

MAPEAMENTO ESPACIAL, TEMPORAL E SAZONAL DAS CHUVAS NO BIOMA AMAZÔNICO DO ESTADO DO TOCANTINS

Francisco F. N. Marcuzzo¹; Elvis R. P. Goularte² & Denise C. R. Melo³

RESUMO – O estudo comportamental da precipitação pluviométrica no espaço e no tempo é de contudente importância em estudos de recursos hídricos uma vez que possibilita detectar tendências ou alterações no regime hídrico. O presente trabalho teve como objetivo analisar a variação espacial, temporal e sazonal da precipitação pluvial no bioma da Amazônia do estado do Tocantins. Utilizaram-se nove estações pluviométricas com trinta anos de dados. Foram elaborados mapas com a espacialização das chuvas mensais e sazonais utilizando-se isolinhas e, posteriormente, calculou-se o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para a classificação dos anos secos e úmidos, de acordo com a média histórica estudada. O método de interpolação matemática utilizado na geração das isoietas foi o Topo to Raster, na qual emprega o método multi-grid simples para minimizar a equação em resoluções cada vez melhores, respeitando restrições dos elementos físicos que compõem a paisagem. Os resultados mostraram que a distribuição pluviométrica no bioma da Amazônia do estado do Tocantins apresenta uma grande variação nos índices precipitados na área. Na Aplicação do IAC, para o período de estudo e segundo a média histórica, pode-se verificar que há uma maior percentagem de anos secos, 59,9%, do que de anos úmidos, 40,1%.

ABSTRACT – The behavioral of rainfall in space and time is of overwhelming importance in studies of water resources since it allows detecting trends or changes in water regime. This study aimed to analyze the spatial, temporal and seasonal rainfall in the Amazon biome in the state of Tocantins. We used nine rainfall stations with thirty years of data. Maps were drawn with the spatial distribution of monthly and seasonal rainfall using contour and then used to calculate the Rainfall Anomaly Index (RAI) for the classification of wet and dry years, according to the average historical study. The mathematical method of interpolation used in the generation of isoline was the Top to Raster, which employs a multi-grid simple equation to minimize the ever-improving resolutions respecting constraints of the physical elements that make up the landscape. The results showed that the distribution of rainfall in the Amazon biome of Tocantins state shows a wide variation in rates precipitated in the area. On the Application of RAI, for the period of study and according to the historical average, one can see that there are a greater proportion of dry years, 59.9%, than in wet years, 40.1%.

Palavras-chave: Precipitação pluviométrica, pluviometria, Índice de Anomalia de Chuva.

¹ Eng^o, Doutor, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – Ministério de Minas e Energia - Rua 148, n^o485 - Setor Marista - CEP 74170-110, Tel.:(62) 3240-1426 – Goiânia/GO. fmarcuzzo@go.cprm.gov.br.

² Graduando em Geoprocessamento, Estagiário, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – Ministério de Minas e Energia - Rua 148, n^o485 - Setor Marista Goiânia - CEP 74170-110, Tel.:(62) 3240-1400 – Goiânia/GO, geohydro2010@hotmail.com.

³ Eng^a, Pesquisadora em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – Ministério de Minas e Energia - Rua 148, n^o485 - Setor Marista - CEP 74170-110, Tel.:(62) 3240-1431 – Goiânia/GO, denise@go.cprm.gov.br.

1 – INTRODUÇÃO

Um dos elementos físicos decorrentes da variabilidade climática são a variabilidade da precipitação pluvial, um importante fator no controle do ciclo hidrológico e uma das variáveis climáticas que maior influência exerce na qualidade do meio ambiente. As quantidades relativas de precipitação pluvial (volume), em seu regime sazonal ou diário (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume.duração⁻¹) são algumas das características que afetam direta ou indiretamente a população, a economia e o meio ambiente (Britto *et al*, 2006).

Morais *et al.*, (2005), em seu estudo sobre a climatologia das precipitações no estado do Pará com base em séries históricas de 23 anos (1976-1998) de dados diários de chuva, realizado em 31 localidades do estado, caracterizou a variabilidade anual e sazonal com base no coeficiente de variação e no índice de variabilidade interanual relativo. A variação do coeficiente para a precipitação anual foi de 15 a 30%.

Robertson *et al.*, (2007), utilizou o modelo de Markov (NHMN) para fazer simulações estocásticas de março a agosto com precipitações diárias de dez estações no sudeste dos estados Unidos, no período de 1923-1998. Este modelo foi aplicado para investigar a variação espacial e temporal das chuvas, em regiões de cultivo do milho.

Mauget (2005) ao estudar a variação multi-decadal da precipitação de 1901 a 1998 para identificar as concentrações mais significativas de anos úmidos e secos dentro da série, em regiões continentais, encontrou incidência de anos úmidos na América no norte durante 1972 a 1998, com oito dos dez anos mais desde 1901, ou seja, oito eventos aconteceram durante esses últimos períodos de 27 anos. Para a região norte da Europa, foram encontrados sete dos dez anos mais úmidos de 1978 a 1998. Regimes secos e úmidos significantes foram encontrados nas últimas décadas do século XX. O autor sugere que esses períodos úmidos mais recentes sejam realmente efeito de causas terrestres, tendo evidência mais notável numa larga mudança do padrão do clima do Atlântico norte.

Bega *et al.*, (2005), estudou a variabilidade espacial das chuvas diárias em uma escala reduzida em Pindorama, São Paulo, Brasil, utilizando dados que cobriram um período de 32 anos. Os dados históricos de cinco pluviômetros, cujas distâncias entre si variam de 257 a 3.900 metros, foram submetidos à análise de correlação para determinar a variabilidade espacial. À medida que a distância entre os pluviômetros aumentou, o coeficiente de correlação dos dados de chuvas por eles diminuiu, revelando que a precipitação pluvial depende das posições onde localizam os pluviômetros. As médias diárias mostraram que pluviômetros próximos, porém sob maiores variações de altitude, possuem diferenças superiores a pluviômetros mais distantes, mas sob altitudes similares. Quanto ao comprimento da série, evidenciou-se que, para o estudo, as séries deveriam possuir no mínimo sete anos.

Guimarães (2005), em estudos sobre o comportamento espacial da precipitação no estado et al., de Minas Gerais, respectivamente para o verão e para o total anual, verificaram a necessidade de considerar a distribuição espacial em estimativas desse atributo. Este trabalho visou verificar a ocorrência de dependência espacial e temporal da precipitação pluviométrica mensal para o estado de Minas Gerais utilizando semivariogramas e também mapear as precipitações mensais por meio da Krigagem.

Segundo Da Silva (2009), com o emprego de índices climáticos, exemplo o IAC, pode-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características dos períodos secos ou chuvosos, com informações anuais, sazonais ou mensais, com as quais podem conhecer profundamente a climatologia de uma região, e verificar os impactos que o clima global causa sobre a distribuição pluviométrica local, ou seja, a regionalização da precipitação para determinado local.

Um ponto crucial no emprego do IAC, bem como qualquer outro, reside na escolha do patamar a ser estabelecido para a definição de um período de seca. Esse patamar é, de modo geral, escolhido arbitrariamente. Já a escolha do patamar para a separação entre anos secos e úmidos não deve ser, portanto, arbitrária, mas deve ser escolhido com base no conhecimento climático da região, na análise das características dos períodos históricos de secas e das correspondentes consequências à população e ao meio ambiente atingidos. Esses efeitos dependem, por sua vez, da infra-estrutura hídrica existente, isto é, variam com o tempo (Da Silva, 2009).

Da Silva *et al.*, (2007), ao utilizarem o IAC para verificar a variabilidade das chuvas na bacia do rio Mundaú (AL e PE), encontraram uma modificação no padrão de distribuição de precipitação. Antes de 1974, nas sub-bacias do Médio Mundaú e Alto Mundaú, os anos foram mais secos e, após 1974, foram mais úmidos, ocorrendo o contrário no Baixo Mundaú.

Gonçalves *et al.*, (2006) obtiveram o IAC para 15 estações situadas no Rio São Francisco, fato que mostrou que a incidência de anos secos é substancialmente maior na região estudada. Através da aplicação do índice em áreas situadas à jusante da hidrelétrica de Sobradinho, pode-se explicar a ocorrência de cheias e inundações ocorridas no sertão pernambucano.

Repelli *et al.*, (1998), em um estudo sobre o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para o estado do Ceará, concluíram que o índice proposto é apropriado para utilização em regiões semi-áridas e/ou tropicais, especialmente para a região nordeste do Brasil. Observa-se a necessidade de mais estudos sobre precipitação pluviométrica utilizando o IAC nos demais estados e regiões do país.

Estudos utilizando o IAC foram conduzidos por Freitas (2004; 2005) para localidades do estado do Ceará e observou que com sua utilização é possível fazer uma comparação das condições atuais de precipitação em relação aos valores históricos, servindo ainda para avaliar a distribuição espacial do evento, consoante com sua intensidade.

Park *et al.*, (2002) afirmaram que a modelagem de chuvas extremas é essencial, pois com a mesma pode-se minimizar custo em relação à agricultura e principalmente ter um bom entendimento em relação às modificações do clima e do tempo.

Clarke *et al.*, (2004) sugeriu que as séries de dados têm que ser suficientemente longas e representativas do local de estudo, pois só assim pode-se observar a variabilidade do comportamento climático de uma região, principalmente em relação as chuvas intensas.

A caracterização da variabilidade temporal de chuvas intensas é, ao longo de sua duração, imprescindível para quantificar adequadamente os efeitos ocasionados, de modo especial, ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais (Cruciani *et al.*, 2002; Beijo *et al.*, 2003).

