

BERGSON CAVALCANTI DE MORAES

VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO
NO ESTADO DO PARÁ

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

BERGSON CAVALCANTI DE MORAES

VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO
NO ESTADO DO PARÁ

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA EM: 1^o de fevereiro de 2002.

Prof. Marcos Heil Costa
(Conselheiro)

Prof. Antonio Carlos Lôla da Costa
(Conselheiro)

Prof. Sérgio Zolnier

Prof. José Eduardo Macedo Pezzopane

Prof. José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

Ao meu pai Bernardo Carvalho de Moraes.

À minha mãe Mozarilma Cavalcanti de Moraes.

Aos meus irmãos Anderson e Maruza.

À minha noiva Tomásia.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o Curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos meus pais, por priorizar a educação em minha vida e pelo ilimitado auxílio durante todo o tempo.

Ao professor José Maria Nogueira da Costa, pelos ensinamentos e pela orientação.

Ao professor Marcos Heil da Costa, pelos incentivos, pelos conselhos nas horas difíceis, pelo respeito e pela amizade.

Ao professor Antonio Carlos Lôla da Costa, pela grande amizade e pelo apoio profissional.

Ao professor Ronaldo Menezes, da Universidade Estadual do Maranhão, pela compreensão e pelo apoio.

Aos meus amigos e companheiros Olívio Bahia, Sílvia de Nazaré, Danilo Filho, Tadayuki Yanagi, Tânia do Sacramento, José Luiz, Gustavo Lyra, Márcia Palheta, Guilherme Lyra e, especialmente, a Olívio Bahia, Sílvia de Nazaré, Danilo Filho e Tadayuki Yanagi, pela convivência.

BIOGRAFIA

BERGSON CAVALCANTI DE MORAES, filho de Bernardo Carvalho de Moraes e Mozarilma Cavalcanti de Moraes, nasceu em 12 de julho de 1973, em Belém, PA.

Em dezembro de 1999, recebeu o título de Bacharel em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA).

Em abril de 1999, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, concluindo-o em fevereiro de 2002.

Em janeiro de 2001, foi contratado pela Universidade Estadual do Maranhão.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Características agroclimáticas do Estado do Pará	3
2.2. Variabilidade da precipitação na Bacia Amazônica	4
2.3. Características da precipitação durante a estação de crescimento	6
2.4. Confiabilidade dos dados pluviométricos na Bacia Amazônica ..	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Características do Estado do Pará	10
3.1.1. Características das mesorregiões do Estado do Pará	12
3.1.1.1. Baixo Amazonas	12
3.1.1.2. Marajó	13
3.1.1.3. Metropolitana de Belém	14
3.1.1.4. Sudoeste	15
3.1.1.5. Nordeste	16

	Página
3.1.1.6. Sudeste	17
3.2. Base de dados	18
3.3. Determinação do início e fim da estação chuvosa	21
3.4. Espacialização dos resultados de precipitação e do início e fim da estação chuvosa	21
4. RESULTADOS	25
4.1. Variações temporal e espacial da precipitação no Estado do Pará	25
4.1.1. Precipitação média anual	25
4.1.2. Variação sazonal	29
4.1.3. Áreas pluviometricamente semelhantes	31
4.1.4. Variação mensal da precipitação	32
4.2. Variação espacial das características da estação chuvosa no Estado do Pará	36
4.2.1. Início da estação chuvosa	36
4.2.2. Fim da estação chuvosa	36
4.2.3. Duração da estação chuvosa	37
4.3. Avaliação dos períodos secos durante a estação chuvosa	38
4.4. Datas de plantio	39
5. RESUMO E CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE QUADROS

	Página
1. Estações pluviométricas no Estado do Pará	19
2. Estações climatológicas no Estado do Pará	20
3. Variação sazonal da precipitação no Estado do Pará	30

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Critério para determinação da estação de crescimento nos trópicos segundo KASSAM (1979)	7
2. Localização geográfica do Estado do Pará e mesorregiões	11
3. Rede hidrográfica principal do Estado do Pará	11
4. Localização geográfica das estações climatológicas do INMET e das estações pluviométricas da ANEEL estudadas	20
5. Visualização do software Arc View durante a rotina Interpolate Grid	22
6. Visualização do software Arc View na rotina Map Calculator	24
7. Variação anual da precipitação no Estado do Pará	26
8. Variação da precipitação anual na Fazenda Bela Vista em relação à curva normal	27
9. Variação pluviométrica anual do Estado do Pará em relação à média de 23 anos	27
10. Variação anual do coeficiente de variação no Estado do Pará	28
11. Variação do índice de variabilidade interanual relativo	29
12. Áreas pluviometricamente semelhantes (APS) no Estado do Pará	31
13. Variação da precipitação média anual nas APS	32

	Página
14. Variação mensal da precipitação no Estado do Pará: (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (l) novembro e (m) dezembro	35
15. Início da estação chuvosa no Estado do Pará	36
16. Fim da estação chuvosa no Estado do Pará	37
17. Duração da estação chuvosa no Estado do Pará	38
18. Variação dos dias secos durante a estação chuvosa	39
19. Datas de plantio no Estado do Pará	40

RESUMO

MORAES, Bergson Cavalcanti de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2002. **Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Conselheiros: Marcos Heil Costa e Antonio Carlos Lôla da Costa.

Estudos sobre a climatologia das precipitações no Estado do Pará são essenciais para o planejamento das atividades agrícolas. A variação das precipitações anual, sazonal e mensal no Estado do Pará foi analisada com base em séries históricas de 23 anos (1976-1998) de dados diários de chuva. A análise foi realizada para 31 localidades do Estado do Pará, sendo os resultados representados em mapas, com a utilização de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A análise de correlação entre os totais pluviométricos da estação chuvosa resultou na identificação de quatro áreas no Estado pluviometricamente semelhantes. A variabilidade das precipitações anual, sazonal e mensal foi caracterizada com base no coeficiente de variação e no índice de variabilidade interanual relativo. A variação desses coeficientes para a precipitação anual no Estado do Pará foi de 15 a 30%. As características mensais da estação chuvosa, em termos de início, fim e duração, foram determinadas utilizando-se o critério proposto por KASSAM (1979). A variação entre as datas de plantios precoces e tardios correspondeu aos decêndios identificados pelos dias julianos 309–319 e 353–363,

respectivamente. Durante a estação chuvosa, os menores períodos secos ocorreram, geralmente, na região norte do Estado, enquanto os períodos secos mais prolongados se deram, principalmente, na porção sudeste do Pará.

ABSTRACT

Morais, Bergson Cavalcanti de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, February of 2002. **Spatial and temporal precipitation variation in the State of Pará.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Committee Members: Marcos Heil Costa and Antonio Carlos Lôla da Costa.

Studies about the climatology of precipitation in the state of Pará are essential for the planning of agricultural activities. The annual, seasonal and monthly precipitation variation was analysed based on historical series of 23 years (1976-1998) of daily rainfall data. The analysis was done for 31 localities of Pará state, with the results showed in maps using Gis techniques. The correlation analysis of total rainfall during the rainy season among the localities allowed the identification of four pluviometric homogeneous areas in the state of Pará. The precipitation variability on an annual, seasonal and monthly basis was characterized by the coefficient of variation and the indice of relative interannual variability. The variation of these coefficients for the annual precipitation in the state of Pará was is to 30%. The monthly characteristics of rainy season regarding the start, end and duration, were determined using the criteria proposed by KASSAM (1979). The variation between early and late planting dates were identified by the juliam days 309-319 and 353-363, respectively. During the wet season, the lower dry periods occurred generally in the North of the state, white the higher dry periods occurred mainly in the postion of southeast of Pará.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é amplamente reconhecida por vários pesquisadores como a variável climatológica mais importante na região tropical. Tal importância se deve às conseqüências que esta pode ocasionar, quando ocorrida em excesso (precipitação intensa), para os setores produtivos da sociedade tanto econômicos quanto sociais (agricultura, transporte, hidrologia etc.), causando enchentes, assoreamento dos rios, quedas de barreiras etc.; ou quando ocorre em déficits, causando secas, diminuição nos níveis dos reservatórios e, conseqüentemente, racionamentos de água, energia elétrica etc.

Segundo a SAGRI (1996), a irregularidade na distribuição seqüencial das precipitações pluviais tem sido um dos fatores limitantes do maior desenvolvimento e estabilização da produção agrícola no Estado do Pará. No período das chuvas, estas se caracterizam pela forte intensidade, enquanto no período menos chuvoso são freqüentes as estiagens de duração variável, elevando o risco da exploração agrícola.

A agricultura paraense destaca-se pela produção das culturas de arroz, feijão, milho e mandioca. Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (1998), as propriedades agrícolas de até 100 ha, que correspondem a 20% da área do Estado, são responsáveis por 88% da produção estadual de mandioca, 73% de feijão, 67% de milho, 54% de arroz, 69% de banana, 71% de laranja, 46% de café e 41% de cacau.

A área agricultável do Estado do Pará, segundo a SAGRI (2001), é estimada em 32 milhões de hectares. A mandioca ocupa uma área plantada de aproximadamente 542 mil hectares e está presente em quase todos os municípios, sendo o primeiro produtor nacional dessa cultura. No sul do Pará, na faixa territorial entre as rodovias BR-158 e PA-150 e o rio Araguaia, o pólo de soja ocupa uma área de pelo menos um milhão de hectares de Cerrados nos Municípios de Redenção, Pau D'Arco, Conceição do Araguaia e Santa Maria das Barreiras. Mais 1.000.000 de hectares poderá ser incorporado à produção de soja ao longo da BR-222, BR-010 e PA-150. O Estado do Pará é também o maior produtor de dendê, pimenta-do-reino e abacaxi, além de ser o segundo maior produtor nacional de maracujá.

Segundo MOLION (1987), a produção agrícola na região amazônica é controlada, principalmente, pela quantidade e distribuição das chuvas. As características do regime de chuva também afetam as variações na temperatura e umidade do ar, nebulosidade e quantidade de radiação incidente na superfície. Para a prática da agricultura familiar, muito comum no Estado do Pará e dependente basicamente do regime de precipitação, seria muito importante o conhecimento não apenas do total de chuva, mas também da sua variabilidade e das probabilidades de ocorrência de precipitação para fins de planejamento das atividades agrícolas.

O objetivo específico do presente trabalho foi analisar, no Estado do Pará, as variações espaciais:

- 1) Das precipitações média anual, sazonal e mensal.
- 2) Da estação chuvosa.
- 3) Da data de plantio e duração dos períodos secos nos meses da estação chuvosa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Características agroclimáticas do Estado do Pará

As normais climatológicas publicadas pelo INMET (1992), referentes ao período de 1961 a 1990, são disponíveis para 15 localidades do Estado do Pará. Apesar do número reduzido de localidades e do período mensal de apresentação dos dados, que restringe a sua utilização na agricultura, as normais permitem comparações de características climáticas entre essas localidades.

A precipitação média anual das 15 localidades listadas nas normais climatológicas é de 2.214 mm, com uma variação de 1.678 mm em Monte Alegre, região central paraense, a 3.216 mm em Soure, na Ilha de Marajó, ao norte do Estado. O trimestre mais chuvoso, na maioria dessas localidades, é o de fevereiro a abril, que corresponde a 44% da precipitação anual, com uma variação de 30% em Tiriós a 54% em Soure. Na maioria dessas localidades, março é o mês mais chuvoso, enquanto setembro é o mês de menos chuva. O percentual médio de precipitação no trimestre menos chuvoso (agosto, setembro e outubro), em relação ao total de precipitação anual, foi de 9%, com uma variação de 5% em Soure a 15% em São Félix do Xingu.

De acordo com o INMET (1992), a temperatura do ar no Estado do Pará apresenta pequena variação sazonal, com temperaturas médias acima de 25 °C em todos os meses do ano. A temperatura média anual das 15

localidades mencionadas anteriormente é de 26 °C. As menores temperaturas médias do ar ocorrem em fevereiro, um mês típico da estação chuvosa com elevada nebulosidade. As temperaturas médias do ar mais elevadas ocorreram no mês de outubro, que representa a transição entre o fim do período menos chuvoso e o início do período mais chuvoso. A temperatura máxima do ar aumenta continuamente de fevereiro a outubro, decrescendo em novembro, devido ao aumento da nebulosidade e ao início da estação chuvosa propriamente dita. A umidade relativa é elevada, com valores acima de 80% em todos os meses do ano. Os valores mais elevados de umidade relativa ocorrem no trimestre mais chuvoso, aproximadamente 89%, em consequência das temperaturas mais baixas nesse período. A duração média de horas de brilho solar apresenta uma variação sazonal bem definida, com valores máximos em julho (menos nebulosidade) e valores mínimos em fevereiro (maior nebulosidade). A duração média de brilho solar variou de 3,8 h em fevereiro a 7,5 h em julho.

Os totais anuais da evapotranspiração potencial, deficiência hídrica e excesso hídrico, determinados a partir do balanço hídrico climático mensal, evidenciaram que a evapotranspiração potencial anual apresentou pequena variação espacial no Estado do Pará, tendo variado de 1.363 mm (São Félix do Xingu) a 1.822 mm (Soure), com um valor médio de 1.538 mm em todas as localidades. Embora tenha apresentado pequena variação sazonal, a evapotranspiração potencial é maior durante os meses da estação seca, resultando em deficiência hídrica. Essa deficiência no Estado do Pará ocorre, geralmente, nos meses de agosto a novembro, embora o valor médio desses meses seja inferior a 60 mm. A deficiência hídrica anual varia de 8 mm (Belém) a 467 mm (Monte Alegre), com um valor médio entre todas as localidades de 274 mm. A ocorrência de excedentes hídricos durante os meses de janeiro a maio é bem caracterizada. O excedente hídrico anual variou de 506 mm (Itaituba) a 1.796 mm (Soure), com um valor médio de 983 mm.

