



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS
E DESASTRES NATURAIS NA AMAZÔNIA**

CLEVELAND FERREIRA FERNANDES

**DINÂMICA DA SECA NO PERÍMETRO URBANO
DE ALTAMIRA-PA: EVOLUÇÃO DAS ÚLTIMAS QUATRO DÉCADAS**

**BELÉM - PARÁ
2023**

CLEVELAND FERREIRA FERNANDES

**DINÂMICA DA SECA NO PERÍMETRO URBANO
DE ALTAMIRA-PA: EVOLUÇÃO DAS ÚLTIMAS QUATRO DÉCADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia

Área de concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia

Linha de pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico

Orientador: Prof.º Dr. Bergson Cavalcanti de Moraes

Belém - Pará
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F363d Fernandes, Cleveland Ferreira.

 Dinâmica da seca no perímetro urbano de Altamira-PA:
 evolução das últimas quatro décadas / Cleveland Ferreira
 Fernandes. — 2023.
 77 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Bergson Cavalcanti de Moraes
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão
 de Risco e Desastre na Amazônia, Belém, 2023.

 1. Seca. 2. SPEI. 3. Uso e ocupação da terra. 4. Altamira-
 PA. I. Título.

CDD 551.5773

CLEVELAND FERREIRA FERNANDES

DINÂMICA DA SECA NO PERÍMETRO URBANO
DE ALTAMIRA-PA: EVOLUÇÃO DAS ÚLTIMAS QUATRO DÉCADAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia

Linha de pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico

Data de aprovação: 01 / 12 / 2023

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **BERGSON CAVALCANTI DE MORAES**
Data: 24/01/2024 11:41:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bergson Cavalcanti de Moraes - Orientador

Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente
 **GIORDANI RAFAEL CONCEICAO SODRE**
Data: 24/01/2024 13:10:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Giordani Rafael Conceição Sodré – Membro Interno

Universidade Federal do Pará

 **JOAO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR**
Data: 25/01/2024 17:38:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. João de Athaydes Silva Júnior – Membro Interno

Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente
 **JOAO BATISTA MIRANDA RIBEIRO**
Data: 25/01/2024 19:42:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. João Batista Miranda Ribeiro – Membro Externo

Universidade Federal do Pará

Para Bárbara e Laura
que fazem de mim uma
pessoa melhor a cada dia.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia (PPGGRD) pela oportunidade em reingressar no mundo da ciência e educação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bergson Cavalcanti de Moraes pela sua visão singular de aplicação de pesquisas no meio profissional, direcionamento estratégico e confiança neste trabalho.

Aos professores, coordenador Prof. Dr. João de Athaydes Silva Junior e secretário Cláudio da Silva pela condução do PPGGRD, ensinamentos e apoio.

Aos colegas de turma pelas ricas discussões e momentos de aprendizagem e parcerias.

À Bárbara por todo carinho e infindáveis momentos de compreensão, incentivo e dedicação ao me auxiliar pelos caminhos da educação.

À Laura pela pureza em entender os momentos de estudo e me fortalecer a seguir adiante.

Muito obrigado!

"A proteção do ambiente, a salvaguarda dos recursos e do clima obriga todos os líderes a agirem juntos, no respeito pelo direito e promovendo a solidariedade com as regiões mais necessitadas do mundo"

Papa Bento XVI

RESUMO

A seca vem se tornando um desastre natural cada vez mais frequente e de maiores proporções na região amazônica, provocando inúmeros impactos ambientais e socioeconômicos. Estudos indicam que essas alterações estão relacionadas às mudanças do uso e cobertura da terra que causam a degradação do solo, geralmente associado às práticas com utilização de fogo para preparo de terrenos na agricultura familiar, que muitas das vezes se tornam incêndios florestais. O desmatamento também agrava a seca, que aumenta a incidência e favorece as condições de incêndios florestais, que por sua vez causam mais mudanças na cobertura da terra. Esse estudo tem como objetivo avaliar os padrões de seca no perímetro urbano de Altamira-PA, no período de 1983 a 2022, a partir das alterações de uso e cobertura da terra e do comportamento das variáveis climatológicas (precipitação e temperatura do ar) e das cotas do rio Xingu. As séries de precipitação, temperatura do ar e cotas do rio Xingu, com um recorte temporal de 40 anos (1983 - 2022), foram obtidos respectivamente dos dados de reanálise do ERA5 e da estação fluviométrica da Agência Nacional de Águas. Enquanto os dados de uso e cobertura da terra foram coletados do projeto MapBiomas para os anos de 1986, 1993, 2003, 2013 e 2022. Os resultados indicam alterações significativas no uso e cobertura da terra com a redução de 27,2% (17,3km²) da classe de floresta, e aumento de 238,5% (18,6km²) de área não vegetada, que ocorreu de forma contínua e gradual. Enquanto que os eventos de seca aumentaram em todas as categorias num total de 44%, divididos da seguinte forma: seca fraca (28%), moderada (138%), severa (36%) e seca extrema (33%). A variabilidade anual de precipitação confirma a existência de um período menos chuvoso, entre junho e novembro, com precipitações entre 43mm e 62mm. E um período chuvoso, entre dezembro e maio com precipitações entre 275mm e 328mm. A variabilidade de cotas do rio Xingu acompanha estes períodos, variando entre mínimas de 290cm a 330cm e máximas entre 611cm e 702cm. As maiores temperaturas do ar, entre 31,6°C e 32,3°C, ocorrem no período menos chuvoso, e as menores temperaturas, em torno de 22,8°C, ocorrem no período chuvoso. Enquanto a precipitação média anual no período chuvoso possui um comportamento de crescimento acima da média de 256mm ao longo dos anos, no período menos chuvoso, o comportamento é de redução abaixo da média de 71,5mm ao longo das quatro décadas. No mesmo período a temperatura do ar apresentou um aumento das temperaturas mínimas em 0,3°C, médias em 0,6°C e máximas em 0,5°C. Conclui-se que a alteração do uso e cobertura da terra com destaque para o desmatamento e incêndio florestal, associados a redução da

precipitação no período menos chuvoso e aumento da temperatura do ar, demonstram influência na ocorrência de seca e no aumento do número de eventos, em especial de magnitudes moderada e severa, no período de estudo.

Palavras-chave: seca; SPEI; uso e ocupação da terra; Altamira-PA.

ABSTRACT

Drought has been becoming an increasingly frequent and major natural disaster in the Amazon region, causing numerous environmental and socioeconomic impacts. Studies indicate that these changes are related to changes in land use and cover that cause soil degradation, generally associated with practices using fire to prepare land in family farming, which often become forest fires. Deforestation also makes the drought worse, which increases the incidence and favors conditions for forest fires, which in turn cause further changes in land cover. This study aims to evaluate drought patterns in the urban perimeter of Altamira-PA, from 1983 to 2022, based on changes in land use and cover and on the behavior of climatological variables (precipitation and air temperature) and elevations of the Xingu river. The series of precipitation, air temperature and elevations of the Xingu river, with a time frame of 40 years (1983 - 2022), were obtained respectively from ERA5 reanalysis data and the National Water Agency's fluviometric station. The land use and cover data were collected from the MapBiomas project for the years 1986, 1993, 2003, 2013 and 2022. The results indicate significant changes in land use and cover with a reduction of 27.2% (17.3km²) of the forest class, and an increase of 238.5% (18.6km²) of non-vegetated area, which occurred continuously and gradually. The drought events increased in all categories by a total of 44%, divided as follows: weak drought (28%), moderate (138%), severe (36%) and extreme drought (33%). The annual variability of precipitation confirms the existence of a less rainy period, between June and November, with precipitation between 43mm and 62mm. And a rainy period, between December and May with rainfall between 275mm and 328mm. The variability of elevations of the Xingu river follows these periods, varying between minimums of 290cm to 330cm and maximums between 611cm and 702cm. The highest air temperatures, between 31.6°C and 32.3°C, occur in the less rainy season, and the lowest temperatures, around 22.8°C, occur in the rainy season. The average annual precipitation in the rainy season shows an increase above the average of 256mm over the years, while in the less rainy period, the behavior is a reduction below the average of 71.5mm over the four decades. In the same period, the air temperature showed an increase in minimum temperatures by 0.3°C, average temperatures by 0.6°C and maximum temperatures by 0.5°C. This study concludes that the change in land use and cover, with emphasis on deforestation and forest fires, associated with reduced precipitation in the less rainy period and increased air temperature, demonstrate an

influence on the occurrence of drought and the increase in the number of events, especially of moderate and severe magnitudes, during the study period.

Keywords: drought; SPEI; land use and cover; Altamira-PA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Expressão matemática para risco de desastres.....	18
Figura 2- Ilustração para risco de desastres.....	18
Quadro 1- Classificação dos desastres naturais segundo o Cobrade.....	19
Figura 3- Desastres naturais e perdas no mundo (1980 - 2022).....	20
Figura 4- Maiores mortes e desastres naturais no mundo (2000 - 2019)	21
Figura 5- Maiores registros de desastres naturais no mundo (2000 - 2019)	22
Figura 6- Danos e prejuízos anuais e mensais com desastres naturais (1995 - 2019).....	23
Figura 7- Danos e prejuízos por grupos de desastre e tipologia (1995 - 2019).....	24
Figura 8- Componentes da seca.....	26
Figura 9- Sequência da ocorrência e impactos das secas	28
Figura 10- Variações ao longo do ciclo hidrológico	29
Figura 11- Diagrama do ciclo seca - desmatamento.....	30
Figura 12- Desastres naturais no mundo (1980 - 2022)	31
Figura 13- Danos e prejuízos anuais e mensais com seca e estiagem (1995 - 2019).....	33
Figura 14- Bioma Amazônico no Brasil.....	34
Quadro 2- Monitores de seca no mundo.....	37
Figura 15- Localização da área de estudo: perímetro urbano de Altamira-PA	42
Quadro 3- Classes de uso e cobertura da terra do perímetro urbano de Altamira-PA.....	44
Figura 16- Uso e cobertura da terra do perímetro urbano de Altamira: (a) 1986, (b) 1993, (c) 2003, (d) 2013 e (e) 2022.	50
Figura 17- Alterações de área nas classes de uso e cobertura da terra em Altamira (1986 - 2022).....	51
Figura 18- Diagrama de <i>Sankey</i> do uso e cobertura da terra em Altamira (1986 - 2022).....	53
Figura 19- Índice SPEI-1: variabilidade anual no perímetro urbano de Altamira (1983 - 2022)	54
Figura 20- Eventos de seca SPEI-1. a) variabilidade por década b) nº ocorrência	55
Figura 21- Eventos de seca SPEI-1: variabilidade mensal (1983 - 2022).....	55
Figura 22- Precipitação acumulada por década (1983 - 2022).....	60
Figura 23- Variabilidade anual da precipitação (1983 - 2022).....	60
Figura 24- Variabilidade mensal da precipitação (1983 - 2022).....	61
Figura 25- Precipitação anual nos período chuvoso e menos chuvoso (1983 - 2022)	62

Figura 26- Variabilidade de precipitação diária (1983 - 2022)	63
Figura 27- Temperatura do ar. (a) variabilidade por década, (b) variabilidade mensal	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO.....	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Desastres naturais.....	17
3.2	Seca	25
3.2.1	Seca no mundo.....	30
3.2.2	Seca no Brasil	32
3.2.3	Seca na Amazônia.....	33
3.3	Avaliação e monitoramento de seca	35
3.4	Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração - SPEI.....	38
3.4.1	Vantagens e limitações do SPEI	39
4	MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1	Área de estudo.....	41
4.2	Coleta de dados	42
4.3	Análise dos dados.....	43
4.4	Uso e cobertura da terra	43
4.4.1	Diagrama de <i>Sankey</i>	45
4.5	Índice de seca SPEI	45
4.5.1	Balanço hídrico	46
4.5.2	Caracterização da seca	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1	Alterações do uso e cobertura da terra.....	49
5.2	Eventos de seca SPEI-1	53
5.2.1	Características dos eventos de seca	56
5.2.2	Características da precipitação, cotas do rio Xingu e temperatura do ar.....	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS.....	67
	APÊNDICE A - PRODUTO TÉCNICO.....	76

1 INTRODUÇÃO

O aumento da incidência de eventos climáticos extremos em várias regiões do mundo tem sido causado pelas atividades humanas e mudanças climáticas. E, as consequências geradas pelos diversos tipos de desastres naturais impõem desafios sociais e econômicos que impactam de forma negativa o desenvolvimento das regiões afetadas (Wu *et al.*, 2020; Mukherjee; Mishra, 2020; Ward *et al.*, 2020).

A frequência e a gravidade das secas também têm aumentado trazendo inúmeras consequências para a sociedade (Marengo; Espinoza, 2016; Cunha *et al.*, 2019; Ahmadi; Ahmadalipour; Moradkhani, 2019), como impactos na provisão de água à população e indisponibilidade de alimentos devido à perdas na agricultura e pecuária (Pereira *et al.*, 2021). Nas duas últimas décadas mais de dois bilhões de pessoas foram afetadas, além de produzir efeitos profundos no meio ambiente (CRED, 2020), como a perda de vegetação e favorecimento das condições ambientais para a ocorrência de incêndios florestais (Pereira *et al.*, 2021).

Severo, Silva e Tachini (2018) e Pontes Filho *et al.* (2019) relatam que as plantações destruídas podem, por exemplo, contribuir para agravar a fome, por isso a variabilidade climática tem relevância a ponto de limitar ou acelerar o desenvolvimento da sociedade. Dessa forma, percebe-se como as secas afetam o sistema ecológico, social e econômico de um país (Pereira *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022).

Na região amazônica, as secas alteram as condições locais agravando os efeitos de incêndios florestais (Gomes, *et al.*, 2018; Reis *et al.*, 2021), afetam áreas produtivas com perdas nas lavouras, além de comprometer os reservatórios de água e aumentar a incidência de incêndios. Esse aumento, apontado em estudos recentes, está relacionado às mudanças do uso e cobertura da terra que causam a degradação do solo, geralmente associado às práticas com utilização de fogo para preparo de terrenos na agricultura e limpeza de pastagens (Serrão *et al.*, 2015; Cunha *et al.*, 2019). O desmatamento também agrava a seca, que aumenta a incidência e favorece as condições de incêndios florestais, que por consequência causam mais mudanças na cobertura da terra (Staal *et al.*, 2020).

A estimativa de crescimento de secas consideradas relevantes na Amazônia, sinaliza a necessidade de investimentos em pesquisas que avaliem o seus potenciais impactos sobre a floresta (Reis *et al.*, 2021). Neste contexto, avaliar o comportamento da precipitação auxilia na análise da disponibilidade hídrica, na gestão dos recursos hídricos e auxilia a tomada de

decisão e antecipação de ações e estratégias para reduzir os impactos e promover o desenvolvimento socioeconômico (Severo; Silva; Tachini, 2018; Pontes Filho *et al.*, 2019).

Desde a sua criação em 1911, o município de Altamira-PA passou por transformações de uso e cobertura da terra com desmatamento acelerado, resultado da ocupação desordenada e expansão agrícola, impulsionados por programas de desenvolvimento na Amazônia, como a construção da rodovia Transamazônica (BR-230) e a da usina hidrelétrica de Belo Monte. A sua cadeia produtiva sofreu mudanças, passando de uma região que tinha como base econômica o extrativismo de produtos da floresta, como extração do látex da seringueira, para uma economia baseada em atividades agrícolas, com o uso intensivo de queimadas para fins de limpeza e renovação do solo. Porém esta prática muitas das vezes sem controle, levaram à grandes incêndios florestais e consequente empobrecimento do solo na região (Oliveira, 2017).

Atualmente o município possui como principais atividades econômicas a agricultura, em especial a agricultura familiar, com o cultivo variado de arroz, feijão, milho, mandioca, soja, cana de açúcar, além da castanha-do-pará e pecuária. O cultivo de cacau também é relevante e voltado para atender o mercado externo (Oliveira, 2017; IBGE, 2021a). De acordo com Santos *et al.* (2021), o estado do Pará responde por 55% da produção cacaueteira no país, sendo que a mesorregião do sudoeste paraense concentra os municípios de maior produção, com Altamira ocupando a sexta posição na produção do fruto. A produtividade na região amazônica chega a atingir o dobro da média nacional, devido às condições ideais de calor e umidade.

Diante da importância da seca na região amazônica, como instrumento de suporte à decisão, em especial na agricultura familiar, este estudo propõe avaliar os padrões de seca diante das alterações de uso e cobertura da terra e condições climáticas da região, a fim de se obter uma abordagem específica e detalhada sobre a frequência de secas na região de estudo.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar os padrões de seca no perímetro urbano de Altamira-PA, no período de 1983 a 2022, a partir das alterações de uso e cobertura da terra e do comportamento das variáveis climatológicas (precipitação e temperatura do ar) e das cotas do rio Xingu.

2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar as alterações de uso e cobertura da terra;
- b) Caracterizar os eventos de seca a partir do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI-1);
- c) Analisar a variabilidade de precipitação, temperatura do ar e das cotas do rio Xingu.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Desastres naturais

Desde os primórdios o homem vem modificando o planeta Terra para atender as suas necessidades e melhorar a qualidade de vida. E, muitas vezes essas modificações ambientais tanto em zonas urbanas quanto rurais, desconsideram aspectos históricos, locais e espaciais, como as características do solo, das chuvas e dos rios. O mundo globalizado e cada vez mais urbano e alterado através de intervenções e modificações no espaço, produz com maior intensidade “novos” ambientes expostos a risco de desastres (Catanho *et al.*, 2020).

Os desastres são conceituados como uma grave interrupção do modo de viver de uma comunidade mediante a exposição a um perigo, considerando as suas condições de vulnerabilidade e a capacidade de resposta em lidar com as consequências negativas de um evento, que podem envolver danos pessoais, materiais, sociais, ambientais e econômicos. O efeito do desastre pode ser imediato e localizado, mas, muitas vezes é amplo e pode durar por um longo período de tempo (Sphere, 2019; Undrr, 2021).

De acordo com a Classificação Brasileira de Desastres (Cobrade), o desastre é definido como:

“... o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade que envolva extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, e que exceda a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios” (Brasil, 2012 p.1).

Ward *et al.* (2020) e Carbonari (2021) consideram que risco de desastre é o produto do perigo, exposição e vulnerabilidade, sendo o perigo o próprio fenômeno ou acontecimento com potencial de dano, suas características e probabilidade de ocorrência. A exposição diz respeito à localização, às pessoas e aos bens propensas ao risco. E a vulnerabilidade se trata do quão suscetível as pessoas e bens estão expostas ao risco de sofrer danos e perdas.

No mesmo sentido, a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) define o risco de desastre como a relação entre a potencialidade de ocorrência de um processo físico danoso e os impactos e as consequências para a população atingida. O contexto socioambiental, físico e econômico irá determinar como as pessoas, bens e infraestrutura podem ser atingidos e se recuperar do evento. Assim, o risco pode ser entendido como a interação entre o evento físico danoso (ameaça) e o status de fragilidade das pessoas ou bens (vulnerabilidade) envolvidos no evento (Brasil, 2021).

A seguir as Figuras 1 e 2 ilustram, respectivamente, a expressão matemática e o conceito de risco de desastres.

Figura 1- Expressão matemática para risco de desastres

$$R = P \times C$$

Riscos (de desastres) ←

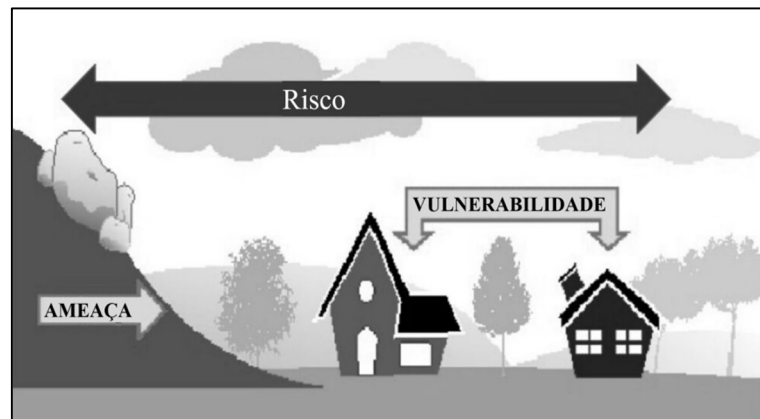
Consequências em perdas e danos sociais ou econômicos →

Potencialidade de ocorrer um acidente ou evento físico que gere consequências ↓

$$R_{\text{isco}} = A_{\text{meaça}} \times V_{\text{ulnerabilidade}}$$

Fonte: Ceped (2020).

Figura 2- Ilustração para risco de desastres



Fonte: Ceped (2014).

Carbonari (2021) enfatiza que minimizar o potencial e intensidade das ameaças na maioria das vezes é considerado difícil, portanto, o gerenciamento de risco de desastres deve concentrar esforços na melhoria de condições e consequentemente na redução da vulnerabilidade aos desastres naturais.

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade) especifica os desastres em naturais e tecnológicos. O foco do presente estudo está no evento natural de seca do grupo climatológico. Os demais grupos de eventos naturais são: geológico, hidrológico, meteorológico e biológico, conforme apresentados no Quadro 1 (Brasil, 2012).

Quadro 1- Classificação dos desastres naturais segundo o Cobrade

Geológico	Hidrológico	Meteorológico	Climatológico	Biológico
1. Terremoto - Tremor de terra - Tsunami 2. Emissão vulcânica 3. Movimento de massa - Quedas, tombamentos e rolamentos - Deslizamentos - Corridas de massa - Subsídências e colapsos 4. Erosão - Erosão costeira/ Marinha - Erosão de margem fluvial - Erosão continental	1. Inundações 2. Enxurradas 3. Alagamentos	1. Sist. de grande escala/ Escala regional - Ciclones - Frentes frias/ Zonas de convergência 2. Tempestades - Tempestade local/Convectiva 3. Temperaturas extremas - Onda de calor - Onda de frio	1. Seca - Estiagem - Seca - Incêndio florestal - Baixa umidade do ar	1. Epidemias - Doenças infecciosas virais - Doenças infecciosas bacterianas - Doenças infecciosas parasíticas - Doenças infecciosas fúngicas 2. Infestações/ Pragas - Infestações de Animais - Infestações de Algas - Outras infestações

Fonte: Adaptado pelo autor de Brasil (2012).