Silva *et al.*, (2003), em um trabalho para ajustar modelos teóricos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas de dez estações pluviográficas no estado do Tocantins, com séries históricas de 9 a 11 anos de observações, abrangendo o período de 1989 a 1999. Ressalta-se que, no presente trabalho, não foi adotado um período-base de estudos para todas as estações, pois, ao analisar os dados disponíveis para as dez estações pluviográficas avaliadas, verificou-se que no caso de adotar um tempo comum de observações, ter-se-ia que descartar algumas estações da análise, visto que elas não tinham períodos coincidentes, em função do que se adotou como critério o uso de todo o período de dados disponível para todas as estações, visando, desta forma, aumentar o período de obtenção das informações sobre chuvas intensas.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar um estudo da distribuição espacial e temporal da variação sazonal da precipitação pluvial no bioma da Amazônia do estado do Tocantins. Executa-se, no final deste trabalho, uma análise qualitativa dos resultados com base no cálculo estatístico do Índice de Anomalia de Chuva com o intuito de se analisar os anos úmidos e secos.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Caracterização da vegetação, clima e dos mecanismos de formação de chuvas no estado do Tocantins

O estado do Tocantins (Figura 1) localizado na região norte do Brasil entre as longitudes 44°W e 52°W e latitudes 14°S e 4°S, possui uma área de 277.620 km² (ATLAS DO TOCANTINS, 2008) com 139 municípios (Figura 2).

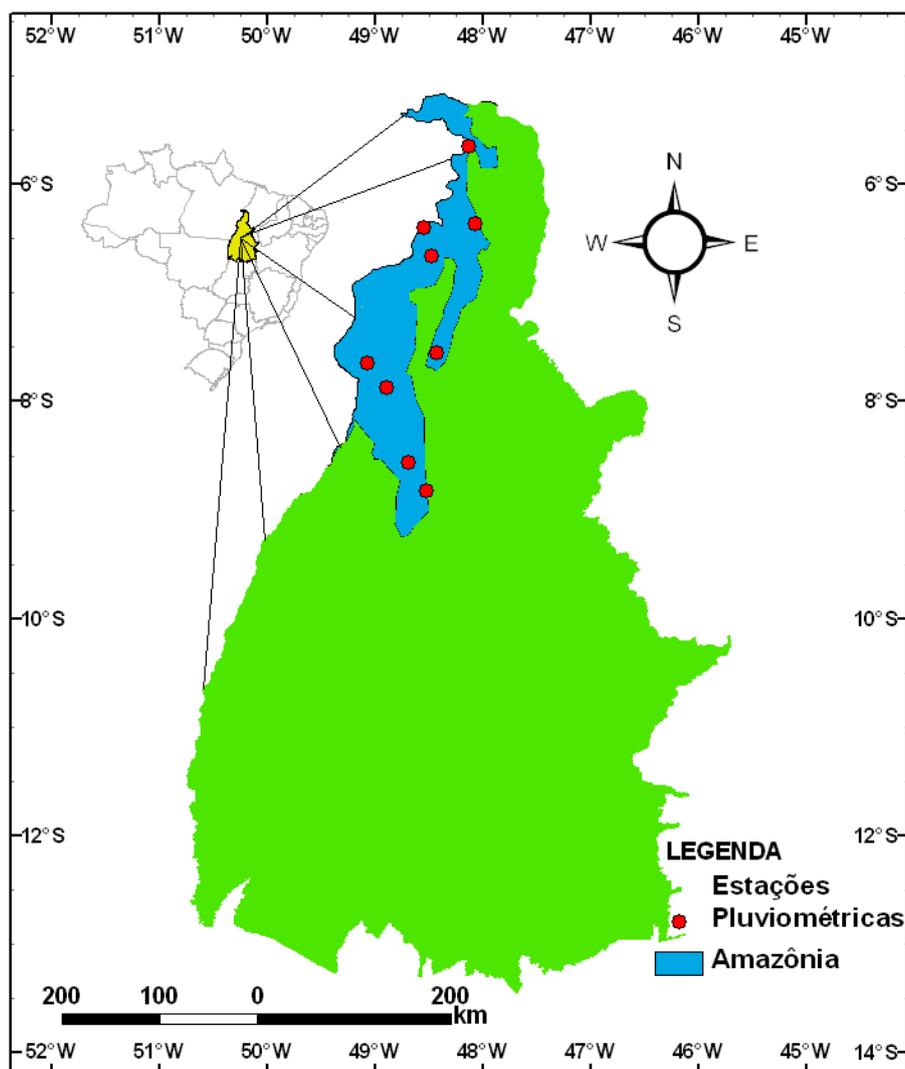
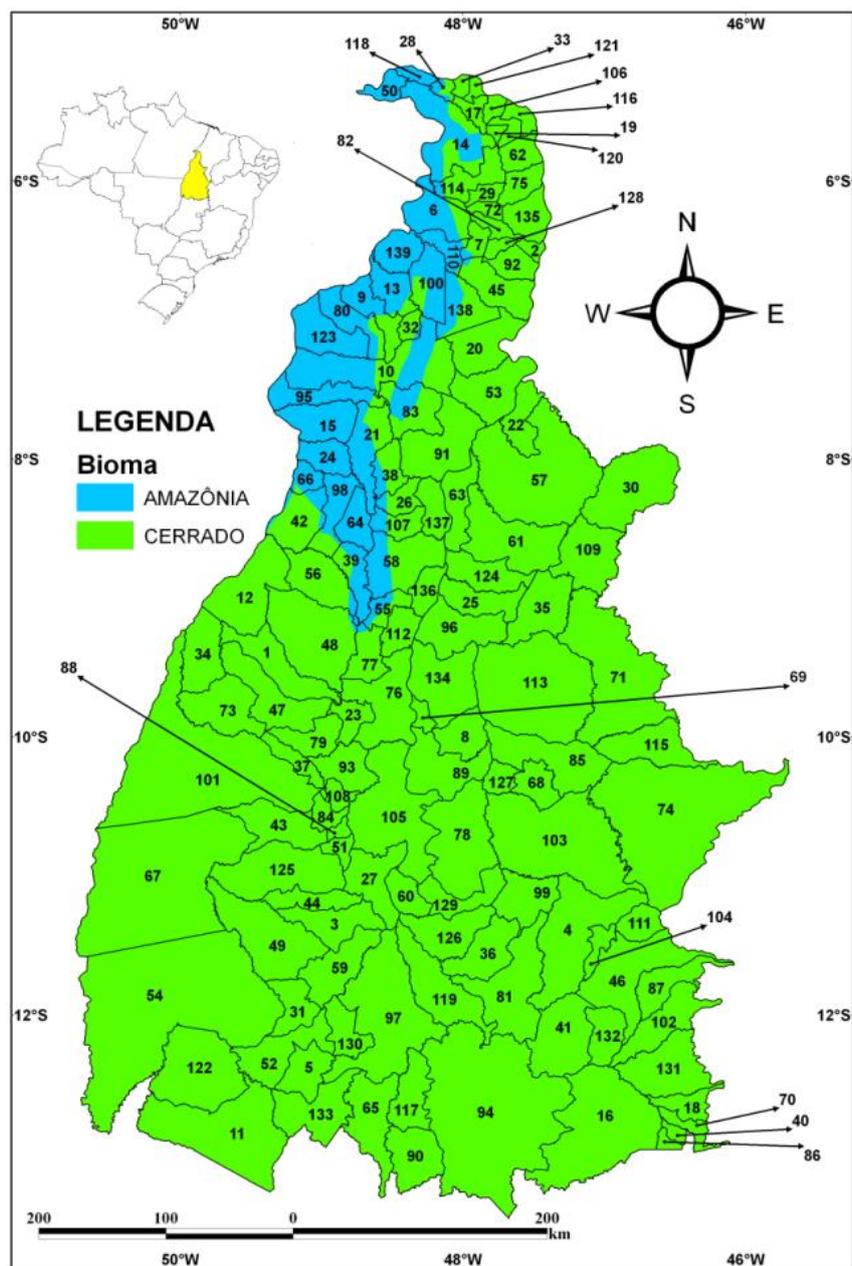


Figura 1 - Localização das Estações Pluviométricas no bioma da Amazônia do Tocantins.

A parte inserida na Amazônia Legal equivale a aproximadamente 5,4% do território do estado do Tocantins (ATLAS DO TOCANTINS, 2008). Em termos de vegetação, o Tocantins é um dos nove estados que formam a região Amazônica. Sua vegetação de cerrado (87% do território) divide espaço, sobretudo, com a floresta de transição amazônica (TOCANTINS, 2010)

O clima da região é tropical semi-úmido, controlado pelas massas de ar Equatorial Continental e Polar Atlântica. A massa equatorial, apesar de continental é uma massa úmida, em razão da presença de rios caudalosos e da intensa transpiração da massa vegetal da Amazônia, região que provoca chuvas abundantes e diárias, principalmente no verão e no outono (MONTEIRO, 1968). Os meses de outubro a abril são responsáveis por aproximadamente 90,16% de toda precipitação anual do estado. O período chuvoso da região coincide com a época em que a massa de ar equatorial continental atua. Sua atuação se dá especialmente durante a primavera-verão, quando temos sua atração para o interior do continente no sentido noroeste para sudeste, ou ainda para leste-sudeste, em decorrência dos recuos sofridos pela massa polar atlântica (MONTEIRO, 1968).



