

# Caracterização e Regionalização das Chuvas na Transição do Semiárido no Sul do Piauí

## RESUMO

---

O presente trabalho parte da necessidade de conhecer com maior detalhe o comportamento espaço-temporal das chuvas em áreas já comprometidas naturalmente com a sazonalidade das chuvas. Identifica áreas homogêneas de chuva em uma região de transição de Semiárido ao sul do Piauí onde as suas anomalias apresentaram um padrão complexo de distribuição espaço-temporal. Também se identificaram padrões de distribuição das tendências de aumento e diminuição de chuva. Assim, as ocorrências de anomalias e tendências de chuva somadas ao caráter variável destas, tanto intra como interanual, tornam algumas áreas homogêneas mais vulneráveis em termos de exposição às condições climáticas. O trabalho concluiu que a ausência da compreensão dessa complexidade pode levar a uma análise superficial em termos de caracterização climática e seus determinantes na região, fragilizando os tomadores de decisão na implementação de políticas públicas cientificamente embasadas. Como consequência, segmentos sociais mais fragilizados, como os agricultores familiares, têm sua vulnerabilidade mais acentuada.

## PALAVRAS-CHAVE

---

Vulnerabilidade. Anomalias de chuva. Tendências de chuva. Sistemas produtivos de subsistências.

### Raquel Fetter

- Formada em Ciências Biológicas e Mestra em Ecologia pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus de Erechim.
- Doutoranda em Geografia pela Universidade de Brasília (UNB).
- Bolsista do Centro de Desenvolvimento Sustentável da UnB.

### Carlos Hiroo Saito

- Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), formado em Análise de Sistemas pela PUC/RJ.
- Mestre em Educação pela Universidade Federal Fluminense
- Doutorado em Geografia pela UFRJ
- Professor do Departamento de Ecologia da UNB.
- Bolsista do CNPq

### Carlos Henke de Oliveira

- Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR)
- Mestre em Ecologia e Recursos Naturais pela UFSCAR.
- Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais pela UFSCAR.
- Pós-doutorado com o tema “Educação Ambiental por Meios Interativos”.
- Professor adjunto do Departamento de Ecologia da UNB.

## 1 – INTRODUÇÃO

A influência do clima foi, por muito tempo, considerada como determinante do sucesso ou do fracasso de muitas civilizações. No entanto, compreender as diferentes formas com que o clima afeta as atividades humanas implica não somente em conhecer o comportamento dos principais elementos que controlam o clima em determinado lugar e as possíveis causas naturais ou antrópicas que regem esse comportamento mas, também, as respostas do sistema humano diante das peculiaridades climáticas locais.

A seca se destaca dentre as adversidades meteorológicas que podem afetar o homem (BLAIN; KAYNAO, 2011). No entanto, a sua definição é altamente sensível a escala. No nível regional, a seca é representada pela quantidade de chuvas e de evapotranspiração, o que a caracteriza como um fenômeno puramente climático, ao passo que, na escala local, a seca é um fenômeno tanto climático como socioeconômico, já que duas famílias diferentes podem sentir seus efeitos também de formas diferentes (FINAN; NELSON, 2001). Além desse fenômeno, há muito tempo conhecido e estudado no Semiárido brasileiro, a região sofre constantemente com os efeitos do comportamento variável das chuvas no espaço e no tempo. Em intervalos de anos, e até mesmo décadas, ciclos de fortes estiagens e secas costumam atingir a região, além de ser frequente a ocorrência de veranicos durante a estação chuvosa, que, dependendo da intensidade e duração, provocam fortes danos às culturas de subsistência (MARENGO, 2008).

Para compreender a variação dos impactos climáticos sobre as populações locais em relação às diferentes formas com que se manifestam os fenômenos climáticos, foi criado o conceito de vulnerabilidade (LIVERMAN, 1990; DAVIES, 1996; RIBOT; MAGALHÃES; PANAGIDES, 1996; WATTS, 1983; CORBETT 1988), e seu principal objetivo é contornar as dificuldades associadas à mitigação e ao combate dos efeitos das anomalias climáticas (BLAIN; KAYNAO, 2011; FINAN; NELSON, 2001).

Muitos conceitos foram desenvolvidos para a vulnerabilidade, na tentativa de compreender a totalidade das interações entre os sistemas ambiental e

humano e os mais atuais culminam para uma proposta semelhante ao que Adger (2006) sugere, na qual a vulnerabilidade representa o estado de susceptibilidade a danos causados por exposição a pressões associadas às mudanças ambientais e sociais e de ausência de capacidade de adaptação. Segundo o autor, os principais parâmetros que a compõem são o estresse ao qual um sistema é exposto, a sua sensibilidade e a sua capacidade de adaptação. A exposição é a natureza e o grau em que um sistema sofre de estresse ambiental ou sociopolítico, sendo que as características dessas tensões incluem tanto a sua magnitude quanto a frequência, a duração e a extensão da área atingida (BURTON; KATES; WHITE, 1993). A *sensibilidade* representa o grau em que um sistema é modificado ou afetado por perturbações (ADGER, 2006) e a *capacidade adaptativa* representa a habilidade dos sistemas socioecológicos em administrar, acomodar e se recuperar de eventuais distúrbios ambientais (SMIT; WENDEL, 2006).

A perspectiva interdisciplinar de estudar a vulnerabilidade do Semiárido brasileiro é o foco do grande projeto a que está vinculada esta pesquisa. A sub-rede “Mudanças climáticas e desenvolvimento regional” coordenada pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília e parte da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas (Rede Clima) é responsável pelo projeto “Mudanças climáticas, produção e sustentabilidade: vulnerabilidade e adaptação em territórios do Semiárido”. Esse projeto tem por objetivo identificar a percepção das populações locais e dos formuladores de políticas públicas quanto aos impactos das mudanças climáticas na sustentabilidade do desenvolvimento dos territórios produtivos no Semiárido brasileiro, com foco na análise de vulnerabilidade e adaptação desses sistemas.

A variação das chuvas na região e as implicações para os sistemas produtivos já são conhecidas e internalizadas nas políticas e ações do governo; no entanto os padrões em que se manifestam essas variações no espaço e no tempo demandam de análises precisas sobre as peculiaridades locais. Na perspectiva de compreender o fenômeno das chuvas a que os sistemas produtivos familiares estão expostos, o presente trabalho buscou caracterizar e regionalizar o comportamento espaço-temporal das

chuvas em duas microrregiões geográficas no sul do Estado do Piauí, na transição do Semiárido brasileiro, a fim de contribuir para a análise da vulnerabilidade no que tange à componente exposição nas demais etapas do projeto.

