta) em valores absolutos foi Itapetim, entretanto apresenta uma das maiores diferenças em termos percentuais. Em 2014, a produtividade de Itapetim era de 5833 kg/hec, um dos menores dentre os municípios no ano, conseqüentemente o valor ajustado chegou a apenas 27% do valor original, ou seja, 1623 kg/hec. Isso quer dizer que em termos percentuais, a diferença entre os dados originais e ajustados independe do valor de angulação.

O mesmo ocorre com os municípios de Mirandiba e Triunfo, cuja produtividade ajustada representam, respectivamente, 20,3 e 20,1% do valor da produtividade original de 2014, tendo este último, o menor valor percentual da série. Esses valores percentuais discrepantes podem ser explicados pela natureza do valor de produtividade original, onde indica-se que 2 valores, um maior e outro menor, ambos com a mesmo valor de beta, terão diferenças em seus percentuais, sendo que o maior percentual será do menor valor.

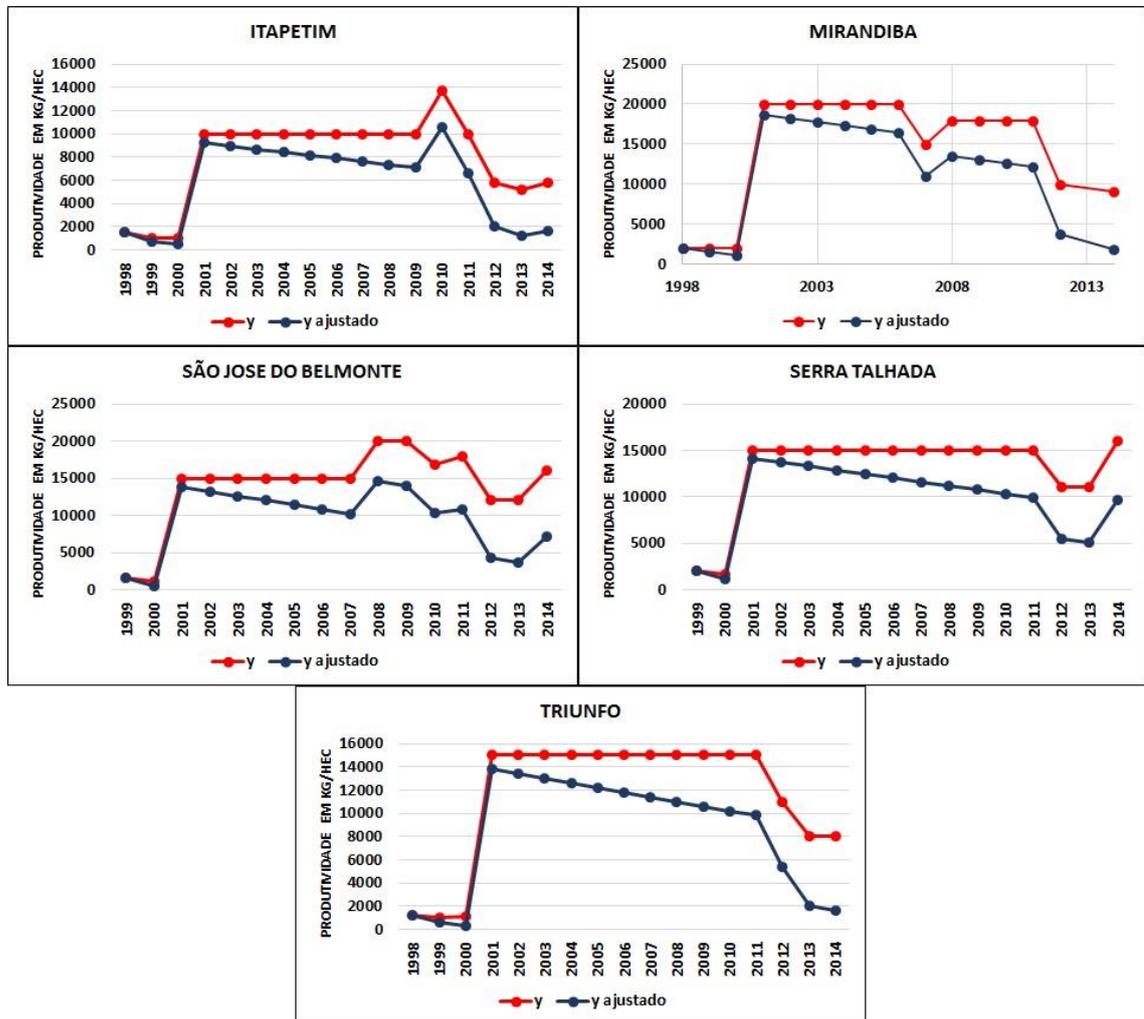
Afogados da Ingazeira e Serra Talhada mantiveram padrões intermediários entre os dados originais e os gerados pelo modelo, não obtendo alguma singularidade evidente.

Figura 27: dados de produtividade original (y) e corrigidos (y ajustado) para a banana nos municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia, Flores e Floresta.



Fonte: Caio Diaz

Figura 28: dados de produtividade original (y) e corrigidos (y ajustado) para a banana nos municípios de Itapetim, Mirandiba, São José do Belmonte, Serra Talhada e Triunfo.



Fonte: Caio Diaz

A análise de regressão como fonte para correlações entre a precipitação e a produtividade agrícola foi efetuada. Nesta análise o coeficiente de determinação R foi o índice preponderante para a correlação onde a precipitação foi a variável determinante e a produtividade foi a variável dependente. A partir desta análise poder-se-ia ter uma noção básica, porém mais lúcida sobre a influência das chuvas nas atividades agrícolas da região.

Os resultados, porém, mostraram que na grande maioria dos casos, utilizando o modelo linear, não existe relações entre as variáveis tendo a precipitação como agente determinante. A tabela 7 elucida bem a afirmação exposta. Como é possível perceber, apenas dois municípios obtiveram significância estatística de no mínimo 95% e apenas sobre a produtividade de mandioca. Assim, os dados dos outros três tipos de lavouras não obtiveram significância estatística em nenhum município. Ainda assim é possível perceber que alguns valores chegaram perto desta significância que também é representado na tabela 7 como valor crítico.

Tabela 7: valores do coeficiente de determinação R

Município	Mandioca	Milho	Feijão (AMJ)	Banana
Afogados da Ingazeira	0,415*	0,169	0,191	0,313
Betânia	0,318	0,107	0,096	0,144
Flores	0,213	0,004	0,113	0,006
Floresta	-	0,008	0,184	0
Itapetim	0,183	0,044	-	0,361
Mirandiba	-	0,076	-	0,05
S. J. Belmonte	0,059	0,043	0	0,172
Serra Talhada	0,55**	0,156	0,085	0,225
Triunfo	0,232	0,022	0,159	0,031
Valor crítico 95% (*)	0,369	0,412	0,412	0,441
Valor crítico 99% (**)	0,503	0,558	0,558	0,552
OBS: os hifens na tabela indicam ausência ou inconsistência de dados				

Fonte: Caio Diaz

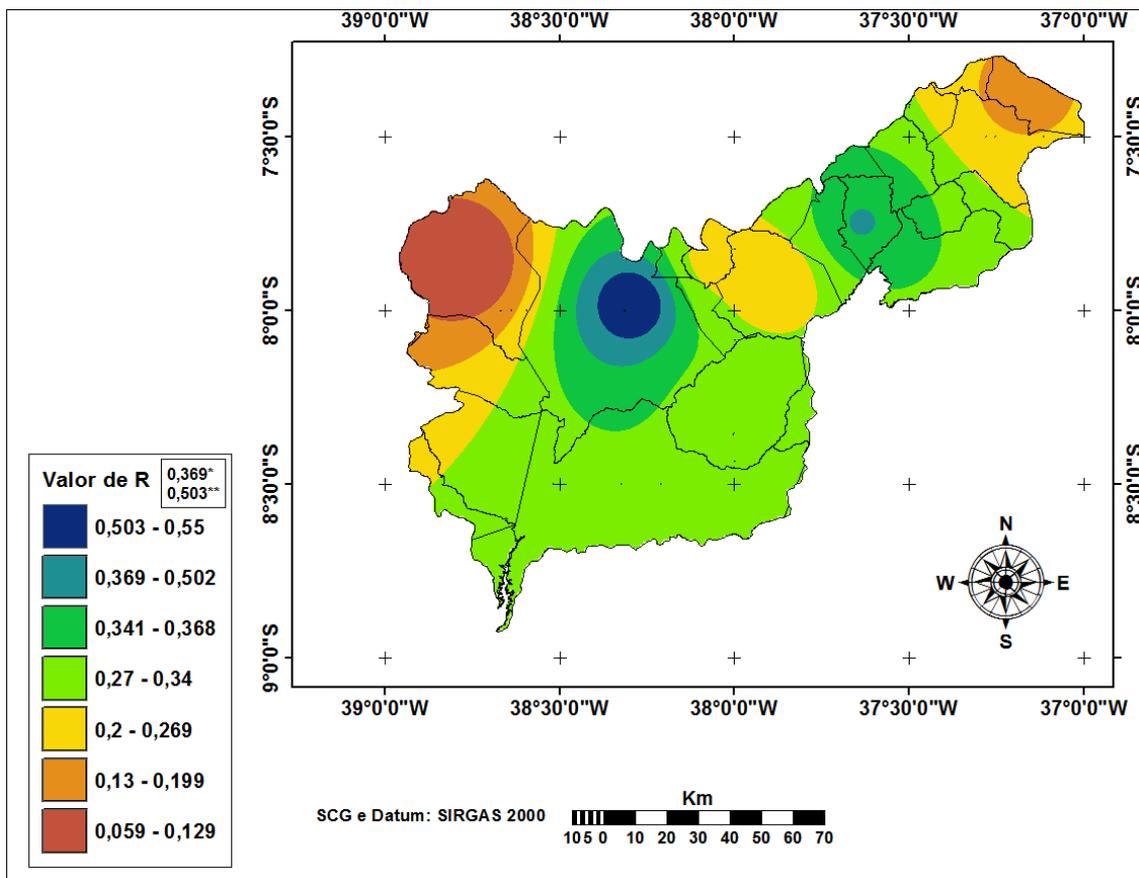
Entre os exemplos podemos citar Itapetim e Afogados da Ingazeira na produtividade da banana e Betânia na produtividade da mandioca. Nestes três casos, apesar de não terem alcançado o valor crítico mínimo, o patamar é alto o bastante para alcançar significância estatística de 90%, que não foi adotado neste trabalho, pois convencionasse que este nível de significância não é forte o bastante para dar respaldo estatístico em pesquisas, tanto que não se encontra pesquisas científicas utilizando este nível de significância.

Analisando cultura por cultura, começando pela relação precipitação x mandioca, foi utilizado o acumulado anual de chuva para esta cultura uma vez que o cultivo da mandioca dura entre 1 e um ano e meio na região do Pajeú. Na Figura 29, é possível observar de forma regionalizada, o nível de relação existente entre a precipitação anual e a produtividade da mandioca. Nota-se que as áreas com maior relação se encontram em Serra Talhada e no centro lente da bacia (em verde escuro e azul), onde também houve alguma significância estatística usando a equação adotada.

Os extremos, norte e oeste da bacia, onde se localizam os municípios de São José do Belmonte e Itapetim foram as áreas com menor valor do coeficiente de determinação e as áreas em verde, que abrangem a maior parte da bacia, representam valores intermediários que apresentariam significância se adotado o nível estatístico de 90%.

Em resumo, não parece haver uma lógica estatística quanto a relação entre áreas mais secas e mais úmidas com o desempenho da produtividade da mandioca e a causa de Serra Talhada e Afogados da Ingazeira obterem melhor relação estatística que as demais parece calcar mais a obra do acaso do que particularmente a uma lógica de dependência e independência de variáveis, apesar da variabilidade produtiva da cultura nestes dois municípios apresentarem similaridades.

Figura 29: coeficiente R para a mandioca na bacia hidrográfica do rio Pajeú.



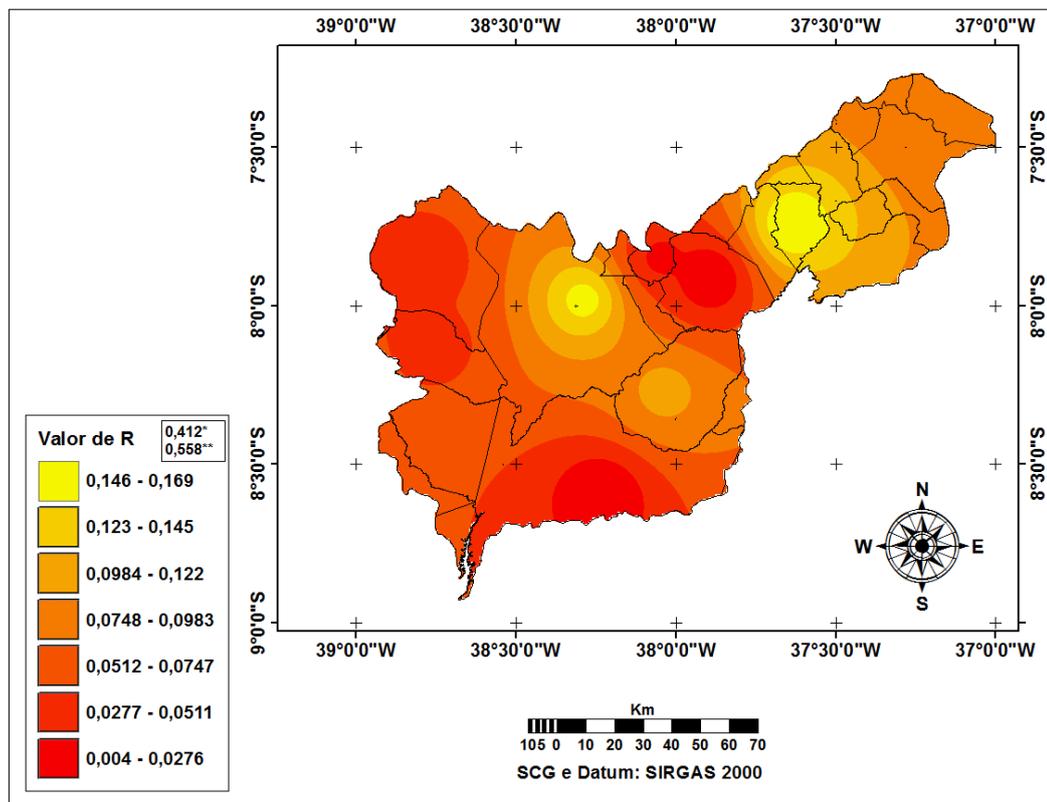
Fonte: Caio Diaz

Com relação a produtividade de milho, foi utilizado o acumulado do período chuvoso compreendido entre janeiro e maio para relacionar com os dados agrícolas, uma vez que as lavouras de milho na região são em sua maioria de sequeiro e durão até seis meses começando do primeiro mês chuvoso. Diferentemente da análise chuva x mandioca, na análise chuva x milho utilizando o coeficiente R, não foi registrado quaisquer relações estatisticamente significantes, o que leva a crer que talvez este modelo não seja eficaz ou talvez, apresente um nível alto de exigência entre os pares de dados.

Assim, observando a figura 30, é possível perceber em que regiões da bacia, houve os maiores valores de coeficiente R e mais uma vez, em Serra Talhada e Afogados da Ingazeira, foram constatados os maiores valores nas áreas em amarelo do mapa. Isto pode ser um indício de que nestas regiões possa haver alguma influência direta do regime ou acumulado de chuvas com a produção agrícola.

As áreas mais escuras do mapa representam os municípios que obtiveram os menores valores de coeficiente de determinação a saber, Triunfo, Flores e Floresta, tendo estes dois últimos praticamente 0 de relação como já foi exposto na tabela 7. Já as áreas do Sudeste, Sudoeste e extremo Nordeste da bacia apresentam valores intermediários, porém sabemos que, à exceção do Sudeste (representado por Betânia) os valores dos outros setores citados são o resultado da interpolação utilizada para a criação do mapa e talvez não represente fidedignamente a situação real dessas regiões, ainda que a exemplo do resto da bacia, exista fortes indícios para que a situação seja a verificada no mapa.

Figura 30: coeficiente R para o milho na bacia hidrográfica do rio Pajeú



Fonte: Caio Diaz

A produtividade de feijão obteve maiores relações com a precipitação do que os dados de milho. Como o cultivo de feijão dura em torno de 3 meses dependendo das condições edafoclimáticas, a produtividade foi relacionada com os acumulados trimestrais de abril, maio e junho, que foi o trimestre com os maiores coeficientes em relação aos outros.

Na figura 31, os níveis de relação são representados no mapa de forma regionalizada, onde os setores Sul e Nordeste da bacia apresentam os maiores valores, enquanto que o centro e o Noroeste apresentam os menores índices. Mais uma vez, Afogados da Ingazeira obteve o maior valor dentre os municípios, mostrando que seus acumulados pluviométricos, em três escalas de tempo diferentes, tiveram maior relação estatística que os demais. Floresta também demonstrou alto valor em relação aos outros municípios, porém nenhum dos dois valores mostrados chegaram perto sequer de um nível de significância de 95%.

Os municípios com menor índice de relação foram Betânia, Serra Talhada e São José do Belmonte, este último obteve valor 0 de relação, enquanto que os outros dois ficaram um pouco mais acima. Uma das hipóteses que podem ser lançadas para isso esteja assentada na natureza dos dados de produtividade do feijão, que não possuem valores em uníssono com alguns valores da precipitação em anos decisivos, tais como 1997, 1998, 2004, 2008 e 2012, anos em que se constatou os menores e maiores acumulados de chuva tanto em escala anual, quanto trimestral, comprometendo o valor do coeficiente, ou seja, em anos secos, o valor da produtividade não era baixo e em anos chuvosos, os valores de produtividade não foi tão alta. Assim o valor do coeficiente de determinação permanece bem abaixo do valor crítico.

Em dissonância à realidade da produtividade do feijão, os dados do coeficiente de determinação para a produtividade da banana, ainda que não tivessem atingido significância mínima, se encontram muito mais perto do valor crítico. Para essa análise, assim como na análise para a mandioca, foram utilizados os acumulados anuais, uma vez que a lavoura de banana em sua maioria é irrigada e, portanto, produz o ano todo.

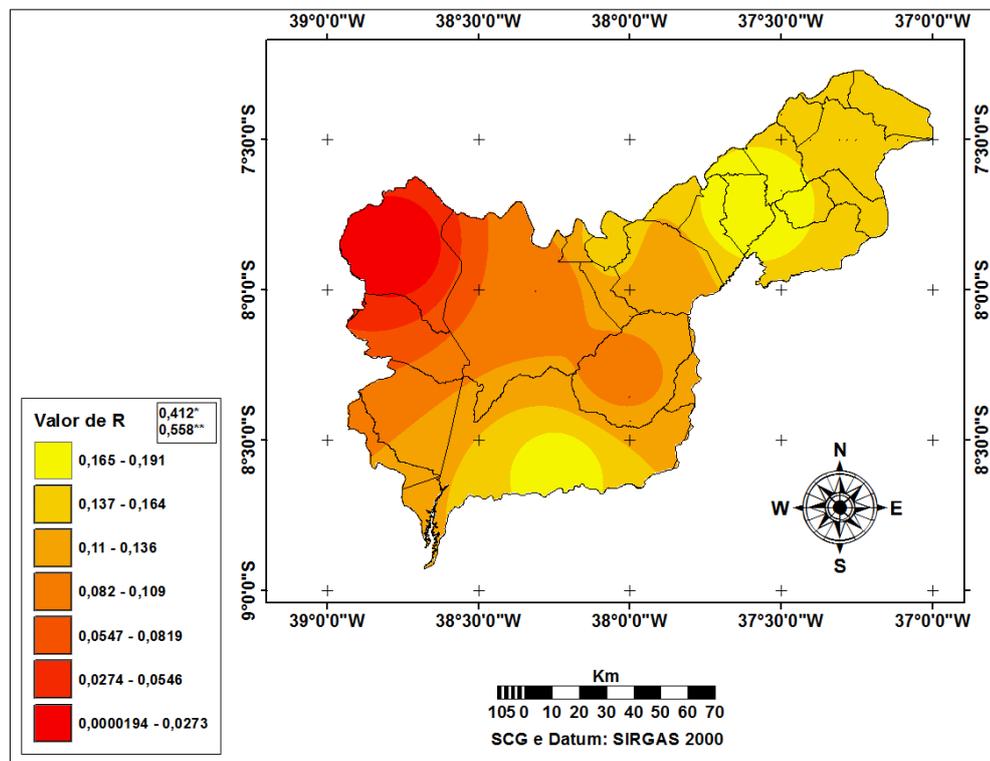
Na Figura 32, percebe-se que a área com melhores relações se encontra no alto Pajeú a partir das cores esverdeadas no mapa, com Afogados da Ingazeira representando um dos maiores valores de coeficiente. Entretanto, desta vez, o maior índice é representado por Itapetim, que por pouco não atingiu nível de significância mínima para a pesquisa, como já foi mostrado na tabela. Em seguida, as áreas em amarelo no mapa representam valores intermediários, já bem distanciados do valor crítico, onde os municípios de Serra Talhada, São José do Belmonte e Betânia se encontram.