Municípios

- | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1-Abreulândia | 29-Cachoeirinha | 57-Goiatins | 85-Novo Acordo | 113-Rio dos Bois |
| 2-Aguiarópolis | 30-Campos Lindos | 58-Guará | 86-Novo Alegre | 114-Sampaia |
| 3-Aliança do Tocantins | 31-Cariri do Tocantins | 59-Gurupi | 87-Novo Jardim | 115-Sandolândia |
| 4-Almas | 32-Carmolândia | 60-Ipueiras | 88-Oliveira de Fátima | 116-Santa Fé do Araguaia |
| 5-Alvorada | 33-Carrasco Bonito | 61-Itacajá | 89-Palmas | 117-Santa Maria do Tocantins |
| 6-Ananás | 34-Caseara | 62-Itaguatins | 90-Palmeirópolis | 118-Santa Rita do Tocantins |
| 7-Angico | 35-Centenário | 63-Itapiratins | 91-Palmeirante | 119-Santa Rosa do Tocantins |
| 8-Aparecida do Rio Negro | 36-Chapada da Natividade | 64-Itaporã do Tocantins | 92-Palmeiras do Tocantins | 120-Santa Tereza do Tocantins |
| 9-Aragominas | 37-Chapada de Areia | 65-Jaú do Tocantins | 93-Paraiso do Tocantins | 121-Santa Terezinha do Tocantins |
| 10-Araguaína | 38-Colinas do Tocantins | 66-Juarina | 94-Paraná | 122-Silvanópolis |
| 11-Araguaçu | 39-Colméia | 67-Lagoa da Confusão | 95-Pau d'Arco | 123-São Bento do Tocantins |
| 12-Araguacema | 40-Combinado | 68-Lagoa do Tocantins | 96-Pedro Afonso | 124-São Félix do Tocantins |
| 13-Araguanã | 41-Conceição do Tocantins | 69-Lajeado | 97-Peixe | 125-São Miguel do Tocantins |
| 14-Araguatins | 42-Couto de Magalhães | 70-Lavandeira | 98-Pequizeiro | 126-São Salvador do Tocantins |
| 15-Arapoema | 43-Cristalândia | 71-Lizarda | 99-Pindorama do Tocantins | 127-São Sebastião do Tocantins |
| 16-Arraias | 44-Crixás do Tocantins | 72-Luzinópolis | 100-Piraquê | 128-São Valério |
| 17-Augustinópolis | 45-Darcinópolis | 73-Marianópolis do Tocantins | 101-Pium | 129-Sítio Novo do Tocantins |
| 18-Aurora do Tocantins | 46-Dianópolis | 74-Mateiros | 102-Ponte Alta do Bom Jesus | 130-Sucupira |
| 19-Axixá do Tocantins | 47-Divinópolis do Tocantins | 75-Maurilândia do Tocantins | 103-Ponte Alta do Tocantins | 131-Taguatinga |
| 20-Babaçuândia | 48-Dois Irmãos do Tocantins | 76-Miracema do Tocantins | 104-Porto Alegre do Tocantins | 132-Taipas do Tocantins |
| 21-Bandeirantes do Tocantins | 49-Dueré | 77-Miranorte | 105-Porto Nacional | 133-Talismã |
| 22-Barra do Ouro | 50-Esperantina | 78-Monte Santo do Tocantins | 106-Praia Norte | 134-Tocantínia |
| 23-Barrolândia | 51-Fátima | 79-Monte do Carmo | 107-Presidente Kennedy | 135-Tocantinópolis |
| 24-Bernardo Sayão | 52-Figueirópolis | 80-Muricilândia | 108-Pugmil | 136-Tupirama |
| 25-Bom Jesus do Tocantins | 53-Filadélfia | 81-Natividade | 109-Recursolândia | 137-Tupiratis |
| 26-Brasilândia do Tocantins | 54-Formoso do Araguaia | 82-Nazaré | 110-Riachinho | 138-Wanderlândia |
| 27-Brejinho de Nazaré | 55-Fortaleza do Tabocão | 83-Nova Olinda | 111-Rio Sono | 139-Xambioá |
| 28-Buriti do Tocantins | 56-Goianorte | 84-Nova Rosalândia | 112-Rio da Conceição | |

Figura 2 - Localização territorial dos municípios do estado do Tocantins e os biomas.

Os rios Tocantins, Araguaia, Paranã, Javaés, do Sono, Formoso, Santa Teresa, Manuel Alves Grande e do Côco são os mais importantes do estado (ATLAS DO TOCANTINS, 2008)

2.3 - Índice de Anomalia de Chuva

Calcularam-se as médias temporais da precipitação para o período de estudo, necessárias para o cálculo do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), o qual serve para classificar períodos secos ou úmidos de acordo com a média local. Utilizou-se neste trabalho o IAC desenvolvido e testado por Rooy (1965), o qual é apresentado pelas seguintes equações:

$$IAC = 3 \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right], \text{ para anomalias positivas} \quad (1)$$

$$IAC = -3 \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right], \text{ para anomalias negativas} \quad (2)$$

em que, N - precipitação mensal atual (mm.mês⁻¹); \bar{N} - precipitação média mensal da série histórica (mm.mês⁻¹); \bar{M} - média das dez maiores precipitações mensais da série histórica (mm.mês⁻¹) e \bar{X} - média das dez menores precipitações mensais da série histórica (mm.mês⁻¹).

Quadro 1 - Classificação geral do nível de pluviosidade segundo o IAC.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classificação da Pluviosidade
$X \geq 4$	Extremamente Chuvoso
$X \geq 2$ e $X < 4$	Muito Chuvoso
$X > 0$ e $X < 2$	Chuvoso
$X = 0$	Nem Chuvoso e Nem Seco (Sem Anomalia)
$X < 0$ e $X > -2$	Seco
$X \leq -2$ e $X > -4$	Muito Seco
$X \leq -4$	Extremamente Seco

2.2 - Dados utilizados

Foram utilizados neste trabalho dados de precipitação mensal de 9 Estações Pluviométricas distribuídas no bioma da Amazônia do estado do Tocantins. Os dados foram obtidos da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional das Águas (ANA), corresponde à série histórica de 1977 à 2006.

2.3 - Interpolação matemática pelo método Topo to Raster

A função Topo to Raster é um método de interpolação baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Hutschinson, que foi especificamente feito para a criação de Modelos de Elevação Digital (DEM) hidrologicamente corretos.

O programa interpola os dados de elevação em uma grade regular, de modo iterativo, gerando grades sucessivamente menores, minimizando a soma de uma de penalização de rugosidade (roughness penalty) e a soma dos quadrados dos resíduos (diferenças das elevações medidas e calculadas pela função).

Cada elevação em um determinado local é dada por:

$$z_i = f(x_i, y_i) + w_i \varepsilon_i \quad (3)$$

em que, $f(x,y)$ é a função de interpolação, definida por uma função B-spline, cada w_i é uma constante positiva que representa o erro de discretização do ponto i e cada ε_i é uma amostra de uma variável aleatória de média zero e desvio padrão igual a um.

Assumindo que cada ponto está localizado aleatoriamente dentro da célula do modelo, a constante w_i é definida por:

$$w_i = h s_i / \sqrt{12} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \left[z_i - f(x_i, y_i) / w_i \right]^2 + \lambda J(f) \quad (5)$$

em que, h é o espaçamento da grade; s_i é a medida de inclinação da célula da grade associada com o ponto (x_i, y_i) . A função $f(x,y)$ é então estimada resolvendo uma aproximação na grade regular via método das diferenças finitas que minimiza a somatória. A constante w_i varia com cada iteração, em uma característica adaptativa local (locally adaptive feature), já que a cada iteração do programa um novo valor de inclinação (s_i) é disponibilizado para cada célula da grade conforme o método iterativo avança.

O programa utiliza o método multi-grid simples para minimizar a equação em resoluções cada vez melhores, começando de uma grade inicial larga até uma grade que tenha resolução definida pelo usuário, respeitando restrições que garantem uma estrutura de drenagem conectada.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Análise da precipitação pluviométrica mensal no bioma da Amazônia do estado do Tocantins

Na Figura 3(a), que ilustra a precipitação mensal da série histórica, no mês de janeiro, as maiores intensidades chuvosas no bioma Amazônia, ocorreram na porção sul, sendo que os menores valores pluviométricos foram registrados na porção norte, nordeste e leste. Enquanto que no mês de fevereiro (Figura 3(b)), as maiores intensidade foram nas porções sul, sudoeste, sudeste além de uma pequena parte nas porções leste e nordeste.

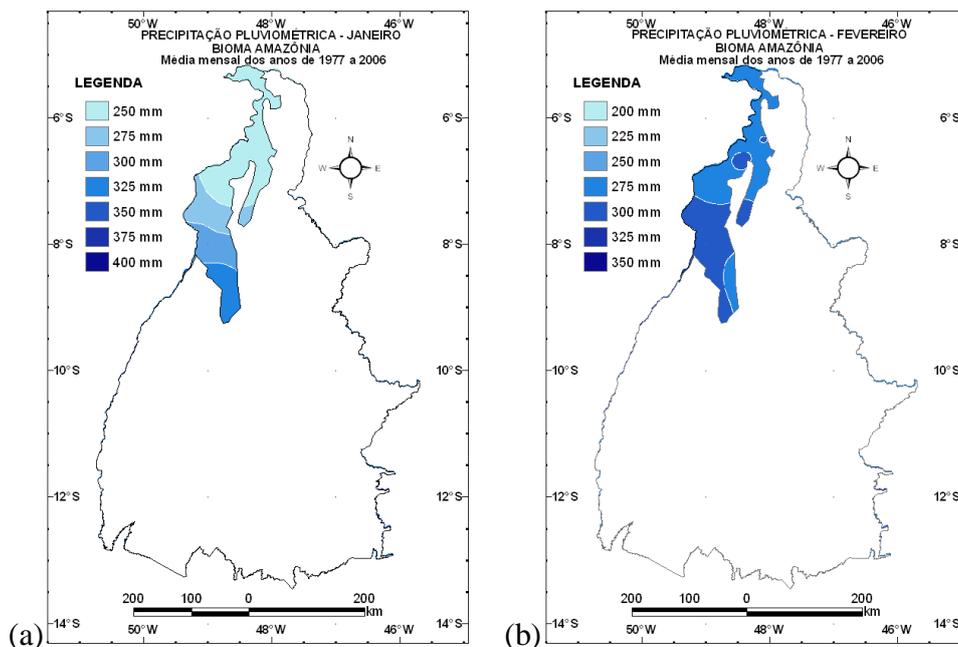


Figura 3 - Precipitação pluviométrica média mensal nos meses de janeiro (a) e fevereiro (b), no bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

Na Figura 4 verifica-se que o total precipitado, de março (a) e abril (b), apresenta uma redução de aproximadamente 50% na média mensal de um mês para o outro, sendo que os maiores valores pluviométricos estão nas porções norte, centro - leste e sul, para o mês de março, e, para o mês de abril as porções norte e centro - leste. Já os menores valores de precipitação pluviométrica para o mês de março estão nas porções nordeste, leste e sudeste. E para o mês de abril, as porções norte e sudeste estão os menores índices pluviométricos.