2.2. Variabilidade da precipitação na Bacia Amazônica

A maioria dos estudos sobre a precipitação na Bacia Amazônica é baseada em dados pluviométricos mensais e anuais de localidades do Estado

do Amazonas. Vários enfoques têm sido utilizados nesses estudos na análise de variabilidades temporal e espacial da precipitação na Bacia Amazônica.

MOLION (1987) analisou as configurações da circulação troposférica sobre a Bacia Amazônica e sua relação com a distribuição de precipitação, concluindo que a Alta da Bolívia é o principal mecanismo dinâmico de produção de chuvas na Amazônia, durante a estação chuvosa (verão). Os mecanismos físicos relacionados com a variabilidade interanual da precipitação na Amazônia foram classificados por MOLION e DALLAROSA (1990) em cinco escalas espaciais: continental, sinótica, sub-sinótica, mesoescala e microescala. Segundo CUTRIM (2000), a Zona de Convergência Intertropical sobre o Atlântico equatorial é outra configuração da circulação geral da atmosfera responsável pelo máximo de chuvas sobre as áreas costeiras da Amazônia, que corresponde a uma faixa continental de aproximadamente 500 km.

COHEN et al. (1989), ao estudarem as perturbações costeiras associadas à brisa marítima no litoral do Pará e Amapá, relataram que as perturbações ondulatórias nos alísios (POAs) representam o principal fator na ocorrência de máximos de precipitação na região costeira em maio e junho. FERREIRA et al. (1990) constataram que a maior frequência de ocorrência das POAs foi no trimestre chuvoso de março a maio.

As variabilidades espacial e temporal da distribuição de precipitação mensal na Amazônia foi analisada por OBREGON e NOBRE (1990), utilizando a técnica de análise de componente principal, com o objetivo de identificar configurações de variabilidade interanual da precipitação. CHU et al. (1994) analisaram séries históricas de dados pluviométricos mensais de Belém e Manaus, associados com um índice de convecção tropical, com o objetivo de detectar mudanças climáticas na Bacia Amazônica. MARENGO et al. (1998) também analisaram longas séries de dados pluviométricos mensais na Bacia Amazônica, tendo constatado que não houve nenhuma tendência significativa para condições mais secas ou mais chuvosas.

Analisando a variabilidade climática na Bacia Amazônica associada a eventos de El Niño/Oscilação sul (ENSO), com base em séries de dados pluviométricos de 1950 a 1995, FOLEY et al. (2002) concluíram que geralmente, durante a ocorrência de um El Niño médio, a precipitação tende a

ser menor que a normal, enquanto durante a ocorrência de um evento La Niña médio a precipitação tende a ser maior que a normal. KAYANO et al. (1998) analisaram as circulações tropicais, associadas à precipitação no ano de 1983 (em que houve o segundo evento de El Niño mais forte do século passado) e 1984. Verificaram que, no ano de 1983, predominaram condições secas sobre amplas áreas terrestres tropicais, como América do Sul, África e Indonésia. Durante o ano de 1984, essas anomalias climáticas praticamente se inverteram, em concordância com a inversão das características de circulação tropical.

MARENGO (1992) analisou os mecanismos de circulação de anos chuvosos e secos atípicos na Bacia Amazônica, tendo concluído que estações chuvosas abundantes no Norte da Amazônia são caracterizadas por pressões altas atípicas no Atlântico Norte tropical, ventos alísios de nordeste mais fortes e superfícies das águas mais frias, além do aumento de nebulosidade no Atlântico equatorial. As configurações de circulação durante anos secos no norte da Amazônia são opostas às que ocorrem durante os anos chuvosos. De acordo com esse mesmo autor, diminuição de precipitação no norte da Amazônia tende a coincidir com eventos de El Niño fortes ou muito fortes, como os que ocorreram em 1912, 1926, 1983 e 1987.

2.3. Características da precipitação durante a estação de crescimento

Na revisão de literatura, foi constatada uma grande carência de estudos sobre as características do regime de chuva, relacionados com as datas de início e fim da estação chuvosa e com a variação de períodos secos e chuvosos na estação de crescimento. Tais informações são muito úteis no planejamento de várias atividades agronômicas, como a definição da data de plantio e colheita e estabelecimento de um calendário agrícola, podendo contribuir para reduzir os riscos de déficit de água para a cultura durante o ciclo fenológico.

Um dos poucos trabalhos sobre o início e fim da estação chuvosa na Bacia Amazônica foi realizado por MARENGO et al. (2001). Eles utilizaram o critério proposto por SUGAHARA (1991), o qual se baseia na chuva acumulada em cada pênstada (período de cinco dias). O início da estação chuvosa com

base nesse critério acontece na primeira ocorrência de 10 mm em uma pântada, desde que a precipitação nas três pântadas seguintes não seja inferior a 15 mm/pântada. O fim da estação chuvosa ocorreria na pântada, a partir da qual a precipitação nas três pântadas seguintes seria inferior a 15 mm/pântada, seguida de uma pântada com precipitação menor que 10 mm. Segundo MARENGO et al. (2001), a maior variação na data de início da estação chuvosa ocorre na Amazônia central. A data de início da estação chuvosa é mais precoce no sudeste da Amazônia e mais tardia próxima à foz do rio Amazonas.

KASSAM (1979) propôs um critério para definição da estação de crescimento nos trópicos, baseado em médias mensais da precipitação e da evapotranspiração potencial. Esse procedimento está ilustrado na Figura 1.

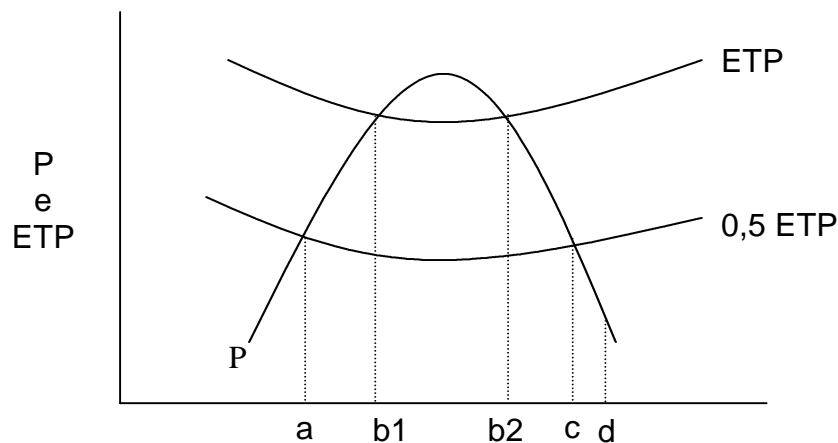


Figura 1 – Critério para determinação da estação de crescimento nos trópicos segundo KASSAM (1979).

Em que

A = início da estação de crescimento;

b1 = início do período úmido;

b2 = fim do período úmido;

c = fim da estação chuvosa;

d = fim da estação de crescimento;

P = precipitação; e

ETP = evapotranspiração potencial.

O início da estação de crescimento de determinada localidade é definido como a primeira data em que a precipitação normal (P) é igual ou superior à metade da evapotranspiração potencial. O fim da estação de crescimento ocorre quando a precipitação normal se torna menor que a metade da evapotranspiração potencial, acrescido do número de dias necessários para evapotranspirar 100 mm de água armazenada no solo.

STERN e COE (1982) propuseram um critério para definição do início da estação chuvosa com base em dados diários de chuva. O início da estação chuvosa, que também corresponde à data mais antecipada de plantio, seria a primeira data em que ocorrerem 20 mm de chuva em um ou dois dias, desde que não haja um período seco de sete ou mais dias, a partir da data potencial de início da estação chuvosa estabelecida, no período de um mês. Esse critério foi adotado com sucesso por OLIVEIRA et al. (2000), na estimativa de épocas de semeadura de cultivares de arroz no Estado de Minas Gerais. O fim da estação chuvosa, com base nesse critério, corresponderia à primeira ocorrência de um longo período seco a partir de uma data preestabelecida. Outra forma alternativa de definição do fim da estação chuvosa consiste na primeira data em que o balanço diário de água no solo atinge o valor zero.

Outro critério de definição do início da estação chuvosa foi desenvolvido por KOUSKY (1988), baseado em medições de radiação de onda longa por satélite (OLR). HOREL et al. (1989), utilizando medições de radiação de onda longa, constataram variações interanuais superiores a um mês, tanto no início quanto no fim da estação chuvosa da Bacia Amazônica.

2.4. Confiabilidade dos dados pluviométricos na Bacia Amazônica

Vários estudos sobre as variabilidades temporal e espacial da precipitação na Bacia Amazônica, segundo CUTRIM (2000), têm apresentado discrepância devido a erros de natureza instrumental, exposição, localização e densidade de rede de observações. De acordo com Molion e Engel (1981), citados por MOLION e DALLAROSA (1990), os erros decorrentes de instrumentação e exposição podem atingir diminuições nos totais pluviométricos registrados até 80%, dependendo das condições de vento e do tipo de chuva. Segundo estimativas feitas por Willmott et al. (1994), citados por COSTA e FOLEY (1998), as regiões com densidade de estações

pluviométricas inferior a uma estação por 50.000 km² podem apresentar erros nos totais pluviométricos anuais de 100 a 700 mm.

MOLION e DALLAROSA (1990) analisaram os dados pluviométricos de dois grupos de estações pluviométricas, localizadas próximas às margens dos rios e outras afastadas cerca de 30 km, tendo constatado que as estações próximas às margens dos rios foram as que registraram menores totais pluviométricos. Os referidos autores afirmaram que essas discrepâncias estão relacionadas à circulação local de brisa pluvial nas estações pluviométricas próximas das margens dos rios. Como a maioria das estações pluviométricas, com longas séries de dados da Amazônia, está geralmente localizada às margens dos grandes rios, devido à facilidade de acesso, esses autores questionaram a confiabilidade dos resultados sobre a quantificação e variações temporal e espacial da precipitação na Bacia Amazônica.

COSTA e FOLEY (1998) compararam seis diferentes bancos de dados pluviométricos, sendo três resultantes da rede de estações pluviométricas, um baseado na combinação de dados pluviométricos estimados por satélite e dois baseados em dados meteorológicos reanalisados dos modelos numéricos de previsão de tempo. Esses autores concluíram que houve boa concordância na variação espacial da precipitação anual para banco de dados provenientes da rede pluviométrica de superfície, enquanto os resultados obtidos pelas estimativas de reanálise apresentaram significantes discrepâncias na variação espacial.

Outro estudo comparativo entre a precipitação observada, a radiação de onda longa emitida e a divergência e precipitação estimadas por reanálise na Bacia Amazônica foi realizado por LIEBMANN et al. (1998). Dentre as principais conclusões deste estudo, foi constatado que a configuração espacial da precipitação média anual e a fase apresentaram concordância satisfatória, embora a amplitude do ciclo de precipitação anual obtido por reanálise tenha sido muito menor do que o observado. COSTA e FOLEY (1998) recomendaram cautela na utilização de séries de dados pluviométricos e nas estimativas da variabilidade de precipitação sobre a Bacia Amazônica, até que análises posteriores mais detalhadas sejam realizadas, inclusive envolvendo a comparação entre os dados obtidos pela rede pluviométrica tradicional com outras técnicas, como sensoriamento remoto e estimativas de precipitação por reanálise.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características do Estado do Pará

O Pará é o segundo maior Estado brasileiro, com uma área de 1.253.164 km², mais de 16% do território nacional, com uma densidade demográfica de 4,39 habitantes/km² (IBGE, 1998). Está compreendido entre os paralelos 2° N e 5° S e entre os meridianos 56 e 48° W. Limita-se ao norte com o Estado do Amapá e com a Guiana, ao sul com o Estado do Mato Grosso, ao oeste com o Estado do Amazonas, ao sudoeste com os Estados do Amazonas e Mato Grosso, ao sudeste com o Estado do Tocantins, ao noroeste com o Estado de Roraima e a Guiana, ao nordeste com o oceano Atlântico e ao leste com o Estado do Maranhão. A Figura 2 ilustra a localização geográfica do Estado do Pará, destacando suas mesorregiões. O Pará é dividido em 143 municípios, distribuídos em seis mesorregiões e 22 microrregiões, definidas com base em critérios da Fundação IBGE.

A rede hidrográfica paraense é formada por mais de 20 mil quilômetros de rios extensos e perenes, como o Amazonas, que corta o Estado no sentido oeste/leste e deságua num grande delta estuário com inúmeras ilhas, entre elas a de Marajó, ou os rios Tocantins e Guamá, que formam bacias independentes. Estão também no Pará alguns dos mais importantes afluentes do Amazonas, como Tapajós, Xingu e Curuá, pela margem direita; e Trombetas, Nhamundá, Maicuru e Jari, pela margem esquerda (SECTAM, 2000). A Figura 3 ilustra a rede hidrográfica principal do Estado do Pará.