Já as áreas em vermelho e laranja mostram os menores valores de coeficiente, representados pelos municípios de Floresta, Mirandiba, Flores e Triunfo, sendo que desta vez o município de Floresta obteve valor 0 de coeficiente, mostrando a total dissonância de relação entre os dados de precipitação e de produtividade da banana para estas regiões. Curiosamente, apesar desses valores baixos, é nas áreas próximas ao São Francisco onde se concentram as maiores produtividades não apenas no Pajeú, mas em todo o estado, pois não apenas a

proximidade com o rio, mas a ocorrência de neossolos flúvicos dão maior viabilidade para a produção da banana.

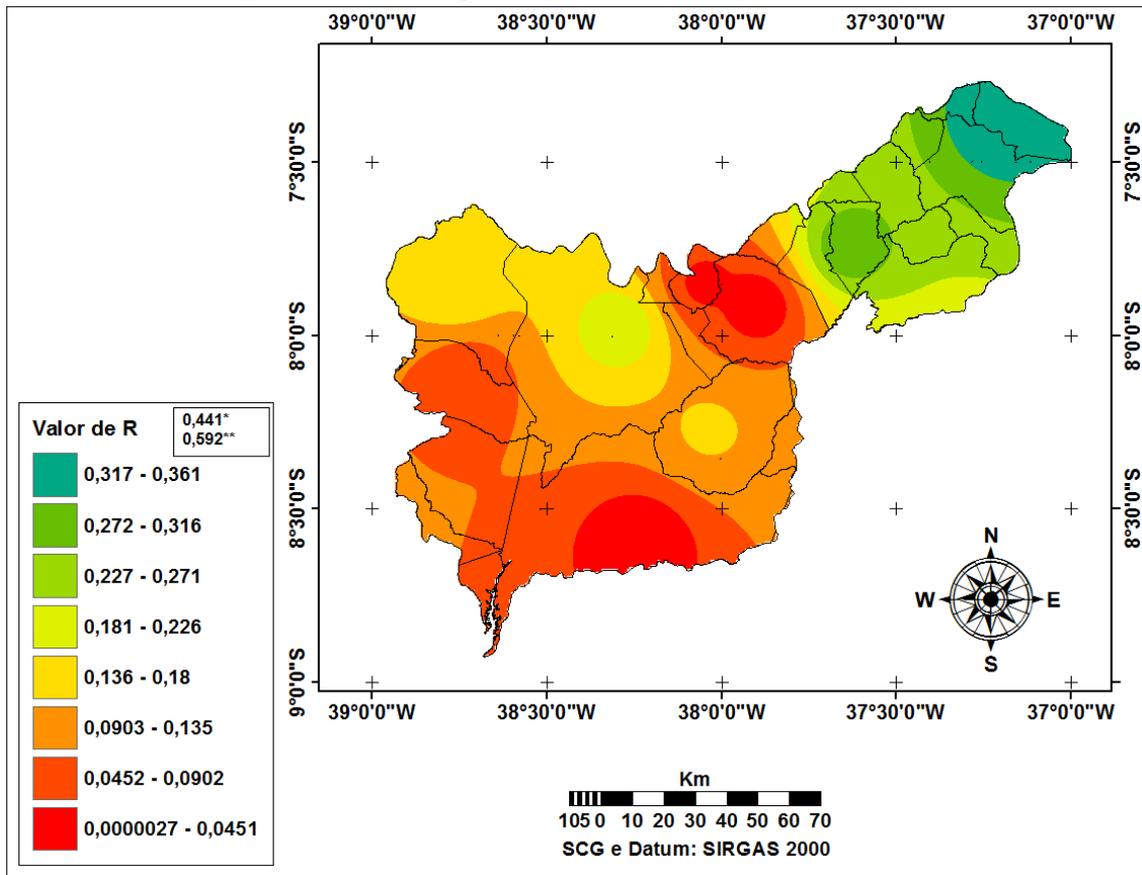
Percebe-se nitidamente que a regressão linear como modelo para detectar relações entre a precipitação e sua variabilidade com a produtividade de culturas tomando os dados de precipitação como variável determinante, não parece ser o mais indicado já que apenas 6,5% dos valores do coeficiente de determinação R foram estatisticamente significantes. Isso talvez mostre o porquê de não haver trabalhos relacionados com o assunto, o que é ruim, pois tais testes estatísticos acabam não sendo difundidos afim de divulgar a ineficácia do modelo para este fim específico.

Figura 31: coeficiente R para o feijão na bacia hidrográfica do rio Pajeú.



Fonte: Caio Diaz

Figura 32: coeficiente R para a banana na bacia hidrográfica do rio Pajeú.



Fonte: Caio Diaz

A análise de correlação linear entre a precipitação e a produtividade agrícola foi efetuada, separando os dados anuais em dados trimestrais, o objetivo para isso era saber em que época do ano os acumulados pluviométricos eram mais influentes para o desempenho da produtividade de mandioca, milho, feijão e banana no Pajeú, evidenciando diferenças de correlação na variabilidade trimestral de chuva em relação aos dados agrícolas. Diferentemente da regressão linear, aqui não existe uma relação de função entre as variáveis, tornando-as independentes entre si.

Os resultados dos coeficientes de correlação, de uma forma geral, se mostram melhores e estatisticamente mais fortes que os resultados dos coeficientes de determinação, com valores maiores e significantes. Também, em comparação a regressão linear, é necessário indagar que alguns dados de correlação mostraram valores abaixo de 0, uma vez que em tal teste estatístico, a natureza dos dados pode apresentar valores positivos como negativos. A tabela 8 mostra com mais detalhes os valores de correlação encontrados.

Tabela 8: Valores de coeficiente de correlação para os trimestres mais bem correlacionados em cada cultura.

Município	Mandioca (JFM)	Milho (AMJ)	Feijão (JFM)	Feijão (AMJ)	Banana (JFM)
A. da Ingazeira	0,401	0,322	0,481*	0,328	0,654**
Betânia	0,555**	0,388	-0,129	0,153	0,545*
Flores	0,369	0,422	-0,203	0,242	0,338
Floresta	-	0,352	-0,339	-0,429	0,361
Itapetim	0,328	0,251	-	-	0,667**
Mirandiba	-	0,549*	-	-	0,282
S. J. Belmonte	0,23	0,407	-0,011	-0,151	0,354
Serra Talhada	0,706**	0,697**	-0,288	0,196	0,608*
Triunfo	0,479*	0,218	-0,009	0,198	0,382
Valor crítico (*)	0,433	0,468	0,433	0,433	0,497
Valor crítico (**)	0,549	0,606	0,549	0,549	0,623

Fonte: Caio Diaz

Analisando a tabela, constata-se uma grande diversidade nos valores dos coeficientes de correlação, desde valores de correlação negativa muito próximo da significância estatística, até valores positivos que extrapolam o valor crítico de alta significância. Destarte, percebe-se uma boa quantidade de valores com boa significância estatística e da mesma forma, uma relevante quantidade de valores negativos sem significância estatística, fenômeno este que será explicado mais adiante.

Com relação específica aos dados de feijão, observa-se dois trimestres na tabela, com dados para os meses de janeiro, fevereiro e março e dados para abril, maio e junho. Isto ocorre, porque não ficou claro qual dos trimestres é o mais influente em termos estatísticos para a cultura do feijão. Apesar do critério utilizado estar vinculado a maior quantidade de valores acima do valor crítico estabelecido (onde o primeiro trimestre se encontra), constata-se relevância nos valores dos dados do segundo trimestre para a produtividade do feijão, onde se encontra o maior valor negativo da análise. Portanto, julgou-se necessário a avaliação dos dois trimestres em conjunto, comparando-os.

Dentre as lavouras estudadas, percebeu-se também, que a produtividade com melhores correlações com a precipitação foi a de banana com quatro municípios com valores de coeficiente de correlação acima do valor crítico mínimo para significância

estatística, enquanto que as correlações para a produtividade do feijão (assim como ocorreu na análise com o coeficiente de determinação), obteve menor significância estatística. Comparando-se os municípios, Serra Talhada, de cinco oportunidades, obteve significância estatística em três, enquanto que os postos de Flores e Floresta não obtiveram significância estatística em nenhuma correlação.

Seguindo o protocolo, as análises de correlação para cada cultura serão efetuadas de forma regionalizada começando pela mandioca. Observa-se na Figura 33, o mapa da bacia do Pajeú com representação em uma grande área com significância estatística desde o Sul, passando pelo Norte até as fronteiras de Flores (a Leste) e São José do Belmonte (A Oeste). O limite do intervalo de confiança a 95% no mapa é representado pela 5ª classe da legenda, onde se localiza o município de Triunfo. Afogados da Ingazeira, apesar de não ter atingido significância estatística, assegurou um valor razoavelmente alto.

Já o limite do intervalo de confiança a 99% no mapa é representado pela classe mais alta, em azul escuro. Nesta classe, encontram-se os municípios de Betânia e Serra Talhada, este último apresenta índices acima da média tanto para o coeficiente de determinação, como para o coeficiente de correlação. Neste caso em específico para os dois municípios, os níveis de produtividade acompanham os índices de chuva, melhor que os demais municípios, o que garantem os valores de alta significância para estas localidades.

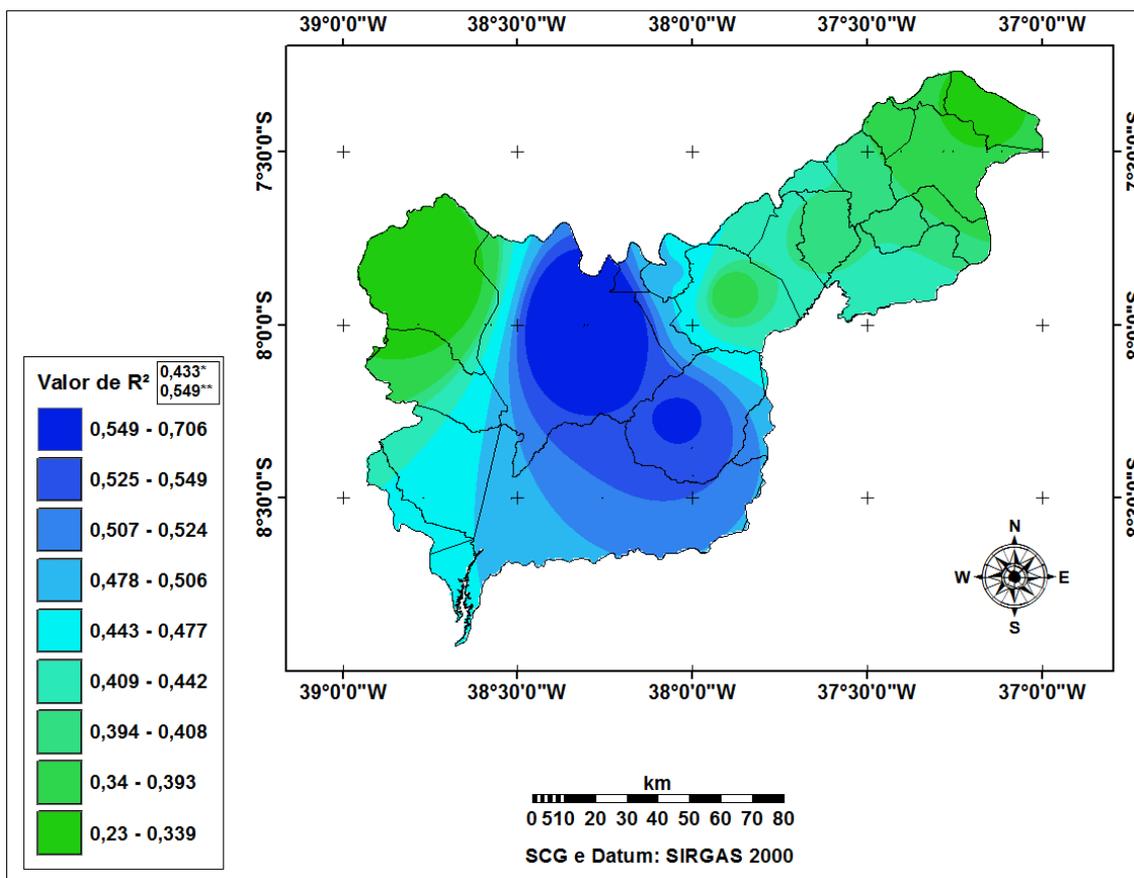
Alguns municípios aparentemente não parecem mudar de status mesmo quando da mudança do teste. São José do Belmonte e Itapetim se mostraram com os menores valores de correlação linear, assim como no teste anterior. De fato, é um pouco difícil dizer o porquê de isso ocorrer, mas as hipóteses mais plausíveis calcam na alocação da produção de alguns municípios para outros, mascarando um pouco o valor real da quantidade produzida nos municípios. É necessário ressaltar também, que apesar do mapa mostrar relação estatística no município de Floresta, ele não consta na análise e, portanto, não se pode afirmar se em tal município há relação estatística entre a precipitação e a produtividade de mandioca.

Nota-se que, apesar dos demais municípios não apresentarem significância estatística, no geral há um êxito muito maior com a aplicação do coeficiente de correlação do que com a coeficiente de determinação para a produtividade da mandioca, ainda que os valores críticos do primeiro teste sejam maiores, portanto mais difíceis de se alcançar, do que o segundo teste. Isso incorra talvez, do fato de que a variabilidade da precipitação

apresente maior relação com produtividade quando esta segunda variável seja analisada de maneira independente².

É de vital importância enfatizar que o período chuvoso que mais bem correlacionou com produtividade de mandioca foi entre janeiro e março, coincidindo com a época de plantio das sementes, seguindo de brotamento das manivas e crescimento do sistema radicular e coincidindo também com o crescimento das plantas em estágio adulto no ano seguinte, uma vez que a lavoura de mandioca pode durar mais um ano.

Figura 33: Correlação entre a precipitação e a produtividade da mandioca.



Fonte: Caio Diaz

As correlações entre a precipitação e a produtividade de milho se mostraram um pouco menos efetivas que as de mandioca. Neste ponto é válido ressaltar que o milho teoricamente é mais sensível a variações não apenas pluviométricas, mas de outros fatores como temperatura e radiação. Ainda assim os resultados se mostraram mais estáveis, com igual diferença entre o maior e menor coeficiente de correlação encontrado comparando-se com os resultados para a mandioca.

(²). Note que o termo “independente” está relacionado a natureza das variáveis no cálculo da correlação e não a falta de relação estatística.

Analisando o mapa na figura 34, percebe-se que as áreas mais bem correlacionadas se encontram em azul, majoritariamente nos setores Oeste, Sudoeste e central da bacia. Porém o valor crítico a 95% de confiança é representado no mapa pela terceira tonalidade mais escura de azul, enquanto que o valor crítico a 99% é representado pela tonalidade mais escura de azul, ou seja, a área com correlação estatisticamente significativa no mapa resume-se ao trecho central juntamente a uma parte do centro-oeste da bacia do Pajeú.

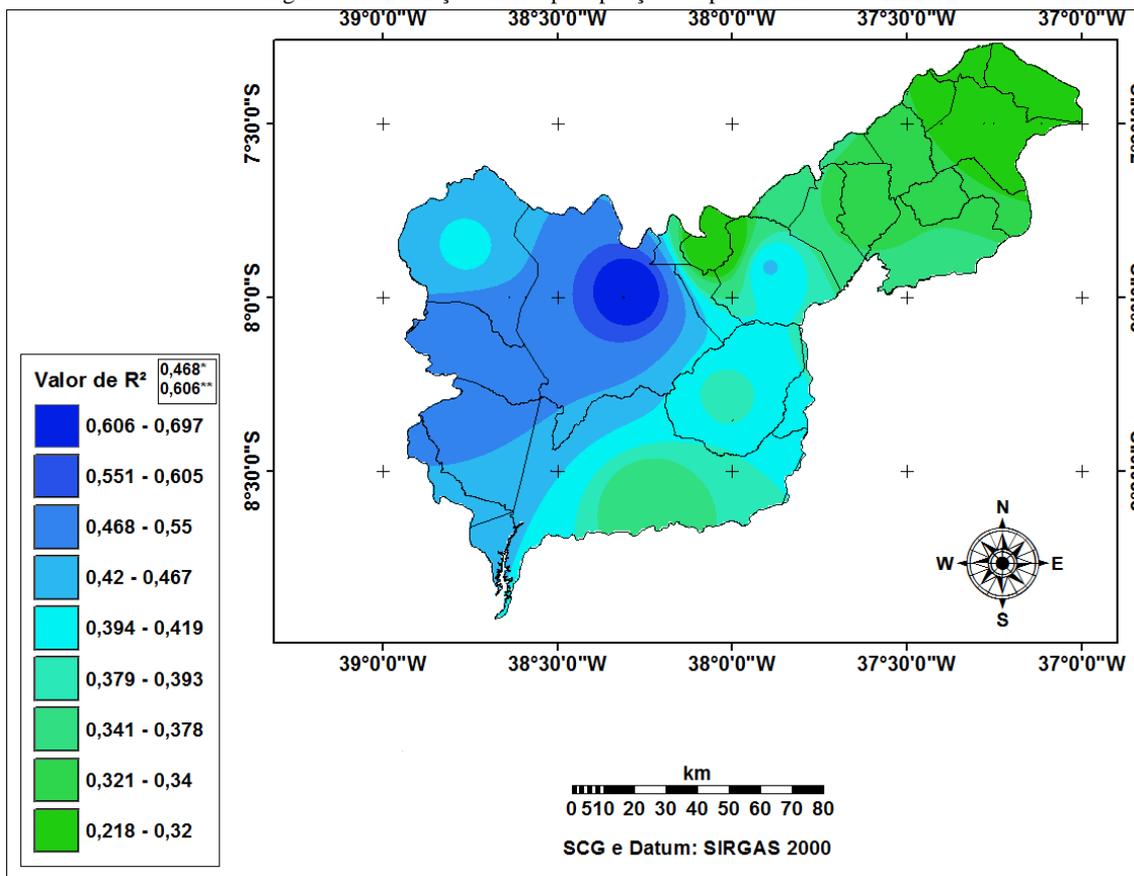
Essas áreas são representadas pelos municípios de Mirandiba e Serra Talhada, sendo este último, novamente figurando com a maior correlação da série tendo valor altamente significativo. Flores obteve correlação moderada, chegando perto do valor crítico mínimo exigido e o mesmo incorre a São José do Belmonte. Apesar de não atingirem o valor crítico, considera-se que ambos lograram um bom resultado.

Já nas áreas em verde do mapa, revelam-se valores de correlação de moderado a baixo, representando a área brejeira de Triunfo e todo o alto Pajeú, bem como áreas em Betânia e Floresta. Mesmo obtendo baixos patamares em relação as outras áreas e ao valor crítico, os valores destas áreas não são tão baixos à exceção da classe de cor verde mais escura que representa valores abaixo de 0,300. Assim como na correlação para a produtividade de mandioca, os resultados de correlação para a produtividade de milho se mostraram evidentemente mais eficazes que nos resultados do coeficiente de determinação.

