



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Variabilidade das chuvas e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em populações expostas a mudanças hídricas no sudeste da Amazônia paraense

Thiago Fernandes<sup>1</sup>, Sandra de Souza Hacon<sup>2</sup>, Jonathan Willian Zangeski Novais<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro de Produção Agroindustrial, MSc., Professor da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Departamento do Curso de Engenharia de Produção, *Campus* Parauapebas, PA-275 s/n Zona Rural, CEP: 68515-000, Parauapebas (PA), Brasil. E-mail: thiago.ufra.pa@gmail.com (autor correspondente). <sup>2</sup>Bióloga, Dr.ª, Professora Pesquisadora da Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP), Departamento de Endemias Samuel Pessoa, Av. Leopoldo Bulhões, 1480 ENSP - Térreo Manguinhos, CEP: 21041-210, Rio de Janeiro (RJ), Brasil. Membro permanente do PPGCA da Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado (UNEMAT), *Campus* Jane Vanini, Av. Tancredo Neves, 1095 - Cavalhada II, CEP: 78200-000, Cáceres-MT. E-mail: sandrahacon@gmail.com <sup>3</sup>Físico, Dr., Professor e membro permanente do PGCA da Universidade de Cuiabá (UNIC), *Campus* Barão, Rua Barão de Melgaço, 222, Jardim Vivendas, CEP: 78025-300, Cuiabá (MT), Brasil. jonathan.novais@kroton.com.br

Artigo recebido em 18/03/2020 e aceito em 19/04/2020

### RESUMO

Objetivou-se, com este estudo, analisar a variabilidade das chuvas e sua conexão com as metas presumidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 06 e 13 com foco em populações expostas às mudanças hídricas no Sudeste da Amazônia paraense. Os dados de chuva foram obtidos em cinco estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia e os dados de saúde e de desenvolvimento sustentável, nos relatórios do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Em seguida, foi realizado um delineamento estatístico descritivo para determinar a sazonalidade de chuvas e aplicada a técnica de IAC para indicar os anos secos e chuvosos. A análise entre variações hídricas e saúde foi feita a partir da progressividade entre as medianas dos 39 municípios do Sudeste, comparando indicadores relevantes com os outros 104 do estado e 5.526 do país, baseada nos censos de 1991, 2000 e 2010. Nota-se que a maior variabilidade temporal de chuvas incidiu no município de Tucuruí (PA), nas RIs Lago do Tucuruí e Rio Capim, e que o ano mais seco registrado foi o de 2016 (RI Araguaia) e o mais úmido foi 1988 (RI Carajás). Dito isso, concluiu-se que o regime pluviométrico alterna conforme as estações climáticas predominantes na região e que os indicadores levantados em questão revelaram um aumento da população com acesso à água, contudo, sua universalização não é uma realidade local, fazendo-se necessária a participação de comunidades e representantes sociais no aperfeiçoamento de políticas públicas para o alcance das metas propostas até 2030.

Palavras-chave: Clima; Precipitação; Amazônia; Saúde; ODS.

## Variability of rainfall and its relation to the Sustainable Development Objectives in populations exposed to water changes in the southeastern Amazon region of Pará

### ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the variability of rainfall and its connection with the goals assumed by the Sustainable Development Objectives (SDS) 06 and 13 with a focus on populations exposed to hydric changes in the Southeastern Amazon region. The rainfall data were obtained from five meteorological stations belonging to the National Institute of Meteorology and the health and sustainable development data from the United Nations Development Program reports. A descriptive statistical design was then performed to determine the seasonality of rainfall and the IAC technique was applied to indicate dry and rainy years. The analysis between water and health variations was made from the progressivity between the medians of the 39 municipalities of the Southeast, comparing relevant indicators with the other 104 of the state and 5,526 of the country, based on the 1991, 2000 and 2010 censuses. It should be noted that the greatest temporal rainfall variability occurred in the municipality of Tucuruí (PA), in the RIs Lago do Tucuruí and Rio Capim, and that the driest year recorded was 2016 (RI Araguaia) and the wettest was 1988 (RI Carajás). That being said, it was concluded that the rainfall regime alternates according to the prevailing climatic seasons in the region and that the indicators raised in question revealed an increase in the population with access to water, however, its universalization is

not a local reality, making it necessary for communities and social representatives to participate in improving public policies to achieve the proposed goals by 2030.

Keywords: Climate; Precipitation; Amazon; Health; ODS.

## Introdução

Segundo o Quinto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC AR5*), divulgado em 2014, nos últimos 10 anos, o tema mudanças climáticas ocupa lugar de destaque nos debates da comunidade científica internacional, despertando para o desenvolvimento de modelos de projeções climáticas até o ano de 2100. Franco et al. (2019) esclarece que as mudanças climáticas devem produzir grandes impactos sobre os recursos hídricos, maiormente em países que ainda estadeiam reservas florestais, como é o caso do Brasil, que até então dispõe de uma rica biodiversidade distribuída ao longo da Floresta Amazônica e de seus biomas. Em se tratando de mudanças climáticas, Nobrega (2016) e colaboradores sinalizam que a precipitação é um dos principais elementos climáticos na região tropical, pois, além de influenciar o comportamento de outros elementos atmosféricos, como a umidade relativa e a temperatura do ar, é ela que melhor caracteriza as intercorrências climáticas de uma região.

Os ecossistemas florestais atuam de forma significativa no ciclo hidrológico, uma vez que interferem diretamente na distribuição das chuvas, contribuindo para a recarga dos aquíferos, bem como na parcela que retorna para a atmosfera, sendo que, dentre os ecossistemas florestais, a floresta nativa é aquela que atua de forma mais expressiva no balanço hídrico, devido à sua biodiversidade, à complexidade do sistema e à própria dinâmica das comunidades dos fragmentos (Ávila et al., 2014b). Por décadas, muitos dos estudos de variabilidade e mudanças climáticas de precipitação estiveram focados em mudanças nos valores médios. Entretanto, há uma necessidade de se verificar mudanças não só em totais pluviométricos, mas também no comportamento sazonal deste elemento climático, por exemplo, dissertando sobre a ocorrência de eventos e períodos extremos de seca ou de chuvas e seus impactos diretos e indiretos nas populações.

Em geral, estudos de mudanças climáticas globais com base em dados meteorológicos são realizados por meio de análises de séries históricas de elementos climáticos. Percebe-se que a avaliação de um problema de sustentabilidade não dissocia os sistemas ecológicos dos sociais, pelo contrário, integra-os e, por estarem inter-relacionados, exige soluções coletivas por parte de

seus stakeholders (Broman e Robért, 2017). A dinâmica natural das chuvas na Amazônia está concomitantemente associada às alterações do ambiente, em sua maioria, por ações antrópicas, que, de fato, remodelam os padrões de pluviosidade localregionais, alterando significativamente a vazão dos rios, demudando a paisagem do ambiente e a qualidade de vida dos povos que o habitam (Santos et al., 2019).

Isto posto, Sena et al. (2016) citam que há um distanciamento entre as políticas públicas sociais da população, causando desigualdades entre os municípios de regiões extremas, como os do Norte e Nordeste com os do resto do Brasil, ascendendo a importância do plano de ação da Agenda 2030, onde estão inseridos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e suas 169 metas, integradas, indivisíveis e equilibradas nas dimensões ambiental, econômica, social e institucional, que traz condutas para os próximos 15 anos na busca por um mundo sustentável e resiliente (UNSDSN, 2017).

Logo, Santos et al. (2016) consideram que é respeitável conhecer a variação pluviométrica da região amazônica, bem como a precipitação e sua relação com o funcionamento da floresta. Saliendam também que os riscos emergentes das mudanças no ciclo hidrológico, decorrentes de processos vinculados a forças motrizes como extração de minérios, de madeiras, pecuária e produção de energia, atuais modelos venerados de desenvolvimento econômico do Sudeste paraense, constituem uma ameaça para o meio ambiente e para a saúde humana, principalmente, a nível local.

Portanto, diante dos fatos narrados, este artigo busca analisar a variabilidade das chuvas, seu comportamento sazonal e sua conexão com as metas presumidas pelos ODS 06 e 13 com foco em populações expostas a períodos susceptíveis à baixa pluviosidade no Sudeste da Amazônia paraense.

## Material e métodos

### Caracterização da área de estudo

A área delimitada para o estudo foi a mesorregião Sudeste paraense, com uma extensão territorial de 297.344,257 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Situa-se entre as bacias do rio Xingu e Araguaia-Tocantins e é formada por 39 municípios. Para Hoffmann et al. (2018), a bacia do rio Xingu é uma forte referência da biodiversidade amazônica brasileira. Segundo os autores, a região é conhecida internacionalmente por seus grandes contrastes,

que, por um lado, possui um dos mais significativos e extensos corredores de áreas protegidas do mundo, abrigando um inédito mosaico da diversidade cultural brasileira, e por outro lado, tem uma biodiversidade peculiar que transita entre os biomas Cerrado e a floresta Amazônica. A mesorregião tem chamado atenção pelo grande dinamismo socioeconômico e territorial, formados, especialmente, pelas profundas transformações na base socioprodutiva nos últimos 40 anos. Segundo o último censo do IBGE (2010), possuía uma população com 1.647.570 habitantes, que corresponde a 22,2% da população do estado do Pará.

Em 2003, o Governo do Estado do Pará promoveu um estudo para dividi-lo em Regiões de Integração (RI), com o propósito de agrupar os

municípios por semelhanças econômicas e pela necessidade de divisão igualitária de seus recursos, assim, criando parâmetros e indicadores de desenvolvimento coletivo. Desta forma, instituiu-se no estado a formação de 12 Regiões de Integração (RI), conforme alude a Resolução nº 002, de 5 de fevereiro de 2004, do Colegiado de Gestão Estratégica, que trata da regionalização programática do Governo do Estado do Pará. Com essa reformulação de governança no território paraense, a mesorregião Sudeste passou a subsidiar 04 das 12 RI (Figura 1), sendo: RI Araguaia, formada por 15 municípios; RI Carajás, por 12 municípios; RI Lago do Tucuruí, por 07 municípios; e, por fim, RI Rio Capim, que possui 16 municípios, mas que, no entanto, apenas 05 fazem parte da geografia territorial do Sudeste.