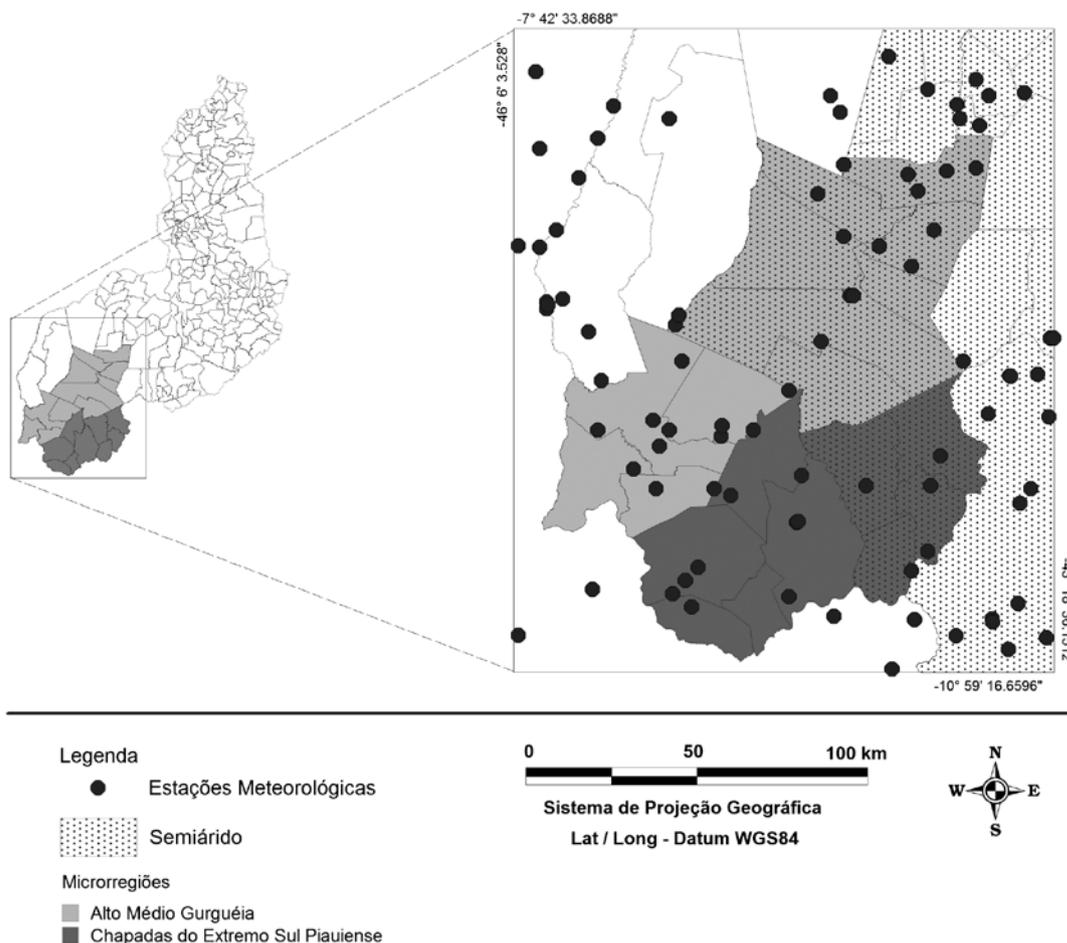
A regionalização pretendida nesse trabalho se aproxima mais da escala do lugar, ao qual é atribuído muito mais que um sentido geográfico de localização, portanto, de experiência e envolvimento com o mundo (RELPH, 1979) onde se manifestam as dimensões simbólicas, emocionais, culturais, políticas e biológicas dos indivíduos (BUTTIMER, 1985). Para Turner et al. (2003), é na escala do lugar que se torna mais óbvia a necessidade de encontrar métodos para operacionalizar a análise da vulnerabilidade, que são úteis para as especificidades do local, e onde há maior potencial para o aumento da participação pública. Além disso,

há a necessidade de compreender as características dos fenômenos em escalas diferentes para avaliar a pertinência das medidas utilizadas nos processos de tomada de decisão nas escalas adequadas (ISNARD; RACINE; REYMOND, 1981).

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

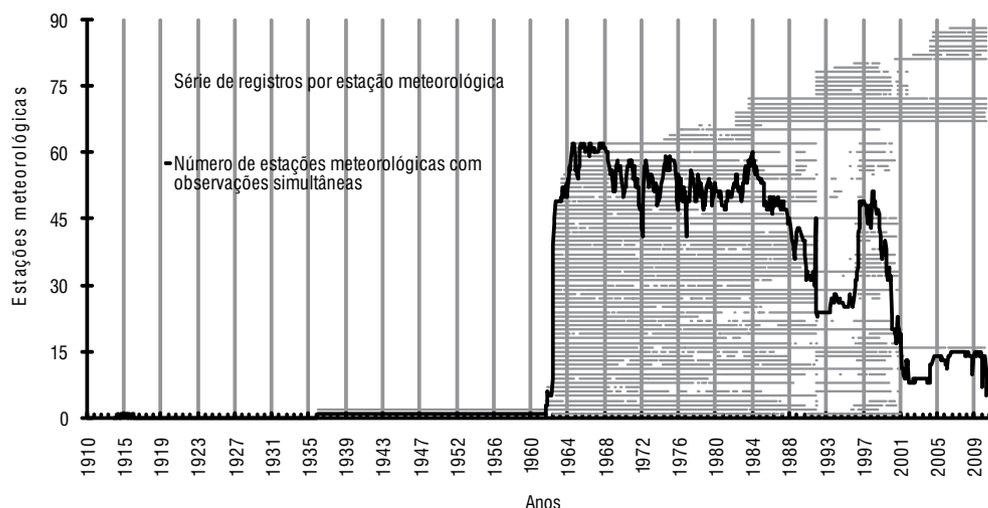
### 2.1 - Área de estudo

A área de estudo corresponde às Microrregiões Alto Médio Gurgueia e Chapadas do Extremo-sul Piauiense no Estado do Piauí, situadas na transição para o Semiárido, entre as coordenadas  $-46^{\circ}7'30.7020''\text{O}$  e  $-7^{\circ}42'38.4336''\text{S}$  e  $-43^{\circ}16'59.3292''\text{O}$  e  $-10^{\circ}58'55.5744''\text{S}$ , com uma área total de 111.628,5  $\text{km}^2$  (Figura 1).



**Figura 1 – Localização das Estações Meteorológicas na Área de Estudo e a Abrangência do Semiárido**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



**Figura 2 – Quantidade e Período de Funcionamento das Estações Meteorológicas Utilizadas na Pesquisa**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Foram obtidos registros históricos de precipitação diária da Agência Nacional de Águas para um conjunto de 88 estações meteorológicas disponíveis na área de estudo (Figura 1). O período de análise selecionado foi de 1963 a 2010 (Figura 2), o qual corresponde a um significativo conjunto de registros, num total de 48 anos. Ao longo de toda a série, ocorrem interrupções nos registros e, a partir da década de 1990, a maioria das estações meteorológicas encerrou seu funcionamento. Dessa forma, os dados foram submetidos à análise de consistência e interpolação geostatística.

A análise de consistência foi realizada segundo Fetter, Henke-Oliveira e Saito (2012), a qual se baseou em rigorosa análise dos limites pluviométricos inferiores e superiores para o Semiárido brasileiro, sendo considerados consistentes os registros diários inferiores a 100mm, inconsistentes os registros diários superiores a 350mm e suspeitos os registros que se encontravam entre esses valores e que diferiram em mais de 10 vezes da média pluviométrica para o período analisado nas 10 estações meteorológicas mais próximas.

As lacunas nas séries mensais foram preenchidas por interpolação espacial pelo método de krigagem,

desenvolvido por Daniel Krige em 1950 (KRIGE, 1951) e que fornece estimadores com propriedades de não-tendenciosidade para estimar o valor de um atributo em uma posição  $x$  não amostrada a partir de um conjunto de amostras. Foi utilizado o método de krigagem ordinária, em que as médias locais não são necessariamente próximas à média da população, usando-se os pontos vizinhos para a estimação. Foram utilizadas cinco referências por quadrante, que estivessem a uma distância inferior a 500 quilômetros da estação meteorológica a ter o valor de pluviosidade estimado.

Após a análise de consistência, foram desenvolvidas análises de agrupamento, tendências e anomalias nos eventos de chuva, cujos resultados foram espacializados no SIG MapInfo 9.0 e gerados mapas temáticos. Os procedimentos são descritos a seguir.

### 3 – IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS HOMOGÊNEAS DE CHUVAS

As áreas homogêneas (AH) de chuva foram definidas pelo método hierárquico de aglomeração de Ward (1963), que utiliza a distância euclidiana

como medida de similaridade e tende a resultar em agrupamentos de tamanhos aproximadamente iguais devido à minimização de variação interna e em cada estágio da análise. Em cada um desses estágios, a ligação entre os grupos considera o menor aumento na soma global de quadrados dentro dos agrupamentos. (HAIR et al, 2005). As áreas homogêneas foram definidas de acordo com a relação entre a quantidade e a variabilidade de chuvas, ou seja, na variação conjunta das chuvas no conjunto de estações meteorológicas que as compõe.