Diferente da análise para a mandioca, o período pluviométrico mais bem correlacionado para a produtividade de milho foi entre abril e junho, época que coincide com o estágio de crescimento das espigas, dos grãos e conseqüentemente da maturação fisiológica, estágio em que toda a parte aérea da planta está seca, até o amadurecimento das espigas.

Ferreira (2005) ao estudar a influência da precipitação na produção irrigada de milho no Estado de São Paulo constatou forte correlação no começo do período chuvoso a partir de dezembro até fevereiro, diferentemente dos resultados aqui encontrados, que constatou maior correlação para o milho na segunda parte do período chuvoso. Os três primeiros meses do período de chuvas, como é dito pela autora, são importantes para a cultura de milho, pois coincide com o período de floração da planta. Isso quer dizer que, enquanto no Sudeste do país o período de floração parece ser o mais influenciado pela variabilidade das chuvas, no semiárido o período mais afetado parece ser o de maturação e amadurecimento de espigas.

Figura 34: Correlação entre a precipitação e a produtividade do milho.



Fonte: Caio Diaz

As correlações entre a precipitação e a produtividade do feijão na bacia do rio Pajeú proveram os resultados mais singulares e complexos do teste. Isto porque nesta esta análise foi a único que resultou em valores negativos de correlação. Isso a grosso modo quer dizer que nas regiões com valor negativo de correlação, quando há baixo acumulado de precipitação, a produtividade aumenta e quando há alto acumulado de precipitação, a produtividade cai.

Outro aspecto diz respeito ao fato de que não houve apenas um período trimestral de chuva com os melhores valores de correlação, mas dois, que são os trimestres que representam o período chuvoso da região. Vale lembrar que o período de cultivo do feijão é curto. O intervalo entre a semeadura e a colheita passando pelo surgimento das flores e secamento das vagens, cabe em um trimestre havendo, portanto, a possibilidade de duas safras, sendo a segunda comumente chamada de safrinha.

Neste sentido, a Figura 35 elucidada bem as assertivas anteriormente colocadas com os dois mapas que expõem os aspectos correlativos em dois períodos diferentes e as áreas com correlação negativa. Na Figura 30a temos uma área representada em azul escuro por

Afogados da Ingazeira com correlação estatisticamente significativa, sendo a única a atingir e ultrapassar o valor crítico estabelecido. No resto da bacia, as correlações positivas são de moderadas (estas representando uma pequena parte) a fracas. As correlações negativas, por sua vez, só se tornam relevantes nas áreas em rosa claro, representadas por Floresta e Serra Talhada.

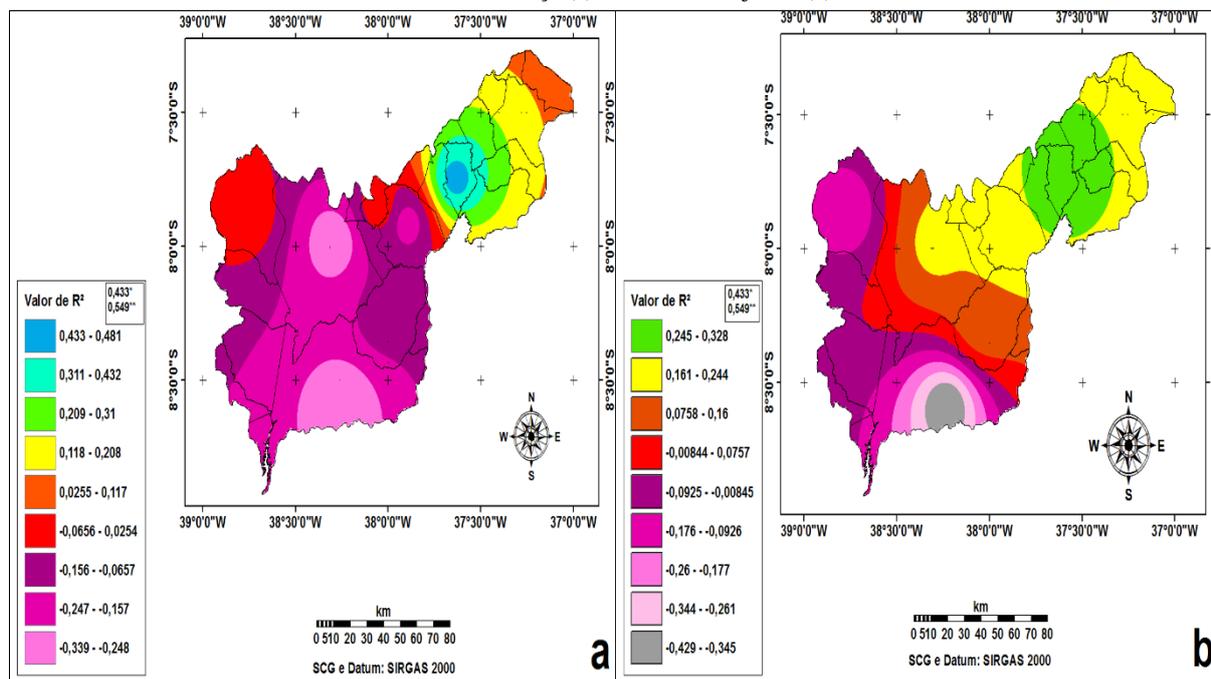
Na figura 30b observa-se um cenário mais ou menos similar, também com correlações negativas, porém desta vez, mais fortes e concentradas. Floresta desta vez, apresentou uma correlação negativa que beirou o valor crítico e mesmo não atingindo, podemos conceber este resultado como representativo. Acontece que, como dito anteriormente, uma correlação negativa entre precipitação e produtividade agrícola não parece fazer muito sentido. Ferreira (2005) também encontrou correlações negativas tanto para a soja, quanto para o milho no sul e sudeste do país entre novembro e janeiro, época em que a ZCAS começa a se tornar mais recorrente por lá.

Esses valores negativos, na verdade foram potencializados nas épocas de maior e menor acumulados de chuva, sobretudo nos anos de 1998 e 2004, onde se registrou respectivamente os menores e maiores acumulados de chuva da região. Em contrapartida valores altos de produtividade foram registrados nos secos, enquanto que baixos valores foram encontrados em anos chuvosos.

Este cenário nos leva a questionar que os acumulados em escala mensal ou eventos extremos de precipitação podem ter fator preponderante para o desempenho da produção agrícola e para desempenho do teste estatístico, onde em um ano com acumulado pluviométrico abaixo da média histórica, tenha chovido o bastante para as necessidades fisiológicas da planta durante o período de cultivo e em contraponto em um ano com precipitação anual acima da média, tenha, em um único mês, chovido em demasia, causando estresse hídrico por saturação aos indivíduos de uma lavoura, consequentemente provocando perda de produção pela destruição da parte aérea da planta em um evento extremo ou ainda apodrecimento e proliferação de pragas.

Já com relação a produtividade da banana, temos os melhores resultados de correlação linear dentre as análises feitas. A época mais bem relacionada neste quesito foi entre os meses de janeiro e março sendo o começo do período chuvoso. Como a lavoura de banana é permanente e irrigada, não há coincidência entre o período fenológico e os acumulados trimestrais, até porque as bananeiras produzem o ano inteiro intercaladas entre ciclos.

Figura 35: Correlação entre a precipitação e a produtividade de feijão durante os meses de janeiro, fevereiro e março (a) e abril, maio e junho (b).



Fonte: Caio Diaz

Na Figura 36 é mostrado uma grande área com correlações acima do valor crítico estabelecido tendo representação de 4 dos 9 municípios estudados. Está área é representada pelas 4 primeiras classes de azul, de cima para baixo na legenda abrangendo as áreas central e sudeste da bacia e todo o alto Pajeú após o município de Flores. A primeira área citada compõe as correlações com nível de significância de 95% tendo Serra Talhada e Betânia como representantes. Já a área do alto Pajeú, apresenta não só correlações ao nível de 95%, como também áreas com alta correlação estatística, representadas por Afogados da Ingazeira e Itapetim.

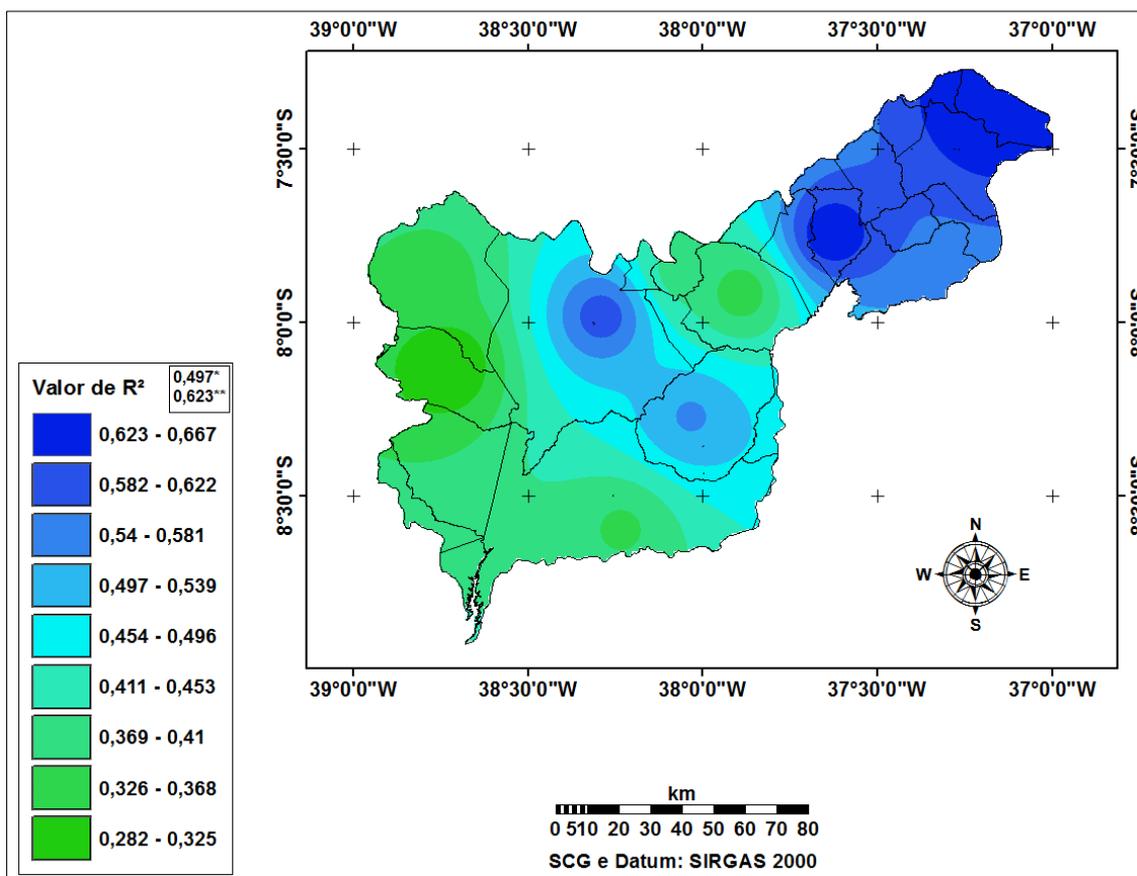
Abaixo desses níveis, estão as áreas sem correlação significativa, restritos aos setores Oeste, centro-nordeste e ao Sul da bacia. Ainda assim, são correlações moderadas que, no entanto, não chegaram perto do valor crítico mínimo, pois o número de amostras estabelecido para a análise foi de 16 anos, o que conta bastante para o valor crítico (pois quanto menor é o número de amostras, maior é o valor crítico a ser atingido). Esses resultados apresentam também, a menor diferença entre o menor e maior valor de correlação dentre as análises com menos de 0,390 ponto de correlação, enquanto que as análises das demais culturas ultrapassam 0,400 ponto de diferença.

Comparando-se os resultados da produtividade da banana com os de Ferreira (2005), percebe-se certas semelhanças entre os resultados, porém com algumas distinções.

A primeira diz respeito que dos 7 estados estudados pela autora, em um número maior de amostras, ela encontrou correlações em 4 deles no período entre dezembro e fevereiro para o milho e para a soja, dentre 3 estados, ela encontrou correlações significativas para os três no mesmo período. Em outras palavras, no trabalho da autora houve maior eficácia do teste em escala estadual se comparado a análise da produtividade da banana em uma escala espacial maior.

O outro aspecto diz respeito aos valores encontrados por ela e os valores desta pesquisa. No caso dela, o maior valor de correlação encontrado foi de 0,63 para as duas culturas, enquanto que no caso da cultura da banana 0,667. Em contrapartida o menor valor encontrado por ela no período de melhor correlação foi de 0,180 para o milho no Estado do Rio de Janeiro, enquanto que no Pajeú o menor valor encontrado para a cultura de banana foi de 0,282 em Mirandiba.

Figura 36: Correlação entre a precipitação e a produtividade de banana



Fonte: Caio Diaz

4.3 Padrões anômalos de precipitação, desvios de produtividade agrícola e anomalias climáticas

Os padrões anômalos de precipitação e desvios de produtividade foram estudados e analisados como instrumento para corroborar algumas constatações do capítulo anterior e iniciar o capítulo 4.3. Os trimestres chuvosos mais bem correlacionados foram utilizados com a produtividade de cada cultura de forma a construir um melhor entendimento sobre a variabilidade dessas anomalias e seus efeitos sobre as atividades agrícolas

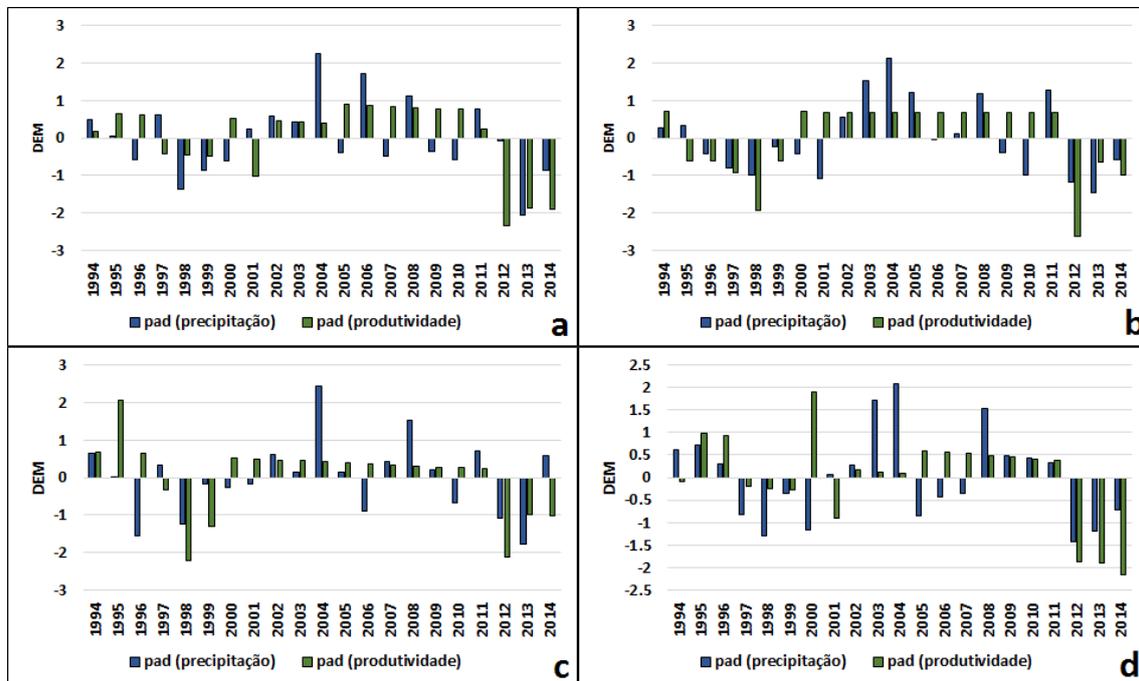
Começando com os padrões anômalos de precipitação com a produtividade da mandioca, as figuras 37 e 38 mostram valores de DEM trimestral nos meses de janeiro a março para a precipitação e os valores anuais de DEM para a produtividade. É bastante notório como nos 3 últimos anos da série para todos os municípios, os acumulados de precipitação estiveram abaixo da média, assim como os níveis de produtividade. O mesmo ocorrerá para as outras culturas e ocorre também, para os períodos anteriores, principalmente nos municípios onde houve correlação significativa.

Em relação a toda a série, percebe-se quatro padrões nas duas variáveis sendo dois com características positivas e 2 com características negativas, onde esses padrões podem denotar maior ou menor nitidez dependendo do município. O primeiro, de caráter positivo tem início no começo da série e muda a partir de 1997/98. Em alguns municípios, esse primeiro padrão apresenta desvios em oposição entre a precipitação e a produtividade como ocorre em Flores e Afogados da Ingazeira (como forte período anômalo de precipitação em 1996). O segundo padrão, de caráter negativo, se manifesta a partir de 1997/98, porém excepcionalmente em Betânia, começa em 96 e seu término varia entre 1999 e 2001. Em Serra Talhada esse padrão negativo anômalo é o mais prolongado e manteve bem definido com a produtividade acompanhando os valores anômalos de precipitação.

Após esse período, manifesta-se o terceiro padrão, o segundo positivo em que a produtividade se mantém constantemente acima da média e a precipitação (salvo em alguns anos para alguns municípios) se configura também acima da média. Isso mostra como alguns municípios obtiveram correlações baixas, onde se constata anomalias negativas de precipitação em oposição a produtividade (caso nítido em Itapetim) e anomalias positivas muito altas de precipitação em anos de produtividade positiva pouco acentuada. Este padrão se mantém até 2012, quando se configura o quarto padrão de

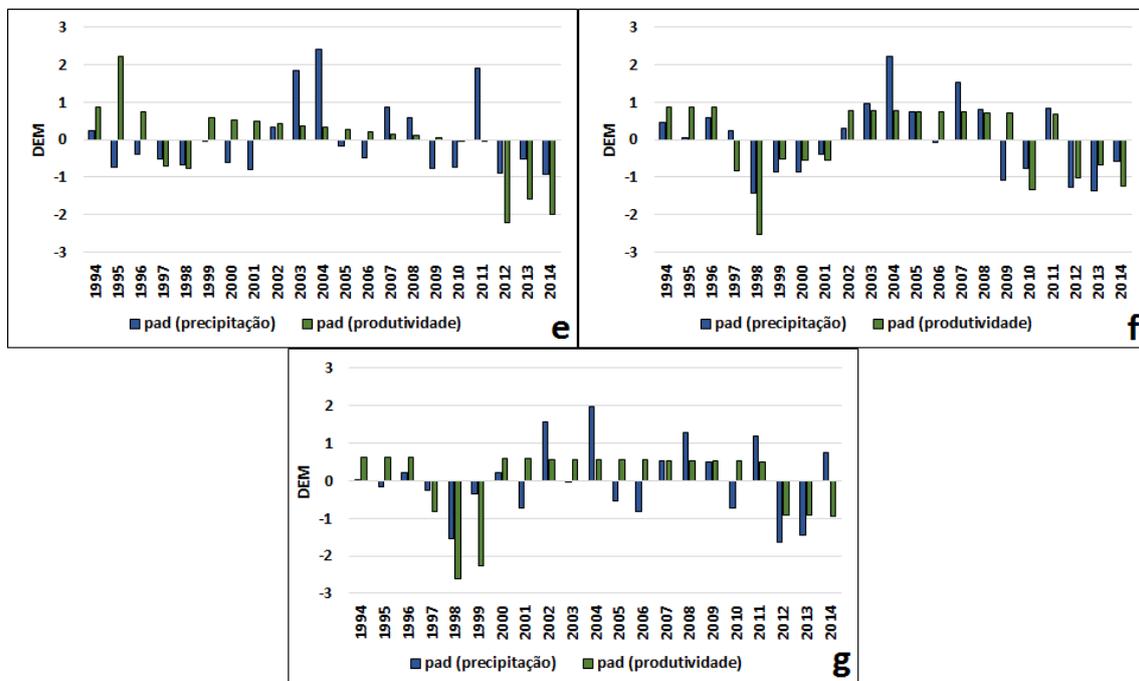
anomalias agropluviométricas, segundo padrão negativo e o mais severo, já anteriormente descrito.