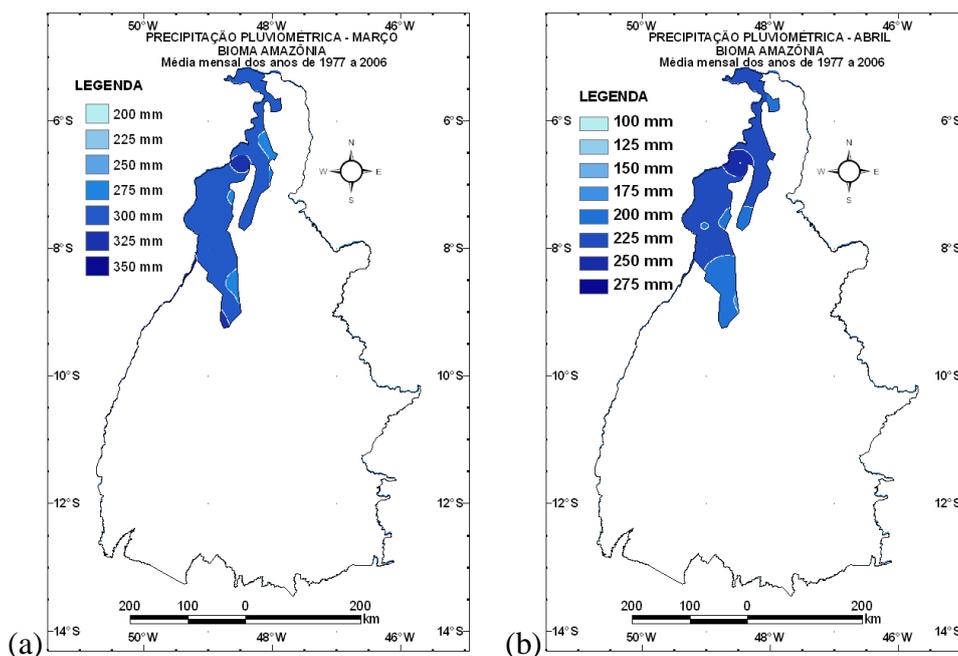


Figura 4 - Precipitação pluviométrica média mensal nos meses de março (a) e abril (b), no bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

Na Figura 5, as maiores pluviosidade estão nas porções norte, noroeste e centro-oeste, e a menor pluviosidade na porção sul. Enquanto que no mês de junho (b), as porções central e nordeste apresentam os maiores valores de pluviosidade, ficando as porções sul e sudeste as com um baixo índice pluviométrico, com uma queda brusca na pluviometria confirmando o começo do período seco e registrando uma pluviosidade máxima de 40 mm.

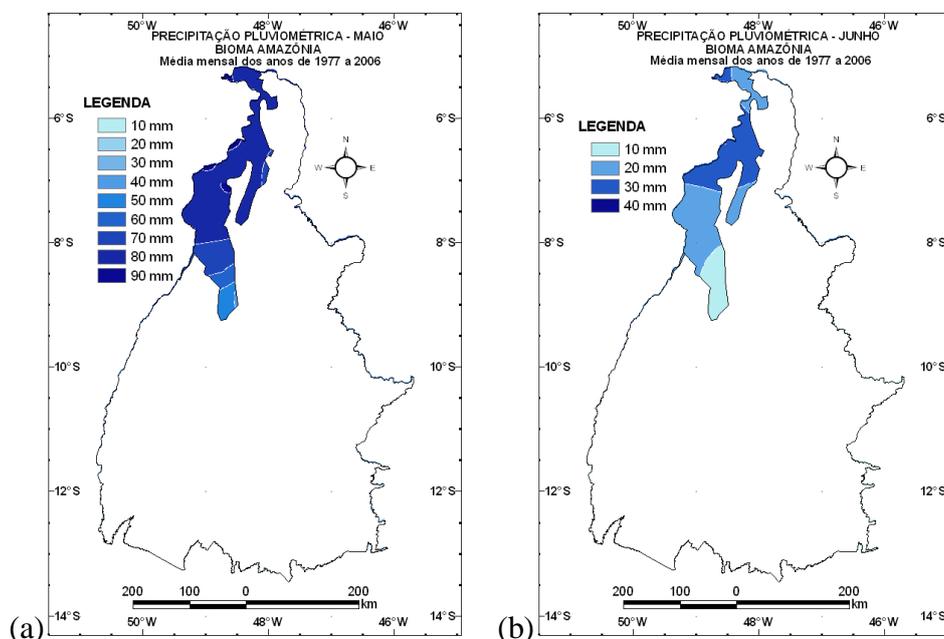


Figura 5 - Precipitação pluviométrica média mensal nos meses de maio (a) e junho (b), no bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

Conforme a Figura 6, observa-se que o período seco já está bem caracterizado para os meses de julho (a) e agosto (b) e que os maiores índices de pluviometria são observados nas porções central e leste além de uma pequena região na porção nordeste, para o mês de julho, e, para o mês de agosto as porções central e leste.

Na Figura 6, verifica-se que os menores índices para o mês de julho estão nas porções Nor-nordeste e sul-sudeste, enquanto que o mês de agosto ocorre os menores índices nas mesmas porções do mês anterior, mas com uma menor área.

Nos meses de setembro (a) e outubro (b) (Figura 7), observa-se a retomada do período úmido, com o avanço do índice pluviométrico, chegando a ultrapassar os 80 mm de chuva no mês de setembro. As porções central, leste, sul, sudoeste e oeste, para o mês de setembro concentram os maiores índices pluviométricos. Para o mês de outubro, já com índices mais elevados, as porções centro-oeste e sul apresenta os maiores valores de precipitação. Os menores valores de precipitação para o mês de setembro estão nas porções norte e nordeste, enquanto que o mês de outubro as porções foram as mesmas, mas com índices três vezes maiores.

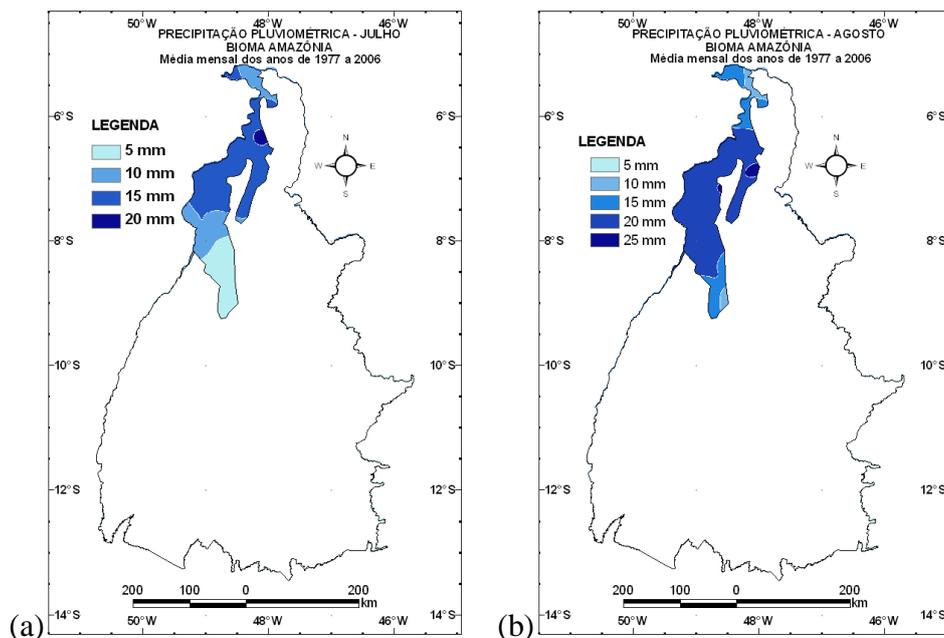


Figura 6 - Precipitação pluviométrica média mensal nos meses de julho (a) e agosto (b), no bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

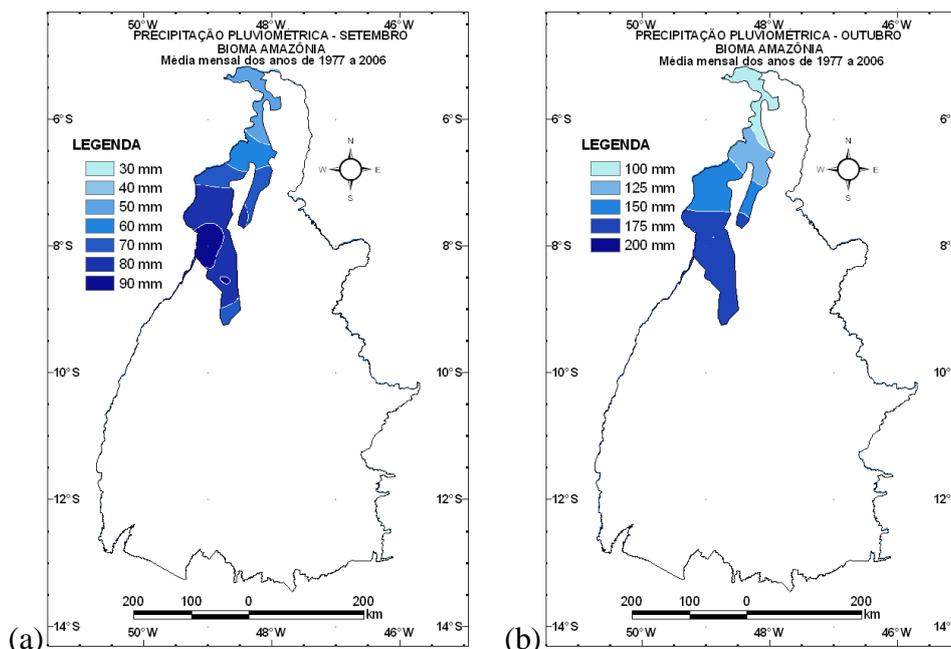


Figura 7 - Precipitação pluviométrica média mensal nos meses de setembro (a) e outubro (b), no bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

O período úmido (Figura 8) apresenta um aumento significativo em relação ao período seco, com mais de 100% de aumento na pluviosidade. Nota-se que os maiores índices de precipitação pluviométrica, para o mês de novembro (a) de dezembro (b), ocorrem nas porções sul e sudoeste e os menores valores de precipitação estão nas porções norte e nordeste.

