



Impacto do Plantio de Soja e do Oceano Pacífico Equatorial na Precipitação e Temperatura na Cidade de Chapadinha-MA

Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira¹, Magaly de Fátima Correia², Valner da Silva Nogueira³

¹Professora Assistente; Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental; Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Email: vnogueira@ccta.ufcg.edu.br. ²Professora Adjunta; Departamento de Ciências Atmosféricas; Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Email: magaly@dca.ufcg.edu.br. ³Doutorando; Departamento de Ciências Atmosféricas; Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Email: nvalner@hotmail.com.

Artigo recebido em 09/10/2012 e aceito em 19/10/2012

RESUMO

O Estado do Maranhão possui uma economia voltada para a agropecuária que engloba atividades relevantes como a criação de bovinos e o cultivo de arroz. Recentemente ocorreram mudanças importantes no sistema de produção agrícola pela introdução da soja substituindo áreas de cerrado. Neste trabalho é feita uma análise da variabilidade climática na região de Chapadinha MA utilizando dados mensais de precipitação e das temperaturas máximas e mínimas. Na quantificação do impacto da soja na variabilidade da precipitação, as análises foram concentradas no período de 1977 a 2009. A técnica da análise de variância e o teste t-Student foram usadas como principais ferramentas estatísticas na análise dos dados. Os resultados mostram que as alterações na cobertura e uso da terra afetaram o clima local. As principais mudanças foram observadas na temperatura mínima.

Palavras - chave: Climatologia, impacto ambiental, soja, variabilidade interanual

Impact of Soybean Planting and Equatorial Pacific Ocean Temperature and Precipitation in the City of Chapadinha-MA

ABSTRACT

The State of Maranhão has an economy facing agriculture encompassing relevant activities such as cattle and rice cultivation. Recently there were major changes in agricultural production system by introducing soy replacing grassland areas. This paper presents an analysis of climate variability in the region of MA Chapadinha using monthly data of precipitation and maximum and minimum temperatures. In quantifying the impact of soy on rainfall variability, the analyzes were concentrated in the period from 1977 to 2009. The technique of analysis of variance and t-Student test were used as the main statistical tools for data analysis. The results show that changes in land use and cover affected the local climate. The major changes were observed in the minimum temperature.

Keywords: Climatology, environmental impact, soybeans, interannual variability

1. Introdução

A população mundial, com mais de seis bilhões de habitantes, já enfrenta sérios problemas com as questões de escassez, contaminação da água, enchentes, secas,

elevação da temperatura e destruição dos recursos naturais, devido à problemática do aquecimento global causado pelos gases de efeito estufa (IPCC, 2007). Isto se deve em sua grande maioria ao desenvolvimento das atividades antropogênicas.

A agricultura é uma das atividades

* E-mail para correspondência: vnogueira@ccta.ufcg.edu.br (Nogueira, V. F. B.).

econômicas com maior dependência do tempo e do clima. As condições atmosféricas variam de local para local, sendo que essas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para o plantio até o armazenamento dos produtos e de seu transporte. As conseqüências de situações meteorológicas adversas levam constantemente a graves impactos sociais, como a fome, e a enormes prejuízos econômicos muitas vezes difíceis de serem quantificados (Sentelhas *et al.*, 1998). O Estado do Maranhão possui uma economia voltada para a agropecuária que engloba atividades relevantes como: a criação de bovinos e o cultivo de arroz. Recentemente a soja, trazidas por gaúchos e outros sulistas, vem se destacando e ocupando grandes áreas. As áreas utilizadas para essas atividades foram implantadas sem planejamentos em detrimento da vegetação nativa.

A Cidade de Chapadinha-MA localiza-se a 230 km do Oceano Atlântico, onde nas suas mediações encontram-se áreas com floresta Amazônica e grandes plantações de soja. Esta cidade se constitui um pólo de desenvolvimento urbano, tecnológico e agrícola sobre as Chapadas Maranhenses, uma microrregião que compreende os municípios de Brejo, Mata Roma, Anapurus, Buriti, Milagres do Maranhão, São Benedito do Rio Preto, Belágua e Urbano Santos.

O cultivo da soja vem se expandindo em todo o Brasil, de 1990 a 2005 teve um crescimento de 102%, e no Estado do

Maranhão houve uma expansão de mais de 24 vezes nesse mesmo período. Já a microrregião de Chapadinha iniciou o plantio de soja no ano de 2000, com 411 ha; em seis anos, passou para 24.682 ha, tendo a área plantada de soja ampliada em 60 vezes (IBGE-SIDRA, 2007). Assim, a microrregião de Chapadinha corresponde a 78% da produção do Leste maranhense e, dentre os nove municípios que formam a microrregião, quatro municípios destacam-se, no tocante à produção de soja: Anapurus, Brejo, Buriti e Mata Roma. Juntos são responsáveis por 91% da área plantada na microrregião e correspondem a 74% do Leste Maranhense. A expansão da soja na região deve-se a vários fatores, tais como: regime pluviométrico, tipo de solo, grandes extensões de terreno plano, infraestrutura de escoamento (estradas) e proximidade de um porto, o que possibilita a exportação (Presoti, 2008).

As mudanças antrópicas não são as únicas a influenciar o clima da cidade e suas vizinhanças. As alterações na TSM do Oceano Pacífico Equatorial induz a formação do fenômeno El Niño. Alguns estudos feitos por Rao e Hada (1990), Nobre *et al.* (1991), Marengo (1992) e Uvo (1998) mostraram que a variabilidade do clima no norte da Região Amazônica, incluindo o norte do Estado do Maranhão, é dominada pela variabilidade associada ao Oceano Atlântico Tropical, mas tende a ser influenciada pela variabilidade associada aos eventos de El Niño intensos.

Observa-se que o norte do Maranhão é uma região muito vulnerável, do ponto de

vista social e climático. Sendo assim, essa região necessita de pesquisas que indiquem quais os mecanismos causadores ou inibidores da precipitação, considerando em especial a cidade de Chapadinha que está localizada em uma região de grandes contrastes naturais (entre o mar, região semiárida e floresta) e sociais.

Portanto, o presente trabalho se propõe a pesquisar as consequências no clima das Chapadas Maranhense provenientes ao intenso desmatamento para dar lugar ao plantio da soja. Associar tais variações climáticas com os fenômenos El Niño e La Niña e conhecer a variabilidade da precipitação da região em escala de tempo sazonal e interanual.

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados compreendem um período de janeiro de 1977 a dezembro de 2009, contendo as variáveis de precipitação e temperatura diárias da estação convencional de Chapadinha MA, (03°46'S-43°21'W, 103,5 m), e da estação da Cidade de Caxias - MA (4,86°S-43,35°W, 103,56 m) fornecidos pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Coordenação de Modelagem Numérica – CMN, Serviço de Processamento da Informação – SEPINF. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo.