O desastre natural está relacionado a um extremo climático que é a ocorrência de um valor de variável climática acima ou abaixo de um valor limite considerando as extremidades de um intervalo de período. Destaca-se ainda que os eventos climáticos estão associados a uma longa escala de tempo, sendo uma acumulação de eventos extremos relacionados entre si de curto tempo, ou seja, baseado em escalas menores que podem variar entre intervalos de menos de um dia a poucas semanas. Assim, extremos climáticos favorecem a probabilidade de ocorrência de desastres naturais (Ipcc, 2022).

Desta forma, destaca-se que o processo de gerenciamento de risco requer compreender os fenômenos climáticos e seus potenciais extremos, as condições locais da sociedade, o risco e suas motivações, da menor escala até a global, para a tomada de ações estratégias e efetivas de prevenção e redução de risco (Ceped, 2014; Ward *et al.*, 2020; Brasil, 2021).

Para Ceped (2000), os investimentos podem ser tanto em ações de prevenção quanto de resposta aos desastres. A informação sobre o tipo, onde e quando ocorrem possibilitam à

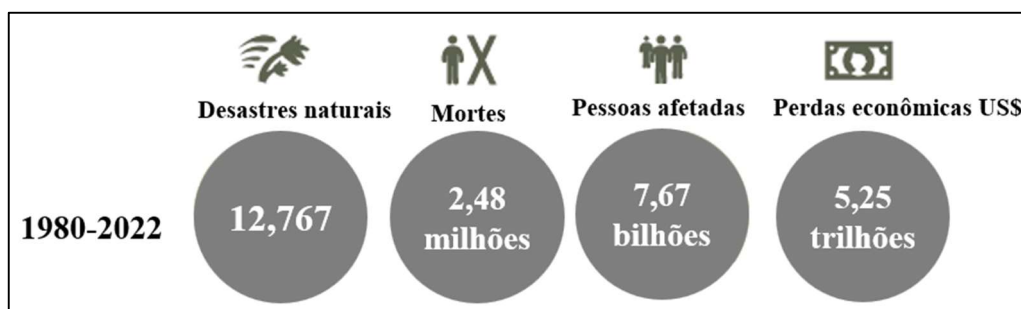
sociedade estabelecer ações para se adaptar, restabelecer, recuperar e reconstruir após a ocorrência de um evento, em condições mais adequada e segura.

Além disso, é essencial que ocorra o compartilhamento de conhecimento apropriado com toda a sociedade, tomadores de decisão e agentes públicos, setor privado e comunidades. Esse processo pode se dar através de mecanismos e estratégias de transferência de informação com base em processos de educação e comunicação, fortalecendo os eixos de redução de riscos de desastres. Assim, pode-se planejar as intervenções e gerenciar o planejamento urbano de forma mais eficaz, em conjunto com políticas públicas e de investimento (Brasil, 2021).

O *Emergency Disasters Data Base* (EM-DAT), do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), mantém uma base de dados global de desastres naturais que atendem ao menos um dos seguintes critérios: ter dez ou mais mortes envolvidas; ter 100 ou mais pessoas afetadas, feridas ou desabrigadas; haver uma declaração sobre o estado de emergência e/ou pedido de ajuda internacional (CRED, 2023).

No período de 1980 a 2022 o banco de dados do EM-DAT registrou 12.767 desastres naturais no mundo, com 2,48 milhões de mortes e 7,67 bilhões de pessoas afetadas, com perdas econômicas da ordem de 5,25 trilhões de dólares (Figura 3). Os maiores eventos foram relacionados a inundação (41,1%), seguido de tempestade (30,2%), terremotos (8,4%) e deslizamentos (5,3%). Estes números não incluem eventos relacionados a desastres biológicos e tecnológicos (CRED, 2020; CRED, 2023).

Figura 3- Desastres naturais e perdas no mundo (1980 - 2022)

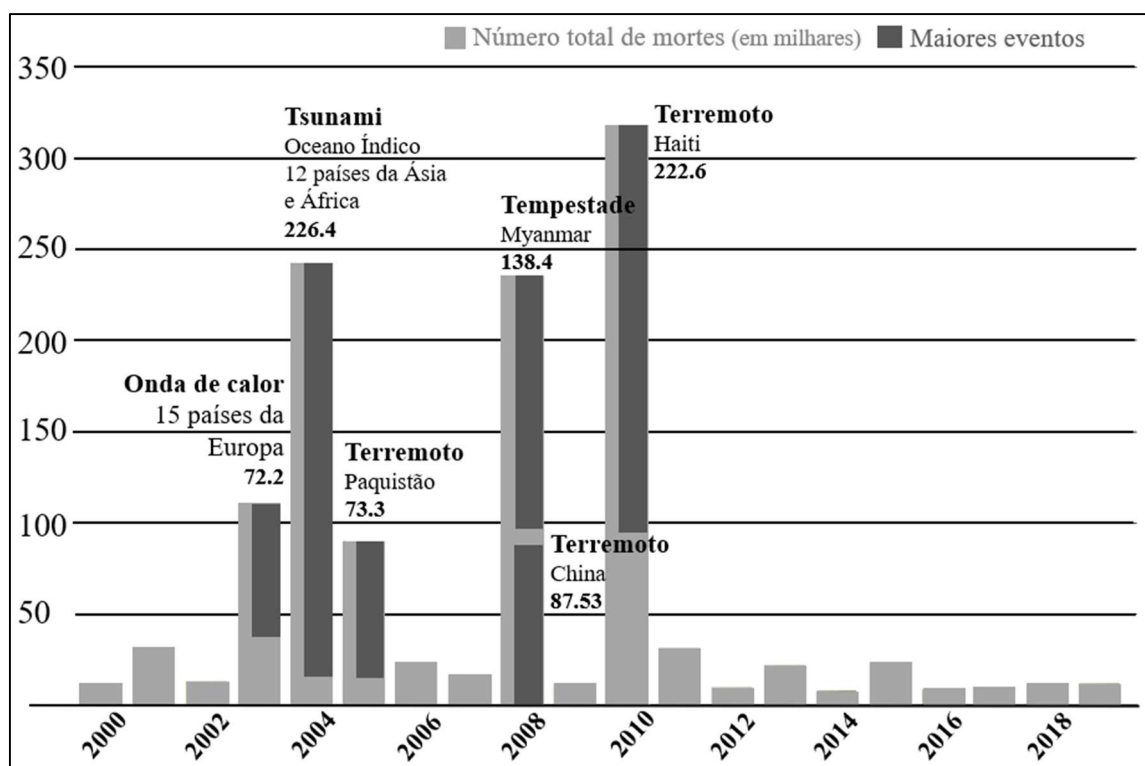


Fonte: Adaptado pelo autor de Cred (2020) e Cred (2023).

Para Catanho *et al.* (2020), observa-se a ocorrência de desastres cada vez mais severos em áreas que se julgavam seguras. Como exemplo, cita-se a explosão da usina nuclear de Fukushima no Japão em 2011, cujas inundações causadas pelo terremoto, seguido de tsunami, afetaram o sistema de refrigeração da usina provocando a explosão.

Segundo (Cred, 2020), grandes desastres causaram a morte de mais de 100 mil pessoas como o terremoto e tsunami no Índico em 2004 (~226 mil mortes), o terremoto no Haiti em 2010 (~222 mil mortes) e o ciclone Nargis em Myanmar em 2008 (~138 mil mortes). Na Índia (ano de 2001), Irã (2003), Paquistão (2005) e China (2008) ocorreram terremotos, em países da Europa (2003) e Rússia (2010) houveram ondas de calor e na Somália (2010) ocorreram secas causando mais de 20 mil mortes. Percebe-se na Figura 4 uma variedade geográfica e a relevância no número de mortes causadas pelos grandes desastres quando comparado com os demais números.

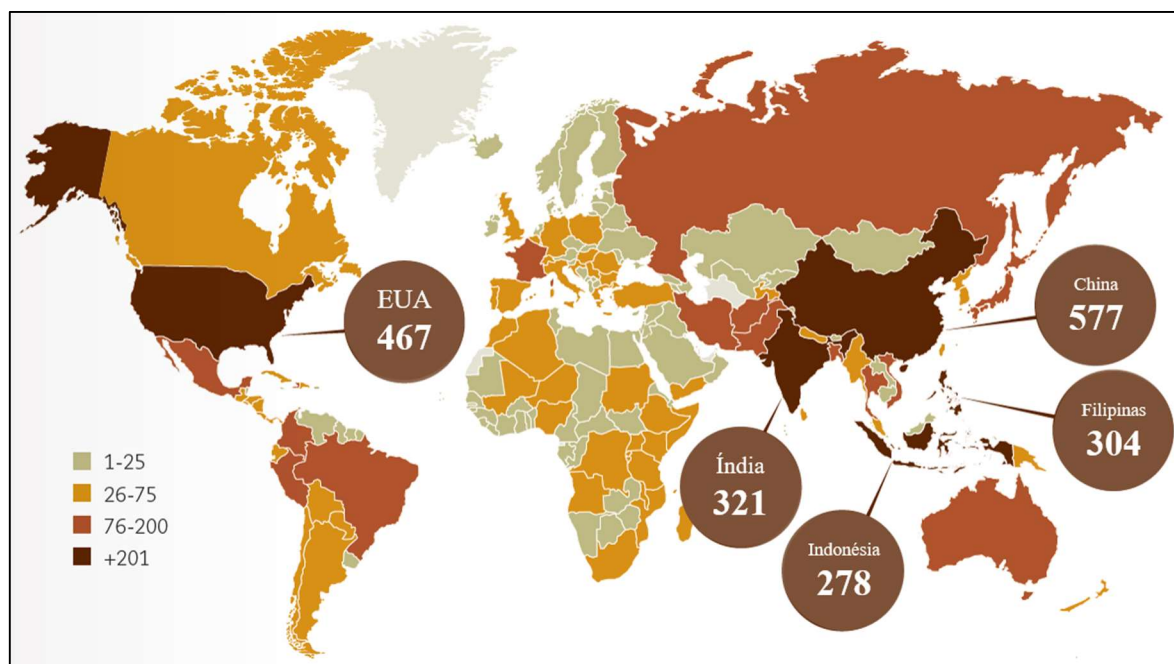
Figura 4- Maiores mortes e desastres naturais no mundo (2000 - 2019)



Fonte: Cred (2020).

Entre os anos 2000 e 2019 a China foi o país com o maior número de desastres reportados (577), seguida pelos Estados Unidos (467), Índia (321), Filipinas (304) e Indonésia (278). Estes países têm em comum uma variedade de características de território, bem como um grande número de pessoas expostas em áreas de risco (CRED, 2020), conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5- Maiores registros de desastres naturais no mundo (2000 - 2019)



Fonte: Cred (2020).

Verifica-se que todos os continentes foram afetados por desastres naturais, com incidência de inúmeros eventos de norte a sul e de leste a oeste, independente de questões políticas, econômicas e culturais.

O Brasil, segundo Catanho *et al.* (2020), por se tratar de um país de grandes dimensões e diversidade climatológica, geomorfológica e cultural, produz uma variedade de formas de ocupação e alteração do meio que a população ocupa nas diferentes regiões. Diante de desastres significativos o país sofre com perdas, especialmente em áreas e regiões que concentram populações mais pobres e vulneráveis.

Em 2012 foi estabelecido o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), tornando-se o sistema oficial utilizado pelos estados e municípios do Brasil no processo de solicitação de recursos para as ações de resposta e reconstrução. O processo se desenvolve mediante o reconhecimento de uma Situação de Emergência (SE) ou de Estado de Calamidade Pública (ECP), quando em decorrência de algum desastre, há uma situação de alteração intensa e grave das condições de normalidade, comprometendo parcialmente ou substancialmente a capacidade de resposta de uma localidade (Brasil, 2021).

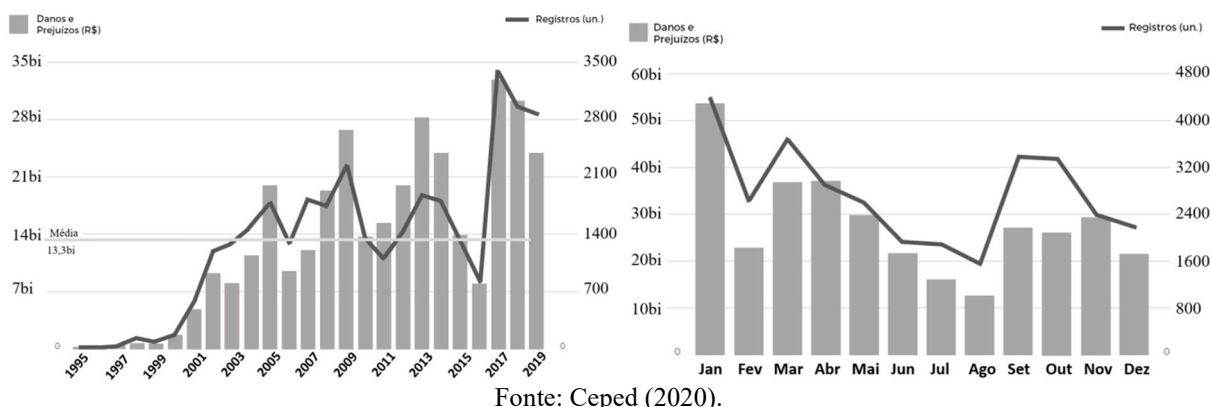
De acordo com Ceped (2020), os dados extraídos do S2ID no recorte temporal de 25 anos, entre 1995 e 2019, mostram que ocorreram 64.429 registros de desastres naturais, dos quais 32.832 contabilizaram danos materiais em imóveis e instalações, e prejuízos públicos e privados de valor econômico, social e patrimonial de bens. No total, ocorreram perdas de

R\$333,36 bilhões, que afetaram 85,4% dos municípios brasileiros, ou seja, 4.755 de um total de 5.570 municípios.

Em média, os danos e prejuízos tiveram um impacto de R\$ 13,33 bilhões anuais, e são divididos em: 1. danos materiais: comercial, comunitário, ensino, habitações, infraestrutura e saúde; 2. prejuízos públicos: abastecimento de água, combustível, energia, ensino, esgoto, limpeza, pragas, saúde (assistência médica e emergências), segurança pública, telecomunicação e transporte; 3. prejuízos privados: agricultura, comércio, indústria, pecuária e serviços (Ceped, 2020).

A Figura 6 apresenta os danos e prejuízos distribuídos anualmente e mensalmente, respectivamente. Destaca-se que o aumento de registros ao longo dos anos iniciais pode ter sido pela melhoria no sistema de reporte e amadurecimento do tema perante os órgãos públicos e a sociedade. Em relação à distribuição anual, o ano de 2017 apresenta o maior valor de danos, seguido do ano de 2018. No que se refere aos registros, 2017 lidera, seguido por 2018 e 2019, respectivamente, com 2.181, 2.093 e 1.981 registros. O mês de janeiro é o mês de maior número de registros, seguido pelos meses de março, setembro e outubro (Ceped, 2020).

Figura 6- Danos e prejuízos anuais e mensais com desastres naturais (1995 - 2019)



Fonte: Ceped (2020).

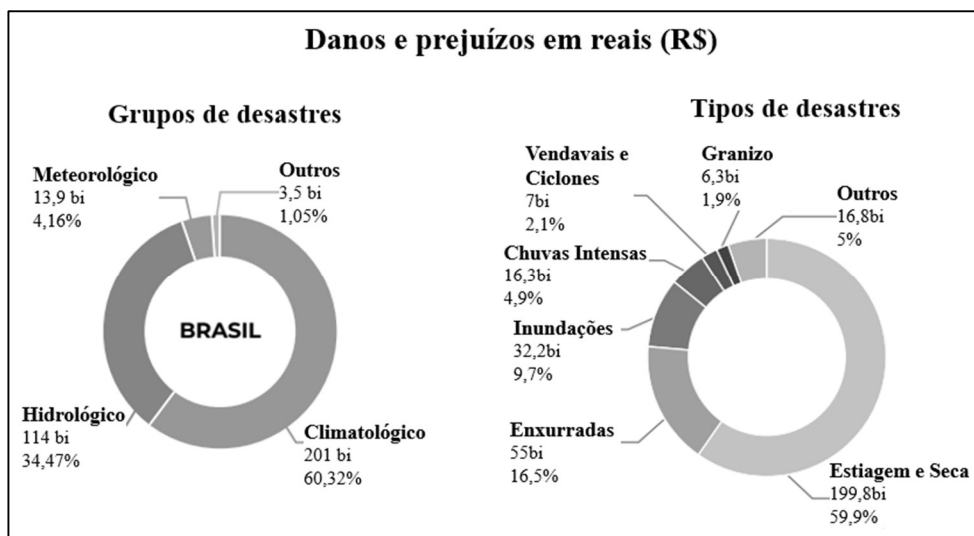
A Figura 7 e a Tabela 1 apresentam os danos e prejuízos por grupo e tipologia de desastres naturais, destacando-se o grupo climatológico com 60,32% das ocorrências, seguido pelo grupo hidrológico com 34,47% e meteorológico com 4,16% (Ceped, 2020).

Com relação as tipologias nota-se que estiagem e seca representam o maior valor, com 59,9% dos danos e prejuízos, o que equivale a aproximadamente 200 bilhões de reais, bem como o maior número de registros com 54,66%. Em seguida, as enxurradas aparecem representando 16,5% do valor total de perdas, as inundações 9,7%, chuvas intensas 4,9% e

vendavais e ciclones 2,1%. Ceped (2020) esclarece que os dados de estiagem e seca estão agrupados por questões de análise dos registros.

De acordo com Cunha *et al.* (2019); Ding *et al.* (2021); Zhang *et al.* (2022), a seca é o desastre natural que afeta mais pessoas, causando as maiores perdas econômicas e sociais no mundo.

Figura 7- Danos e prejuízos por grupos de desastre e tipologia (1995 - 2019)



Fonte: Ceped (2020).

Tabela 1- Danos e prejuízos por tipologia de desastres naturais (1995 - 2019)

Tipologia	Danos e prejuízos totais (R\$)	Registros
Estiagem e Seca	199.827.733.880,93	17927
Enxurradas	54.973.642.044,00	5411
Inundações	32.176.118.836,78	3238
Chuvas Intensas	16.285.527.029,67	1538
Vendavais e Ciclones	7.001.635.741,41	1757
Granizo	6.310.856.353,56	1110
Movimentos de Massa	6.261.391.090,20	446
Alagamentos	5.193.476.097,38	593
Erosão	2.301.897.706,22	341
Outros	906.874.747,40	111
Incêndio Florestal	820.353.374,93	144
Tornado	509.601.620,71	62
Onda de Frio	378.888.652,68	57
Doenças Infecciosas	191.922.159,05	46
Onda de Calor e Baixa Umidade	131.849.968,46	6
Rompimento/ Colapso de Barragens	85.248.513,12	13

Fonte: Ceped (2020).

3.2 Seca

A seca é um desastre natural caracterizada por um período prolongado de estiagem. Considerada como outro desastre, a estiagem ocorre quando o atraso do período chuvoso é superior a 15 dias e quando as médias de precipitação mensais dos meses chuvosos são inferiores a 60% da médias de longo período da região de estudo, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição (Brasil, 2003).

Na seca, o período de baixa ou nenhuma pluviosidade é suficiente para provocar grave desequilíbrio hidrológico, sendo assim um agravamento da estiagem (Brasil, 2021). Nesse momento as reservas hídricas de superfície e de subsuperfície diminuem em função da redução da precipitação, aumento da evaporação, transpiração de seres vivos e consumo humano. A evaporação da água contida nos reservatórios e a transpiração nos organismos vivos aumentam em consequência da redução dos níveis de umidade relativa do ar, do incremento da insolação e do regime de ventos secos (Brasil, 2003).

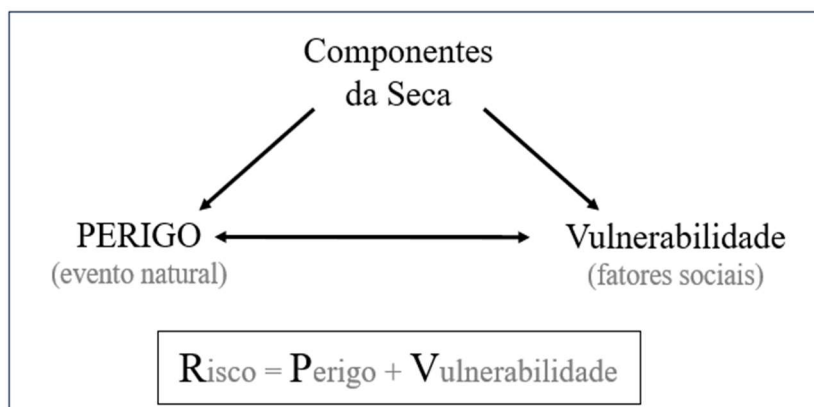
Ademais, a seca é considerada um fenômeno natural complexo e recorrente que pode acontecer em qualquer regime climático, causado pela falta de água durante um período prolongado de tempo (Sutanto *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2020; Yao *et al.*, 2020; Ding *et al.*, 2021; Ndmc, 2023).

Para Wilhite e Glantz (1985), a seca é um fenômeno lento e gradual. Palmer (1965) considera a seca como o intervalo de tempo, geralmente da ordem de meses ou até mesmo anos, durante o qual a precipitação diminui “consideravelmente” em relação ao climatologicamente esperado ou apropriado.