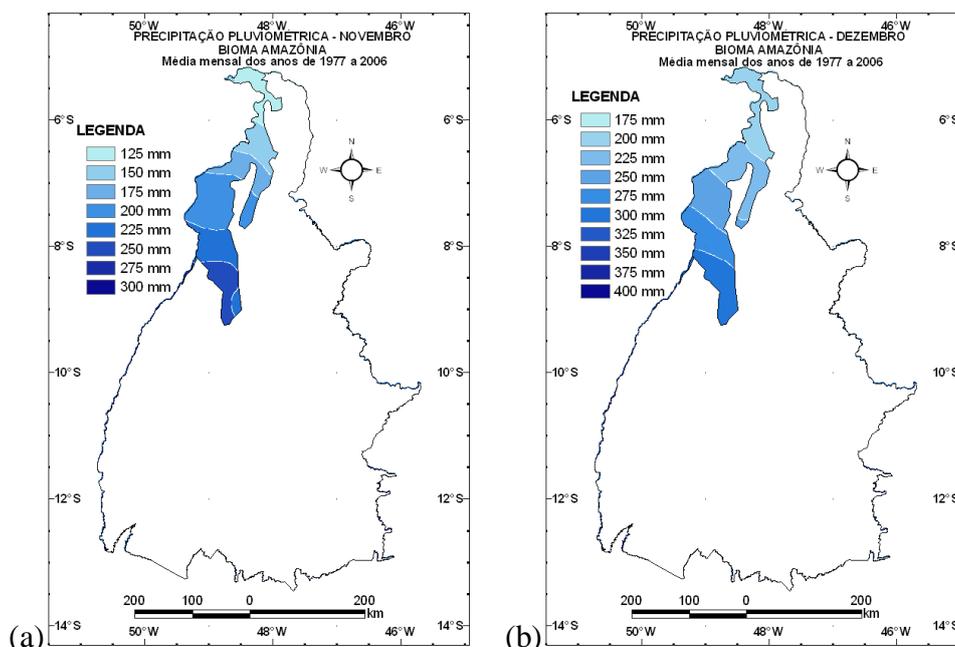


Figura 8 - Precipitação pluviométrica média mensal nos meses de novembro (a) e dezembro (b), no bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

3.2 - Análise da precipitação pluviométrica dos períodos seco e úmido para o estado do Tocantins no bioma da Amazônia

Com a análise dos totais mensais das médias históricas de 1977 à 2006 de 9 estações, para o bioma da Amazônia, conforme o histograma da Figura 9 dividiu-se a sazonalidade do ano hidrológico em período úmido começando em setembro e terminando em maio e período seco começando em junho e terminando em agosto.

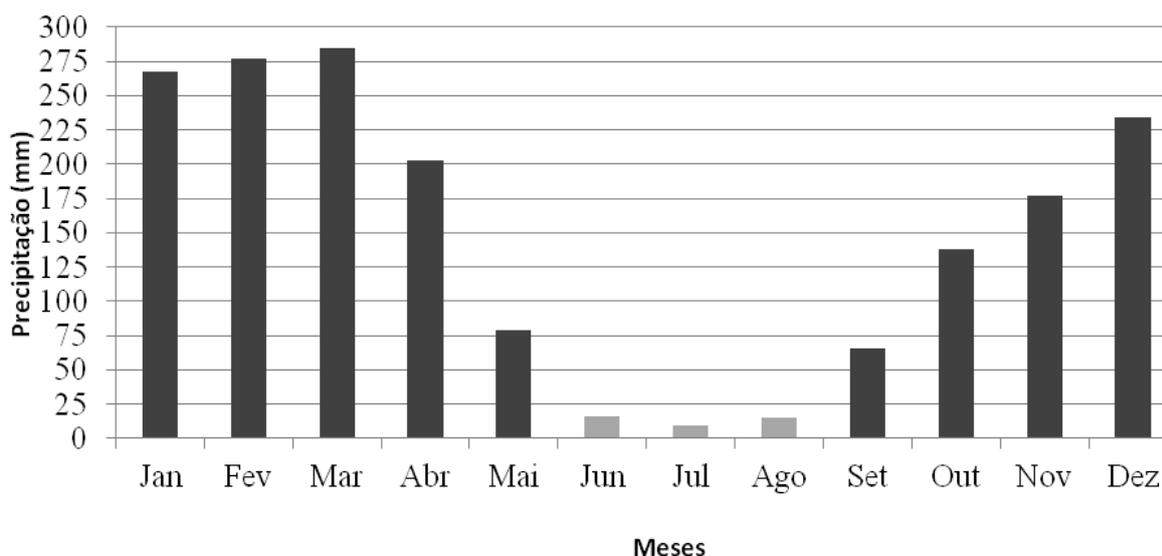


Figura 9 - Histograma dos totais médios mensais de precipitação pluviométrica do bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

Para as precipitações pluviométricas do período seco (Figuras 10(a)), nota-se que a menor pluviosidade, 10 mm, está nas porções sudeste, sul e sudoeste. As maiores pluviosidades pluviométricas do período seco se encontram na porção centro oeste do bioma da Amazônia.

Para as precipitações pluviométricas do período úmido (Figuras 10(b)), nota-se que os maiores índices pluviométricos estão localizados nas porções sudeste, sul e sudoeste sendo que os menores índices pluviométricos estão na porção nordeste.

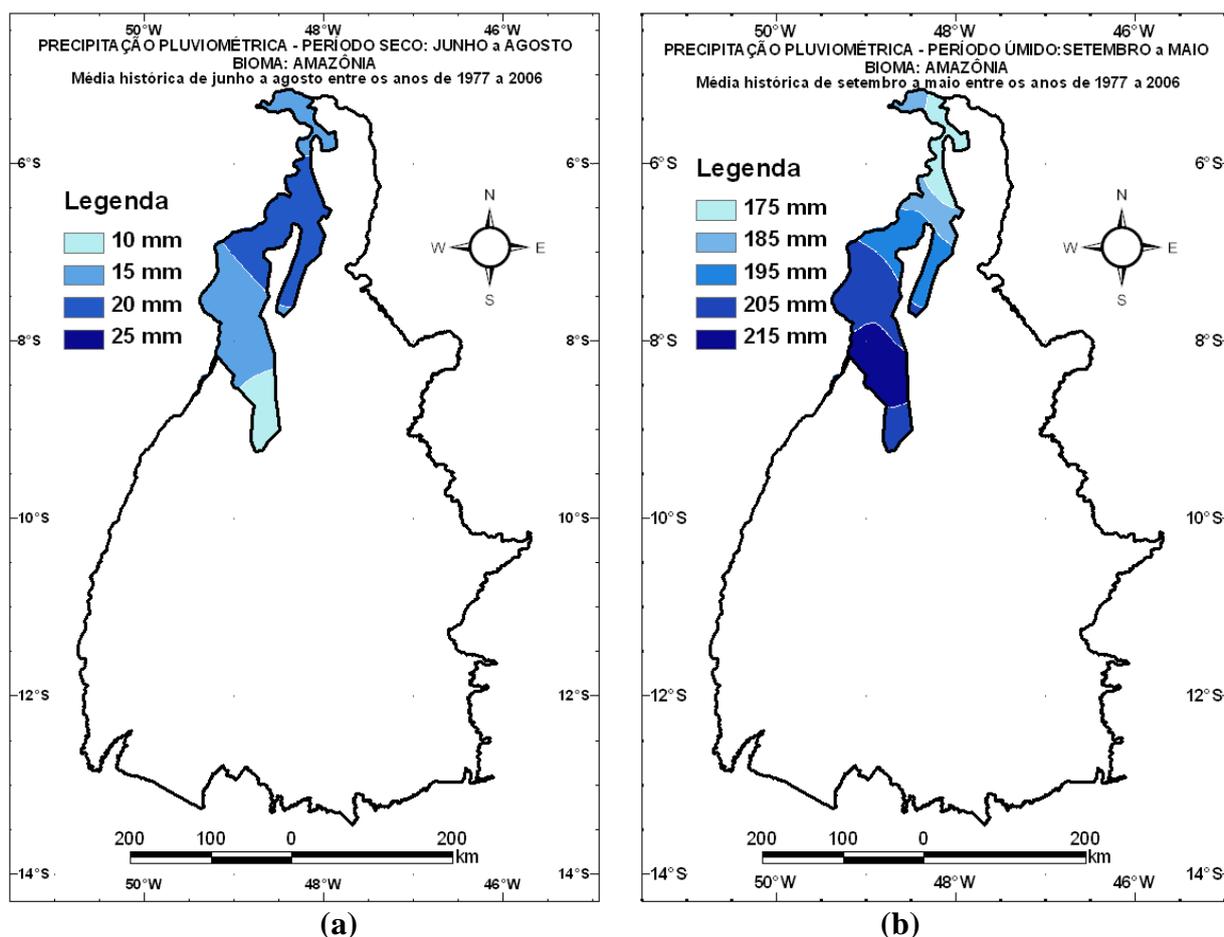


Figura 10 - Precipitação pluviométrica média mensal para o período seco (a) e úmido (b), no bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

Observa-se na Figura 11 a média total de precipitações dos anos de 1977 à 2006. O período seco (a) estende-se de junho a agosto e que a menor pluviosidade média total acumulada não ultrapassou os 250 mm para o período de 1977 à 2006, sendo a porção sul a menos favorecida pelo o índice pluviométrico. No período úmido (b), de setembro a maio, o total pluviométrico superou os 2.000 mm, sendo as porções sul e sudoeste os de maiores totais índices pluviométricos.