Figura 37: Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola da mandioca em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Itapetim (d).



Fonte: Caio Diaz

Figura 38: Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola da mandioca em São José do Belmonte (e), Serra Talhada (f) e Triunfo (g).



Fonte: Caio Diaz

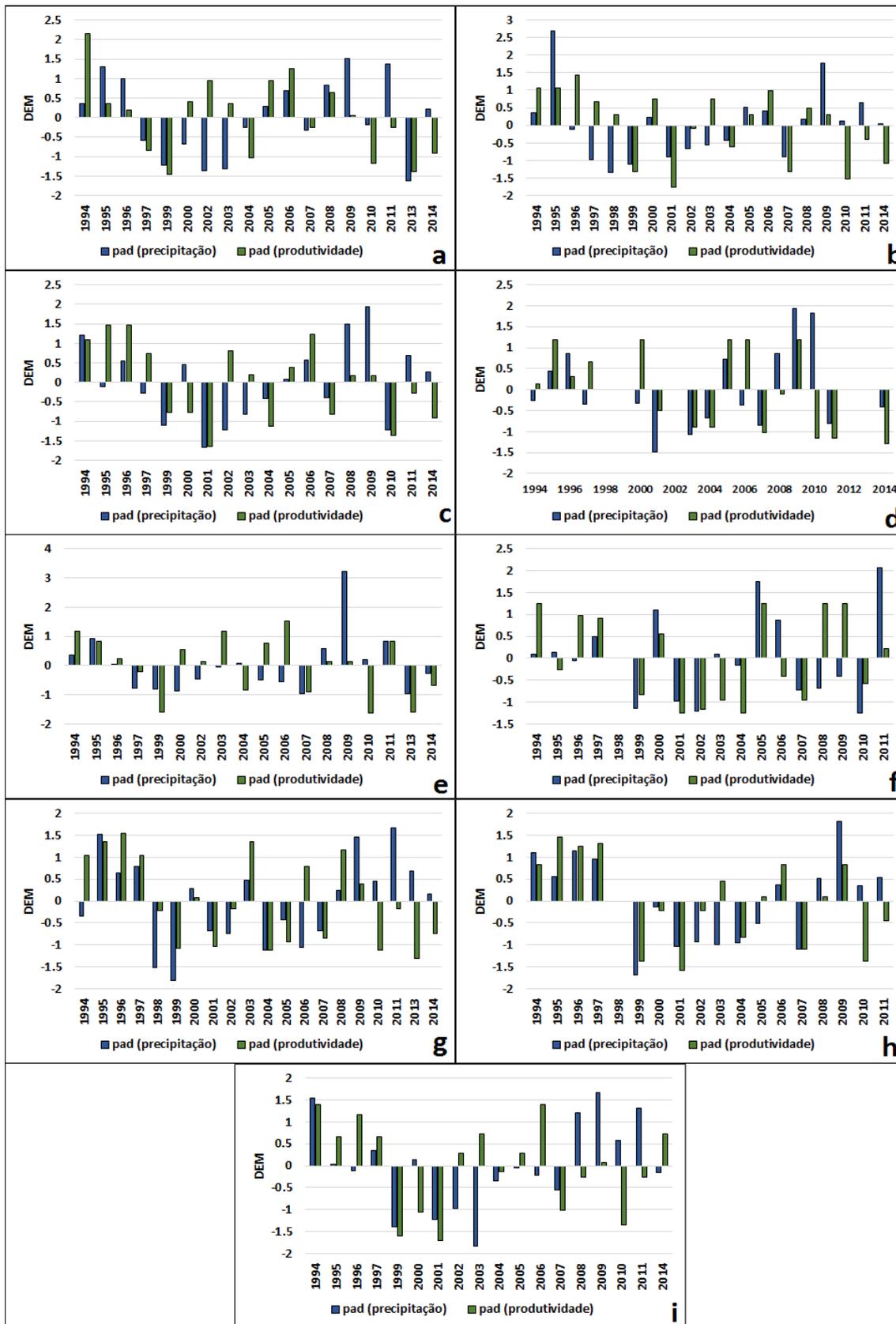
Diferentemente da análise anterior, as anomalias de precipitação e desvios de produtividade de milho não apresentam padrões temporais bem definidos. Apenas em alguns casos, é possível perceber anos consecutivos com valores positivos ou negativos, fato que respalda os dados de correlações de milho terem valores menos significantes que os valores de correlação para a mandioca. Um detalhe importante que pode ser observado e deve ser explicado na figura 39, são vazios nos gráficos de dados tanto na precipitação, quanto na produtividade, decorrente de anos com dados faltantes, muito provavelmente por causa da ausência de produção dessa cultura nesses (onde o clima pode não ter sido o fator único para isso, muito embora possa ser um dos principais).

Para quase todos os municípios, constata-se desvios positivos nas duas variáveis nos primeiros 4 anos da série, lembrando que para o caso do milho, o trimestre chuvoso trabalhado centra-se no mês de maio. Nesses primeiros anos, a produtividade acompanha bem os níveis de precipitação, mostrando um padrão anômalo definido no começo da série, onde o município de Serra Talhada se destaca.

Após este período, não há nitidez quanto a um novo padrão. Os valores ora se opõem bastante entre as variáveis, ora se opõem entre os anos, configurando uma instabilidade na série. Em muitos casos não se vê definição nem mesmo na oposição dos valores das variáveis. Em Triunfo, entre 1999 e 2003, desvios negativos de produtividade são acompanhados de anomalias positivas e negativas de precipitação. Em 2002, o valor de precipitação é de -1, enquanto que a produtividade é positiva e em 2003 o valor do desvio de precipitação é maior que o ano anterior, enquanto que a produtividade também é maior. Relacionando os valores desses dois anos com os três anteriores, vê-se que não há um formato padrão.

Serra Talhada e Mirandiba, no entanto, apresentam uma configuração mais contundente. Os dois municípios logram de anomalias que se acompanham, sendo que na maioria dos anos, essas anomalias sejam negativas. Em Serra Talhada a série de desvios negativos de precipitação e produtividade é longa onde choveu e se produziu, à exceção de 2003 e 2006, abaixo ou no limite da média padrão de 1999 até 2007. Mirandiba, com bem menos definição no padrão de desvios negativos apresentou dois anos com desvios positivos em 2000 e 2005 e um ano em que choveu acima da média padrão e produziu-se abaixo da média padrão (2006). Percebe-se então que diferentemente das anomalias de precipitação entre janeiro e março e a produtividade da mandioca, houve também mais anos com valores negativos para ambas as variáveis, sendo Serra Talhada e Mirandiba destaque por uma série longa de valores negativos.

Figura 39: Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (AMJ) e produtividade agrícola do milho em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d), Itapetim (e), Mirandiba (f), São José do Belmonte (g), Serra Talhada (h) e Triunfo (i).



Fonte: Caio Diaz

A produção de feijão se destacou neste trabalho por apresentar correlações negativas com a precipitação e de fato observa-se nos resultados que existe uma configuração opostora entre as anomalias de precipitação para os meses de janeiro, fevereiro e março e a produtividade do feijão-caupi. Para esta época do ano em especial, à exceção de Afogados da Ingazeira, todos os outros municípios apresentam na maioria dos anos, valores de precipitação em oposição aos de produtividade como é mostrado nas figuras 40 e 41.

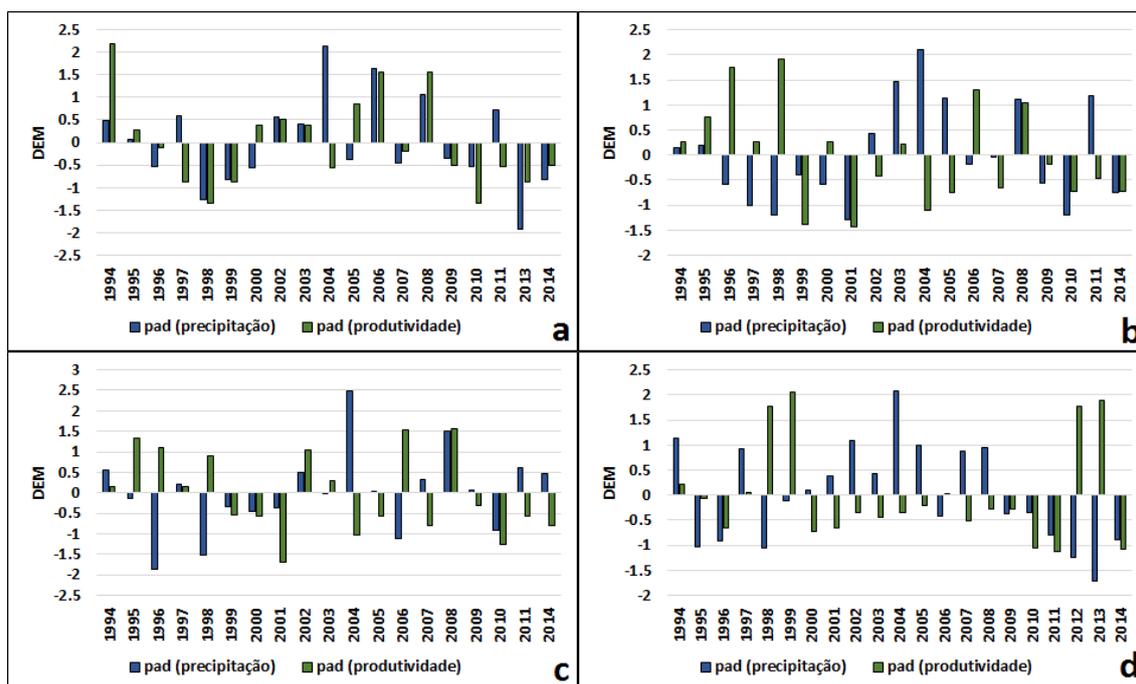
Analisando Afogados da Ingazeira em especial, temos uma configuração de desvios semelhante ao encontrado na análise de anomalias para a mandioca, ou seja, 4 padrões positivos e negativos intercalados entre si, ocorrendo em épocas do ano semelhantes. A diferença é que em Afogados esses padrões não são tão definidos (os primeiros 4 anos) como em Serra Talhada, por exemplo, nos desvios para a produtividade de mandioca.

Alguns municípios obtiveram evidentes relações de oposição entre as anomalias das variáveis. Floresta, que apresentou a maior correlação negativa, de 1998 a 2008 quando as anomalias de precipitação são negativas, os desvios de produtividade são positivos e vice-versa. Nos outros municípios, esse fenômeno também acontece, porém, em menor definição reforçando o porquê dos resultados negativos de correlação.

Ainda assim vemos alguns exemplos onde os desvios de produtividade acompanham os resultados de anomalias de precipitação como em Floresta, entre 2009 e 2011, Flores e Triunfo entre 1999 e 2001, todos com anos consecutivos de valores de DEM negativos. No caso desses dois últimos municípios, as condições pluviométricas dos anos anteriores somados ao dos anos seguintes podem ter desestimulado a produção de feijão que em secas severas, não consegue vicejar e produzir bem, embora haja avanços em pesquisas que buscam a maior tolerância do feijão a esses cenários extremos.

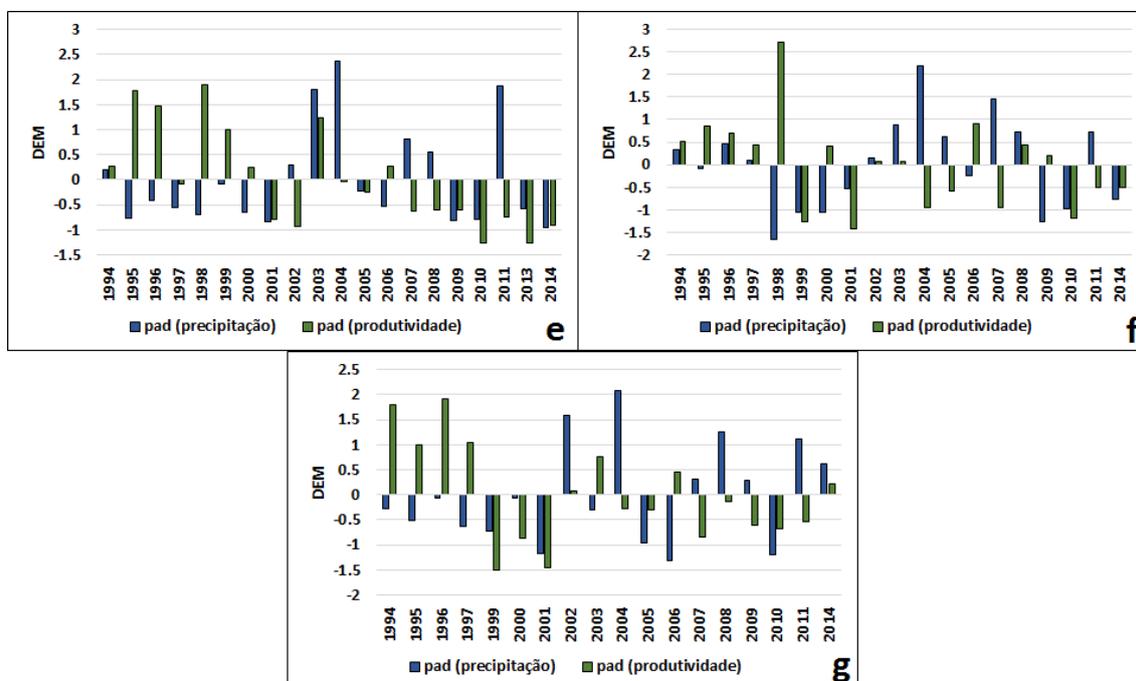
Outro aspecto importante a se destacar é com relação aos picos de desvios de precipitação e produtividade. No caso da precipitação, em alguns anos as anomalias chegam a mais de 2 pontos de desvio de erro médio positivos. O mais preponderante ocorre em 2004 para todos os municípios, propiciado pelo acumulado de janeiro daquele ano. Já com relação a produtividade, tivemos poucos picos com mais de 2 pontos como em Afogados da Ingazeira em 1994 E Floresta em 1999, mas o destaque fica por conta de Serra Talhada em 1998, onde em um ano de seca, obteve um altíssimo valor de DEM quase 3 vezes maior que a média padrão.

Figura 40: Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola do feijão em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d).



Fonte: Caio Diaz

Figura 41: Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola do feijão em São José do Belmonte (e), Serra Talhada (f) e Triunfo (g).



Fonte: Caio Diaz

Continuando com as anomalias de precipitação e desvios de produtividade de feijão, agora para os meses de abril, maio e junho, as características mudam um pouco. O

número de municípios com oposição majoritária (a maioria dos anos) entre os valores de precipitação e produtividade diminui, bem como a intensidade dessas oposições. Vemos aqui mais padrões entre as variáveis onde a produtividade acompanha os dados de anomalias pluviométricas.

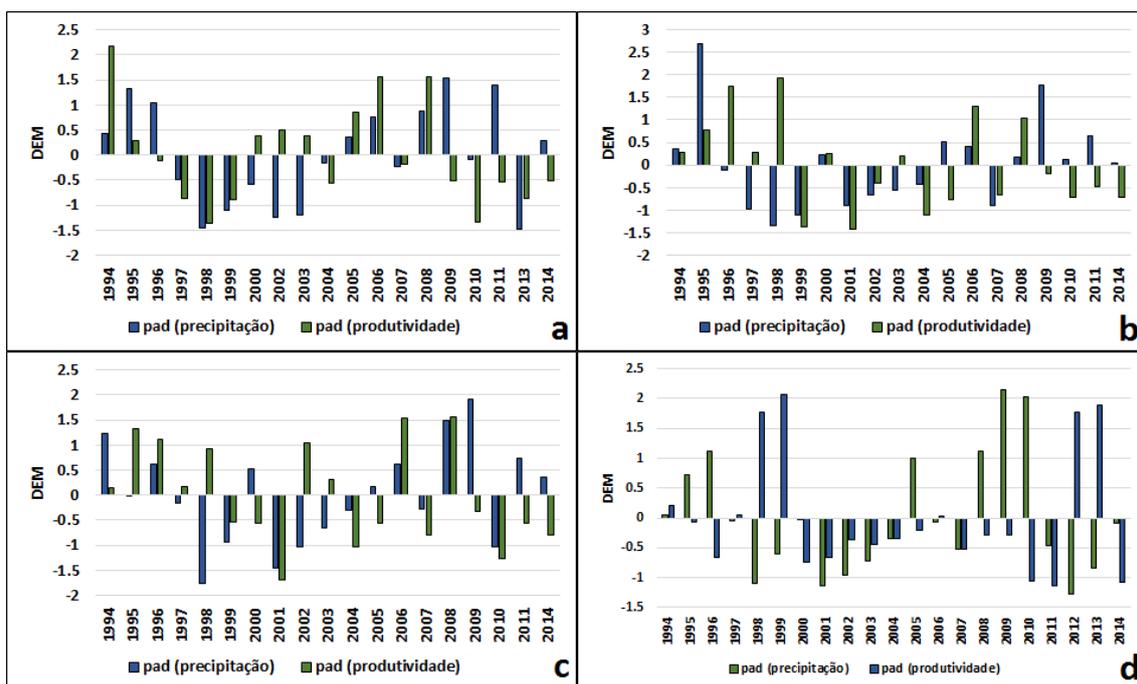
Nas figuras 42 e 43, percebe-se que alguns municípios possuem padrões negativos bem definidos. Em Afogados da Ingazeira, entre 1997 e 1999 apresentou chuvas e produtividade abaixo da média padrão, entrando em conformidade com cenário climático da época. O mesmo ocorre em Triunfo entre 1999 e 2002, com maior duração e menor clareza desse padrão negativo.

Serra Talhada apresenta um padrão positivo bem definido nos primeiros 4 anos da série, o pico de produtividade já citado em 1998 e uma série de anos com anomalias negativas de precipitação acompanhados de desvios de produtividade abaixo ou perto da média padrão. Floresta, que obteve o maior valor de correlação negativo do estudo, apresenta vários anos com anomalias abaixo da média e desvios de produtividade acima da média, entretanto, entre 2008 e 2010, houve o inverso, com precipitações trimestrais acima da média padrão e produtividade abaixo da média padrão.

Uma peculiaridade também em relação a Floresta encontrasse na comparação entre os anos de 1998/99 e 2012/13, anos esses de forte seca. Note que os desvios de produtividade são positivos e os maiores da série, enquanto que os desvios de precipitação estão abaixo da média com valores também semelhantes. Isso abre hipóteses: ou nessas épocas de seca, houve suporte de qualquer espécie para a produção de feijão no município, ou o feijoeiro, assim como outras espécies da família das fabáceas, necessita de uma quantidade específica e bem restrita de água para produzir bem. Neste sentido, determinado excedente de chuvas, pode acarretar problemas fisiológicos na planta, causando queda brusca de produção.