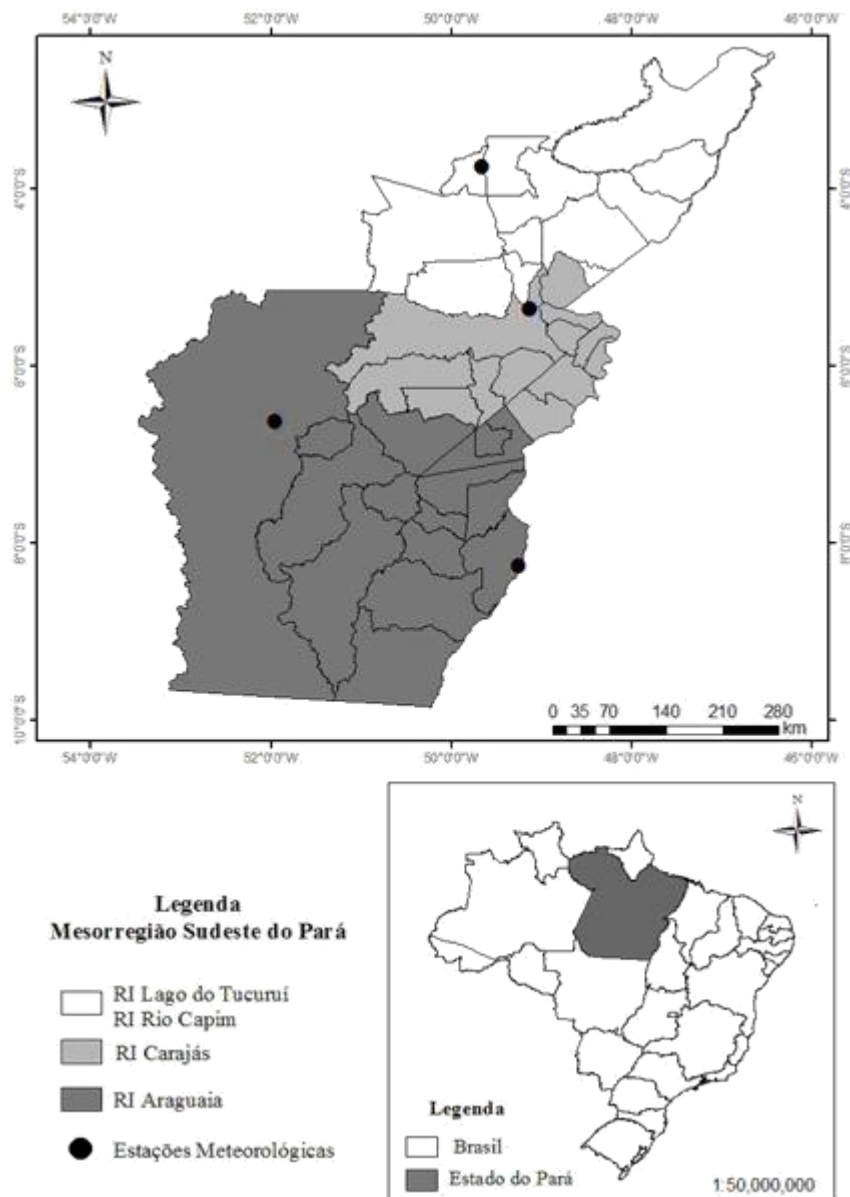


Figura 1. Mapa de localização do estado do Pará, da mesorregião Sudeste, das Regiões de Integração, dos municípios e das estações meteorológicas escolhidas por estratégia de representatividade regional. RI Araguaia

A Região de Integração (RI) Araguaia é composta pelos municípios de Água Azul do Norte, Bannach, Conceição do Araguaia, Cumaru do Norte, Floresta do Araguaia, Ourilândia do Norte, Pau D'arco, Redenção, Rio Maria, Santa Maria das Barreiras, Santana do Araguaia, São Félix do Xingu, Sapucaia, Tucumã e Xinguara, sendo que a maioria surgiu a partir da abertura de estradas e da política de ocupação da Amazônia, implementada pelo governo federal na década de 1970. A população dessa RI, em 2014, foi estimada em 521 mil habitantes, correspondendo a 6,4% do total do Estado (FAPESPA, 2017). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a RI Araguaia insere-se na categoria de equatorial superúmido, tipo Am, no limite de transição para o Aw. Para representar todos os municípios, foram escolhidas as estações meteorológicas localizadas em Conceição do Araguaia e São Félix do Xingu (PA).

#### RI Carajás

A Região de Integração (RI) Carajás é formada pelos municípios de Bom Jesus do Tocantins, Brejo Grande do Araguaia, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Eldorado dos Carajás, Marabá, Palestina do Pará, Parauapebas, Piçarra, São Domingos do Araguaia, São Geraldo do Araguaia e São João do Araguaia, sendo a maioria deles afetados pelos processos migratórios decorrentes da extração de minérios, garimpos e por conflitos de terras. A população da RI Carajás, em 2014, foi estimada em pouco mais de 629 mil habitantes, correspondendo a 7,7% do total do Estado (FAPESPA, 2017). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a RI Carajás possui um clima tropical semiúmido, do tipo Am. Para representar todos os municípios da RI, foi escolhida a estação meteorológica localizada em Marabá (PA).

#### RI Lago do Tucuruí e Rio Capim

A Região de Integração (RI) Lago de Tucuruí é formada pelos municípios de Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna, Novo Repartimento e Tucuruí, com uma população estimada, em 2014, de aproximadamente 394 mil habitantes, correspondendo a 5% do total do Estado (FAPESPA, 2017). Já a RI Rio Capim é formada por 16 municípios, contudo, apenas 5 desses pertencem ao território da mesorregião Sudeste, sendo os municípios de Abel Figueiredo, Dom Eliseu, Paragominas, Rondon do Pará e Ulianópolis. Esses municípios representam uma população de 246.223 mil habitantes (IBGE, 2010). Por fim, a classificação climática dada por Köppen-Geiger para as RIs Lago do Tucuruí e Rio Capim é Am e Aw.

#### Dados utilizados

Na presente pesquisa, foram utilizados dados mensais e anuais de precipitação, correspondentes ao período de observações de 1986 a 2017 (32 anos). Os dados de precipitação foram obtidos das estações meteorológicas (Tabela 1), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), elegendo como critério uma estação representativa para cada uma das Regiões de Integração (Figura 1), assim, acobertando os 39 municípios do Sudeste da Amazônia Meridional paraense e consentindo geograficamente com as orientações Leste, Oeste, Norte e Sul (Santos et al., 2019). Para o INMET (2018), a estação meteorológica de uso convencional e automática é composta por vários sensores independentes que registram e armazenam ininterruptamente os parâmetros meteorológicos.

Tabela 1 - Estações meteorológicas em estudo e suas coordenadas geográficas de localização

Estação Meteorológica	RI*	Código	Latitude	Longitude	Altitude
Conceição do Araguaia	Araguaia	82861	8° 15' 36" S	49° 15' 36" W	156,85 m
Marabá	Carajás	82562	5° 21' 36" S	49° 07' 48" W	95,00 m
São Félix do Xingu	Araguaia	82861	6° 37' 48" S	51° 57' 36" W	206,00 m
Tucuruí	Lago do Tucuruí Rio Capim	82361	3° 45' 36" S	49° 39' 36" W	40,00 m

RI\* Região de Integração

#### Preenchimento de falhas

O método empregado no preenchimento de falhas foi o da ponderação regional, descrito por

Tucci (2009) e Bier et al. (2017), com intuito de atestar dados faltantes de precipitação. A falha nos

dados na estação meteorológica de interesse é estimada a partir da Equação 1:

Equação 1:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[ \left( \frac{M_x}{M_a} \right) x P_a + \left( \frac{M_x}{M_b} \right) x P_b + \left( \frac{M_x}{M_c} \right) x P_c \right]$$

em que:

$P_x$  é a precipitação do posto X a ser estimada;

$P_a$ ,  $P_b$  e  $P_c$  são as precipitações correspondentes ao mês (ou ano) que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas;

$M_x$  é a precipitação média do posto X;

$M_a$ ,  $M_b$ ,  $M_c$  são as precipitações médias nas três estações circunvizinhas.

### Análise dos dados

Os dados foram organizados e tabulados em planilhas eletrônicas com assistência do programa Excel versão 2016 e sua conformidade testada com o auxílio do software computacional SigmaPlot versão 11.0. Logo após, foi aplicado o teste da Curva Dupla Massa (Tucci, 2009), como um parâmetro de verificação da qualidade e consistência dos dados brutos. Segundo Silva et al. (2017), essa técnica consiste em plotar o gráfico do total acumulado de uma série com outro acumulado de precipitação no mesmo intervalo de tempo, sendo que os totais são distribuídos ao longo de uma linha de tendência (reta).

Após feitas as devidas correções, foram cometidas análises estatísticas descritivas de médias ( $\bar{x}$ ) e desvio-padrão amostral (S) anuais e mensais, seguindo a mesma abordagem analítica feita por Dallacort et al. (2011), Silva et al. (2017) e Hoffmann et al. (2018). Para as análises da variabilidade anual e mensal da precipitação, foram utilizadas as Equações 2 e 3:

Média:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Desvio Padrão:

$$S = \sqrt{\sum \frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{(Equação 3)}$$

Para o reconhecimento de episódios de meses chuvosos, considera-se como mês chuvoso quando a média mensal da série climatológica for igual ou superior a 150 mm, segundo a classificação climática de *Köppen-Geiger* para o clima tropical Aw e Am (Sans et al., 2001; Sanches; Fisch, 2005; Sanches et al., 2016), que são característicos da região amazônica devido às condições geográficas e atmosféricas. Em razão disso, foi analisado o comportamento sazonal da precipitação com uso do método do Índice de Anomalias de Chuvas (IAC). Isto posto, Sanches (2016) e colaboradores explicam que esse índice procura analisar a frequência com que ocorrem os anos secos e chuvosos e a intensidade dos mesmos avaliando seu grau de severidade e duração nas Equações 4 e 5, expresso por:

a) para anomalias positivas,

$$IAC = 3 \cdot \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right] \quad \text{(Equação 4)}$$

b) para anomalias negativas,

$$IAC = -3 \cdot \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right] \quad \text{(Equação 5)}$$

Nas equações propostas acima, N compreende a precipitação total (mm) do ano em que será gerado o IAC;  $\bar{N}$  corresponde à média (anual) da série histórica (mm);  $\bar{M}$  representa a média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm) e  $\bar{X}$  compreende a média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm). As anomalias positivas são representadas por valores acima da média e as negativas, abaixo da média, e seus graus de intensidade podem ser avaliados conforme a Tabela 2. (Equação 2)

Tabela 2 - Classes de intensidade do Índice de Anomalia de Chuva

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Faixa do IAC	Classe de Intensidade
		De 4 acima
	2 a 4	Muito úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito seco
	De -4 abaixo	Extremamente seco

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2015) e Alves et al. (2016).