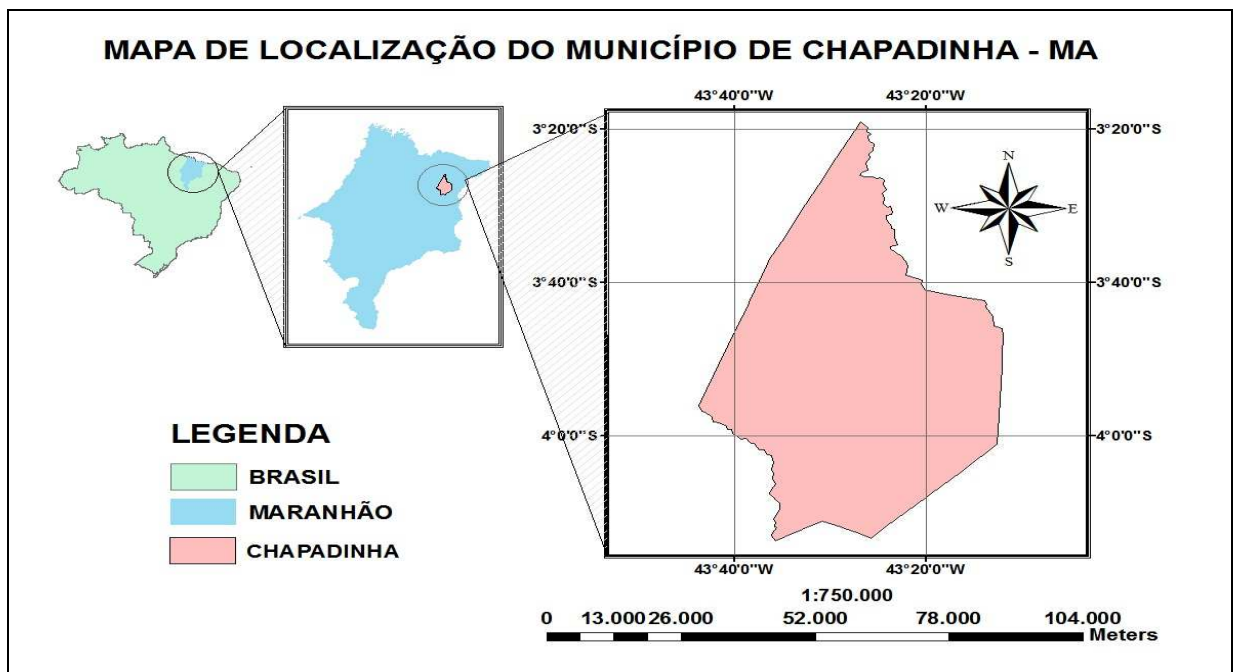


Figura 1. Localização geográfica da cidade de Chapadinha. Fonte: adaptado do IBAMA/IBGE.

2.2 Metodologia

A primeira parte da metodologia trata da determinação da climatologia regional

(sazonalidade e a contribuição percentual da precipitação) da cidade de Chapadinha.

Na segunda parte é avaliado o impacto

do cultivo da soja sobre as variáveis meteorológicas inicialmente considerando apenas a série da estação de Chapadinha e em seguida utilizando testes estatísticos juntamente com dados da estação de Caxias.

2.2.1 Determinação da Climatologia Regional da Precipitação e da Temperatura

Utilizando dados diários calculou-se a normal climatológica como recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), que se baseia em um período longo e uniforme que compreenda 30 anos. Em seguida, foram confeccionados os respectivos mapas pluviométricos e histogramas para a Cidade de Chapadinha.

2.2.2 Contribuição Percentual da Precipitação Sazonal em Relação à Média Anual

A contribuição percentual da precipitação sazonal foi calculada pela soma dos três meses consecutivos correspondentes a cada estação do ano, dividiu-se este total sazonal pelo total anual e multiplicou-se o valor encontrado por 100. Desta forma, obteve-se a contribuição percentual da precipitação para as estações de verão, outono, inverno e primavera.

2.2.3 Anomalia e Variabilidade Interanual da Precipitação

A anomalia de precipitação (AP) foi calculada de acordo com a Equação 1 expressa por:

$$AP_{ij} = ((VMP)_{ij} - \overline{(VMP)}_i) \quad (1)$$

Onde:

AP_{ij} = anomalia de precipitação da estação i e no ano j;

VMP_{ij} = valor mensal de precipitação da estação i e no ano j;

$\overline{(VMP)}_i$ = valor médio mensal de precipitação da estação i

i,j = subíndices representativos da estação e do ano, respectivamente.

Em seguida, foram calculadas as médias sazonais para os meses de verão e de outono austrais para os anos que configuraram isoladamente os eventos El Niño e La Niña. Para estes mesmos anos foram obtidos também AP (Anomalia de Precipitação) para o trimestre mais chuvoso da região em estudo.

Realizou-se ainda um estudo de caso para eventos extremos de El Niño e La Niña. De acordo com Trenberth (1999), os períodos de 1982-1983, 1988-1989 e 1997-1998 estimularam a maior variabilidade de extremos do que qualquer outro período similar no século, sendo seus efeitos sentidos em todo o globo. Neste contexto, foram analisadas as flutuações no campo da precipitação do trimestre mais chuvoso durante os eventos El Niño de 1982-83 e La Niña de 1988-89. A área do NINO 3.4 é apresentada na Figura 2.

A relação de anos sob a influência dos fenômenos El Niño e La Niña é apresentada na Tabela 1.

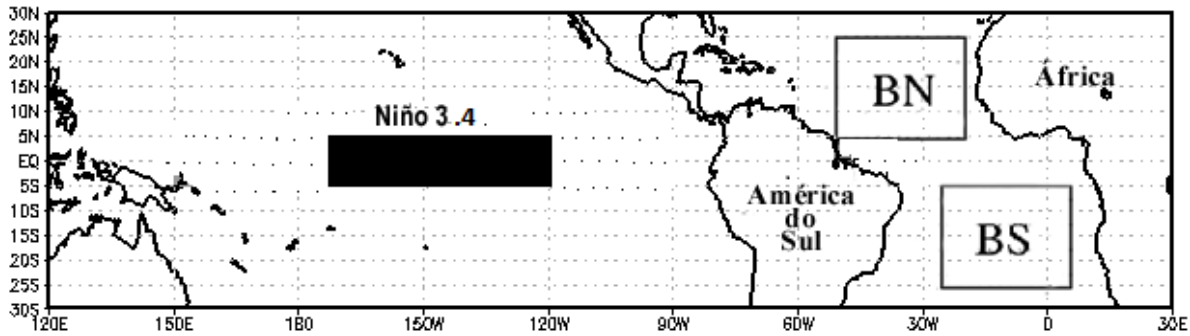


Figura 2. Localização do NINO 3.4.

Tabela 1. Lista dos anos em que foram observados os fenômenos El Niño e La Niña.

<i>Fenômenos</i>	<i>EL NIÑO</i>	<i>LA NIÑA</i>
Anos Observados	1976-77	1974-76
	1977-78	1984-85
	1979-80	1988-89
	1982-83	1995-96
	1986-87	1998-2001
	1986-88	2007-08
	1990-93	
	1994-95	
	1997-98	
	2004-05	
	2006-07	
	2009-10	

Fonte: Anos de El Niño e La Niña extraídos do CPTEC/INPE. (<http://enos.cptec.inpe.br/>)

2.2.4 Análise Estatística

As mudanças detectadas em parâmetros climáticos como observados anteriormente bem como se aplicássemos estatísticas às séries individuais de dados, considerando as amostras “antes da soja” e “depois da soja”, podem gerar resultados passíveis de questionamento em relação às causas da variação. Essas variações podem ser resultado de fatores locais tanto quanto de fatores meteorológicos de escala maior. Para evitar essas dúvidas, adotamos um método semelhante usado por Grimm (1988) e por Correia *et al.* (2006), as análises foram

realizadas considerando séries de dados formadas por diferenças entre os valores da estação de Chapadinha e da estação de controle, com o objetivo de filtrar as variações dos parâmetros causadas por fatores de grande escala. Escolhemos a estação de Caxias que fica a aproximadamente 201 Km de Chapadinha como estação de controle. Em outras palavras, com esse procedimento parte-se do pressuposto de que as condições atmosféricas em grande escala são semelhantes nas duas localidades. Desta forma, buscamos identificar sinais de mudança do comportamento das variáveis

meteorológicas a partir do plantio da soja.