Segundo Wilhite (2000), a seca está associada a diversos fatores climáticos como temperatura, ventos, umidade do ar, que podem agravar o seu impacto. Os seus efeitos geralmente se acumulam lentamente, podendo durar anos após o seu término, por isso é tão difícil determinar o seu início e fim, ou seja, a sua extensão espacial e evolução temporal são complexos (Wilhite, 2000; Pontes Filho *et al.*, 2019).

Wilhite (2000) ainda destaca que a seca possui dois componentes: o natural que é o evento natural ou ameaça, e o social, entendido como a vulnerabilidade da área afetada pelo desastre. A duração, intensidade e extensão geográfico do evento, associada às condições sociais da região, definem o risco de seca (perigo + vulnerabilidade), apresentado na Figura 8.

Figura 8- Componentes da seca



Fonte: Adaptado pelo autor de Wilhite (2000).

Ressalta-se ainda que um evento de seca pode se repetir numa região com características similares, porém as condições de vulnerabilidade podem ter sido alteradas (população, características demográficas, tecnologia, política e comportamento social), pois esses fatores mudam ao longo do tempo. Sendo assim, uma outra seca na mesma região, de mesma duração, intensidade e características pode produzir diferentes impactos (Wilhite, 2000; Cunha *et al.*, 2019).

Segundo Wilhite e Glantz (1985) e Gonçalves *et al.* (2021), a definição de seca depende do ponto de vista de como está sendo avaliada. Em geral distingue-se entre seca meteorológica, seca agrícola, seca hidrológica e seca socioeconômica.

A seca meteorológica é uma medida do desvio da precipitação em relação ao valor normal e caracteriza-se pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação, a qual depende também de outros elementos como a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e insolação. A definição de seca meteorológica se dá por exemplo pela comparação da precipitação avaliada em período mensal, sazonal ou anual. E deve ser considerada como dependente da região, uma vez que, as condições atmosféricas que resultam em deficiências de precipitação podem ser muito diferentes de um lugar para outro. Seus impactos atingem o sistema hidrológico e os seus recursos (Wilhite; Glantz, 1985; Gonçalves *et al.*, 2021).

A seca agrícola é associada à falta de água causada pelo desequilíbrio entre a água disponível no solo, a necessidade das culturas e a transpiração das plantas. Este tipo de seca está relacionado com as características das culturas e da vegetação natural, ou seja, dos sistemas agrícolas em geral, resultando em estresse hídrico nas plantas devido à baixa

umidade do solo e elevadas perdas de evaporação. Desta forma o resultado é a redução do planto e colheita agrícola (Wilhite; Glantz, 1985; Li *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2021).

A seca hidrológica está relacionada com a redução dos níveis médios de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. E normalmente está desfasado em relação a seca meteorológica e agrícola, dado que é necessário um período maior para que as deficiências na precipitação se manifestem nos diversos componentes do sistema hidrológico. Pode ocorrer o racionamento ou degradação do sistema de abastecimento urbano de água e irrigação (Wilhite; Glantz, 1985; Gonçalves *et al.*, 2021).

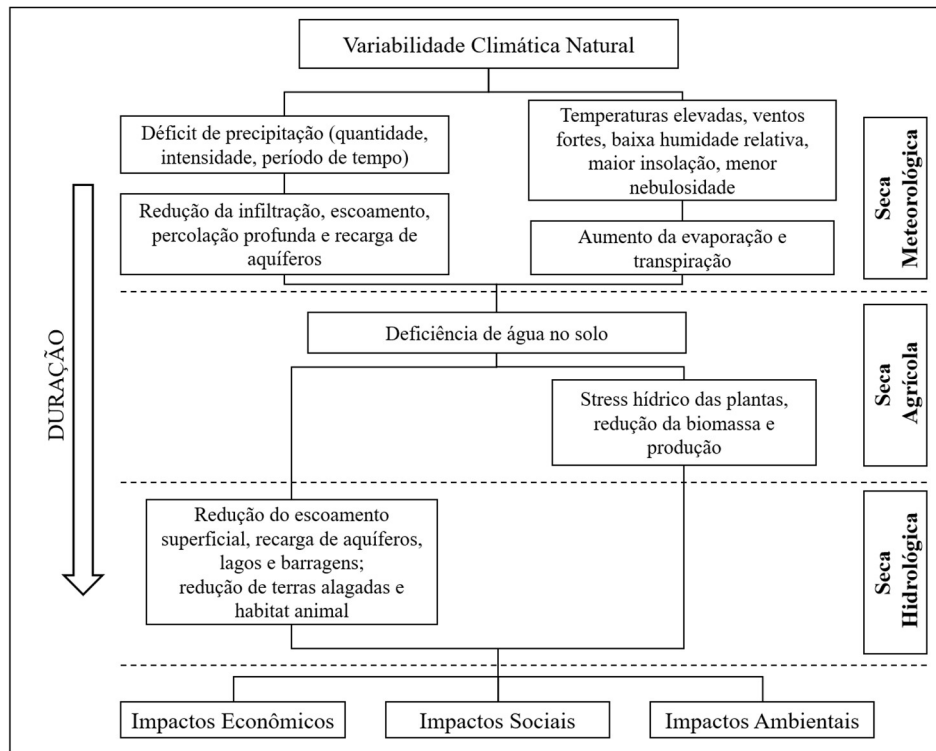
Por fim a seca socioeconômica está associada ao efeito conjunto dos impactos naturais e sociais que resultam da falta de água, devido ao desequilíbrio no tempo e espaço entre a oferta e a demanda de água, e que vai afetar diretamente as populações. Os impactos são inúmeros como na produção de energia elétrica, no abastecimento de água, turismo, navegação, comércio, entre outros (Wilhite; Glantz, 1985; Gonçalves *et al.*, 2021).

Com relação à saúde humana, Freitas *et al.* (2014) complementam que os efeitos da seca, associados à altas temperaturas e incêndios, podem ser diversos, como infecções respiratórias, intestinais, diarreia, desnutrição, alergias, infecções na pele, intoxicação, hipertensão, doenças transmitidas por vetores, transtorno psicossocial, comportamental e até óbitos.

O ponto em comum entre as secas é que elas são originadas por um déficit de precipitação que resulta em uma baixa disponibilidade hídrica para a atividade que a requer (Wilhite; Glantz, 1985).

A Figura 9 ilustra este conceito, com os tipos de seca e impactos associados ao longo do tempo.

Figura 9- Sequência da ocorrência e impactos das secas

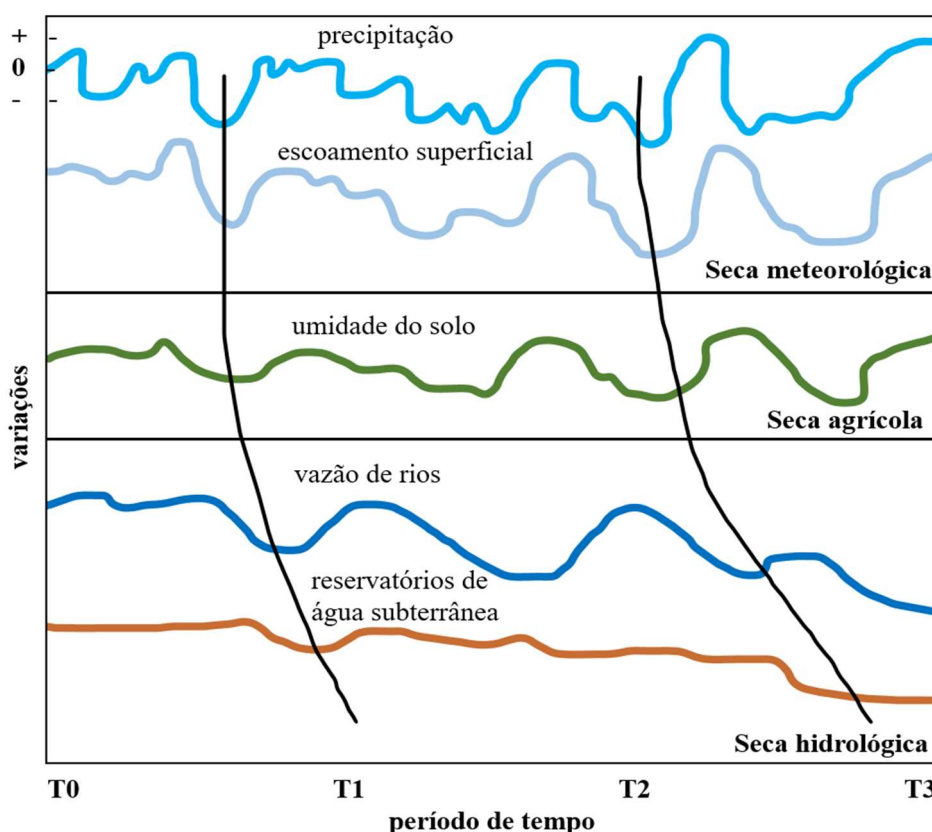


Fonte: Adaptado pelo autor de Ndmc (2023).

Para Wu *et al.* (2022) a relevância de disponibilidade de recursos hídricos para abastecimento humano, a limitação de dados de umidade de solo e indicadores socioeconômicos, tem feito as pesquisas se concentrarem nas secas meteorológicas e hidrológicas. Em especial no processo de propagação de uma seca para a outra. Para Zhang *et al.* (2022) ainda faltam abordagens sobre as características, processos e fatores de controle no processo de propagação. Contudo é relevante destacar que estudos de propagação podem auxiliar sistemas de alerta quando uma seca meteorológica ocorrer no seu primeiro estágio (Ding *et al.*, 2021).

De acordo com Changnon (1987), é possível perceber os efeitos das alterações de precipitação no ciclo hidrológico. O déficit de precipitação (seca meteorológica) afeta o escoamento superficial, em seguida a umidade do solo (seca agrícola), a seguir a vazão de rios e por fim os reservatórios de águas subterrâneas (seca hidrológica). Cada estágio possui um período de início e de fim próprio e diferente entre eles, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10- Variações ao longo do ciclo hidrológico



Fonte: Adaptado pelo autor de Changnon (1987).

Zhang *et al.* (2022) destacam que a seca vem sendo uma temática de interesse pelos pesquisadores nas últimas décadas, com a extensa produção de abordagens e técnicas para explorar suas características, ocorrências e fases através do ciclo hidrológico.

Além disso, outros estudos indicam que as secas são facilitadas pelas alterações de uso e cobertura da terra, com destaque para o desmatamento, que por sua vez afeta o ciclo hidrológico (Sena *et al.*, 2012; Marengo; Bagley *et al.*, 2014; Espinoza, 2016).

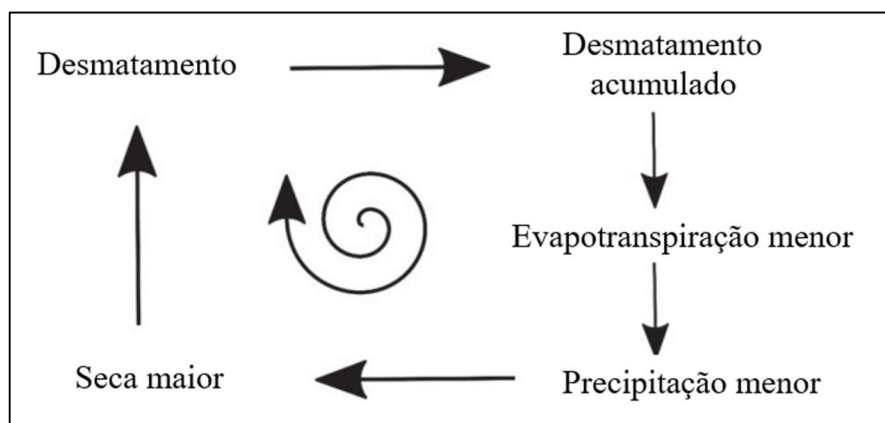
Segundo Alencar *et al.* (2015) quando a estação seca se prolonga por mais de um mês, ocorre o aumento de incêndios florestais e a extensão de áreas queimadas. Observa-se que a ocorrência é mais frequente nas florestas abertas e de transição com maior desmatamento, o que sugere que as condições de inflamabilidade da floresta foi elevada pela fragmentação da paisagem.

A ausência da vegetação provoca o aquecimento do solo, elevando a temperatura média do ambiente, ao passo que a umidade retida pela vegetação natural se torna menor devido à intensificação do processo de evaporação. A quantidade de vegetação restante não é suficiente para manter os níveis naturais de umidade (Marengo, 2003).

Nas florestas a evapotranspiração é maior do que de em outros tipos de vegetação, devido a evaporação da água do solo que se encontra em condições úmidas e pela transpiração das plantas que incluem a utilização de água armazenada em camadas inferiores. E parte desta água retorna a superfície com as chuvas. Como o desmatamento reduz a floresta, menos água estará disponível para a evapotranspiração e posterior precipitação, provocando maiores secas, que reduzem a umidade do solo e favorecem os incêndios florestais e com isso mais alterações de uso e cobertura da terra tende a ocorrer (Staal *et al.*, 2020)

Essa dinâmica, apresentada na Figura 11 amplifica as alterações de uso e cobertura da terra e contribuem para um ciclo de perda florestal, que automaticamente leva ao aumento do número de secas.

Figura 11- Diagrama do ciclo seca - desmatamento



Fonte: Adaptado pelo autor de Staal *et al.* (2020).

3.2.1 Seca no mundo

No período de 1980 e 2022, o EM-DAT registrou 12.767 desastres naturais no mundo, com 2,48 milhões de mortes e 7,67 bilhões de pessoas afetadas, com perdas econômicas da ordem de 5,25 trilhões de dólares (Cred, 2020; Cred, 2023).

Nesse período, o desastre natural climatológico de seca, corresponde a 5,1% dos registros, com 647 eventos. Observa-se na Figura 12 que aproximadamente 76% estão relacionados a hidrologia, meteorologia e climatologia, os quais são inundação, tempestades e secas. Em outras palavras, por excesso ou escassez de água.

Figura 12- Desastres naturais no mundo (1980 - 2022)



Fonte: Adaptado pelo autor de Cred (2020) e Cred (2023).

Outro estudo cujo recorte temporal para análise dos dados relacionados aos desastres naturais na América Latina foi de 49 anos (1960 a 2009), os resultados evidenciaram que mais de 50% podem ter relação com os eventos climatológicos, que podem desencadear variações hidrológicas e meteorológicas (Catanho *et al.*, 2020).

Undrr (2021) cita diversos eventos de seca que marcaram a sociedade nos séculos XX e XXI, como as secas do México e EUA nos anos 1950, em Sahel na África, entre os anos de 1970 e 1980 e na China no início dos anos 1920, causando fome nesses países. Na Austrália a conhecida seca do milênio durou entre 1996 e 2010 e mais recentemente houve outra de 2017 a 2020. No Chile ocorreu uma seca de grandes proporções entre 2010 e 2018.

Na Europa Ionita *et al.* (2022) ressaltam o aumento da seca desde o início dos anos 2000, causando significativas perdas socioeconômicas, incluindo o aumento de incêndios florestais e a redução de produção de cereais. A seca que ocorreu no continente em 2003 afetou diretamente o centro e partes do noroeste europeu, levando a perdas de aproximadamente 17 bilhões de euros. A seca de 2015 registrou as maiores temperaturas, com o verão mais seco desde 1950.

Mupepi e Matsa (2023) destacam uma grande seca que ocorreu na África central, na bacia do rio Congo, que durou de 2000 a 2006, com significativo impacto na cobertura vegetal, evidenciado por imagens de satélite ao longo dos anos. Recentemente, em 2018 e 2019, outros países como Namíbia, Angola, Zimbábue e Botswana tiveram secas graves, causando grandes impactos na agricultura local, fonte de alimento da maioria da população rural destes países.

Na Ásia, a China é o país com maior ocorrência e gravidade histórica de seca. Em 1997 secas severas levaram ao ressecamento do Yellow river, no nordeste do país, causando

impactos no Paquistão e Afeganistão. Entre 2006 e 2010 a seca causou perdas agrícolas e nota-se que o evento vem se tornando cada vez mais frequente na região central e noroeste do país (Mupepi; Matsa, 2023).

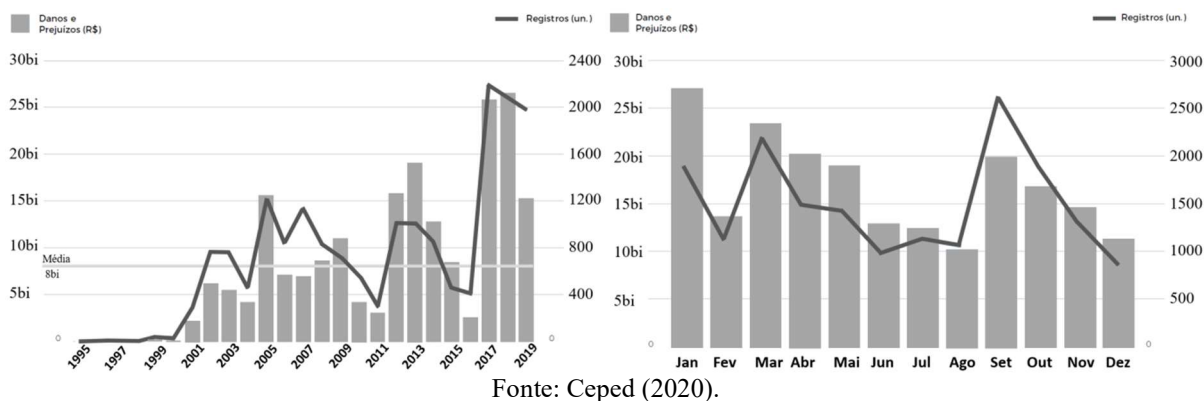
3.2.2 Seca no Brasil

Os desastres têm aumentado em todas as regiões do Brasil em função das mudanças climáticas (Catanho *et al.*, 2020). O relatório do Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil (CEPED), entre 1995 e 2019, informa que a estiagem e seca foram responsáveis por 54,66% dos 64.429 registros de desastres naturais, e por 59,94% dos R\$ 333,36 bilhões em danos e prejuízos. A área mais afetada foi a agricultura com perdas na economia agrícola, seguido de pecuária e abastecimento de água potável totalizando 95,47% dos danos e prejuízos Ceped (2020).

No Brasil, 2018 foi o ano de maior danos e prejuízos com estiagem e seca (26,46 bilhões), seguido de 2017 (25,79 bilhões). No entanto, em 2017 foi registrado um maior número de ocorrências, seguido de 2018 e 2019. Na distribuição mensal, o mês de janeiro possui o maior número de danos e prejuízos, e o mês de setembro o maior número de registros (Figura 13) (Ceped, 2020).

O relatório ainda indica que na distribuição espacial, o semiárido brasileiro com parte do Espírito Santo sentido norte de Minas Gerais e os estados do nordeste registraram o maior número de ocorrências. Outra região de destaque é a porção a oeste no sul do país, com parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Os maiores danos e prejuízos são da região Nordeste (58,5%), seguida por Sul e Sudeste (Ceped, 2020).

Figura 13- Danos e prejuízos anuais e mensais com seca e estiagem (1995 - 2019)



Em outro período, entre 1991 e 2022, dados do S2ID mostram que o evento climatológico de estiagem e seca representaram aproximadamente 47% das ocorrências (29.140 registros de 62.000). Um total de 52 mil pessoas foram desabrigadas ou desalojadas, com 219 óbitos no país (Brasil, 2023).

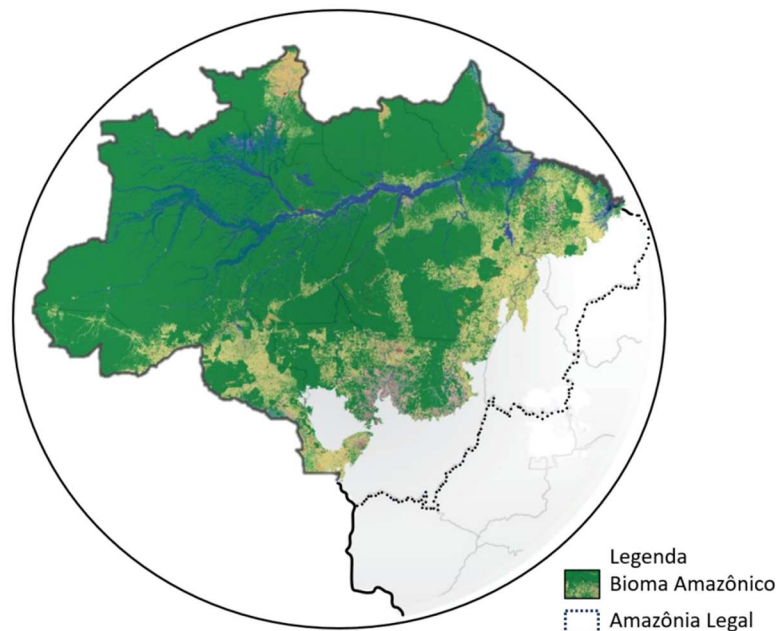
Cunha *et al.* (2019) ressaltam que ainda é necessário avançar no gerenciamento de seca no Brasil, entendendo que o risco de seca é o produto da exposição ao fenômeno natural e das condições socioeconômicas e ambientais.

3.2.3 Seca na Amazônia

A Amazônia é o maior bioma do país, com área aproximada de 4,2 Mkm², e ocupa 49,5% do território brasileiro, presente nas regiões norte (Acre, Amazonas, Amapá, Roraima, Rondônia, Pará), nordeste (Maranhão) e centro-oeste (Mato Grosso e Tocantins) (Mapbiomas, 2023). A Amazônia Legal, instituída pela Lei 1.1806 de 1953, atualmente também abrange todo o estado do Mato Grosso, Tocantins e parte do Maranhão com a presença dos biomas de cerrado e pantanal (Figura 14).