### 3.1 – Identificação de Anomalias nas Chuvas das Áreas Homogêneas

Na análise das anomalias de chuva, foi utilizado o Índice Padronizado de Precipitação (SPI – *Standardized Precipitation Index*), desenvolvido por McKee, Doesken e Kleist (1993) para quantificar o déficit ou o excesso de precipitação no tempo e no espaço. O índice considera a natureza estocástica da seca e é, portanto, uma boa medida de secas meteorológicas de curta e longa duração, permitindo também a comparação entre locais e climas diferentes. No cálculo do SPI, a série histórica é ajustada a uma distribuição normal, de média zero ( $\mu = 0$ ) e desvio padrão um ( $\sigma = 1$ ). Tecnicamente o índice é um número, sendo o resultado da diferença entre o valor da precipitação em um determinado intervalo de tempo e o valor médio histórico da precipitação para o mesmo intervalo de tempo, dividido pelo desvio padrão. (MCKEE; DOESKEN; KLEIST, 1993). Por ter uma distribuição normal, estatisticamente, os eventos extremos de seca ou chuvas são representados pelas caudas esquerda e direita da distribuição e abrigam cada uma, aproximadamente, 2,5% dos eventos.

Neste estudo, o SPI foi calculado mensal e anualmente para as AHs e classificados de acordo com a Tabela 1.

### 3.2 – Identificação de Tendências nas Chuvas das Áreas Homogêneas

Para a avaliação da tendência climática, foi utilizado o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall ( $\tau = \text{tau}$ ), desenvolvido por Mann (1945) e Kendall (1975). O teste considera que, na hipótese

**Tabela 1 – Valores de SPI e Classificação dos Eventos de Anomalias de Chuvas**

Valor de SPI	Severidade da seca
$\geq 2,00$	Chuva extrema
1,99 a 1,50	Chuva severa
1,49 a 1,00	Chuva moderada
0,99 a - 0,99	Normal
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
$\leq -2,00$	Seca extrema

Fonte: Adaptado de McKee et al. (1993).

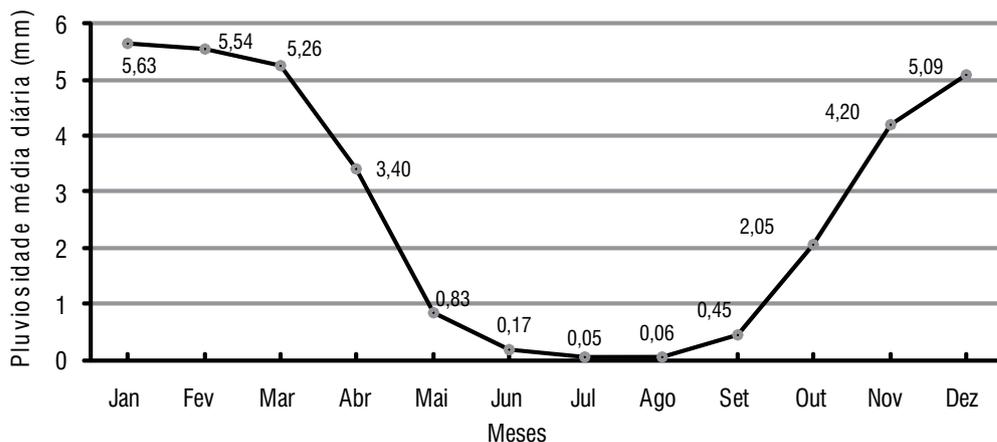
de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma aleatória (SNEYERS, 1975) e, assim, cada valor de dados é comparado com todos os valores de dados subsequentes. O valor inicial da estatística de Mann-Kendall é assumido como sendo  $\tau = 0$ , ou seja, sem nenhuma tendência. Se um valor de dados a partir de um período de tempo mais tarde é maior do que um valor de dados a partir de um período de tempo antes,  $\tau$  é incrementado por um. Por outro lado, se o valor de dados a partir de um período de tempo mais tarde é menor do que um valor de dados amostrados anteriormente,  $\tau$  é decrementado de 1. O resultado líquido de todos os incrementos e decrementos produz o valor final de  $\tau$ . No presente trabalho a análise de tendência foi calculada anual e mensalmente para as AHs e o nível de confiança adotado foi de 0,05.

## 4 – RESULTADOS

A média anual de chuvas na região foi de 945,3mm com média diária de 2,58mm. O período compreendido entre novembro e abril é considerado o mais chuvoso (Figura 3), com as médias diárias de chuva alcançando os maiores valores em janeiro, fevereiro e março. No mês de maio, as chuvas já atingem valores abaixo de 0,829 mm/dia, sendo que os valores mais baixos são registrados para julho e agosto (0,051 e 0,064 mm/dia). Em outubro, as médias diárias iniciam um aumento, com valores acima de 2,45 mm/dia.

### 4.1 – A Identificação de Áreas Homogêneas

A análise de agrupamento possibilitou a identificação de 13 Áreas Homogêneas (AH) (Figura



**Figura 3 – Pluviosidade Média Diária para os Meses do Ano**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

4), onde a análise anual dos dados revela um gradiente aumento das chuvas no sentido leste-oeste.

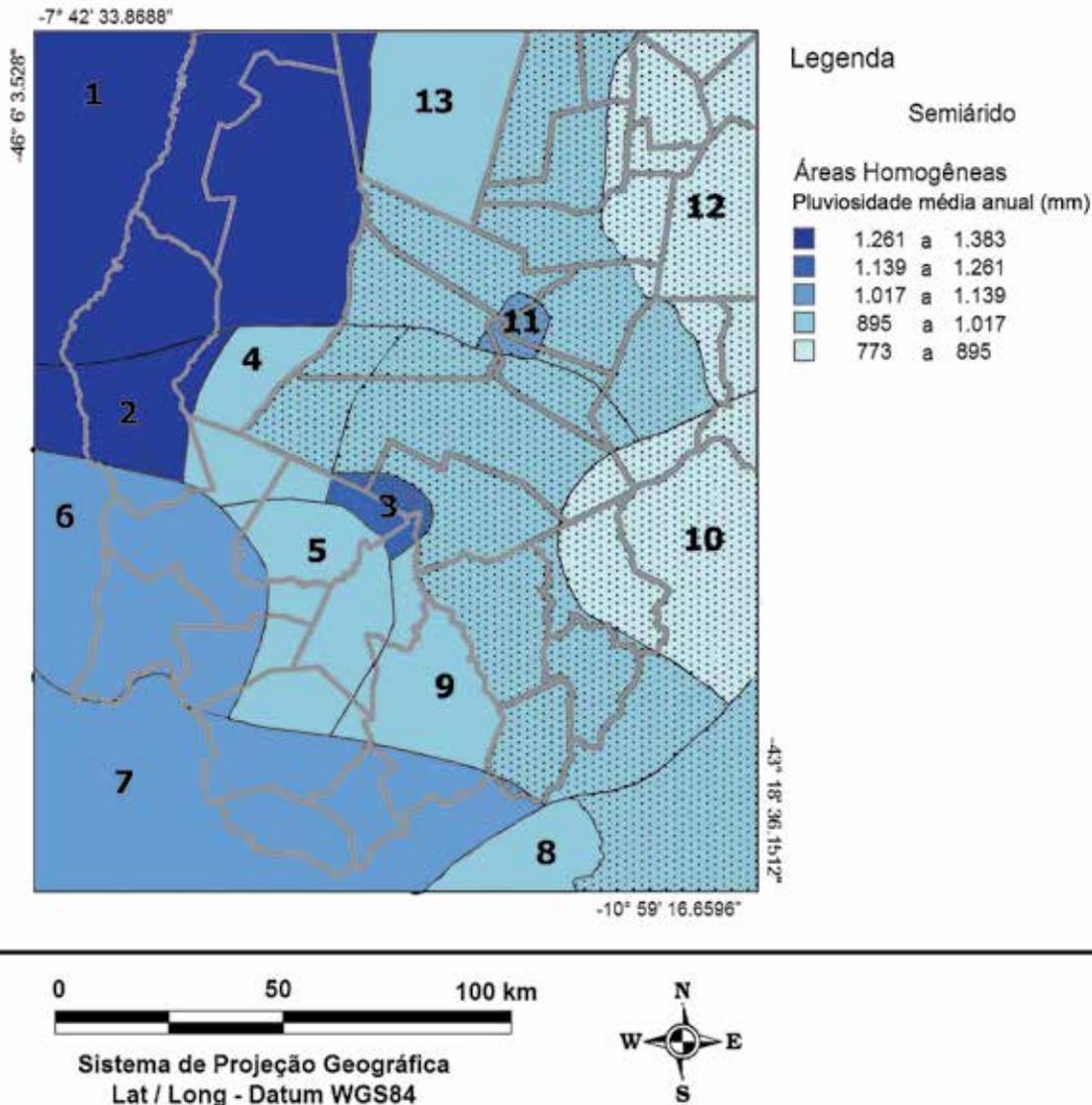
Os pontos de corte para a definição de grupos considerou uma distância euclidiana de valor 300, devido aos valores inferiores a este manifestarem muitas expressões locais. O resultado foi a identificação de AH com extensão entre 6,5km<sup>2</sup> e 31,8km<sup>2</sup>, que, de acordo com a taxonomia proposta por Ribeiro (1993), compreenderia as características de mesoclima, entre 1,5 a 800 quilômetros, o qual seria afetado tanto por feições fisiográficas, com destaque para o relevo como também pelas modificações decorrentes das atividades antrópicas, com destaque para a alteração da cobertura do solo e composição da atmosfera. Além disso, a identificação de 13 AHs é resultado da resolução espacial mais adequada aos objetivos dessa pesquisa de gerar agrupamentos capazes de mostrar diferenças intra e intermunicipais nos padrões de chuva. Em alguns casos as AHs abrangeram diversos municípios e, em outros, um único município foi dividido em mais de uma AH.

