



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA (UNEB)**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS - CAMPUS IX**  
**COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

MARVIN MARTTONE NUNES DA HORA

**ANÁLISE CLIMATOLÓGICA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL:**  
**SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO AGRÍCOLA NO MUNICÍPIO**  
**DE BARREIRAS, BAHIA**

**BARREIRAS – BAHIA**  
**JULHO DE 2025**

MARVIN MARTTONE NUNES DA HORA (121720179)

**ANÁLISE CLIMATOLÓGICA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL:  
SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO AGRÍCOLA NO MUNICÍPIO  
DE BARREIRAS, BAHIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade do Estado da Bahia – UNEB no Departamento de Ciências Humanas - *Campus IX*.

Orientador: Dr. Marcos Antônio V. Silva

Coorientador: Dr. Tadeu Cavalcante Reis

**BARREIRAS – BAHIA**

**JULHO DE 2025**



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**  
**Ata de Avaliação de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC**

Ata da sessão de defesa de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do semestre 2025.1, sendo candidato(a) o(a) aluno(a) MARVIN MARTTONE NUNES DA HORA

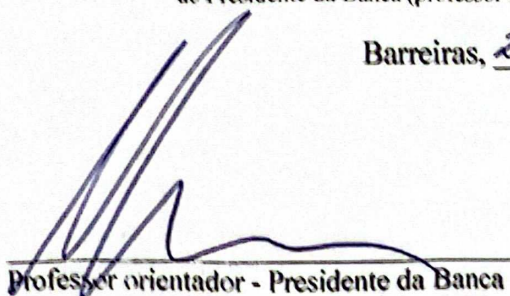
Aos 29 dias do mês de Julho de 2025 reuniu-se a Banda Examinadora constituída pelos professores Mauro Antonio Vaudutei Silva (presidente/orientador), e os membros: 1) Joaquim Pedro S. Neto e 2) Adilson Alves Costa (Campus IX), para avaliar o Trabalho

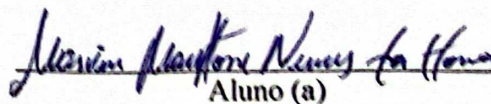
de Conclusão de Curso (TCC) intitulado Análise Climatológica da Precipitação Pluviométrica: Subsídios para o Planejamento Agrícola no Município de Barreiras, Bahia

As médias de notas apontadas pelos professores conforme as Fichas de Avaliação de Banca (anexas) indicam que o(a) aluno(a) está **aprovado**, sendo recomendada nesta ocasião a concessão do grau de “**Bacharel em Engenharia Agrônômica**” ao candidato, uma vez se atendidas as correções apontadas pela banca e o cumprimento integral do currículo do curso.

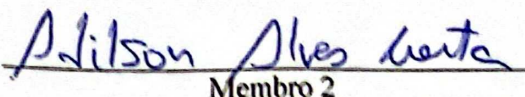
Observações: 1) A média aritmética final para aprovação é de 7,0 (sete vírgula zero);  
2) O(a) aluno (a) terá prazo de 5 (cinco) dias para fazer as correções solicitadas pela banca e apresentá-las ao Presidente da Banca (professor orientador) com a finalidade de entrega definitiva do trabalho.

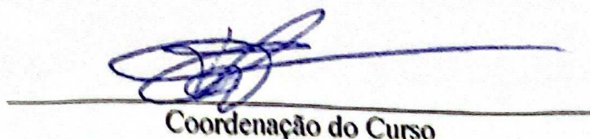
Barreiras, 29 de Julho de 2025

  
Professor orientador - Presidente da Banca

  
Aluno (a)

  
Membro 1

  
Membro 2

  
Coordenação do Curso

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente meus agradecimentos vão direcionados para o Senhor de milagres e graças infinitas DEUS, o único que esteve e estará em todos os momentos de alegria e dificuldades da minha vida, que toda honra e glória seja dada ao Senhor.

Agradeço a universidade, todo o corpo docente e técnicos, que fizeram essa caminhada em busca do conhecimento se tornar mais prazerosa, com a incessante disponibilidade em qualquer hora, em especial aos professores Dr. Tadeu Cavalcante Reis e Dr. Marcos Antônio V. Silva que assumiram a responsabilidade de me orientar e entender que cada aluno tem suas dificuldades, e tem particularidades, estarão marcados em minha caminhada.

Assim prossigo minhas palavras para agradecer ao meu pai Antonino Ferreira da Hora Filho, um pai presente, um pai exemplar, sempre esteve comigo em toda a minha trajetória, nunca me deixou faltar nada, sempre interessado nos assuntos do curso, muitas conversas, e aproveitando a oportunidade ímpar pra deixar registrado que o amo.

Agradeço aos todos os meus familiares que estiveram e fizeram parte desse processo minha mãe Maria Rita de Cássia Nunes; meus irmãos: Kalvin, Talles e Luís, minha sobrinha Íris que sempre foram minha verdadeira motivação, pois quem me conhece sabe que não há nada nesse mundo mais importante que minha família; agradeço minhas avós: Iacy, Lurdes e *in memória* Maria Nice e meus avôs: *in memória* Waldemar, *in memória* Antonino e *in memória* Miguel, todos eles foram a reflexão da minha criação. Também gostaria de destacar aqui meu tio Cremilson, meus primos Diego e Canigia, por serem pessoas que eu pude contar a qualquer momento. Deus abençoe a todos. Com Agradecimentos especiais para Amanda.

Deixo aqui também meus agradecimentos aos meus amigos de infância Emerson, Brendon, Eduardo, Felipe, Lucas, que sempre acreditaram em mim, sempre me motivaram.

Agradecer aos meus colegas e amigos construídos ao longo dessa caminhada Iuris, Maíra, Renan, Gabriel, Tauillian, que as vocês abençoem e alegrem a vida de outras pessoas por onde passaram, como fizeram meus dias mais felizes, estarão sempre em minhas melhores lembranças. Aos que passaram e não ficaram também deixo aqui meus sinceros agradecimentos, todos fizeram parte de algum jeito da minha formação acadêmica e como ser humano.

Seguindo, gostaria de agradecer a secretária municipal de agricultura e tecnologia de Barreiras – SEMAT, e todos os servidores que fazem parte dessa equipe, desde o pessoal da limpeza até o cargo maior. Agradecimentos especiais para o professor e secretário Dr. Joaquim Neto e o engenheiro agrônomo Bruno Godoy.

Hora, Marvin Marttone Nunes da; **Análise climatológica da precipitação pluvial: subsídios para o planejamento agrícola no município de Barreiras, Bahia.** 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Barreiras, 2025.

## RESUMO

Para compreender a climatologia pluvial local e a dinâmica hídrica do sistema para o município de Barreiras-BA, o presente trabalho teve como objetivo analisar a precipitação pluvial, utilizando estatísticas como uma ferramenta descritivas, inferenciais Kimball, Gama, período de retorno e balanço hídrico. Utilizaram-se dados meteorológicos do período de 1981 a 2024, coletados da estação convencional do INMET e complementados por informações do NASA POWER. A metodologia empregou análises estatísticas descritivas, distribuições probabilísticas empírica (Kimball) e teórica (Gama Incompleta), determinação de períodos de retorno e elaboração do balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite-Mather. Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição Gama foram estimados pelo método de máxima verossimilhança, com validação através do teste de Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0,05$  para todos os meses). A análise da precipitação em Barreiras-BA revelou forte sazonalidade, com estação seca irregular (maio a setembro) e período chuvoso mais estável (outubro a abril). A distribuição Gama ajustou-se bem aos dados, permitindo modelagens confiáveis. Os ajustes logarítmicos e o balanço hídrico destacaram períodos de excedentes e déficits, reforçando a importância da irrigação. As informações obtidas são estratégicas para decisões agrícolas, especialmente frente à variabilidade climática e à gestão eficiente da água.

**Palavras-chave:** distribuição empírica; distribuição gama; meteorologia; balanço hídrico.

Hora, Marvin Marttone Nunes da; **Climatological analysis of rainfall precipitation: subsidies for agricultural planning in the municipality of Barreiras, Bahia.** 49 p. Course Conclusion Paper (Graduation in Agronomic Engineering) - State University of Bahia - UNEB, Barreiras, 2025.

### ABSTRACT

To understand the local rainfall climatology and the hydrological dynamics of the system for the municipality of Barreiras-BA, this study aimed to analyze rainfall precipitation using descriptive and inferential statistics such as Kimball, Gamma, return period, and water balance as tools. Meteorological data from 1981 to 2024 were used, collected from the INMET conventional station and supplemented by NASA POWER information. The methodology employed descriptive statistical analyses, empirical (Kimball) and theoretical (Incomplete Gamma) probabilistic distributions, determination of return periods, and elaboration of the climatological water balance using the Thornthwaite-Mather method. The  $\alpha$  and  $\beta$  parameters of the Gamma distribution were estimated by the maximum likelihood method, with validation through the Kolmogorov-Smirnov test ( $p > 0.05$  for all months). The precipitation analysis in Barreiras-BA revealed strong seasonality, with an irregular dry season (May to September) and a more stable rainy period (October to April). The Gamma distribution fitted well to the data, allowing reliable modeling. Logarithmic adjustments and water balance highlighted periods of surplus and deficit, reinforcing the importance of irrigation. The information obtained is strategic for agricultural decisions, especially in the face of climate variability and efficient water management.

**Keywords:** empirical distribution; gamma distribution; meteorology; agricultural planning; water balance.

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

**Figura 1.** Mapa do Sul-americano, em destaque o Brasil, o estado da Bahia, respectivamente o município de Barreiras na Bahia. Fonte: Autor (2025).

**Figura 2.** Ajuste logarítmico e coeficiente de determinação para o período de retorno para os meses de outubro a março para o município de Barreiras, com dados de 1981-2024. Fonte: Autor (2025).

**Figura 3.** Distribuição Empírica e distribuição Gama com variação de 4% a 96% de probabilidade, dos meses de janeiro a abril. Dos anos de e1981-2024 para o município de Barreiras, BA. Fonte: Autor (2025).