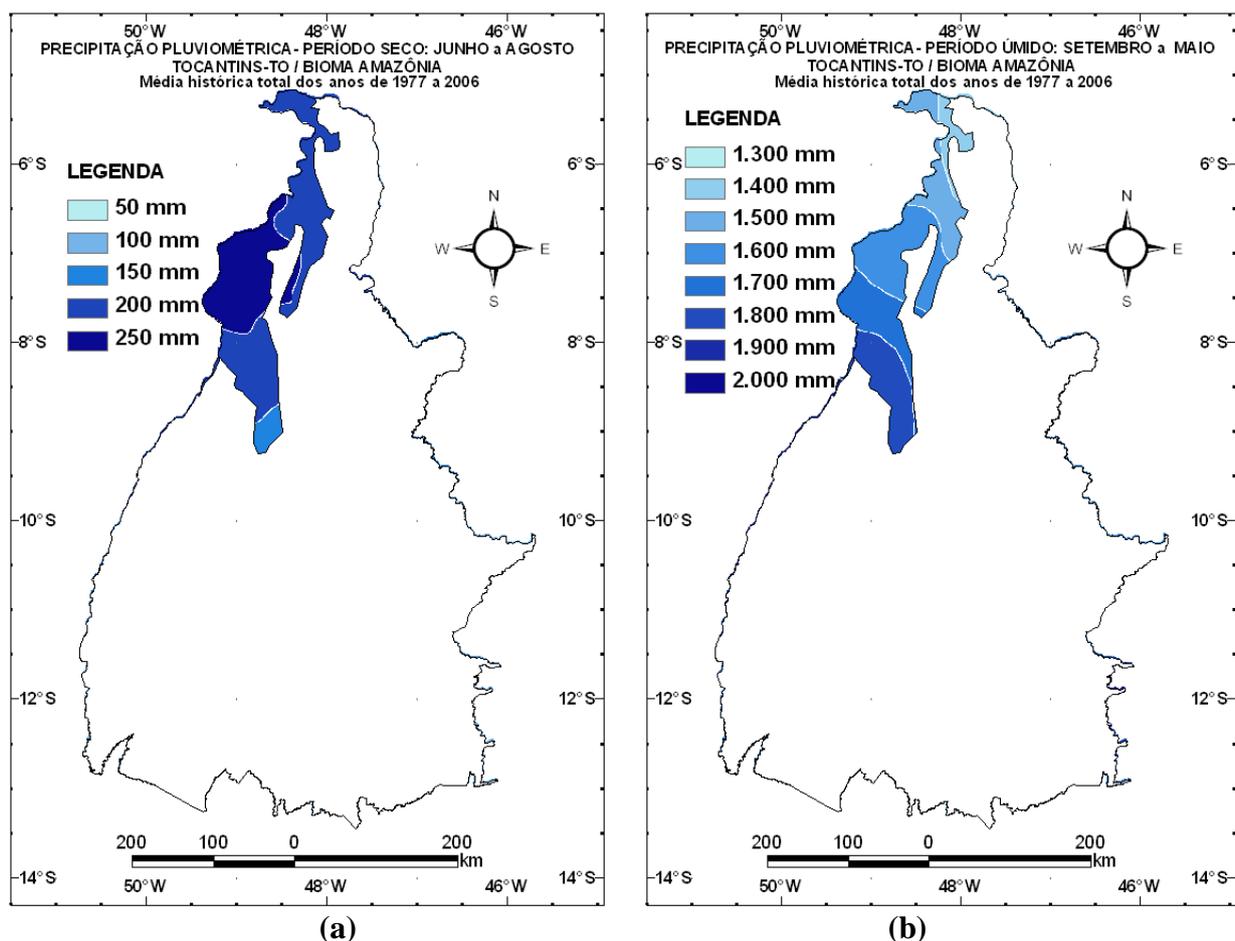


Figura 11 - Precipitação pluviométrica total para o período seco (a) e para o período úmido (b), no bioma da Amazônia do estado do Tocantins, referente ao período histórico de 1977 à 2006.

3.3 - Análise do Índice de Anomalia de Chuvas

Verifica-se na Figura 12 que o IAC do mês de janeiro (a) teve 13 anos úmidos e 17 anos secos. Para o mês de fevereiro (b) foram 15 anos úmidos e 15 anos secos. No mês de janeiro o maior ponto de inflexão ocorreu no ano de 1985, caracterizado como extremamente chuvoso por possuir um IAC maior que 4 (Quadro 1), e o menor em 1990, caracterizado como extremamente seco por possuir um IAC menor que -4 (Quadro 1). Para o mês de fevereiro o maior IAC foi no ano de 1980, caracterizado como extremamente chuvoso, e o menor ocorreu no ano de 1981, caracterizado como um ano muito seco. Nota-se para o período estudado de 30 anos do mês de janeiro, houve nove de anomalias negativas de chuvas (IAC negativos), classificados como anos secos por possuir um IAC menor que zero e maior que -2 (Quadro 1), e seis anos classificados como muito secos por possuir IAC menor que -4. Quanto às anomalias positivas, houve sete anos classificados como úmidos e cinco anos classificados como muito úmidos. Para o mês de fevereiro, houve nove anos, de anomalias negativas de chuvas (IAC negativos), classificados como anos secos por possuir um IAC menor que zero e maior que -2 (Quadro 1), e seis anos classificados como muito secos por possuir IAC menor que -4. Quanto às anomalias positivas, houve 10 anos

classificados como úmidos, por possuir IAC entre zero e dois (Quadro 1), e quatro anos classificados como muito úmidos, por possuir IAC maior que dois e menor que quatro.

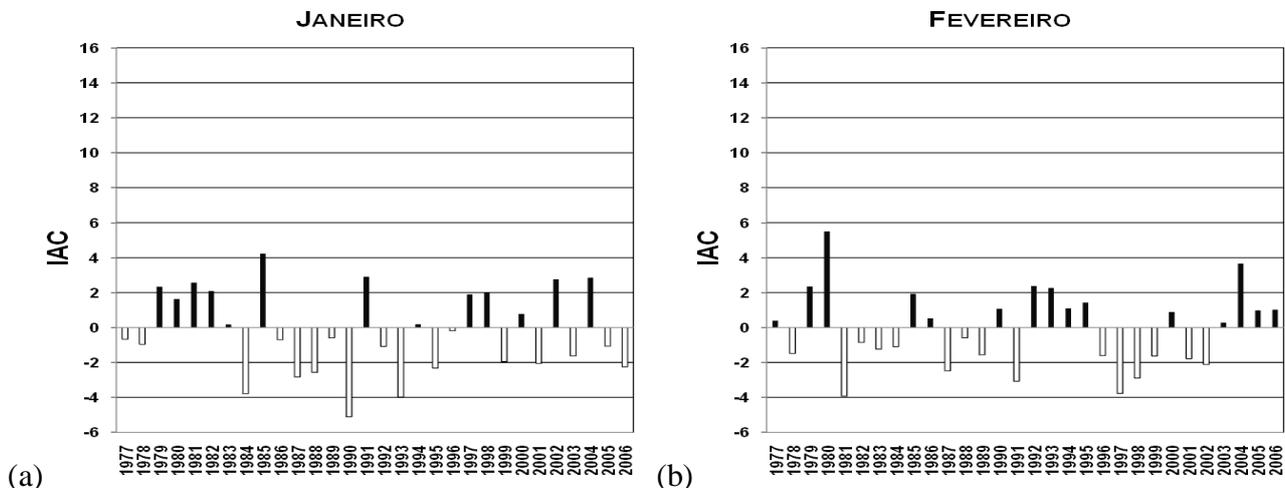


Figura 12 - IAC anual da série histórica de 30 anos dos meses de janeiro (a) e fevereiro (b) no bioma da Amazônia do estado do Tocantins.

Na Figura 13, o IAC do mês de março (a) indicou que houve 14 anos úmidos contra os 16 anos secos, segundo a média histórica estudada de 30 anos. Para o mês de abril (b) o IAC indicou 11 anos úmidos, 17 anos secos e um ano sem anomalia (Quadro 1). A maior anomalia úmida no mês de março ocorreu no ano de 2005, classificado como muito chuvoso (Quadro 1), e a maior anomalia seca ocorreu no ano de 1980, classificada como extremamente seca. A maior anomalia úmida no mês de abril ocorreu no ano de 1985, classificado como extremamente chuvoso, e a maior anomalia seca ocorreu no ano de 1983, classificada como extremamente seca.