Localizada em região tropical, a Amazônia possui clima quente e úmido com a ocorrência de longos e intensos períodos de precipitação com grande variabilidade temporal e espacial, tornando esta variável de grande relevância para estudos sobre o clima (Magano Junior, 2014).

Figura 14- Bioma Amazônico no Brasil



Fonte: Adaptado pelo autor de Mapbiomas (2023).

A região abriga a maior biodiversidade biológica do mundo, com florestas que influenciam significativamente os climas regionais e globais, além de possuir reservas de madeira, borracha, peixe, minérios e outros, como abundante fonte de riqueza natural. Estima-se que cerca de 73% das espécies de mamíferos e 80% das aves estejam nesse bioma, contando ainda com a presença de 26% da flora brasileira reconhecida (Brasil, 2022).

Contudo, toda essa grandeza possui uma sensibilidade em seu ecossistema, tornando a região amazônica vulnerável aos eventos prolongados de seca, mudanças nos períodos chuvosos e secos, e ao risco de incêndio (Marengo; Espinoza, 2016).

O El Niño e a La Niña fazem parte de um mesmo fenômeno (atmosférico-oceânico) que ocorre no oceano Pacífico Equatorial, denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS). A fase El Niño refere-se à persistência do padrão em que o oceano Pacífico Equatorial está mais quente e a fase La Niña ocorre o oceano está mais frio do que a condição média histórica (climatológica) (Sodré *et al.*, 2015). Essas mudanças na temperatura do oceano acarreta efeitos globais nos padrões de circulação atmosférica, transporte de umidade, temperatura e precipitação (Marengo; Espinoza, 2016).

Segundo Moraes *et al.* (2019), o ENOS modulam o clima das regiões tropicais, com a redução do volume de chuvas e prolongamento do período de estiagem em anos de El Niño, e aumento de precipitação com o La Niña, com eventos frequentes de cheias e alagamentos. Porém, é importante ressaltar que os efeitos das oscilações do ENOS não são homogêneos em

todo território amazônico, e a ocorrência desse fenômeno apenas potencializa ou inibe as condições ambientais pré-existentes.

Além disso, no estado do Pará, a zona de convergência intertropical (ZCIT) pode ser considerada o sistema meteorológico de grande escala e de maior importância, visto que determina o estabelecimento do período chuvoso do estado (Sodré *et al.*, 2015). A ZCIT é uma faixa de confluência dos ventos alísios do hemisfério norte e ventos alísios do hemisfério sul, de deslocamento meridional (Oliveira, 2017).

Na região amazônica os eventos de seca estão associados ao fenômeno El Niño, ou no aumento de temperatura da superfície do oceano Atlântico equatorial norte, que alteram a circulação atmosférica tropical. Pode também ocorrer de ambos os fenômenos atuarem juntos (Pereira *et al.*, 2021, Sodré; Souza; Moraes, 2021).

Marengo e Espinoza (2016) descrevem em seu estudo um histórico de secas que ocorreram na Amazônia a partir do século XX, como por exemplo as dos anos de 1906, 1912, 1916, 1925-1926 e 1948 que foram relacionadas ao El Niño. Já as secas de 1963-1964, 1979-1981 e 2005 foram relacionadas ao aquecimento do Atlântico norte. E os eventos dos anos de 1982-1983, 1995, 1997-1998 e 2010 que foram relacionados aos dois fenômenos. Destaca-se também a seca de 1926 quando a precipitação foi reduzida durante quase todo o ano e não somente na estação menos chuvosa, e por esse motivo foi considerada como um evento secular. A seca de 1912 registrou níveis mínimos para a época no rio Negro (Manaus). E a seca de 1948 que foi menos severa do que a de 1936.

Na Amazônia, projeções de mudanças climáticas indicam um aumento da precipitação no período chuvoso e diminuição na estação seca, com o aumento de temperatura neste período. O efeito combinado de temperaturas mais altas e seca resulta em impactos na agricultura, na navegabilidade de rios, no favorecimento de incêndios florestais e também a mortalidade das árvores, levando a alterações na liberação de carbono (Reis *et al.*, 2021).

3.3 Avaliação e monitoramento de seca

Nas últimas décadas foram propostos diversos indicadores e índices para avaliar e monitorar a ocorrência de seca, utilizando em sua maioria a precipitação, que é amplamente monitorada e possui longas séries históricas de registro (Pontes Filho *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022). Pode-se ainda utilizar o balanço hídrico, a vazão de rios, umidade do solo, níveis de água subterrânea, cobertura vegetal de áreas, sua densidade e parâmetros de qualidade (Undrr, 2021).

Em geral, as principais características da seca estudadas são: frequência, gravidade, intensidade, duração, início, término, período de pico e área afetada (Undrr, 2021). Para Gonçalves *et al.* (2021), a amplitude da informação atual e histórica das condições climáticas e hidrológicas de determinada região irá determinar a compreensão do evento.

No entanto, assim como a definição de seca não é precisa, também não se tem um instrumento padrão, ou determinada associação, a ser aplicado para todos os tipos de seca. Existem diversas técnicas de análise que permitem identificar padrões de variabilidade temporal e espacial, bem como tendências (Gonçalves *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2022). Deve-se considerar as características específicas do evento, associadas aos impactos de interesse, bem como a disponibilidade de dados e se o resultado reflete as condições reais da área de estudo. Diferentes tipos de seca demandam diferentes abordagens para permitir uma avaliação detalhada da área afetada. (Undrr, 2021).

É relevante destacar que na literatura são frequentemente adotados os termos indicadores e índices relacionados aos estudos de seca. Undrr (2021) considera em seu reporte especial sobre seca, o índice como um indicador, atribuindo à esses termos o mesmo significado.

A *World Meteorological Organization* (WMO) define indicador como uma variável ou parâmetro para descrever as condições de seca, como por exemplo a precipitação, temperatura, umidade do solo, etc. E define o índice como a representação numérica da seca, que utiliza em seu cálculo, uma ou mais variáveis, e indicadores. Ou seja, um indicador técnico, quantitativo, baseado numa escala pré-definida e que reflete diferentes condições de seca. Como exemplo cita-se o *Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index* (SPEI) para o estudo da seca meteorológica, o *Soil Moisture Deficit Index* (SMDI) para a seca agrícola e o *Standardized Streamflow Index* (SSFI) para a seca hidrológica (Wmo; Gwp, 2016; Zargar *et al.*, 2011).

Neste estudo serão adotados os termos indicador para as variáveis como precipitação e temperatura, e o termo índice para representar as categorias da seca.

Segundo Ward *et al.* (2020), são descritos na literatura mais de 150 índices de seca contribuindo para uma variedade de abordagens dos estudos e avaliações de risco. Gonçalves *et al.* (2021) complementam que existem diversos sistemas de monitoramento e previsão de seca em diferentes países, e que de forma geral, combinam diferentes índices e produtos de apoio para apresentar informações periódicas (semanais, mensais, quinzenais, diárias) representando a seca por meio de mapas e relatórios. A seca pode ser classificada em

categorias, por meio de níveis de valor como anormal, moderada, severa, extrema, etc, apresentando informações sobre gravidade, extensão e impactos. O Quadro 2 apresenta exemplos de monitores de seca.

Quadro 2- Monitores de seca no mundo

Monitor	Abrangência	Observação
United States Drought Monitor (USDM)	Estados Unidos	Iniciou em 1999 como o primeiro sistema de acompanhamento e precisão de seca no mundo.
North American Drought Monitor (NADM)	Canadá, México e EUA	Sistema colaborativo de informações de cada país.
European Drought Monitor (EDO)	Europa	Monitora as secas meteorológicas, hidrológicas e agrícolas atualizado a cada dez dias.
African Flood and Drought Monitor (AFDM) Latin America Flood and Drought Monitor (LAFDM)	África e América Latina	Criados pela Universidade de Princeton (EUA) em parceria com a ONU.
Germany Drought Monitor (GDM)	Alemanha	Fornece informações diárias sobre a seca agrícola e umidade do solo.
Monitor de Secas da Índia	Índia	Monitora em tempo real as secas meteorológicas, agrícolas e hidrológicas.
Monitor de Sequia em México (MSM)	México	Iniciou em 2022 com foco em alerta de seca com periodicidade quinzenal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) coordena o processo colaborativo chamado de Monitor de Secas. Este projeto foi iniciado em 2014 em parceria com instituições nacionais e internacionais, de acompanhamento mensal da situação de seca através de informações e reportes *online*. Sua elaboração decorre da compilação dos índices *Standardized Precipitation Index* (SPI), SPEI e do Índice Padronizado de Escoamento (SRI) de curto e longo prazo, e produtos de apoio (temperatura máxima e média, precipitação acumulada e climatologia). Através do mapa mensal são disponibilizadas informações que refletem o curto prazo (até 6 meses) e o longo prazo (de 12 a 24 meses), indicando a evolução da seca nos estados do Brasil. Os impactos de curto prazo estão relacionados a agricultura, enquanto os de longo prazo à hidrologia (Ana, 2023).

O objetivo da iniciativa é integrar o conhecimento técnico científico sobre as condições de seca: evolução espacial, tempo, gravidade e impactos em diferentes setores a fim de auxiliar a tomada de decisões e políticas no âmbito federal, estadual e local (Santos; Albuquerque; Mendes, 2021).

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) também monitora desde 2014 as condições de seca no Brasil através de quatro índices: Índice Integrado de Seca (IIS), Índice de Suprimento de Água para a Vegetação (VSWI ou ISACV), Índice de Saúde da Vegetação (VHI) e SSFI. A relação de impactos da seca nos recursos hídricos, atividades agrícolas, agroprodutivas, de reservatórios para abastecimento público de água e para geração de energia hidrelétrica são emitidos através de boletins mensais (Cemaden, 2023).

Outro produto no país é o monitoramento da seca no contexto da agricultura familiar, realizado através do índice IIS, que combina informações sobre o déficit de precipitação na escala de um mês (SPI-1), umidade do solo, e VHI, incluindo dados de temperatura e condição do vigor vegetativo. Os boletins mensais com o nível de risco para cada região do Brasil são emitidos considerando o calendário agrícola disponibilizado pelo Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (Cemaden, 2023).

Gonçalves *et al.* (2021) destacam que erros de caracterização e projeção de secas podem ocorrer devido às incertezas de informações meteorológicas e hidrológicas. E também pela aplicação de dados de baixa qualidade, sem abrangência ou qualidade adequada, ou pela alta complexidade de dados e dificuldade de entendimento dos produtos gerados, ausência de indicadores físicos e socioeconômicos. Por essa razão, uma alternativa é buscar a integração de ferramentas a níveis federal, estadual e municipal, com incentivo à interação entre os especialistas e os tomadores de decisão. É importante apoiar pesquisas que apresentem como temática a avaliação, monitoramento, previsão e gestão de riscos de secas.

Este estudo se baseia na avaliação da seca meteorológica através do índice de seca SPEI para a escala de tempo de um mês.

3.4 Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração - SPEI

O SPEI foi desenvolvido por Vicente-Serrano, Begueria e Lopez-Moreno (2010) e é baseado no índice SPI, desenvolvido por McKee, Doesken e Kleist (1993) que utiliza somente dados mensais de precipitação. O diferencial do SPEI é que ele é calculado com os dados de precipitação e temperatura, na forma de balanço hídrico simples, ou seja, a diferença entre a precipitação e a potencial evapotranspiração (PET).

Vicente-Serrano, Begueria e Lopez-Moreno (2010) destacam que o cálculo da PET pode envolver inúmeros fatores como a temperatura da superfície da terra, umidade do ar,

velocidade do vento, radiação solar, entre outros para se obter os melhores resultados. E que, dependendo do método, grandes quantidades de dados são exigidos como exemplo o método de *Penman-Monteith*. Ou ainda o método de *Hargreaves*. Porém, o objetivo de incluir a PET no cálculo do SPEI é para se obter uma estimativa temporal, portanto o método utilizado para calcular a PET não é crítico e pode-se adotar métodos mais simples como o de *Thornthwaite*, que somente utiliza os dados de temperatura média mensal. O SPEI não está relacionado a nenhum método específico de cálculo de PET.

O resultado do SPEI são valores positivos (eventos úmidos) ou negativos (eventos secos) num nível de intensidade para intervalos de tempo de um a 48 meses ou mais. Isso permite a sua utilização através de atualizações mensais, sendo que quanto mais longas as séries temporais de dados disponíveis, mais robustos serão os resultados (Wmo; Gwp, 2016).

Na literatura encontram-se diversos estudos que utilizam o SPEI, associado a outras variáveis ou índices, em variações de escala de tempo de 1, 3, 6, 9, 12 ou mais meses (Vicente-Serrano; Begueria; Lopez-Moreno, 2010; Drumond *et al.*, 2019; Yao *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020; Gozzo *et al.*, 2021; Ferreira; Corrêa; Cirilo, 2022; Ionita *et al.*, 2022). Como exemplo cita-se Yao *et al.* (2020), que utilizou o SPEI na escala de 3, 6 e 12 meses associado a modelos climáticos, no estudo de projeção de seca para o período de 2011-2100.

As escalas de tempo refletem diferentes fenômenos e aplicações nas secas meteorológica, agrícola e hidrológica, conforme se apresenta na Tabela 2.

Tabela 2- Fenômenos refletidos de acordo com a escala de tempo dos índices de secas

Escala de tempo	Fenômeno refletido	Aplicação
1 mês	Condições de curto prazo	Alterações de curto prazo na umidade do solo e agricultura.
3 meses	Condições de umidade de curto e médio prazo	Estimativa sazonal da precipitação
6 meses	Condições de médio prazo	Estimativa da precipitação ao longo das estações do ano
9 meses	Padrões de precipitação em escala de tempo médio	Estimativa de impactos significativos na agricultura
12 meses	Padrões de longo prazo na precipitação	Estimativa de impactos na vazão e nos níveis de reservatórios e água subterrânea.

Fonte: Ndmc (2023).

3.4.1 Vantagens e limitações do SPEI

O SPEI está entre os cinco índices de seca mais utilizados no Brasil, sendo utilizado em diferentes escalas para identificar, analisar e monitorar a seca (Wmo; Gwp, 2016). Um

ponto positivo do índice é a inclusão da temperatura junto com os dados de precipitação, o que permite incluir o impacto da temperatura na seca. Com isso, também é utilizado para observar o impacto das mudanças climáticas em vários cenários futuros. Além de ser aplicável para todos os climas, e por ser padronizado, permite a comparação dos resultados de seca no tempo e espaço Zargar *et al.*, 2011; Gozzo *et al.*, 2021).

Em razão destas vantagens em relação ao SPI, neste estudo foi selecionado o SPEI como índice de seca.

Um ponto de atenção é que o SPEI exige que os dados estejam completos para temperatura e a precipitação, o que pode limitar seu uso devido à insuficiência de dados disponíveis. E por ser mensal, apresenta uma limitação em identificar rapidamente situações de seca em rápida evolução (Wmo; Gwp, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O município de Altamira está localizado na região amazônica, às margens do rio Xingu no oeste do estado do Pará, a 754 km da capital Belém. Segundo (Ibge, 2021b), possui área total de 159.696 Km², com altitude média de 100m e uma população estimada de 117.320 habitantes, geograficamente próximo a 3° 12' 12" S de latitude e 52° 12' 23" W de longitude.

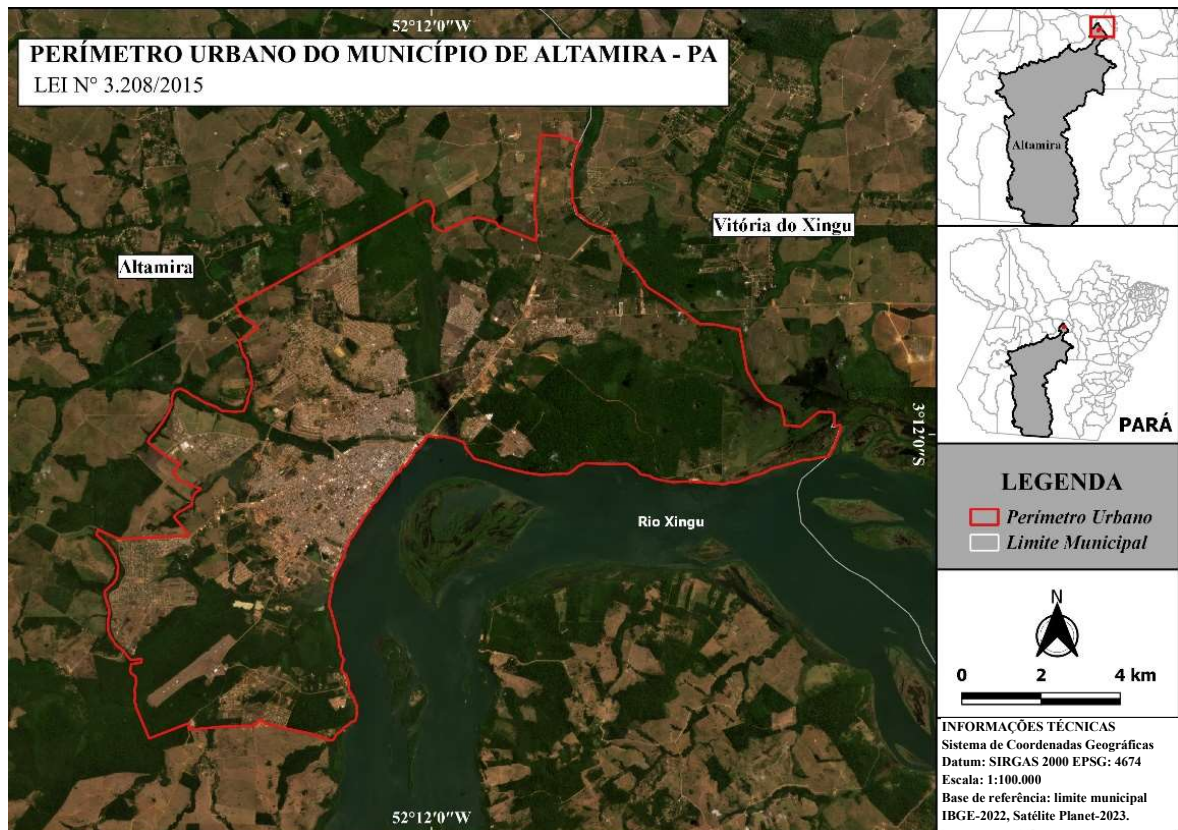
A precipitação média anual é de 1965mm, com valores mínimos de 1323mm e máximos de 2378mm. A região se caracteriza por um período chuvoso entre dezembro e maio e outro menos chuvoso entre junho e novembro, sendo que 83% da precipitação (mm) no período de 24hs, é de até 10mm. E outros 16% está entre 10mm e 50mm, totalizando 99% das chuvas pelo período de um dia. A temperatura média anual é de 26,0°C, variando entre a mínima de 22,8°C em fevereiro e 32,3°C em setembro. Os dados de precipitação e temperatura do ar foram analisados pelo autor e serão apresentados neste estudo.

O município faz parte do trecho do médio curso do rio Xingu, afluente da bacia hidrográfica do rio Amazonas, com a sede localizada onde o rio sofre um acentuado desvio do seu curso, formando uma região conhecida como “Volta Grande”. E está situado a montante da usina hidrelétrica de Belo Monte, terceira maior do mundo com capacidade próxima de 11 MW (Almeida *et al.*, 2022).

A área de interesse do estudo abrange o perímetro urbano de Altamira, com área territorial aproximada de 111,6 km², conforme a Lei Municipal nº 3.208/2015, e é drenada pelos igarapés Altamira, Ambé e Pannels que cortam o município (Figura 15).

Altamira é conhecida por ser um centro econômico regional, com suas atividades econômicas baseadas na agricultura familiar, pecuária e extração mineral e concentra a maior parte dos serviços e as demandas de vários municípios ao longo da rodovia Transamazônica.

Figura 15- Localização da área de estudo: perímetro urbano de Altamira-PA



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Coleta de dados

Os dados de uso e cobertura da terra foram coletados da Coleção 8 do projeto MapBiomas em resolução espacial de 30m, entre os anos de 1986 e 2022.

O projeto MapBiomas é uma rede colaborativa multi-institucional criado em 2015, como solução rápida, de baixo custo e atual para a classificação de uso e cobertura da terra. Trata-se de um produto em constante evolução, automatizado e integrado ao *Google Earth Engine*, com a utilização de imagens *Landsat*, que produz mapas a partir de 1985 para todos os biomas brasileiros (Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal) (Mapbiomas, 2023).

As séries diárias de precipitação e temperatura do ar, com um recorte temporal de 40 anos (1983 - 2022), foram coletadas do conjunto de dados de reanálise disponibilizado pelo *Reanalysis 5th Generation* (ERA5), *Agrometeorological indicators* com resolução de 10km x 10km, desenvolvido pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF).

O ERA5 fornece estimativas horárias de variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas, cobrindo a Terra em uma grade de cerca de 30 km com uma série de dados desde

1979. A combinação de modelos climáticos que combinam um conjunto de dados cada vez mais abrangente, e permitem representar de forma mais consistente o clima, aliado às observações históricas, com uma versão única de avaliação de dados, fornecem uma representação espacial do clima. Esse processo recebe o nome de “reanálise” (Gibson *et al.*, 1999).

Os dados de cota diária do rio Xingu foram coletados da estação fluviométrica Altamira da Agência Nacional de Águas (ANA), código:18850000, entre os anos de 1983 e 2022. Ela está instalada no rio Xingu, bacia do rio Amazonas nas coordenadas geográficas: latitude: -3.2147 e longitude: -52.2122.

4.3 Análise dos dados

Utilizou-se o *Microsoft Office Excel* para organizar, tratar, avaliar estatisticamente os dados e elaborar os gráficos e tabelas apresentados no estudo.