**Figura 4.** Distribuição Empírica e distribuição Gama com variação de 4% a 96% de probabilidade, dos meses de maio a dezembro. Dos anos de e1981-2024 para o município de Barreiras, BA. Fonte: Autor (2025).

**Figura 5.** Período de retorno da precipitação diária mensal  $\geq 5$ , 10 e 15 mm, de dados históricos de 1981-2024 para os meses de outubro a dezembro, no município de Barreiras. Fonte: Autor (2025).

**Figura 6.** Período de retorno da precipitação diária mensal  $\geq 5$ , 10 e 15 mm, de dados históricos de 1981-2024 para os meses de janeiro a março, no município de Barreiras. Fonte: Autor (2025).

**Figura 7.** Extrato do balanço hídrico, onde demonstra deficiência (DEF) e excedente (EXC) da água no solo do município de Barreiras-BA. Dados 1981-2024. Fonte: Autor (2025).

**Figura 8.** Balanço hídrico normal, onde se encontra a precipitação, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) para o município de Barreiras-BA. Dados de 1981-2024. Fonte: Autor (2025).

**Figura 9.** Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano para o município de Barreiras-BA. Com dados de 1981-2024. Fonte: Autor (2025).

**Figura 10.** Capacidade de Armazenamento (CAD), Armazenamento mensal (ARM) para o município de Barreiras-BA. Dados 1981-2024. Fonte: Autor (2025).

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Média, Coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), máxima (Máx), mínima (Mín), curtose e assimetria, da precipitação de 1981-2024 do município de Barreiras-BA

**Tabela 2.** Parâmetros da distribuição gama calculados pelo método de máxima verossimilhança alfa ( $\alpha$ ) e beta ( $\beta$ ), Teste de Kolmogorov para o município de Barreiras, BA, no período 1982-2024.

**Tabela 3.** Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial (mm) em Barreiras – BA, calculada através da distribuição Empírica e o período de retorno “T” em escala mensal, para o período de 1981 a 2024.

**Tabela 4.** Precipitação mensal provável (mm) para o município de Barreiras -BA, com quatorze níveis de probabilidade, com base na distribuição de probabilidade Gama Incompleta. 1981-2024.

## LISTA DE ABREVIATURAS

INMET – Instituto Nacional De Meteorologia

ZARC - Zoneamento Agrícola De Risco Climático

MAIS - Módulo Agroclimático Inteligente E Sustentável

AP - Agricultura De Precisão

FDP - Função Densidade De Probabilidade

M - Média

$\sigma$  - Desvio Padrão

MLE - Método De Máxima Verossimilhança

MAP - Máxima Probabilidade A Posteriori

FDE - Função De Distribuição Empírica

A – Alfa

B – Beta

°c – Grau Celsius

% - Porcentagem

mm – Milímetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1	Precipitação pluvial.....	13
2.2	Climatologia .....	14
2.3	A importância dos dados climáticos para a agricultura no planejamento e manejo agrícola .....	14
2.4	Probabilidade .....	16
2.4.1	Probabilidade de distribuição gama .....	18
2.4.2	Probabilidade de distribuição empírica .....	18
<b>2.5</b>	<b>Características edafoclimáticas do município de barreiras .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6</b>	<b>Outros trabalhos científicos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.7</b>	<b>Balanco hídrico.....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Coleta e organização dos dados .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Metodologia utilizada.....</b>	<b>23</b>
3.3.1	Distribuição de Kimbal ou Empírica .....	23
3.3.2	Distribuição Gama.....	23
3.3.3	Balanco Hídrico Climatológico (BCH) .....	25
3.3.4	Índices de Precipitação Pluviométrica.....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES INFERENCIAIS .....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e aumento da população, temos uma necessidade de se produzir cada vez mais, mas a muitas variáveis para se otimizar essa produção. O clima tem um impacto profundo na produtividade das culturas, mas seus efeitos são difíceis de mensurar devido à significativa variabilidade espacial e temporal (Sabut *et al.*, 2025), dessa forma mudanças climáticas, variabilidade climática e o aumento de eventos meteorológicos extremos são ameaças à agricultura e às áreas rurais. Uma agricultura inteligente atrelada a climatologia é uma abordagem adequada para aumentar a resiliência e reduzir os impactos das mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que melhora a sustentabilidade ambiental e econômica. A definição de estratégias relacionadas às informações é muito importante para apoiar a tomada de decisões e a gestão de riscos dos agricultores em um clima em mudança.

O início, a distribuição e a cessação da precipitação variam ao longo do ano, afetando as operações agrícolas, e para atingir a máxima produtividade agrícola e minimizar o risco, é fundamental quantificar a variabilidade da precipitação em níveis locais, sendo importante para estudar os impactos no planejamento e gestão dos recursos hídricos (Pradhan *et al.*, 2020; Dharani *et al.*, 2022). Dessa forma, Chaves (1999) explica que a agrometeorologia operacional pode ser um caminho promissor para a estimativa de valores em relação as chuvas, visto que sua principal função é nortear os agricultores em suas decisões direcionadas a agricultura, como colheita, preparo do solo, semeadura e irrigação.

Para Dourado Neto *et al.*, (2005), o estudo das distribuições de variáveis climáticas no tempo, determinando seus padrões de ocorrência e permitindo a previsibilidade do comportamento climático de uma região, é uma ferramenta de grande valor para o planejamento e gestão de inúmeras atividades agropecuárias e humanas.

Dado o conhecimento supracitado, é pertinente mencionar a cidade de Barreiras, localizada no estado da Bahia, mais precisamente na região Oeste, como uma região de ampla distribuição chuvosa ao longo do ano e produtividade notável em termos agrícolas, variando entre plantações de maior escala e agricultura familiar. Tendo ambas modalidades em vista, monitorar a precipitação desta região se torna necessário pois, segundo Silva *et al.*, (2010) toda cultura precisa de uma determinada quantidade de água para expressar seu potencial produtivo, porém muitos sistemas de irrigação oferecem essa quantidade sem considerar a ação pluvial, gerando assim, desperdício de água e aumento dos custos com a expansão do projeto de irrigação.

Além do fato de uma probabilidade de precipitação ser o suficiente ou não para os produtores, tem-se fenômenos atmosféricos e naturais, que alteram significativamente na quantidade de precipitação e o clima no geral. Alguns dos fenômenos são o *el niño*, *la niña* e oscilação neutra, etc.

Uma circunstância importante mencionada por Jabur (2010) é a precipitação efetiva (Pe), que se trata da quantidade da água da chuva que escorre pelo solo depois que ele já está encharcado e não é capaz de absorver mais água. A partir desse contexto, a ideia de Sampaio *et al.*, (2000) se faz válida pois considera questionar qual a quantidade pluvial que se fixa no solo e realmente é utilizado pelas plantas, uma vez que essas informações podem ajudar a planejar a irrigação de forma consciente, a fim de evitar o desperdício irrigando apenas o que falta, economizando os recursos hídricos e o capital.

Diante do exposto, o presente trabalho mantém uma abordagem quantitativa, visando apresentar a análise de dados climatológicos e probabilísticos da precipitação pluvial para o município de Barreiras - Bahia, para assim auxiliar no planejamento agrícola como um todo, principalmente em planejamentos voltados a irrigação dos produtores/agricultores da região.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Precipitação pluvial

A precipitação é caracterizada como toda a água que se origina da atmosfera, em estado líquido ou sólido, e que alcança a superfície terrestre (Ferreira Neto, 2001). Ela é um dos elementos cruciais para a classificação climática de uma área. A sua variação, quando combinada a outros fatores climáticos, provoca mudanças no regime geral do clima de um local (Pereira et al., 2011). Adicionalmente, a precipitação é um dos componentes meteorológicos que mais afetam as condições do meio ambiente e as atividades econômicas. Seus efeitos são sentidos de maneira direta ou indireta, seja pela presença ou pela falta de chuva (Coan et al., 2015).

A precipitação pluviométrica é um importante fator de controle do ciclo hidrológico, além de ser uma das variáveis do clima que exerce maior influência na qualidade ambiental, interferindo diretamente em diversos setores da sociedade, principalmente nas regiões que sofrem com a irregularidade da distribuição pluviométrica (Sena, 2017).

As modificações climáticas são impulsionadas por vários fatores, sendo geralmente irreversíveis e podendo gerar uma série de eventos, como inundações e secas, que são percebidos em intervalos de tempo consideráveis. Isso ocorre porque o clima exibe variabilidade no espaço e no tempo, em escalas sazonais e interanuais, que podem se estender de horas a milênios. No âmbito dos recursos hídricos, o estudo do comportamento dos sistemas geralmente se concentra na sazonalidade anual, utilizando dados de períodos que tipicamente variam entre 15 e 80 anos (Limeira, 2008).

Dourado Neto *et al.*, (2005), ressaltam que o estudo temporal das distribuições pluviométricas é necessário para compreender os fenômenos meteorológicos, determinando seus padrões de ocorrência e permitindo uma previsibilidade razoável do comportamento climático de uma região, que é uma ferramenta de grande valor para o planejamento e gestão de inúmeras atividades agropecuárias e humanas.

Diversos estudos têm sido realizados para estimar a quantidade de chuva de uma área com uma certa probabilidade, o que é chamado de precipitação provável. Esse conceito se refere à quantidade mínima de chuva esperada, associada a uma probabilidade de ocorrência. A estimativa é feita a partir da análise de dados históricos de precipitação pluviométrica. A precipitação provável representa, portanto, a quantidade mínima de chuva que se pode esperar em uma determinada região, época e com um nível de probabilidade específico (Silva et al., 2013; Passos et al., 2017; Passos & Mendes, 2018).

## **2.2 Climatologia**

A climatologia é a ciência dedicada à investigação dos padrões climáticos de longo prazo, analisando suas mudanças no espaço e no tempo, além dos mecanismos físicos que regem o clima global (Barry & Chorley, 2018). Em contraste com a meteorologia, que foca nas condições atmosféricas de curta duração, a climatologia se dedica a examinar as tendências de longa escala, reconhecendo tanto as variações naturais quanto os impactos humanos. Para isso, ela utiliza a análise de dados históricos, simulações por computador e tecnologias de sensoriamento remoto (Hartmann, 2016).