O método aplicado para detecção de variações referentes aos elementos meteorológicos envolve a utilização do teste t-Student (largamente discutido na literatura), referido a partir de agora com o teste-t, e a técnica da análise de variância, como descrito por Murteira (1990). Utilizamos as seguintes hipóteses para aplicação do teste-t:

$H_0: M_2 - M_1 = 0;$

$H_1: M_2 - M_1 > 0$ ou $M_2 - M_1 < 0;$

Onde M_1 e M_2 são as populações médias antes e depois do início do cultivo da soja, respectivamente. O teste aplicado à série de valores mensais com nível de significância de 5% ($\alpha=0.05$).

Os resultados da aplicação da Análise de Variância (ANOVA) além de possibilitar a validação dos resultados com o teste-t permitem também avaliar se o efeito de um determinado fator particular é ou não significativo.

Como um dos principais objetivos deste trabalho é quantificar o impacto do plantio da soja sobre os parâmetros meteorológicos, a opção inicial apontou para aplicação da análise de variância com “um fator”. Esse fator é representado pelo cultivo da soja, e a amostra dos dados é classificada em “antes da soja” e “depois da soja”. Os dados utilizados para a aplicação de um fator em análise de variância devem ser feitos de amostras independentes, originárias de populações normais com igual variância.

Se H_0 é verdadeira, supõe-se que cada

grupo representa uma amostra casual de uma mesma população, e que cada grupo irá apresentar a mesma média. Existem duas fontes de variabilidade:

- (a) Uma fonte que resulta da real diferença entre as populações, “variabilidade entre”. Nesse caso, quanto maior a variabilidade, mais perceptível a evidência de diferenças entre as populações de onde as amostras foram coletadas;
- (b) Uma fonte resultante das diferenças dentro de cada amostra, “variabilidade dentro”. Nesse caso, quanto maior a variabilidade, maior é a dificuldade para determinar se as populações são diversas ou não.

As estimativas de variância são combinadas com o único propósito de testar H_0 . Utilizaremos o teste-F de Snedecor, que produz uma razão dada por:

$$F = \frac{\text{Variância entre}}{\text{Variância dentro}} = \frac{MQE}{MQD} \quad (2)$$

Este valor é então comparado com o F crítico (tabelado) para um dado nível de significância.

3. Resultados e Discussão

3.1 Climatologia da Precipitação

3.1.1 Ciclo Anual da Precipitação

O ciclo médio anual de precipitação é apresentado na Figura 3, onde se verifica que a precipitação é mal distribuída ao longo do ano. O período chuvoso estende-se de dezembro a julho (período chuvoso da

região). Nitidamente maior índice pluviométrico é observado no mês de março com valores em torno de 375 mm. Por outro lado, o período seco se estende de agosto a novembro. O mês de setembro se apresenta com a menor média mensal, e em novembro é

observado o maior valor médio mensal dentro do período menos chuvoso. Portanto, pode-se considerar o período de Dezembro a Julho e de Agosto a Novembro como os períodos representativos da estação chuvosa e seca na cidade de Chapadinha, respectivamente.

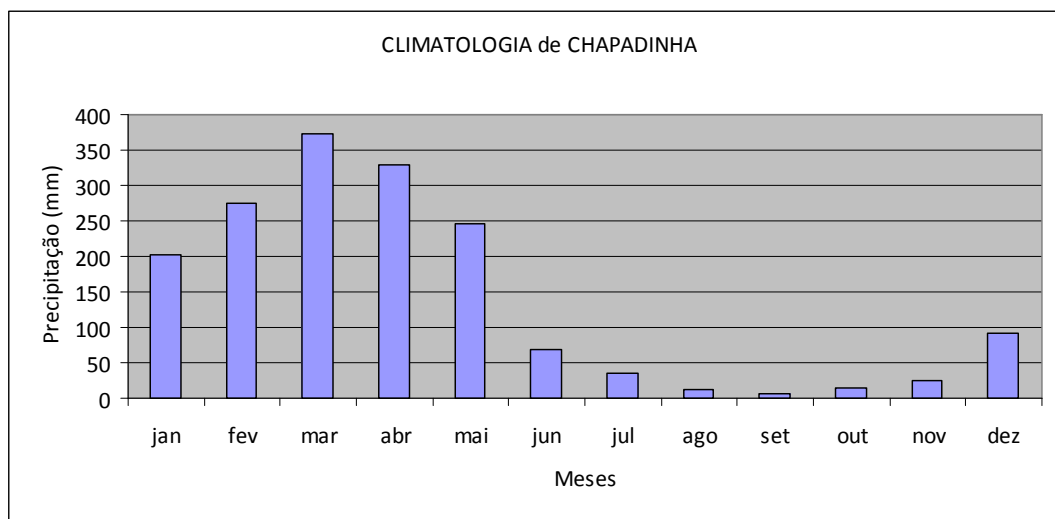


Figura 3. Ciclo médio anual de precipitação da cidade de Chapadinha (de 1977 a 2009).

A variabilidade sazonal é claramente observada nos histogramas apresentados na Figura 4. O outono e a primavera se caracterizam como a estação mais chuvosa e mais seca do ano, respectivamente. A

mudança da estação chuvosa para a seca em todo o Estado do Maranhão coincide com o posicionamento da ZCIT (mais para sul), que não apresenta uma simetria em seu tempo de permanência em ambos os hemisférios.

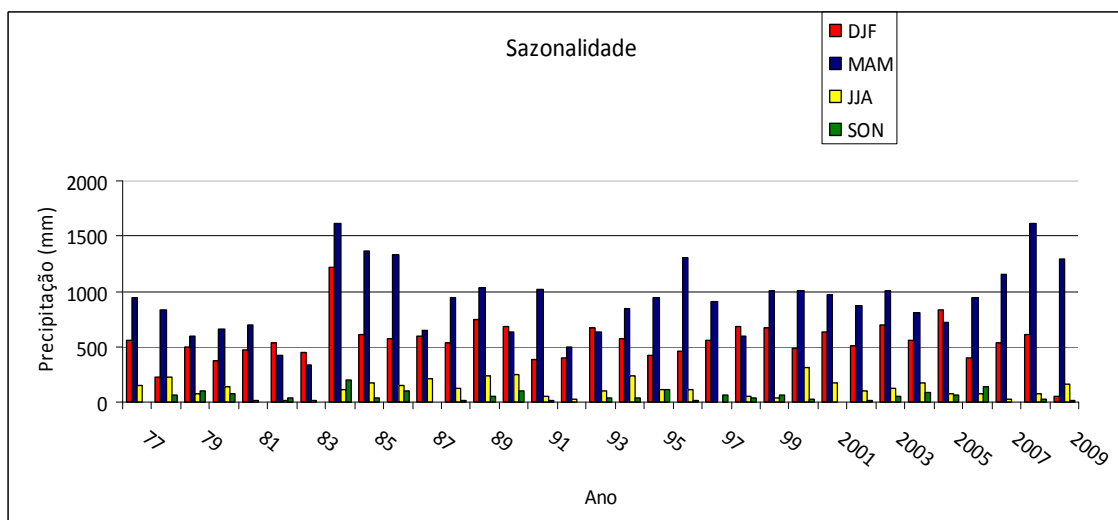


Figura 4. Distribuição da precipitação para o verão, outono, inverno e a primavera para a cidade de Chapadinha (1977 a 2009).

3.1.2 Contribuição Percentual da Precipitação Sazonal em Relação à Média Anual

As correspondentes contribuições percentuais em relação à média anual mostraram que a estação chuvosa, FMA contribui em média com mais de 59% do total anual. O verão e outono austrais contribuem com 34,71% e 54,23%, respectivamente. Nas estações da primavera e inverno a contribuição percentual de precipitação para a média anual foi pequena, em média da ordem de 6,87 % e 2,77 %, respectivamente.