Logo, com o propósito de identificar a conexão entre seca e saúde, foi avaliada a progressividade de alguns indicadores de desenvolvimento nos 39 municípios da mesorregião por meio da mediana, comparando-as com os outros 104 municípios do Estado e 5.526 municípios do país, com base nos censos de 1991, 2000 e 2010. Nesse cenário, foi proposta uma breve revisão dos ODS 06 e 13 e de suas metas.

Os indicadores foram selecionados com base nos critérios da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) e da Organização Mundial de Saúde (OMS) e divididos em duas dimensões, sendo a da saúde com 4 (quatro) indicadores: TMI – Taxa de Mortalidade Infantil por mil nascidos vivos; TMIn – Taxa de Mortalidade na Infância por mil nascidos vivos; esperança de vida ao nascer; proporção da população em condição de pobreza (%); e a dimensão do desenvolvimento sustentável com 1 (um) indicador correspondente ao social – proporção da população analfabeta (%); 1 (um) ao ambiental – proporção da população com acesso à água encanada (%) e 2 (dois) ao econômico – proporção da população que vive em domicílios com energia elétrica (%); e o IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, conforme mostra a Figura 2.

Em razão disso, os dados foram extraídos gratuitamente das plataformas eletrônicas do

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e organizados e tabulados em planilhas eletrônicas.

<b>AGRUPAMENTOS</b>	
<b>Dimensão Saúde</b>	<b>Dimensão Desenvolvimento Sustentável</b>
<p><b>Indicador de Saúde</b></p> <p><b>a) TMI - Taxa de Mortalidade Infantil por mil nascidos vivos</b></p> <p><b>b) TMIn - Taxa de Mortalidade na Infância por mil nascidos vivos</b></p>	<p><b>Indicador Ambiental</b></p> <p><b>a) Proporção da população sem acesso à água encanada (%)</b></p> <p><b>Indicador Social</b></p> <p><b>a) Proporção da população analfabeta (%)</b></p> <p><b>Indicador Econômico</b></p> <p><b>a) Proporção da população que vive em domicílios com energia elétrica (%)</b></p> <p><b>b) IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal</b></p>

Figura 2. Diagrama dos agrupamentos e dimensões dos indicadores.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de informações do OPAS/OMS (2015).

## Resultados e discussão

### Preparação da série

Seguindo o método aplicado para preenchimento de falhas em séries temporais dado por Tucci (2009), a Figura 3 denota o gráfico da Curva de Dupla Massa, o coeficiente de determinação e a equação para os totais mensais de precipitação da RI Tucuruí e Rio Capim e das estações circunvizinhas durante o mesmo período, a partir do preenchimento sintético, e os dados acumulados de sua média anual.

Com o teste da curva de dupla massa (Figura 3), notou-se um elevado nível de homogeneidade (99,93%). O alinhamento dos

pontos sobre a linha de tendência distingue a boa coerência do conjunto de dados. Para Silva et al. (2017), esse alinhamento sincronizado refuga consideravelmente a possibilidade de erros sistemáticos, alterações e condições climáticas e físicas do local, entre outros. Desta forma, após seleção dos dados, análise estatística, aplicação do preenchimento de falhas e análise de consistência da série, foi possível obter um conjunto íntegro de dados mensais de precipitação para a RI Lago do Tucuruí e Rio Capim (1986-2017) a ser analisado. Esse conjunto de dados, de certa forma, representa o regime pluviométrico para toda a RI, pois há pouca dispersão entre os mesmos.

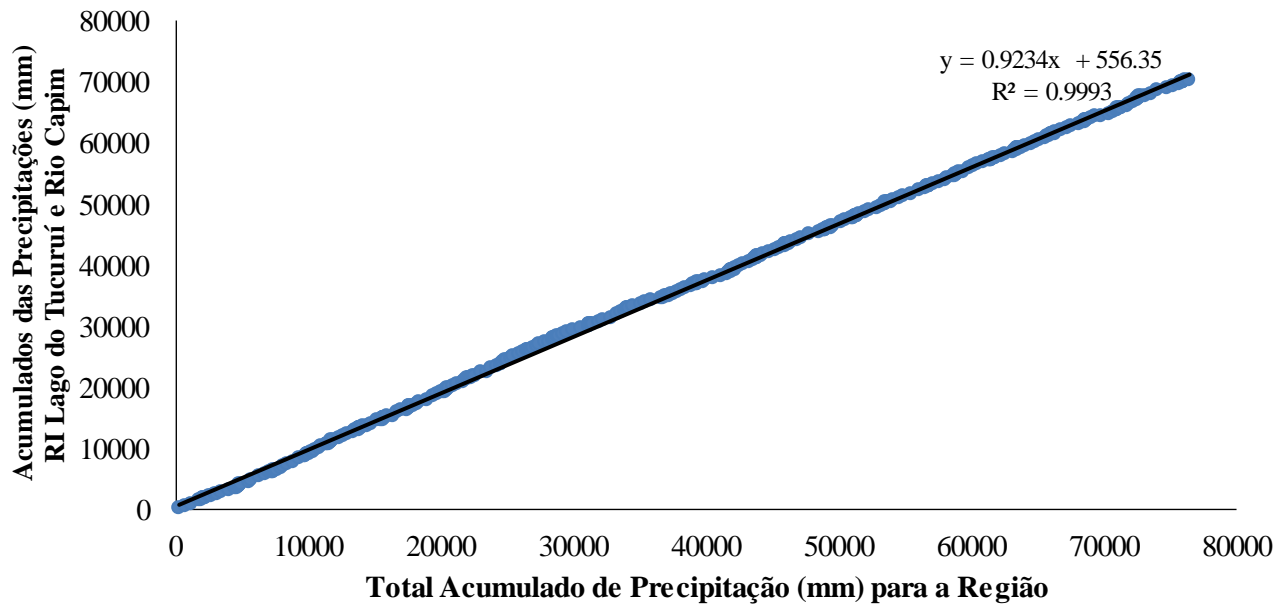


Figura 3. Curva de Dupla Massa para a análise de consistência, aplicado ao preenchimento de falhas na série temporal de Tucuruí (PA), Região de Integração que apresenta o Lago do Tucuruí e Rio Capim.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Silva et al. (2017) e dados históricos disponíveis no *website* do INMET.

Com o teste da curva de dupla massa (Figura 3), notou-se um elevado nível de homogeneidade (99,93%). O alinhamento dos pontos sobre a linha de tendência distingue a boa coerência do conjunto de dados. Para Silva et al. (2017), esse alinhamento sincronizado refuga consideravelmente a possibilidade de erros sistemáticos, alterações e condições climáticas e físicas do local, entre outros. Desta forma, após seleção dos dados, análise estatística, aplicação do preenchimento de falhas e a análise de consistência da série, foi possível obter um conjunto íntegro de dados mensais de precipitação para a RI Lago do Tucuruí e Rio Capim (1986-2017) a ser analisado. Esse conjunto de dados, de certa forma, representa o regime pluviométrico para toda a RI, pois há pouca dispersão entre os mesmos.

#### Comportamento das médias pluviométricas anuais

A mesorregião Sudeste paraense desvelou uma média histórica anual de precipitação igual a

1.978,1 mm e desvio-padrão igual a 285,2 mm. Sobretudo, observa-se, também na Figura 4, que, no período histórico de 1986 a 2017, não sucedeu uma grande variabilidade de precipitação para os municípios. Todavia, apenas o município de Tucuruí (PA), que, nesse cenário, foi escolhido para representar a RI Lago do Tucuruí e Rio Capim, teve média anual de precipitação que superou o desvio em 411 mm. Costa e Blanco (2018) explicam que essa variação na quantidade de precipitação é devido à extensão territorial expressiva de ambas as RIs no estado do Pará, que chegam a ocupar cerca de 8% de seu território. Além dos efeitos locais, é também influenciada por sistemas de mesoescala, como aglomerados convectivos e linhas de instabilidade, e sistemas meteorológicos de grande escala transientes, como as zonas frontais e, acima de tudo, a Zona de Convergência Intertropical e a Zona de Convergência do Atlântico Sul.

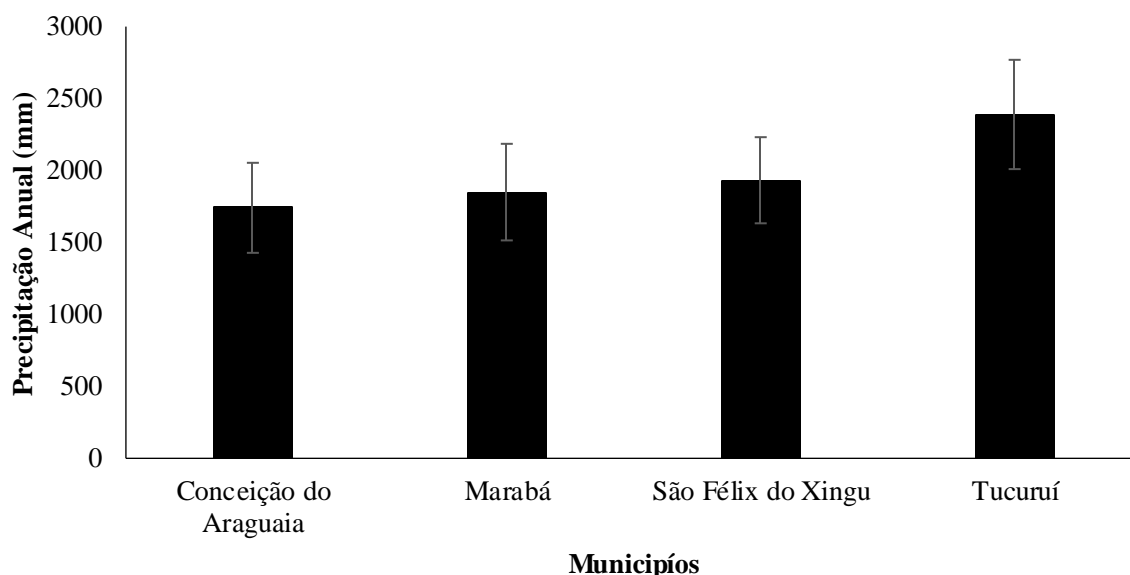


Figura 4. Média e desvio-padrão anual histórico de 1986 a 2017 dos municípios que representam as Regiões de Integração (RI) do Sudeste paraense.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados históricos disponíveis no *website* do INMET.