4.4 Uso e cobertura da terra

Os mapas de uso e cobertura da terra para identificação de alterações ao longo dos anos foram elaborados para os anos de 1986, 1993, 2003, 2013 e 2022, em resolução espacial de 30m.

Desta forma, buscou-se analisar os dados em intervalos de dez anos, seguindo os mesmos intervalos adotados para as outras variáveis deste estudo, com exceção para o primeiro período, cujo o primeiro ano de análise foi o de 1986 devido a indisponibilidade dos dados de anos anteriores no MapBiomias. Assim, a primeira década foi reduzida ao intervalo de sete anos.

Na segunda etapa utilizou-se o ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), através do *software* QGIS 3.22, para manipular e avaliar os dados de acordo com as classes adequadas e com área representativa para o estudo. As classes de uso equivalentes foram agrupadas, como por exemplo, a classe floresta que inclui formação florestal, formação savânica, floresta alagável, campo alagado, área pantanosa e formação campestre. As classes majoritárias escolhidas para o estudo foram: floresta, agropecuária, área não vegetada e corpos d'água. As características das classes estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3- Classes de uso e cobertura da terra do perímetro urbano de Altamira-PA

Classes de uso e cobertura da terra	Características
Floresta	Formação florestal: floresta ombrófila densa, floresta estacional sempre-verde, floresta ombrófila aberta, floresta estacional semidecidual, floresta estacional decidual, savana arborizada, floresta resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes de vegetação primária. Formação savânica: formação vegetal aberta com um estrato arbustivo e/ou arbóreo mais ou menos desenvolvido, estrato herbáceo sempre presente. Floresta alagável: floresta ombrófila aberta aluvial estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente. Campo alagado e área pantanosa: vegetação de várzea ou campestre que sofre influência fluvial e/ou lacustre. Formação campestre: savana com predominância de estrato herbáceo.
Agropecuária	Pastagem: predominantemente plantadas, diretamente relacionadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo. Na Amazônia, podem ocorrer áreas desmatadas recentemente, sem ainda ter iniciado a atividade agropecuária. Lavoura temporária: áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir. Lavoura perene: áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio.
Área não vegetada	Área urbanizada: áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura. Mineração: áreas referentes a extração mineral de porte industrial ou artesanal (garimpos), havendo clara exposição do solo por ação por ação antrópica. Outras áreas não vegetadas: áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.
Corpos d'água	Rio, lago e oceano: rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.

Fonte: Mapbiomas (2023).

Outra etapa foi reavaliar o mapa MapBiomas do ano de 2022 sobre uma imagem *PLANET* do programa de satélite *Norway's International Climate and Forests Initiative* (NICFI) de 2022. O objetivo foi realizar pequenas correções de áreas classificadas como área sem vegetação.

Em seguida foi realizado o recorte dos arquivos raster do MapBiomas sobre a área de estudo para a quantificação exata das áreas das classes escolhidas.

Por fim, os dados de áreas foram exportados para uma planilha, onde cada área foi quantificada, conforme os polígonos, para um valor de área total.

4.4.1 Diagrama de *Sankey*

O diagrama de *Sankey* foi escolhido para ilustrar uma melhor representação gráfica dos fluxos de classes de uso e cobertura da terra para os anos de análise.

Este método foi proposto inicialmente para representar o fluxo de energia e sua distribuição para diversas fontes. Santos (2022) e Silva (2023) descrevem em seus estudos que cada direção é representada por uma linha ou seta que indica a relação entre os elementos, cuja espessura indica a sua proporção ou significância do fluxo. E ainda destacam o emprego desse diagrama em pesquisas geográfica e humano-ambiente, com análise quantitativa e visualmente facilitada, para melhor entendimento sobre o evento ocorrido no período.

Neste estudo a variável adotada é a área (km²) de cada classe de uso e cobertura da terra, a origem são os anos de cada mapa e o destino são as classes de uso. Assim, o diagrama é capaz de representar o fluxo de áreas de cada classe para cada ano.

O diagrama foi gerado pela ferramenta *SankeyMATIC*, online e gratuita (Bogart, 2023).

4.5 Índice de seca SPEI

Primeiramente, foram calculadas as médias mensais de temperatura do ar (°C), precipitação acumulada (mm) e cotas de nível (cm) do rio Xingu, de janeiro de 1983 a dezembro de 2022.

Em seguida a precipitação e a temperatura do ar foram organizados pelas décadas de 1983-1992, 1993-2002, 2003-2012 e 2013-2022.

Os dados de precipitação também foram organizados de forma anual e por intervalos de quantidade em mm no período de 24 horas.

Os eventos de seca foram calculados na escala de tempo de um mês (seca meteorológica, SPEI-1), utilizando-se o *software* Ambiente R®, gratuito para computação estatística e gráfica, por meio do pacote ‘SPEI’, versão 1.8.1 (Begueria; Vicente-Serrano, 2023)

4.5.1 Balanço hídrico

Para o cálculo da PET foi escolhido o método simples de Thornthwaite (1948), devido a disponibilidade dos dados de temperatura média mensal e pela praticidade do método.

De acordo com este método, a PET (mm) mensal é obtida através da seguinte equação:

$$PET = 16k \left(\frac{10T}{I} \right)^m ; \quad (4.1)$$

Onde:

T (°C) é a temperatura média mensal,

I é um índice de calor, que é calculado com a soma dos valores de 12 meses do índice i, derivado da temperatura média mensal na seguinte equação:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} ; \quad (4.2)$$

m é um coeficiente dependente de I:

$$m = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,492 ; \quad (4.3)$$

K é o coeficiente de correção em função da latitude e mês

$$k = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right) ; \quad (4.4)$$

NDM é o número de dias do mês e

N é o número máximo de horas de sol.

Com um valor para PET, calcula-se a diferença entre a precipitação (P) e PET para o mês i:

$$D_i = P_i - PET_i ; \quad (4.5)$$

que fornece uma medida simples do excesso ou déficit de água para o mês analisado.

Os valores Di calculados são agregados em diferentes escalas de tempo da seguinte forma:

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} P_{n-1} - (PET)_{n-1} \quad (4.6)$$

onde k é a escala de tempo (meses) da série e n é o cálculo do mês.

Para a padronização da variável, a distribuição Log-logística foi recomendada para o SPEI, uma vez que fornece um melhor ajuste para os valores negativos extremos.

A função de densidade de probabilidade de uma variável distribuída Log-logística de três parâmetros é expressa como:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2}; \quad (4.7)$$

onde α , β e γ são parâmetros de escala, forma e origem, respectivamente, para valores de D no intervalo ($\gamma > D < \infty$).

A função de distribuição de probabilidade de D de acordo com a distribuição Log-logística é então dada por:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-y} \right)^{\beta} \right]^{-1}; \quad (4.8)$$

Com $F(x)$ o SPEI pode ser facilmente obtido como os valores padronizados de $F(x)$.

$$SPEI = w - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3}; \quad (4.9)$$

onde:

$$W = -2\ln(P); \quad (4.10)$$

para $P \leq 0,5$.

sendo P a probabilidade de exceder um determinado valor D ,

$$P = 1 - F(x) \quad (4.11)$$

Se $P > 0,5$, P é substituído por $1-P$ e o sinal do SPEI resultante é invertido.

As constantes são: $C_0=2,515517$, $C_1=0,802853$, $C_2=0,010328$, $d_1=1,432788$, $d_2=0,189269$, $d_3=0,001308$.

O valor médio do SPEI é 0 e o desvio padrão é 1. O SPEI é uma variável padronizada, portanto, pode ser comparado com outros valores do SPEI ao longo do tempo e do espaço. Um SPEI de 0 indica um valor correspondente a 50% da probabilidade cumulativa de D , segundo uma distribuição Log-logística.

4.5.2 Caracterização da seca

A identificação das categorias das secas foi baseada na escala do SPI de McKee, Doesken e Kleist (1993), pelo fato do SPEI ser baseado nesse outro índice. A categoria é o resultado do índice SPEI-1 que classifica a magnitude do evento em fraca, moderada, severa ou extrema.

O evento de seca inicia com o SPEI negativo atingindo o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos. De acordo com a sua escala, magnitudes menores ou iguais a -2 indicam seca extrema como se visualiza na Tabela 3. O mesmo critério, de ordem inversa, foi adotado para os eventos úmidos.

Tabela 3- Categorias de eventos de seca

Índice de seca	Categoria
$\geq +2,00$	Umidade extrema
+1,50 a +1,99	Umidade severa
+1,00 a +1,49	Umidade moderada
0 a +1,00	Umidade fraca
0 a -0,99	Seca fraca
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
$\leq -2,00$	Seca extrema

Fonte: Adaptado pelo autor de McKee, Doesken e Kleist (1993).

Neste estudo todos os eventos de seca SPEI-1 entre janeiro de 1983 e dezembro de 2022 foram considerados na análise. Foram utilizados quatro parâmetros para caracterizar os diferentes eventos:

- duração: número de meses entre o primeiro e o último mês do evento;
- severidade: é a soma absoluta de todos os valores de SPEI-1 no tempo de duração do evento;
- intensidade: valor calculado pela razão severidade e duração;
- pico: maior valor absoluto do SPEI-1 registrado durante o evento de seca.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Alterações do uso e cobertura da terra

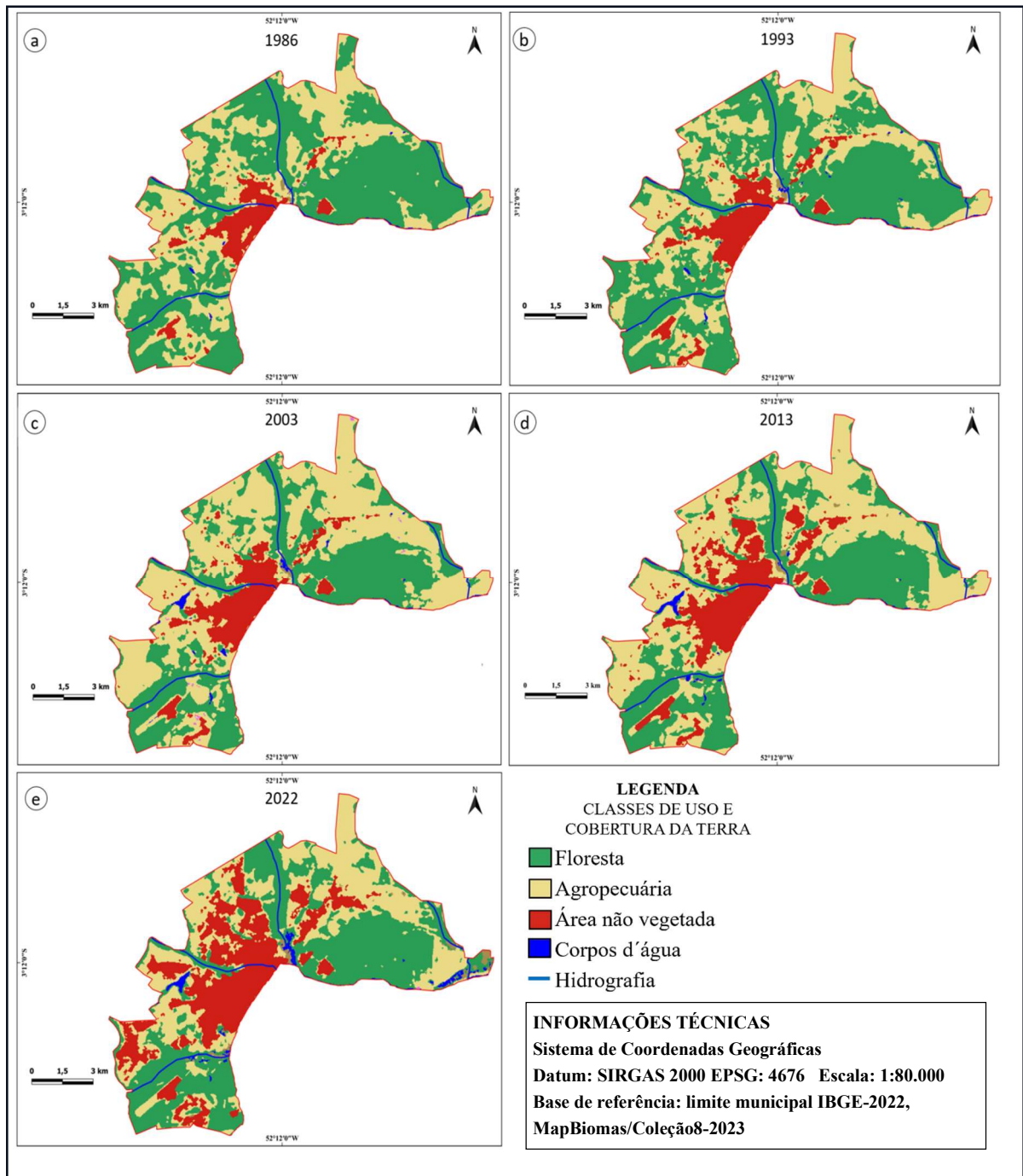
O mapeamento e monitoramento do uso e cobertura da terra é determinante para o entendimento e planejamento de ações em uma região e variam de acordo com a qualidade dos mapas, escalas compatíveis, detalhadas e parâmetros adequados. Entre diversos tipos de projetos que utilizam diferentes metodologias na criação de mapas de uso da terra, a dinâmica do projeto Mapbiomas permite diversas aplicações. Alguns exemplos são o planejamento urbano, recuperação de áreas degradadas, análise de impactos ambientais de empreendimentos, monitoramento de biodiversidade, agricultura, desmatamentos e efeitos das mudanças climáticas (Rosa, 2020).

Neves *et al.* (2020) apontam em seu estudo as concordâncias de 87,4% e 92% entre os projetos TerraClass x MapBiomas 2 e 3, respectivamente, considerando o período de 2004 a 2014. O projeto TerraClass é uma parceria entre instituições governamentais para geração de mapas de uso e cobertura das terras da Amazônia Legal brasileira.

A avaliação do uso e cobertura da terra do perímetro urbano de Altamira-PA, entre 1986 e 2022 demonstra alterações significativas nas classes de área não vegetada e de floresta.

Os primeiros mapas analisados (Figura 16a, b, c, d e e) exibem uma presença inicial e de expansão urbana (área não vegetada) às margens do rio Xingu, de menor densidade em (a) para uma área mais extensa e consolidada em (e). Observa-se também a maior densidade de floresta em (a) e (b), modificadas para outros tipos de classes em (c), (d) e (e).

Figura 16- Uso e cobertura da terra do perímetro urbano de Altamira: (a) 1986, (b) 1993, (c) 2003, (d) 2013 e (e) 2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

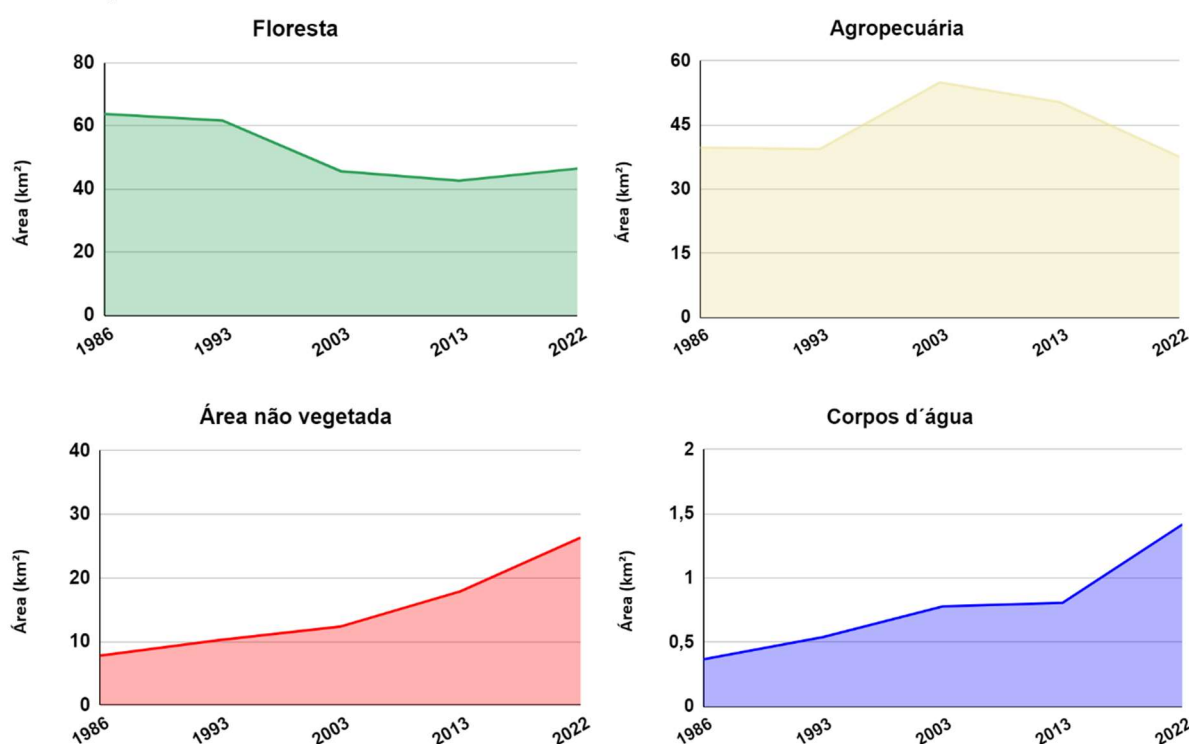
Conforme os dados destacados na Tabela 4 e representados espacialmente em diferentes escalas na Figura 17, as três classes predominantes em todos os anos são: floresta, agropecuária e área não vegetada, e correspondem a área total de 99,7% em 1986 e a 98,7% em 2022. Ou seja, não ocorreu o surgimento de uma nova classe ou o aumento significativo de uma outra classe.

Tabela 4- Classes de uso e cobertura da terra em Altamira (1986 - 2022)

Classes	1986		1993		2003		2013		2022	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Floresta	63,7	57,1%	61,6	55,2%	45,6	40,9%	42,6	38,2%	46,4	41,6%
Agropecuária	39,7	35,6%	39,2	35,1%	52,9	47,4%	50,3	45,1%	37,4	33,5%
Área não vegetada	7,8	7,0%	10,3	9,2%	12,3	11,0%	17,9	16,0%	26,4	23,6%
Corpos d'água	0,4	0,3%	0,5	0,5%	0,8	0,7%	0,8	0,7%	1,4	1,3%
Total	111,6	100%	111,6	100%	111,6	100%	111,6	100%	111,6	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17- Alterações de área nas classes de uso e cobertura da terra em Altamira (1986 - 2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe de floresta apresentou uma redução de 27,2% no período total de estudo. Essa variação chegou a ser de 30,8% entre 1986 e 2013, porém, na última década estudada ocorreu o aumento da classe. Oliveira (2017) relata que de 2009 a 2014, Altamira manteve taxas elevadas de desmatamento, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Por outro lado, o aumento da classe de floresta pode ser justificado pelos programas de reflorestamento ou compensação ambiental da construção da usina de Belo Monte (Silva *et al.*, 2020).

Especificamente no perímetro urbano de Altamira, Almeida *et al.* (2022) avaliaram os incêndios entre 2011 e 2020, destacando que 57,9% ocorreram em vegetação, sem um detalhamento específico de área ou tipo.

Inicialmente, na segunda década a classe agropecuária apresentou um aumento de 33% de área, mas, na terceira e principalmente na última década foi reduzida chegando a -5,8% de área com relação ao ano inicial, havendo nesta década uma redução de 25,6%.

A classe de área não vegetada avançou em todo o período analisado, com as maiores variações nas décadas de 2003-2013 e 2013-2022, de 45,5% e 47,5%, respectivamente. A área total aumentou em 238,5% em todo o período.

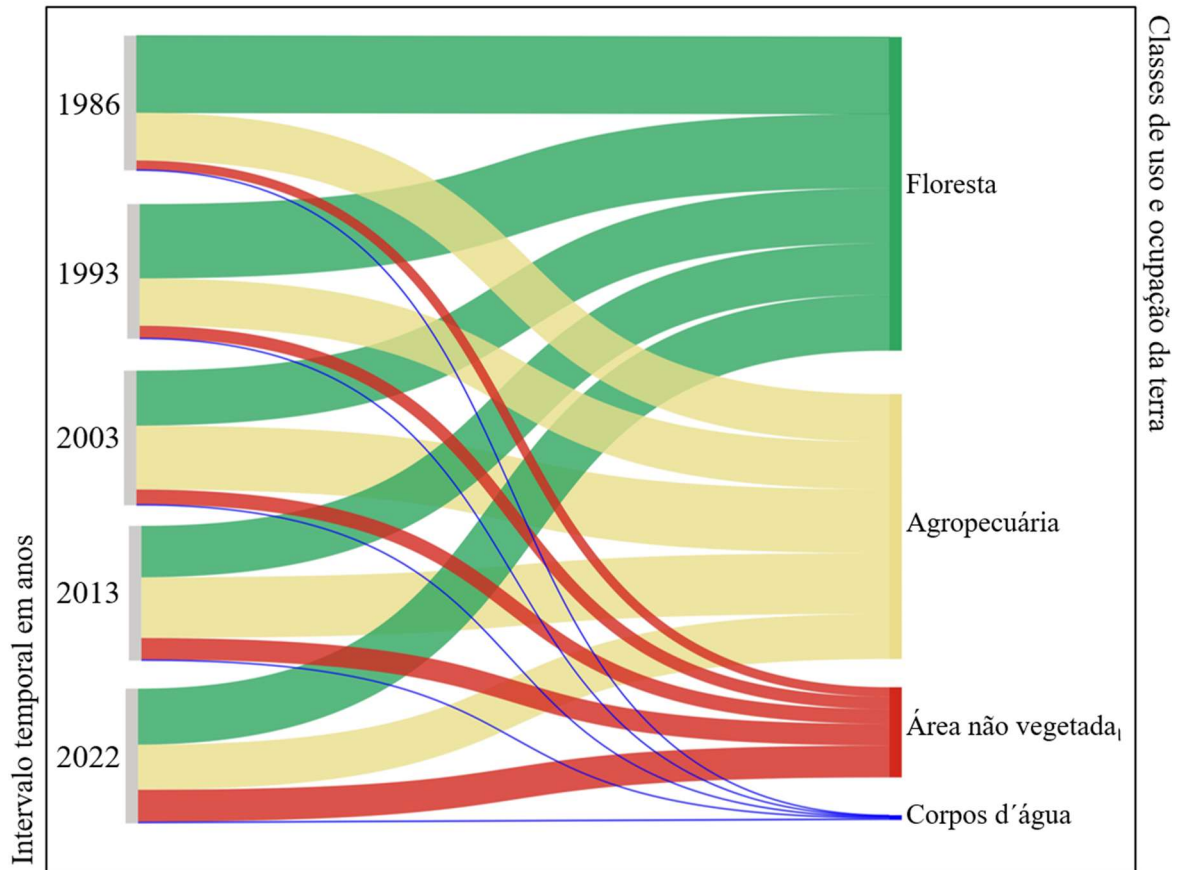
Hirye, Alves e Kux (2015) destacam as alteração de cobertura da terra na década de 2000-2010 como uma dinâmica acelerada de transformação do município. Miranda Neto e Herrera (2017) consideram este período como a consolidação do povoamento da região urbana, de forma não planejada, em virtude de dificuldades no setor agrícola em outras cidades. E, a partir de 2011 inicia-se um novo período de expansão com loteamentos, reassentamentos e aumento da população em virtude da construção da usina hidrelétrica de Belo Monte.