Essa discussão sobre quão benéfica pode ser essa abordagem de identificação de áreas homogêneas de chuva vai de encontro às afirmações de Ayoade (2012), o qual salienta que, apesar de as classificações das escalas do clima serem artificiais, pois lhes são impostas ordens ou fronteiras, são pertinentes em

termos de gestão dos territórios, já que a interface clima/sociedade pode ser considerada em termos de ajustamento em que, em certos locais e num período de tempo, pode ocorrer a diminuição desse ajuste. No entanto, devido ao caráter dinâmico do clima e as suas flutuações variarem com o tempo, isso implica que as fronteiras definidas pelas AHs, aqui identificadas, também flutuarão e que, da mesma forma, as estratégias de gestão devem considerar as demandas espacialmente localizadas e as suas manifestações no tempo em detrimento de classificações rígidas do comportamento da chuva, considerada o elemento climático mais importante para a região.

#### 4.2 – O SPI para as Áreas Homogêneas

Embora a variabilidade seja uma componente conhecida da dinâmica climática, seu impacto, mesmo dentro dos limites esperados, pode ter reflexos significativos nas mais diversas atividades humanas. Além disso, as sociedades e os recursos tecnológicos estão relativamente adaptados a certo nível de variabilidade climática, além do qual as anomalias podem provocar profunda desestruturação no sistema ambiental e socioeconômico (NUNES; LOMBARDO, 1995). Dessa forma, a identificação dos momentos em que eventos anormais de precipitação ocorreram pode auxiliar na identificação e interpretação das ocorrências e padrões no espaço e no tempo.



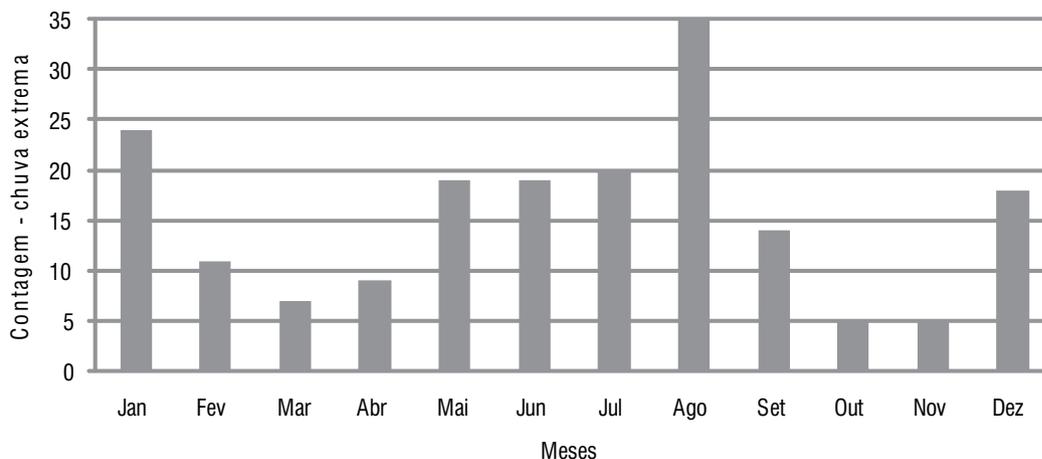
**Figura 4 – Localização dos Municípios nos Perfis de Chuva das Áreas Homogêneas e no Semiárido Brasileiro**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

A maioria dos eventos de *chuva extrema* ocorreu em agosto e janeiro, representativos da estação seca e chuvosa, seguidos de julho, maio, junho e dezembro, os três primeiros representativos da estação seca e, o último, da estação chuvosa (Figura 5). Do total, 60,2% das *chuvas extremas* ocorreram na estação seca e 39,8% na estação chuvosa.

É importante salientar que eventos de *chuva extrema* podem causar impactos, assim como os de seca. Tomemos o mês de janeiro como exemplo. Conforme o período em que se iniciarem as chuvas e da mesma forma o plantio, janeiro é um mês em

que pode estar-se iniciando o desenvolvimento das plântulas, as quais, mais sensíveis aos impactos mecânicos, podem ser danificadas, soterradas e até mesmo levadas por enxurradas. No entanto, os eventos mais extremos de chuva ocorrem nos meses de julho, junho e agosto o que não quer dizer que os impactos de uma chuva de grande magnitude durante a estação seca traga apenas impactos positivos, diante da sua escassez. A princípio, os mesmos impactos mecânicos podem causar perdas, por exemplo, para as culturas irrigadas. Esse dado por si só desperta interesse, pelo fato de que a maior parte das chuvas extremas



**Figura 5 – Ocorrências de Eventos de Chuva Extrema nos Meses do Ano (1963 a 2010)**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

ocorre “fora de época”, o que pode significar que tanto os agricultores como os gestores públicos sejam surpreendidos e estejam despreparados para tomar tanto medidas preventivas como mitigadoras.