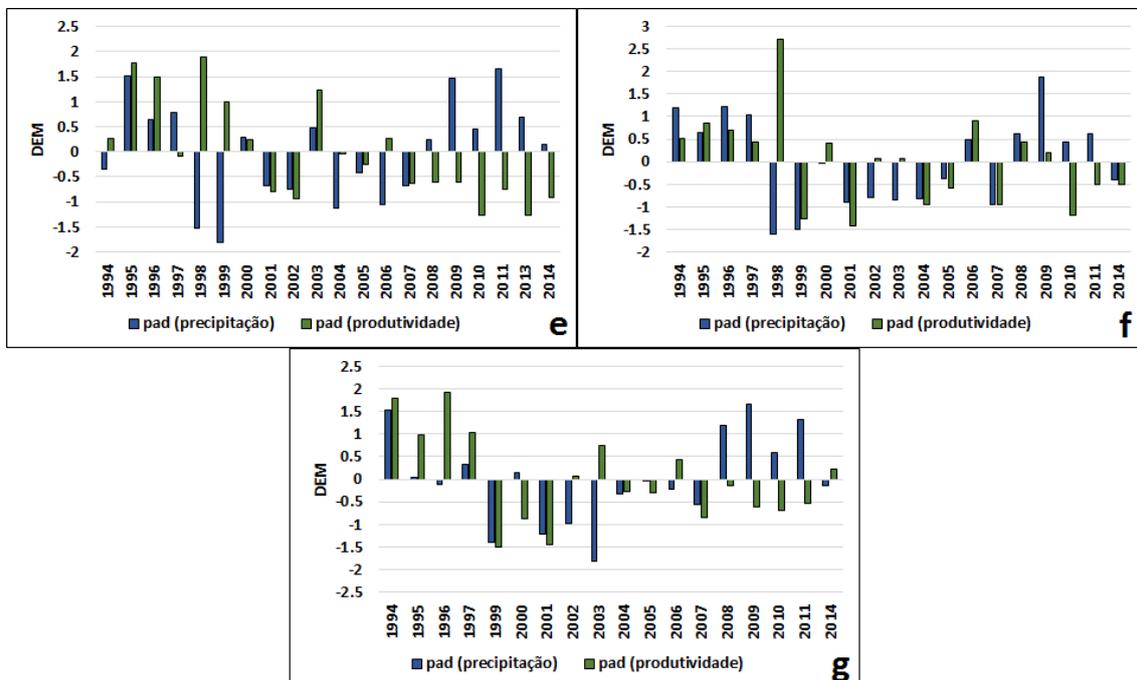
Isto, em todo caso é apenas um caso, que necessita de maior estudo, já que há anos, na série de Floresta, onde as anomalias de precipitação são negativas e os desvios de produtividade também o são. São José do Belmonte, também entre 1999/98, apresenta estas características. Infelizmente a ausência de dados de 2012 não permitiu, uma melhor comparação do caso, apesar de 2013 apontar indícios de características semelhantes encontradas em Floresta no mesmo ano.

Figura 42: Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (AMJ) e produtividade agrícola do feijão em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d).



Fonte: Caio Diaz

Figura 43: Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (AMJ) e produtividade agrícola do feijão em São José do Belmonte (e), Serra Talhada (f) e Triunfo (g).



Fonte: Caio Diaz

Os resultados entre as anomalias de precipitação para o período de janeiro a março e os desvios de produtividade da banana foi, dentre todas as análises, os que apresentaram

a melhor definição de padrões positivos e negativos de desvios de erro médio. Apesar da série temporal ser mais curta que as anteriores, não havendo resultados para os anos antes de 1998, os valores das duas variáveis se acompanham de forma a revelar intrínseca relação entre elas.

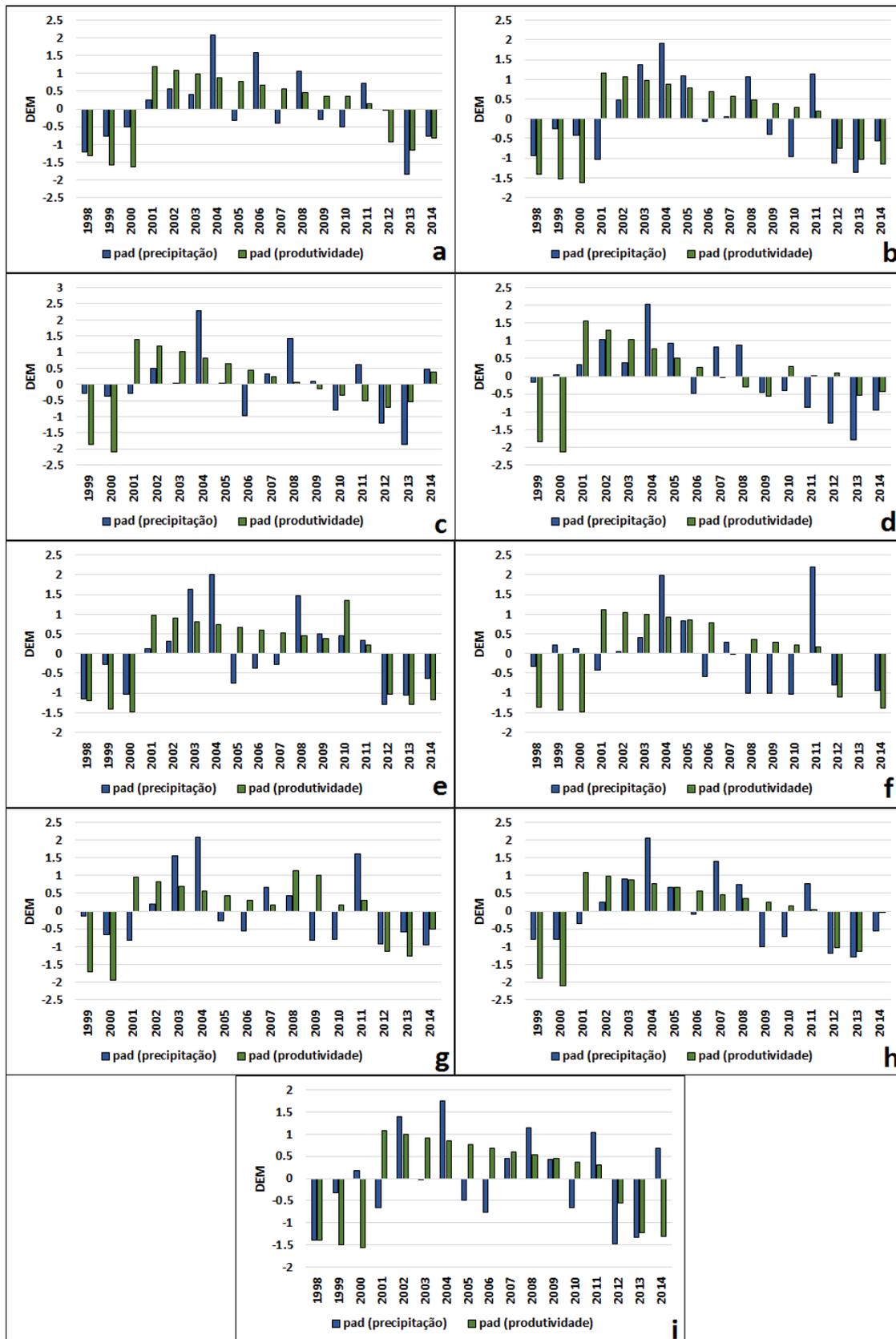
Os valores apresentados na figura 44 mostram 3 padrões distintos, onde assim como para a análise da mandioca, se intercalam tendo o único padrão positivo se manifestando entre dois padrões positivos. Esses padrões, em comparação ao das demais culturas, se definem exclusivamente pela variabilidade da produtividade agrícola, já que a precipitação para esta análise é a mesma utilizada para as demais (neste caso, para a mandioca).

O primeiro padrão iniciado em 1998/99 revela as anomalias de precipitação negativas acompanhadas dos desvios de produtividade agrícola da banana. Em Afogados da Ingazeira, nota-se que nos três primeiros anos a medida que as anomalias de precipitação se aproxima de 0, os desvios de produtividade aumentam. Similarmente, isto quase ocorre em Betânia. Em Mirandiba temos 3 anos com produtividade abaixo da média padrão, porém com 2 anomalias positivas e apenas uma negativa, todas muito próximas de 0. Nos demais municípios, ocorrem fenômenos semelhantes com pequenas variações.

O segundo padrão se inicia a partir de 2001, de caráter positivo e o mais longo da série. Nele observamos a queda gradativa dos desvios de produtividade, oriunda do ajuste da produtividade produzida pelo modelo de regressão. Essa queda gera valores próximos a 0, mas também no caso de Flores e Floresta gerou valores negativos de DEM para a produtividade. Já a precipitação nesse padrão se mantém com anomalias em sua maioria positivas. Apenas em Mirandiba, foi registrado valores de precipitação muito abaixo da média padrão. Outros municípios também registraram valores de anomalia abaixo da média, porém em menor intensidade.

O terceiro e último padrão de desvios de erro médio inicia-se em 2012 e assim como nas outras análises, exprime valores negativos, entretanto só adquire caráter definido porque os desvios em quase todos os casos mostram produtividade abaixo da média padrão acompanhada de anomalias negativas de precipitação. Este período de 2012 a 2014, portanto, tem atestado até agora um cenário calamitoso onde a precipitação muito abaixo da média mostrou influência negativa sobre a produtividade de todas as culturas que apresentaram esse padrão de forma razoável.

Figura 44: Anomalias padronizadas de precipitação trimestral (JFM) e produtividade agrícola da banana em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c) e Floresta (d), Itapetim (e), Mirandiba (f), São José do Belmonte (g), Serra Talhada (h) e Triunfo (i).



Fonte: Caio Diaz

Reunindo todas as análises sobre desvios do erro médio em uma discussão, Ferreira (2005) encontrou ideias semelhantes a despeito da relação entre as anomalias de precipitação e os desvios de produtividade, uma vez que para ela, ambas as variáveis são interdependentes, porém não é sempre que precipitações acima (abaixo) da média padrão vão resultar também em produtividades acima (abaixo) da média padrão.

Nos resultados de sua pesquisa, ela encontrou coincidências entre os sinais das variáveis em até 76% (Estado de São Paulo) para a produtividade do milho e 72% (Paraná) para a produtividade da soja. Para o milho na bacia do Pajeú, foram encontrados também os mesmos 76% em Serra Talhada, enquanto que em Afogados da Ingazeira 72% dos pares de valores estavam com o mesmo sinal.

Comparando esses valores máximos obtidos por Ferreira com os da produtividade de banana, o resultado vai mais além. Em Itapetim encontrou-se coincidência nos sinais dos pares em 82% dos casos, enquanto que novamente em Serra Talhada, registrou-se 75%. Já em relação a análise para o feijão, o valor mais expressivo ficou por conta de Afogados da Ingazeira, com 66,6% dos pares coincidentes e o valor mais inexpressivo foi de São Joaquim do Belmonte com 42,8% dos pares coincidentes. No trabalho de Ferreira, o valor mais baixo de toda a análise foi encontrado em Minas Gerais com 21% dos anos coincidentes.

Vê-se que, de forma comparativa, há uma similaridade entre os dados dos dois trabalhos, com algumas disparidades sendo que no melhor dos casos, os dados da análise para a bacia do Pajeú encontraram melhores patamares, enquanto que no pior dos resultados, os valores registrados para o Pajeú ainda são melhores do que os valores encontrados para o Sul e Sudeste. Há de se ressaltar, porém, na diferença de escala espacial e temporal dos dois trabalhos, onde um se vê em escala pluri-regional com mais de 30 anos de série, enquanto que o outro se vê em escala hidro-regional (como rio tributário) com séries temporais que variam de 16 a 21 anos.

A região Nordeste em sua porção semiárida é frequentemente atingida por secas anuais e por chuvas torrenciais em um curto período de tempo. Essas características dão forma ao tipo climático habitual da região. Entretanto, ocorre de tempos em tempos, secas interanuais que fazem com que o curto período chuvoso fique menos intenso e volumoso. Vários estudos, já citados atribuem essas secas de grandes proporções aos fenômenos El Niño do Pacífico e ao dipolo positivo do Atlântico Norte. Com menos impacto e com efeitos inversos, os fenômenos La Niña e o dipolo negativo do Atlântico Norte também insurgem na região. As análises, portanto, dos efeitos das ondulações barométricas e

térmicas destes dois oceanos nas precipitações mensais na bacia do rio Pajeú serão discutidas regionalmente aqui.

Um dos fenômenos que ocorrem junto ao aumento/diminuição da temperatura das águas superficiais do Oceano Pacífico é o aumento/diminuição da pressão atmosférica proveniente da ascendência/descendência do ar sobre o oceano, vinculado ao deslocamento horizontal da célula de Walker. O índice de Oscilação Sul, usado para medir a pressão atmosférica no Pacífico foi correlacionado com a precipitação mensal da bacia do Rio Pajeú e os resultados podem ser observados na figura 45.

Em decorrência da distância entre a ocorrência dos fenômenos no Pacífico e no Nordeste, muitas pesquisas recomendam que seja feita a correlação com um atraso entre as variáveis. Assim o atraso utilizado foi de 3 meses, ou seja, a manifestação do fenômeno em um dado momento e local iria acarretar em consequências em outro no Nordeste, 3 meses depois. Como pode ser observado no mapa, então, existe uma relação estatística bem evidente entre os dados de IOS e a precipitação mensal no setor Nordeste da bacia onde se localiza o alto Pajeú.

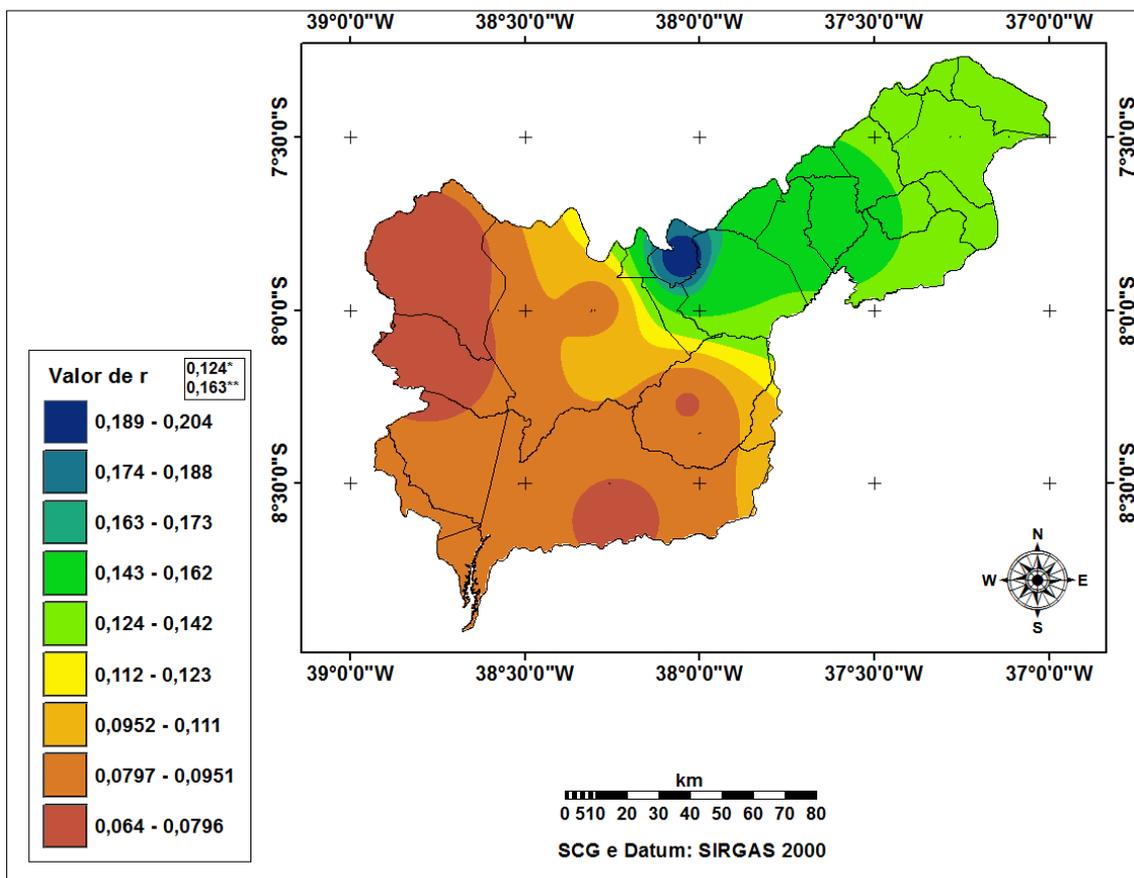
Percebe-se ainda, que a maior correlação encontrada foi em Triunfo, município com maior pluviometria anual e histórica. Teoricamente, se observaria os maiores impactos na precipitação deste município do que nos demais por conta de seus patamares pluviométricos e do caráter úmido da região em que se encontra. Uma área de brejo com muita umidade, sobretudo no período chuvoso tende a perder ou ganhar, em maior proporção, umidade e incidência de nuvens proveniente dessas anomalias do que a depressão sertaneja e os vales fluviais. Supõe-se, assim, que sistemas atmosféricos como a ZCIT e as linhas de instabilidade associadas a baixa da ZCIT, bem como a formação de nuvens orográficas sobre os brejos de altitude localizados ao Norte da bacia (pois há brejos ao sul situados em maciços) parecem ser influenciados indiretamente pelas variações barométricas do Oceano Pacífico.

É notório ainda que quanto mais a Oeste e ao Sul, menor é a correlação entre a precipitação e IOS a exemplo dos municípios de São José do Belmonte, Mirandiba e Floresta. Neste sentido, a formação e deslocamento de sistemas sobre essa região tais como VCANs e frentes de nuvens parece independer de qualquer variação barométrica conduzida pelas águas superficiais do Pacífico.

A hipótese que pode ser lançada para explicar tal diferença de correlação entre o Nordeste do Pajeú e as outras regiões, portanto, estaria assentada no fato de que sistemas atmosféricos que tem sua maior ocorrência e provocam mais chuva no Norte da bacia,

são mais influenciados por fenômenos provedores de instabilidade ou de bloqueios atmosféricos, fenômenos estes que tem sua gênese proveniente das variações barométricas do Oceano Pacífico.

Figura 45: Correlação entre os dados de IOS (atraso de 3 meses) e a precipitação mensal sobre a bacia do Rio Pajeú.



Fonte: Caio Diaz

A região do Niño 3, através de vários trabalhos, parece ser a região de aquecimento do Pacífico que afeta com maior grau, o clima na região Nordeste, sobretudo as precipitações. A região da bacia do Pajeú com certeza, não parece ser uma exceção a essa regra. Dentre todos os testes estatísticos feitos com correlação nesta pesquisa, nenhum obteve resultado tão contundente a despeito da aceitação da hipótese aqui estabelecida: a de que existe forte relações entre o aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico, em especial na região do Niño 3, com a pluviometria na bacia do rio Pajeú.

Na figura 46, percebe-se claramente como o mapa da bacia é inteiramente preenchido com valores de correlação com alta significância, sendo que os locais mais

bem correlacionados têm potencial para obter relação estatística de com significância estatística acima de 99%. Podemos assim já propor com esses resultados que o Niño 3 tem forte influência sobre a precipitação mensal. Vale ressaltar que os valores mostrados na legenda do mapa são negativos, pois quanto maior (menor) o aquecimento das águas do Oceano Pacífico nesta região, menor (maior) serão os acumulados pluviométricos mensais.

Isto reflete a importância, também das variações de temperatura superficial do Niño 3 sobre a produtividade já que anos muito secos como 1997/98 e muito chuvosos como 2004/2011 obtiveram, respectivamente temperaturas mensais consecutivas altas e baixas e estes anos em especial, foram preponderantes para a produtividade agrícola na bacia, sobretudo as de mandioca, milho e banana de modo a impactá-las negativa ou positivamente. O ano de 2012 foi atingido por uma fraca La Niña e no ano de 2013 não foi configurado nenhum evento negativo ou positivo de ATSM do Pacífico, mesmo assim foram anos muito secos no Sertão.