Na Tabela 3, pode-se observar as médias e os desvios-padrão de precipitação pluviométrica mensal e anual para todos os municípios que representam as RIs estudadas. Nota-se, novamente, que o município de Tucuruí (PA) revelou o maior índice pluviométrico, com 2.389,4 mm, e também o maior desvio-padrão, de 378 mm, o que qualifica

uma grande variabilidade de chuvas para as RI Lago do Tucuruí e Rio Capim. Contrariamente, o menor desvio-padrão foi observado para o município de São Félix do Xingu (RI Araguaia), com 299,3 mm e precipitação média anual de 1.932,3 mm, sendo o município, dentre os quatro, o que exibiu a menor variabilidade das chuvas.

Tabela 3 - Média de precipitação pluviométrica (mm) e ( $\bar{X}$ ) desvio-padrão (S) mensal e anual para os municípios que representam as RIs do Sudeste paraense, no período de 1986 a 2017.

Mês	Conceição do Araguaia		Marabá		São Félix do Xingu		Tucuruí	
	( $\bar{X}$ )	S	( $\bar{X}$ )	S	( $\bar{X}$ )	S	( $\bar{X}$ )	S
Jan.	239,9	103,9	253,2	109,1	245,5	93,8	335,2	114,2
Fev.	248,1	91,2	299,7	119,5	289,6	89,5	372,8	132,1
Mar.	267,2	88	361,1	87,1	322,6	104,2	439,2	111,1
Abr.	186,9	91,3	250,2	88,5	224	88,3	394,2	143,5
Mai.	100	75,4	122,3	83,9	142,2	86,1	244,2	102,6
Jun.	11,1	16	29,9	24,2	51,7	49,9	91,2	55,5
Jul.	3,9	8,3	18,4	24,6	21,5	24,6	49,1	33,5
Ago.	7,3	13	10,5	13,3	42,6	35,6	31,1	25,2
Set.	56,7	43,5	45,9	44	89	51,2	34,4	24,2
Out.	133,9	77,7	90	57,5	149,6	76,4	72,5	57
Nov.	227	100,3	156,9	92,5	168,7	67,8	110,3	61,2
Dez.	258,6	124,8	211,7	99,4	185,4	96,1	215,1	113,8
<b>Anual</b>	<b>1.740,7</b>	<b>312,8</b>	<b>1.849,9</b>	<b>335,6</b>	<b>1.932,3</b>	<b>299,3</b>	<b>2.389,4</b>	<b>379,7</b>

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados históricos disponíveis no *website* do INMET.

Essas mesmas condições de variabilidade máxima e mínima também foram identificadas no estudo desenvolvido por Hoffmann (2018) e colaboradores. Eles concluíram que, entre o período de 1973 e 2015, o município de Tucuruí (RI Tucuruí e Rio Capim) denotou o maior índice

pluviométrico, com 2.468 mm, e o maior desvio-padrão, 411 mm. Já o menor desvio-padrão foi achado para o município de São Félix do Xingu (RI Araguaia), com 301 mm e precipitação média anual de 2.033 mm. Em razão disso, realça-se, na Tabela 3, que o menor índice pluviométrico está em



Conceição do Araguaia (RI Araguaia) com média anual de 1.741 mm e desvio-padrão de 313 mm.

Tendo em vista a metodologia dada por Sans et al. (2001), segundo a qual chuvas que somam uma lâmina de 5 mm por dia não são consideradas dias chuvosos (logo, os meses em que o acumulado seja menor que 150 mm são considerados meses secos ou, pelo menos, com baixa incidência pluviométrica), observou-se que, para a mesorregião, os meses considerados secos (período de estiagem) nos municípios de Conceição do Araguaia (RI Araguaia) e Marabá (RI Carajás) são os de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro. Para o município de São Félix do Xingu (RI Araguaia), o período sazonal de estiagem está entre maio e setembro. Por

consequente, para o município de Tucuruí (RI Lago do Tucuruí e Rio Capim), está entre junho e novembro, com precipitações de 91, 49, 31, 34, 73 e 110 mm, respectivamente, nos meses citados acima. Essa sazonalidade também foi estudada por Jesus et al. (2018), que, ao analisarem a tendência climática nas séries temporais de temperatura e precipitação de Tucuruí (PA), concluíram que o período de estiagem também está entre junho e novembro e que, em decorrência dessa sazonalidade, desvela temperatura média do ar acima dos 30 °C. Deste modo, constata-se, na Figura 5, a representação gráfica da distribuição anual da precipitação dos municípios que representam as Regiões de Integração no território do Sudeste do Pará.

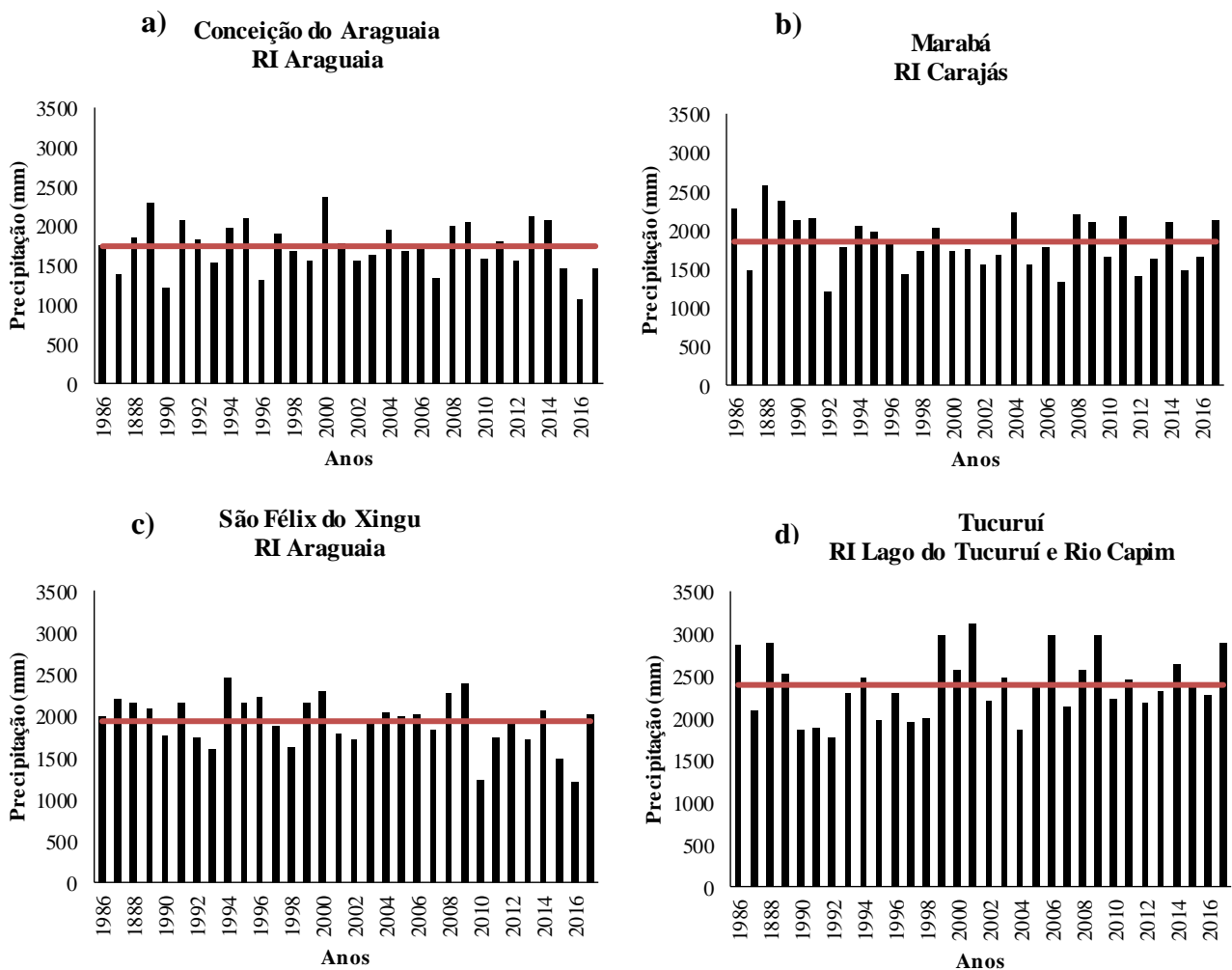


Figura 5. Distribuição anual da precipitação pluviométrica dos municípios que representam as RIs do Sudeste paraense, sendo: a) Conceição do Araguaia; b) Marabá; c) São Félix do Xingu e c) Tucuruí (PA). A linha contínua representa o valor médio da precipitação para todo o período.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados históricos disponíveis no *website* do INMET.

Na Figura 5, enxerga-se que, no município de Conceição do Araguaia (PA), ocorreu, no ano 2000, a precipitação anual máxima, com 2.370 mm, e a mínima ocorreu em 2016, com 1.059 mm, sendo a média histórica (1986–2017) igual a 1.741 mm com desvio-padrão (S) igual a 313 mm. De

fato, segundo o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), os anos em destaque coincidem com os acontecimentos de eventos climáticos na região, sendo o de 2016 com forte intensidade de El Niño e o de 2000, com uma moderada intensidade de La Niña. Observa-se também uma

dinâmica pluviométrica equilibrada para a RI em questão, em que, ao longo da série, expôs quinze anos (50%) acima da média histórica e quinze anos (50%) abaixo da média histórica, com realce para o período de 2015 a 2017, que revelou ser 23,8% menor que a média histórica e com (S) igual a 232 mm, 25,6% menor que o desvio-padrão da média histórica, condizendo com um período de episódios de El Niño de forte intensidade. Souza et al. (2012), pesquisando sobre a dinâmica das chuvas no estado do Pará entre 1960-1998, concluíram que mais de 50% da área total do estado exibe precipitação anual compreendida entre 1.900 a 2.400 mm, e que as menores precipitações ficaram concentradas em municípios de fronteira agrícola, principalmente com o estado do Tocantins (Santana do Araguaia e Conceição do Araguaia).

Com média anual histórica igual a 1.850 mm e desvio-padrão (S) igual a 336 mm (Figura 5), o município de Marabá (PA) externou um índice pluviométrico anual mínimo de 1.215 mm em 1992 e máximo de 2.576 mm em 1988. Na série histórica de precipitação, quatorze anos (44%) ficaram acima da média e dezoito anos (56%), abaixo da média, com notoriedade para o período de 1988 a 1991, que desvelou ser 24,6% maior que a média histórica e com (S) igual a 212 mm, 36,4% menor que o desvio-padrão da média histórica estudada. Contrariamente, entre os anos de 2000 a 2003, a RI apontou uma sequência temporal de chuvas abaixo da média, sendo 9,24% menor que a média histórica e com um (S) igual a 90 mm, 73,2% menor que o desvio-padrão da média histórica, respectivamente.