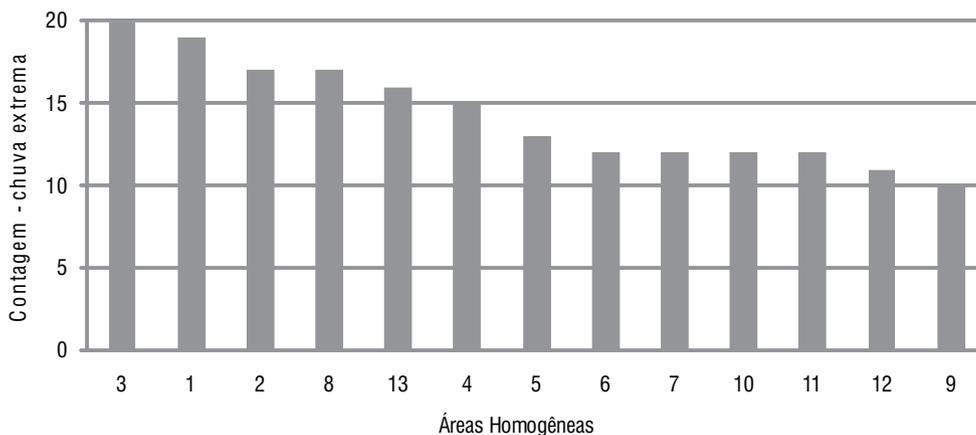
No entanto, devido aos eventos estarem relacionados tanto com a escala temporal como com a escala espacial, ao evidenciar que um fenômeno extremo se manifesta com maior frequência ou intensidade em um determinado mês do ano, na realidade, existe uma correspondência espacial com as AHs. Assim, a possibilidade de localizar as ocorrências privilegiadas de chuvas extremas em algumas AHs permite restringir o foco das atenções para áreas espacialmente delimitadas, favorecendo a otimização de medidas de caráter preventivo, assim como o planejamento e revisão de apoios financeiros a agricultores dessas localidades.

A distribuição espacial das *chuvas extremas* indica maiores ocorrências para as AHs 3, 1, 2, 8 e 13, sendo que 1, 2 e 13 são próximas e 1 e 2 apresentam os maiores índices pluviométricos e, as demais, valores intermediários. Apesar de a AH 8 estar mais distante das demais, no geral, observa-se um padrão de comportamento espacial em que grupos de AHs próximas apresentaram-se relativamente parecidas

em termos de quantidade de ocorrências, apesar de esses grupos apresentarem muitas vezes grandes diferenças entre si, como é o caso das AHs 3 e 9, em que a primeira apresentou o dobro de ocorrências em relação à segunda, localizada imediatamente ao lado. Essas são possíveis evidências de uma relação mais complexa das chuvas no espaço e no tempo.

A maioria dos eventos de *seca extrema* ocorreu em outubro, abril e novembro, período de início e final das chuvas, num total de 41.6% dos eventos. No entanto, as ocorrências mantiveram-se elevadas durante toda a estação chuvosa (59%), com exceção do mês de dezembro (Figura 7). Diante do impacto que as secas extremas podem causar na produção de alimentos, a compreensão das suas manifestações no espaço e no tempo compõe informação estratégica, sobretudo diante da possibilidade de que tais eventos venham a coincidir com fases críticas do desenvolvimento das culturas.

O déficit hídrico em meses de transição pode ter implicações para o estabelecimento das culturas e principalmente se estiver associado a veranicos, caracterizados por períodos de interrupção da precipitação durante a estação chuvosa. (CARVALHO et al., 2000). Mesmo ao longo da estação chuvosa, a recorrência de *secas extremas*, ou seja, de chuva



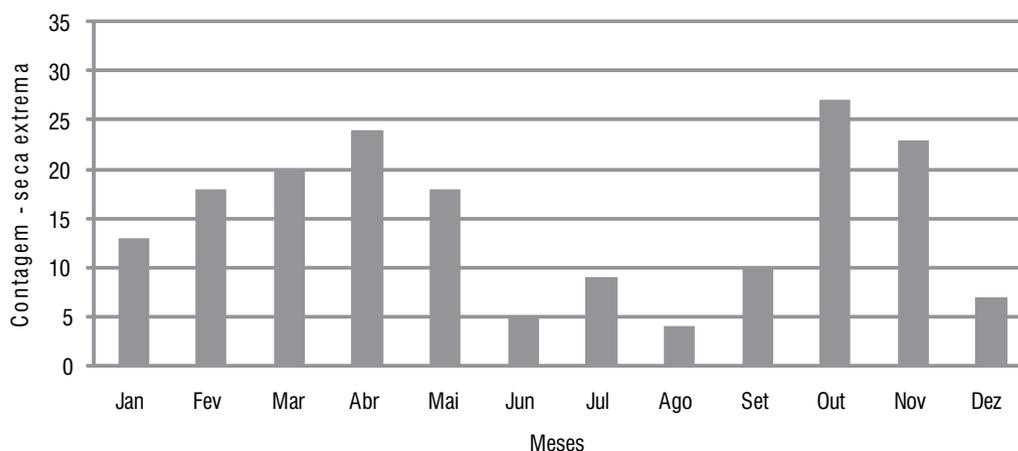
**Figura 6 – Ocorrências de Eventos de Chuva Extrema nas Áreas Homogêneas (1963 a 2010)**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

muito abaixo da média para o período, também pode ter implicações tanto sobre a quantidade quanto sobre a qualidade dos produtos coletados.

As AHs 7, 5, 10, 12 e 8 apresentaram as menores ocorrências em relação às demais, sendo que 10 e 12 são próximas e apresentam os menores índices

pluviométricos da área de estudo e, as demais, valores intermediários. Dentre as AHs com maiores ocorrências de secas extremas estão a 2, com um dos maiores índices pluviométricos, e as AHs 11, 9 e 13, com valores intermediários, as quais compreendem um *continuum* espacial na região central da área de estudo. A AH 3, também pertencente a esse *continuum*,



**Figura 7 – Ocorrências de Eventos de Seca Extrema nos Meses do Ano (1963 a 2010)**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

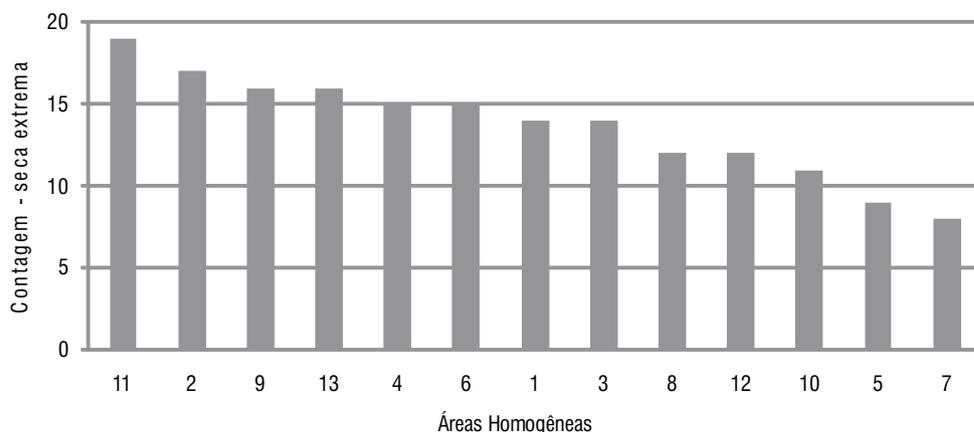
destacou-se com os maiores valores de *seca extrema*, nos meses de janeiro, fevereiro e março, enquanto, nos meses de junho, julho e agosto os eventos são menos frequentes para praticamente todas as AHs.

As demais categorias de SPI, desde os eventos normais até os eventos de seca e chuva severa, ocorrem tanto em meses da estação chuvosa como em meses da estação seca.

Em relação aos eventos *extremos*, esses ocorreram de forma bem distribuída no espaço ao longo de cada ano, sendo que esses fenômenos apresentam particularidades para cada mês, seja da estação seca, seja da estação chuvosa. Nos anos de 2001, 2009, 1985, 2004, 1980 e 1989 o número de ocorrências de chuva extrema nas AHs foi consideravelmente mais elevado, enquanto, em 2001, 1985, 1975 e 1969, ocorreram os eventos mais extremos. Em relação aos eventos de seca extrema, os anos de 2002, 1983, 1982, 1990 e 1981 se destacam com o maior número de ocorrências nas AHs, enquanto, em 1964, 1983, 1968, 2009, 1999, 2010, 1969, ocorreram as secas mais extremas. Esses dados mostram que não existe um padrão linear de aumento ou de declínio e a investigação das causas dessas oscilações e a detecção de eventual periodicidade fogem do escopo do presente trabalho.