Em concordância com este estudo, os resultados encontrados na análise realizada por Mapbiomas (2023), sobre a evolução anual da cobertura e uso da terra no bioma Amazônia, entre 1985 e 2022, demonstram que ocorreram perdas de área de floresta e aumento de área não vegetada. As área aproximadas são de 51Mha (13,5%) de floresta e de 0,5Mha (350%) para a área não vegetada.

A classe de corpos d'água apresentou um aumento de 75% (0,6 km²) entre 2013 e 2022. Silva *et al.* (2020) detalham que o motivo foi o redimensionamento nos corpos d'água, alterando-se as cotas de fundo e largura da base das seções ao longo dos mesmos, enquanto que famílias tiveram que ser realocadas nas áreas atingidas pelos alagamentos decorrentes do lago da usina.

O diagrama da Figura 18 ilustra as classes de uso e cobertura da terra ao longo de cada ano e relaciona os percentuais de cada área com as respectivas classes. Os cinco eixos da esquerda correspondem ao intervalo temporal analisado, com informações dos anos de 1986, 1993, 2003, 2013 e 2022, guardadas as mesmas proporções entre eles, por tratar-se da mesma área de análise. Os dados do eixo direito do diagrama estão organizados em ordem decrescente, de modo que cada classe esteja ligada aos eixos da esquerda, representando o percentual e fluxo de cada área.

Figura 18- Diagrama de *Sankey* do uso e cobertura da terra em Altamira (1986 - 2022)



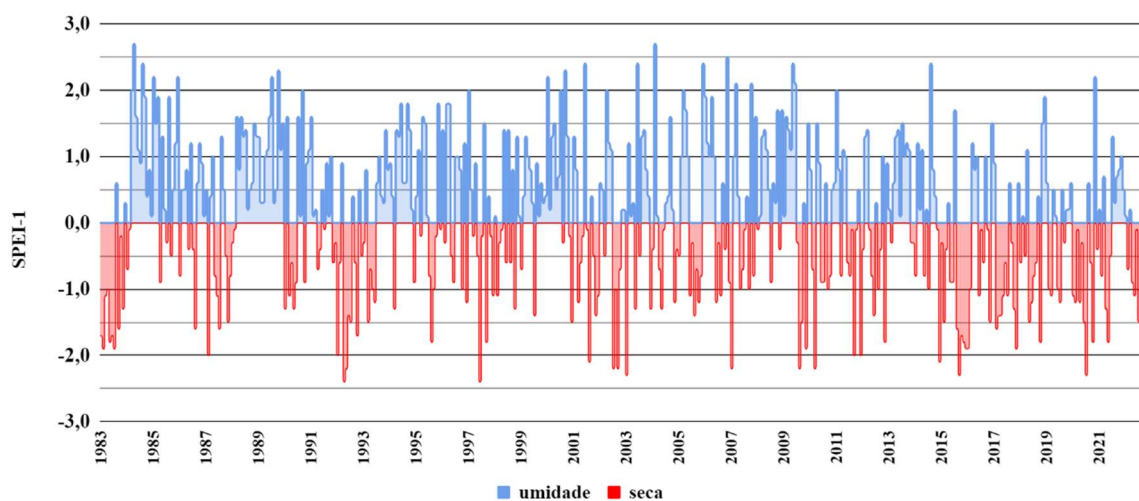
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que a classe de floresta, de maior proporção em todos os anos, possui as maiores contribuições, ou fluxos, seguida pela classe agropecuária. A classe de área não vegetada possui um aumento gradual ao longo dos anos, percebido pelo aumento do fluxo. Proporcionalmente, a classe de corpos d'água possui um fluxo quase constante.

5.2 Eventos de seca SPEI-1

A série do SPEI na escala de tempo de um mês para o perímetro urbano de Altamira-PA, de acordo com a evolução do índice entre 1983 e 2022, está representada na Figura 19. Os valores positivos (em azul) indicam as categorias de umidade e valores negativos (em vermelho) as categorias de seca.

Figura 19- Índice SPEI-1: variabilidade anual no perímetro urbano de Altamira (1983 - 2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que não há uma predominância de eventos. Segundo McKee, Doesken e Kleist (1993), como o período de um mês é considerado curto, é comum encontrar variações frequentes em resposta rápida às mudanças de precipitação. No total foram identificados 221 meses de seca e 259 de umidade, o que corresponde a 46% e 54%, respectivamente.

Porém, é possível perceber que eventos de umidade foram mais frequentes na primeira década, entre 1983 e 1992, quando comparado à última década. O oposto ocorreu com eventos de categoria de seca, sendo menos frequente na primeira década e mais frequente na última, entre 2013 e 2022.

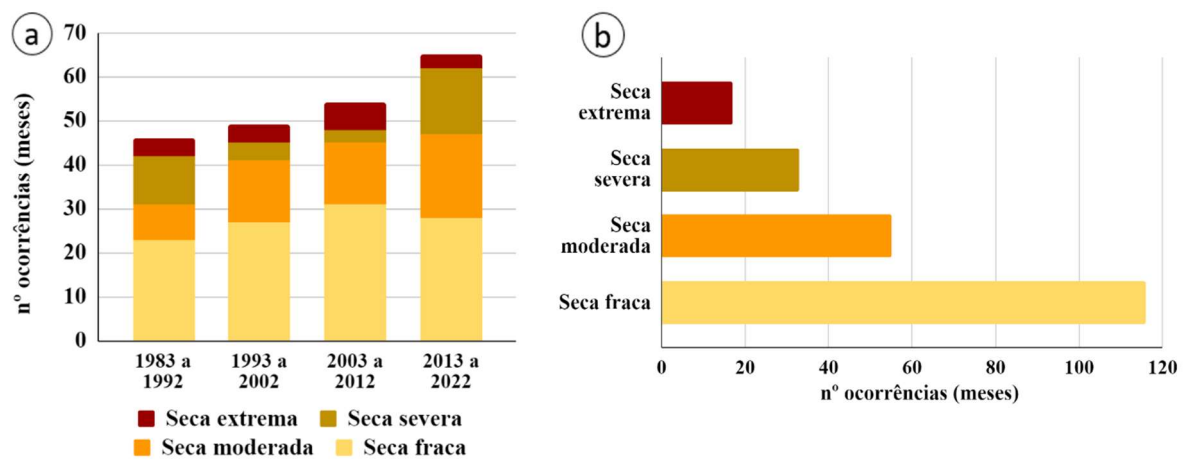
Da mesma forma percebe-se que as secas extremas, de maior categoria, com $SPEI \leq -2,00$, ocorreram nos anos de 1987, 1992, 1997, 2001, 2002, 2003, 2007, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, e 2020. Estes resultados condizem com os eventos apontados na literatura por Asner e Alencar (2010); Sena *et al.* (2012); Magano Junior (2014); Bagley *et al.* (2014); Serrão *et al.* (2015); Marengo e Espinoza (2016); Oliveira (2017); Gomes *et al.* (2018); Alencar *et al.* (2015), Cunha *et al.* (2019); Reis *et al.* (2021) e Pereira *et al.* (2021); devido à sua extensão, intensidade e impactos, juntamente com outros que chamaram a atenção da sociedade nos anos de 1983, 1995, 1998 e 2005.

Os eventos de umidade extrema ($\geq +2,00$) identificados nos anos de 1984, 1985, 1989, 1990, 1997, de 2000 a 2007, 2009, 2011, 2014 e 2020 estão relacionados a chuvas intensas e inundações e são encontrados na literatura como por exemplo Marengo e Espinoza (2016) e Oliveira (2017).

Observa-se na Figura 20a que ocorreu um aumento gradual do número de eventos de seca, considerando-se o somatório de meses, em quatro décadas, representando um total de 44%. A seca fraca teve o menor aumento (28%), seguida da seca extrema (33%), severa (36%) e moderada (138%). Destaca-se ainda a última década com o maior aumento de secas de categoria moderada e severa.

Ne Figura 20b temos o número de ocorrência de cada categoria de seca sendo predominante a seca fraca (52%), seguida pela moderada (25%), severa (15%) e extrema (8%).

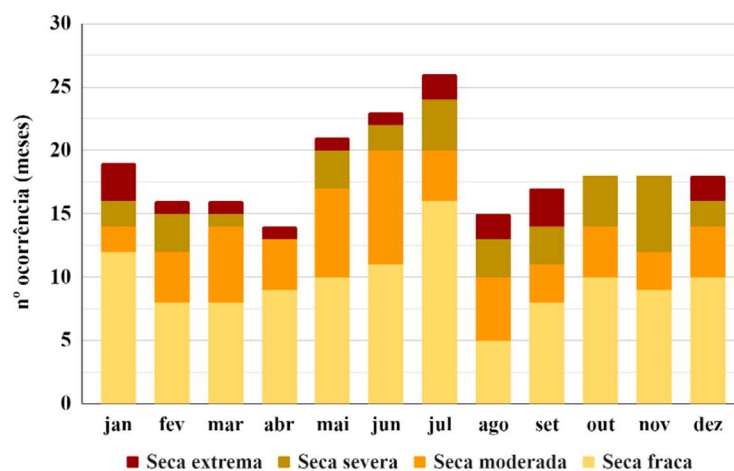
Figura 20- Eventos de seca SPEI-1. a) variabilidade por década b) nº ocorrência



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 21 apresenta-se a variabilidade mensal para o período de 40 anos.

Figura 21- Eventos de seca SPEI-1: variabilidade mensal (1983 - 2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

O trimestre de maio, junho e julho concentram a maior quantidade de eventos, num total aproximado de 32% do ano. Enquanto o trimestre de fevereiro, março e abril corresponde ao menor período de ocorrência, com 21% dos eventos. Nota-se que o mês de agosto apresenta um evento a menos do que o mês de abril, porém percebe-se que a ocorrência de seca de categoria fraca é menor, o que pode ser explicado por ser um mês do período menos chuvoso, entre junho e novembro.

Com relação às duas maiores categorias de seca (severa e extrema), o trimestre de julho, agosto e setembro teve a maior ocorrência, enquanto o trimestre de menor ocorrência foi fevereiro, março e abril.

Um ponto de atenção são os meses de outubro e novembro que não apresentaram nenhum evento de seca extrema. E o mês de janeiro que apresentou o mesmo número de seca extrema do que setembro, o que pode ser explicado por atrasos no início de períodos chuvosos ou o prolongamento de secas, pois janeiro é o segundo mês do período chuvoso. No mesmo sentido, o mês de dezembro também apresentou eventos de seca severa e extrema similares ao mês de janeiro.

De maneira geral, os resultados podem ser explicados pelo período menos chuvoso, entre junho e novembro e pelo período chuvoso, entre dezembro e maio.

5.2.1 Características dos eventos de seca

Os eventos de seca SPEI-1 de maior duração, intensidade, severidade e pico foram destacados na Tabela 5, conforme os critérios estabelecidos para este estudo. Foram identificados 101 eventos de seca, sendo que três apresentaram a maior duração de 7 meses, nos anos de 1983, 2015/2016 e 2020. A seca de 2015 é apontada como a mais severa com valor de 12,30. Os eventos de 2015/2016 e 2020 apresentaram pico de 2,30, valor próximo ao máximo para o período.

A seca de 2003 se destaca como a mais intensa, com valor de 2,30 e com duração de apenas um mês e pico de mesmo valor, muito próximo ao valor máximo para o período.

Houveram dois eventos similares com maior pico de 2,40 (seca extrema), em 1992 e 1997, com duração de quatro e três meses, respectivamente.

A literatura aponta que os três grandes últimos eventos de seca na Amazônia ocorrem em 2005, 2010 e 2015 e os principais impactos gerados foram ambientais e socioeconômicos (Sena *et al.*, 2012; Serrão *et al.*, 2015; Gomes *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2021).

Tabela 5- Eventos de seca para SPEI-1 entre 1983 e 2022

data de início	data de término	duração (meses)	severidade	intensidade	pico
SPEI-1					
01/1983	07/1983	7	11,10	1,59	1,90
09/1983	11/1983	3	3,10	1,03	1,60
01/1984	02/1984	2	0,70	0,35	0,70
04/1985	04/1985	1	0,90	0,90	0,90
07/1985	07/1985	1	0,30	0,30	0,30
09/1985	09/1985	1	0,50	0,50	0,50
01/1986	01/1986	1	0,80	0,80	0,80
05/1985	05/1985	1	0,40	0,40	0,40
07/1986	08/1986	2	2,00	1,00	1,60
02/1987	02/1987	1	2,00	2,00	2,00
05/1987	07/1987	3	3,50	1,17	1,60
10/1987	01/1988	5	3,10	0,62	1,50
01/1990	01/1990	1	1,30	1,30	1,30
03/1990	06/1990	4	3,90	0,98	1,30
10/1990	10/1990	1	0,90	0,90	0,90
04/1991	05/1991	2	1,10	0,55	0,70
07/1991	07/1991	1	0,10	0,10	0,10
11/1991	02/1992	4	3,50	0,88	2,00
04/1992	07/1992	4	7,50	1,88	2,40
09/1992	10/1992	2	2,30	1,15	1,70
12/1992	01/1993	2	0,80	0,40	0,50
03/1993	06/1993	4	4,40	1,10	1,50
03/1994	03/1994	1	1,30	1,30	1,30
12/1994	12/1994	1	0,90	0,90	0,90
03/1995	03/1995	1	0,20	0,20	0,20
07/1995	10/1995	4	3,80	0,95	1,80
12/1995	12/1995	1	0,10	0,10	0,10
02/1996	02/1996	1	0,30	0,30	0,30
05/1996	06/1996	2	1,40	0,70	0,90
10/1996	10/1996	1	1,00	1,00	1,00
12/1996	12/1996	1	1,20	1,20	1,20
03/1997	03/1997	1	0,20	0,20	0,20
05/1997	07/1997	3	3,10	1,03	2,40
09/1997	09/1997	1	1,80	1,80	1,80
11/1997	12/1997	2	1,30	0,65	1,10
02/1998	04/1998	3	1,50	0,50	1,10
06/1998	06/1998	1	0,60	0,60	0,60
08/1998	08/1998	1	0,60	0,60	0,60
10/1998	10/1998	1	1,30	1,30	1,30
01/1999	01/1999	1	0,70	0,70	0,70
07/1999	07/1999	1	1,40	1,40	1,40
08/2000	08/2000	1	0,30	0,30	0,30
11/2000	12/2000	2	1,70	0,85	1,50
03/2001	05/2001	3	2,00	0,67	1,20
07/2001	08/2001	2	2,20	1,10	2,10
10/2001	12/2001	3	3,00	1,00	1,10
03/2002	03/2002	1	0,50	0,50	0,50
07/2002	10/2002	4	6,10	1,53	2,20
01/2003	01/2003	1	2,30	2,30	2,30

data de início	data de término	duração (meses)	severidade	intensidade	pico
05/2003	05/2003	1	1,30	1,30	1,30
07/2003	07/2003	1	0,50	0,50	0,50
12/2003	01/2004	2	1,70	0,85	1,30
04/2004	06/2004	3	2,10	0,70	1,30
11/2004	01/2005	3	2,10	0,70	1,20
06/2005	11/2005	6	5,50	0,92	1,40
06/2006	08/2006	3	2,60	0,87	1,20
10/2006	10/2006	1	0,40	0,40	0,40
12/2006	01/2007	2	3,10	1,55	2,20
05/2007	07/2007	3	1,80	0,60	1,00
09/2007	09/2007	1	1,00	1,00	1,00
11/2007	11/2007	1	0,80	0,80	0,80
01/2008	01/2008	1	0,10	0,10	0,10
07/2008	07/2008	1	0,90	0,90	0,90
11/2008	11/2008	1	0,40	0,40	0,40
07/2009	09/2009	3	4,00	1,33	2,20
11/2009	11/2009	1	1,90	1,90	1,90
02/2010	03/2010	2	2,90	1,45	2,20
06/2010	07/2010	2	1,80	0,90	0,90
09/2010	10/2010	2	1,80	0,90	1,00
03/2011	03/2011	1	0,80	0,80	0,80
06/2011	10/2011	5	3,50	0,70	2,00
12/2011	01/2012	2	2,40	1,20	2,00
04/2012	06/2012	3	2,30	0,77	1,40
08/2012	09/2012	2	1,40	0,70	1,00
11/2012	11/2012	1	1,80	1,80	1,80
02/2013	02/2013	1	0,30	0,30	0,30
11/2013	01/2014	3	1,40	0,47	0,80
05/2014	05/2014	1	0,80	0,80	0,80
07/2014	07/2014	1	1,00	1,00	1,00
11/2014	03/2015	5	4,40	0,88	2,10
05/2015	06/2015	2	1,80	0,90	0,90
08/2015	02/2016	7	12,20	1,74	2,30
06/2016	08/2016	3	1,70	0,57	1,10
10/2016	11/2016	2	1,60	0,80	1,50
02/2017	07/2017	6	7,20	1,20	1,60
09/2017	11/2017	3	3,50	1,17	1,90
01/2018	01/2018	1	0,60	0,60	0,60
03/2018	03/2018	1	0,50	0,50	0,50
05/2018	08/2018	4	4,10	1,03	1,50
10/2018	10/2018	1	1,80	1,80	1,80
02/2019	03/2019	2	2,10	1,05	1,10
06/2019	07/2019	2	2,20	1,10	1,20
09/2019	09/2019	1	0,30	0,30	0,30
01/2020	07/2020	7	7,60	1,09	2,30
09/2020	10/2020	2	2,40	1,20	1,80
12/2020	12/2020	1	0,40	0,40	0,40
02/2021	02/2021	1	0,80	0,80	0,80
04/2021	06/2021	3	3,60	1,20	1,80
02/2022	02/2022	1	0,70	0,70	0,70
04/2022	09/2022	6	5,30	0,88	1,50
11/2022	12/2022	2	0,10	0,05	0,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gomes *et al.* 2018 relatam que em 2015 a estiagem previsto para durar até outubro, se estendeu até dezembro e as médias mensais de precipitação foram abaixo em relação aos anos de 2005 e 2010.

Em seu estudo, Pereira *et al.* (2021) destacam os principais impactos das secas de 2005, 2010 e 2015 na Amazônia, sendo eles o aumento da média diária de temperatura do ar acima de 32,0°C, valores de umidade relativa do ar próximos de 20%, considerados muito abaixo da média na região, e aumento no consumo de energia elétrica residencial em até 200GWh. Os autores apontam que em 2005 foi observado o aumento da temperatura média do ar em Altamira/PA. Outro destaque foi o fator de risco de ocorrência de incêndios florestais muito alto no município nos anos de 1992, 1997, 2005, 2010 e 2015, apresentando números superiores em relação a anos normais. Por fim, os autores relatam que a seca de 2005 é considerada uma das mais intensas dos últimos cem anos.

Serrão *et al.* (2015) enfatizam que as secas de 2005 e 2010 foram as duas maiores secas na Amazônia nos últimos 112 anos.

Em outro estudo, Sena *et al.* (2012) descrevem que as secas de 2005 e 2009 na região amazônica causaram o aumento do isolamento das comunidades afetadas pela navegação, devido à baixa dos rios e dificuldade para transporte de óleo diesel para geração de energia, alimentos, medicamentos e acesso a outros bens e serviços vitais. A redução e falta de água também afetou a pesca e disponibilidade de água de poços, recarregados por meio de infiltração de água de chuva.

Por outro lado, em seu estudo sobre o efeito da seca na saúde da população, Gomes *et al.* (2018) constataram que entre os anos 2000 e 2015 o município de Altamira não apresentou associação significativa entre o número de hospitalizações por doenças respiratórias e períodos de precipitação reduzida.

Na região de Altamira, agricultores familiares relataram que o aumento do desmatamento provocou a intensidade da estiagem e atraso do período chuvoso no inverno. Por consequência ocorrem imprevistos e riscos associados ao calendário agrícola que precisa ser alterado. Além da mudança das chuvas foi citado o aumento da sensação de calor e dificuldades com a produção agrícola e de animais (Rocha; Almeida, 2013).