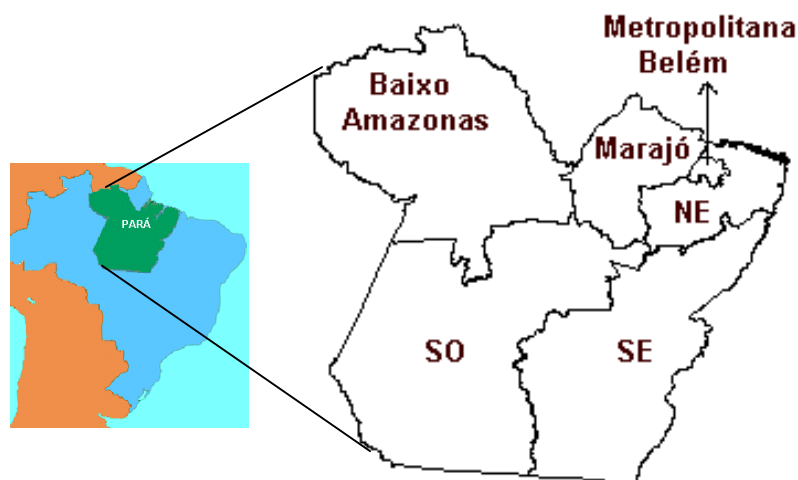


Figura 2 – Localização geográfica do Estado do Pará e mesorregiões.

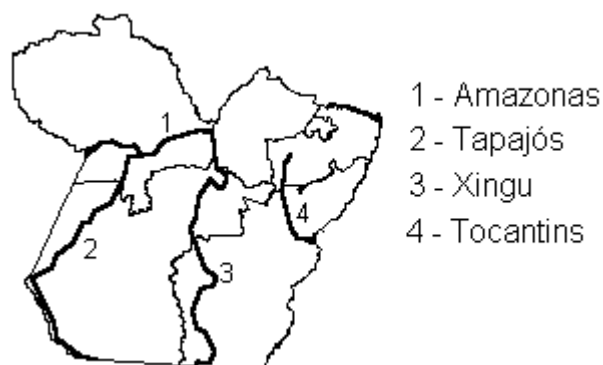


Figura 3 – Rede hidrográfica principal do Estado do Pará.

O relevo paraense é caracterizado por áreas planas, com altitudes que atingem até 300 m, e ocorrências de áreas altas no sudeste (serra dos Carajás) e norte (parte oriental da serra Parima), onde as altitudes chegam a ultrapassar 700 m. Os solos do Pará se agrupam em três categorias: bem drenados, hidromórficos e em desenvolvimento. Quanto à fertilidade, predominam aqueles classificados como de baixa e moderada, constituídos pelos grupos dos latossolos amarelos. Entre os solos hidromórficos, os de várzea (Gley) são considerados de melhor fertilidade e muito explorados com culturas como juta, arroz e cana-de-açúcar. Os solos tipo terra roxa, considerados de alta

fertilidade, são encontrados em forma de manchas relativamente pequenas (SECTAM, 2000).

A vegetação pode ser classificada em seis tipos de cobertura vegetal, todos enquadrados na classe de Formação de "floresta tropical pluvial" (SECTAM, 2000):

- Mata de terra firme, com grande potencial madeireiro.
- Mata de várzea, ao longo dos rios e, por isso, de fácil acesso.
- Manguezal, ao longo da costa atlântica, com predominância de dois tipos de vegetação (mangue e siriúba), cuja ocorrência depende do grau de salinidade.
- Igapó, área de inundação permanente caracterizada por uma vegetação cujas raízes possuem pneumatóforos (pontas descobertas com função respiratória).
- Campos naturais, com ocorrência de dois tipos: campos lisos, com leguminosas rasteiras e Cyperáceas.
- Campos de Cerrado, com muruci-do-campo e caimbá, ambos utilizáveis na pecuária extensiva.

3.1.1. Características das mesorregiões do Estado do Pará

3.1.1.1. Baixo Amazonas

Considerando uma distribuição geográfica, podem-se identificar cinco associações de solos: Latossolo Amarelo Distrófico textura média e Areia Quartzosa Distrófica; Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa e Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico textura argilosa, gley pouco húmico, eutrófico textura indiscriminada; e solos Aluviais eutróficos textura indiscriminada.

A vegetação é bastante diversificada. A floresta equatorial úmida está presente nas terras firmes, apresentando espécies variadas, incluindo a presença da castanheira, que ocorre, de modo constante, nas áreas de solos com acidez mais baixa. Nas áreas mais baixas sujeitas a uma umidade mais elevada, a vegetação é de várzea, com a presença freqüente de palmeiras, intercalada com a vegetação herbácea rasteira dos campos de várzea. A presença de campos também é constante ao norte da mesorregião, onde os

solos são pobres e a vegetação predominante é de graminóide, com arbustos esparsos.

A topografia da mesorregião apresenta variações altimétricas de certa relevância, considerando-se sua porção setentrional, localizada em áreas do Planalto Dissecado Norte da Amazônia, cuja comprovação é facilmente percebida pelos trechos encachoeirados dos rios Curuá e Cuminapanema, cujas maiores elevações ao norte atingem cerca de 400 m.

A estrutura geológica é relativamente simples, embora apresente grande número de unidades litoestratigráficas. Na sua porção setentrional, expõem-se rochas da idade Pré-Cambriana referida ao Complexo Guianense, de natureza granito-gnáissica, e ao Supergrupo Vatumã, com suas subunidades Grupo Iricoimé e Suite Intrusiva Mapuera, de naturezas vulcano e plutônica, respectivamente. Na porção meridional, já em áreas da Bacia do Amazonas, predominam, em grande extensão, rochas sedimentares paleozóicas, representadas pelas formações: Trombetas (Siluriano); Maecuro, Ererê e Curuá, de idades Devonianas Inferior, Média e Superior, respectivamente; e Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda, datadas do Carbonífero Inferior, Médio e Superior, respectivamente. Ressalta-se, ainda, a importante presença de rochas básicas (diques de diabásio), de idades Juro-Cretácicas (Mezozóico), dos sedimentos terciários da Formação Alter do Chão (FM, Barreiras) e dos inconsolidados de idade quaternária.

3.1.1.2. Marajó

Os solos da mesorregião são constituídos, principalmente, por solos hidromórficos indiscriminados eutróficos e distróficos textura indiscriminada, Latossolo Amarelo distrófico textura média e Areia Quartzosa distrófica; e hidromórficos gleizados, como Gley e Aluvial eutrófico e distrófico textura indiscriminada, em associações. Aparecem, também, em manchas menores, a laterita hidromórfica distrófica textura indiscriminada e areias quartzosas distróficas, em relevo plano.

É importante ressaltar o papel desempenhado pelas espécies vegetais do Município de Breves na exploração de madeiras, dentre as quais se destacam a virola ou ucuúba, a andiroba e o açai (*Euterpe oleracea*), do qual

se extrai o palmito. Hoje, devido à intensidade e à seletividade da exploração florestal, as matas encontram-se bastante esgotadas dessas espécies. A produção agrícola nas várzeas também foi muito importante em certa época para a economia da mesorregião, principalmente no cultivo do arroz, estando, hoje, praticamente abandonada. Os locais dos antigos cultivos foram ocupados pelas capoeiras ou florestas secundárias.

As altitudes são bem modestas, considerando-se a homogeneidade geológica. A altura máxima não excede a 16 m. A geologia é constituída por sedimentos quaternários subatuais e atuais, que proporcionam a formação de um relevo simples constituído por várzeas, terraço e resto de platô; insere-se na unidade morfoestrutural, conhecida como Planalto Rebaixado da Amazônia (Baixo Amazonas).

3.1.1.3. Metropolitana de Belém

Os solos são caracterizados como Concrecionários Lateríticos Indiscriminados distróficos, textura indiscriminada, e Latossolo Amarelo distrófico, textura média.

A vegetação é caracterizada pela floresta secundária, em vários estágios, proveniente do desmatamento executado na área, para o cultivo de espécies alimentícias de ciclo curto (milho, mandioca etc.). Nas áreas sujeitas à inundação margeando os rios, está presente a vegetação de várzea, com suas espécies típicas, como a virola ou ucuúba, a andiroba, o açaí e o miriti ou buruti.

A mesorregião apresenta relevo relativamente uniforme, com pouquíssimas oscilações altimétricas, ressaltando-se que sua cota média gira em torno de 16 m.

O arcabouço geológico é representado pelos sedimentos Terciários da Formação Barreiras e do Quaternário Subatual e Recente. O relevo apresenta níveis baixos, representados por várzeas, terraços e, predominantemente, pelos baixos platôs, inseridos na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia (Baixo Amazonas).

3.1.1.4. Sudoeste

Várias classes de solos predominam na mesorregião: grandes manchas de Latossolo Amarelo texturas média e argilosa, Latossolo Vermelho-Amarelo texturas média e argilosa, Podzólico Vermelho-Amarelo texturas média e argilosa e equivalente eutrófico Terra Roxa Estruturada. Em menor ocorrência, aparecem os solos Litólicos distróficos e Gleis e Aluvial eutróficos e distróficos.

Predominam na mesorregião a Floresta Aberta Latifoliada (cipoal) e a Floresta Aberta Mista (cocal), na sub-região da superfície arrasada do médio Xingu/Iriri. No baixo Iriri, encontra-se a Floresta Densa submontana em relevo dissecado e ao norte, a Floresta Densa dos Terraços em matas ciliares da sub-região dos altos platôs paleozóicos do Pará/Amapá, já bastante alterada pelo desmatamento, incrementado a partir do programa de colonização das margens da rodovia Transamazônica. Nessa área, o predomínio é o da Floresta Secundária intercalada com tratos cultivados com pastagens, cana-de-açúcar, cacau e cultivos de subsistência.

A topografia é bastante variada, com as maiores altitudes oscilando em torno de 600 m, na porção sul do seu território. No Município de Altamira, na sede municipal, a altitude atinge 60 m, sendo uma das áreas mais baixas da mesorregião, localizada num trecho do médio curso do rio Xingu.

A geologia é bastante complexa, havendo grande extensão de áreas do Pré-Cambriano que predominam praticamente em todo o seu território. Nelas estão expostas rochas do complexo Xingu, com tendência granito-gnáissico – migmatíticas; super grupo Uatamã, com seus componentes vulcânicos: Formações Iriri e Sobreiro, Granito Velho Guilherme, de natureza intrusiva e portadores de cassiterita; e, ainda, Formações Gorotire e Triunfo, de natureza sedimentar. Ao norte de seu território, constituindo extensa faixa de direção geral SW-NE, estão expostos os sedimentos paleozóicos do flanco-sul da bacia amazônica, representados pela Formação Trombetas (Siluriano), Formação Curuá (devoniano médio) e Formação Monte Alegre do Carbonífero Inferior. Nessa faixa assomam, também, rochas básicas de idade Mesozóica, completando a seqüência estratificada com os sedimentos Cenozóicos, que englobam o Campo Barreiras (Terciário) e Aluviões Subatuais e Recentes do Quaternário. Acompanhando essa complexa estrutura geológica, seu relevo é

bastante movimentado e variado, fazendo parte, regionalmente, das unidades morfoestruturais Depressão Periférica do Sul do Pará e Planalto Dissecado do Sul do Pará, inclusive setores de Planalto Rebaixado da Amazônia, englobando formas de relevo caracterizadas por áreas de pequenas serras cristalinas, morros isolados ("inselbergs"), superfícies e escarpas tabulares, pequenas cuevas, setores de colinas, tabuleiros, terraços e aluviões.

3.1.1.5. Nordeste

Predominam as maiores proporções: Latossolo Amarelo textura média e Latossolo Amarelo cascalhento, na terra firme; e solos indiscriminados de mangues nas áreas litorâneas. Em menores proporções (pequenas manchas), o correm Plintossolo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Glei Pouco Húmido.

O predomínio vegetal ao norte da mesorregião é dos manguezais, com suas espécies características *Rhizophora mangle* e *Avicennia nitida*, nas faixas litorâneas e semilitorâneas, onde existe influência da salinidade do mar. As terras firmes são recobertas por Florestas Secundárias, que sucederam à Floresta Densa dos baixos platôs da região Pará/Maranhão. São importantes também, pelo aspecto da conservação do meio ambiente, as matas ciliares, ao longo das margens dos pequenos cursos d'água e pequenas formações campestres, que aparecem na transição dos manguezais para as terras firmes.

As cotas altimétricas estão a poucos metros acima do nível do mar, com a sua média estando a cerca de 15 m de altitude. O arcabouço geológico é caracterizado, predominantemente, por sedimentos de idade terciária que constituem a Formação Barreiras (arenitos, argilitos caolíticos e siltitos), compondo cerca de 90% de seu território, e por sedimentos inconsolidados do Quaternário Antigo e Recente, estes posicionados, preferencialmente, em torno da faixa litorânea, constituída das áreas de praias e zonas inundáveis. A simplicidade geológica reflete, diretamente, em suas formas de relevo, apresentando, ao norte, planícies litorâneas e flúvio-marinhas, onde predominam feições, como praias, dunas e falésias, estas últimas esculpidas sobre rochas de Formação Barreiras, que se estendem para as porções centro e sul, onde predominam feições tabuliformes, com dissecção em forma de colinas de topo aplainado, com vales pouco profundos. Esse conjunto de

caracteres está inserido, regionalmente, nas unidades morfoestruturais do Planalto Rebaixado da Amazônia (Zona Bragantina) e Litoral de "Rias" e Lençóis Maranhenses.

3.1.1.6. Sudeste

Predominam, em associação, o Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico; Podzólico Vermelho-Amarelo e solos litólicos distróficos; Gleys e eutróficos e distróficos e solos Aluviais eutróficos distróficos; Terra Roxa Estruturada eutrófica; Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; Solos Litólicos distróficos; Podzólico Vermelho-Amarelo; e Terra Roxa Estruturada distrófica.