Para o INPE (2019), os dois períodos em destaque confluíram com eventos extremos, tanto de forte intensidade de La Niña quanto de moderada intensidade de El Niño. Gonçalves et al. (2015) comentam que as ocorrências desses fenômenos influenciam a redução da precipitação e induzem o aumento da ocorrência de queimadas, acarretam a diminuição de florestas e da capacidade destas de absorver carbono, levando o ambiente a uma incapacidade de resiliência e a um desequilíbrio biológico.

Rocha et al. (2019) citam que, como estímulo adicional para os investimentos do setor privado, o Governo Federal criou então o PGC (Programa Grande Carajás), para conceder incentivos fiscais específicos para os projetos agrícolas e industriais que circundavam o polo mineratório, destacando-se as plantas de ferro-gusa instaladas no corredor de municípios trafegados pela Estrada de Ferro Carajás e pelas atividades industriais induzidas pelos setores metalúrgico, moveleiro e agropecuário, que estimularam o desflorestamento, a degradação de florestas

tropicais, gerando poluição hídrica e aérea principalmente nas áreas urbanas.

Por conseguinte, São Félix do Xingu (PA) expôs média histórica de precipitação pluviométrica entre o período estudado de 1.932 mm e (S) igual a 299 mm, com precipitação mínima igual a 1.217 mm e máxima igual a 2.448 mm. A partir da análise em função da média histórica estudada, constata-se que dezessete anos (53%) ficaram acima da média e quinze (47%), abaixo da média. Isto posto, o município de São Félix do Xingu (PA), que nesse cenário também representa a RI Araguaia, realçou, no período entre 1986 e 1989, como a RI de menor frequência (9%) de chuvas acima da média histórica e (S) igual a 94 mm, equivalendo a 68,5% a menos que o desvio-padrão da média histórica estudada.

De outro modo, foi notado que o período mais longo de frequência de chuvas abaixo da média histórica foi entre 2010 e 2013, mesmo período em que o INPE registrou a maior quantidade de focos de calor no Pará (145.026), concomitantemente à ocorrência de forte intensidade para o fenômeno El Niño. Fonseca-Morello et al. (2017) comentam que a presença desse fenômeno na região Norte ocasiona redução drástica de chuvas em todos os domínios, em especial no Norte, Leste e Sudeste da Amazônia. Diante dos fatos, Fonseca et al. (2019) argumentam que o município de São Félix do Xingu (PA) foi ranqueado em 7º lugar dentre os dez municípios brasileiros em maior situação crítica no desmatamento florestal. Os autores ainda comentam que, somente em junho de 2019, foram aferidos 39 km<sup>2</sup> de área desmatada em seu território.

O município de Tucuruí (PA), que representa as RIs Lago do Tucuruí e Rio Capim, desvelou média pluviométrica anual de 2.389 mm e (S) igual a 380 mm, com máxima anual de 3.117 mm em 2001 e mínima anual de 1.764 mm em 1992. Nota-se também que, ao longo da série histórica estudada, quatorze anos (44%) ficaram acima da média e dezoito anos (56%), abaixo da média, com proeminência para o período 1990 a 1998, que expôs a maior sequência de anos com chuvas abaixo da média. Excepcionalmente, a média de chuvas desse período foi de 2.055 mm, sendo 13,7% menor que a média histórica da série, e seu (S) foi igual a 242 mm, 36,3% menor que o desvio-padrão da série histórica estudada.

Logo, Souza (2017) e demais colaboradores, pesquisando sobre a possível tendência climática a partir do teste não paramétrico de Mann-kendall, narram que o coeficiente de regressão linear não apresentou significância estatística, e decididamente não é

possível asseverar que a precipitação total anual em Tucuruí (PA) cresceu no decorrer do período analisado, mas, sim, é possível delinear que a série de chuvas (1972-2012) ficou estagnada ao longo do intervalo temporal analisado.

**Comportamento das médias pluviométricas mensais**

No geral, a Figura 6 constitui-se de uma representação gráfica sobre a distribuição mensal da precipitação pluviométrica dos municípios que, nesse contexto, simbolizam as Regiões de Integração do Sudeste paraense.

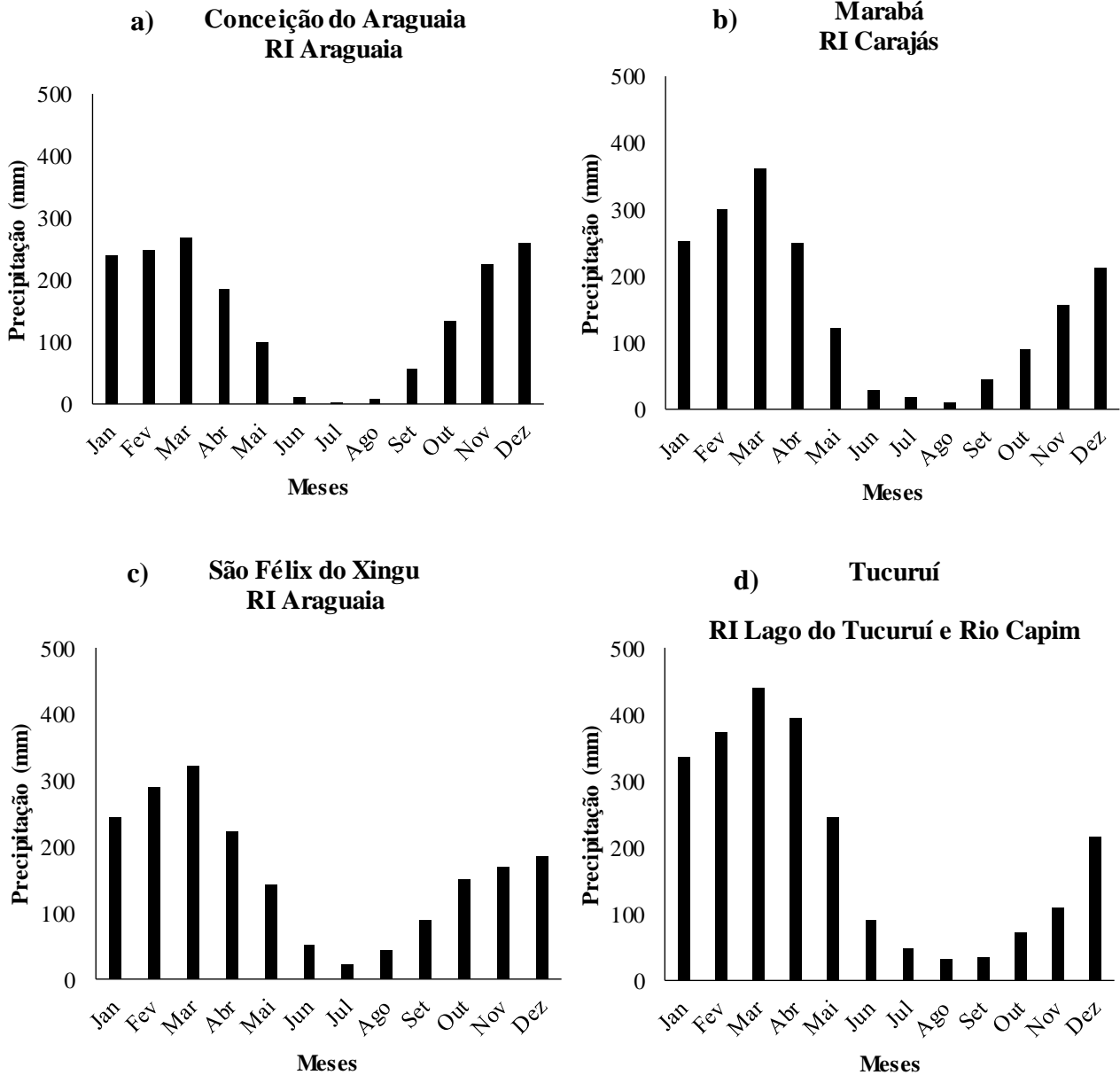


Figura 6. Distribuição mensal da precipitação pluviométrica dos municípios que representam as Regiões de Integração do Sudeste paraense, sendo: a) Conceição do Araguaia; b) Marabá; c) São Félix do Xingu e c) Tucuruí (PA).

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados históricos disponíveis no *website* do INMET.

Observa-se que a dinâmica de distribuição mensal da precipitação é semelhante em todos os municípios. Contudo, os meses mais chuvosos são de novembro a março, em que ocorre aproximadamente 80% da precipitação,

sobressaindo os meses de fevereiro e março, em que a precipitação foi superior a 250 mm. Júnior et al. (2017) afirmam que a variação sazonal da precipitação no estado do Pará é caracterizada por uma estação chuvosa, que na maioria das

localidades abrange os meses de dezembro a maio, e por uma estação menos chuvosa (estação de estiagem), que corresponde comumente ao período de junho a novembro. Segundo Costa e Blanco (2018), na mesorregião Sudeste paraense, os meses mais anômalos são os da estação chuvosa (dezembro a maio), que exibem uma variabilidade bem maior e mais dinâmica em comparação aos meses da estação de estiagem (junho a novembro), que praticamente se mantêm dentro das médias presumidas.

Na Figura 6, o município de Conceição do Araguaia (PA) exhibe os meses de novembro a março como sendo os mais chuvosos, correspondendo a 69% da precipitação anual. Já os meses de junho, julho, agosto e setembro são os meses avaliados como secos, referindo-se a 4,54% da precipitação anual. Para Obermaier e Rosa (2015) e Araújo et al. (2017), esse período é compreendido como o inverno amazônico, com poucas ocorrências de chuvas torrenciais; entretanto, é marcado por temperaturas mais elevadas e baixa umidade relativa do ar.

No mesmo sentido analítico, ocorreu 83% da precipitação anual entre os meses de novembro e abril (período chuvoso) e 5,68% entre os meses de junho e setembro (período de estiagem) em Marabá (PA). Já o município de São Félix do Xingu (PA) exibiu 66% da precipitação anual distribuída entre os meses mais chuvosos (novembro a abril) e 6% da precipitação entre os meses mais secos (junho, julho e agosto). Da mesma forma, o município de Tucuruí (PA) desvelou que 84% da precipitação anual está distribuída entre os meses mais chuvosos (dezembro a maio) e 7,8% da precipitação entre os meses mais secos (julho a outubro). Salienta-se que o município de Tucuruí (PA), que está alusivamente representando as RIs Lago do Tucuruí e Rio Capim, destaca-se como a região que exibiu as maiores médias mensais de precipitação no período chuvoso, com máxima de 439 mm no mês de março.