Observa-se que o verão e o outono

contribuem juntos com 88,95 % da precipitação para a média anual, enquanto o inverno e a primavera contribuem com 9,65 %. Estes resultados mostram que a precipitação na cidade é mal distribuída durante as estações do ano.

A climatologia das temperaturas é ilustrada na Figura 5. Observa-se que a temperatura mínima é praticamente constante. Já as temperaturas máximas apresentam uma leve variação, com maiores valores nos meses de outubro e novembro.

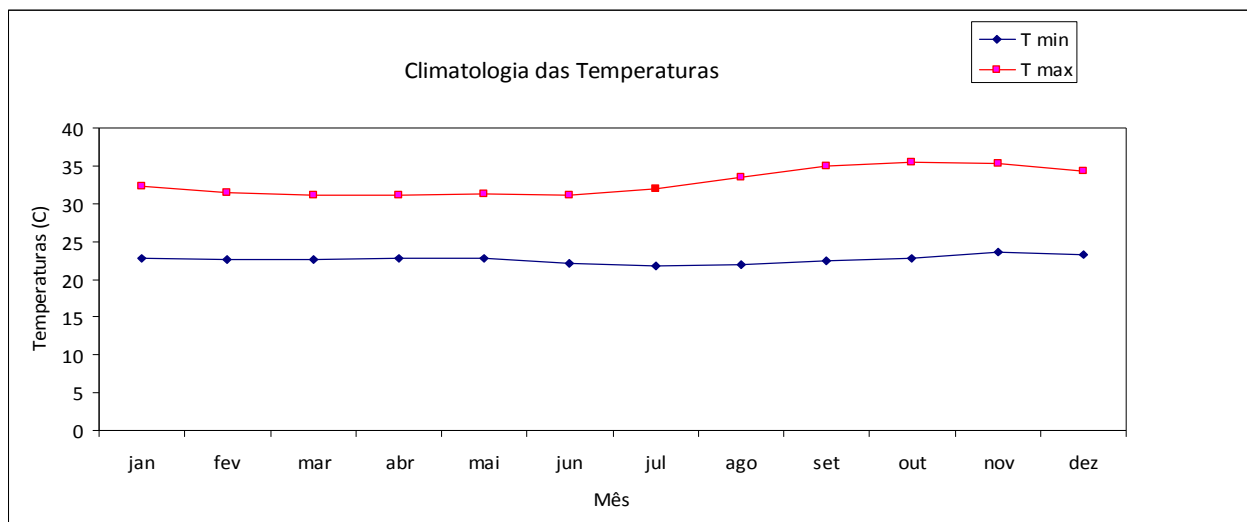


Figura 5. Climatologia das temperaturas máximas e mínimas para a cidade de Chapadinha.

3.1.3 Variabilidade Interanual da Precipitação na Cidade de Chapadinha

Na Figura 6 são exibidas as composições de AP (Anomalias de Precipitação) para o trimestre mais chuvoso (FMA), associadas aos anos de El Niño. Observam-se anomalias negativas de precipitação em praticamente todos os anos, principalmente nos episódios fortes de El

Niño (82/83, 92/93 e 97/98) em que os valores anômalos estiveram sempre em magnitude acima de 247 mm. Exceto o El Niño fraco de 1977, 2003 e 2007 não apresentaram tendência de seca na região.

Esta mesma característica é evidenciada no verão e outono. A Figura 7 mostra os campos de AP durante as estações de verão e outono dos anos com atuação do El

Niño. Verificam-se durante o verão anomalias negativas de precipitação em quase todos os anos, como em 1978, 1993 e 2007 com magnitudes superiores a 140 mm. Durante o outono a tendência é a mesma, mas as magnitudes são menores, exceto pelo forte El

Niño de 82/83, com precipitação de mais de 600 mm abaixo da normal climatológica. No ano de 2003 para a mesma estação do ano o saldo foi ligeiramente positivo, onde se teve eventos de El Niño moderado.

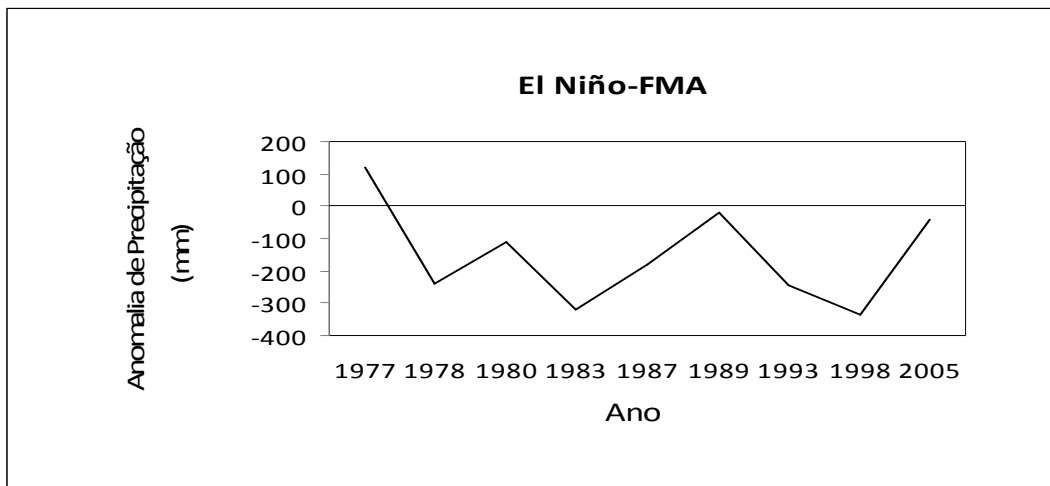


Figura 6. Composições de AP (mm/mês) observadas para o trimestre mais chuvoso (FMA) nos anos de El Niño observados sobre o Pacífico Equatorial.

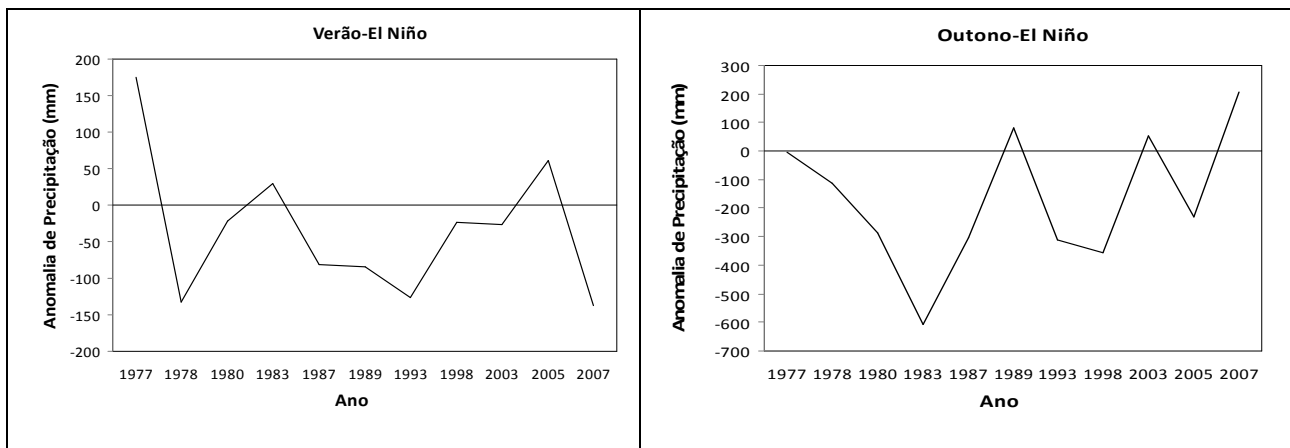


Figura 7. Composições de AP (mm/mês) observadas para o verão e o outono nos anos de El Niño verificados sobre o Pacífico Equatorial.