A cobertura vegetal (em caracterização geral), além da Floresta Equatorial Latifoliada (predominando ao norte da mesorregião e abrangendo os subtipos Aberta Mista e Aberta Latifoliada), apresenta grandes extensões dos subtipos de Savana, Cerradão, Campos Cerrados e Parques característicos das sub-regiões dos testemunhos do relevo residual sul da Amazônia. Marginalmente aos cursos d'água, eventualmente ocorre a mata de galeria. Nas áreas inundáveis está presente a floresta de várzea, abrigando espécies ombrófilas (que gostam de lugares úmidos), dicotiledôneas e palmáceas.

Não há dados altimétricos precisos. Apenas alguns levantamentos atestam uma altimetria de 200 a 500 m, inseridas em áreas com fortes variações morfológicas. A estrutura geológica é complexa, predominantemente constituída por rochas cristalinas e metassedimentares de idade Pré-Cambriana, que constituem as unidades: complexo Xingu, de natureza granito-gnáissica-migmatítica; grupo Grão-Pará, de natureza vulcano-sedimentar ("greestone belts"); super grupo Uatumã, de natureza vulcano-plutônica e sedimentar, com seus componentes: Formação Iriri (de natureza vulcânica); Granito Serra dos Carajás; Formação Sobreiro, também vulcânica; Formação Rio Fresco (com seus membros Naja e Azul), de natureza vulcânica; granito Vermelho-Guilherme, magmática intrusiva; e, finalmente, a seqüência de cobertura de plataforma, representada pelas Formações Gorotire e Triunfo. Ao longo dos principais cursos d' água, em alguns trechos desenvolveram-se pequenas planícies de inundações, com a disposição de material

inconsolidado, de idade Quaternária. Quanto ao relevo, insere-se nas unidades morfoestruturais do Planalto Dissecado do Sul do Pará e Depressão Periférica do Sul do Pará, cujas formas específicas apresentam áreas planas, “inselbergs”, chapadões etc., onde se destaca a porção Ocidental da Serra dos Carajás.

3.2. Base de dados

Foram empregadas séries históricas com 23 anos de dados diários de 31 localidades, fornecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), ilustradas no Quadro 1 e na Figura 4. Também, foram utilizadas as normais climatológicas publicadas pelo INMET (1992), referentes a 15 estações climatológicas listadas no Quadro 2, pertencentes à rede do Instituto Nacional de Meteorologia. Esses dados foram utilizados na determinação da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith, conforme recomendados por JENSEN et al. (1990). As estimativas da evapotranspiração foram utilizadas juntamente com as normais de precipitação, para determinação do início e fim da estação chuvosa pelo método proposto por KASSAM (1979).

Os dados diários de precipitação foram utilizados para caracterização pluviométrica, enquanto os dados das normais climatológicas foram aplicados no cálculo da evapotranspiração, utilizados na determinação de início, fim e duração da estação chuvosa.

O controle de qualidade que foi aplicado às séries de dados pluviométricos diários consistiu na determinação de valores médios e de valores extremos de precipitação diária, com o objetivo de se identificarem valores críticos. Ao identificar um valor absurdo, o mesmo foi comparado em relação aos valores observados nesse dia, em localidades próximas, e em dias anteriores e posteriores, nesse mesmo local. As normais climatológicas, disponíveis nas localidades estudadas, também serviram de referência na identificação desses erros.

Os dados anuais e mensais de precipitação foram testados em várias distribuições de freqüências. A distribuição normal foi a que se ajustou melhor à maioria dos dados.

Quadro 1 – Estações pluviométricas no Estado do Pará

Nº	Estação	Município	Latitude	Longitude	Período
1	Afua	Afua	00° 06' 00" N	50° 22' 48" O	76-98
2	Aldeia do Baú	Altamira	07° 21' 00" N	54° 49' 48" O	76-98
3	Arapati	Oeiras do Pará	01° 45' 36" N	54° 22' 48" O	76-98
4	Balsa do Cantu	Altamira	09° 07' 48" N	53° 22' 12" O	76-98
5	Belo Horizonte	Altamira	05° 24' 00" N	52° 25' 40" O	76-98
6	Boa Esperança	São Felix do Xingu	06° 42' 36" N	51° 46' 48" O	76-98
7	Boca do Inferno	Alenquer	01° 30' 00" N	54° 51' 36" O	76-98
8	Cajueiro	Altamira	05° 39' 00" N	54° 30' 36" O	76-98
9	Camiranga	Viseu	01° 48' 00" N	46° 15' 36" O	76-98
10	Capanema	Capanema	01° 12' 00" N	47° 09' 36" O	76-98
11	Castanhal	Castanhal	01° 16' 48" N	47° 55' 48" O	76-98
12	Cipoal	Portel	02° 46' 48" N	50° 27' 00" O	76-98
13	Cumarú do Norte	Cumarú do Norte	07° 49' 12" N	50° 46' 12" O	76-98
14	Eldorado do Carajás	Eldorado do Carajás	06° 06' 00" N	49° 21' 00" O	76-98
15	Fazenda Bela Vista	Almeirim	01° 04' 48" N	53° 09' 00" O	76-98
16	Fazenda Paquira	Almeirim	00° 24' 36" N	53° 42' 00" O	76-98
17	Fazenda Urucuré	Acará	02° 24' 36" N	48° 40' 48" O	76-98
18	Itupiranga	Itupiranga	05° 07' 12" N	49° 19' 12" O	76-98
19	Jabota	Itaituba	05° 09' 00" N	56° 51' 00" O	76-98
20	Jacareacanga	Jacareacanga	08° 15' 36" N	57° 04' 12" O	76-98
21	Km 947/BR-163	Itaituba	08° 10' 48" N	55° 06' 36" O	76-98
22	Medicilândia	Medicilândia	03° 26' 24" N	52° 52' 48" O	76-98
23	Monte Alegre	Altamira	04° 39' 00" N	52° 42' 36" O	76-98
24	Oriximiná	Oriximiná	01° 45' 00" N	55° 51' 00" O	76-98
25	Parque Exp. Agropecuária	Paragominas	03° 25' 12" N	48° 03' 36" O	76-98
26	Porto Trombetas	Oriximiná	01° 25' 48" S	56° 55' 48" O	76-98
27	Primavera do Xingu	São Félix do Xingu	06° 03' 00" N	52° 36' 00" O	76-98
28	Rio Maria	Rio Maria	07° 18' 36" N	50° 00' 00" O	76-98
29	Santa Maria das Barreiras	Santa Maria das Barreiras	08° 51' 00" N	49° 43' 12" O	76-98
30	Santarém	Santarém	02° 24' 36" N	54° 40' 48" O	76-98
31	Sete Varas	Alenquer	00° 57' 00" S	55° 19' 48" O	76-98

FONTE: ANEEL (2001).

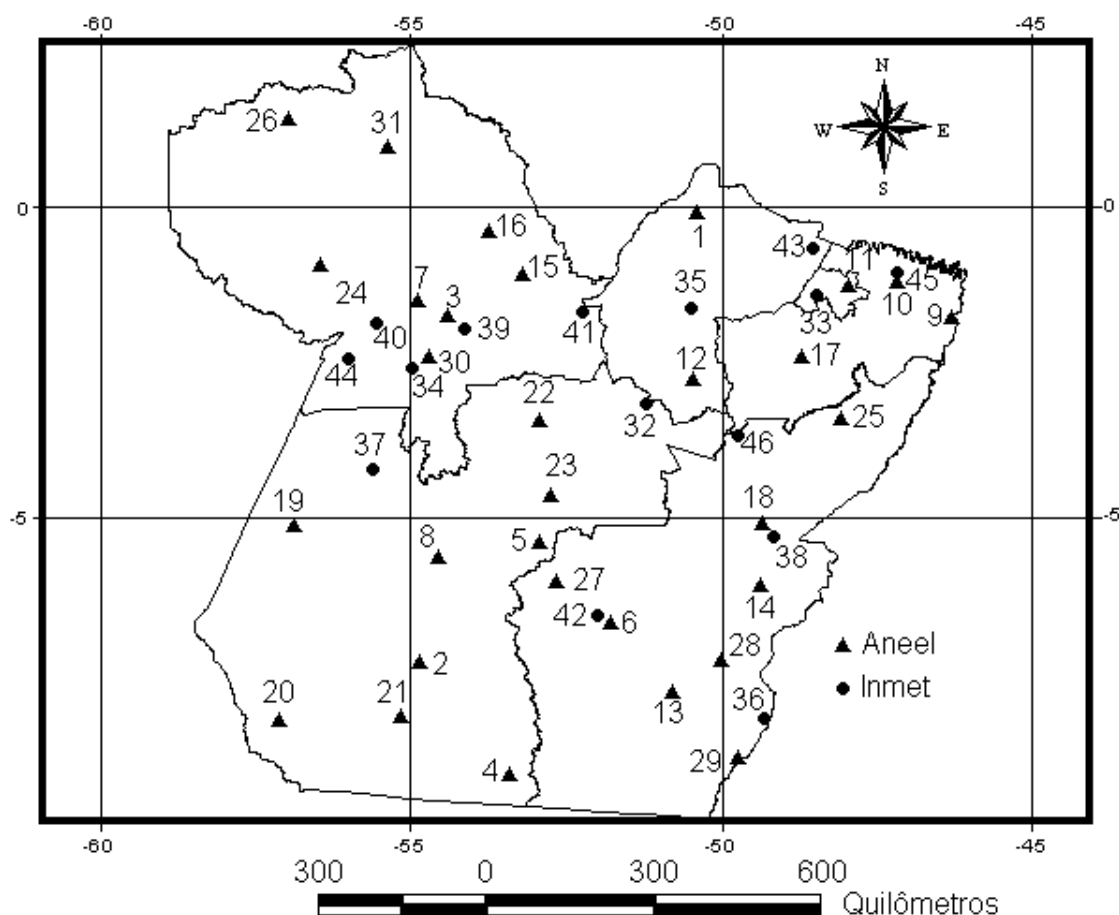


Figura 4 – Localização geográfica das estações climatológicas do INMET e das estações pluviométricas da ANEEL estudadas.

Quadro 2 – Estações climatológicas no Estado do Pará

Nº	Localidade	Latitude	Longitude
32	Altamira	03° 12' 00" N	51° 12' 00" O
33	Belém	01° 27' 00" N	48° 27' 36" O
34	Belterra	02° 37' 48" N	54° 57' 00" O
35	Breves	01° 39' 36" N	50° 28' 48" O
36	Conceição Araguaia	08° 15' 00" N	49° 16' 48" O
37	Itaituba	04° 15' 36" N	55° 34' 48" O
38	Marabá	05° 21' 00" N	49° 09' 00" O
39	Monte Alegre	02° 00' 00" N	54° 04' 48" O
40	Óbidos	01° 24' 36" N	55° 30' 36" O
41	Porto de Moz	01° 43' 48" N	52° 13' 48" O
42	São Félix Xingu	06° 37' 48" N	51° 58' 48" O
43	Soure	00° 42' 36" N	48° 30' 36" O
44	Tiríós	02° 28' 48" N	55° 58' 48" O
45	Tracuateua	01° 04' 48" N	47° 09' 36" O
46	Tucuruí	03° 42' 36" N	49° 42' 36" O

FONTE: INMET (1992).

3.3. Determinação do início e fim da estação chuvosa

O início e o fim da estação chuvosa foram determinados com base no critério proposto por KASSAM (1979), conforme as equações 1 e 2.

$$P_{(i)} > \frac{ETP_{(i)}}{2} = I \quad (1)$$

$$P_{(i)} < \frac{ETP_{(i)}}{2} = F \quad (2)$$

em que

P = precipitação;

ETP = evapotranspiração potencial;

(i) = mês em questão;

I = início da estação chuvosa e de crescimento; e

F = fim da estação chuvosa.

O critério utilizado na determinação da data de plantio consistiu na data, a partir do dia juliano 306 (1^o de novembro), em que ocorreram 20 mm ou mais de chuva, em um ou dois dias consecutivos, desde que não houvesse ocorrido um período seco de 10 dias ou mais nos 30 dias seguintes.

A avaliação dos períodos secos durante a estação chuvosa consistiu na identificação da maior seqüência de dias secos em cada mês da estação chuvosa de cada localidade, em toda a série de dados pluviométricos. Os resultados foram expressos em mediana.

3.4. Espacialização dos resultados de precipitação e do início e fim da estação chuvosa

Para obtenção dos mapas temáticos, foi digitalizado o mapa geográfico do Estado do Pará, na escala de 1:1.000.000, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1999). Em seguida, foi utilizado o módulo computacional extensão “Spatial Analyst”, versão 1.1, contido no

“software Arc View 3.1”. Por meio da rotina “Surface-Interpolate Grid” (Figura 5), efetuou-se a interpolação dos valores pontuais georreferenciados de precipitação e evapotranspiração potencial, distribuídos sobre o mapa geográfico digitalizado em questão, utilizando o Método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW).