Um dos pilares da climatologia é a classificação climática, como a proposta por Köppen-Geiger, que categoriza os climas com base em parâmetros térmicos e pluviométricos (Köppen, 1936). Essas classificações são essenciais para o planejamento urbano, a gestão de recursos hídricos e a previsão de impactos em ecossistemas. Além disso, estudos paleoclimáticos, baseados em registros geológicos e núcleos de gelo, permitem reconstituir variações climáticas passadas, oferecendo insights sobre cenários futuros (IPCC, 2021).

O sistema climático global é marcado por interações complexas entre a atmosfera, a água, o gelo, a vida e a crosta terrestre, constituindo um sistema dinâmico e não-linear com variabilidade em diversas escalas (Trenberth et al., 2015). Os fatores primários que controlam o clima incluem a latitude, a altitude, a forma dos continentes, as correntes oceânicas e as particularidades da superfície do planeta. Esses elementos regulam a maneira como os fenômenos meteorológicos se distribuem no espaço e no tempo (Ahrens & Henson, 2019).

## **2.3 A importância dos dados climáticos para a agricultura no planejamento e manejo agrícola**

A agricultura brasileira é altamente dependente das condições climáticas, com uma grande parte da produção sendo de sequeiro (chuva) (Woodwell Climate, 2021). Variáveis como temperatura, precipitação, umidade e radiação solar influenciam diretamente o ciclo de vida das culturas, a produtividade e a incidência de pragas e doenças. Nesse contexto, o acesso a dados climáticos precisos e em tempo real, bem como a projeções futuras, é fundamental para otimizar as práticas agrícolas e mitigar riscos. A utilização de dados climáticos permite aos agricultores e gestores rurais tomar decisões mais informadas em todas as etapas do processo produtivo.

Resiliência e adaptação às mudanças climáticas, representam um desafio significativo para a agricultura brasileira, com o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos

como secas prolongadas, ondas de calor e chuvas intensas (Woodwell Climate, 2021). Nesse cenário, os dados climáticos são ferramentas indispensáveis para a construção da resiliência e a implementação de estratégias de adaptação.

De acordo com Silva et al. (2022

), ter informações precisas e confiáveis sobre o regime de chuvas é crucial para minimizar os riscos de perdas na agricultura e na pecuária. Por isso, existe a necessidade de se obter mais dados para otimizar a produtividade da cana-de-açúcar no estado de Pernambuco.

A agricultura de precisão (AP), que tem ganhado força no Brasil nos últimos 25 anos, utiliza dados geoespaciais e climáticos para otimizar a aplicação de insumos, o manejo do solo e a colheita, resultando em maior eficiência e sustentabilidade (Cherubin, 2022). A integração de dados de sensoriamento remoto, por exemplo, permite monitorar as dinâmicas agrícolas e planejar de forma mais sustentável (Parreiras, 2025).

**Sistemas de Alerta Precoce:** A implementação de sistemas de alerta precoce baseados em dados climáticos pode avisar os agricultores sobre a iminência de eventos extremos, permitindo que tomem medidas para proteger suas lavouras e rebanhos. Iniciativas como o programa MAIS (Módulo Agroclimático Inteligente e Sustentável) no semiárido brasileiro demonstram o sucesso de abordagens que unem tecnologias e estratégias para a adaptação de pequenos agricultores (UNFCCC).

**Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC):** No Brasil, o ZARC é um exemplo de política pública que utiliza dados climáticos e de solo para indicar as melhores épocas de plantio para diversas culturas em diferentes regiões, minimizando riscos de perdas por eventos climáticos adversos (WAMIS). Isso otimiza o uso da terra e dos recursos hídricos. **Modelagem Climática e Projeções Futuras** Modelos climáticos fornecem projeções sobre as tendências de temperatura e precipitação, permitindo que o setor agrícola antecipe cenários futuros e planeje ações de longo prazo (Evenson; Alves, 1998).

Todo esses pontos acima irá ajudar no planejamento dos agricultores, seja qual for o parâmetro, que vai desde a escolha das culturas e variedade, dia do plantio, irrigação, controle de pragas e doenças, adubação e diversos outros pontos que vão até a colheita. O conhecimento das características climáticas de uma região auxilia na seleção de culturas e variedades mais adaptadas, considerando sua tolerância a temperaturas extremas, necessidades hídricas e ciclo de desenvolvimento (Bigolin; Talamini, 2024).

O controle e a prevenção de pragas e doenças estão diretamente ligados ao clima, já que o ciclo de vida de muitos patógenos e insetos é influenciado por condições como temperatura e umidade. O monitoramento dessas variáveis pode ajudar a prever surtos e a aplicar medidas

preventivas. Da mesma forma, o manejo da irrigação se beneficia de dados de chuva e evapotranspiração para ser mais eficiente, o que evita o desperdício de água e garante que as plantas recebam a quantidade necessária. Já para a colheita em grandes áreas, o cenário ideal é a ausência de chuvas previstas, pois a precipitação pode comprometer a qualidade do produto final.

Além disso para os agricultores de todos os portes, com destaque para os produtores que vivem de subsistência e agricultores familiares, dependem da precipitação e de um bom clima, que as vezes pode chegar mais cedo ou até mesmo chegar mais tarde, ou até mesmo épocas de chuvas com veranicos. Isso tudo poderá influenciar economicamente para os produtores, que podem até causar problemas sociais.

A climatologia é indiscutivelmente importante para a agricultura, pois o clima afeta o desenvolvimento das plantas, a água disponível e o aparecimento de pragas (Thorntwaite, 1948). Longas secas também impactam os níveis de água dos rios e reservatórios, o que pode gerar problemas no abastecimento urbano e na geração de energia (Rodrigues et al., 2013).

## 2.4 Probabilidade

A teoria da probabilidade é uma área central da matemática que quantifica a incerteza e estuda eventos aleatórios por meio de modelos matemáticos precisos. Conforme a definição axiomática de Kolmogorov (1933), a probabilidade é uma medida normalizada em um espaço mensurável, o que cria o alicerce teórico para a análise de fenômenos estocásticos. De acordo com Meyer (2012), sempre que usamos a matemática para analisar fenômenos observáveis, precisamos iniciar com a criação de um modelo matemático, seja ele determinístico ou probabilístico.

As distribuições de probabilidade são ferramentas cruciais para simular a variabilidade de fenômenos naturais. A distribuição normal, definida por seus parâmetros de média ( $\mu$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ), é o exemplo mais frequente na análise de dados contínuos. Ela desempenha um papel vital na inferência estatística, em grande parte devido ao Teorema Central do Limite (Degroot & Schervish, 2012).

A inferência estatística bayesiana é uma abordagem probabilística que integra o conhecimento prévio com dados observados para calcular as distribuições posteriores dos parâmetros de interesse (Gelman et al., 2014). Técnicas como o método de máxima verossimilhança (MLE) e os estimadores de máxima probabilidade a posteriori (MAP) são ferramentas cruciais para estimar parâmetros em modelos probabilísticos (Mood, Graybill & Boes, 1974).

A aplicação de modelos probabilísticos no setor agrícola representa uma ferramenta fundamental para o gerenciamento de riscos e otimização da produção. Os modelos estatísticos de predição de rendimento de culturas utilizam técnicas probabilísticas para quantificar os impactos potenciais das mudanças climáticas, focando não apenas nas mudanças de rendimento médio, mas também na variabilidade da produção (Li *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2016).

A modelagem probabilística de chuvas é uma área que utiliza distribuições estatísticas para descrever padrões de precipitação e eventos extremos. Para modelar eventos de chuva intensa, a análise usa dez funções de distribuição, como a exponencial, normal, log-normal de dois e três parâmetros, gama, Gumbel, log-Gumbel, Pearson tipo III, log-Pearson tipo III, e SQRT-ETmax. Essas distribuições são aplicadas para avaliar séries de máximas precipitações anuais de 24 horas (Maraun *et al.*, 2010).

Para utilizar as funções de distribuição de probabilidade, é preciso fazer testes que comprovem a adequação dos dados. Esses testes, chamados de testes de aderência, servem para verificar se a distribuição dos dados se encaixa em uma curva de um modelo hipotético (Araújo *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2013).

Entre os modelos probabilísticos mais comuns e confiáveis para estimar a precipitação provável, destaca-se a distribuição Gama, descrita por Thom (1958). Ela é bastante utilizada porque se adapta a diferentes locais e a diversos níveis de probabilidade (Passos *et al.*, 2017).

#### 2.4.1 Probabilidade de distribuição gama

A distribuição Gama é uma distribuição contínua e bastante usada para modelar variáveis aleatórias positivas, como a quantidade de chuva acumulada (em períodos diários, mensais ou anuais) e a intensidade da precipitação. Sua utilidade nesse campo se dá pela capacidade de se adequar a diferentes padrões de dados pluviométricos. Esses dados geralmente apresentam assimetria positiva — com muitos eventos de pouca chuva e poucos de chuva intensa — e sempre têm valores maiores que zero (Ghosh & Mukherjee, 2017).

A flexibilidade da distribuição Gama é controlada por dois parâmetros: o parâmetro de forma ( $\alpha$  ou  $k$ ), que determina o formato da curva, e o parâmetro de escala ( $\beta$  ou  $\theta$ ), que influencia a dispersão dos dados. Matematicamente, sua função densidade de probabilidade (fdp).

Em estudos hidrológicos e climáticos, a distribuição Gama tem sido empregada com sucesso para a estimativa de eventos extremos de precipitação, essencial para o

dimensionamento de obras de engenharia e para sistemas de alerta (Wilks, 2011). Sua adaptabilidade a diferentes cenários de precipitação a torna uma ferramenta fundamental na climatologia aplicada.