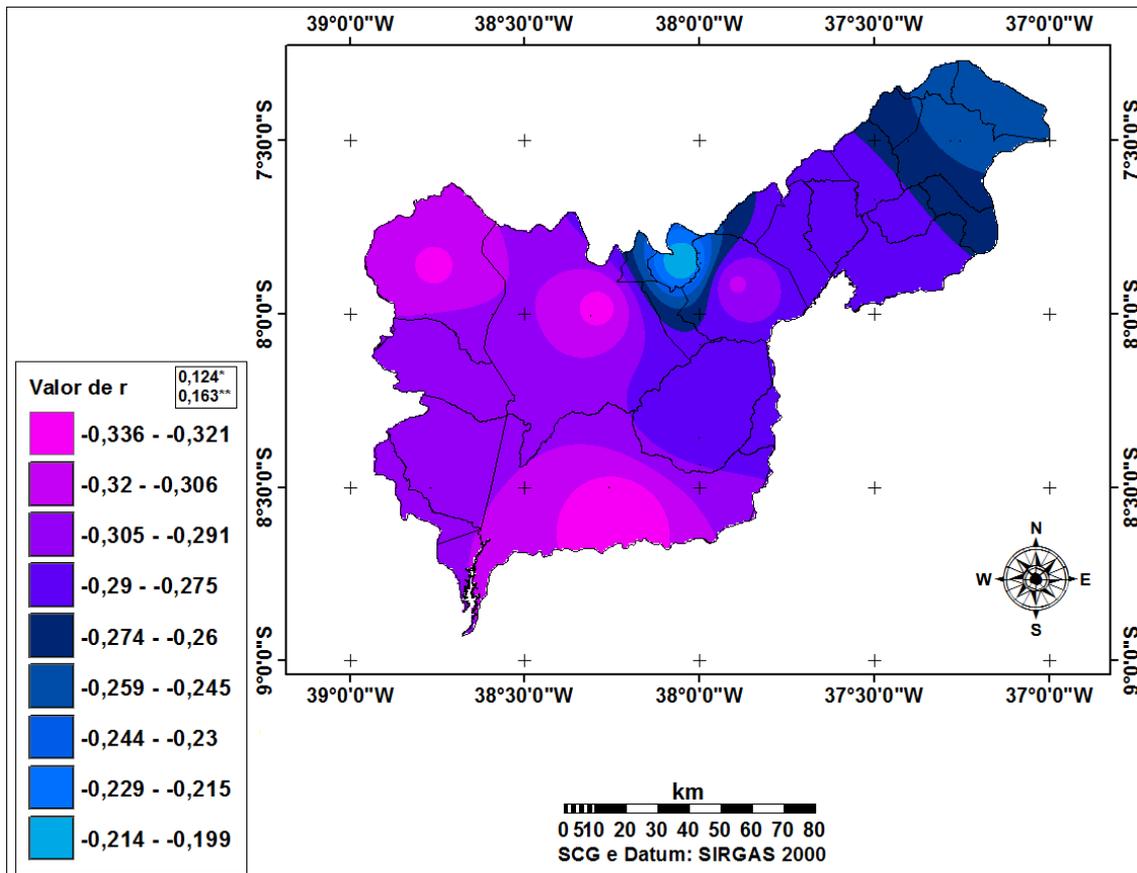
Assim como no Índice de Oscilação Sul, o teste estatístico sobre o Niño 3 foi aplicado com 3 meses de atraso, implicando que os efeitos das ATSM no Niño 3 manifestam-se sobre a bacia 3 meses depois de sua gênese. Neste aspecto, a região mais afetada, diferentemente dos resultados expostos para IOS ocorre nos setores meridional, central e ocidental da bacia.

Pressupõe-se com isso que os VCANs sejam mais diretamente afetados pela movimentação descendente/ascendente da célula de Walker do que propriamente a ZCIT. Hipoteticamente movimentos de descendência de ventos podem dificultar a movimentação circulatória em alto níveis, enquanto que movimentos ascendentes da célula além de servirem de força motriz para a circulação horária em altos níveis, ainda dariam volume a nuvens ao setor oeste-noroeste dos VCANs que é a área com mais nuvens de chuva do sistema.

Em contrapartida, o Alto Pajeú que é mais propício a influência da ZCIT possui as menores correlações, mas ainda assim com alta significância estatística. Neste sentido ao invés de dificultar a formação de um sistema, a intensificação de um El Niño (La Niña) inibe (viabiliza) o deslocamento da ZCIT mais ao sul, formando uma área de alta pressão (baixa pressão) sobre a área da bacia. Talvez as correlações ao Norte do Pajeú sejam menores justamente porque é mais impactante em termos lógicos um fenômeno impedir ou viabilizar a formação do que o deslocamento de um sistema atmosférico, ou seja, épocas de El Niño ou La Niña intensos ou muito intensos podem ser relevantes para a

existência, ou pelo menos para a carga de umidade de VCANs (já que existem VCANs secos), enquanto que a existência da ZCIT parece independer da posição da célula de Walker e seus movimentos de ascendência e descendência de ventos.

Figura 46: Correlação entre os dados de temperatura do Niño 3 (atraso de 3 meses) e a precipitação mensal sobre a bacia do Rio Pajeú.



Fonte: Caio Diaz

A variabilidade da precipitação na bacia do Pajeú não está à mercê apenas de anomalias de temperaturas situadas no Pacífico, mas tem sua dinâmica alterada também por anomalias de temperatura nas águas superficiais do Atlântico tropical. Diferentemente de anomalias de pressão e temperatura que ocorrem no Pacífico, no Oceano Atlântico, os efeitos em sistemas atmosféricos são mais imediatos, podendo ocorrer no mesmo mês. Por isso os dados de ATSM do Atlântico tropical foram cruzados sem atraso com a precipitação.

E de maneira plausível, as ATSM do Atlântico, através do fenômeno dipolo do Atlântico tropical, ao serem correlacionadas com a precipitação, mostraram resultados que condizem com a realidade sinótica. A figura 47, mostra claramente que há relação

estatisticamente significativa na porção Norte e Nordeste da bacia, com o município de Betânia representando a porção mais ao Sul desta correlação.

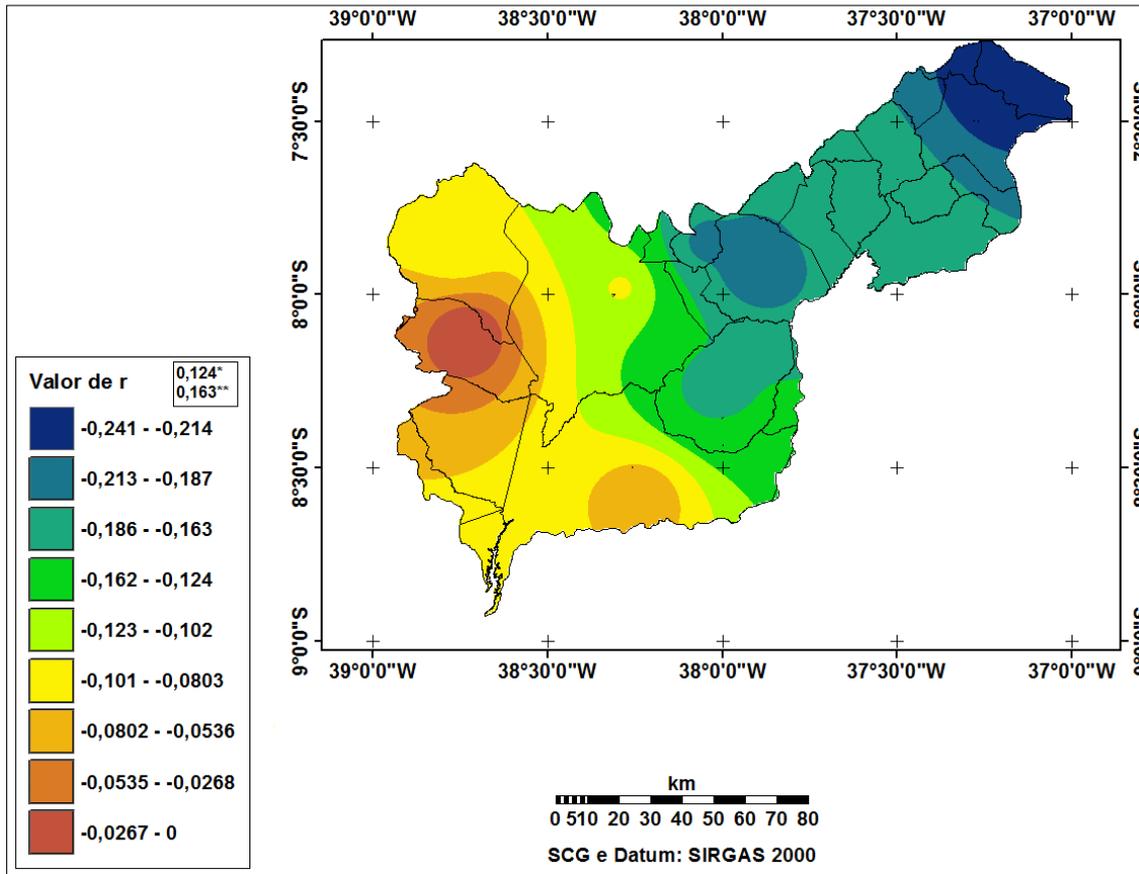
Neste sentido, o dipolo do Atlântico atua como um fenômeno capaz de mudar a posição latitudinal da ZCIT, que por sua vez, provém chuvas para a porção Norte da bacia. As atividades agrícolas nesta região do Pajeú, portanto, depende diretamente das chuvas deste sistema e em menor grau de linhas de instabilidade e nuvens carregadas isoladas. Isto configura o dipolo do Atlântico como um fenômeno importante, pois quando ele se encontra em sua fase negativa para o Atlântico tropical Norte, provoca deslocamento das bandas principal e secundária da ZCIT, em menor ou maior grau, para latitudes mais ao Sul, enquanto que em fase de dipolo positivo para o Atlântico Norte, ocorre o inverso e mesmo em período de chuvas, a ZCIT tem dificuldades em atingir porções abaixo da latitude 5°S (UVO, 1989), causando secas prolongadas justamente na área onde houve correlação significativa.

Lembrando que os valores de correlação para o dipolo seguem a mesma regra lógica dos valores do Niño 3, ou seja, a correlação negativa implica que dipolo negativo provoca um valor negativo entre as temperaturas do Atlântico Norte e Sul, causando maiores acumulados mensais de chuva na bacia, enquanto que o dipolo positivo provoca valores positivos culminando em menores acumulados de chuva mensal, ou seja, trata-se de uma relação inversamente proporcional entre as variáveis.

Percebe-se então, que o mapa mostra com auxílio da legenda, que a área correlacionada tem alta significância estatística, tendo Itapetim, o município mais ao Norte da bacia, o maior valor de correlação. Logo, as variações do dipolo pressupõem maior influência sobre a precipitação mensal a medida que se segue ao Norte e Leste. Em contrapartida, a medida que se segue ao Sul e a Oeste, portanto, mais distante do mar, há menor influência das variações de temperatura do mar no Atlântico tropical sobre a precipitação mensal.

Levando para o campo da discussão, percebe-se que os resultados propostos para as 3 análises entram em acordo com pesquisas feitas anteriormente. Galvani, Pereira e Klosowski (1998) também obtiveram êxito adotando o atraso de 3 meses para a análises comparativas entre IOS e as precipitações em Maringá. Ferreira (2005) usou o IOS em sua dissertação como agente causador de variabilidade na precipitação e da produtividade agrícola e constatou-se em sua pesquisa, forte significância estatística entre os eventos de ENOS e a precipitação, bem como tais eventos na maioria dos anos coincidiu com quedas e superávits de produção agrícola em Estados do Sul e Sudeste.

Figura 47: Correlação entre os dados do dipolo do Atlântico tropical e a precipitação mensal sobre a bacia do Rio Pajeú.



Fonte: Caio Diaz

Quanto a variação de temperatura das águas superficiais no Pacífico, Veiga, Mendes e Yoshida (2000) acharam relações entre as ATSM de todos os setores do Pacífico com a porção setentrional da Amazônia, principalmente a região do Niño 1+2. Este resultado é interessante, pois essa região do Pacífico se localiza na porção Oeste do oceano e é o setor que mais influencia a Amazônia, que fica também a Oeste da região Nordeste, logo, de modo comparativo regiões específicas do Pacífico onde ocorre o El Niño, influenciam regiões específicas no Norte e Nordeste do Brasil.

Finalmente com relação ao dipolo, Uvo (1989) e Uvo *et al.* (1998) ao constatarem relações entre a TSM do Atlântico tropical e as chuvas no Norte do NEB, acabam por embasar os resultados aqui propostos, onde correlações estatísticas são encontradas na região setentrional e oriental da bacia. Alves *et al.* (2004), por sua vez, afirmam que não existe relação direta entre o gradiente meridional do Atlântico e as precipitações no NEB, entrando em total conflito com as constatações desta pesquisa. Aragão (1998) obteve as

mesmas constatações encontradas aqui quando lança a ideia de que as ATSM do Atlântico parecem impactar de forma mais incisiva o Norte do NEB do que as ATSM do Pacífico.

4.4 Potencial de previsibilidade para a produtividade da mandioca

O potencial de previsibilidade para a cultura da mandioca com base no trimestre chuvoso mais bem correlacionado, foi efetuado como estudo de caso separando a série de 21 anos de estudo em duas séries, uma de 11 anos e uma de 10 anos. O modelo de regressão foi então, aplicado a primeira série e o resultado foi comparado com a segunda série através da raiz do erro médio quadrático, erro médio absoluto, tendência utilizando a soma dos erros médio e as correlações.

O modelo adotado para esta análise foi importante, pois mostrou como a produtividade da mandioca se comportaria se a mesma estivesse totalmente em função da variabilidade trimestral da precipitação. O resultado do modelo é mostrado na Figura 48, com a série de produtividade estimada pelo modelo e a produtividade observada de 7 municípios entre os anos de 2005 a 2014.

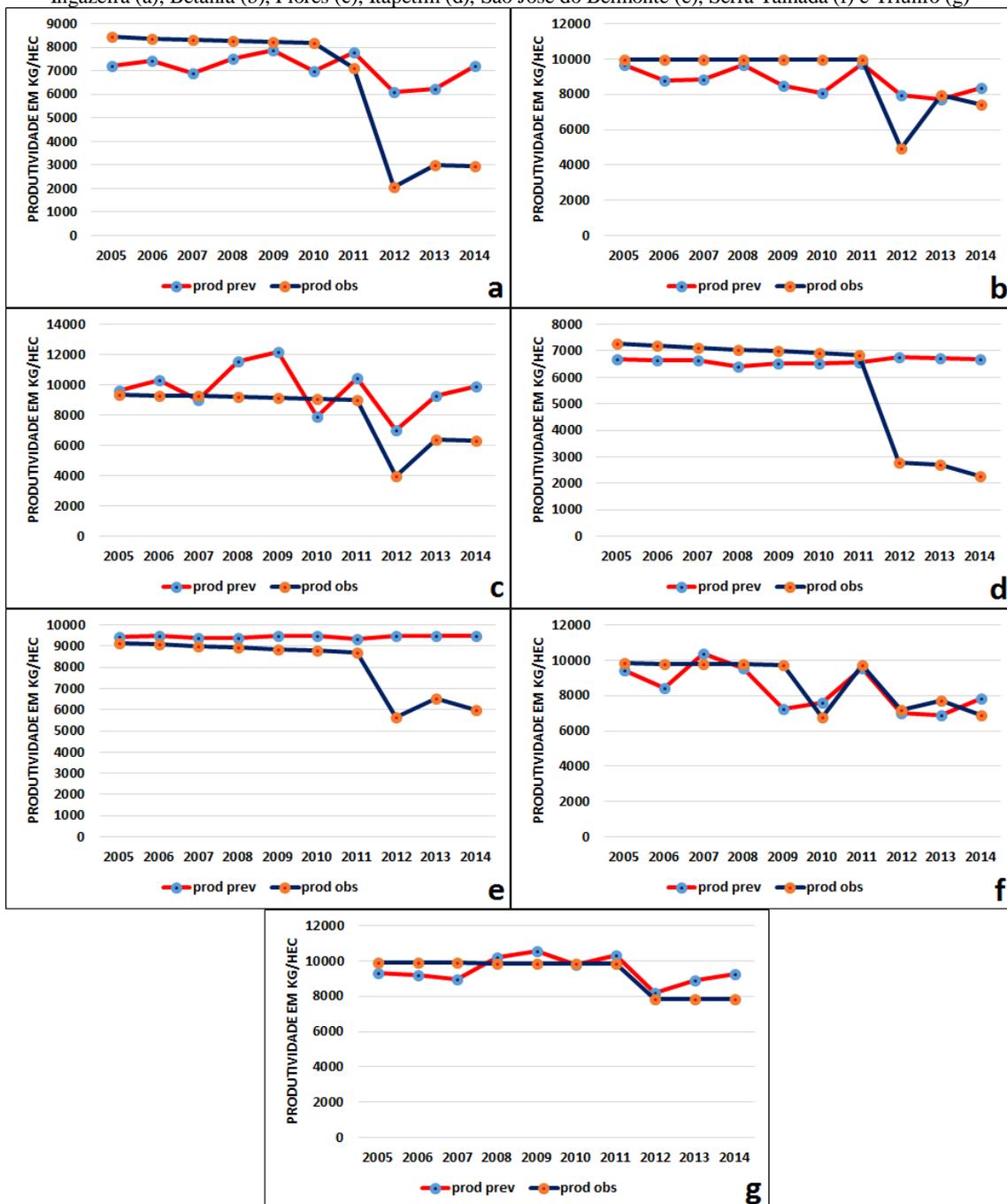
Constata-se que as estimativas, de uma maneira geral tendem a ter valores mais estáveis que os valores observados de produtividade. No final da série, quando a produtividade observada cai drasticamente na maioria dos municípios, a produtividade estimada se mantém com valores equivalentes ao dos anos anteriores. Mesmo em municípios como Afogados da Ingazeira, Flores e Itapetim, que obtiveram totais pluviométricos abaixo de 100mm em 2012 e 2013, apresentaram estimativas acima dos valores observados.

Já outros municípios com pluviometria trimestral abaixo da média nesses dois anos, como Serra Talhada, Triunfo e Betânia, mostraram maior instabilidade e patamares estimados equivalentes, alguns abaixo, dos valores de produtividade observada. Em Betânia por exemplo, em 2013 choveu 62mm entre janeiro e março e a estimativa de produtividade com base nesse dado foi de 7740 kg/hectare contra 7938 kg/hectare da produtividade observada.

O mesmo caso ocorre em Serra Talhada no mesmo ano, onde choveu 131mm entre janeiro e março, estimou-se 6897 kg/hectare de produtividade contra 7691 kg/hectare de produtividade observada, ou seja, 10,4% a menos que a produtividade original. No primeiro caso em que o valor estimado está bem acima do observado é uma constatação a se questionar, pois em casos que a precipitação mal chega a 50mm, as estimativas em

cima disso serem maiores que a observação não parece condizer bem com a realidade, portanto, neste caso o modelo apresenta uma falha, entretanto nos exemplos inversos, o modelo de estimativa parece obter êxito em seus resultados. Infelizmente, a pesquisa de Ferreira (2005), que dá base a esta, não expôs os dados encontrados por ela a partir desta ótica. Por isto, não há como discutir uma analogia entre os resultados encontrados nos dois trabalhos.

Figura 48: dados de produtividade estimada com base na precipitação e observada de mandioca em Afogados da Ingazeira (a), Betânia (b), Flores (c), Itapetim (d), São José do Belmonte (e), Serra Talhada (f) e Triunfo (g)



Fonte: Caio Diaz

A raiz do erro médio quadrático (REMQ) e o erro médio absoluto (EMA) são ferramentas importantes para se mensurar o grau de erro entre dados estimados e originais (observados) de uma mesma variável. Geralmente por sua própria natureza estatística, a REMQ apresenta valor maior que a EMA como é observado nos resultados de Pereira et al. (2008) e Cunha e Martins (2004), entretanto há casos em que os valores das duas estatísticas ficam muito próximo. Este acontecimento indica que os valores estimados acompanham quase que paralelamente os valores originais e quando os valores das estatísticas estão distantes uma da outra indica o contrário, ou seja, não há um acompanhamento entre os valores

A Figura 49 mostra um gráfico com os valores de REMQ e EMA para a produtividade de mandioca nos sete municípios em estudo. Os menores valores de erro indicam maior aproximação e precisão da produtividade estimada com relação aos valores de produtividade originais. Dentre estes, destacam-se Betânia, Serra Talhada e Triunfo que além dos baixos valores de erro, também apresentam maior aproximação entre si, indicando com veemência que o modelo foi mais preciso para a produtividade destes municípios.