Asner e Alencar (2010) alertam sobre impactos ecológicos da seca na Amazônia cujos incêndios ocorrem com mais incidência nos períodos de seca, com significativo impacto nas áreas de várzea. E complementam que o uso da terra afeta as condições naturais da floresta além de aumentar a susceptibilidade ao fogo durante a seca.

Martinez, Fiedler e Lucatelli (2007) concluíram em seu estudo realizado em Altamira que existe uma relação positiva entre focos de calor e desflorestamentos, em especial em áreas onde ocorreu a conversão de áreas de floresta em pastagens.

De acordo com Sodré, Souza e Moraes (2021), o total de focos de incêndio tende a oscilar conforme a condição meteorológica favorece ou desfavorece a sua ocorrência, fato observado nos anos de 2005, 2010 e 2015 quando ocorreram secas graves na região amazônica. A relação entre seca e desmatamento ainda não está bem estabelecida, porém percebe-se uma maior probabilidade de ocorrência de secas em áreas onde a vegetação natural foi afetada e já ocorreram queimadas (Marengo; Espinoza, 2016).

Da mesma forma, para Sodré *et al.* (2015), a diminuição da precipitação não pode ser atribuída somente ao desmatamento, devido aos diversos fenômenos meteorológicos responsáveis pela modulação da precipitação no período chuvoso da Amazônia.

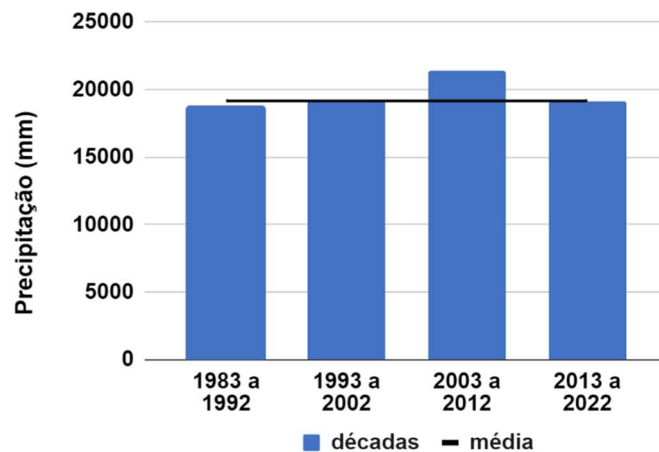
Para Staal *et al.* (2020), as alterações climáticas globais são o principal motivo das secas, porém a relação de retroalimentação desmatamento - seca é pequena, mas crescente, e exige esforços para ser contida. O desmatamento no sudoeste da Amazônia reduz as chuvas regionalmente, embora esse desmatamento em si seja facilitado pelas secas.

Serrão *et al.* (2015) relatam que a Amazônia vem sofrendo com eventos extremos cada vez mais intensos e em curto espaço de tempo entre cada evento, por isso a necessidade de monitoramento contínuo no auxílio à prevenção e mitigação de eventos extremos.

5.2.2 Características da precipitação, cotas do rio Xingu e temperatura do ar

Durante as quatro décadas avaliadas neste estudo, o volume de precipitação acumulada permaneceu próximas à média de 19.152,94mm, com exceção do período entre 2003 e 2012, o qual apresentou um aumento de 11% em relação à média, conforme se observa na Figura 22.

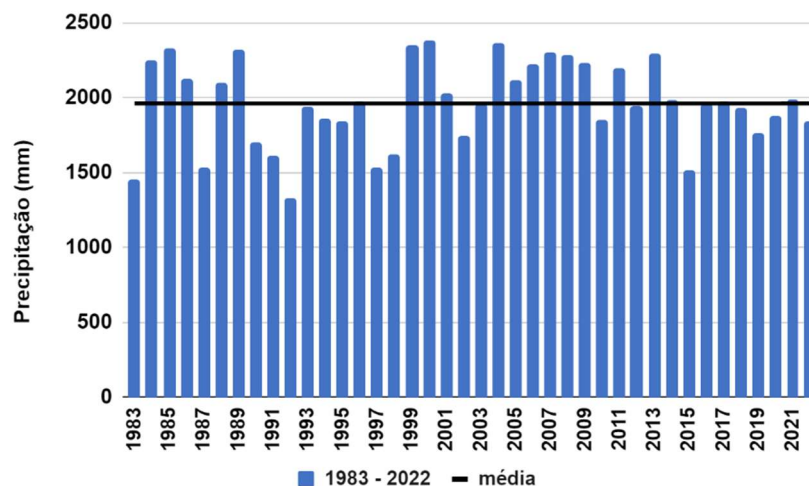
Figura 22- Precipitação acumulada por década (1983 - 2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação a variabilidade anual, nota-se na Figura 23 que os anos de 1987, 1992, 1997, 2002, 2003, 2010, 2015 e 2020 em que ocorreram secas extremas, apresentaram precipitação abaixo da média do período de estudo. Os menores volumes registrados foram nos anos de 1983, 1992 e 2015. Apesar das seca de 2005 ter sido considerada de categoria extrema, neste ano o volume de chuvas foi acima da média.

Figura 23- Variabilidade anual da precipitação (1983 - 2022)

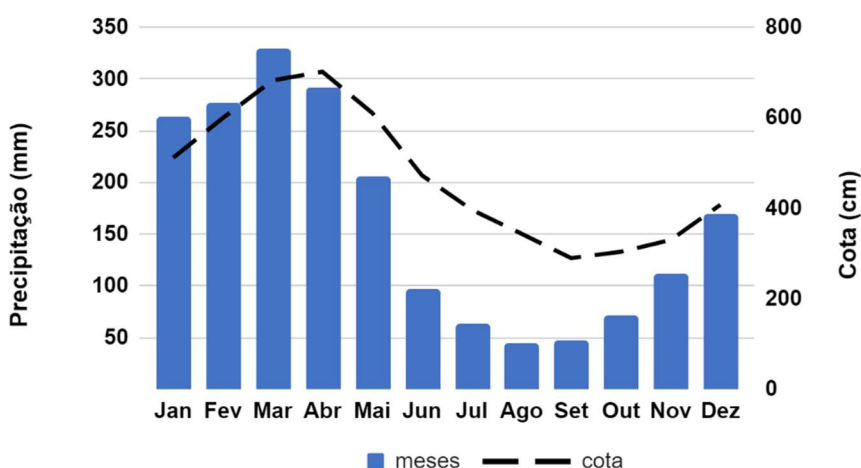


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 24 ilustra a variabilidade da cota do rio Xingu e da precipitação e compara os dados mensais. Os maiores valores médios mensais de cotas ocorreram em março (683 cm), abril (702 cm) e maio (611 cm) e o trimestre mais chuvoso nos meses de fevereiro, março e

abril, com valores aproximados entre 275mm e 328mm. Estes três meses correspondem a 45% da precipitação anual.

Figura 24- Variabilidade mensal da precipitação (1983 - 2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os menores volumes de precipitação correspondem aos meses de julho, agosto e setembro, atingindo valores entre 43mm e 62mm associados aos menores valores de cotas nos meses de setembro (290 cm), outubro (304 cm) e novembro (330 cm).

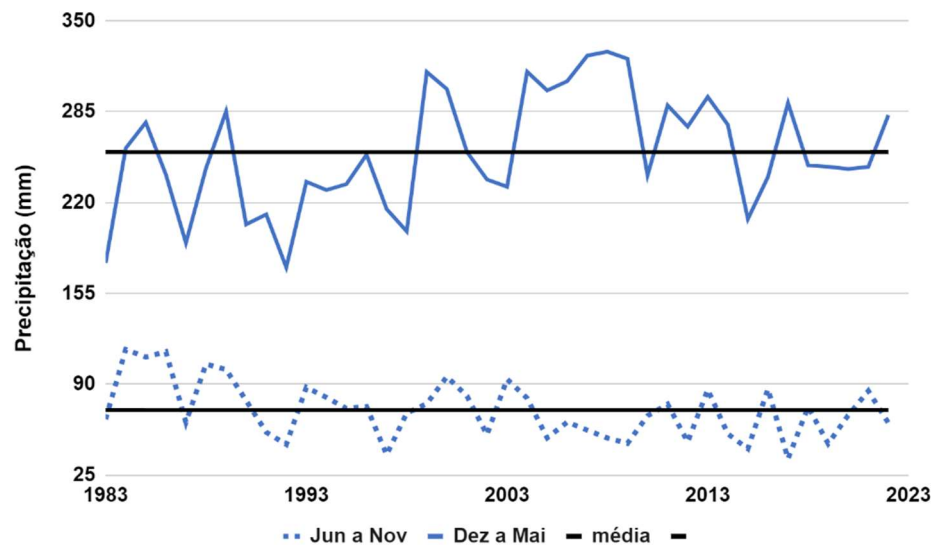
Essa variabilidade sazonal caracteriza dois períodos distintos no ano, sendo um período chuvoso, compreendido de dezembro a maio, e um período menos chuvoso, entre junho e novembro.

Franco *et al.* (2015) apontam que a fluviometria do rio Xingu, na região de Altamira-PA, apresenta o regime de cheia nos meses de março a maio e regime de vazante nos meses de agosto a outubro, com picos mínimo de 260cm e máximo de 682cm. Em seu estudo Abreu *et al.* (2007); Gomes *et al.* (2018) e Almeida *et al.* (2022) ressaltam o mês de março como o mais chuvoso e o trimestre de julho a setembro o de menor precipitação em Altamira. Outros estudos também confirmam as características de precipitação e fluviometria apresentadas como Magano Junior (2014) e Oliveira (2017).

A precipitação média anual no período chuvoso possui um comportamento de crescimento ao longo dos anos, com a maioria dos valores abaixo da média mensal de 256mm nas duas primeiras décadas e valores acima da média nas duas últimas décadas. O oposto ocorre no período menos chuvoso, com a precipitação apresentando um comportamento de redução, com a maioria dos valores acima da média mensal de 71,5mm nas duas primeiras

décadas e valores abaixo da médias nas duas últimas décadas. Estas condições podem ser observadas na Figura 25.

Figura 25- Precipitação anual nos período chuvoso e menos chuvoso (1983 - 2022)

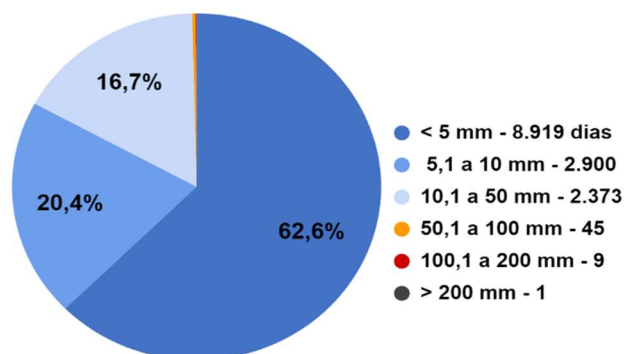


Fonte: Elaborado pelo autor.

Magano Junior (2014) observa em seu estudo no município de Altamira, que a precipitação é caracterizada por uma variabilidade sazonal significativa, com oscilações em torno da média relacionadas ao ENOS e atuação da ZCIT.

Na figura 26 tem-se a representação da variabilidade de precipitação por intervalos de quantidade em mm. Em 62,6% dos dias ocorreram chuvas de até 5mm, 20,4% dos dias ocorreram chuvas entre 5,1 e 10mm e em 16,7% ocorreram chuvas entre 10,0 e 50mm. Em 55 dias do período avaliado ocorreram precipitações acima de 50mm/dia, no entanto, não foi evidenciado nenhuma alteração significativa nas cotas do rio Xingu. Nenhuma precipitação foi registrada em 333 dias do período avaliado.

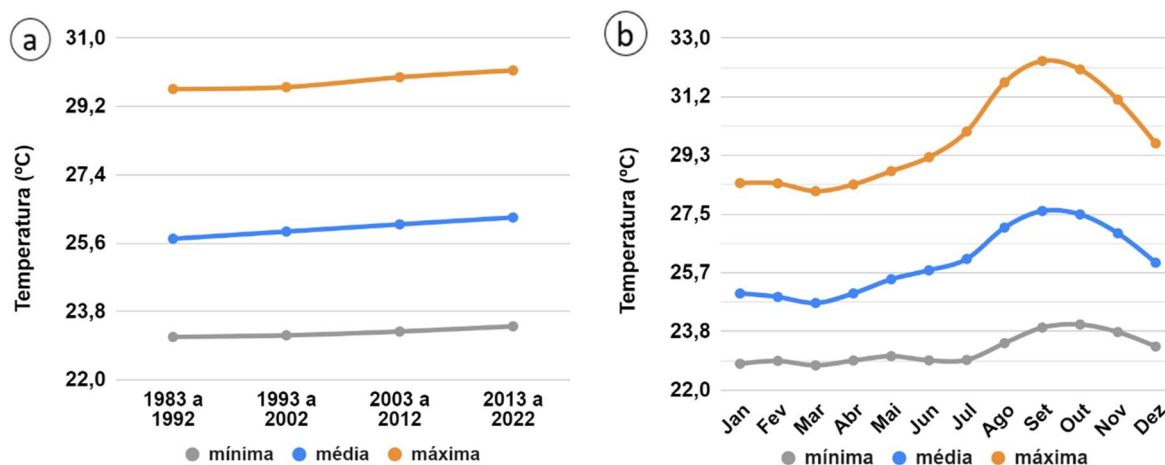
Figura 26- Variabilidade de precipitação diária (1983 - 2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a média das variações da temperatura do ar na Figura 27a, observa-se durante as quatro décadas, um aumento gradual da temperatura do ar mínima, média e máxima. A temperatura mínima aumentou em 0,3°C, de 23,1°C para 23,4°C, a média em 0,6°C, de 25,7°C para 26,3°C, e a máxima em 0,5°C, de 29,7°C para 30,2°C.

Figura 27- Temperatura do ar. (a) variabilidade por década, (b) variabilidade mensal



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 27b apresenta-se a variabilidade média mensal da temperatura do ar, com mínimas nos meses de janeiro (22,8°C), fevereiro (22,9°C) e março (22,8°C), enquanto as máximas ocorreram em agosto (31,6°C), setembro (32,3°C) e outubro (32,0°C).

A amplitude térmica mensal é menor no mês de março com valor próximo de 5,4°C, seguido de fevereiro com 5,5°C e janeiro com 5,6°C. A maior amplitude ocorreu no mês de setembro com 8,3°C, seguido de agosto com 8,1°C e outubro com 8,0°C. E a diferença entre as temperaturas médias do mês mais quente e menos quente foi de 2,9°C.

Abreu *et al.* (2007) destacam em seu estudo que a temperatura de Altamira apresenta características de isoterma (amplitude $< 3,0^{\circ}\text{C}$), não havendo variações estacionais sensíveis, corroborando os dados encontrados no presente estudo.

De forma complementar, os resultados estão de acordo com a tendência global. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), revela que a média da temperatura global aumentou em $1,0^{\circ}\text{C}$ desde a era pré-industrial (1850 - 1900) e as projeções indicam chegar em $1,5^{\circ}\text{C}$ até 2040, se a taxa de aumento for mantida (Undrr, 2021; Ipcc, 2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As secas estão presentes no perímetro urbano de Altamira-PA ao longo de todos os anos do recorte temporal do presente estudo, com variação entre as categorias, ainda que a região amazônica apresente grandes volumes pluviométricos com variabilidade anual.

A avaliação do uso e cobertura da terra observadas entre 1986 e 2022, demonstra alterações significativas com a redução da classe de floresta, e expansão contínua de área não vegetada. A construção da rodovia Transamazônica e da hidrelétrica de Belo Monte provocaram o aumento da população e expansão da área urbana do município, no entanto, com uma ocupação desordenada e elevadas taxas de desmatamento local. Além de possuir uma alta incidência de incêndios florestais por vários anos, a agricultura familiar se consolidou na região, com o uso de fogo para preparar o solo para fins agrícolas ou de pastagem.

Os resultados do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração - SPEI-1 indicam que o número de eventos de seca aumentou em todas as categorias entre 1983 e 2022, sendo maior nas categorias moderada e severa.

Os eventos de seca distribuídos ao longo de toda a escala temporal foram identificados com destaque para os impactos ambientais e socioeconômicos gerados em Altamira-PA, como o aumento da temperatura média do ar, o alto fator de risco de ocorrência de incêndios florestais, atrasos do período chuvoso e o aumento do consumo de energia elétrica.

O maior número de eventos de seca ocorre no trimestre de maio, junho e julho, e coincide parcialmente com o trimestre de maior ocorrência das secas de maior categoria (severa e extrema) que é julho, agosto e setembro. A menor ocorrência de seca ocorre no trimestre de fevereiro, março e abril, mesmo período de menor ocorrência das secas de maior categoria (severa e extrema). A variabilidade anual de precipitação confirma que em vários anos de ocorrência de secas extremas, a precipitação foi abaixo da média.

Estes resultados podem ser explicados pelas características de precipitação confirmadas entre 1983 e 2022, com um período menos chuvoso, entre junho e novembro, e um período chuvoso, entre dezembro e maio. A variabilidade de cotas do rio Xingu acompanham estes períodos e o regime de precipitação.

É relevante destacar que a precipitação média anual no período chuvoso possui um comportamento de crescimento ao longo dos anos, enquanto no período menos chuvoso, a precipitação apresentando um comportamento de redução.

As maiores temperaturas do ar ocorrem no período menos chuvoso e as menores no período chuvoso, com aumento das temperaturas mínima, média e máxima ao longo das quatro décadas.

A seca de 2015 destaca-se por ser a de maior duração, maior severidade, com valor de pico relevante, menor volume anual de precipitação, sendo parte da década de maior temperatura média do ar, e também pelos relatos na literatura, juntamente com as secas de 2005 e 2010.

Uma das limitações do presente estudo se refere a indisponibilidade de dados do projeto Mapbiomas referente ao ano de 1983. Assim, o primeiro ano de análise do uso e cobertura da terra foi realizado para o ano de 1986, sendo diferente do período considerado para as outras variáveis, que iniciou no ano de 1983.

Por fim, este estudo evidenciou que a alteração do uso e cobertura da terra com destaque para o desmatamentos e incêndio florestal, associados a redução da precipitação no período menos chuvoso e aumento da temperatura do ar, demonstram influência na ocorrência de seca e no aumento do número de eventos, em especial de magnitudes moderada e severa, no período de estudo.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. F. de; CARVALHO, L. C. de; MANHÃES, F. de P.; COSTA, M. C. G. Caracterização agroclimática da cidade de Altamira-PA no período de 1995-2005. XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, v. 15, 5p, 2007, Aracaju-SE. **Anais...** Aracaju, SE: SB Agro, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Monitor de secas do Brasil**. 2023. Disponível em: <http://monitordesecas.ana.gov.br/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

AHMADI, B.; AHMADALIPOUR, A.; MORADKHANI, H. Hydrological drought persistence and recovery over the CONUS: a multi-stage framework considering water quantity and quality. **Water Research**, v. 150, n. 1, p. 97-110, Mar. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.052>.

ALENCAR A. A.; BRANDO P. M.; ASNER G. P.; PUTZ F. E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493-1505, 2015. <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1890/14-1528.1>.

ALMEIDA, A. F. dos A. de; SANTOS JUNIOR, J. B. dos; LEÃO F. M.; ANDRADE, T. C. G. R. de. Incêndios em vegetação no perímetro urbano de Altamira, PA, no período de 2011 à 2020. **Revista Geoamazônia**, v. 10, n. 19, p. 23-42, 2022. ISSN: 2358-1778.

ASNER G. P.; ALENCAR A. Drought impacts on the Amazon forest: the remote sensing perspective. **New Phytologist**, v. 187, p. 569-578, Jul. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03310.x>.

BAGLEY J. E.; DESAI A. R.; HARDING K. J.; SNYDER, P. K.; FOLEY, J. A. Drought and deforestation: has land cover change influenced recent precipitation extremes in the Amazon? **Journal of Climate**, v. 27, n. 1, p. 345-361, Jan. 2014. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00369.1>.

BEGUERIA S.; VICENTE-SERRANO, S. M. **SPEI**: calculation of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index. 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=SPEI>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BOGART, S. SankeyMATIC. Disponível em <https://sankeymatic.com>. Acesso em: 28 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil (CEPED). **Atlas digital de desastres no Brasil**. Brasília, 2023. Disponível em: www.atlas.ceped.ufsc.br. Acesso em: 02 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Instrução normativa nº 01/2012**. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. Brasília, DF: 2012. Disponível em: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/208>. Acesso em: 07 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Manual de desastres**: desastres naturais. Brasília; Ministério da Integração Nacional; 2003. 174 p. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Publicacoes/Manual%20de%20Desastres%20-%20Vol.%20I%20-%20Desastres%20Naturais.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **GIRD + 10**: caderno técnico de gestão integrada de riscos e desastres. Brasília, 2021, 154p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Amazônia**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/amazonia>. Acesso em: 10 ago. 2023.

CARBONARI, L. T. **Modelo multicritério de decisão para o projeto de acampamentos temporários planejados voltados a cenários de desastre**. 2021. 409f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

CATANHO, P. A. G.; SILVA, E. M. da; GOMES, D. T.; ALVES, J. M. B. Alterações climáticas, incremento dos desastres e necessidades preventivas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 3, p. 517-528, Jul-Set. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786353012>.

CENTER FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). **Human cost of disasters**: an overview of the last 20 years (2000-2019). Belgium: CRED, 2020.

CENTER FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). **2022 Disasters in numbers**. Belgium: CRED, 2023. Disponível em: https://cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT_report.pdf. Acesso em: 16 mar. 2023.

CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL (CEPED). **Capacitação básica em proteção e defesa civil**. 5. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2014. . 157p.

CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL (CEPED). **Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995-2019**. 2. ed. Florianópolis: Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária (FAPEU). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Banco Mundial. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR). 2020. 156p.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Monitoramento de secas e impactos no Brasil; Risco da Seca na Agricultura Familiar (RiSAF)**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CHANGNON, S. A. Introduction; how to determine if drought is presente. *In*: CHANGNON, S. A. **Detecting drought conditions in Illinois**. Illinois State Water Survey, Champaign, 1987. (Circular 169).