#### 2.4.2 Probabilidade de distribuição empírica

Ao contrário das distribuições teóricas, como a Gama, a **distribuição Empírica**, também conhecida como função de distribuição empírica (FDE), é gerada diretamente a partir dos dados coletados. Ela não segue uma forma paramétrica predefinida, mas sim reflete a distribuição real das probabilidades da amostra (Magalhães & Lima, 2015).

Para um conjunto de observações  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , ela é calculada dividindo a ordem dos valores pelo número total de dados mais um. A principal vantagem dessa distribuição é sua natureza não-paramétrica, que dispensa a necessidade de supor a forma da distribuição subjacente dos dados. Isso a torna especialmente valiosa quando a distribuição populacional é desconhecida ou complexa. Sua limitação, no entanto, é ser apenas uma estimativa da distribuição verdadeira, podendo não ser tão suave ou contínua quanto os modelos teóricos.

Na prática, a distribuição empírica é fundamental para a validação de modelos, a análise exploratória de dados e a inferência não paramétrica. Em pesquisas sobre o clima, por exemplo, ela permite analisar a frequência de eventos extremos de temperatura ou chuva registrados, sem a necessidade de forçar um ajuste a uma curva teórica (Wilks, 2011). Além disso, em simulações de Monte Carlo, é comum extrair amostras de uma distribuição empírica quando os dados históricos são a única fonte de informações sobre a variabilidade de um dado de entrada.

A limitação da distribuição empírica é que ela é uma estimativa da verdadeira distribuição populacional, e sua suavidade e continuidade dependem do tamanho da amostra. Para amostras pequenas, ela pode não ser uma representação robusta.

O período de retorno (T) é um conceito frequentemente associado às distribuições de probabilidade empírica. Ele pode ser entendido como o tempo estimado para que um evento específico ocorra novamente. Na maioria dos casos, o período de retorno é calculado para valores extremos, como anomalias climáticas que podem causar impactos sociais ou econômicos, e não para eventos que acontecem com frequência. Para obter uma estimativa de T confiável, é necessário ter uma série longa de dados, pois o período de retorno está diretamente ligado à probabilidade (P) de ocorrência do fenômeno em análise (Caetano, 2019).

## 2.5 Características edafoclimáticas do município de Barreiras

Barreiras possui um clima tropical semiúmido Aw, típico do Cerrado, precipitações pluviométricas bem definida de outubro até abril, com índices maiores entre os meses de novembro até março e outra seca entre maio e setembro, com precipitação média anual de 975,0 mm (INMET).

As condições de temperatura na região se mantêm altas ao longo de todo o ano. A temperatura geralmente varia entre 18 °C e 36 °C, raramente caindo abaixo de 16 °C ou subindo acima de 39 °C (Weather Spark, 2025). O padrão térmico apresenta variações sazonais moderadas, com o mês de outubro registrando a temperatura média mais elevada, de 28,3 °C. Em contrapartida, julho é o mês com a menor média anual, de 24,2 °C (Climate-data.org, 2021). Já a umidade relativa do ar oscila entre 60% e 80% durante a estação chuvosa, mas pode cair para menos de 30% na estação seca, o que torna o manejo correto da irrigação fundamental (Santos et al., 2019).

Os solos de Barreiras são predominantemente representados pelos Latossolos em sua grande maioria e Argissolos, que são típicos do bioma Cerrado e ocupam grandes extensões da região oeste da Bahia (Embrapa, 2021). Estes solos são caracterizados por serem profundos, bem drenados, ácidos, de baixa fertilidade e apresentarem coloração que varia do vermelho ao amarelo, devido à presença de óxidos de ferro e alumínio.

O bioma Cerrado, que cobre cerca de 85% do território municipal, o Cerrado em Barreiras apresenta adaptações edáficas notáveis, como raízes profundas e cascas grossas em árvores, que suportam períodos de seca e incêndios naturais (Coutinho, 2016). A vegetação é tipicamente cerradense, com estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo, onde espécies como pequi (*Caryocar brasiliense*), murici (*Byrsonima crassifolia*) e pau-terra (*Qualea grandiflora*) são comuns (Durigan; Ratter, 2016).

A alta insolação, com média de 2.800 horas de sol por ano, contribui para a fotossíntese acelerada, beneficiando culturas de ciclo curto (Conab, 2021). Os fatores climáticos, associados à um bom manejo agrícola. Essa associação demonstram condições favorece o desenvolvimento do agronegócio, tornando Barreiras um dos principais polos agrícolas do Nordeste e do Brasil.

## 2.6 Outros trabalhos científicos

Conforme Silva et al. (2010), cada cultura necessita de uma quantidade específica de água para atingir seu potencial produtivo. No entanto, diversos sistemas de irrigação fornecem

essa água sem considerar a chuva, o que causa desperdício de água e aumenta os custos com a ampliação dos projetos de irrigação.

No estudo de Back et al. (1998), é destacado que a definição da magnitude das chuvas intensas é crucial para a criação de projetos hidráulicos e a gestão de recursos hídricos. Além disso, essa informação é fundamental para o dimensionamento de estruturas que controlam a erosão causada pela água, o que é importante para a conservação do solo.

Visando determinar a precipitação pluviométrica mensal provável para Lages-SC, Soccol *et al.*, (2010) analisou o ajuste da distribuição Gama aos dados de série de 80 anos, sendo que em todos os meses a distribuição Gama ajustou-se aos dados observados ( $p < 0,05$ ). Para a estimação dos parâmetros e da referida distribuição utilizaram o método da máxima verossimilhança, e o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a aderência do modelo aos dados, obtendo a partir da distribuição ajustada a estimativa da precipitação mensal para os níveis de probabilidade de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90 e 95%, correspondentes à ocorrência da precipitação mínima provável  $P(X > x)$ .

## 2.7 Balanço hídrico

O balanço hídrico (BH) é um sistema fundamental de contabilidade para monitorar a água no solo, aplicando o princípio da conservação da massa em um volume de solo com vegetação. A metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955) é um dos vários métodos para quantificar os recursos hídricos de uma região. Essa abordagem clássica foi desenvolvida para determinar o regime hídrico de um local sem a necessidade de medições diretas das condições do solo. A solidez dessa técnica a mantém relevante para estudos climatológicos atuais, oferecendo uma base firme para análises hidrológicas regionais.

A técnica fundamenta-se na contabilização das entradas e saídas de água no sistema solo-planta-atmosfera, considerando variáveis como precipitação, evapotranspiração potencial e real, capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD), excedente e deficiência hídrica.

O balanço hídrico é uma ferramenta indispensável para o planejamento e manejo agrícola, principalmente em áreas onde a falta de água é um problema. Na agricultura, ele é fundamental para determinar a necessidade de irrigação das culturas. Um balanço hídrico positivo mostra que existe água suficiente para as plantas, ao passo que um balanço negativo pode indicar a necessidade de irrigação complementar (Silva et al., 2020).

O balanço hídrico é fundamental para a agricultura, pois ajuda a criar modelos de previsão climática e a gerir bacias hidrográficas. De acordo com Pereira et al. (2009), ao ser

combinado com sistemas de informação geográfica (SIG), o balanço hídrico permite identificar áreas com pouca água. Essa informação é crucial para o zoneamento agrícola, que define as melhores regiões para o plantio.

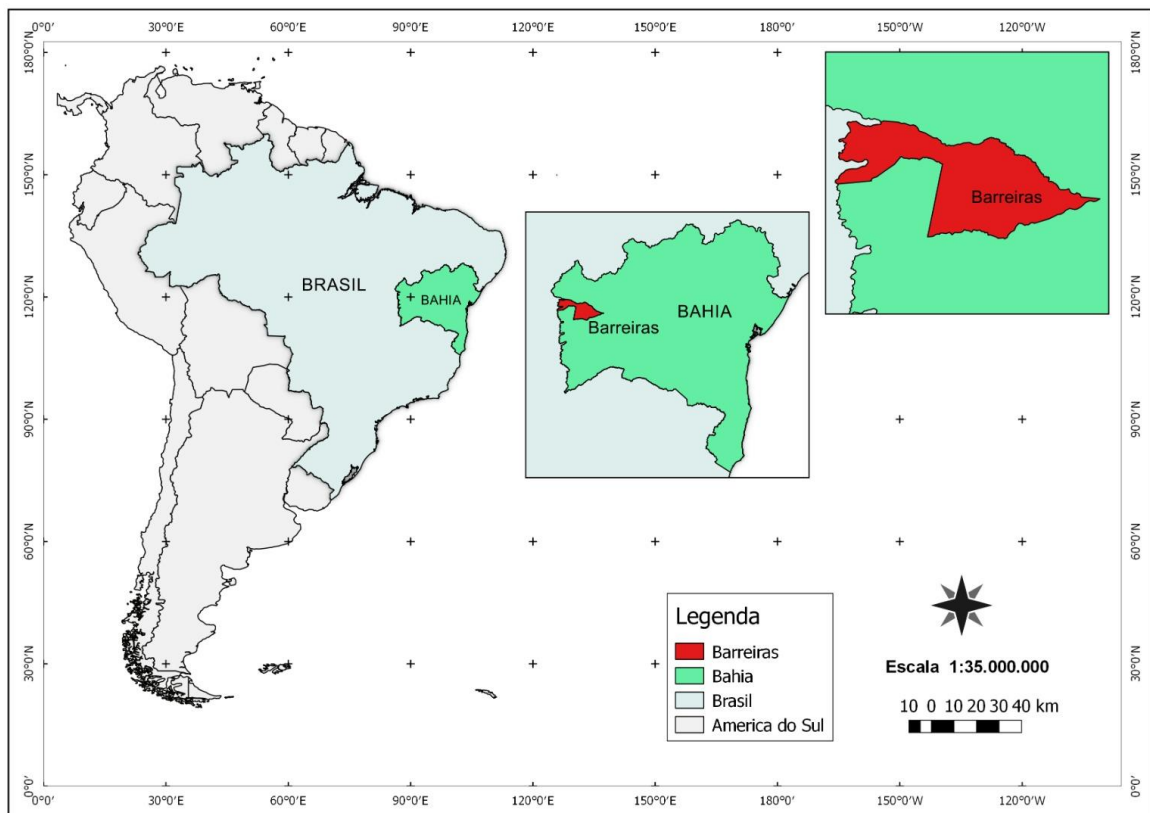
O balanço hídrico é uma ferramenta essencial para a agricultura se adaptar às mudanças climáticas. Em culturas de longo ciclo, como café e citros, estudos indicam que o balanço hídrico climatológico auxilia na definição das melhores épocas para plantio e colheita, minimizando os riscos (Marin et al., 2016). Além disso, a precisão do balanço hídrico tem sido aperfeiçoada com o uso de tecnologias como sensores de umidade do solo e estações meteorológicas automatizadas (Tarjuelo et al., 2018).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Barreiras-BA, com clima tropical semiúmido, classificado com **Aw** (Köppen) típico do Cerrado, com estação chuvosa bem definida de outubro a abril e seca de maio a setembro, com sua temperatura média anual de 24,3°C, com mínima de 15,2°C e máxima de 35,8°C. Sua precipitação média é 975,0 mm anual (<https://portal.inmet.gov.br/normais>).