Sanches e Fisch (2005), pesquisando sobre a distribuição de chuvas antes e depois da formação do lago artificial da UHE Tucuruí (PA), constataram que não ocorreram alterações significativas nos regimes e ritmos de precipitação, quer seja com relação aos totais mensais de precipitação, número de dias com chuvas, início e final do período chuvoso. Entretanto, há um leve indício de que o mês de outubro, por ser um mês de

transição entre as estações seca e chuvosa, possa estar suscetível a um aumento de chuvas moderadas, como produto do aumento da disponibilidade de umidade para evaporação causado pela formação do lago.

Todavia, nota-se que, no geral, a sazonalidade das chuvas (Figura 6) na mesorregião Sudeste paraense transcorre por quatro períodos climáticos distintos. O primeiro período é apontado como estação chuvosa, que vai de novembro a março, com média igual a 260 mm, o que equivale a 3,3% da precipitação total. O segundo período vai de abril a maio e é conhecido como estação de transição da chuvosa para a seca, com média igual a 208 mm (2,6%) das chuvas anuais.

Consequente, o terceiro período vai de junho a agosto (estação seca), com média igual a 31 mm (0,4%) das chuvas anuais e, por fim, o quarto período, que vai de setembro a outubro, com média igual a 84 mm (1%), configurando o período de transição da estação seca para a chuvosa. Amanajas e Braga (2012), analisando os padrões espaçotemporais pluviométricos na Amazônia Oriental, mostraram a existência de três padrões pluviométricos: a primeira, estação chuvosa; a segunda, estação de transição, está associada a eventos de grande e mesoescala; e a terceira estação, a menos chuvosa, evidencia a influência da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

### **Índice de anomalia de chuvas (IAC)**

A Figura 7 traduz-se de uma representação gráfica sobre os Índices de Anomalia de Chuvas (IAC) por faixa anual dos municípios que simbolizam as RIs do Sudeste paraense. Nota-se que o município de Conceição do Araguaia (PA) exibiu dezessete anos (53%) com desvios positivos e quinze anos (47%) com desvios negativos, variando entre -2,68 e 2,90. Porém, entre as anomalias positivas, 47% dos anos foram classificados como de intensidade muito úmido e 6% como úmido. Quanto às anomalias negativas, 41% dos anos foram classificados como seco e 6% como muito seco. Dito isso, constata-se que os anos de 1989 e 2000 foram os mais chuvosos e os anos de 1990 e 2016, os mais secos. No geral, o município foi classificado na faixa de intensidade como úmido

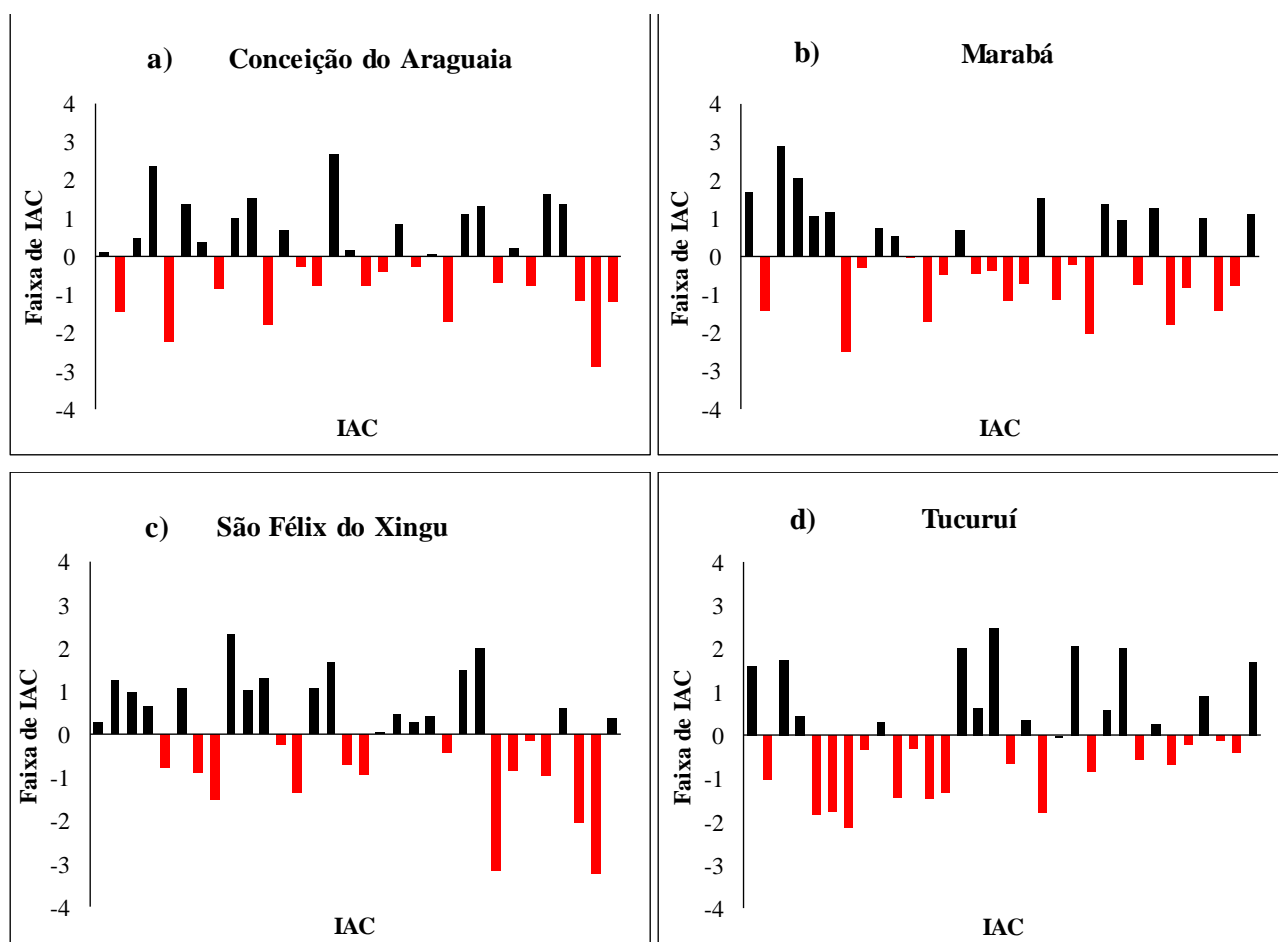


Figura 7. Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), positivo (cor preta) e negativo (cor vermelha), para a série de totais anuais de precipitação (1986 - 2017) dos municípios que representam as Regiões de Integração do Sudeste paraense, sendo: a) Conceição do Araguaia; b) Marabá; c) São Félix do Xingu e c) Tucuruí (PA).

Marabá (PA) exibiu quatorze anos (44%) com desvios positivos e dezoito anos (56%) com desvios negativos, variando entre -2,51 e 2,87. Na análise feita para as anomalias positivas, 38% dos anos foram classificados como de intensidade muito úmido e 6% como úmido, com destaque para o ano de 1988, tido como o mais chuvoso. Já para as anomalias negativas, 47% dos anos foram classificados como seco e 9% como muito seco, sendo os anos de 1992, 1996, 2006 e 2016 os mais secos, assim, classificando-o na faixa de intensidade como seco.

Consequente, o município de São Félix do Xingu (PA) expôs dezoito anos (56%) com desvios positivos e quatorze anos (44%) com desvios negativos, variando entre -3,24 e 2,34 (Figura 7). Quanto às anomalias positivas, 47% dos anos foram classificados como de intensidade muito úmido e 9% como úmido, com realce para os anos de 1994 e 2009, tidos como os mais chuvosos. Por outro lado, 35% dos anos foram classificados como seco e 9% como muito seco, com notoriedade para os anos de 2010 e 2016, tidos como os mais secos na série temporal. Assim, o município foi rotulado na faixa de intensidade como seco. Por fim,

Tucuruí (PA) desvelou quatorze anos (44%) com desvios positivos e dezessete anos (56%) com desvios negativos, variando entre -2,14 e 2,50. Dentre as anomalias positivas, 31% dos anos foram abalizados como de intensidade muito úmido e 13% como úmido, tidos os anos de 1999 e 2001 como os mais chuvosos. Já pelos anos com anomalias negativas, 53% foram apontados como seco e 3% como muito seco, com notoriedade para os anos entre 1990 a 1992, vistos como os mais secos. No município, predominou-se a faixa de intensidade como seco.

Costa e Silva (2017), pesquisando sobre a variação da precipitação pluviométrica do estado do Ceará, utilizando como ferramenta o IAC, concluíram que, dentre os municípios analisados, Natal foi o mais chuvoso, com o IAC variando entre -4,47 e 6,78. Cruzeta apresentou 29 anos com desvios negativos e 25 anos com desvios positivos. Mossoró foi a única cidade a apresentar 2 anos extremamente secos e teve o IAC variando entre -4,12 e 6,78. Para Rosa et al. (2017), a utilização do IAC garante resultados mais precisos referentes ao grau de variação da chuva em torno da normal climatológica.

**Conectividade dos ODS com foco em populações expostas a períodos susceptíveis de chuvas**

Na revisão feita para este estudo, das treze metas propostas nos objetivos 06 e 13, oito são relacionadas com a susceptibilidade hídrica e saúde, em maior ou menor intensidade, e algumas

se alistam com a questão de água. Dito isso, apontam-se algumas destas relações, levando em consideração dados que comparam as desigualdades sociais, econômicas e ambientais entre a mesorregião Sudeste paraense com os demais municípios do estado e do país, conforme detalhado na Tabela 4.

Tabela 4 - Indicadores sociais, econômicos e ambientais e de saúde por municípios da mesorregião Sudeste paraense (39), do estado do Pará (104) e municípios do resto do Brasil (5.526), e diferença entre a mediana (M), quartil 1 (Q1) e quartil 3 (Q3), nos anos de 1991, 2000 e 2010.