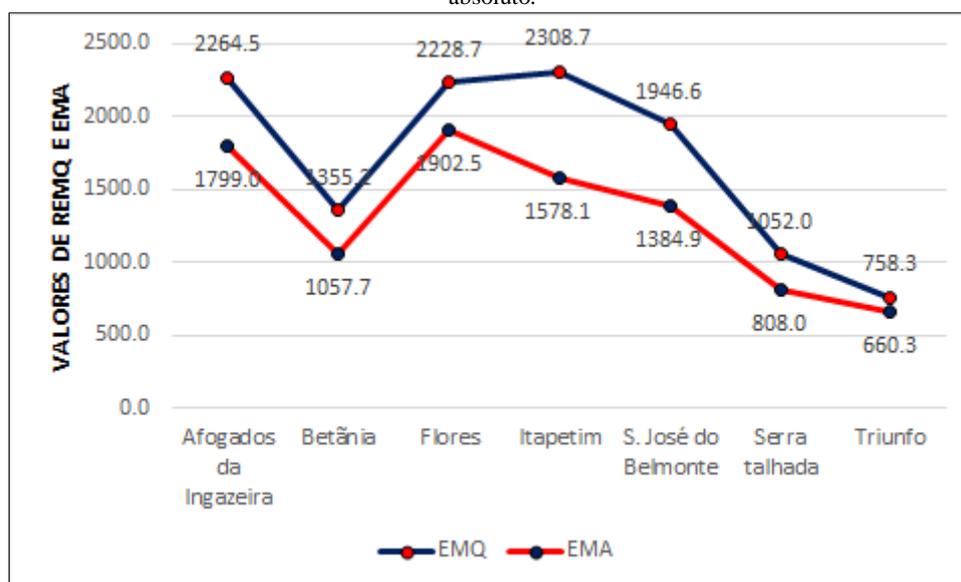
Triunfo, em especial, obteve erro abaixo de 800 kg/hec, sendo que a diferença entre REMQ e EMA foi de apenas 98 kg/hec ou 13%. O grau dos erros para Triunfo, de certa maneira ainda é alto considerando o valor médio original da produtividade da mandioca, porém é inegavelmente menor e com precisão melhor que nos demais municípios. A exemplo de oposição, temos São José do Belmonte e Itapetim. No primeiro, temos grande diferença e altos valores de erro médio quadrático e absoluto, anunciando emparelhamento pouco aparente e menor proximidade entre os valores estimados e originais. Itapetim vai além com diferença entre REMQ e EMA ainda maior e valores absolutos maiores que em São José do Belmonte. A diferença entre os erros quadrático e absoluto e Itapetim chegou a quase 32%.

Estes valores indicam menor precisão do modelo para estimar a produtividade da mandioca nestes municípios, porém é preciso destacar a evidente causa para a discrepância desses valores, calcada nos 3 últimos anos da série onde a diferença entre a produtividade estimada e observada cresceu com a manutenção das estimativas e queda da produtividade nos últimos anos. Se não fosse por isso e o modelo tivesse estimado

forte queda junto aos valores originais, os resultados para REMQ e EMA provavelmente teriam sido bem menores e próximos.

Ferreira (2005), trabalhando com este tipo de método para a soja no Rio Grande do Sul, porém variando o número de amostras, obteve erros bem menores, porém com uma grande diferenciação entre os valores desses erros. Com $n=10$ o valor de REMQ pairava entre 50 e 100 kg/hec, enquanto que o EMA estava próximo dos 300 kg/hec. A diferença entre as duas estatísticas no trabalho da autora reflete o porquê da correlação também a $n=10$ estar abaixo de 0,200, apesar dos valores absolutos serem bem baixos.

Figura 49: precisão da previsão de produtividade da mandioca utilizando raiz do erro médio quadrático e erro médio absoluto.



Fonte: Caio Diaz

A análise de tendência da produtividade da mandioca nada mais é que um somatório dos erros médios com o propósito de se estabelecer um prognóstico futuro para a produtividade com base no comportamento produtivo de anos anteriores. Essa tendência, dependendo do comportamento da produtividade em cada município pode ser negativa ou positiva ou ainda pode nem haver uma tendência efetiva. Esta análise, porém, diz respeito a tendência estabelecida sob os aspectos da produtividade estimada pelo modelo de regressão em relação com a produtividade original.

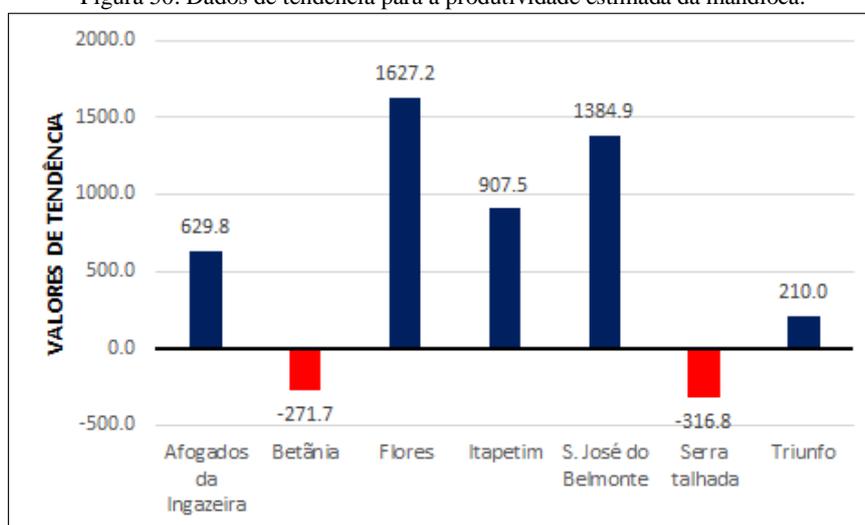
A Figura 50 mostra o nível de tendência de produtividade estimada de mandioca para os 7 municípios em estudo. Houve 5 municípios manifestando possibilidade de ascendência na produtividade em anos futuros, ou seja, tendência positiva e apenas 2

municípios apresentando possibilidade de queda de rendimento agrícola em anos futuros, ou seja, tendência negativa.

O caso mais proeminente de tendência positiva foi para Flores com ascendência maior que 1600 kg/hec, enquanto que a maior tendência negativa ficou por conta de Serra Talhada com -316 kg/hec. Esse resultado entra de encontro com o que ocorre com os dados originais, uma vez que os últimos 3 anos de produtividade original da série, deslocariam a linha de tendência para a maioria dos municípios para baixo. Isso mostra como o caráter mais estável das estimativas revela resultados dispares em relação a produtividade original, mas também é um indício de que a precipitação como fator que determina prognóstico da produtividade pode revelar um cenário diferenciado em relação a realidade.

A maioria dos municípios apresentou, portanto, tendência de produtividade positiva, indicando que as precipitações do trimestre mais bem correlacionado como variável determinante, apontam majoritariamente para a ascendência no rendimento agrícola da mandioca. No caso do trabalho de Ferreira (2005), observou-se o mesmo resultado para a soja no Estado de RS com 10 anos de prognóstico, ou seja, tendência positiva. Entretanto, a medida que o número de anos estimados (número da amostra) era aumentado, essa tendência diminuía, se tornava negativa e assim se mantinha. Acontece, no entanto, que a autora constatou aumento na imprecisão da estimativa a medida que os anos eram aumentados, portanto, há uma possibilidade de que no Pajeú o mesmo fenômeno estatístico ocorresse. Infelizmente nos moldes atuais no que concerne a disponibilidade de dados, a constatação desta afirmação ainda é inviável a nível municipal.

Figura 50: Dados de tendência para a produtividade estimada da mandioca.



Fonte: Caio Diaz

Com os dados de correlação, foi possível na análise identificar em quais municípios a produtividade estimada tinha relação estatística com a produtividade original. Desta forma seria possível concluir uma série de constatações a despeito do nível de qualidade das previsões efetuadas pelo modelo de regressão adotado. Os resultados encontrados atingiram até certo ponto as expectativas, porém não estão isentos de críticas.

Na Figura 51, observamos boas correlações onde dos 7 grupos de amostras, 4 ultrapassaram o valor crítico (representado pela linha vermelha para + e para -). Mesmo os municípios que não atingiram o valor crítico, apresentou boas correlações. 5 grupos de amostras obtiveram correlações positivas, enquanto 2 atingiram correlações negativas. Sobre essas últimas, raciocina-se que a produtividade estimada se orientou de forma contrária a produtividade original, ou seja, quando uma tendeu a ser positiva, a outra tendeu a ser negativa.

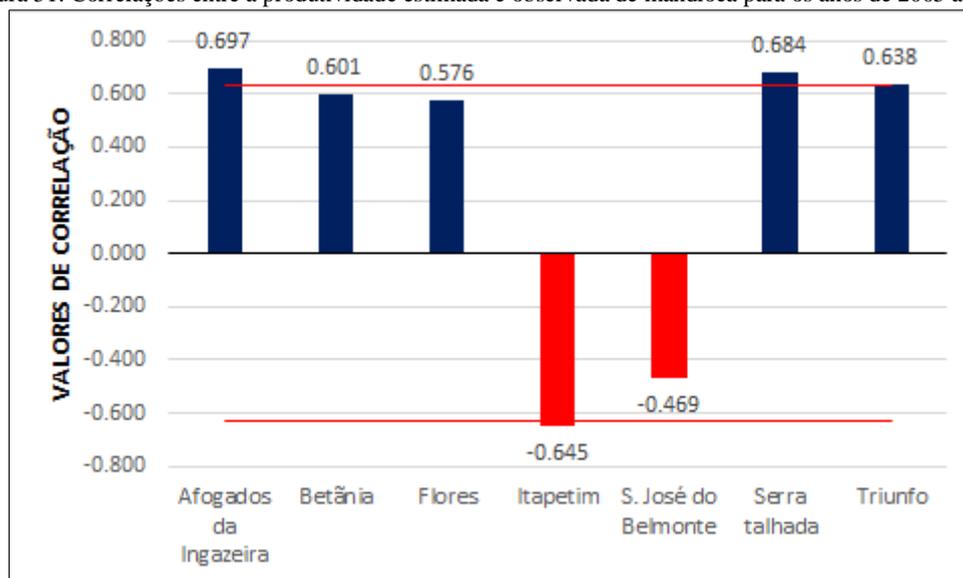
Leva-se em consideração que as correlações positivas indicam características de comportamento similares entre a produtividade estimada e observada, principalmente nos municípios que atingiram o valor crítico, entretanto isso não é bem verdade. De fato, nos casos de Betânia, Serra Talhada e Triunfo, as estimativas estiveram bem próximas das observações, entretanto isto não ocorre em Afogados da Ingazeira e em menor grau, em Flores. O triênio final da série foi substancialmente relevante para abaixar o valor da correlação, mas não o bastante para fazer com que Afogados da Ingazeira não apresentasse o maior valor de correlação da análise. Mesmo Triunfo aparentando possuir melhores relações entre as estimativas e as observações, obteve somente o 4º melhor valor de correlação.

Acontece que o coeficiente de correlação pode indicar também se os pares de dados estão em consonância, mesmo que tais pares representem dados de mesma natureza, porém com disparidade entre os valores absolutos. Isto quer dizer que com a oscilação mútua de valores entre os pares, o valor do coeficiente aumenta e se torna alto. Se o valor dos pares oscilarem, sem haver acréscimo de diferença nos pares seguintes, na mesma orientação ou em orientações contrárias (relação negativa), o coeficiente “linear” tende a aumentar. Foi o que fez Afogados da Ingazeira e Serra Talhada obterem as maiores correlações da análise, mesmo que os valores de Triunfo estivessem mais próximos.

Regionalmente falando, não existe uma lógica por trás dos valores de correlação. Flores, Afogados e Triunfo são municípios limítrofes que apresentaram valores distintos. O mesmo ocorre entre São José do Belmonte e Serra Talhada. Mesmo assim em se tratando da relevância deste resultado para o modelo, pode-se dizer que tais valores de

correlação geraram um ponto de positividade para o modelo de previsão empírica para a produtividade da mandioca. Em outras palavras, os valores estimados de produtividade da mandioca apresentam, no geral, boa relação com os valores observados. Este resultado, portanto, acaba sendo validado pela assertiva de Ferreira (2005) quando ela indaga que o modelo adotado é válido para se gerar previsões de até 11 anos, fato constatado e corroborado nesta pesquisa.

Figura 51: Correlações entre a produtividade estimada e observada de mandioca para os anos de 2005 a 2014.



Fonte: Caio Diaz

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do Pajeú apresenta marcante variabilidade pluviométrica em escala anual, sazonal (períodos seco e chuvoso) e trimestral. Os resultados da análise mostraram que a regionalização das chuvas na bacia não é tão óbvia, resumida a altos índices nos brejos de altitude e baixos índices na depressão sertaneja e do Vale do São Francisco. Percebeu-se diferenças visíveis nos acumulados trimestrais de município para município, ora uns obtendo maior concentração de chuvas no ano, ora outros obtendo maior distribuição ao longo do ano. Em escala sazonal e trimestral, os municípios mais chuvosos e mais setentrionais mostraram maior concentração de chuvas que os municípios menos chuvosos e meridionais relacionando os períodos seco e chuvoso, característica atribuída ao deslocamento da ZCIT.

A análise estatística utilizando o DEM mostrou que tanto em escala mensal como sazonal (períodos seco e chuvoso) as precipitações no Pajeú oscilaram 4 vezes de 1992 a 2014 com duas fases negativas (abaixo da média) e duas fases positivas (acima da média) e intercaladas de precipitação. Esse tipo de comportamento pressupõe que seja algo normal e levou a conclusão de que essa variabilidade no tempo se mostra, apesar de oscilatória, bem equilibrada e que tal equilíbrio pode ser proporcionado por anomalias climáticas tais como o ENOS que ajudou a intensificar a primeira fase negativa e parte da segunda fase positiva de chuvas da série.

As lavouras de mandioca, milho e feijão, apresentaram evidente oscilação quanto a suas áreas plantada, colhida e quantidade produzida. A lavoura de milho na bacia do Pajeú apresentou-se como a mais susceptível a quebras de safra que as demais e a lavoura de mandioca apresentou notável descendência na maioria dos municípios. A produção de banana é diferenciada em relação as outras e manifestou diferentes patamares, com aumento vertiginoso dos dados agrícolas após o ano 2000, proporcionado pela aplicação de insumos financeiros e implementação de tecnologias nas lavouras de banana, bem como melhorias na captação dos recursos hídricos de cunho fluvial, mas mesmo assim apresentou quedas após 2011.

Já com relação a ANOVA constatou-se que as lavouras de mandioca, feijão e banana produzem em vários patamares, apresentando médias de produtividade bem diferentes umas das outras à exceção do milho. Conclui-se com isso que, à exceção da lavoura de banana, todas as outras encontram-se em estado de incerteza, face a forte instabilidade produtiva proporcionada por vários fatores, entre eles o clima. Dependendo

da lavoura, há municípios que produzem bem mais que outros devido ao seu contexto histórico, ou mesmo às condições físicas de suas regiões. Mesmo as lavouras de banana tendo produção irrigada, há uma diferença com relação a relevância da cultura entre os municípios, o que explica as diferenças de médias de produtividade. O mesmo ocorre com o feijão e mandioca, porém em menor escala.

O modelo de regressão linear para ajustar dados originais de produtividade agrícola se mostrou eficaz para as produtividades de mandioca e banana, entretanto o modelo obteve melhor expressividade em seus resultados para a produtividade de banana. Recomenda-se então que se use este modelo para ajustar dados de culturas irrigadas, sobretudo, de fruteiras, já que as modificações pretendidas com o uso deste modelo para este tipo de cultura parecem ser mais incisivas e evidentes.

Já a aplicação do modelo de regressão linear para achar relações entre a precipitação e a produtividade agrícola na bacia do Rio Pajeú utilizando o coeficiente de determinação linear se mostrou, em linhas gerais, ineficaz para este fim. Os melhores resultados foram encontrados para a mandioca e banana, cujos dados foram ajustados pelo modelo. Admitindo-se os resultados conclui-se que a precipitação como variável determinante não se apresenta diretamente relacionada a produtividade agrícola para as 4 culturas estudadas e também que o modelo de regressão não serve como finalidade para se encontrar relações diretas entre essas duas variáveis.

Diferentemente dos resultados do coeficiente de determinação, o coeficiente de correlação linear usado para achar relações entre a precipitação e a produtividade agrícola obteve expressivo êxito dando a pesquisa, claros indícios estatísticos de que a precipitação de forma isolada pode influenciar na produtividade e desenvolvimento das culturas de mandioca, milho, feijão e banana.

Conclui-se também, que existem diferenças de adaptabilidade e sensibilidade entre as culturas com relação a variabilidade da precipitação onde as culturas de mandioca e banana se mostraram as menos sensíveis a essa variabilidade, enquanto que o milho e o principalmente o feijão-caupi apresentou indícios de que eventos e acumulados mensais de chuva muito abaixo ou acima da média podem causar problemas a produção e a pesquisa mostrou também que produções permanentes ou com duração interanual, representadas pelas culturas de banana e mandioca, quando exauridas de qualquer tecnificação e melhoria tecnológica parecem ser mais susceptíveis a variabilidade da precipitação no trimestre mais bem correlacionado que as produções temporárias e de curta duração como as lavouras de milho e feijão.

A análise de anomalias de precipitação e desvios de produtividade apresentou resultados controversos, produzindo conclusões interessantes. As variáveis revelaram padrões bem definidos entre si durante os anos para as culturas de mandioca e banana, enquanto que para o milho e o feijão, esses padrões não manifestaram padrões definidos. Em muitos casos houve oposição entre as anomalias de precipitação e os desvios de produtividade (a maioria deles nas análises de milho e feijão) determinados por um pacote de fatores físico-biológicos e humanos como migração de culturas e tolerância fisiológica das plantas.

A precipitação, portanto, em escala trimestral parece desempenhar papel relevante no desempenho das culturas, porém com o desenrolar da pesquisa, fica evidente como sozinha, a variabilidade pluviométrica não dá conta de explicar todos os fenômenos. Ainda assim, fica visível como o período chuvoso, bem como a concentração de chuva entre os trimestres deste período, é de vital importância para o êxito na produção agrícola na bacia do rio Pajeú, sobretudo nas lavouras de mandioca e banana.

Com relação as anomalias de pressão e temperatura no Pacífico tropical e temperatura no oceano Atlântico tropical, conclui-se que há maior correlação entre o Índice de Oscilação Sul com a precipitação mensal na porção Nordeste onde se localiza o Alto Pajeú. Com isso postula-se que as consequências deixadas pelas anomalias de pressão no Pacífico parecem inibir a formação de nuvens de chuva nessa área da bacia, bem como dificultar a baixa da ZCIT.

O mesmo ocorre com as anomalias de TSM do Atlântico tropical que também afetam diretamente o deslocamento da ZCIT no Nordeste do Pajeú, culminando em fortes influências na ocorrência de chuvas nessa região, que fica bem evidente quando foi percebido que os valores de correlação ficavam maiores à medida que seguia a Norte da bacia. Já a despeito da ATSM no Niño-3 constatou-se fortes correlações em toda a bacia hidrográfica, porém os valores mais altos foram encontrados nos setores Oeste e Sul. Com isso, conclui-se que as anomalias de TSM na região do Niño-3, parecem influenciar incisivamente a precipitação mensal no Pajeú e a pesquisa mostrou também que há fortes indícios que os VCANs parecem ser mais afetados a intensificação e desintensificação dessas anomalias do que a ZCIT e outros sistemas oriundos do Norte.

O modelo de regressão mostrou certo grau de êxito quando aplicado como teste de previsão empírica de produtividade da mandioca. Os resultados se encontraram de maneira estatisticamente satisfatória, com bons patamares para a análise de tendência e correlação, mostrando que para prognósticos, o modelo pode ser usado para previsões de

até 11 anos, entretanto, ao mesmo tempo mostrou erros grosseiros quanto a disparidade dos dados estimados com os observados nos anos finais da série e erros relevantes entre os dados em alguns municípios.

Recomenda-se, portanto o modelo utilizado para prognósticos de produtividade, porém, com certa prudência, pois mais testes como os utilizados aqui, devem ser observados e avaliados. O modelo apresentou resultados de tendência corroborada por pesquisas anteriores e de correlação consistentes, entretanto, na prática apresenta relevantes acertos com boa aproximação dos dados estimados e observados, ao passo que apresenta erros de igual magnitude. Enfatiza-se aqui também o fato do número base de anos usado para a previsão ter sido quase o mesmo número de anos para a previsão, o que pôde ter dado certa insegurança a análise.