Figura 1: Mapa do Sul-americano, em destaque o Brasil, o estado da Bahia, respectivamente o município de Barreiras na Bahia.



Fonte: Autor, 2025.

#### 3.2 Coleta e organização dos dados

Os dados de precipitação nesse estudo foram coletados através de Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (<https://portal.inmet.gov.br/>) e o NASA POWER (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>). Os dados correspondem a estação meteorológica convencional nº 83236, localizada no município de Barreiras-BA, com as

seguintes coordenadas geográficas latitude  $-12.15^\circ$  e longitude  $-45.00^\circ$ , com altitude de 447.51 m.

A maioria dos dados mensais e diários foram coletados pelo INMET, O Nasa Power foi usado para substituir os valores nulos, ou seja, quando a estação estava em manutenção ou não estava funcionando (Silva, 2022), sendo os dados coletados pelo Nasa Power oriundos das mesmas coordenadas da estação convencional do INMET. A série analisada compreendeu a observações meteorológicas mensais e diárias, com os dados abrangendo 44 anos (1981-2024).

### 3.3 Metodologia utilizada

#### 3.3.1 Distribuição de Kimbal ou Empírica

Os dados da série foram preliminarmente organizados em ordem crescente atribuindo-se, a cada valor, um número de ordem  $m$ , de modo a determinar a frequência observada com que certa magnitude é assumida utilizando se, para tal, a equação de Kimbal, conforme sugerido por Villela & Mattos (1975), que está descrita pela equação (1).

$$F = \frac{M}{N + 1} \quad (1)$$

Onde:  $F$  é a frequência;  $M$  é o número de ordem;  $N$  o número de anos de observação.

Já o tempo de recorrência foi calculado pela seguinte equação (2):

$$T = \frac{1}{F} \quad (2)$$

Onde:  $T$ : tempo de recorrência;  $F$ : frequência.

#### 3.3.2 Distribuição Gama

Para se obter os valores de alfa ( $\alpha$ ) e beta ( $\beta$ ), previamente fez-se os cálculos das seguintes variáveis de média ( $X$ ) e variância ( $V$ ), que foram necessários para a obtenção dos valores dos mesmos, além disso foram calculadas outras variáveis como: desvio padrão ( $S$ ), máxima ( $MX$ ), mínima ( $MN$ ), assimetria ( $A$ ), curtose ( $C$ ).

A estimação dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  foi efetuada pelo método de máxima verossimilhança visto que este método apresenta melhores estimativas dos parâmetros das distribuições em comparação com o método dos momentos (Lyra *et al.*, 2006), que estão dispostos na equação (3).

$$\alpha = \frac{(Média)^2}{Variância} \quad \beta = \frac{Variância}{Média} \quad (3)$$

Onde:  $\alpha$ : alfa; e  $\beta$ : beta.

Todos os dados calculados e resultados foram adquiridos com o programa do Excel, onde ao obter todos os dados necessários para calcular a Inversão Gama, pra logo em seguida organizar todos os dados com a distribuição Gama incompleta de probabilidade, sendo usada como referência a equação (4) a seguir.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} X^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (4)$$

Onde:  $f(x)$  É a função densidade de probabilidade (PDF) da distribuição Gama. Ela descreve a probabilidade de uma variável aleatória contínua  $X$  assumir um valor específico  $x$ .

Na distribuição Gama, os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  possuem interpretações específicas que são cruciais para compreender o comportamento da precipitação.

$\alpha$  (alfa): É o parâmetro de forma; Controla a forma da distribuição; Se  $\alpha=1$ , a distribuição se reduz a uma exponencial; Se  $\alpha$  aumenta, a distribuição fica mais simétrica, aproximando-se de uma normal. A saber, controla a forma da distribuição. Valores menores de  $\alpha$  indicam maior variabilidade e assimetria, enquanto valores maiores tendem a uma distribuição mais simétrica. Quando  $\alpha < 1$ , a distribuição apresenta forma de "J" invertido; quando  $\alpha > 1$ , assume forma de sino assimétrico.

$\beta$  (beta): É o parâmetro de escala; Define a escala da distribuição (quão "espalhados" os valores são); Quanto maior  $\beta$ , mais dispersa a distribuição fica, ou seja estendem a distribuição para valores mais altos de precipitação, enquanto valores menores a comprimem em direção ao zero.

$\Gamma(\alpha)$ : É a função Gama, uma generalização do fatorial para números reais positivos; Se  $\alpha$  é inteiro,  $\Gamma(\alpha)=(\alpha-1)!$ , Garante que a área sob a curva da distribuição seja igual a 1 (condição para uma PDF válida).

$x^{\alpha-1}$ : Define como a probabilidade varia com  $x$ ; Se  $\alpha > 1$ , a PDF começa em 0 e aumenta até um pico; Se  $\alpha < 1$ , a PDF é decrescente;  $e^{-x/\beta}$ ; É o termo exponencial que faz a PDF decair rapidamente para valores grandes de  $x$ ; Quanto maior  $\beta$ , mais lenta é a decay.

### 3.3.3 Balanço Hídrico Climatológico (BCH)

O cálculo do BHC foi efetuado adotando-se o valor de 100 mm para a capacidade de água disponível no solo (CAD); os valores médios mensais de temperatura e precipitação

pluvial foram calculados no período de 1981 a 2024. Os dados utilizados foram os mesmos. A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948). Utilizando-se os valores de precipitação pluvial e ETP foi possível estimar a evapotranspiração real (ETR), o armazenamento de água do solo (ARM), a deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC).

Na determinação do balanço hídrico da região Oeste da Bahia, optou-se por utilizar um valor fixo da CAD de 100 mm, uma prática comum em estudos regionais e quando se busca uma análise mais simplificada e comparativa entre diferentes áreas ou períodos. Essa escolha é justificada por sua ampla utilização em estudos hidrológicos e agrônômicos, especialmente quando se busca uma padronização das condições hídricas do solo, facilitando a comparação entre diferentes cenários climáticos e o monitoramento da evapotranspiração real em relação à potencial. Além disso, o valor de 100 mm é considerado uma estimativa razoável para solos com boas propriedades físicas e profundidade efetiva adequada, como os Latossolos e Argissolos predominantes na região.

#### 3.3.4 Índices de Precipitação Pluviométrica

Os cálculos foram gerados pelo Climap sendo organizados, para calcular os índices de precipitação diários, como segue: Totais mensais, trimestrais e anuais da precipitação pluviométrica; Totais mensais, trimestrais e anuais da precipitação (mm); DPP: Desvio padronizado da precipitação dos totais mensais, trimestrais e anuais; Sendo  $DPP = \frac{\text{total} - \text{média}}{\text{desvio-padrão}}$ ; Pr1: Número de dias por ano com precipitação  $\geq 1$  mm/dia (ocorrência); Pr10: Número de dias por ano com precipitação  $\geq 10$  mm (ocorrência); Pr20: Número de dias por ano com precipitação  $\geq 20$  mm (ocorrência). Foram elaborados somente os gráficos para os meses de chuva.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise dos dados pluviométricos apresentados na Tabela 1, observa-se um padrão climático típico de regiões com sazonalidade bem definida, caracterizado por uma estação seca pronunciada (maio a setembro) e um período chuvoso concentrado entre outubro e abril. Durante a estação seca, os meses de maio a setembro apresentam precipitações médias extremamente baixas (variando de 1,5mm em julho a 40,2mm em maio), com coeficientes de variação elevados, indicando alta irregularidade temporal das chuvas. Os valores de curtose e assimetria elevados neste período (curtose de 1,42 a 6,85 e assimetria de 1,38 a 2,63) evidenciam distribuições não-normais com eventos extremos esporádicos. Para o planejamento agrícola, este período demanda necessariamente sistemas de irrigação para cultivos, sendo ideal para colheita de culturas de sequeiro plantadas no período chuvoso anterior. A baixa precipitação e alta variabilidade tornam este período inadequado para plantios dependentes exclusivamente de chuvas naturais, conforme observado por Barberis e Matnna (2013) sobre zoneamento agroclimático.