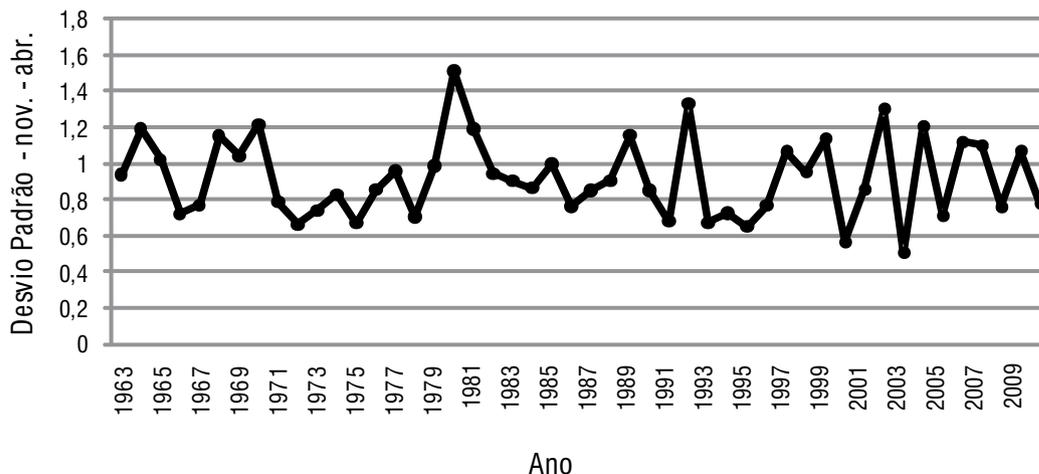
Mudanças na distribuição espacial das chuvas, principalmente na estação da chuva, pode ter implicações sobre as estratégias de adaptação regionais; daí, a necessidade de avaliar a homogeneidade das anomalias entre as AHs. Como apresentado na Figura 9, o desvio padrão dos valores de SPI para os meses chuvosos é maior em relação ao meses de seca apresentados na Figura 10, demonstrando maior heterogeneidade espacial no período chuvoso, onde grandes diferenças nos valores de SPI são registradas entre as AHs, sejam elas próximas ou distantes. Enquanto isso, os valores de desvio padrão na estação seca mantiveram-se baixos e com poucas variações indicando maior homogeneidade espacial, onde são registradas poucas diferenças nos valores de SPI entre as AHs, quando comparadas com os meses chuvosos. Essas oscilações estão presentes ao longo de toda a série de análise, ano após ano, e não houve tendência de mudança nesse cenário.

Dos eventos extremos que atingiram a região, os de chuva foram os mais importantes em termos estatísticos, com valores de SPI acima de 4,5, enquanto os maiores valores de SPI para seca foram de -3,9. No entanto, o efeito ou os prejuízos desses eventos de chuva sobre as culturas não necessariamente refletem os mesmos efeitos que as secas extremas, sendo que a interpretação dos



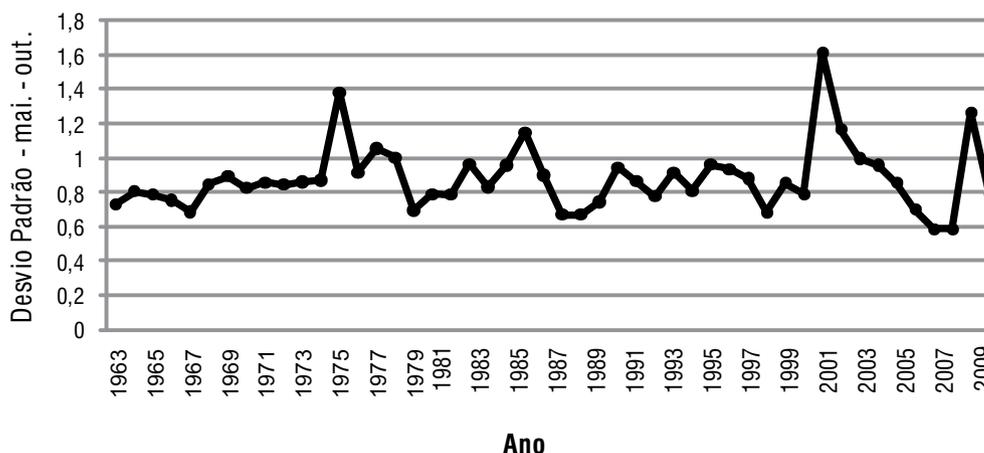
**Figura 8 – Ocorrências de Eventos de Seca Extrema nas Áreas Homogêneas (1963 a 2010)**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



**Figura 9 – Desvio Padrão dos Valores de SPI (adimensional) para os Meses da Estação Chuvosa**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



**Figura 10 – Desvio Padrão dos Valores de SPI (Adimensional) para os Meses da Estação Seca**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

impactos desses fenômenos deve ser considerada em termos de necessidade fisiológica das plantas e de impactos mecânicos. A disponibilidade de água, ao se aproximar da necessidade mínima, tende a ser um fator limitante para o metabolismo das plantas; além disso, os limites de tolerância em indivíduos em fase de reprodução, como as plântulas geralmente

são mais estreitos do que para as plantas adultas (ODUM, 1988). Já o excesso de água da forma que se tem manifestado em eventos isolados de chuva, primeiramente, gera efeitos mecânicos sobre as plantas, como o arrasto e soterramento. Para ambos os casos, há a necessidade de identificar a frequência de ocorrências desses eventos no espaço e no tempo

e a correspondência com os meses de plantio como já destacado anteriormente.

É fundamental a consciência de que a vulnerabilidade se baseia em um sistema multifacetado operando em diferentes escalas espaço-temporais e que, geralmente, envolve processos estocásticos e não-lineares. (TURNER et al, 2003). É esse o caso que se observa nos dados de exposição às chuvas da região, em que eventos extremos podem ser identificados na escala intra-anual, mas não na escala interanual. Deixar de considerar este contexto pode levar à perda de oportunidades de resposta, além de significativas consequências (TURNER et al, 2003) para os sistemas produtivos de subsistência da região.

### 4.3 – As Tendências de Chuva nas Áreas Homogêneas

O teste de Mann-Kendall fornece a tendência positiva ou negativa dos totais de precipitação para um determinado período, mas não indica a ordem de grandeza da tendência encontrada em termos de significância estatística. O que pode ser observado é a proporção entre aumentos e diminuições de chuva que ocorreram ao longo da série histórica, ou seja, o quanto a frequência de aumentos (independente do quanto aumentou) ocorreu em relação à frequência de diminuições e vice-versa. O  $\tau$  (tau), que representa o valor do teste, é uma medida de força da tendência. No caso do mês de junho, na AH E, o  $\tau$  resultou em um valor de -0,33. Isso equivale a dizer que, do total de possibilidades de comparações entre anos distintos (não necessariamente em sequência), observamos um número de diminuições de chuva 33% superior ao número de aumentos. Dessa forma, as análises de tendência foram realizadas para cada AH mensal (12 meses x 13 AHs = 156 casos) e anualmente (13 AHs = 13 casos), de forma que fossem obtidas tendências no tempo.

Na análise anual para as AHs, foi identificada tendência de diminuição das chuvas para as AHs2 e 11, as quais se encontram espacialmente isoladas entre si e, a princípio, não permitem qualquer suposição sobre tal diminuição até que estudos mais específicos dos fenômenos geográficos e atmosféricos sejam realizados. Na análise mensal, foram identificadas tendências de diminuição das chuvas

para 9AHs (2, 6, 11, 4, 5, 3, 13, 8 e 12) em 5 meses (jan., fev., abr., out. e nov.), num total de 13 casos e tendência de aumento de chuvas para 2 AHs (2 e 5) para o mês de julho, totalizando 2 casos (Tabela 2).