REFERENCIAS

- ADAMGBE, E. M; UJOH, F. Effect of Variability in Rainfall Characteristics on Maize Yield in Gboko, Nigeria. **Journal of Environmental Protection**, v. 4, p. 881-887, setembro/2013.
- AKPENPUUN, T. D; BUSARI, R. A. Impact of Climate on Tuber Crops Yield in Kwara State, Nigeria. **American International Journal of Contemporary Research**, Vol. 3, No. 10, Out/2013.
- ALLAN, R. J. ENSO and climatic variability in the past 150 years, em: ENSO: Multi-scale Variability, Global and Regional Impacts, por: DIAZ, H. F. e MARKGRAF, V., Cambridge University Press, Cambridge, p. 3–55, 2000.
- ALVES, J. M. B. et al. Modelos acoplados do IPCC-AR4 e o gradient meridional de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical: relações com a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Vol. 29, No .4, p. 568 - 578, Dez/2014.
- AMORIM-NETO, M. S; ARAUJO, A. E; BELTRÃO, N. E. M. Zoneamento agroecológico e época de semeadura para a mamoneira na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n.3, p. 551-556, Passo Fundo, 2001.
- ARAGÃO, J. O. R. O impacto do ENSO e do dipolo do atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull. Inst. Fr. Études andines**. V. 27, n. 3, p. 839-844, 1998.
- ARAUJO, R. G.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño-oscilação sul e Atlântico equatorial na precipitação sobre as regiões Norte e Nordeste da América do Sul. **Acta Amazônica**, VOL. 43(4), p. 469 – 480, 2013.
- ASSAD, E. D; MACEDO, M. A; JUNIOR, J. Z; PINTO, H. S; BRUNINI, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v. 38, n. 2, p. 161-171, fev. 2003.
- ASSIS, J. M. A; SOUSA, W. M; SOBRAL, M. C. Análise climática da precipitação no submédio da bacia do rio São Francisco a partir do índice de anomalias de chuva. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. S/V, n. 36, p. 115-127, jun/2015.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 2007.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2012-2014**. 272. ed, Santo Antonio de Goiás, Embrapa arroz e feijão, 248. p, Mai/2012.
- BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. Variability of the South Atlantic Convergence Zone simulated by an Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, Vol. 15, p. 745-763, abr. 2002.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. A cultura do milho. **Universidade de Évora**, escola de ciências e tecnologia. Texto de apoio para unidade curriculares, Évora, 52. p, 2014.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 84. P, 2014.

BLANC, E. The Impact of Climate Change on Crop Yields in Sub-Saharan Africa. **American Journal of Climate Change**, Vol. 1, No. 1, p. 1-13, Mar/2012.

BRIEGER, F. G. **Estudos experimentais sobre a origem do milho**. In: Anais da Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, vol.1, p.225-277, 1944.

CAMARGO, M. B. P et al. **Teste de modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de produtividade do cafeeiro (*coffea arabica* L.) no Estado de São Paulo**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. Anais do 4º simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil Brasília, DF: Embrapa Café, 2005, p. 132-136.

CARVALHO, I. R. et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 969, 2013.

CARVALHO, L. M. V; JONES, C; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of climate**, American Meteorological Society. Vol. 15, p. 2377-2394, set/2002.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, Vol. 17, p. 88-108, 2004.

CARVALHO, M. A. V; OYAMA, M. D. variabilidade da largura e intensidade da zona de convergência intertropical atlântica: aspectos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, 305 - 316, 2013.

CAVALCANTI, J. Mandioca no semi-árido. **Instruções técnicas da Embrapa semi-árido**, Vol. 27, Petrolina-PE, 2. pag, Mai/2000.

CORDÃO, P. P; SILVA, B. B; MOURA, S. S. **Evapotranspiração e coeficiente de cultura da bananeira em região do semiárido cearense**. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, Ed. 16, 6. Pag, 2006.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 264. p, 1977.

COUTINHO, M. D. L; GAN, M. A; RAO, V. B. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical sul: validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Vol. 25, No. 3, p. 311-323, 2010.

CREPALDI, I. C. origem, evolução e geografia da mandioca: uma revisão. **Sitientibus**, Vol 10, No 2, p. 89-94, Jul/Dez/1992.

CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do milho**: plantio. Embrapa milho e sorgo, 6. ed. Set/2010. Acessado em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejomilho.htm> às 00:23 de 23/06/2016.

CRUZ, J. C. et al. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1. ed. Brasília-DF, Embrapa informação tecnológica, 333. p, 2011.

CUENCA, M. A. G.; MANDARINO, D. C. **Aspectos agronômicos da cultura da mandioca**: características e evolução da cultura no estado de Pernambuco entre 1990 e 2004. 99. ed. Aracaju-SE: Embrapa, 29. p, 2006.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, Vol. 12, No. 1, p. 103-111, 2004.

DIAS, J. S. A.; BARRETO, M. C. (Ed.). **Aspectos agronômicos, fitopatológicos e socioeconômicos da sigatoka-negra na cultura da bananeira no estado do Amapá**. Macapá: Embrapa Macapá, 95. p, 2011.

DUARTE, J. O. **Cultivo do milho**: mercado e comercialização. Embrapa milho e sorgo, 6. ed. Set/2010. Acessado em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejomilho.htm> às 00:43 de 23/06/2016.

DOS SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Vol. 22, No. 3, p. 303-312, Dez/2007.

FEITOSA, A. **Zoneamento de pequenas bacias hidrográficas e caracterização de várzeas na bacia do Pajeú, Pernambuco**. 2012. p. 140. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife-PE.

FERREIRA, D. B. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2005. p. 125. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos-SP.

FERREIRA, N. S. Zona de convergência intertropical. Boletim do Climanálise Especial - Comemoração dos 10 anos, São Paulo, 1996.

FERREIRA, V. M.; ANDRADE JR., A.S.; SILVA, C.R.; MASCHIO, R. Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos solteiro e consorciado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, n.1, p.96-106, abril/2008.

FILHO, F. R. F. et al. **Feijão-caupi no Brasil**: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. 1. ed, Teresina-PI, Embrapa meio norte, 84. p, 2011.

FILHO, H. M. O. **Climate Change and its Impacts on Family Farming in the North/Northeast Regions of Brazil**. Brasília: IPC-IG, No 13, 2015, 4 p.

GALVANI, E.; PEREIRA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S. Relações entre o índice de de oscilação sul (IOS) e o total mensal de chuva em Maringá-PR. **Acta Scientiarum**, Vol. 20, N. 4, p. 531-535, 1998.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical atlantic sector. **Monthly Weather Review**, Vol. 112, No. 6, p. 1097-1107, Jun/1984.

HASTENRATH, S.; LAMB, P. Climate dynamics of atmosphere and ocean in the equatorial zone: a synthesis. **International Journal of Climatology**, Vol. 24, No. 13, p. 1601-1612, Nov/2004.

HASTENRATH, S.; LAMB, P. Some aspects on circulation and climate over the eastern equatorial Atlantic. **Monthly Weather Review**, Vol. 105, No. 8, p. 1019-1023, 1977.

IYENGAR, G. R.; RAMESH, K. J.; PALIWAL, R. K.; MADAN, O. P. Structural characteristics of the inter tropical convergence zone over the equatorial indian ocean during INDOEX-1999 field phase experiment. **Current Science (Suplement)**, Vol. 80, abr/2001.

JERIE, S.; NDABANINGI, T. the impact of rainfall variability on rain-fed tobacco in manicaland province of zimbabwe. **journal of sustainable development in africa**, Clarion, Pennsylvania, Vol. 13, No.1, 7 p, 2011.

JUNIOR, A. S. A. et al. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. 1. ed, Teresina-PI, Embrapa meio norte, 108. p, 2002.

JUNIOR, J. B. C.; ALMEIDA, H. A. influência do fenômeno El-Niño sobre o regime pluvial na microrregião de Sousa-PB. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.904 – 915, 2012.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. Variabilidade decenal e multidecenal, In: Cavancanti, I.; FERREIRA, N.; SILVA, M. G. J. da; DIAS, M. A. F. S. (ed.). **Tempo e Clima no Brasil**, Oficina de Textos, Sao Paulo, 2009. p. 375-383.

KOUSKY, V. E; GAN, M.A. Upper tropospheric vortices in the tropical south atlantic. **tellus**, 33A, 1981, p. 538–551.

LACERDA, F. F.; DIAS, H.; ASSAD, E. D.; SANTOS, A. A.; DA SILVA, A. S. G. **Deteção de sinais de mudanças climáticas para algumas localidades do sertão do Pajeú-PE**. XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belo Horizonte, Minas Gerais, 5. Pag, 2009.

LICHTEMBERG, L. A.; LICHTEMBERG, P. S. F. Avanços na bananicultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Volume especial, S/No, Jaboticabal-SP, p. 29-36, Out/2011.

LIEBMANN, B; JONES, C; CARVALHO, L. M. V. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of São Paulo, Brazil. **Journal of Climate**. Vol. 14, 2001, p. 208–218.

LIMA, E. A. **Influência dos fenômenos acoplados oceano-atmosfera sobre os vórtices ciclônicos de altos níveis observados no Nordeste do Brasil**. 2010. 234 p. Tese (doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB.

LOURENÇO, M.C.M.; FERREIRA, N.J.; GAN, M.A. Vórtices ciclônicos em altos

níveis de origem subtropical, **Climanálise Especial 10 anos**, 163-167. 1996.

LU, A. et al. El Niño-southern oscillation and the water resources in the headwaters region of the Yellow River: links and potential for forecasting. **Hydrology and Earth System Sciences**, Vol. 15, p. 1273-1281, abr/2011.

MANOS, M. G. L. et al. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na região Nordeste brasileira 2012-2014**. 181. ed, Aracaju-SE, 201. p, 2013.

MANTUA, N. J. Pacific-decadal oscillation (PDO). In: MUNN, T.; MCCRACKEN, M. C.; PERRY, J. S. **Encyclopedia of Global Environmental Change**, S/L, Jonh Wiley & Sons, Ltd, Chischester, Ago/2003, Vol. 1, p. 592-594.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R. The pacific decadal oscillation. **Journal of Oceanography**, Vol. 58, No. 1, p. 35-44, Fev/2002.

MARTINS, A. N.; FURLANETO, F. P. B. Bananicultura: pesquisas voltadas para a agricultura familiar. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, Vol. 1, No. 2, 10. p. Dez/2008.

MATTHIESEN, M. L.; BOTEON, M. **Análise dos principais pólos produtores de banana do Brasil**. In: anais do 41º congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural, Juiz de Fora-MG, 10 pag, 2003.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas de climas do Brasil**. 1º reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

McGUIRE, J K; PALMER, W. C. The 1957 drought in the Eastern United States. **Monthly Weather review**, Vol. 85, No. 9, p. 305-314, Set/1957.

MINOBE, S. (2000): Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability over the North Pacific. **Progress in Oceanography**, Vol. 47, No. 2-4, p. 381–408, Out/2000.

MISHRA, S. K; RAO, V. B; FRANCHITO, S. H. Genesis of the Northeast Brazil Upper-Tropospheric Cyclonic Vortex: A Primitive Equation Barotropic Instability Study. **Journal of the Atmospheric Sciences**. Vol. 64, abr/2007, p. 1379-1392.

MISHRA, S. K; RAO, V. B; GAN, M. A. Structure and Evolution of the Large-Scale Flow and an Embedded Upper-Tropospheric Cyclonic Vortex over Northeast Brazil. **Monthly weather review**. Vol. 129, jul/2001, p. 1673-1688.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. **Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro**. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro (RJ), 2000, p.1334-1342.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MORALES, H. Pest Management in tradicional tropical agroecosystems: lessons for pest prevention research and extension. **Integrated Pest Management Reviews**. v.7, n.3, p.145-163, 2002.

MOREIRA, R. S. 1987. **Banana**: teoria e prática de cultivo. Fundação Cargill, Campinas. 335 p.

MOURA, M. N; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à zona de convergência intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, 475 - 483, 2012.

MOURA, M. S. B; SOUSA, L. S. B; SILVA, T. G. S; SOARES, J. M; CARMO, J. F. A; BRANDÃO, E. O. Modelos de crescimento para o feijão-caupi e o milho, sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado, no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, n. 3, p.275-284, abril. 2011.

OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. **Revista Eletrônica Nutritime**, Vol. 5, No. 6, p. 777-788, Nov/Dez/2008.

PEREIRA et al. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina – PR. **Seminário de ciências agrárias**, Vol. 29, No. 2, p. 299-306, Abr/Jun/2008.

PEREIRA et al. Influência dos eventos de El Niño e La Niña na precipitação pluviométrica de Mossoró-RN. **Enciclopédia Biosfera**, Vol. 7, No. 12, 13 p, 2011.

PIMENTEL, A. C. S.; VITAL, T. W. **Cadeia produtiva popular da mandioca na zona da mata de Pernambuco**. In: anais do 45º congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural, Londrina-PR, 10 pag, Jul/2007.

RAMÍREZ, M.C.V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil**. 1997, 104 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP.

RAMIREZ, M. C. V.; KAYANO, M.T; FERREIRA, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México. **Atmósfera**, Vol. 12, No. 2, p. 75-88, 1999.

RIBEIRO, E. P.; NÓBREGA, R. S.; FILHO, F. M. O. Spatiotemporal rainfall variability in the Pajeú river basin, Pernambuco, Brazil. **Journal of Environmental Hydrology**, v.23, No. 2, 20. Pag, fev/2015.

RIBEIRO, E. P.; NÓBREGA, R. S.; FILHO, F. M. O.; SOARES, D. B. Climatic water balance and climatic classification of the Pajeú river watershed. **Journal of Environmental Hidrology**, v.24, No. 2, 16. Pag, abr/2016.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. **Special Bulletin**, Iowa, n. 48. 1993.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p.1606-1626. 1992.

ROSE, J. K. Intercorrelations between climatic variables in the Corn Belt. **Monthly Weather Review**, Vol. 64, No. 3, p. 76-82, Mar/1936.

SANSIGOLO, C. A.; REIS, T. G. **Probabilidades de precipitações sazonais no NE do Brasil associadas a eventos extremos de ENOS**. 12º Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, Rio Grande do Norte, 10. Pag, 2014.

SANTIAGO, G. A. C. F.; NÓBREGA, R. S. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator**, Vol. 13, No. 1, p. 107-118, Abr/2014.

SANTOS, C. A. F. et al. **Melhoramento genético do feijão-caupi na Embrapa semiárido**. 1. ed, Petrolina-PE, Embrapa semiárido, 24. p, 2007.

SANTOS, M. A.; CAMARGO, M. B. P. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, Vol. 65, No. 1, p. 173-183, 2006.

SENA, J. V. C. Aspectos da produção e mercado da banana no Nordeste. **Informe Rural Etene**, Vol. 5, No. 10, 7. p, Jul/2011.

SIMMONDS, N.W. **Los plátanos**. Barcelona: Blume, 539. P, 1973.

SILVA, D. F; PRELA-PANTANO, A; SANT' ANNA NETO, J. L. Variabilidade da precipitação e produtividade agrícola na região do Médio Paranapanema, SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 3 & 4, sem. No, p. 101-116, Ago/2008.

SILVA, M, T; SILVA, V. P. R; AZEVEDO, P.V. o cultivo do algodão herbáceo no sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, no cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1, p.80–91, 2012.

SILVA, R. R; SARTORI, M. G. B; WOLLMAN, C. A. Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja, no município de Ibirubá-RS. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Vol. 27, p. 296-314, 2014.

TOMAZIELLO, A. C. N.; GANDU, A. W. Impacto da temperatura da superfície do mar na simulação da zona de convergência do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Vol. 28, No. 3, 291-304, Set/2013.

TRENBERTH, K. E. The definition of El-Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**. Vol. 97, No. 12, p. 2771–2777, Dez/1997.

TRENBERTH, K. E.; HURRELL, J. W. Decadal atmosphere-ocean variations in the pacific. **Climate Dynamics**, Vol. 9, No. 6, p. 303-319, Mar/1994.

TRINDADE, A. V. et al. **Banana. Produção:** aspectos técnicos. 1. ed, Brasília-DF, 143. p, 2000.

UVO, C. R. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região Norte e Nordeste brasileiro.** 1989. 91 p. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos-SP.

UVO, C. R. B. et al. The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of climate**, Vol. 11, No. 4, p. 551-562, Abr/1998.

VEIGA, J. A. P.; MARENGO, J. A.; RAO, V. B. A Influência das Anomalias de TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico sobre as chuvas de Monção da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Vol. 17, No. 2, p. 181-194, 2002.

VEIGA, J. A. P.; MENDES, D.; YOSHIDA, M. C. **O impacto das anomalias de TSM do Oceano Pacífico Tropical Sul sobre o padrão de precipitação na Amazônia.** In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 6. pag, 2000.

VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, 109, No. 3, p. 599–610. March/1981.

XIAO, M; ZHANG, Q.; SINGHV, P. Influences of ENSO, NAO, IOD and PDO on seasonal precipitation regimes in the Yangtze River basin, China. **International Journal of Climatology**. Vol. 35. No. 12, p. 3556-3567, Out/2015.

WALISER, D. E. Intertropical convergence zone. **Tropical Meteorology, Elsevier Science Ltd.** 10. Pag, abr/2002.

WANG, H.; KUMAR, ARUN.; WANG, W.; XUE, Y. Seasonality of the pacific decadal oscillation. **Journal of Climate**, Vol. 25, No. 1, p. 25-38, Jan/2012.

WOLLMANN, C. A.; SARTORI, M. G. B. Sazonalidade dos episódios de enchentes ocorridos na bacia hidrográfica do Rio Caí – RS, e sua relação com a atuação do fenômeno El Niño, no período de 1982 a 2005. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.7, p.103:118, Set/2009.

WOLTER, K.; TIMLIN, M. S. Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank?. **Royal Meteorological Society**, Vol. 53, No. 9, Set/1998.

ANEXO A – VALORES CRÍTICOS DE $R_e r$

n	2-tailed testing			1-tailed testing		
	$\alpha = .1$	$\alpha = .05$	$\alpha = .01$	$\alpha = .1$	$\alpha = .05$	$\alpha = .01$
5	0.805	0.878	0.959	0.687	0.805	0.934
6	0.729	0.811	0.917	0.608	0.729	0.882
7	0.669	0.754	0.875	0.551	0.669	0.833
8	0.621	0.707	0.834	0.507	0.621	0.789
9	0.582	0.666	0.798	0.472	0.582	0.750
10	0.549	0.632	0.765	0.443	0.549	0.715
11	0.521	0.602	0.735	0.419	0.521	0.685
12	0.497	0.576	0.708	0.398	0.497	0.658
13	0.476	0.553	0.684	0.380	0.476	0.634
14	0.458	0.532	0.661	0.365	0.458	0.612
15	0.441	0.514	0.641	0.351	0.441	0.592
16	0.426	0.497	0.623	0.338	0.426	0.574
17	0.412	0.482	0.606	0.327	0.412	0.558
18	0.400	0.468	0.590	0.317	0.400	0.543
19	0.389	0.456	0.575	0.308	0.389	0.529
20	0.378	0.444	0.561	0.299	0.378	0.516
21	0.369	0.433	0.549	0.291	0.369	0.503
22	0.360	0.423	0.537	0.284	0.360	0.492
23	0.352	0.413	0.526	0.277	0.352	0.482
24	0.344	0.404	0.515	0.271	0.344	0.472
25	0.337	0.396	0.505	0.265	0.337	0.462
26	0.330	0.388	0.496	0.260	0.330	0.453
27	0.323	0.381	0.487	0.255	0.323	0.445
28	0.317	0.374	0.479	0.250	0.317	0.437
29	0.311	0.367	0.471	0.245	0.311	0.430

ANEXO B – VALORES CRÍTICOS DE t

t Table											
cum. prob	$t_{.50}$	$t_{.75}$	$t_{.80}$	$t_{.85}$	$t_{.90}$	$t_{.95}$	$t_{.975}$	$t_{.99}$	$t_{.995}$	$t_{.999}$	$t_{.9995}$
one-tail	0.50	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
two-tails	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
df											
1	0.000	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62
2	0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646

ANEXO C – VALORES CRÍTICOS DE F

<i>Critical values of F for the 0.05 significance level:</i>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.39	19.40
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.97	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.10	3.01	2.95	2.90	2.85
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.20	2.97	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.56	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.33	3.47	3.07	2.84	2.69	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.38	2.32	2.28
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.26
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18