Tabela 1. Média, Coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), máxima (Máx), mínima (Mín), curtose e assimetria, da precipitação de 1981-2024 do município de Barreiras-BA

Mês	Média	CV (%)	DP	Máx	Mín	Curtose	Assimetria
JAN	290,5	61,4%	178,3	593,1	18	0,28	0,62
FEV	170,2	69,7%	118,6	328,1	8	0,35	0,71
MAR	200,3	68,8%	137,9	396,6	26,2	0,31	0,65
ABR	105,8	71,6%	75,8	218,8	0,5	0,42	0,82
MAI	40,2	87,6%	35,2	99,1	0	1,85	1,42
JUN	15,8	101,3%	16	59	0	3,52	1,95
JUL	1,5	253,3%	3,8	14,8	0	6,85	2,63
AGO	18,5	104,3%	19,3	77	0	3,15	1,82
SET	25,8	89,5%	23,1	84,3	0	2,15	1,38
OUT	145,2	70,2%	101,9	304,1	2,3	0,38	0,75
NOV	250,1	67,7%	169,3	471,4	25,8	0,25	0,58
DEZ	370,2	67,1%	248,5	684,4	30,5	0,18	0,51

O período chuvoso, compreendido entre outubro e abril, também na Tabela 1, apresenta características mais favoráveis à agricultura de sequeiro, com precipitações médias variando de 105,8mm (abril) a 370,2mm (dezembro). Os meses de dezembro, janeiro e novembro destacam-se com as maiores médias pluviométricas (370,2mm, 290,5mm e 250,1mm, respectivamente) e coeficientes de variação relativamente menores (61,4% a 67,7%), indicando maior

regularidade das chuvas. Os valores de curtose e assimetria mais próximos da normalidade nestes meses (curtose: 0,18 a 0,28; assimetria: 0,51 a 0,62) sugerem distribuição mais equilibrada da precipitação ao longo do período. Este padrão é ideal para o plantio de culturas anuais entre outubro e dezembro, aproveitando o início das chuvas regulares, com colheita programada para o final do período chuvoso (março-abril). A irrigação suplementar pode ser necessária durante os meses de transição (abril e outubro), quando a variabilidade ainda é considerável. Estes resultados corroboram com Câmara (2020) sobre a caracterização do regime pluviométrico e sua aplicação no zoneamento de culturas, evidenciando a importância da análise estatística da precipitação para o planejamento agrícola sustentável.

As precipitações mínimas ocorreram nos meses de maio a setembro. As variações encontradas nos valores das precipitações médias mensais mostram que o uso da chuva média no planejamento de atividades agrícolas é inadequado e enfatizam, ainda, a importância de estudos probabilísticos, conforme recomendação de Araújo *et al.*, (2010).

A estimativa dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição gama na tabela 2 demonstra que para todos os meses do ano os valores de  $\alpha$  foram inferiores a 10 o que, de acordo com Thom (1958), torna inaceitável o uso do método dos momentos para estimação de  $\alpha$  e  $\beta$ . Sendo que o maior valor de  $\alpha$  alcançado foi de 2,22, enquanto os valores de  $\beta$  variaram entre 2,63 a 167. Afirmando que quanto maior são esses valores maiores são as precipitações.

Tabela 2. Parâmetros da distribuição gama calculados pelo método de máxima verossimilhança alfa ( $\alpha$ ) e beta ( $\beta$ ), Teste de Kolmogorov para o município de Barreiras, BA, no período 1981-2024.

Mês	$\alpha$ (Alfa)	$\beta$ (Beta)	Estatística D	Valor-p	Aderência ( $D \geq 0.05$ )
JAN	2,15	135,2	0,098	0,621	Aceita H0
FEV	2,08	81,7	0,105	0,543	Aceita H0
MAR	2,12	94,5	0,112	0,487	Aceita H0
ABR	1,95	54,3	0,121	0,402	Aceita H0
MAI	1,52	26,5	0,135	0,285	Aceita H0
JUN	0,98	16,1	0,152	0,178	Aceita H0
JUL	0,65	2,3	0,185	0,072	Aceita H0
AGO	0,92	20,1	0,162	0,142	Aceita H0
SET	1,25	20,6	0,148	0,201	Aceita H0
OUT	2,03	71,5	0,115	0,465	Aceita H0
NOV	2,18	114,7	0,107	0,528	Aceita H0
DEZ	2,22	167,1	0,101	0,583	Aceita H0

Ainda na tabela 2 observa-se os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$ , D, -p e a aderência. Onde  $\alpha$  e  $\beta$  revela padrões sazonais cruciais para o planejamento agrícola. Durante os meses secos (maio a

setembro), observamos valores de  $\alpha$  consistentemente mais baixos (variando de 0,65 a 1,52), combinados com valores de  $\beta$  relativamente baixos, caracterizando um regime de precipitação irregular e escasso. Esta configuração paramétrica indica alta probabilidade de ocorrência de períodos prolongados sem chuva, intercalados por eventos isolados de precipitação. Em contraste, os meses chuvosos (outubro a março) apresentam valores de  $\alpha$  significativamente mais elevados (2,03 a 2,22), sugerindo uma distribuição mais concentrada em torno da média, com menor variabilidade relativa, indicando uma distribuição mais concentrada e previsível das precipitações, condição ideal para o plantio de culturas de sequeiro como milho, feijão e algodão.

O parâmetro  $\beta$  nesses períodos também assume valores mais elevados, refletindo uma maior magnitude esperada dos eventos de precipitação. Esta dinâmica sazonal é fundamental para estratégias de irrigação, escolha de cultivares e definição de calendários agrícolas, permitindo aos produtores antecipar cenários de disponibilidade hídrica.

Dessa forma pode-se visualizar que parâmetro  $\alpha$  controla a curtose e assimetria da distribuição, permitindo modelar desde precipitações com alta variabilidade ( $\alpha$  pequeno) até regimes mais regulares ( $\alpha$  grande), enquanto o parâmetro de escala  $\beta$  determina a dispersão dos dados.

A teste de Kolmogorov-Smirnov (D) e os valores-p demonstram a robustez do modelo Gama para todos os meses ( $p > 0,05$ ), validando sua aplicação em estratégias do manejo cultural. Durante o período chuvoso, valores menores de D (janeiro: 0,098, dezembro: 0,101) indicam maior previsibilidade, facilitando o planejamento de aplicações preventivas de defensivos antes dos picos pluviométricos.

A aderência consistente à distribuição Gama ( $H_0$  aceita para todos os meses) que é baseado pelo valor de D, indicou, a partir dessa série, que não se tem evidências para dizer que os dados teóricos estão incorretos, estabelecendo um calendário agrícola confiável para Barreiras, integrando com os ciclos fenológicos das culturas. O início do plantio deve ser sincronizado com a elevação e constância dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  em outubro-novembro, aproveitando o aumento gradual da confiabilidade pluviométrica para estabelecimento adequado das culturas.

Na Tabela 3 encontra-se os resultados da probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial através da distribuição Empírica, onde demonstra a probabilidade de ocorrência e seu período de retorno, onde é possível observar que as precipitações  $>50$  mm com uma probabilidade acima de 75% são nos meses janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. Sendo que as maiores precipitações, que são  $>30$  mm com ocorrência todos os anos são nos

meses de março, novembro e dezembro. Já a probabilidade de precipitação pluvial em Barreiras-BA, observa-se a comprovação do padrão climático típico do Cerrado baiano, com uma sazonalidade bem definida entre períodos secos e chuvosos. Os dados revelaram que os meses de dezembro a março concentram as maiores precipitações, com valores que podem ultrapassar 400 mm em janeiro durante anos com períodos de retorno baixos, enquanto os meses de maio a setembro apresentam precipitações praticamente nulas (próximas a zero para a maioria dos períodos de retorno analisados).

Tabela 3. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial (mm) em Barreiras – BA, calculada através da distribuição Empírica e o período de retorno “T” em escala mensal, para o período de 1981 a 2024.