CUNHA A. P. M. A.; ZERI M.; LEAL K. D.; COSTA L.; CUARTAS L. A.; MARENGO J. A.; TOMASELLA J.; VIEIRA R.M.; BARBOSA A. A.; CUNNINGHAM C.; GARCIA J. V. C.; BROEDEL E.; ALVALÁ R.; RIBEIRO-NETO G. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, p. 642, Oct. 2019. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>.

DING, Y.; Xu, J.; WANG, X.; CAI, H.; ZHOU, Z.; SUN, Y.; SHI, H. Propagation of meteorological to hydrological drought for different climate regions in China. **Journal of Environmental Management**, v. 283, n. 1, Apr. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111980>.

DRUMOND, A.; STOJANOVIC M.; NIETO R.; VICENTE-SERRANO S. M.; GIMENO, L. Linking anomalous moisture transport and drought episodes in the IPCC reference regions. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 100, n. 8, p. 1481-1498, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0111.1>.

FERREIRA T. S. G.; CORRÊA S. da S.; CIRILO, J. A. Caracterização de índices de seca na bacia do rio Brígida utilizando dados do ERA5. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 16 & SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 15., 2022, Caruaru-PE. **Anais[...]**. Caruaru: [s.n], 2022. XVISRHNE0142.

FRANCO, V. dos S.; SOUZA, E. B. de.; PINHEIRO, A. N.; DIAS, T. S. da S.; AZEVEDO, F. T. M. de.; SANTOS, J. C. do C. Evolução mensal da cota fluviométrica do rio Xingu em Altamira-PA associada aos eventos El Niño e La Niña. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 104-109, 2015. <https://doi.org/10.5902/2179460X16223>.

FREITAS, C. M. de.; SILVA, D. R. X.; SENA, A. R M. de.; SILVA, E. L.; SALES L. B. F.; CARVALHO, M. L. de.; MAZOTO, M. L.; BARCELLOS, C.; COSTA, A. M.; OLIVEIRA, M. L. C.; CORVALÁN, C. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3645-3656, Set. 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.00732014>.

GIBSON J. K.; KALLBERG, P.; UPPALA, S.; HERNANDEZ, A.; NOMURA, A.; SERRANO, E. **ERA**: ECMWF re-analysis project report series. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Jan. 1999.

GOMES, A. C. dos S.; COSTA, G. B.; SILVA, J. T. da; COUTINHO, M. D. L.; COSTA, M. da S.; FITZJARRALD, D. R. Seca e a saúde das populações residentes em regiões da Amazônia brasileira nos anos de 2005, 2010 e 2015. **Revista Brasileira de Climatologia**, 14, v. 23, p. 289-306, Jul-Dez. 2018. SSN:2237-8642. <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.50256>.

GONÇALVES, S. T. N.; VASCONCELOS JUNIOR, F. das C.; SAKAMOTO, M. S.; SILVEIRA, C. da S.; MARTINS, E. S. P. R. Índices e metodologias de monitoramento de secas: uma revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 495-511, Jul.-Set. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863630007>.

GOZZO, L. F.; PALMA, D. S.; CUSTÓDIO, M. de S.; DRUMOND, A. Padrões climatológicos associados a eventos de seca no leste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Climatologia**, 17, v. 28, Jan-Jun. 2021. ISSN: 2237-8642. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.76268>.

HIRYE M. C. de M.; ALVES, D. S.; KUX, H. J. H. Análise das transformações na área urbana de Altamira (PA), entre 2000 e 2010, a partir da composição Vegetação-Impermeabilização-Solo (V-I-S). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa-PB. **Anais[...]**. João Pessoa-PB: INPE, 2015. p. 2117-2124.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação**. 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativasdepopulacao.html?=&t=resultados> Acesso em: 02 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal (PAM)**. 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=outros-links> Acesso em: 07 mar. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability**. 2022. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.

IONITA M.; NAGAVCIUC V.; SCHOLZ P.; DIMA M. Long-term drought intensification over Europe driven by the weakening trend of the Atlantic Meridional Overturning Circulation, **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 42, Aug. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101176>.

LI, R.; CHEN N.; ZHANG X.; ZENG L.; WANG X.; TANG S.; LI D.; NIYOGI D. Quantitative analysis of agricultural drought propagation process in the Yangtze river basin by using cross wavelet analysis and spatial autocorrelation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 280, n. 15, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107809>.

MAGANO JUNIOR, H. M. **Análise climatológica da incidência de chuva no município de Altamira-PA, no período de 1981 a 2011**. 2014. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

MAPBIOMAS. **Série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil**. 2023 (Coleção 8). Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 12 set. 2023.

MARENGO, J. A. Condições climáticas e os recursos hídricos no norte brasileiro. *In*: TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH 9, 2003. p. 117-156.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Review: extreme seasonal droughts and floods in Amazônia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 1033-1050. 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>.

MARTINEZ, L. L.; FIEDLER, N. C.; LUCATELLI, G. J. Análise das relações entre desflorestamentos e focos de calor: estudo de caso nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, no estado do Pará. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 695-702, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000400014>.

MCKEE, T. B.; DOESKEN J. N.; KLEIST J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In*: EIGHTH CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 1993, Anaheim, California. American Meteorological Society.

MIRANDA NETO, J. Q. de; HERRERA, J. A. Expansão urbana recente em Altamira (PA): novas tendências de crescimento a partir da instalação da UHE Belo Monte. **Ateliê Geográfico**, v. 11, n. 3, p. 34-52, Dez. 2017. ISSN: 1982-1956. <https://doi.org/10.5216/ag.v11i3.33766>.

MORAES, B. C. de.; SOUZA, E. B. de.; SODRÉ, G. R. C.; FERREIRA, D. B. da S.; RIBEIRO, J. B. M. Sazonalidade nas notificações de dengue das capitais da Amazônia e os impactos do El Niño/La Niña. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 9, 2019. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00123417>.

MUKHERJEE, S.; MISHRA, A. K. Increase in compound drought and heatwaves in a warming world. **Geophysical Research Letters**, v. 48, n. 1, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1029/2020GL090617>.

MUPEPI O.; MATSA M. M. Decadal spatio-temporal dynamics of drought in semi-arid farming regions of Zimbabwe between 1990 and 2020: a case of Mberengwa and Zvishavane districts. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 151, p. 1283-1299, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04327-7>.

NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER (NDMC). **Types of drought**. 2023. Disponível em: <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/TypesofDrought.aspx>. Acesso em 31 jul. 2023.

NEVES, A. K.; KÖRTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S. Assessment of TerraClass and MapBiomas data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazônica**, v. 50, n. 2, p. 170-182, Apr-Jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201900981>.

OLIVEIRA, R. D. de. **Dinâmica de inundação das planícies fluviais do rio Xingu, na região do complexo hidrelétrico de Belo Monte - Altamira-PA**. 2017. 424f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente-SP, 2017.

PALMER, W. C. Introduction. In: PALMER, W.C. **Meteorological drought**. Washington, D.C.: U.S Department of Commerce, 1965. 58p. (p. 1-3).

PEREIRA dos S. W.; COSTA, G. B.; da SILVA, D. T. C.; MATIAS, L. V. dos S.; MACAMBIRA A. C. da S.; HEIDEMANN, M. de A.; ALMADA N. B.; SANTOS, A. S. Estimativa dos impactos ambientais e socioeconômicos dos últimos 3 grandes eventos de seca (2005, 2010 e 2015) Na Amazônia. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 4, p. 84-97, Nov. 2021. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i4.1776>.

PONTES FILHO, J. D.; PORTELA, M. M.; STUDART, T. M. de C.; SOUZA FILHO, F. de A. A continuous drought probability monitoring system, CDPMS, based on copulas. **Water**, v. 11, n. 9, p. 1925, Set. 2019. <https://doi.org/10.3390/w11091925>.

REIS, M. dos.; GRAÇA, P. M. L. de A.; YANAI, A. M.; RAMOS, C. J. P.; FEARNSIDE, P. M. Forest fires and deforestation in the central Amazon: effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. **Journal of Environmental Management**, v. 288, Jun. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310>.

ROCHA, C. G. S.; ALMEIDA, J. P. de. Conhecimentos locais e práticas de gestão da fertilidade do meio natural entre agricultores familiares da microrregião de Altamira, Pará, Brasil. **Revista de Antropologia da Amazônia**, v. 5, n. 3, p. 892-908, 2013. <http://dx.doi.org/10.18542/amazonica.v5i3.1610>.

ROSA, M. R. **Metodologia de classificação de uso e cobertura da terra para análise de três décadas de ganho e perda anual da cobertura florestal nativa na mata atlântica**. 2020. 293f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

SANTOS, G. G. dos; NERIS, J. P. F.; FREITAS, T. P. M. de; SANTOS, M. G. dos; NARUSAWA, Í. D. S.; SILVA, B. K. S. da; SOUSA, J. S. de; SILVA, V. de S. Identificação e análise espacial das aglomerações produtivas do cacau na mesorregião do sudoeste paraense. In: MENDONÇA, M. de S. **Agronegócio: técnicas, inovação e gestão**. Cap. 20, p. 271-286, 2021. Guarujá/SP, Científica Digital, 2021. 306p. <http://dx.doi.org/10.37885/210504849>.

SANTOS, K. M. S.; ALBUQUERQUE, T. M. A.; MENDES, L. A. Análise da associação entre mapas do monitor de secas e dados climáticos de Sergipe. **Revista Brasileira de Climatologia**, 17, v. 28, p. 634-651, Jan-Jun. 2021. ISSN: 2237-8642. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.73648>.

SANTOS, R. L. **Expansão urbana e modelagem de cenários hidrológicos em bacias hidrográficas de Goiânia-GO (2002-2030)**. 2022. 187f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022.

SENA, J. A.; DEUS, L. A. B. de.; FREITAS, M. A. V.; COSTA, L. Extreme events of droughts and floods in Amazonia: 2005 and 2009. **Water Resources Management**, v. 26, p. 1665-1676, Jan. 2012. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-9978-3>.

SERRÃO, E. A. de O.; SANTOS, C. A. dos; WANZELER, R. T. S.; GONÇALVES, L. de J. M.; LIMA, A. M. M. Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio Solimões. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 5-20, Dez. 2015. ISSN 1678-7226.

SEVERO, D. L.; SILVA, S. H.; TACHINI, M. Flutuações climáticas da precipitação no Vale do Itajaí (SC). **Revista de Estudos Ambientais**, v. 20, n. 2, p. 37-48, Jul./Dez 2018. <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2018v20n2p37-48>.

SILVA, A. F. C.; COSTA, M. do S. S.; BOTELHO, M. G. L.; FURTADO, L. G.; BATISTA, V. de A.; CARNEIRO, C. R. de O.; MORALES, G. P. Impacts of changes in land use and cover in the municipality of Altamira, Pará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020. ISSN 2525-3409. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5488>.

SILVA, D. M. da. **Arenização e uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do arroio Taquari-Miracatu: uma análise sob a ótica do sensoriamento remoto**. 2023. 123f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

SODRÉ, G. R. C.; MORAES B. C.; FERREIRA, D. S.; OLIVEIRA, J. V.; SOUZA, E. B. Teleconexões oceânicas nos padrões climatológicos da Amazônia oriental: análise dos últimos 40 anos (1974-2013). **Revista Brasileira de Climatologia**, 11, v. 17, Jul-Dez. 2015. ISSN: 2237-8642. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.38113>.

SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B. de; MORAES B. C. Queimadas na Amazônia: uma análise das pesquisas desenvolvidas nos últimos 25 Anos (1993-2017). **Revista de Geografia**, Recife, v. 38, n. 1, 2021. ISSN 0104-5490.

SPHERE. **Sphere glossary**. [S. l.: s. n.]. 2019. Disponível em: <https://spherestandards.org/wpcontent/uploads/Sphere-Glossary-2019.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.

STAAL, A.; FLORES, B. M.; AGUIAR A. P. D.; BOSMANS J. H. C.; FETZER I.; TUINENBURG O. A. Feedback between drought and deforestation in the Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 15, Apr. 2020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab738e>.

SUTANTO, S. J.; VAN DER WEERT, M.; WANDERS, N.; BLAUHUT, V.; VAN LANEN, H. A. J. Moving from drought hazard to impact forecasts. **Nature Communications**, v. 10, n. 4945, Oct. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12840-z>.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94. Jan. 1948. <http://dx.doi.org/10.2307/210739>.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **Special report on drought 2021**. Global assessment report on disaster risk reduction (GAR) Geneva. 2021.

VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERIA S.; LOPEZ-MORENO J. I. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. **Journal of Climate**, v. 23, n. 7, p. 1696-1718, Apr. 2010. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.

WARD, P. J.; BLAUHUT, V.; BLOEMENDAAL, N.; DANIELL, J. E.; DE RUITER, M. C.; DUNCAN, M. J.; EMBERSON, R.; JENKINS, S. F.; KIRSCHBAUM, D.; KUNZ, M.; MOHR, S.; MUIS, S.; RIDDELL, G. A.; SCHÄFER, A.; STANLEY, T.; VELDKAMP, T. I. E.; WINSEMIUS, H. C. Review article: natural hazard risk assessments at the global scale. **Natural Hazards Earth System Sciences**, v. 20, n. 4, p. 1069-1096, Apr. 2020. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1069-2020>.

WILHITE, D. A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. *In*: WILHITE, D. A. **Drought: a global assessment**. London: Routledge, 2000. v. 1, p. 3-18. (chap. 1).

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111-20, Jan. 1985. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO); Global Water Partnership (GWP). **Handbook of drought indicators and indices**. 2016. (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines. Series 2. Geneva.

WU, G.; CHEN J.; SHI, X.; KIM, J. S.; XIA, J.; ZHANG, L. Impacts of global climate warming on meteorological and hydrological droughts and their propagations. **Earth's Future**, v. 10, n. 3, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1029/2021EF002542>.

WU, J.; TAN, X.; CHEN, X.; LIN, K. Dynamic changes of the dryness/wetness characteristic in the largest river basin of South China and their possible climate driving factors. **Atmospheric Research**, v. 232, n. 1, Feb. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104685>.

YAO, N.; LI, L.; FENG, P.; FENG, H.; LIU, D. L.; LIU, Y.; JIANG, K.; HU, X. Projections of drought characteristics in China based on a standardized precipitation and evapotranspiration index and multiple GCMs. **Science of the Total Environment**, v.704, n. 20, Feb. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135245>.

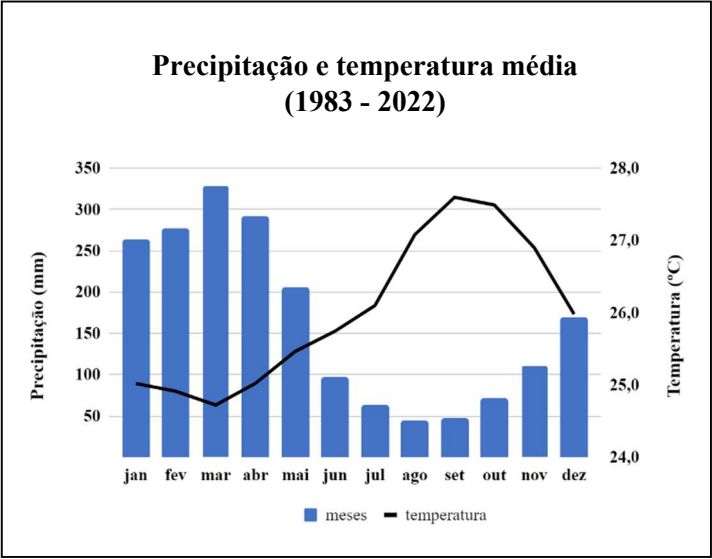
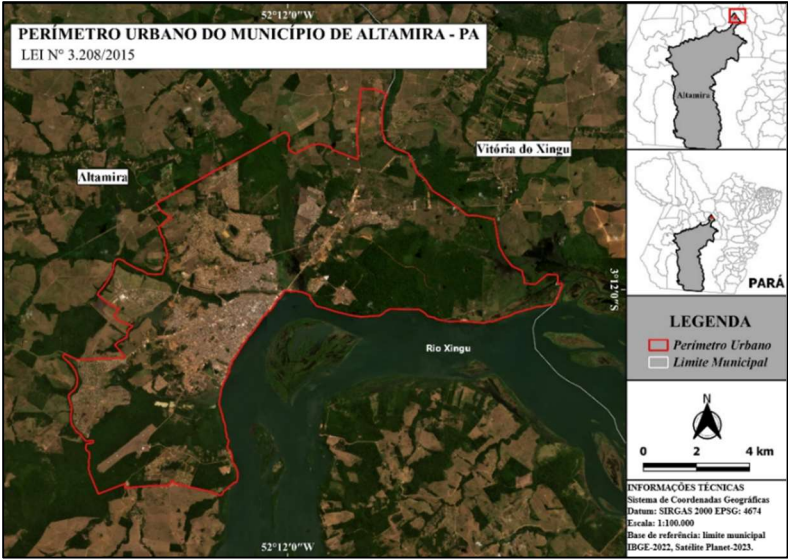
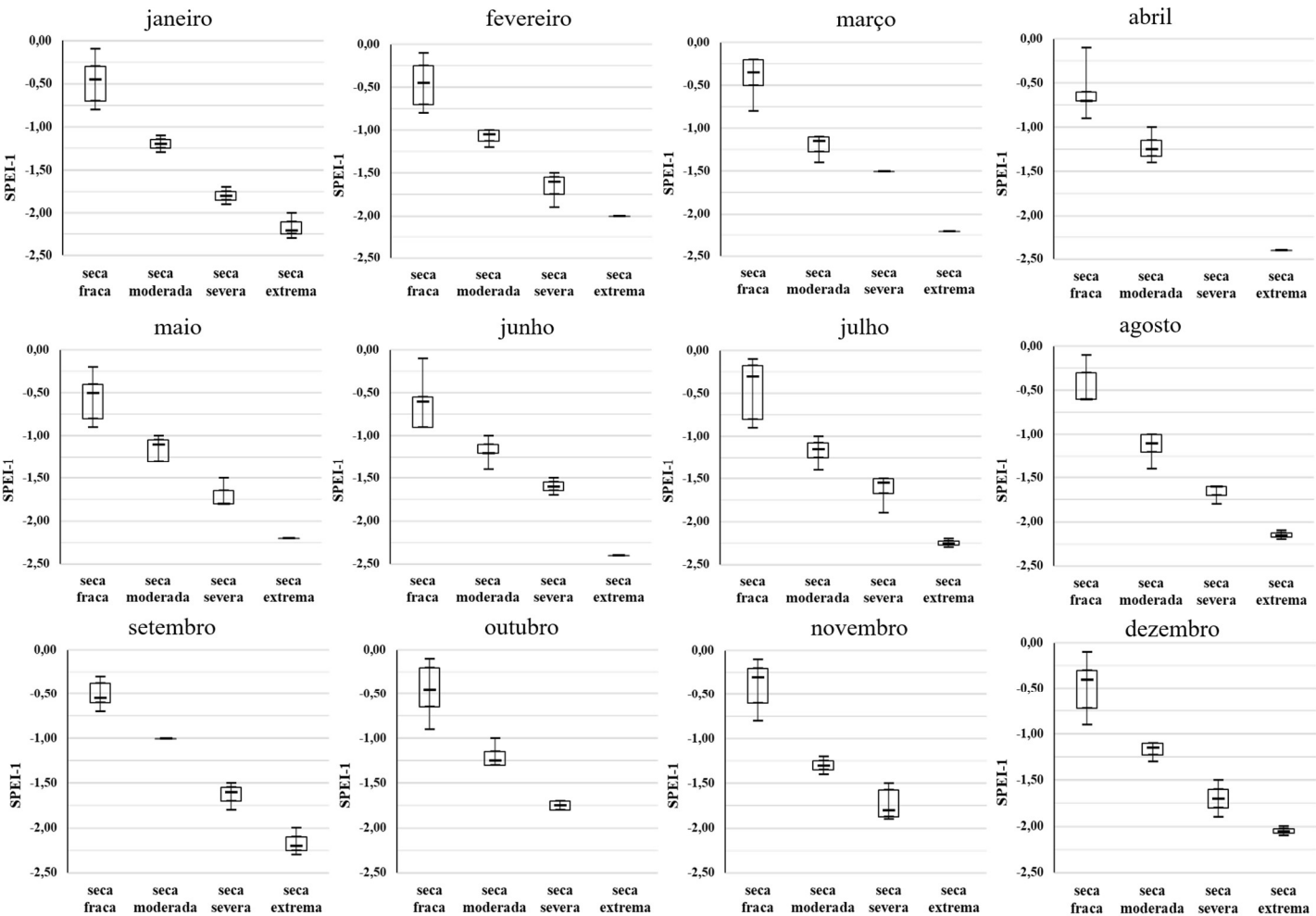
ZARGAR A.; SADIQ R.; NASER B.; KHAN F. I. A review of drought indices. **Environmental Reviews**, v. 19, p. 333-349, Dec. 2011. <https://doi.org/10.1139/A11-013>.

ZHANG, X.; HAO, Z.; SINGH, V. P.; ZHANG Y.; FENG, S.; XU, Y.; HAO, F. Drought propagation under global warming: characteristics, approaches, processes, and controlling factors. **Science of the Total Environment**, v. 838, n. 2, Sep. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156021>.

APÊNDICE A - PRODUTO TÉCNICO

O produto técnico é um calendário anual de seca baseado no Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração - SPEI-1, com escala de tempo de um mês, para o perímetro urbano de Altamira-PA.

CALENDÁRIO ANUAL DE SECA ALTAMIRA-PA



Frequência Mensal de Seca (1983 - 2022)