Indicador	Ano	Municípios da região Sudeste paraense (n = 39)			Estado do Pará (sem os municípios da região Sudeste n = 104)			Outros municípios do Brasil (sem o Sudeste paraense, n = 5526)			Diferença simples entre os municípios do Sudeste paraense e os outros municípios do Brasil		
		Q1	M	Q3	Q1	M	Q3	Q1	M	Q3	Q1	M	Q3
<b>Dimensão: Saúde (S)</b>													
<b>TMI</b>													
	1991	51,6	55,6	61,5	48,6	53,4	63,0	28,8	39,2	65,7	22,8	16,5	-4,1
	2000	30,1	34,2	38,3	33,3	36,0	40,6	20,5	28,5	44,0	9,6	5,7	-5,7
	2010	19,3	21,2	25,2	21,1	23,4	25,6	13,8	16,9	23,8	5,5	4,3	1,4
<b>TMIn</b>													
	1991	63,4	68,3	75,4	58,9	65,6	77,1	33,9	47,6	84,5	29,5	20,6	-9,1
	2000	32,4	36,9	41,2	35,9	38,8	43,7	23,7	32,3	55,4	8,7	4,5	-14,2
	2010	20,7	22,9	27,1	22,7	25,2	27,5	16,0	19,4	25,8	4,7	3,5	1,2
<b>Dimensão: Desenvolvimento Sustentável (DS)</b>													
<b>Esperança de vida</b>													
	1991	61,1	62,4	63,4	60,7	62,9	64,1	60,2	64,5	67,6	0,8	-2,1	-4,1
	2000	66,8	68,0	69,3	66,1	67,4	68,2	65,3	69,1	71,5	1,5	-1,1	-2,3
	2010	70,6	72,1	72,9	70,4	71,2	72,1	71,2	73,5	75,2	-0,6	-1,4	-2,3
<b>Pobreza</b>													
	1991	75,6	79,8	89,3	84,7	88,8	91,3	66,7	81,6	91,9	8,8	-1,8	-2,5
	2000	65,1	71,4	78,2	76,7	84,2	87,7	47,4	65,5	83,0	17,7	5,9	-4,8
	2010	50,0	59,6	65,2	65,0	73,2	78,1	23,8	42,0	65,3	26,2	17,6	-0,1
<b>Analfabetismo</b>													
	1991	34,0	38,1	45,9	24,8	31,5	43,1	17,0	26,2	45,9	17,0	11,9	0,0
	2000	20,9	25,5	28,5	16,2	23,1	30,0	11,6	17,9	32,2	9,3	7,6	-3,6
	2010	12,7	18,3	21,2	11,4	15,7	21,3	8,1	13,1	24,4	4,7	5,2	-3,2
<b>Acesso à água</b>													
	1991	9,2	16,5	23,4	8,9	15,7	28,4	23,2	58,0	83,6	-14,0	-41,5	-60,2
	2000	13,7	22,5	35,7	15,6	24,8	35,7	42,1	76,8	93,5	-28,4	-54,3	-57,8
	2010	85,5	89,0	91,5	70,7	80,4	88,9	79,6	90,3	96,3	5,9	-1,3	-4,8
<b>Energia elétrica</b>													
	1991	26,2	40,2	65,7	25,1	40,3	58,5	50,4	76,0	93,4	-24,2	-35,8	-27,7
	2000	53,3	65,8	84,5	44,5	59,9	79,4	80,5	94,5	98,9	-27,2	-28,7	-14,4
	2010	88,2	93,0	97,4	77,5	89,1	96,3	97,7	99,4	99,9	-9,5	-6,4	-2,5
<b>IDHM</b>													
	1991	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,0	-0,1	-0,1
	2000	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,0	-0,1	-0,1
	2010	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,0	-0,1	-0,1

Indicadores: TMI: Taxa de Mortalidade Infantil por mil nascidos vivos; TMIn: Taxa de Mortalidade na Infância por mil nascidos vivos; Esperança de vida ao nascer; Proporção da população em condição de pobreza (%); Proporção da população analfabeta (%); Proporção da população com acesso à água encanada (%); Proporção da população que vive em domicílios com energia elétrica (%); IDHM: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal. Fonte: IBGE (2014b), baseado em dados disponíveis nos relatórios do PNUD (2013).

De fato, os indicadores escolhidos concebem algumas das metas constituídas dentro dos ODS trazidos. Com isso, para cada um dos indicadores, expõe-se uma conferição entre eles, ilustrada pela diferença entre os quartis 1 e 3 e as medianas.

À vista disso, observa-se uma importante queda de mais de 60% da mediana da TMI<sub>n</sub> no Sudeste paraense, de 68,3 a 22,9 por mil nascidos vivos, equiparando-se aos registrados para o resto do estado do Pará e do país. Nesse caso, tanto os indicadores de TMI como o da esperança de vida ao nascer também obtiveram resultados expressivos. Para a TMI, houve uma queda de mais de 50% no Sudeste paraense entre 1991 a 2010, passando de 55,6 a 21,2 por mil nascidos vivos e, para a esperança de vida ao nascer, foi registrado um aumento expressivo de 15% para a mesma mesorregião (62,4 a 72,1), de 13% para o estado do Pará (62,9 a 71,2) e 14% para o resto do país (64,5 a 73,5), revelando as expectativas de vida desse grupo social se mantidas as mesmas condições desde o nascer.

Indicadores como a pobreza e o analfabetismo também expuseram resultados importantes. A proporção da população em condição de pobreza no Sudeste paraense foi de 79,8 em 1991 a 59,6 em 2010, com redução de 25%. Entretanto, esse resultado enfatiza que mais de 50% da população que reside nessa mesorregião ainda vive abaixo da linha da pobreza. Em comparação ao resto do estado, a redução foi de 17% (88,8 a 73,2) e no país (81,6 a 42,0), de 48%, expondo que, entre as décadas de 1991 a 2010, quase a metade da população brasileira conseguiu sair da linha da pobreza e está vivendo em condições ditas como “humanas”. Na mesma linha de raciocínio, o analfabetismo no Sudeste paraense também caiu, passando de 38,1 em 1991 a 18,3 em 2010, uma redução de 50%, e em comparação ao resto do estado e do país obteve-se o mesmo percentual de redução. O acesso à água encanada e à energia elétrica também se tornaram indicadores indispensáveis para a assimilação entre seca e saúde. Em razão disso, percebeu-se aumento da população do Sudeste paraense com acesso à água encanada, saindo de 16,5 em 1991 para 89,0 em 2010.

Houve aumento relevante em comparação ao resto do estado, de 15,7 a 80,4, e do país, de 58,0 a 90,3, nesse último caso, um crescimento de 55% entre as décadas. Já em relação ao acesso à energia elétrica, os registros revelaram evolução em todos os cenários avaliados. Para a mesorregião Sudeste, o aumento da mediana foi de 40,2 a 93,0, aproximando-se do resto do estado. Contudo, para o resto do país, o aumento da mediana foi 6%, indo

de 93,4 em 1991 a 99,9 em 2010, comprovando aumento significativo na proporção da população que tem acesso à eletricidade em seus domicílios. Por fim, quanto ao IDM<sub>H</sub>, que é uma medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano, longevidade, educação e renda, mostrou ser semelhante para os cenários. Em 2010, a mediana para o Sudeste paraense e o resto do estado era de 0,6, ou seja, 60% dos municípios tinham um IDHM igual ou inferior a esse valor, o que se traduz como “baixo” ou “muito baixo”. Este progresso é um contraste importante ao ser conferido com o ano de 1991, quando 50% dos municípios exibiram um IDHM igual ou inferior a 0,3 (muito baixo). Os outros municípios do Brasil apresentaram níveis melhores em 2010 (IDHM de 0,7 ou inferior, ou seja, municípios considerados médio, baixo e muito baixo), com uma evolução importante quando comparado com o ano 1991 (0,5 considerado baixo).

Por isso, ODS como 06 (*Garantir a disponibilidade de água e sua gestão de forma sustentável e saneamento para todos*) e 13 (*Adotar ações urgentes para combater a mudança climática e seus impactos*) são tidos como emergentes para o cenário mundial. Djonú et al. (2018) citam que, no caso do Brasil, os indicadores que versam sobre o acesso à água encanada e à energia elétrica em domicílios brasileiros foi destaque durante as três décadas, mostrando evolução da proporcionalidade da população, por meio dos programas de universalização como o “Água e o Luz para Todos”. Costa (2013) cita que, por meio do Plano Brasil sem Miséria, o governo federal assumiu o compromisso de superar a extrema pobreza no Brasil até 2014.

Desde o primeiro momento, ainda na formulação do Plano “Água para Todos”, estava clara a determinação do governo de promover o acesso universal à água na zona rural, com foco principal nas regiões Norte e Nordeste do país. Para Freitas e Oliveira (2017), o programa “Luz para Todos”, que procurava promover a inclusão social das famílias rurais de baixa renda por meio do fornecimento dos serviços de distribuição de energia, atingiu sua meta em maio de 2009, o que representou tirar da escuridão cerca de 10 milhões de pessoas que vivem em áreas rurais, principalmente, em assentamentos rurais, reservas extrativistas, terras indígenas, territórios quilombolas e áreas com forte presença de agricultores familiares.

Pela primeira vez, milhões de brasileiros em situação de extrema pobreza, foram assistidos por meio do plano “Brasil Sem Miséria”, ampliando a universalização do acesso a esses recursos básicos para a sobrevivência.

## Conclusão

A relação entre a variabilidade das chuvas com os indicadores sociais, econômicos, ambientais e de saúde se revelou, em especial com a TMI e o acesso à água encanada, pois houve evolução nos registros entre as décadas, o que corrobora com as ações de planejamento e governança política na mesorregião, com o início de programa sociais e investimentos em equipamentos e sistemas modernos de monitoramento ambiental, que resultou em uma queda no desmatamento na Amazônia Legal entre os anos de 2005 a 2010.

No geral, a dinâmica hídrica na mesorregião se mostrou estável, porém, com alternâncias em anos em que se teve a presença de episódios de eventos climáticos como El Niño e La Niña de moderada a forte intensidade. Essa variabilidade ficou visível principalmente nas Regiões de Integração do Lago do Tucuruí e da Rio Capim, que estão situadas geograficamente mais ao Norte do Pará, cortadas por importantes rios e afluentes da Bacia do Xingu e do Tocantins, tidas atualmente na literatura como parte da nova fronteira agrícola para o desenvolvimento econômico.

Embora os indicadores mostrem grandes avanços tanto nos municípios do Sudeste paraense como nos demais do Brasil entre os anos de 1991 e 2010, ainda se fazem necessários esforços, investimentos e priorização de intervenções que possam permitir a redução de iniquidades sociais e de saúde. Apesar disso, a universalização do serviço de abastecimento de água não é uma realidade para todos e esse direito humano constitucional pode estar se distanciando das populações em virtude dos avanços no desmatamento e dos efeitos das mudanças no ambiente, que representam um forte fator de pressão para a desertificação na região.