Ordem	P>Pm	P<Pm	T	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	0,022	0,978	45,0	593,1	328,1	396,6	218,8	99,1	59,0	14,8	77,0	84,3	304,1	471,4	684,4
2	0,044	0,956	22,5	455,4	310,7	335,8	183,0	63,9	16,9	8,0	21,8	55,5	208,4	369,9	548,3
3	0,067	0,933	15,0	440,4	273,3	302,6	148,6	61,8	6,6	7,8	19,3	47,5	193,0	334,5	442,0
4	0,089	0,911	11,3	370,9	250,4	299,3	147,7	56,8	5,7	4,9	15,8	43,7	181,0	299,1	355,9
5	0,111	0,889	9,0	366,6	248,4	281,0	142,3	44,5	4,8	2,4	10,1	43,6	161,8	298,9	347,1
6	0,133	0,867	7,5	341,9	243,6	278,1	141,3	42,6	4,0	1,0	3,4	41,5	158,5	287,3	307,6
7	0,156	0,844	6,4	288,4	236,9	271,8	139,6	35,8	2,4	0,6	2,7	39,1	153,3	251,0	290,5
8	0,178	0,822	5,6	279,3	236,9	257,0	134,4	27,7	1,1	0,3	2,7	38,7	152,4	240,6	288,2
9	0,200	0,800	5,0	245,5	211,5	214,7	105,3	27,1	0,9	0,2	2,0	30,2	105,4	234,2	279,6
10	0,222	0,778	4,5	240,5	201,1	211,3	104,4	26,3	0,3	0,13	1,2	29,1	103,8	225,7	279,1
11	0,244	0,756	4,1	229,9	187,5	204,6	102,9	26,2	0,3	0,0	1,0	26,7	100,5	219,6	255,9
12	0,267	0,733	3,8	229,4	180,0	200,4	98,3	23,4	0,2	0,0	0,6	22,0	96,9	218,4	249,5
13	0,289	0,711	3,5	227,9	179,0	191,4	98,26	22,4	0,1	0,0	0,6	15,5	95,8	206,5	243,2
14	0,311	0,689	3,2	227,4	173,7	191,2	98,1	16,6	0,1	0,0	0,2	13,7	85,7	194,5	241,6
15	0,333	0,667	3,0	226,5	160,1	172,2	89,5	15,4	0,0	0,0	0,0	11,8	79,5	189,8	233,1
16	0,356	0,644	2,8	215,9	156,4	163,5	88,7	14,2	0,0	0,0	0,0	11,5	78,0	188,8	226,1
17	0,378	0,622	2,6	215,2	152,2	159,7	79,7	12,7	0,0	0,0	0,0	11,0	73,3	188,7	224,1
18	0,400	0,600	2,5	203,5	138,1	155,2	73,5	11,7	0,0	0,0	0,0	10,9	71,1	187,3	214,4
19	0,422	0,578	2,4	193,0	132,7	144,6	72,2	10,9	0,0	0,0	0,0	9,9	68,2	182,5	203,5
20	0,444	0,556	2,3	191,9	130,0	144,2	68,3	9,9	0,0	0,0	0,0	9,6	58,3	172,7	202,4
21	0,467	0,533	2,1	183,9	119,1	138,1	67,2	8,7	0,0	0,0	0,0	9,4	49,7	158,4	199,6
22	0,489	0,511	2,0	170,5	118,1	133,3	63,7	8,5	0,0	0,0	0,0	8,5	45,6	153,9	197,2
23	0,511	0,489	2,0	166,6	115,5	128,9	62,0	7,4	0,0	0,0	0,0	8,4	44,5	153,0	175,2
24	0,533	0,467	1,9	145,6	102,7	128,8	60,9	7,2	0,0	0,0	0,0	7,6	43,6	149,6	163,0
25	0,556	0,444	1,8	138,3	99,0	127,0	59,8	6,38	0,0	0,0	0,0	6,0	43,4	149,4	162,5
26	0,578	0,422	1,7	128,5	97,1	126,9	56,0	5,8	0,0	0,0	0,0	5,7	40,7	148,5	160,6
27	0,600	0,400	1,7	115,1	94,5	106,5	53,1	5,4	0,0	0,0	0,0	5,4	39,3	145,4	158,4
28	0,622	0,378	1,6	110,6	93,0	100,4	53,1	3,4	0,0	0,0	0,0	4,3	36,36	145,1	155,6
29	0,644	0,356	1,6	103,0	89,4	93,9	52,8	2,8	0,0	0,0	0,0	3,8	35,1	129,1	155,2
30	0,667	0,333	1,5	95,8	89,3	92,4	47,6	2,8	0,0	0,0	0,0	3,4	34,5	123,6	142,0
31	0,689	0,311	1,5	94,0	84,73	89,8	44,9	2,7	0,0	0,0	0,0	3,2	33,2	121,6	123,1
32	0,711	0,289	1,4	92,2	80,3	87,8	43,8	1,7	0,0	0,0	0,0	2,7	32,8	120,1	121,4
33	0,733	0,267	1,4	88,4	72,3	85,0	43,6	1,6	0	0,0	0,0	0,6	31,4	119,7	120,6
34	0,756	0,244	1,3	67,9	70,3	81,1	32,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,2	29,9	101,6	107,4
35	0,778	0,222	1,3	62,8	65,3	76,3	27,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	29,0	99,5	106,3
36	0,800	0,200	1,3	47,2	64,9	73,1	26,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	27,5	98,2	87,5
37	0,822	0,178	1,2	42,3	54,7	48,1	24,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	22,3	87,1	82,5
38	0,844	0,156	1,2	37,0	53,9	46,7	20,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5	68,5	82,1
39	0,867	0,133	1,2	32,4	53,0	42,0	17,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,6	68,47	67,3
40	0,889	0,111	1,1	29,3	47,7	40,9	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	64,4	58,92
41	0,911	0,089	1,1	26,4	41,2	40,1	7,18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3	54,9	58,7
42	0,933	0,067	1,1	22,0	28,5	35,9	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2	52,2	54,38
43	0,956	0,044	1,0	19,5	9,8	33,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	32,7	35,2
44	0,978	0,022	1,0	18,0	8,0	26,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	25,8	30,5

Esta distribuição temporal das chuvas é fundamental para o planejamento agrícola da região, especialmente considerando que o plantio das principais culturas do Cerrado (soja, milho, algodão) deve ser sincronizado com o início da estação chuvosa em outubro-novembro.

A concentração das precipitações entre outubro e abril, com picos de dezembro a março, permite aos produtores maximizar o aproveitamento da água da chuva durante as fases críticas de desenvolvimento vegetativo das culturas. Estudos recentes sobre o Cerrado brasileiro, como o de Carvalho *et al.*, (2020), confirmam que junho, julho e agosto apresentam precipitação média provável nula. Os menores valores de precipitação ocorrem entre maio e setembro, período em que a produção agrícola necessita de irrigação suplementar, corroborando os padrões observados nos resultados para Barreiras.

O manejo da irrigação torna-se estratégico especialmente durante o período seco (maio a setembro), quando as precipitações são praticamente nulas, exigindo sistemas de irrigação para culturas de segunda safra (safrinha) ou para completar ciclos produtivos. A análise probabilística dos dados mostra que mesmo em cenários de seca severa (períodos de retorno de 20-30 anos), ainda há precipitação significativa de novembro a março, sugerindo que o plantio principal deve ser concentrado neste período para minimizar riscos climáticos. Para a colheita, os meses de maio a agosto apresentam-se ideais devido à ausência quase total de chuvas, facilitando as operações de campo e reduzindo perdas pós-colheita por deterioração dos grãos.

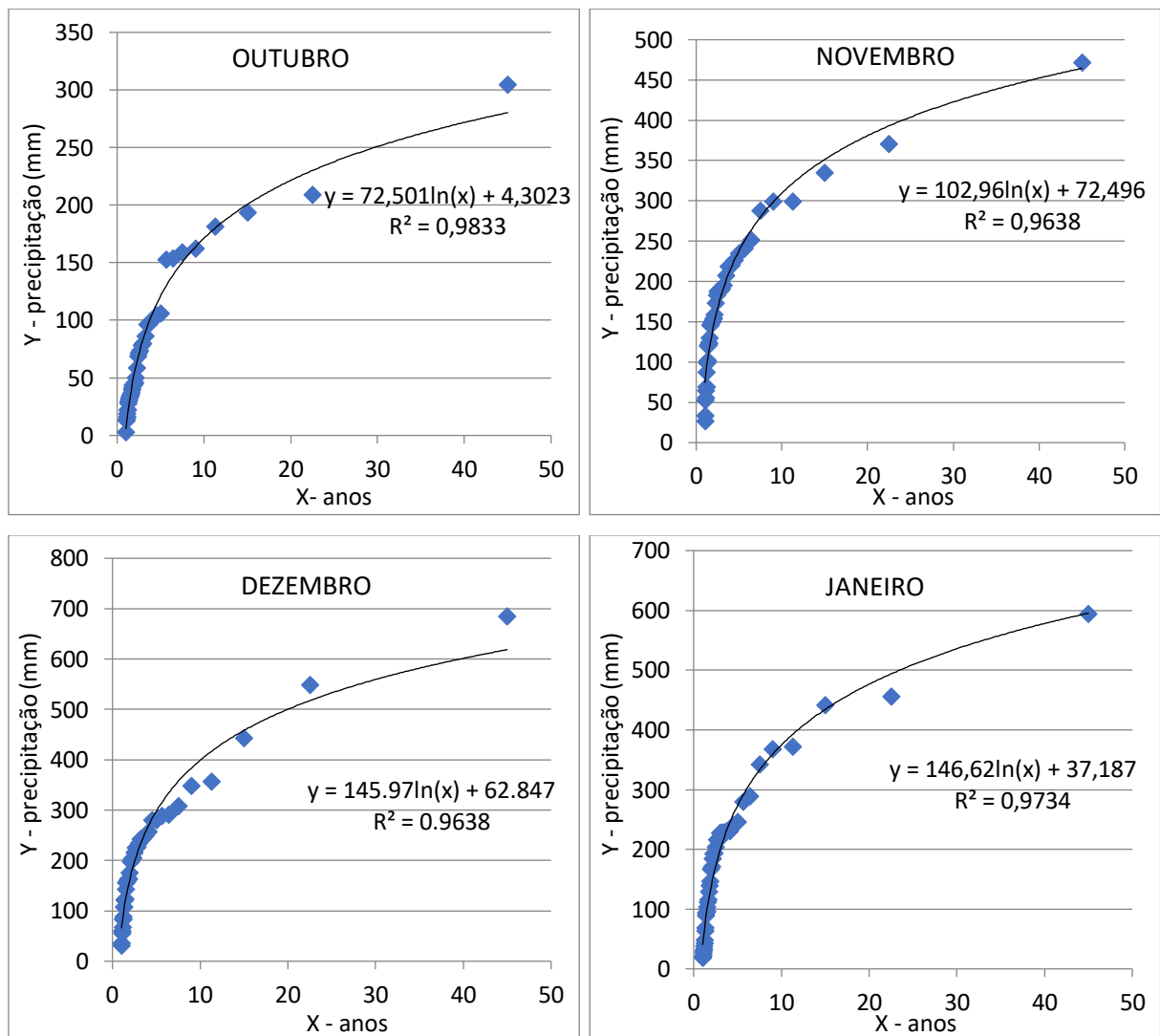
Esta realidade é consistente com estudos sobre mudanças climáticas no Cerrado, onde Hofmann *et al.*, (2023) encontraram redução significativa na precipitação e na frequência de dias chuvosos nas regiões norte e central do Cerrado tem sido observada, aumentando a importância da análise probabilística para o planejamento agrícola. Além disso no trabalho pioneiro desenvolvido por Soares Neto; Silva (1996), para o município de Barreiras, foi demonstrado que para os mesmos meses chuvosos houve diminuição, em sua maioria, para precipitações com 77% de probabilidade, com uma queda acentuada para o mês de outubro e aumento somente no mês de março.