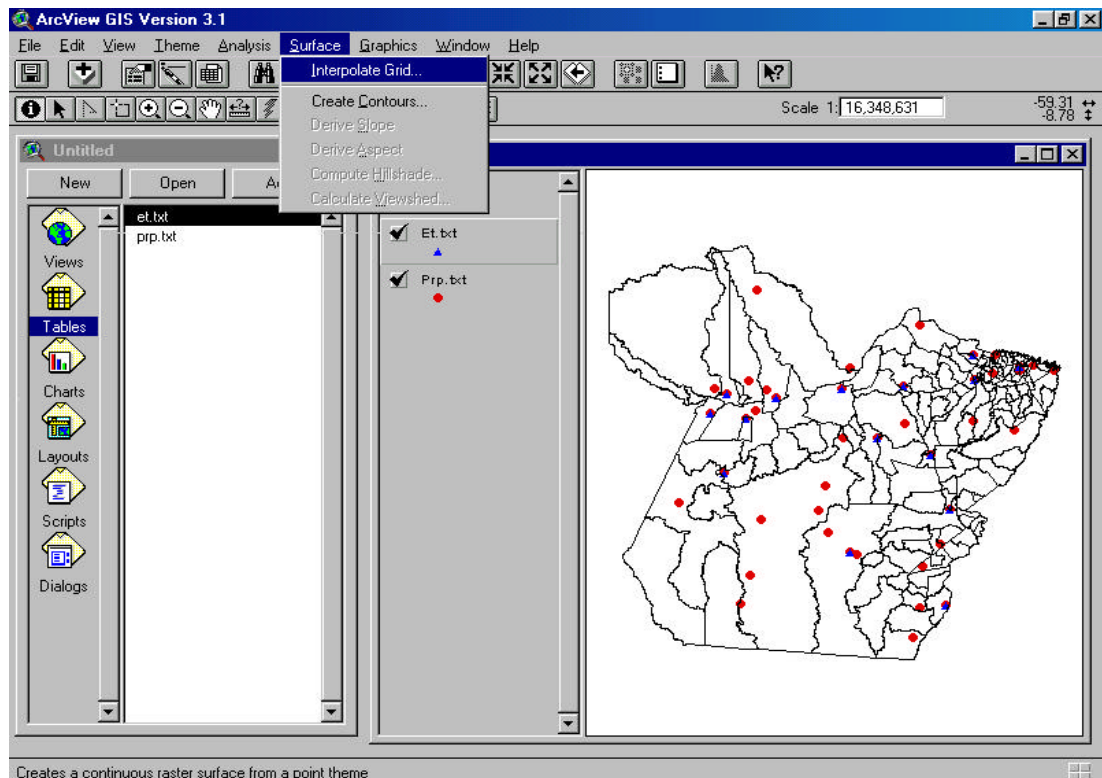


Figura 5 – Visualização do software Arc View durante a rotina Interpolate Grid.

O ArcView permite a utilização do módulo *Interpolate Grid* com a escolha da opção de interpolação pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW), considerando-se apenas as seis estações mais próximas do ponto a ser calculado, como base para a estimativa do seu valor. Esse método assumiu que o valor a ser estimado para a variável em um ponto X qualquer é proporcional ao valor medido em n estações vizinhas (V_i) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o ponto X e cada uma dessas n estações (D_i^2). Portanto, quanto mais distante o posto estiver do ponto X,

menor será seu peso ou, em outras palavras, menor sua influência sobre o valor a ser estimado (V_x) (WATSON e PHILIP, 1985).

A estimativa da precipitação, com base no procedimento descrito anteriormente, pode ser feita por meio da equação 3. É necessário escolher as n estações mais próximas ao ponto X e medir suas distâncias (D_i) a cada uma dessas n estações. O valor V_1 , medido na primeira estação (E_1), é dividido por D_1^2 (quadrado da distância entre X e E_1); depois V_2 por D_2^2 , e assim sucessivamente até V_n por D_n^2 . A somatória dos resultados é dividida pela somatória dos inversos de D_n^2 , conforme a equação 3 (ASSAD e SANO, 1998).

$$V_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{D_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i^2}} \quad (3)$$

em que

V_x = valor estimado i ;

V_i = valor medido na estação;

D_i = distância entre o ponto e a estação;

n = número de estações usadas para estimativa de V_x ; e

i = número da estação (variando de 1 a n).

Para avaliação dos períodos secos durante a estação de crescimento, foram gerados mapas mensais, de precipitação e de evapotranspiração. Através da rotina “map calculator” (Figura 6), foram inseridas as equações propostas por KASSAM (1979), para determinação da estação de crescimento. Em seguida, foram obtidos os mapas de início, duração e fim das estações de crescimento. Para gerar os mapas do início da estação chuvosa, foi seguido o procedimento de sobreposição de mapas, no software Arc View. O mês em que iniciava a estação chuvosa era selecionado e sobreposto no mês seguinte, e assim por diante até o mês em que terminava tal estação, obtendo-se, com isso, um único mapa com todas as áreas distintas para o início da estação e dos respectivos meses. Esse procedimento também foi adotado para obtenção do fim da estação chuvosa. A duração da estação chuvosa foi obtida pela subtração dos mapas de início e fim da estação das chuvas.

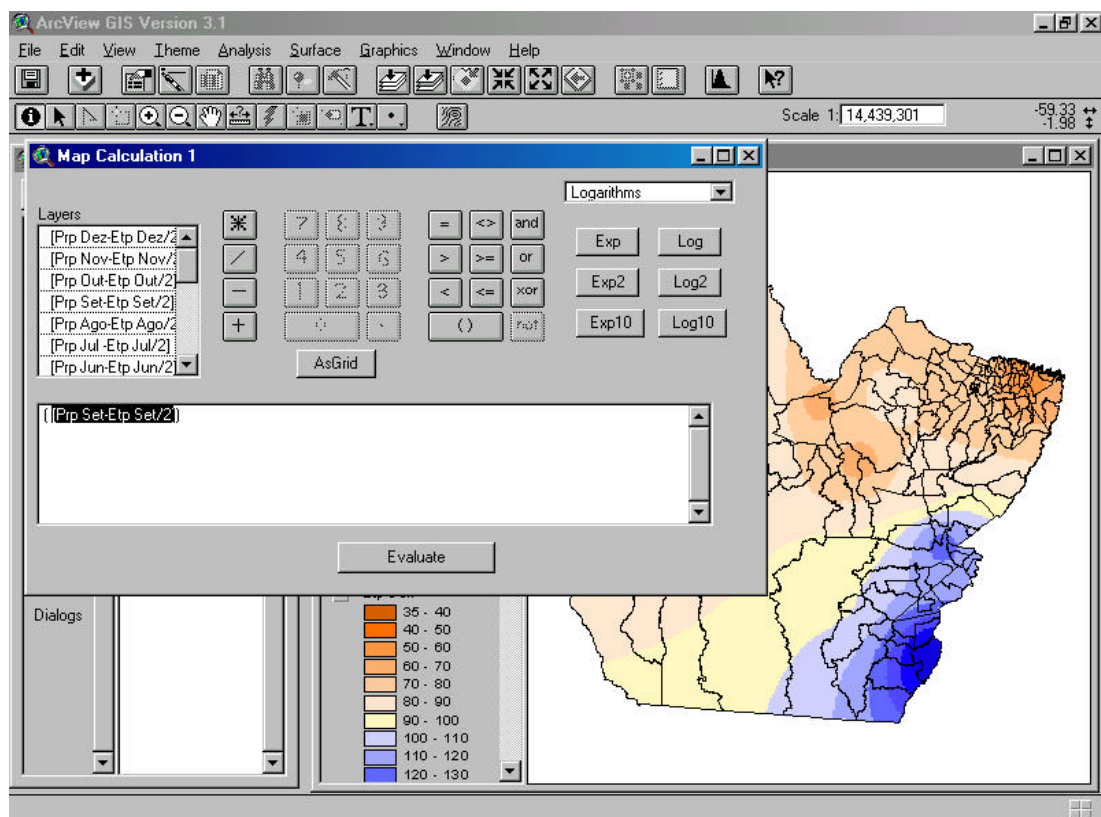


Figura 6 – Visualização do software Arc View na rotina Map Calculator.

4. RESULTADOS

4.1. Variações temporal e espacial da precipitação no Estado do Pará

4.1.1. Precipitação média anual

A distribuição da precipitação média anual no Estado do Pará, baseada em 23 anos de totais anuais de precipitação das 31 localidades estudadas, está ilustrada no cartograma de isoietas da Figura 7. As maiores precipitações anuais ocorreram a norte do Estado do Pará, enquanto a sudeste aconteceram os menores totais de precipitação anual. A precipitação média anual variou de 1.349 mm em Rio Maria, ao sudeste do Estado, a 3.330 mm na Fazenda Bela Vista (Município de Almeirim), ao norte do Estado, enquanto a mediana das precipitações anuais das respectivas localidades variou de 1.308 mm a 3.461 mm.

As áreas com totais pluviométricos anuais entre 2.400 e 3.330 mm correspondem a aproximadamente 10% da área do Estado e situam-se predominantemente na faixa litorânea paraense, com penetrações para o continente, no eixo Belém-Tailândia, e também ao nordeste da Ilha de Marajó. Duas áreas, uma situada na confluência com o rio Juruema e outra abrangendo as partes média e baixa dos rios Trombetas e Nhamudá, também se enquadram nessa faixa de precipitação anual.

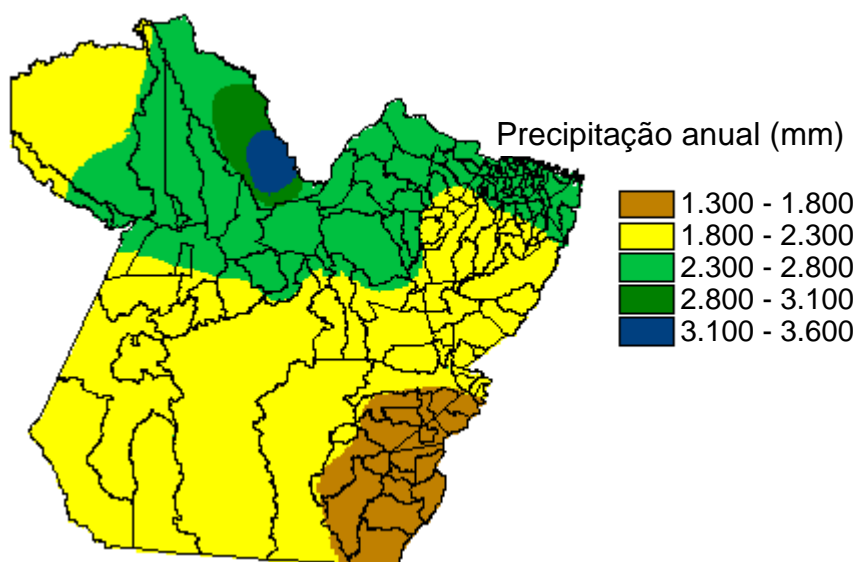


Figura 7 – Variação anual da precipitação no Estado do Pará.

Cerca de 50% da área total do estado apresenta precipitação anual compreendida entre 1.900 e 2.400 mm. Essa área situa-se ao sul e sudoeste do Pará, incluindo uma porção ao norte e nordeste do Estado. A área de menor precipitação anual, entre 1.350 e 1.900 mm, está compreendida em uma ampla faixa distribuída na direção sudoeste-sudeste, formando um “corredor seco”, que corresponde a aproximadamente 40% da área do Estado.

Embora a média das precipitações anuais tenha sido superior à mediana em 22 das localidades estudadas, pode-se considerar a distribuição de freqüência dos totais anuais de precipitação do Estado do Pará como aproximadamente normal. A Figura 8 ilustra a comparação entre a distribuição de freqüência anual de precipitação na Fazenda Bela Vista à curva normal, referente ao período de 1976 a 1998. A distribuição normal também se mostrou adequada para descrever a precipitação sazonal e, em menor grau, a precipitação mensal. Conseqüentemente, a precipitação média foi considerada uma medida de tendência central das precipitações anual, sazonal e mensal.

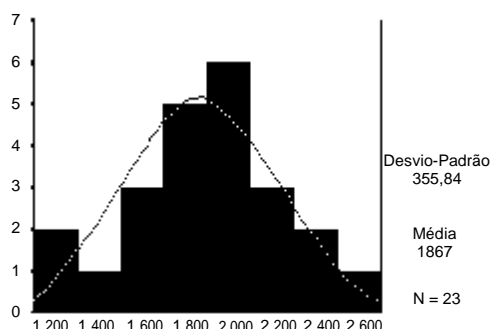


Figura 8 – Variação da precipitação anual na Fazenda Bela Vista em relação à curva normal.

Na Figura 9, apresenta-se a variação da precipitação média anual no período de 1976 a 1998, relacionada com a precipitação normal das referidas localidades. O ano menos chuvoso no período estudado foi o de 1983. A precipitação nesse ano variou de 2.371 mm na Fazenda Bela Vista a 837 mm na área onde se situa o Parque de Exposição Agropecuária (Município de Paragominas). Nesse ano, a média e a mediana da precipitação das 31 localidades foram, respectivamente, de 1.619 e 1.655 mm. Nos cinco anos menos chuvosos no período de 1976 a 1998, três ocorreram durante eventos El Niño (1983, 1987, 1992). Considerando-se os cinco anos mais chuvosos, dois ocorreram durante eventos La Niña (1988, 1989) e um esteve associado a evento de El Niño (1994).