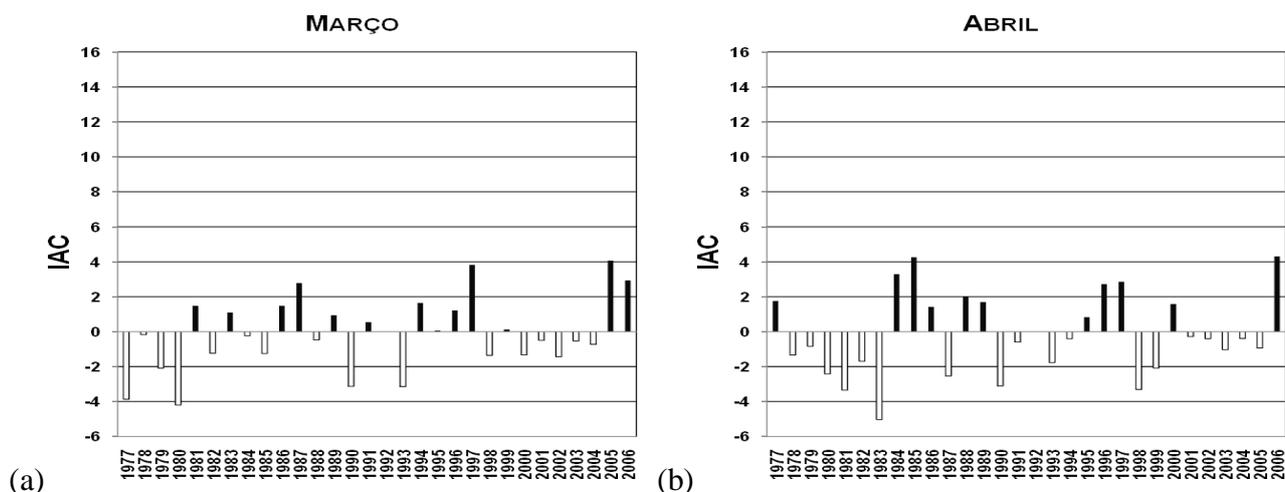


Figura 13 - IAC anual da série histórica de 30 anos dos meses de março (a) e abril (b) no bioma da Amazônia do estado do Tocantins.

Com a Figura 14, observa-se que o IAC do mês de maio (a) indicou que houve 13 anos úmidos e 16 anos secos e um ano sem anomalia (Quadro 1). Para o mês de junho (b) o IAC indicou nove anos úmidos, 20 anos secos e um ano sem anomalia. A maior anomalia úmida no mês de maio ocorreu no ano de 1995, classificado como extremamente chuvoso (Quadro 1), e a maior anomalia seca ocorreu no ano de 1981, classificada como extremamente seca. A maior anomalia úmida no mês de junho foi em 1994, classificada como extremamente chuvoso, e as maiores anomalias secas, ocorreram em 1995, 1996, 1997 e 2006, classificadas como muito seca, com valores juntos de -3.

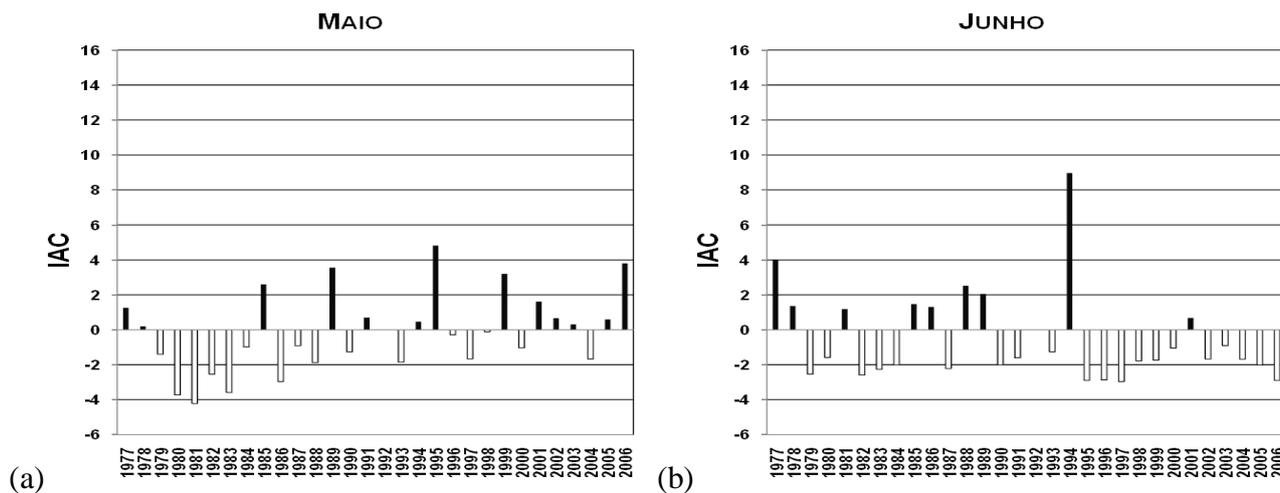


Figura 14 - IAC anual da série histórica de 30 anos dos meses de maio (a) e junho (b) no bioma da Amazônia do estado do Tocantins.

Pela Figura 15, observa-se que o IAC do mês de julho (a) indicou que houve sete anos úmidos e 22 anos secos e um ano sem anomalia (Quadro 1). Para o mês de agosto (b) o IAC indicou oito anos úmidos, 21 anos secos e um ano sem anomalia.

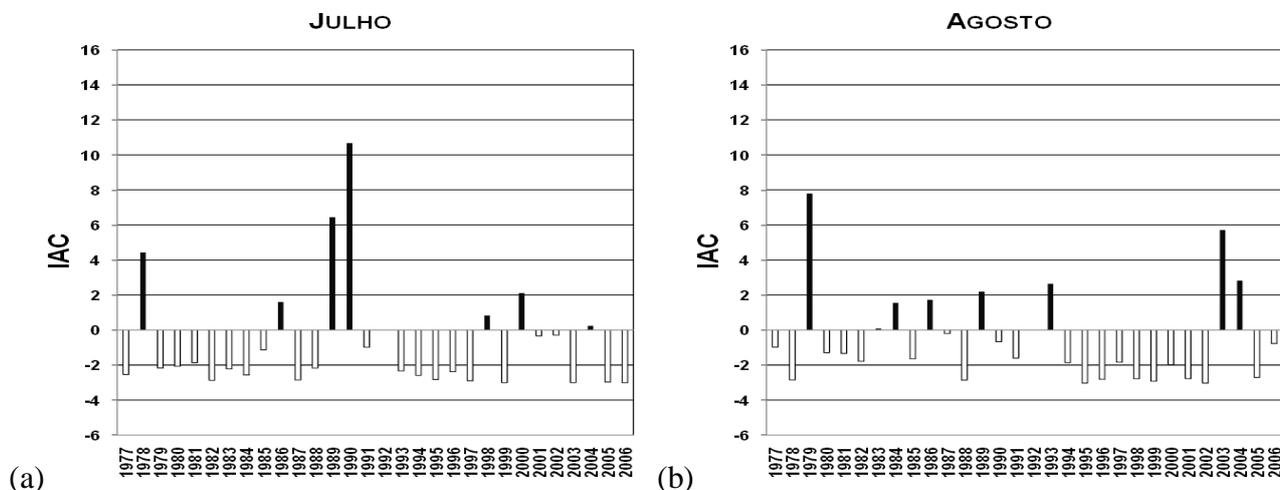


Figura 15 - IAC anual da série histórica de 30 anos dos meses de julho (a) e agosto (a) no bioma da Amazônia do estado do Tocantins.

A maior anomalia úmida no mês de julho (Figura 15 (a)) ocorreu no ano de 1990, classificado como extremamente chuvoso (Quadro 1), e as maiores anomalias secas ocorreram em 1999, 2003, 2005 e 2006, com valores próximos de -3, classificadas como muito secas. A maior anomalia úmida no mês de agosto (Figura 15 (b)) foi em 1979, classificada como extremamente chuvoso, e as maiores anomalias de seca, com valores próximos de -3 ocorreram em 1995, 1996, 1997 e 2006, classificadas como muito seca.

Na Figura 16, observa-se que o IAC do mês de setembro (a) mostrou que houve 14 anos úmidos e 15 anos secos e um ano sem anomalia (Quadro 1). Para o mês de outubro (b) o IAC indicou 14 anos úmidos, 14 anos secos e dois anos sem anomalia. A maior anomalia úmida no mês de setembro ocorreu no ano de 2000, classificado como muito chuvoso (Quadro 1), e a maior anomalia seca ocorreu no ano de 1995, classificada como extremamente seca. A maior anomalia úmida no mês de outubro foi em 1986, classificada como muito chuvoso, e as maiores anomalias secas, ocorreram em 1999 e 2005, classificadas como muito seca, com valores juntos de -3,5.

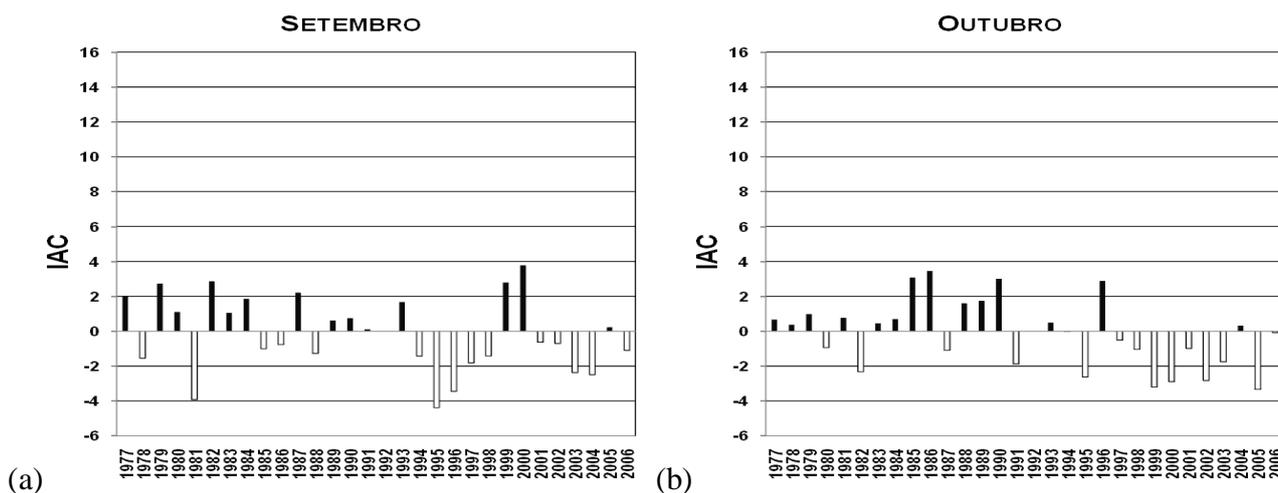


Figura 16 - IAC anual da série histórica de 30 anos dos meses de setembro (a) e outubro (b) no bioma da Amazônia do estado do Tocantins.