Na Figura 8 são exibidas as composições de AP (mm) para o trimestre mais chuvoso, associadas aos anos que ocorreram episódios de La Niña. Notam-se anomalias positivas em quase todos os

episódios, principalmente em 2008 (episódio forte) associado com precipitação de 700 mm acima da média. Em 89 o sinal não foi tão claro e observa-se um valor negativo e baixo.

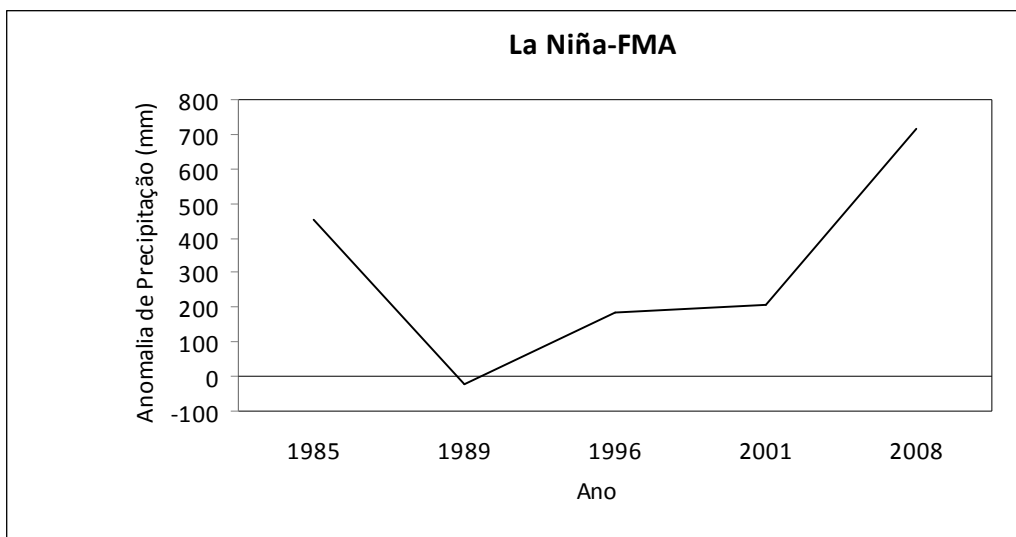


Figura 8. Composições de AP (mm/mês) observadas para o trimestre mais chuvoso (FMA) nos anos de La Niña verificados sobre o Pacífico Equatorial.

A Figura 9 mostra os campos de AP durante as estações do verão e do outono dos anos em que ocorreram os eventos La Niña. Não se observa um sinal claro para os verões dos anos de ocorrência de La Niña, a não ser pelo ano de 85 onde houve anomalia positiva

de precipitação (700 mm) e de 2008 com valor pouco representativo. Por outro lado, no outono o sinal ficou mais forte e a precipitação se manteve sempre acima da normal climatológica, principalmente em 1985 (episódio fraco) e 2008 (episódio forte).

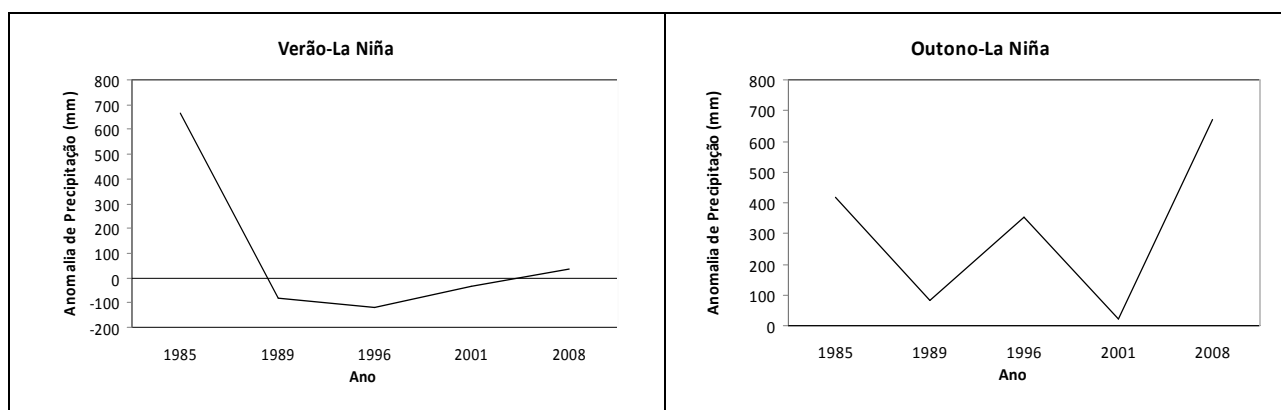


Figura 9. Composições de AP (mm/mês) observadas para o verão e o outono nos anos de La Niña observados sobre o Pacífico Equatorial.

3.2 Impacto da atividade do plantio da soja nas variáveis meteorológicas da cidade de Chapadinha

Neste item discutiremos o impacto do

desmatamento da floresta e da mata nativa para a prática da atividade do plantio da soja em Chapadinha. A prática do plantio do cultivo da soja teve início na região a partir de

2000 (IBGE-SIDRA, 2007), com o derrubamento maciço e a queimada da floresta nativa em uma área maior que 60.000 hectares nos municípios da cidade de Chapadinha, Presoti (2008).

3.2.1 Avaliação do impacto da atividade do plantio da soja na precipitação e temperatura usando as séries de dados de Chapadinha

A evolução temporal da precipitação

anual em Chapadinha é apresentada na Figura 10. Observa-se que, a partir de 2000 quando foi iniciado o cultivo do grão, não mais se observa uma acentuada distribuição irregular, em vez disso os totais anuais se comportam mais suavizados. Em 2008 observa-se um valor mais elevado, ano de episódio intenso de La Niña que deve ser a explicação dos registros ligeiramente maiores.

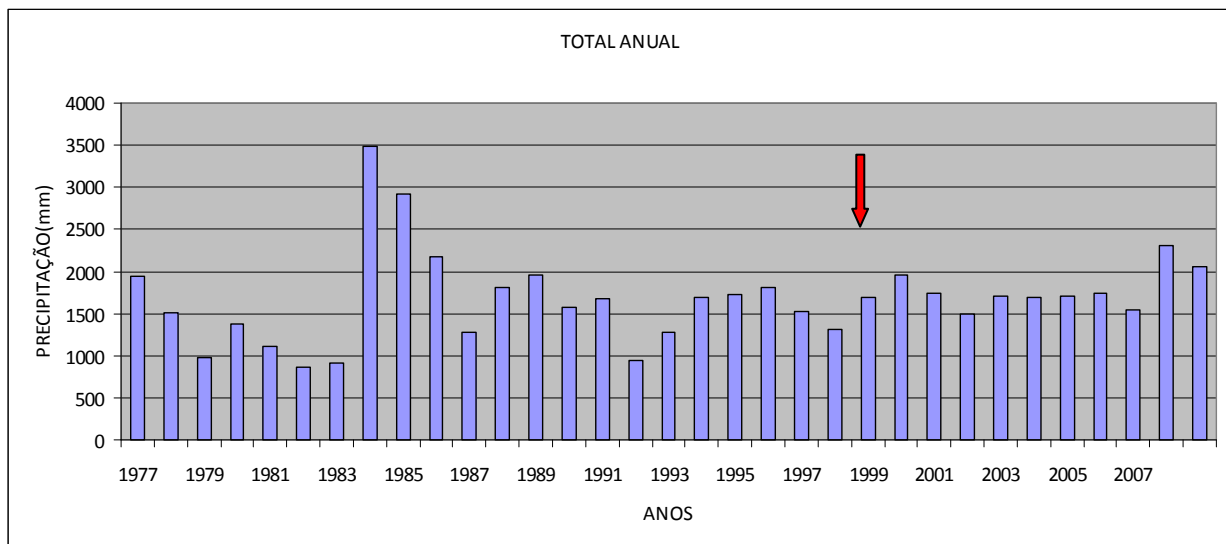


Figura 10. A distribuição do total anual da precipitação antes e depois (indicado pela seta) do cultivo da soja.