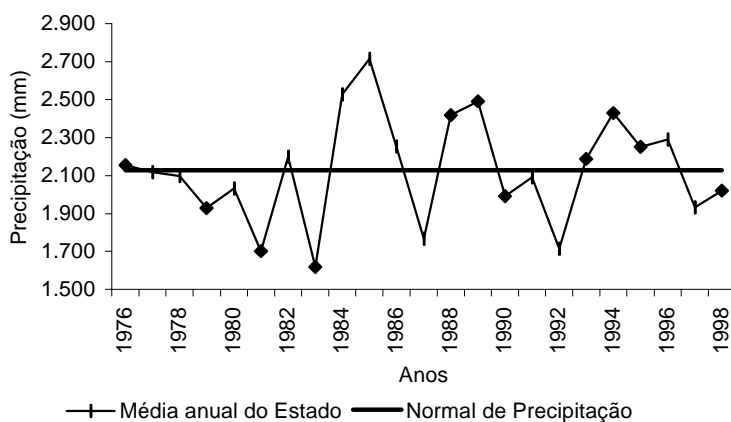


Figura 9 – Variação pluviométrica anual do Estado do Pará em relação à média de 23 anos.

A variação espacial da variabilidade da precipitação anual no Estado do Pará, expressa pelo coeficiente de variação, está ilustrada na Figura 10. O coeficiente de variação da precipitação anual variou de 15% em Jabota a 30% em Aldeia do Baú. Os menores valores foram observados na parte central do Estado, enquanto os maiores foram observados ao norte da região sudoeste e ao sul da região nordeste.

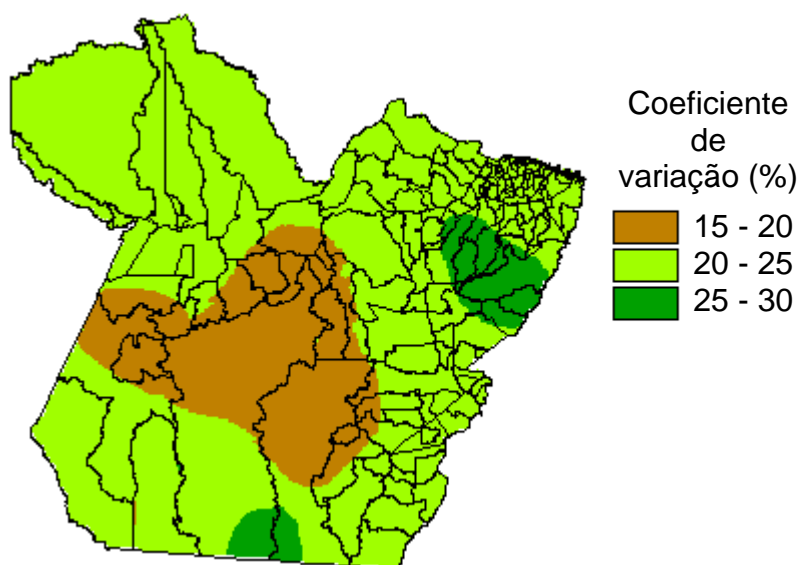


Figura 10 – Variação anual do coeficiente de variação no Estado do Pará.

A variabilidade interanual da precipitação foi expressa em termos do índice de variabilidade interanual, que representa a variação média da precipitação de um ano em relação ao seguinte. A variação espacial da variabilidade interanual da precipitação no Estado do Pará está apresentada na Figura 11. O índice de variabilidade variou de 15% em Jacareacanga a 30% na área onde se situa o Parque de Exposição Agropecuária. Os menores valores foram observados no extremo sul da região sudoeste e os maiores, ao sul da região nordeste e ao norte da região sudeste.

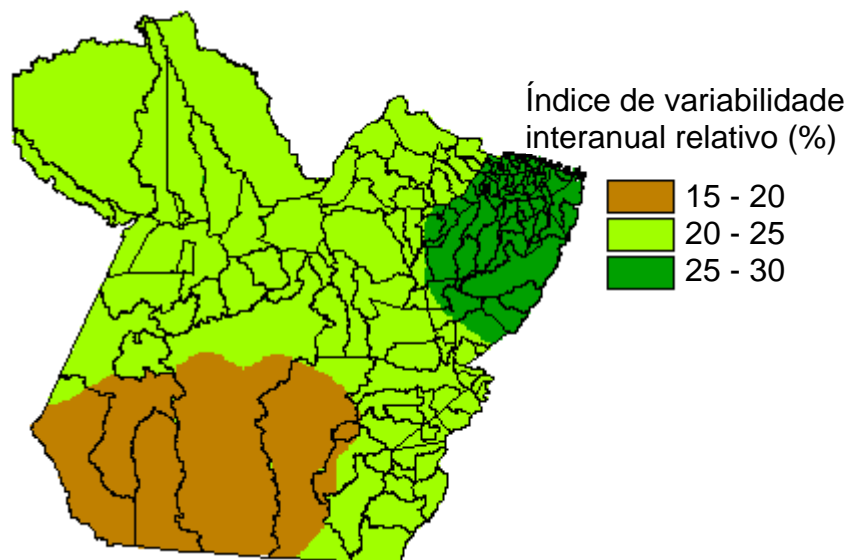


Figura 11 – Variação do índice de variabilidade interanual relativo.

4.1.2. Variação sazonal

A variação sazonal da precipitação no Estado do Pará é caracterizada por uma estação chuvosa, que na maioria das localidades compreende os meses de dezembro a maio; e por uma estação menos chuvosa (estação seca), que corresponde, geralmente, ao período de junho a novembro. No Quadro 3, apresentam-se os valores médios da precipitação durante a estação chuvosa e a estação em todas as 31 localidades, com os respectivos desvios-padrões e coeficientes de variação.

O percentual do total de precipitação na estação chuvosa em relação ao total anual foi de 77%, com uma variação de 69% (Boca do Inferno) a 86% (Parque de Exposição Agropecuária). A precipitação na estação chuvosa variou de 965 mm (Rio Maria) a 2.744 mm (Fazenda Bela Vista), com um valor médio, em todas as localidades, de 1.657 mm e mediana de 1.594 mm. A variação da precipitação na estação seca foi de 230 mm (Parque de Exposição Agropecuária) a 678 mm (Oriximiná), com uma média de 487 mm e mediana de 506 mm.

A variação espacial do coeficiente de variação da precipitação da estação chuvosa foi semelhante à observada na variação anual, uma vez que mais de 3/4 da precipitação anual ocorre nessa estação.

Quadro 3 – Variação sazonal da precipitação no Estado do Pará

	Estação Chuvosa				Estação Seca			
	X (mm)	DP	CV	Per (%)	X (mm)	DP	CV	Per (%)
Afua	2.094	459,63	21,95	83	436	157,22	36,04	17
Aldeia do Baú	2.014	706,05	35,05	79	539	168,00	31,17	21
Arapati	1.231	331,71	26,95	75	406	152,88	37,68	25
Balsa do Cantu	1.720	407,33	23,69	75	580	198,97	34,29	25
Belo Horizonte	1.393	239,97	17,22	80	342	136,33	39,92	20
Boa Esperança	1.471	221,28	15,04	74	507	118,00	23,27	26
Boca do Inferno	1.196	341,59	28,56	69	544	127,49	23,45	31
Cajueiro	1.468	260,42	17,74	76	464	92,31	19,88	24
Camiranga	1.921	554,15	28,85	78	555	176,79	31,83	22
Capanema	1.771	406,41	22,95	74	638	130,80	20,52	26
Castanhal	1.780	353,62	19,87	75	606	186,83	30,84	25
Cipoal	2.110	460,08	21,80	83	444	157,26	35,38	17
Cumaru do Norte	1.025	320,63	31,29	72	392	150,87	38,48	28
Eld. dos Carajás	1.121	351,17	31,33	72	435	163,72	37,60	28
Faz. Bela Vista	2.744	598,09	21,80	83	578	204,44	35,38	17
Faz. Paquirá	2.549	552,71	21,68	83	537	190,18	35,40	17
Faz. Urucuré	1.594	466,15	29,25	82	359	132,36	36,86	18
Itupiranga	2.005	437,08	21,80	83	422	149,29	35,34	17
Jabota	1.378	400,49	29,07	72	527	150,07	28,47	28
Jacareacanga	1.524	292,67	19,20	73	552	226,16	40,95	27
Km 947/BR-163	1.667	334,71	20,08	73	617	237,88	38,53	27
Medicilândia	2.308	661,59	28,67	78	666	212,15	31,83	22
Monte Alegre	1.348	322,76	23,95	81	316	123,10	38,93	19
Oriximiná	2.092	579,05	27,68	76	678	180,19	26,59	24
Parq. Exp. Agrop.	1.457	407,44	27,97	86	230	104,13	45,34	14
Porto Trombetas	1.569	434,39	27,68	76	506	133,41	26,36	24
Primav. do Xingu	1.369	253,80	18,54	73	494	168,89	34,16	27
Rio Maria	965	311,21	32,26	72	382	144,44	37,84	28
Stª. Mª das Barreiras	1.006	312,99	31,13	72	392	158,40	40,44	28
Santarém	1.677	490,65	29,26	82	377	139,34	36,93	18
Sete Varas	1.805	478,01	26,49	76	566	198,92	35,12	24

X = precipitação média.

DP = desvio-padrão.

CV = coeficiente de variação.

Per = percentual de precipitação.

4.1.3. Áreas pluviometricamente semelhantes

A variação espacial das correlações das precipitações anuais entre as 31 localidades está ilustrada na Figura 12. Com base nos valores do coeficiente de correlação, foram identificadas quatro áreas pluviometricamente semelhantes (APS): APS 1, APS 2, APS 3 e APS 4, constituídas de 5, 10, 10 e 6 localidades, respectivamente.

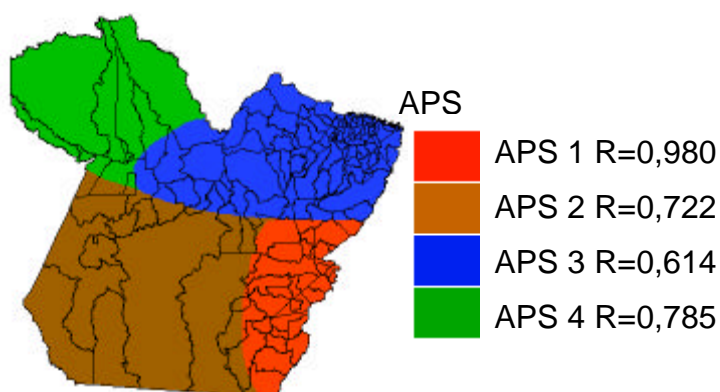


Figura 12 – Áreas pluviometricamente semelhantes (APS) no Estado do Pará.

A APS 1 foi a que apresentou correlações mais significativas entre as precipitações anuais das localidades, com um valor médio de coeficiente de correlação de 0,980. As localidades dessa área situam-se a sudeste do Estado, com abrangência de aproximadamente 13% da área do Pará.

A APS 2 compreende municípios do Baixo Amazonas e sudoeste do Estado, com uma abrangência de cerca de 40% da área estadual. O coeficiente de correlação médio da precipitação anual dessa localidade foi de 0,720.

A APS 3 foi a que apresentou menor coeficiente de correlação da precipitação anual das localidades, embora tenha sido estatisticamente significativa no nível de 95%, com um valor médio de 0,614. Essa área abrange cerca de 30% da área do Estado, incluindo municípios do Baixo Amazonas, Marajó, Região Metropolitana de Belém, nordeste e sudoeste do Estado.

A APS 4 consiste em municípios apenas do Baixo Amazonas, com cerca de 16% da área do Estado. O coeficiente de correlação médio da precipitação anual nessa área foi de 0,785.

A variação da precipitação média nas quatro APS está apresentada na Figura 13. Os valores da precipitação média anual das APS 1, 2, 3 e 4 foram, respectivamente, de 1.630, 2.032, 2.269 e 2.561 mm.

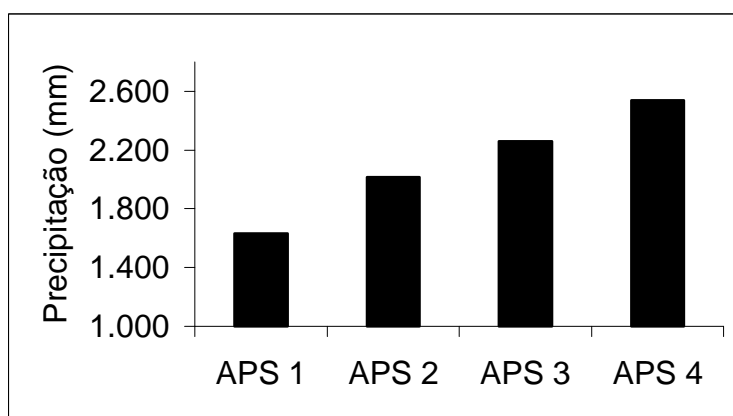


Figura 13 – Variação da precipitação média anual nas APS.

4.1.4. Variação mensal da precipitação

Março foi o mês mais chuvoso em 19 localidades, seguido do mês de fevereiro em cinco localidades, do mês de dezembro em três localidades e dos meses de janeiro e abril, ambos em duas localidades. A variação espacial da precipitação média mensal, de janeiro a dezembro, está ilustrada na Figura 14.

A variação da precipitação média mensal do mês de janeiro foi de 159 mm (Boca do Inferno) a 484 mm (Fazenda Bela Vista). A média e a mediana da precipitação do mês de janeiro foram, respectivamente, de 291 e 287 mm. Na maior parte do Estado, predominaram precipitações entre 300 e 450 mm nesse mês.