Na Figura 17, observa-se que o IAC do mês de novembro (a) apontou que houve 13 anos úmidos e 17 anos secos. Para o mês de dezembro (b) o IAC indicou 10 anos úmidos, 19 anos secos e um ano sem anomalia (Quadro 1). A maior anomalia úmida no mês de novembro ocorreu no ano de 1995, classificado como extremamente chuvoso (Quadro 1), e a maior anomalia seca ocorreu no ano de 1986, classificada como muito seca. A maior anomalia úmida no mês de dezembro foi em 1985, classificada como extremamente chuvoso, e a maior anomalia seca, ocorreu em 1996, classificada como muito seca.

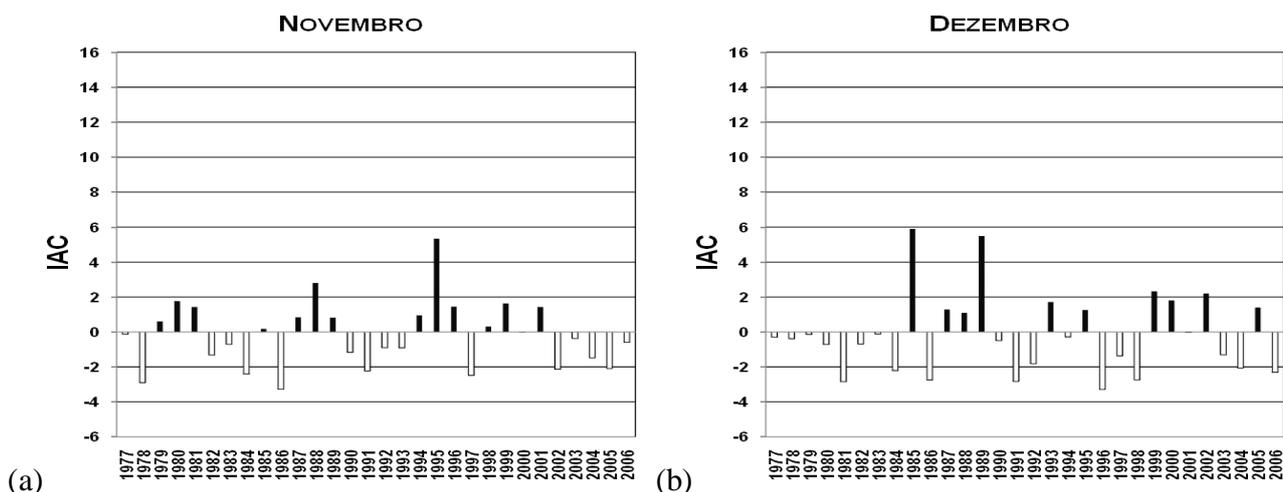


Figura 17 - IAC anual da série histórica de 30 anos dos meses de novembro (a) e dezembro (b) no bioma da Amazônia do estado do Tocantins.

4 - CONCLUSÕES

Neste trabalho, analisou-se a distribuição espaço-temporal e sazonalidade dos índices pluviométricos no bioma da Amazônia do estado do Tocantins. Para o estudo da intensidade dos períodos secos e úmidos (dos 30 anos estudados) utilizou-se o Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

O estudo da distribuição sazonal das chuvas no bioma da Amazônia do Tocantins mostra que o período chuvoso se estende de setembro a maio e o período seco entre junho e agosto.

Quanto à evolução temporal da precipitação anual, o período de 1994 a 2006 apresenta uma diminuição da precipitação, e, ao utilizar o IAC, conclui-se que há uma mudança nos padrões de precipitação e que o “ponto de inflexão”, para o período úmido é no ano de 1989. Antes desse “ponto” 8 anos são secos e 4 anos são úmidos, após o “ponto” 15 anos são secos.

Verifica-se neste estudo que o IAC é uma boa ferramenta para o acompanhamento da variação da precipitação no bioma da Amazônia no estado do Tocantins.

Fica evidente a necessidade de mais estudos relacionados ao comportamento atmosférico, com ênfase a precipitação pluviométrica, para corroborar com o planejamento e zoneamento do estado e para melhorar o aproveitamento dos recursos naturais em vista ao uso sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFIA

- ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L. H. & SILVA, F. A. M. (1994). “*Veranicos na região dos cerrados brasileiros freqüência e probabilidade de ocorrência. In: Chuva nos cerrados*”. Assad, E. D. (Coordenador). BRASIL/EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias/centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado-CPAC, 423 p. Brasília/DF.
- ATLAS DO TOCANTINS (2008). “*Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial. Secretaria do Planejamento – SEPLAN*”. Superintendência de Planejamento e Gestão central de Políticas Públicas. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. Organizado por DIAS R.R., PEREIRA E.Q. E DOS SANTOS L.F.. 5 ed. rev. atu. Palmas: SEPLAN.
- BEGA, R.; VIEIRA, S.; MARIA, I.; DECHEN, S.; CASTRO, O (2005). “*Variabilidade espacial das precipitações pluviiais diárias em uma estação experimental, em Pindorama, SP*”. Bragantina, Campinas, v. 64, pp. 149-156.
- BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; VOLPE, C. A.; PEREIRA, G. T (2003). “*Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal, SP, pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.11, n.1, pp.141-147.
- BRITTO, F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M (2006). “*Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do rio grande do sul*”. Revista Brasileira de Climatologia, ISSN 1980-055X, Associação Brasileira de Climatologia ,Presidente Prudente, SP. v. 02, nº 02,. pp. 35-51.
- CASARIM, D.P. (1983). “*Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no hemisfério sul*”. In: Chuva nos Cerrados. ASSAD, E. D. (Coordenador), Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA/centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado – CPAC, 423p. Brasília/DF.
- CLARKE, R. T.; SILVA, B. C (2004). “*Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco*”. Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.3, pp. 265-272.
- CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C (2002). “*Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.1, pp.76-82.
- DA SILVA, D. F (2009). “*Análise de aspectos climatológicos, agroecômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)*”. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- DA SILVA, D. F.; ARAÚJO, L. E.; KAYANO, M. T.; SOUSA, F. DE A. S (2007). “*Avaliação dos impactos da variabilidade climática na distribuição pluviométrica da Bacia do Rio Mundaú através do IAC*”. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos, 2º, 2007, Santos: [S.n.],. v. 72.

- FREITAS, M. A. S (2004). A previsão de secas e a gestão hidroenergética: o caso da bacia do rio Parnaíba no nordeste do Brasil. In: Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses, 2004, Puerto Iguazú. Anais do Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses. Puerto Iguazú : CACIER. v. 1. pp. 1-1.
- FREITAS, M. A. S (2005). Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. Revista Tecnologia, Fortaleza, v. SUPLEM, pp. 84-95,.
- GONÇALVES, W.A.; CORREIA, M.F.; ARAÚJO, L.E.; DA SILVA, D.F.; ARAÚJO, H.A (2006). “*Vulnerabilidade climática do nordeste brasileiro: Uma análise de eventos extremos na Zona Semi-árida da bacia hidrográfica do São Francisco*”, XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais Florianópolis,
- GUIMARÃES, E. C.; OLIVEIRA, J. A.; TAVARES, M (2005). “*Comportamento espacial de chuvas de verão no estado de Minas Gerais*”. In. Simpósio de Estatísticas Aplicada à Experimentação Agronômica, 11.; 2005, Londrina. Anais ...Londrina: RBRAS,. v.1. pp. 1-5.
- MAUGET, S.U.M (2005). “*Índice padronizado de precipitação (SPI)*”; C. SPRINGER SCIENCE.
- MONTEIRO, C. A. F (1951). “*Notas para o estudo do clima do centro-oeste brasileiro*”. Rio de Janeiro, Revista Brasileira de Geografia, v. 13, n. 1, pp.3-46.
- MORAIS, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. (2005). “*Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará*”. Acta Amaz., v.35, n.2, pp. 207-214 .
- OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. P.; PARK, J. S.; JUNG, H. S (2002). “*Modeling Korean extreme rainfall using a Kappa distribution and maximum likelihood estimate*”. Theoretical and Applied Climatology. v.72, pp. 55-64.
- PARK, J. S.; JUNG, H. S (2002). “*Modeling korean extreme rainfall using a kappa distribution and maximum likelihood estimate*”. Theoretical and Applied Climatology. v.72, pp. 55-64..
- TOCANTINS (2010). “*Portal de Informações e Serviços do estado do Tocantins [homepage]*”. Características Tocantins.[citado em 21 maio 2010]. Disponível em: <http://to.gov.br/tocantins/2>.
- REPELLI, C. A.; FERREIRA, N. S.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, C. A (1998). “*Índice de anomalia de precipitação para o estado do Ceará*”. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da Fllsmet, (1998), Brasília DF. Anais ...
- ROBERTSON, A. W.; INÊS, A. V. M.; HANSEN, J. W (2007). “*Downscaling of Seasonal Precipitation for Crop Simulation*”. Journal of Applied Meteorology and Climatology, New York, June.
- SILVA, D. D., GOMES FILHO, R. R., PRUSKI, F. F., PEREIRA, S. B., NOVAES, L. F (2003). “*Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado do Tocantins*”. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.11, 14 n.1-4, Jan./Dez.