A Figura 11 mostra o ciclo anual da precipitação somente para os anos com plantio de soja na região. A irregularidade das chuvas ainda é observada e nota-se que houve um aumento dos valores pluviométricos no total mensal das chuvas, onde no verão e o no outono se concentram os maiores valores de precipitação. A Figura 12 mostra o comportamento dos totais anuais em torno da média anual de precipitação em todos os anos da série. Naturalmente a flutuação dos totais

anuais em torno da média já é esperada. No entanto, a partir de 2000 até 2009 os totais anuais sofreram um acréscimo de aproximadamente 210 mm. Isto não indica uma mudança no clima da região, mas é indicio de uma tendência. Uma explicação provável para este acréscimo seria resultante do desmatamento de uma área de vegetação nativa para agricultura o que geraria uma circulação direta de mesoescala entre a área de vegetação e a região desmatada. Uma

explicação poderia ser que essa área sem vegetação se torna mais quente e induz a migração do vapor d'água da floresta formando nuvens e chuvas sobre ela,

reduzindo a chuva na floresta circundante e aumentando sobre a região desmatada. (Ver Davidson *et al.* (2012)).

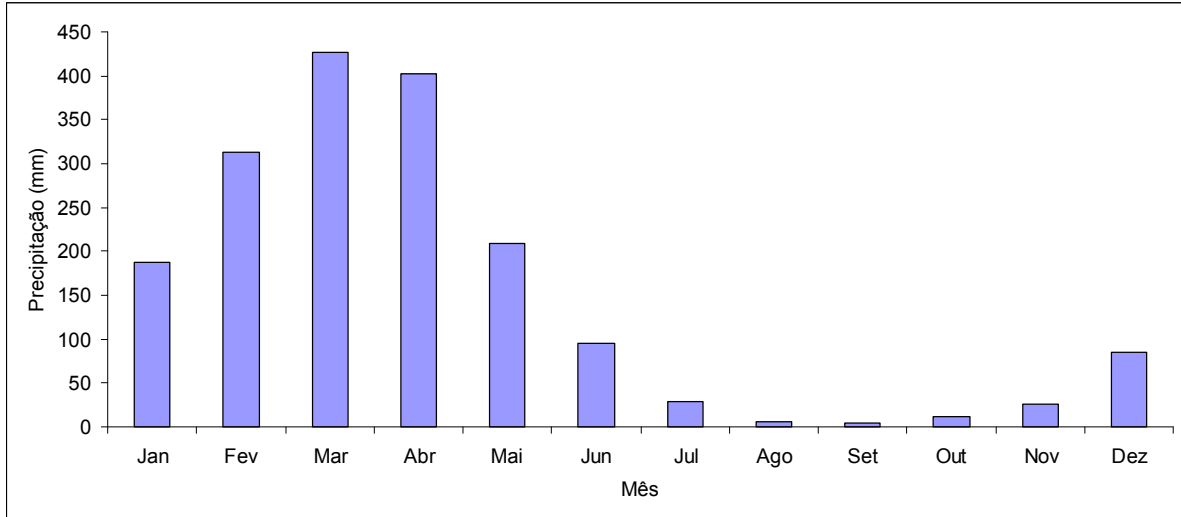


Figura 11. Ciclo médio anual de precipitação para o período de cultivo da soja (de 2000 a 2009).

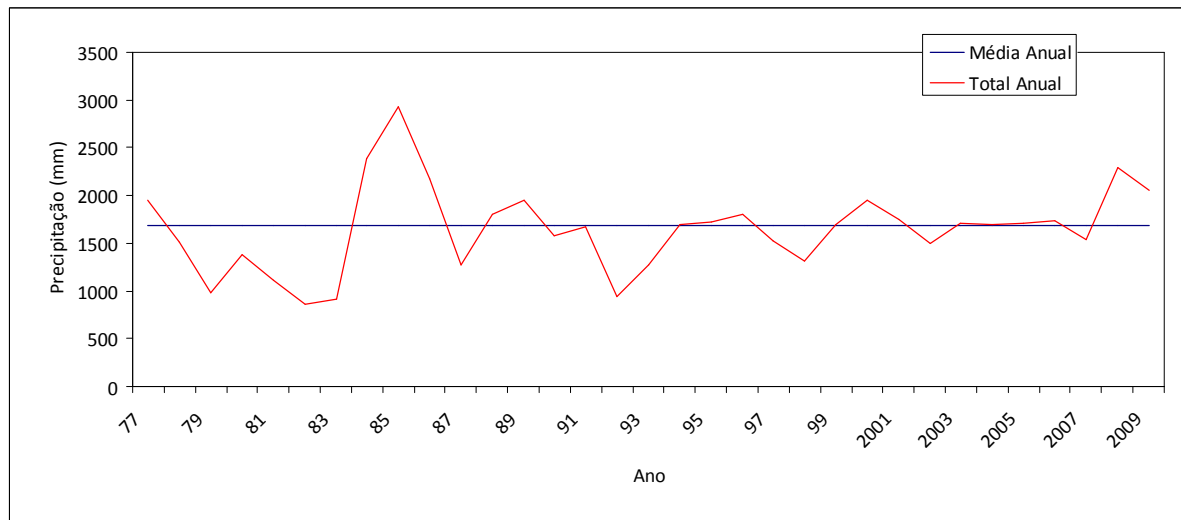


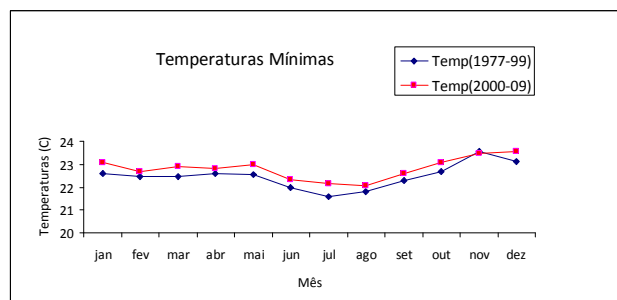
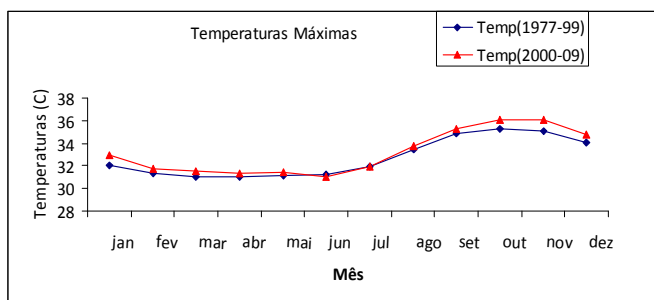
Figura 12. Os totais anuais em torno da média anual de precipitação em todos os anos da série (1977 a 2009).

Na Figura 13 se observam as médias das temperaturas máximas (a) e mínimas (b) de 1977 a 1999 e de 2000 a 2009 que corresponde ao período anterior e pós o cultivo do grão. Nota-se um incremento nas temperaturas máximas em praticamente todos

os meses do período pós-plantio. O aumento absoluto é pequeno, mas pode ser resultante de uma circulação gerada em função do gradiente de temperatura entre a vegetação nativa e as regiões de plantio resultante de diferentes valores no fluxo de calor sensível.