A precipitação média no mês de fevereiro variou de 176 mm na localidade de Boca do Inferno, no Baixo Amazonas, a 540 mm na Fazenda

Bela Vista, no extremo norte do Estado. Esse é o segundo mês mais chuvoso do Estado do Pará. A faixa de precipitação predominante também é de 300 a 450 mm. A precipitação média desse mês foi de 317 mm e a mediana, de 309 mm.

Março foi o mês mais chuvoso no Pará. A máxima precipitação mensal média ocorreu ao norte do Estado, na Fazenda Bela Vista, com o valor de 630 mm. O menor valor da precipitação média observada nesse mês foi no sudeste do Estado, em Rio Maria, com o valor de 202 mm.

A variação da precipitação média no mês de abril foi de 119 mm ao sudeste do Estado, na localidade de Santa Maria das Barreiras, a 534 mm na Fazenda Bela Vista. A precipitação predominante na maioria do Estado está compreendida na faixa de 150 a 300 mm. A precipitação média mensal foi de 309 mm, enquanto a mediana foi de 284 mm. Nos quatro primeiros meses do ano, a mediana foi inferior à precipitação média mensal.

O mês de maio representa o fim da estação chuvosa. A máxima precipitação média nesse mês ocorre na parte central do Estado, em Medicilândia, com valores de 345 mm. No entanto, a menor precipitação média nesse mês ocorreu ao sudeste do Estado, em Santa Maria das Barreiras, com o valor de 49 mm. A precipitação média predominante na maioria das localidades está compreendida entre 50 e 150 mm. A precipitação média e a mediana foram de 187 mm e 198 mm, respectivamente.

O mês de junho representa a transição entre a estação chuvosa propriamente dita e a estação menos chuvosa (estação seca). A precipitação média predominante nesse mês foi inferior a 100 mm. A maior precipitação média nesse mês foi em Medicilândia, com o valor de 269 mm, e a menor precipitação média mensal ocorreu ao sudeste, nas localidades de Rio Maria e Santa Maria das Barreiras, com apenas 9 mm. A precipitação média nesse mês foi de 91 mm e a mediana, de 104 mm.

O mês de julho foi tipicamente o primeiro mês da estação seca. A precipitação predominante no Estado do Pará nesse mês foi inferior a 65 mm. O valor máximo da precipitação média mensal ocorreu na Zona Bragantina, em Capanema, com o valor de 183 mm, e a menor precipitação média nesse mês aconteceu em Eldorado dos Carajás e Cumaru do Norte, ambas no sudeste do

Pará, com apenas 7 mm. A precipitação média de julho nas 31 localidades foi de 62 mm e a mediana, de 68 mm.

O mês de agosto foi o mês que apresentou menor precipitação média no Estado do Pará. A precipitação predominante nesse mês ficou entre 0 e 50 mm. A máxima precipitação média mensal foi observada em Capanema, com o valor de 144 mm; e a menor precipitação média mensal foi de 7 mm, verificada em Rio Maria. As precipitações média e mediana nesse mês foram de 51 e 46 mm, respectivamente.

A variação da precipitação média no mês de setembro foi de 24 mm, na Fazenda Urucuré, ao norte da região nordeste, a 134 mm em Aldeia do Baú, no extremo sudoeste do Estado. A precipitação média predominante no Pará nesse mês esteve compreendida entre 50 e 100 mm. A precipitação média nesse mês foi de 75 mm e a mediana, de 78 mm.

A precipitação média no mês de outubro variou de 27 mm no Parque de Exposição Agropecuária a 165 mm na localidade do Km 947 da BR 163. A precipitação predominante no Estado do Pará está compreendida entre 50 e 100 mm. Os valores das precipitações média e mediana nesse mês foram de 89 e 83 mm, respectivamente.

O mês de novembro caracterizou-se pelo fim da estação seca na maioria das localidades do Estado do Pará. A máxima precipitação média foi observada na localidade do Km 947 da BR 163, com o valor de 253 mm, enquanto a menor precipitação média mensal ocorreu em Capanema, com o valor de 26 mm. A precipitação média predominante nesse mês, no Pará, situou-se entre 100 e 150 mm. A média e a mediana da precipitação nesse mês foram, respectivamente, de 120 e 180 mm.

O mês de dezembro determina o início da estação chuvosa na maioria das localidades do Estado do Pará, cuja precipitação média mensal variou de 81 mm em Capanema a 362 mm em Aldeia do Baú. A precipitação média nesse mês foi de 191 mm e a mediana, de 195 mm. Embora a distribuição de precipitação mensal tenha mostrado diferença entre a média e a mediana, a distribuição normal foi a que melhor se ajustou aos totais de precipitação.

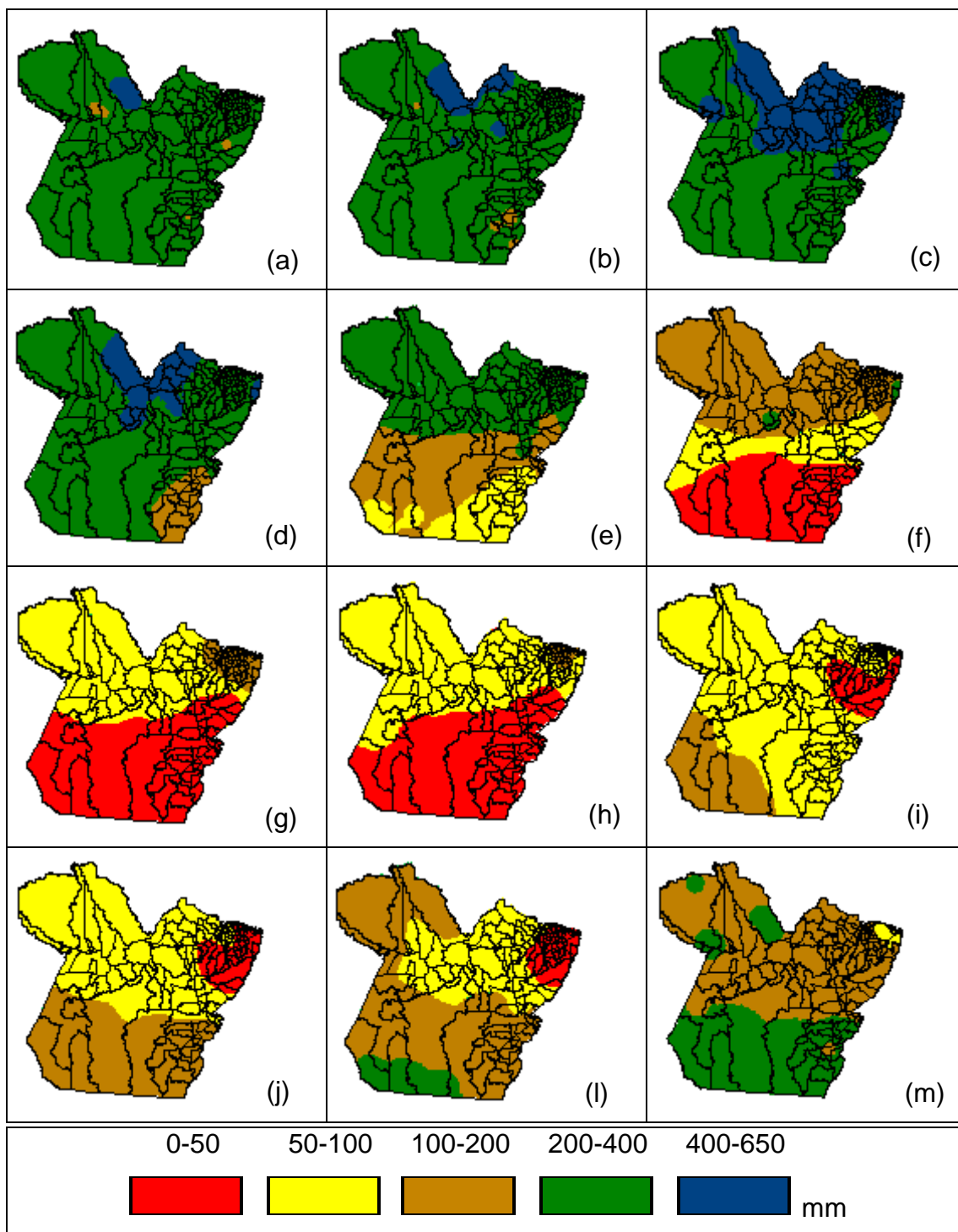


Figura 14 – Variação mensal da precipitação no Estado do Pará: (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (l) novembro e (m) dezembro.

4.2. Variação espacial das características da estação chuvosa no Estado do Pará

4.2.1. Início da estação chuvosa

A Figura 15 ilustra a variação espacial do início da estação chuvosa em base mensal no Estado do Pará, que corresponde ao primeiro mês, em que a precipitação normal é igual ou superior à metade da evapotranspiração potencial. Observa-se, nessa figura, que dezembro é o mês que caracteriza o início da estação chuvosa na maioria das localidades do Estado do Pará. Entretanto, em uma pequena área ao sul do Estado, compreendendo os Municípios de Novo Progresso, Altamira e São Félix do Xingu, o início da estação chuvosa pode ocorrer no mês de outubro. A ocorrência mais tardia do início da estação chuvosa verificou-se em uma pequena área no litoral paraense e Zona Bragantina. No início da estação chuvosa em novembro, observou-se uma larga faixa de sudoeste a sudeste, incluindo o centro-sul.

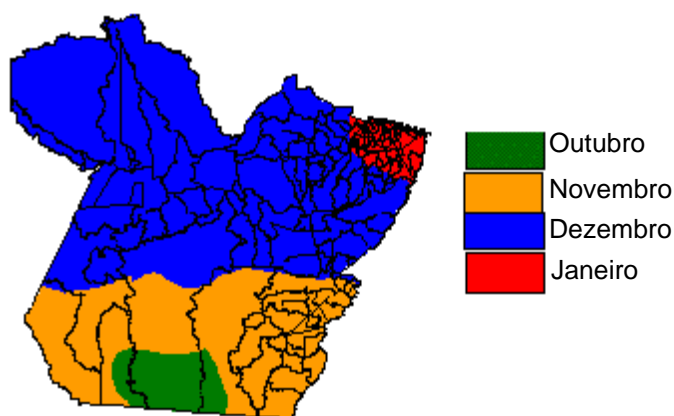


Figura 15 – Início da estação chuvosa no Estado do Pará.

4.2.2. Fim da estação chuvosa

A variação espacial do fim da estação chuvosa, em base mensal, definida como o mês em que a precipitação normal volta a ser igual ou inferior

à metade da evapotranspiração potencial, está apresentada na Figura 16. O fim da estação chuvosa no Estado do Pará ocorre primeiro ao sul do Estado, em maio, e, por último, ao nordeste do Estado, em uma área relativamente pequena, em agosto. Na maioria das localidades do Pará, compreendida numa faixa de leste a oeste, o fim da estação chuvosa ocorre em junho. Na região norte do Estado, que corresponde à segunda maior área, o fim da estação chuvosa ocorre em julho.

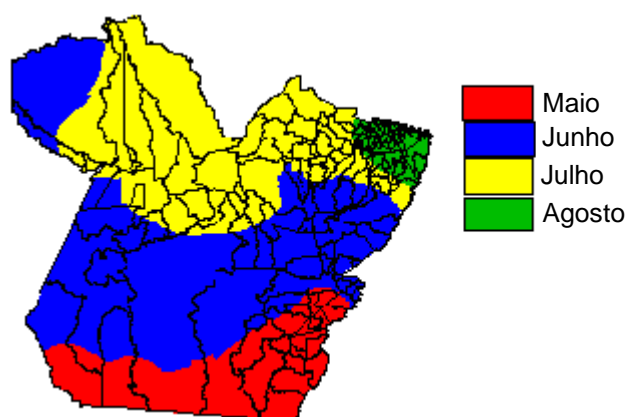


Figura 16 – Fim da estação chuvosa no Estado do Pará.

4.2.3. Duração da estação chuvosa

A Figura 17 ilustra a variação espacial da duração média da estação chuvosa, definida com base nos resultados obtidos nos dois itens anteriores. Com base nesse critério, a estação chuvosa no Pará varia de seis a sete meses. A maior variação está relacionada com os meses de início e fim da estação chuvosa, com delimitação de seis períodos distintos.

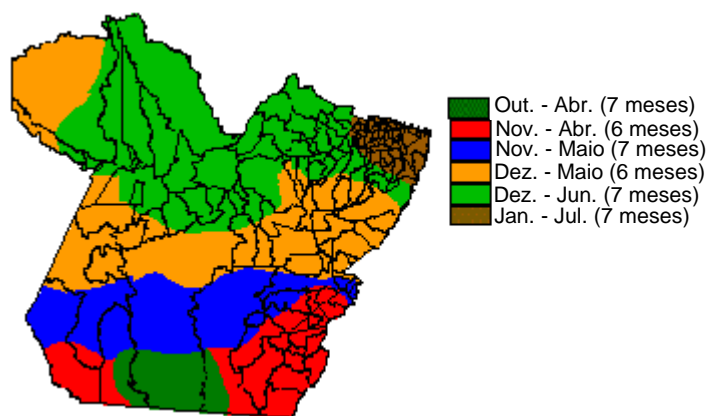


Figura 17 – Duração da estação chuvosa no Estado do Pará.