Portanto, para minimizar os impactos dessa situação, é importante aumentar a capacidade de resiliência e adaptação das comunidades e instituições e promover uma análise bem detalhada dos determinantes que implicam sobre a saúde e que têm relação com os ODS, servindo como subsídio para a priorização de ações, bem como para a formulação de políticas públicas para um melhor desenvolvimento sustentável nessa região amazônica.

## Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro via Bolsa de

Pesquisa – Novo Programa de Formação Doutoral Docente – Portaria nº 140, de 02 de outubro de 2013. À UFRA, pelo apoio de infraestrutura, à UNEMAT, pela disponibilidade no acesso interno do periódico da CAPES e ao INPE, INMET e PNUD, pela utilização de seus dados e informações.

## Referências

- Alves, J. O, Caldas Pereira, P., de Queiroz, M. G., da Silva, T. G. F., Silva Ferreira, J. M., Júnior, G. D. N. A. (2016). Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco. *Pensar Acadêmico*, 14(1), 37-47. Doi: <https://doi.org/10.21576/rpa.2016v14i1.4>
- Amanajás, J. C., Braga, C. C. (2012). Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(4), 423-434. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000400006>
- Araújo, J. A., Monção, A. F., Vieira, R. K. R. (2017). Avaliação bioclimática para frangos de corte na época das chuvas na região sudeste do estado do Pará. *Revista Agroecossistemas*, 9(1), 180-188. Doi: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v9i1.4772>
- Ávila, P. L. R. (2014b). Análise da precipitação sazonal simulada utilizando o regcm4 sobre o Estado do Pará em anos de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 14(1). Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v14i1.36127>
- Bier, A. A., Ferraz, S. E. T. (2017). Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(2), 215-226. Doi: <https://doi.org/10.1590/0102-77863220008>
- Broman, G. I., Robèrt, K. H. (2017). A framework for strategic sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 140, 17-31.
- Costa, A. B. (2013). *Tecnologia Social e Políticas Públicas*. São Paulo: Instituto Pólis, Brasília-DF, Fundação Banco do Brasil. Disponível em: <https://polis.org.br/publicacoes/tecnologia-social-e-politicas-publicas/> Acesso em: 08 nov. 2019.
- Costa, C. E. A. D. S., Blanco, C. J. C. (2018). Influência da variabilidade climática sobre a erosividade em Belém (PA). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(3), 509-520. Doi: <https://doi.org/10.1590/0102-7786333010>
- Costa, J. A., Silva, D. D. (2017). Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará. *Revista*



- Brasileira de Geografia Física, 10(4), 1002-1013. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1002-1013>
- Dallacort, R., Martins, J. A., Inoue, M. H., Freitas, P. S. L. D., Coletti, A. J. (2011). Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de MT, Brasil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33(2), 193-200. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.5838>
- Djonú, P., Rabelo, L. S., Lima, P. V. P. S., Souto, M. V. S., Sabadia, J. A. B. (2018). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e condições de saúde em áreas de risco. *Revista Ambiente & Sociedade*, 21. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0091r1vu1813td>
- FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. (2017). Boletim Informativo de Pesquisas do Estado do Pará. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/> Acesso: 06 set. 2019.
- Fonseca-Morello, T., Ramos, R., Steil, L., Parry, L., Barlow, J., Markusson, N., Ferreira, A. (2017). Queimadas e incêndios florestais na Amazônia brasileira: porque as políticas públicas têm efeito-limitado. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, 20(4), 19-40. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0232r1v2042017>
- Fonseca, A., Justino, M., Cardoso, D., Ribeiro, J., Salomão, R., Souza, C., Veríssimo, A. (2019). Boletim do desmatamento da Amazônia Legal (junho-2019). *SAD* (p. 1). Belém-PA: Imazon.
- Franco, V., De Souza, E. B., Da Costa, C. P. W., Batista, D., Azevedo, F. T. M. (2019). Prognóstico sazonal da precipitação pluviométrica para o verão e outono austral da Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(01), 057-070. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p057-070>
- Freitas, G. F., Oliveira, M. L. R. (2017). Uma análise do programa luz para todos do Governo Federal. *Revista de Extensão e Estudos Rurais*, 6(2), 143-155.
- Gonçalves, W. A., Machado, L. A. T., Kirstetter, P. E. (2015). Influence of biomass aerosol on precipitation over the Central Amazon: an observational study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(12), 6789. Doi: <https://doi.org/10.5194/acp-15-6789-2015>
- Governo do Estado do Pará. (2003). Decreto Estadual n. 1.066, de 19 de junho de 2008. Dispõe sobre a regionalização do Estado do Pará. Disponível em: <http://www.prpa.mpf.mp.br/setorial/biblioteca/legislacao/decreto-estadual-n-1-066-de-19-de-junho-de-2008> Acesso: 05 nov. 2019.
- Hoffmann, E. L., Dallacort, R., Carvalho, M. A. C., Yamashita, O. M., Barbieri, J. D. (2018). Variabilidade das chuvas no Sudeste da Amazônia paraense, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(4), 1251-1263. Doi: [10.26848/rbgf.v11.4.p1251-1263](https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1251-1263)
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Estatística Populacional Censo (1991-2000-2010). Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=to> Acesso: 01 set. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014b). Estimativas populacionais para os municípios brasileiros, em Primeiro de julho de 2014. Rio de Janeiro-RJ.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. (2018). Dados meteorológicos – Rede Clima. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso: 05 nov. 2019.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. (2019). Bases de dados públicos do INPE e monitoramento do El Niño e La Niña (2017-2018). Ano referência: 2019. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/> Acesso: 10 set. 2019.
- IPPC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o quinto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, v. 151. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5\\_wg2\\_spmport-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg2_spmport-1.pdf) Acesso: 02 set. 2019.
- Jesus, L. D. G., da Silva Santos, M. R., Rocha, N. C. V., Mota, M. A. S. (2018). Water balance and climatic classification of Monte Alegre, Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(02), 643-651. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p643-651>
- Júnior, R. O., Queiroz, J. C. B., Ferreira, D. B. S., Tavares, A., Souza-Filho, P. W. M., Guimarães, J., Rocha, E. (2017). Estimativa de precipitação e vazões médias para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(5), 1638-1654. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v.10.5.p1638-1654>
- Nóbrega, R., Santiago, C. F., Ayane, G. (2016). Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande*, (63), 9-26. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000100002>
- Obermaier, M., Rosa, L. P. (2015). Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise

- crítica. Estudos Avançados, 27(78), 155-176. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662015000300008>
- OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. Ministério da Saúde. (2015). Secretaria de Vigilância em Saúde. Atlas de Desenvolvimento Sustentável e Saúde no Brasil: uma análise através de indicadores – 1991/2010. Brasília - DF. Disponível em: [https://www.paho.org/bra/images/stories/Atlas/opas\\_atlas\\_inicio.pdf?ua=1](https://www.paho.org/bra/images/stories/Atlas/opas_atlas_inicio.pdf?ua=1) Acesso: 01 ago. 2019.
- PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. (2013). Atlas do desenvolvimento humano no Brasil. Disponível em: <http://atlasbrasil.org/2013/consulta> Acesso: 15 set. 2019.
- Rocha, V. M., Correia, F. W. S., Gomes, W. B. (2019). Avaliação dos Impactos da Mudança do Clima na Precipitação da Amazônia Utilizando o Modelo RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES. Revista Brasileira de Geografia Física, 12(06), 2051-2065. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2051-2065>
- Rosa, A. G., Dos Santos, J. T. S., Da Costa, J. A., Fonseca, D. D. F., Sousa, A. M. L. (2017). Comportamento da precipitação como fator ativo de processos erosivos no município de Rondon do Pará, PA (Brasil). Scientia Plena, 13(2). Doi: <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2017.025301>
- Sanches, F., Fisch, G. (2005). As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí-PA. Acta Amazonica, 35(1), 41-50. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000100007>
- Sanches, F. O., May, G. C., Da Silva, R. V., Ferreira, R. V. (2016). Chuvas no norte gaúcho: um estudo sobre a tendência das chuvas e mudanças climáticas. Revista Brasileira de Climatologia, 18. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v18i0.45287>
- Sans, L. M. A., Assad, E. D., Guimarães, D. P., Avellar, G. (2001). Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE).
- Santos, C. A. C., Melo, M. M. M. S., Brito, J. I. B. (2016). Tendências de Índices de Extremos Climáticos para o Estado do Amazonas e suas Relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. Revista Brasileira de Meteorologia, 31(1), 1-10. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130001>
- Santos, E. C. A., Araújo, L. E., Marcelino, A. S. (2015). Análise climática da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19(1), 9-14. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p9-14>
- Santos, J. S., da Rocha, E. J. P., de Souza Junior, J. A., dos Santos, J. S., Santos, F. A. A. (2019). Climatologia da Amazônia Oriental: Uso de prognósticos climáticos como ferramenta de prevenção de ameaças naturais. Revista Brasileira de Geografia Física, 12(05), 1853-1871. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p1853-1871>
- Sena, A., Freitas, C. M. D., Barcellos, C., Ramalho, W., Corvalan, C. (2016). Medindo o invisível: análise dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em populações expostas à seca. Ciência & Saúde Coletiva, 21, 671-684. Doi: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.21642015>
- Silva, A. R., Santos, T. S., De Queiroz, D. É., Gusmão, M. O., Silva, T. G. F. (2017). Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. Journal of environmental analysis and progress, 2(4), 377-384. Doi: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384>
- Souza, E. B.; Kayano, M. T.; Tota, J.; Pezzi, L. P.; Fisch, G.; Nobre, C. A. (2012). On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole Paterni on the Amazonian Rainfall during 1960-1998. Acta Amazonica, 30(2), 305-318. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-43922000302318>
- Souza, E. B., da Silva Ferreira, D. B., Guimarães, J. T. F., dos Santos Franco, V., de Azevedo, F. T. M., Moraes, B. C. (2017). Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. Revista Brasileira de Climatologia, 21. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.41232>
- Tucci, C. E. M. (2009) Hidrologia: ciência de aplicação. 4.ed., 1ª reimp. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.
- UNSDSN. United Nations Sustainable Development Solutions Network. (2017). Índice e Painel Preliminar dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Disponível em: <http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2016/02/160308--%C3%8Dndice-e-Painel-Preliminar-dos-ODS-pt.pdf> Acesso: 02 ago. 2019.