As tendências de diminuição de chuva ocorrem em janeiro e fevereiro na AH 2, os meses com maiores índices pluviométricos; em novembro e abril, meses que marcam o início e final das chuvas; e em outubro. Novembro apresentou 7AHs (2, 4, 5, 3, 13, 8 e 12) com tendências de diminuição, indicando possíveis atrasos no início das chuvas de abril, mês que marca o final das chuvas. Também apresentou tendência a diminuição para 3AHs (2, 11 e 6) indicando possíveis antecipações do final das chuvas.

As tendências de diminuição do período de chuvas para as AHs podem apresentar sérias implicações para os sistemas produtivos, seja nos meses que marcam o início do período chuvoso, em que o agricultor mobiliza-se para iniciar suas atividades no campo, desde a preparação da terra até o início do plantio, seja na estação chuvosa, na qual as chuvas precisam manter-se contínuas para o crescimento das culturas.

Enquanto isso, no mês de julho, ocorreu tendência de aumento de chuvas nas AHs2 e 3, sendo que a primeira chama a atenção por estar entre as AHs que apresentaram tendências negativas para vários meses da estação chuvosa e para o único mês da estação seca com algum tipo de tendência. A AH 2 está localizada fora da região semiárida e possui o maior índice pluviométrico da área de estudo (entre 1.260 e 1.390mm). Quando considerada a porção inserida no Semiárido, observam-se apenas tendências negativas de chuva para o mês de novembro.

As tendências identificadas somadas ao caráter variável e imprevisível das chuvas na região podem desencadear perdas consideráveis e, como uma tendência não permite uma interpretação isolada, seu estudo requer um olhar sistêmico sobre o conjunto de características geográficas e climáticas da região e a compreensão de como as suas diversas manifestações são internalizadas pelas políticas de desenvolvimento local.

Como observado até momento, na região de estudo, parcialmente inserida no Semiárido, é

**Tabela 2 – Tendências de Chuva Identificadas em Escala Espaço-Temporal para a Série Histórica de 1963 a 2010 nas Áreas Homogêneas**

Anual	Escala temporal	
	Mensal	
	Dentre 156 casos, somente 13 tendências negativas (8%) e 2 positivas (1%), totalizando 15 casos (9%):	
	Tendências negativas Tendências positivas	
	Janeiro - 2 ( $\tau = -0,20$ )	Julho - 2 ( $\tau = +0,23$ )
	Fevereiro - 2 ( $\tau = -0,23$ )	Julho - 3 ( $\tau = +0,51$ )
	Abril - 2 ( $\tau = -0,21$ )	
Somente 2 dentre as 13 áreas (15%):	Abril - 6 ( $\tau = -0,23$ )	
	Abril - 11 ( $\tau = -0,23$ )	
Tendências negativas	Outubro - 6 ( $\tau = -0,20$ )	
Área 2 ( $\tau = -0,34$ )	Novembro - 2 ( $\tau = -0,26$ )	
Área 11 ( $\tau = -0,22$ )	Novembro - 4 ( $\tau = -0,21$ )	
	Novembro - 5 ( $\tau = -0,21$ )	
	Novembro - 3 ( $\tau = -0,30$ )	
	Novembro - 13 ( $\tau = -0,30$ )	
	Novembro - 8 ( $\tau = -0,20$ )	
	Novembro - 12 ( $\tau = -0,25$ )	

**Fonte:** Elaborado pelos próprios autores.

clara a complexidade das chuvas no espaço e no tempo e, segundo Racine, Rafestin e Ruffly (1983), é fato conhecido que a homogeneidade de um determinado fenômeno no espaço resulta da perspectiva de observação e que, de acordo com a escala, há variações nos seus atributos. No entanto, tão importante quanto saber que as coisas mudam conforme muda a escala é saber como elas mudam e quais os novos conteúdos nas novas dimensões. (CASTRO, 1995).

Foi esse o objetivo que o presente trabalho propôs, permitindo identificar espacialidades que fornecem informações sobre a exposição dos territórios ao fenômeno das chuvas pertinentes à gestão. Na

regionalização, observa-se que algumas AHs estiveram mais expostas que outras e que, alguns municípios apresentaram níveis de exposição diferenciados ao serem compreendidos por mais de uma AH.

Dentre as AHs que mais se destacaram em relação às ocorrências de eventos extremos e tendências de chuvas estão as AHs 2, 3, 11, 13 e 8, distribuídas ao longo de toda a área de estudo e nas quais houve diminuição de chuvas para o mês de novembro e as maiores ocorrências de chuvas extremas. A AH 2, apesar de ser a Área Homogênea com os mais altos índices pluviométricos e apresentar tendência de aumento de chuvas para o mês de julho, apresentou a mais significativa redução do período chuvoso,

com diminuição de chuvas em novembro e abril. A AH 13, dentre as que apresentaram os mais baixos índices pluviométricos, foi a que apresentou maiores ocorrências de eventos de seca e chuva extrema, além de diminuição das chuvas no mês de novembro.

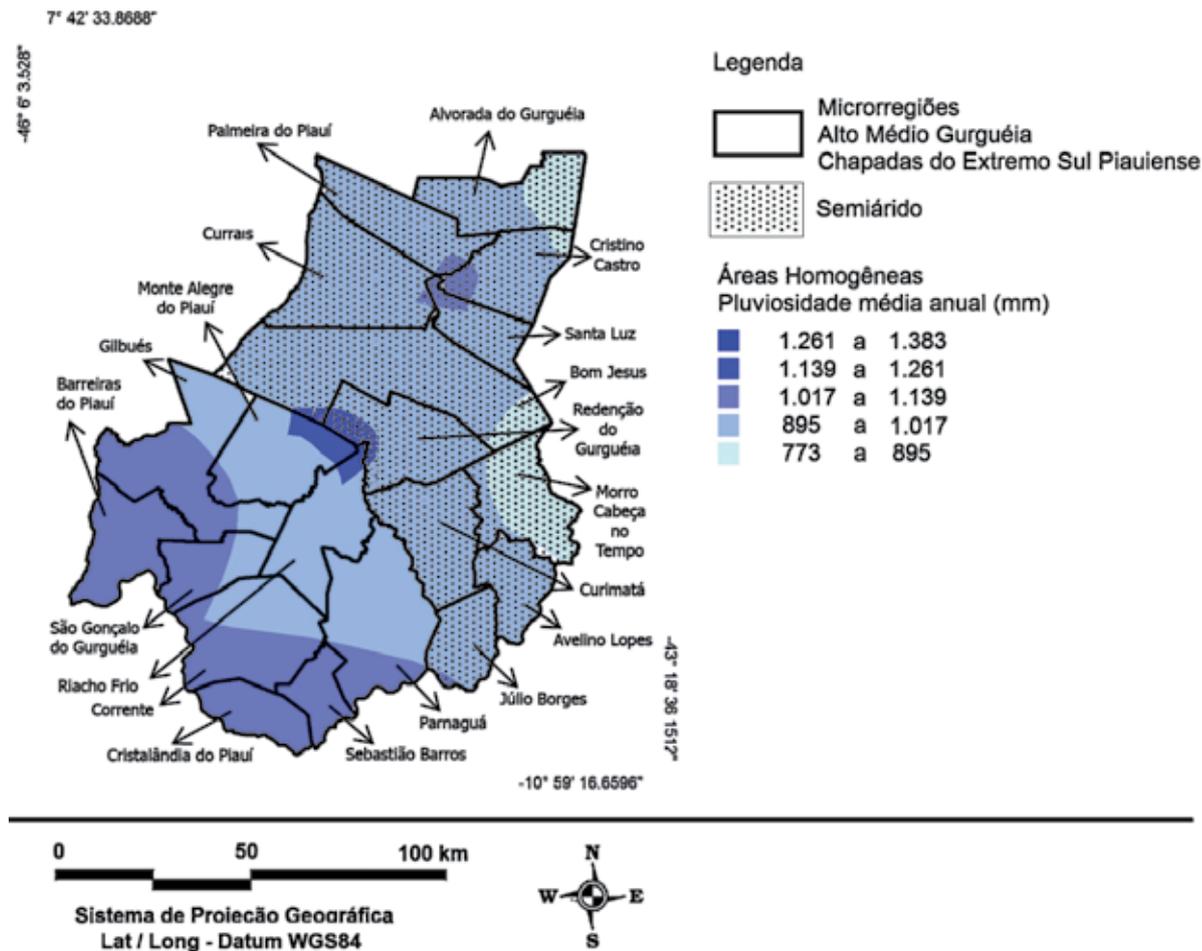
Enquanto alguns municípios permaneceram dentro dos limites de uma única AH, outros, como é o caso de Gilbués, São Gonçalo do Gurgueia, Corrente, Alvorada do Gurgueia, dentre outros, apresentaram parte do seu território em AHs diferentes (Figura 11). Uruçuí e Parnaçuá são exemplos de municípios compreendidos nas mesmas AHs que outros municípios pertencentes ao Semiárido (AHs 13 e 9).