No entanto o efeito local só poderá ser analisado se minimizarmos o efeito da grande

escala. Já a diferença das temperaturas mínimas pós cultivo é mais evidente.



(a)

(b)

Figura 13. Temperaturas médias máximas (a) e mínimas (b) de 1977 a 1999 e de 2000 a 2009.

Valores maiores de temperatura máxima são observados quando analisado sazonalmente. Na Figura 14 observamos o comportamento da temperatura máxima para as quatro estações do ano com relação à normal climatológica. Verificam-se nos anos anteriores a 2000 as flutuações da temperatura

máxima em torno da normal climatológica. Porém, a partir de 2000 as flutuações foram sempre positivas, principalmente durante os meses do verão e da primavera. O que indica que houve uma tendência de aumento nos valores de temperatura máxima esperado para o período discutido.

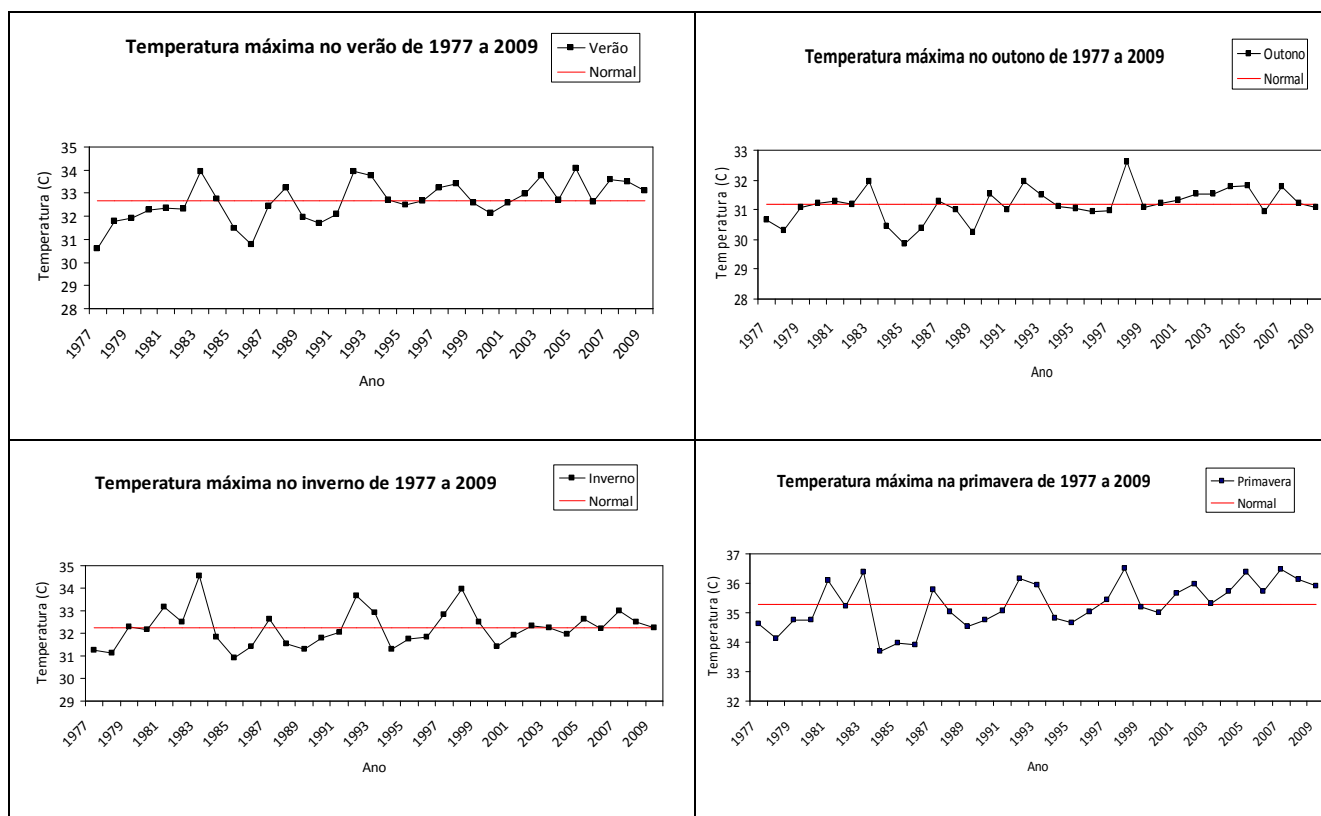


Figura 14. O comportamento das temperaturas máximas em Chapadinha nas quatro estações do ano de 1977 a 2009.

3.2.2 Avaliação estatística do impacto do plantio da soja na razão de mistura e nas temperaturas

3.2.2.1 Resultado do teste-t

A razão de mistura foi usada para estimar possíveis alterações na umidade do ar, e também porque este é um elemento meteorológico de importante aplicação prática. Ela pode ser usada para determinar a entrada de massas de ar oriundas de outro local. Ao minimizar a influência da grande escala, fazendo a diferença entre os dados das duas estações (Chapadinha-Caxias), as variações que resultam de efeitos locais são destacadas, principalmente no caso da umidade. Além disso, a precipitação não apresenta uma distribuição normal.

Na Tabela 2 são apresentados os

resultados do teste-t para a razão de mistura, temperatura máxima e mínima, utilizando as séries Chapadinha-Caxias. Os resultados do teste-t indicam que não houve alteração na umidade do ar por influência da soja. Os valores de temperatura máxima apresentam alteração com valores significativos, principalmente para os meses de março, abril e maio, inclusive ao nível de significância de 0,01. Os resultados para as temperaturas mínimas mostram que H_0 deve ser rejeitada para quase todos os meses. O que indica que as temperaturas aumentaram de forma significativa para todos os meses, exceto para janeiro, no período pós-soja. Isso pode ser confirmado com os resultados mostrados na Figura 13 (b).

Tabela 2. Resultados da aplicação do teste-t às séries (Chapadinha-Caxias), com $\alpha = 0,05$, para Razão de Mistura, Temperatura máxima e Temperatura mínima.

MÊS	Razão de Mistura – Tcrítico = 2,14			Temperatura Máx – Tcrítico = 2,14			Temperatura min – Tcrítico = 2,12		
	Tobs	Valor P	Ho	Tobs	Valor P	Ho	Tobs	Valor P	Ho
JAN	0,288	0,776	Aceita	1,94	0,073	Aceita	2,064	0,056	Aceita
FEV	0,376	0,711	Aceita	1,95	0,071	Aceita	4,450	0,0004	Rejeita
MAR	-0,599	0,556	Aceita	5,57	6,8E-05	Rejeita	3,135	0,006	Rejeita
ABR	-0,014	0,989	Aceita	4,98	0,0002	Rejeita	3,856	0,001	Rejeita
MAI	-0,082	0,935	Aceita	3,89	0,002	Rejeita	3,360	0,004	Rejeita
JUN	-0,084	0,934	Aceita	2,45	0,028	Rejeita	3,853	0,001	Rejeita
JUL	0,3787	0,709	Aceita	2,22	0,043	Rejeita	3,853	0,001	Rejeita
AGO	0,624	0,540	Aceita	1,67	0,116	Aceita	2,631	0,018	Rejeita
SET	1,059	0,304	Aceita	1,59	0,133	Aceita	3,709	0,002	Rejeita
OUT	1,355	0,192	Aceita	2,70	0,017	Rejeita	5,029	0,0001	Rejeita
NOV	0,539	0,597	Aceita	3,03	0,0089	Rejeita	4,187	0,0007	Rejeita
DEZ	0,714	0,484	Aceita	2,19	0,046	Rejeita	3,212	0,005	Rejeita

3.2.2.2 Resultado da Análise de Variância

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos com a análise de variância aplicada à

razão de mistura, temperatura máxima e temperatura mínima considerando as séries antes e depois da soja formadas pela diferença

entre os dados das duas estações (Chapadinha-Caxias). Os valores mostrados na coluna “Valor P” permitem avaliar o grau de significância das decisões. Observa-se que o conjunto significativo de todos os resultados de Chapadinha-Caxias mostra ($F_{obs.} < F_{crítico}$) e o Valor P indica que H_0 não pode ser rejeitada ao nível de significância de $\alpha=0,05$.