4.3. Avaliação dos períodos secos durante a estação chuvosa

A variação espacial dos maiores períodos secos, expressa pela mediana, nos meses da estação chuvosa de janeiro a maio e no mês de junho, que representa a transição entre a estação chuvosa e a estação seca, está ilustrada na Figura 18. A duração de períodos secos, predominantes em todo o Estado, está compreendida entre três e seis dias. Essa duração tende a diminuir com o aumento da precipitação, em quantidade e frequência, nos meses de fevereiro e março. Durante o mês de março, a mediana dos períodos secos divide o Estado em duas áreas amplas, 0–3 dias ao norte e 3–6 dias ao sul. A partir de abril, há tendência de aumento dos períodos secos. Nesse mês, a duração de período seco predominante é de 3–6 dias, abrangendo toda a parte central e sul do Estado. Na porção norte do Pará, a mediana de duração de períodos secos atinge até três dias, porém no sudeste do Estado se observa a ocorrência de períodos secos superiores a 10 dias.

Em maio predominam durações de período seco de três a oito dias em toda a porção norte e central do Estado, seguido pela faixa de duração de período seco de 8 a 13 dias, predominantemente ao sul e sudoeste do Pará. Nesse mês já são evidentes áreas ao sudoeste do Estado maiores do que o mês anterior, com veranicos superiores a 15 dias. A duração de períodos secos aumenta consideravelmente no mês de junho em todas as microrregiões paraenses. A ocorrência de períodos secos superiores a 15 dias já se manifesta em aproximadamente 50% do Estado.

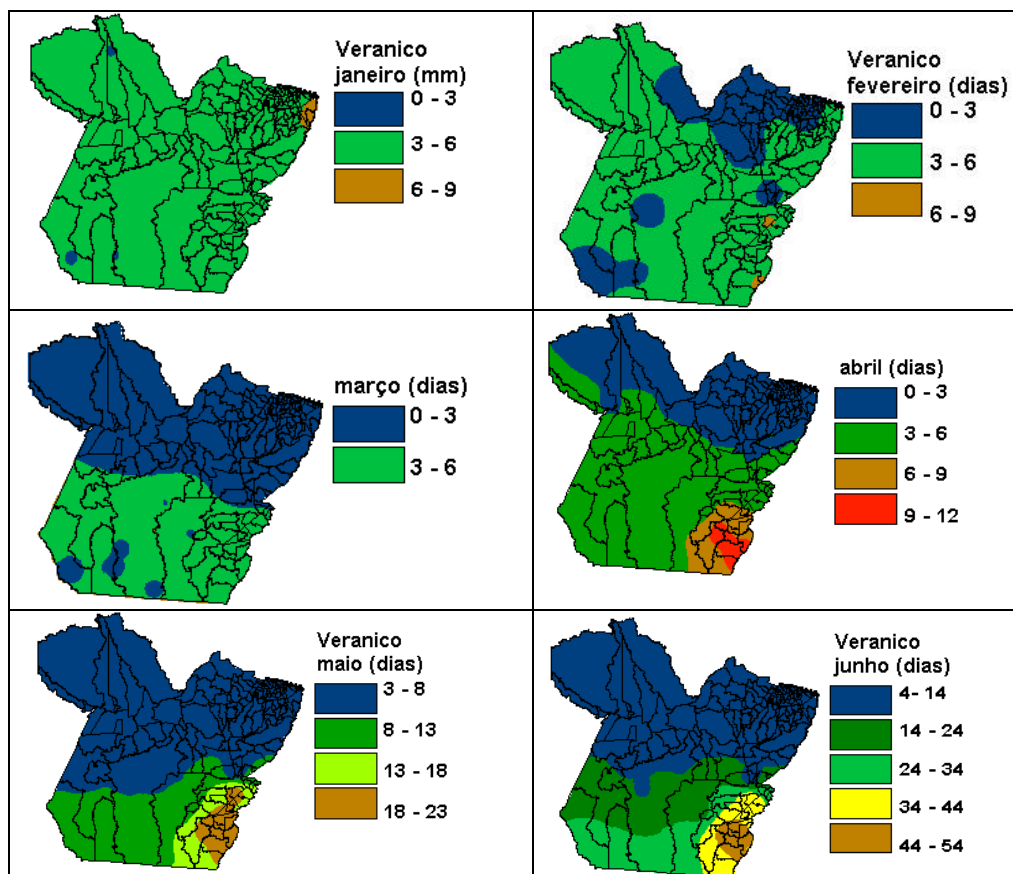


Figura 18 – Variação dos dias secos durante a estação chuvosa.

4.4. Datas de plantio

O Estado do Pará possui cinco áreas distintas, com as respectivas datas para o plantio, conforme ilustrado na Figura 19. A primeira área abrange localidades do extremo sul das regiões sudoeste e sudeste paraenses, ocupando 20% da área total do Estado. Os períodos de plantio nessa área variam do dia juliano 309 (4/nov.) ao dia 319 (14/nov.). A segunda área configura uma faixa que se estende do sul do sudeste ao norte do Baixo Amazonas, abrangendo também municípios da região sudoeste. Essa área corresponde a 32% da totalidade do Estado, e as datas de plantio variam do dia juliano 320 (15/nov.) ao 330 (25/nov.). A terceira área abrange localidades do norte das regiões sudoeste, sudeste, Baixo Amazonas e a totalidade da região do Marajó, ocupando 23% do território estadual. Nessa área, as datas de plantio oscilam entre o dia juliano 331 (26/nov.) e o 341 (06/dez.). A quarta

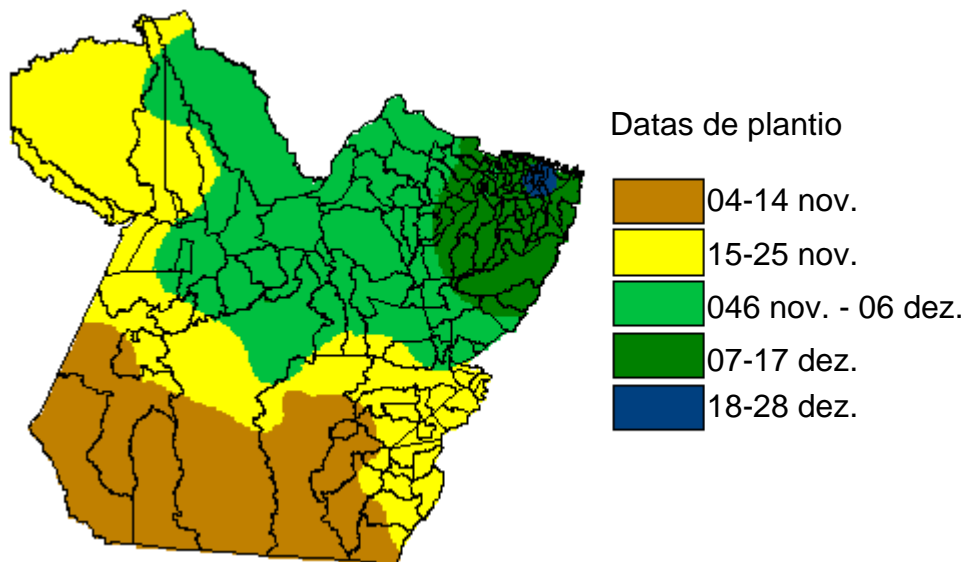


Figura 19 – Datas de plantio no Estado do Pará.

área abrange a totalidade das regiões nordeste, Metropolitana de Belém e norte do sudeste, ocupando uma área de 19% do Pará. As datas representativas dessa região variam do dia juliano 342 (07/dez.) ao dia 352 (17/dez.). A última e menor área representa apenas um pequeno núcleo no litoral paraense, correspondendo a 6% do Estado.

Existe, portanto, uma defasagem média de 44 dias entre a primeira área, com período precoce; e a última área, com período mais tardio. Essa defasagem acontece no sentido sudoeste-nordeste do Estado.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

As variações anual, sazonal e mensal da precipitação no Estado do Pará foram analisadas com base em técnicas de Sistema de Informação Geográfica e parâmetros estatísticos de análise exploratória de dados. Os dados pluviométricos utilizados consistiram de séries históricas de 23 anos de dados diários de 31 localidades do Estado do Pará, pertencentes à rede de estações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), completando com as normais climatológicas referentes a 15 estações climatológicas pertencentes à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A distribuição de frequência normal foi a que melhor se ajustou aos dados anuais, sazonais e mensais, o que indica uma considerável variação temporal e espacial da precipitação no Estado do Pará. Apesar das chuvas abundantes durante a estação chuvosa, constatou-se a ocorrência de deficiência hídrica em todas as localidades estudadas durante o período menos chuvoso.

Considerando a importância da precipitação no planejamento de atividades na agricultura, na indústria ou para fins hidroelétricos, é fundamental a determinação de suas variabilidades temporal e espacial. Essa variabilidade, caracterizada pelo coeficiente de variação e pelo índice de variabilidade interanual relativo, foi maior nas precipitações mensais do que nos totais de precipitação anual. O coeficiente de variação da precipitação anual na maior parte do Estado do Pará está compreendido entre 20 e 25%. Também, foi

constatado maior variabilidade da precipitação durante a estação seca do que na estação chuvosa.

Quatro áreas pluviometricamente semelhantes foram identificadas com base em análises de correlação entre os totais de precipitação durante a estação chuvosa. As maiores correlações foram obtidas nas áreas com menores totais pluviométricos anuais.

As características da estação chuvosa, expressas pelo início, pelo fim e pela duração, apresentaram considerável variação espacial, sugerindo a utilização de calendários agrícolas diferenciados. Essa caracterização poderá ser altamente valiosa no zoneamento agroclimático do Estado, incluindo a variação espacial das datas de plantio das culturas anuais recomendadas para o Estado do Pará. As datas de plantio recomendadas variam desde a primeira semana de novembro até a última semana de dezembro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. 2. ed. [S. I.]: Embrapa Editora, 1998. 434 p.
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C.A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidades na Amazônia. **Climanálise**, v. 4, n. 11, p. 34-39, 1989.
- COSTA, M. H.; FOLEY, J. A. A comparison of precipitation datasets for the Amazon basin. **Geophysical Research Letters**, v. 25, n. 2, p. 155-158, 1998.
- CHU, P. S.; YU, Z. P.; HASTENRATH, S. Detecting climate change concurrent with deforestation in the Amazon Basin: Which way has it gone? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 75, p. 582-582, 1994.
- CUTRIM, E. M. C. Chuvas na Amazônia durante o século XX. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000.
- FERREIRA, N. J.; CHAN, C. S.; SATYAMURTI, P. Análise dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, 1990, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: [s. n.], 1990. p. 462-466.
- FOLEY, J.A.; BOTTA, A.; COE, M.T; COSTA, M.H. **The El Niño/Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia**. [S. I.]: Global Biogeochemical Cycles, Submitted, 2002.
- HOREL, J.D.; HAHMANN, A.N.; GEISLER, J.E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, v. 2, n. 11, p 1388-1403, 1989.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatísticas Agropecuárias. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. 1998.
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. (Eds.) Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements ASCE Manual Report on Engineering. **Practices**, n, 70, p. 442, 1990.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas**. [S. l.: s. n.], 1992.
- KASSAM, A.H. **Multiple cropping rainfed productivity in Africa**. Rome, Italy: FAO, 1979. (Working Paper, 5).
- KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; MOURA, A. D. Tropical circulation's and the associated rainfall anomalies during two contrasting years. **Journal of Climatology**, v. 8, p. 477-48, 1998.
- KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Rev. Bras. Meteo.**, v. 3, p. 217-231, 1988.
- LIEBMANN, B.; MARENGO, J.A.; GLICK, J.D.; KOUSKY, V.E.; WAINER, I.C.; MASSAMBANI, O. A comparison of rainfall, outgoing longwave radiation, and divergence over the Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2898-2909, 1998.
- MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, p. 853-863, 1992.
- MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. Case studies climatic events in the Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 6, p. 617-627, 1993.
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; UVO, C. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia Eastern Brazil, and Northwestern Peru. **Journal Geophysical Research**, v. 103, n. D2, p. 1775-1783, 1998.
- MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; WAINER, I. C. onset and end of the rainy season in the brazilian amazon basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 5, p. 833-852, 2001.
- MOLION, L.C.B. On the dynamic climatology of the Amazon basin and associated rain-producing mechanisms. In: —. **The geophysiology of Amazonia vegetation and climate interactions**. New York: John Wiley and Sons, 1987.
- MOLION, L.C.B.; DALLAROSA, R.L.G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? **Climanálise**, v. 5, n. 3, p 40-42, 1990.
- OBREGON, G.; NOBRE, C. Principal component analysis applied to rainfall in Amazonia. **Climanálise**, v. 5, p. 35-46, 1990.

- OLIVEIRA, A.D. **Aspectos agroclimáticos do arroz de sequeiro no Estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 56 p.
- SAGRI. Secretaria de Agricultura do Estado do Pará. Belém, PA. Levantamento da realidade agrícola do Estado do Pará. EMATER-PA. **Série Documentos**, v. 5, p. 65, 1996.
- SAGRI. Secretaria de Agricultura do Estado do Pará. Disponível em: <http://www.sagri.pa.gov.br>. 2001.
- SECTAM. Secretaria Estadual de Cultura Tecnologia e Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.sectam.pa.gov.br>. 2000.
- STERN, R.D.; COE, R. The use of rainfall models in agricultural planning. **Agricultural Meteorology**, v. 26, n.1, p. 35-50, 1982.
- SUGAHARA, S. **Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais da precipitação no Estado de São Paulo**. São Paulo: IGA/USP, 1991. 140 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- WATSON, D.F.; PHILIP, G.M. A refinement of inverse distance weighted interpolation. **Geo-Processing**, v. 2, p. 315-327, 1985.