Ou seja, a identificação de AH nesta pesquisa revela espacialidades distintas onde as ações da esfera

pública carecem de uma análise adequada tanto do ponto de vista disciplinar (climatologia geográfica) como do ponto de vista interdisciplinar, tal que supere os desafios de articulação interescalares, permitindo o fortalecimento dos sistemas produtivos de subsistência pela capacidade de se adaptarem a essas condições particulares.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou que as Microrregiões Alto Médio Gurgueia e Chapadas do Extremo-sul Piauiense apresentam-se internamente diversificadas em termos de padrões climáticos com áreas homogêneas de chuva peculiares em relação às ocorrências de eventos anômalos e tendências no tempo, mostrando, assim,



**Figura 11 – Localização dos Municípios das Microrregiões Alto Médio Gurgueia e Chapadas do Extremo-Sul Piauiense nas Áreas Homogêneas e no Semiárido**

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

evidências de uma relação espaço-temporal mais complexa e que carece de maior aprofundamento para a compreensão de sua dinâmica.

Apesar do conhecimento atual de alguns padrões regionais das chuvas na região Nordeste brasileira. (KAYANO; ANDREOLI, 2009), a estratégia de homogeneizar o comportamento das chuvas em pequenas regiões configura-se, portanto, como um instrumento que dá visibilidade à necessidade de uma abordagem que supere os desafios impostos pela escala para o gerenciamento dos sistemas produtivos de subsistência sob condições variáveis de chuva.

A ausência dessa compreensão em termos de padrões e complexidade levam a uma análise superficial e incompleta em termos de caracterização climática e seus determinantes na região, fragilizando os tomadores de decisão na implementação de políticas públicas cientificamente embasadas. Particularmente, devido à severidade das restrições ambientais na região, segmentos sociais mais fragilizados como os agricultores familiares têm sua vulnerabilidade mais acentuada.

## ABSTRACT

This study identified homogeneous areas of rainfall in a transition region of semiarid in south part of Piauí where rainfall anomalies showed a complex pattern of spatial-temporal distribution. It were also identified patterns of distribution of trends about increasing and decreasing of rainfall. Thus, the occurrences of anomalies and trends of rain added to the intra and inter annual variability make some homogeneous areas most vulnerable to climate variations. The study concluded that the lack of understanding of this complexity can lead to a superficial analysis in terms of climate characterization and its determinants in the region, disabling the policy makers of scientifically informed awareness. As consequence, weaker social groups as small farmers have their vulnerability improved.

## KEYWORDS

Vulnerability. Rainfall anomalies. Rain trends. Productive livelihood systems.

## REFERÊNCIAS

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 268–281, 2006.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 16. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 350p.

BLAIN, G. C.; KAYANO, M. T. 118 anos de dados mensais do índice padronizado de precipitação: série meteorológica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 137-148, 2011.

BURTON, I. ; KATES, R.W., WHITE, G.F. **The Environment as Hazard**. 2. ed., New York: Guilford, 1993. 290p.

BUTTNER, A. Hogar. Campo de movimiento y sentido del Lugar. In: RAMÓN, María Dolores García. (Org.). **Teoría y método en la geografía anglosajona**. Barcelona, Ariel, 1985. p. 227-241.

CARVALHO, D. F. et al. Demanda máxima de irrigação para o milho e feijão, no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: Congresso Latino Americano de Engenharia Agrícola, 3., 2000, Guanajuato-México. **Anais...** Guanajuato: Asociación Latinoamericana de Ingeniería Agrícola, 2000. 1 CD.

CASTRO, I. E. O problema da escala. In: CASTRO, I. E. et al. (Org). **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1995. 352p.

CORBETT, J. Famine and household coping strategies. **World Development**, v. 16, p. 1099-1112, 1988.

DAVIES, S. **Adaptable livelihoods: coping with food insecurity in the malian sahel**. basingstoke: macmillan press limited and New York: St Martin's Press, 1996. 335p.

FETTER, R. ; HENKE-OLIVEIRA, C. ; SAITO, C. H. As chuvas na microrregião geográfica do Seridó: contribuições para a seleção de áreas nos estudos de mudanças climáticas da Rede Clima. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5., 2010. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2010. Disponível em : < <http://>

www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT11-674-363-20120622142910.pdf>. Acesso em: 2013.

FINAN, T. J.; NELSON, D. R. Making rain, making roads, making do: public and private adaptations to drought in Ceará, Northeast Brazil. **Climate Research**, v. 19, p. 97-108, 2001.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005, 593p.

ISNARD, H. ; RACINE, J. B. ; REYMOND, H. **Problématique de la géographie**. Paris: PUF, 1981. 262p.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da região nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 213-233.

KENDALL, M. G. Rank correlation methods. 4. ed. Charles Griffin: London, 1975.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand". **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951.

LIVERMAN, D. M. Vulnerability to global environmental change. In: KASPERSON, R. E. et al. (Ed.). **Understanding global environmental change: the contributions of risk analysis and management**. Worcester: Clark University, 1990. p. 27-44. Cap. 26.

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica**, v. 13, p. 245-259, 1945.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, n.27, p.149-176, dez. 2008.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, January 17-22. **American Meteorological Society**, Boston, p. 179-184, 1993.

NUNES, L. H.; LOMBRADO, M. A. A questão da variabilidade climática: uma reflexão

crítica. **Revista Instituto Geológico**, São Paulo, v. 16, n. 1/2, p. 21-31, 1995.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1988. 434p.

RACINE, J. B.; RAFFESTIN, C.; RUFFY, V. Escala e ação, contribuição para uma interpretação do mecanismo de escala na prática da geografia. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v.45, n.1, p. 123-135, jan./mar. 1983.

RELPH, E. C. As bases fenomenológicas da geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 4, n. 7, p. 1-25, 1979.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 23, p. 45-49, 1993.

RIBOT, J. C.; MAGALHÃES, A. R.; PANAGIDES, S. S. (Ed.). **Climate variability, climate change and social vulnerability in the semi-arid tropics**. Cambridge: Cambridge University Press. 1996, 189p.

SMIT, B.; WANDEL, J. Adaptive capacity and vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 282-292, 2006.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des series d'observations**. Genève: Organisation Météorologique Mondiale, 1975. 192 p. (OMM Note Technique, 143).

TURNER II, B. L. et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, p. 8074-8079, 2003.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal American Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.

WATTS, M. On the poverty of theory: natural hazards research in context. In: HEWITT, K. (Ed.). **Interpretations of Calamity**. Boston: Allen & Unwin, 1983. p. 231-262.

---

Recebido para publicação em 18/03/2013  
Aceito em 15/06/2013