Já para a temperatura máxima observa-se um conjunto significativo de 7 resultados em que ($F_{obs.} > F_{crítico}$) e o Valor P indica que H_0 pode ser rejeitada inclusive ao

nível de $\alpha=0,01$, com exceção de junho e dezembro. O que indica que o outono foi a estação que apresentou maior mudança nas temperaturas máximas.

Os resultados da análise de variância aplicada à temperatura mínima apresentaram $F_{obs.} > F_{crítico}$, para todos os meses e com valores bem significativos, com exceção de janeiro, indicando que se rejeita H_0 , e concluindo pela diferença das médias a consequente influência do fator sobre a variável analisada.

Tabela 3. Resultado da análise de variância aplicado à razão de mistura, temperatura máxima e temperatura mínima, respectivamente, para as séries (Chapadinha-Caxias).

MÊS	Razão de Mistura F_{crítico} = 4,41		Temperatura Máxima F_{crítico} = 4,6		Temperatura mínima F_{crítico} = 4,5	
	F-obs.	Valor P	F-obs.	Valor P	F-obs.	Valor P
JAN	0,083	0,776	3,757	0,073	4,259	0,0556
FEV	0,142	0,711	3,801	0,071	19,803	0,0004
MAR	0,359	0,556	31,046	6,88E-05	9,828	0,0064
ABR	0,0002	0,989	24,849	0,0002	14,891	0,0014
MAI	0,007	0,935	15,11	0,0016	11,289	0,0034
JUN	0,007	0,934	6,02	0,0278	16,918	0,0008
JUL	0,143	0,709	4,921	0,0436	14,848	0,0014
AGO	0,390	0,540	2,803	0,1162	6,921	0,0182
SET	1,121	0,304	2,54	0,1333	13,76	0,0019
OUT	1,837	0,192	7,292	0,0172	25,29	0,0001
NOV	0,290	0,597	9,199	0,0089	17,532	0,0007
DEZ	0,509	0,484	4,787	0,0461	10,316	0,0054

4. Conclusões

- Este trabalho apresentou a climatologia da precipitação, das temperaturas máxima e mínima e as influências que os sistemas de macro escala dominantes no Oceano Pacífico Equatorial, El Niño e La Niña, exercem sobre o clima no município de Chapadinha-MA, a partir de um conjunto de 32 anos de dados (1977-2009).

- A climatologia mostrou que a estação chuvosa na cidade de Chapadinha tem início em meados de dezembro e se prolonga até o mês de julho. Já a estação seca começa em agosto e se estende até novembro. O trimestre FMA é o período mais chuvoso da região com uma contribuição acima de 59% para o total anual.

- As anomalias negativas de precipitação dão

indícios que em anos com eventos de El Niño a estação chuvosa é mais curta, onde os valores de precipitação se apresentam abaixo da normal climatológica. Já em anos de La Niña, observa-se o contrário e as anomalias são positivas. Esse sinal não ficou claro para os verões dos anos de ocorrência de La Niña. Por outro lado, no outono o sinal ficou mais forte e a precipitação se manteve sempre acima da normal climatológica, principalmente quando foi registrado episódios de La Niña de moderado a forte.

- Considerando dois conjuntos de dados de Chapadinha antes (1977 a 2000) e depois (2000 a 2009) do cultivo da soja observou-se que no período anterior ao cultivo, havia uma distribuição irregular na precipitação que apareceu suavizado com o estabelecimento do cultivo da soja. O acréscimo na precipitação no período pós-soja pode ser explicado por uma possível circulação de mesoescala. Além da precipitação, analisando sazonalmente as temperaturas máximas observa-se que os valores ficaram acima das normais climatológicas, principalmente nos meses de verão e primavera, o que sugere que houve um aquecimento na cidade depois do estabelecimento do plantio de soja.

- Os resultados da análise estatística para a razão de mistura mostram que o teor de umidade na região não sofreu alterações significativas com a introdução da soja. No entanto, os resultados estatísticos para as temperaturas mostraram que estes parâmetros climáticos sofreram variações substanciais na

década pós-soja. Essas alterações foram mais significativas para as temperaturas mínimas. Como a razão de mistura não mostrou alteração, seria interessante investigar esse parâmetro por horários, que talvez mostrasse algum sinal da mudança sentida pelas temperaturas.

- Analisamos neste trabalho a influência da ação antrópica sobre o clima da Cidade de Chapadinha através da introdução do cultivo da soja. A análise estatística mostrou através das duas técnicas os parâmetros afetados pela substituição da vegetação do cerrado por soja.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Ministério da Agricultura e Abastecimento do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Coordenação de Modelagem Numérica – CMN, Serviço de Processamento da Informação – SEPINF pelos dados usados neste trabalho.

6. Referências

- Correia, M. F.; Silva Dias, M. A. F. and Aragão, M. R. S. (2006). Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho Lake area. Part one: an observational analysis. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 94, p. 103–113.
- Davidson, E. A.; Araújo, A. C.; Artaxo, P.; Balch, J. K.; Brown, I. F.; Bustamante, M. M. C.; Coe, M. T.; Defries, R.; Keller, M.; Longo, M.; Munger, J. W.; Schroeder, W.;

- Soares-Filho, B. S.; Souza JR, C. M. & Wofsy, S. C. (2012). The Amazon basin in transition. *Research Review*, 19 January, vol. 48 1, | N A T U R E, p. 321-328.
- Grimm, A. M. (1988). Verificação de Alterações Climáticas na Área do Lago de Itaipú: V Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007).
- IBGE-SIDRA – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Sistema IBGE de Recuperação Automática. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: [HTTP://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp). Acesso em: 04/11/2007.
- Marengo, J. A. (1992). Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *Journal of Climatology*, 12 (8), p. 853-863, Dec.
- Murteira, B. J. F. (1990). Probabilidades e Estatística. Editora McGraw-Hill de Portugal Lda.
- Nobre, C. A.; Sellers, P. J.; Shukla, J. (1991). Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, 4 (10), p. 957-988, Oct.
- Presoti, A. E. P. (2008). Avaliação de Impactos Ambientais da Sojicultura em um Ecossistema Aquático da Microrregião de Chapadinha, MA. Dissertação de Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas, São Luiz: UFMA, 117 pp.
- Rao, V. B.; Hada, K. (1990). Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connection with the Southern Oscillation, *Theoretical Applied Climatology*, 42 (2), p. 81-91.
- Sentelhas, P. C.; Pereira, A. R.; Angelocci, L. R. (1998). Meteorologia Agrícola. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 131p. Apostila.
- Trenberth, K. E. (1999). Conceptual framework for changes of climate extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*, 42 (1), p. 9-21, May.
- Uvo, C. (1998). Influence of sea surface temperature on rainfall and runoff in northeast South America: Analises and modelling Ph.D. dissertation, departament of resources Engineering Lund University, Lund, Sweden, 120 pp.