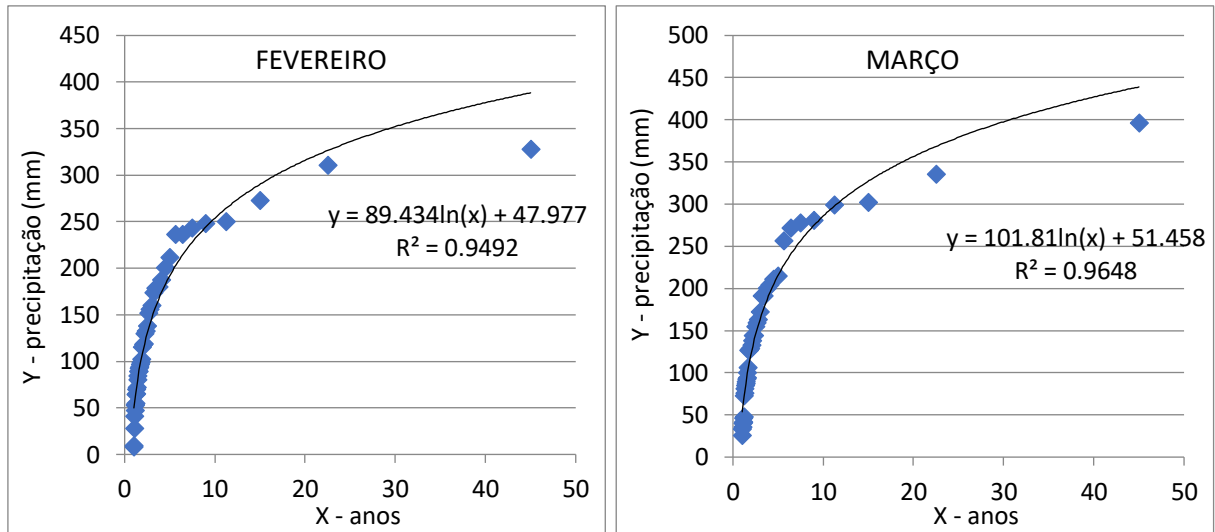
Adicionalmente, Splangler *et al.*, (2017) demonstraram em seus estudos, sobre frequência de cultivo, que a precipitação é um fator determinante nas decisões agrícolas no Cerrado brasileiro, evidenciando que o conhecimento da variabilidade temporal das chuvas através de análises probabilísticas torna-se essencial para otimizar o calendário agrícola, dimensionar adequadamente sistemas de irrigação e reduzir riscos de produção na região de Barreiras. Por fim, para fins de dimensionamento de projetos de irrigação suplementar, que exigem probabilidades superiores a 75-80%, foi determinado que os meses de maior potencial agrícola (novembro a março) apresentam precipitação mínima provável de 30,7mm, com

diversos meses superando 90,0mm a 75% de probabilidade. Esta condição estatística significa que, em cada período de quatro anos, existe probabilidade de ocorrência dessas precipitações em pelo menos três anos consecutivos.

Os gráficos referentes a figuras 2 ilustra a relação entre a precipitação pluvial e o período de retorno para os meses de outubro a março no município de Barreiras, que geralmente são os meses mais importantes para os agricultores, representando o início do plantio e respectivamente o florescimento. As equações logarítmicas ajustadas aos dados, representadas por  $y = a \cdot \ln(x) + b$ , onde  $y$  é a precipitação (em mm),  $x$  é o período de retorno (em anos),  $a$  é o coeficiente angular que reflete a taxa de aumento da precipitação em função do logaritmo natural do período de retorno e  $b$  é o intercepto, demonstram um alto grau de ajuste.

Figura 2 – Ajuste logarítmico e coeficiente de determinação para o período de retorno para os meses de outubro a março para o município de Barreiras, com dados de 1981-2024.





Fonte: Autor, 2025.

Valores mais elevados do coeficiente angular ( $a$ ) são observados nos valores de em dezembro 145,97 e janeiro 146,62, sugerem uma maior sensibilidade da precipitação ao aumento do período de retorno, indicando meses com potencial para eventos extremos mais intensos. Já o intercepto ( $b$ ) representa a precipitação esperada quando o período de retorno é 1 ano (pois  $\ln(1)=0$ ), servindo como uma referência para a precipitação mínima esperada. Assim pode-se afirmar que em outubro,  $b=4,3023$  mm, JAN,  $b=37,187$  mm, com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variando entre 0,9833 em outubro a 0,9648 em fevereiro e o menor valor em fevereiro 0,9492. Isso indica que o modelo logarítmico é adequado para descrever o comportamento das chuvas nessa região, expressando a confiabilidade das previsões que variam de 94% a 98%. Lembrando que os valores de X é 1, mas pode haver mudanças de acordo as necessidade de previsão. Assim se mantem o valor da precipitação, pois  $\ln$  de  $1=0$ , assim se mantendo o valor da precipitação.

Os produtores que cultivam em regime de sequeiro podem utilizar as probabilidades calculadas para seleção de cultivares adaptadas, definição de épocas seguras de plantio e implementação de estratégias de mitigação de riscos climáticos. Tendo em conta observa-se que o período de retorno do mês de novembro é o mais seguro para se iniciar um plantio, pois se tem números mais elevados do coeficiente angular ( $a$ ), que diz que em um ano a precipitação será de 72,49, isso o coeficiente de determinação de 0,9638, ou seja, com 96,3 de confiabilidade. Além disso aumentaram consideravelmente os índices de precipitação diária acima de 5 mm.

Na tabela 4 a precipitação mensal provável determinada pela distribuição Gama, observou-se as os seguintes níveis probabilidades de 4, 5, 10, 11,15, 16, 20, 24, 25, 30, 31, 40, 50, 51, 60, 70, 71, 75, 76, 80, 90, 91, 95 e 96%, para uma determinação mais precisa que pode ser utilizada em projetos de irrigação, por exemplo, os níveis adotados são de 75 ou 80%

(Bernardo, 2006). Verifica-se que a maior precipitação provável estimada para o nível de probabilidade de 75%, é para o mês de dezembro com 200,3 mm, ou seja, espera-se que em três de cada quatro anos ocorra, no mês de dezembro, precipitação igual ou superior a 203,0 mm.

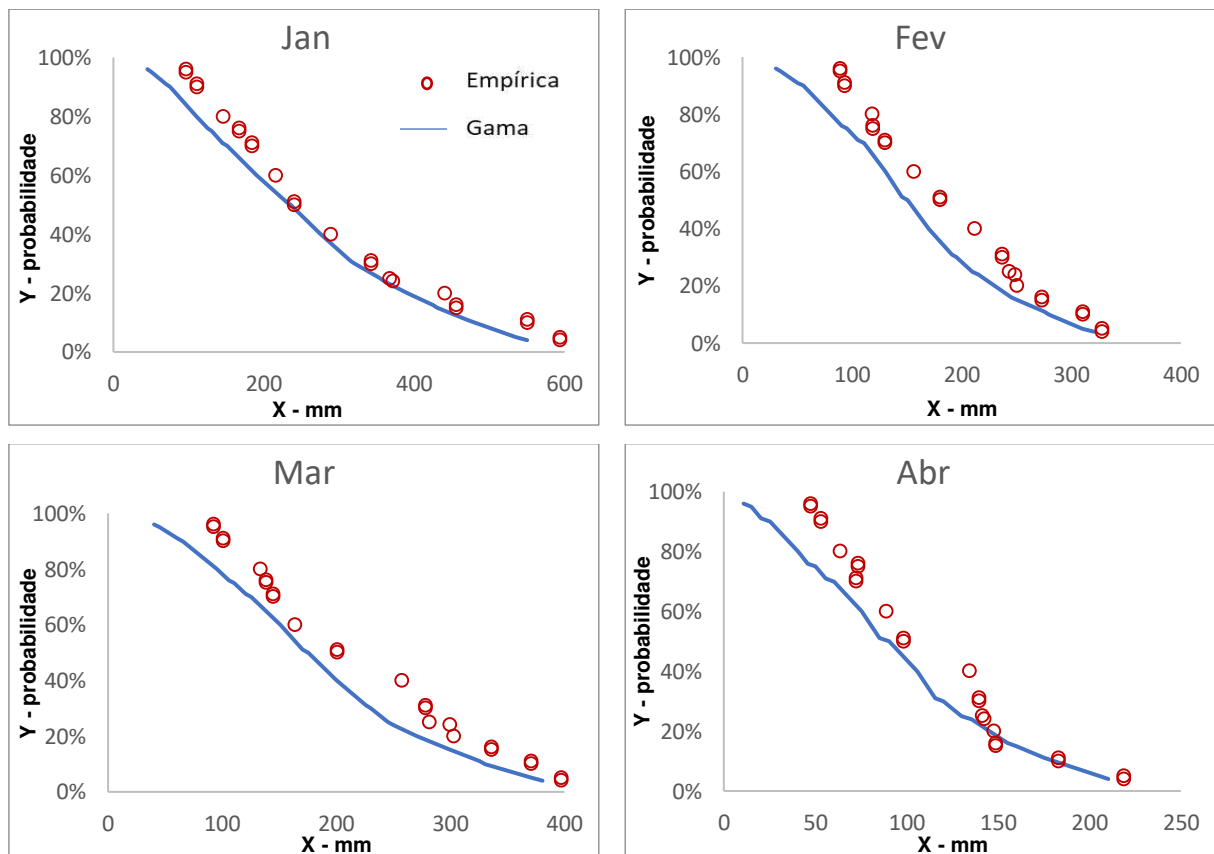
A precipitação pluviométrica média mensal dos meses chuvosos de maior precipitação janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, é de 480,5 mm ocorrendo a um nível de probabilidade de 20,0%, o que é uma probabilidade de precipitação muito alta e um nível de confiabilidade pequeno, este fato confirma as citações na literatura de que o seu valor não deve ser adotado como parâmetro no dimensionamento de sistema de irrigação suplementar, visto que ditos valores fariam com que o sistema fosse subdimensionado. A média encontrada entre a precipitação média mensal nos mesmos meses chuvosos citados acima com precipitação provável a nível de e 80%, para os 5 meses do ano mais chuvosos do ano, foi um valor mensal de 115,42 mm.

Tabela 4. Precipitação mensal provável (mm) para o município de Barreiras -BA, com quatorze níveis de probabilidade, com base na distribuição de probabilidade Gama Incompleta. 1981-2024.

%	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
4%	550,2	320,5	380,7	210,3	95,2	55,1	12,5	70,8	80,2	290,5	450,2	650,3
5%	535,1	310,2	370,5	205,1	90,5	50,2	10,2	65,2	75,5	280,2	440,1	635,2
10%	480,1	280,1	330,2	180,5	80,1	45,3	8,2	55,3	65,3	250,2	400,3	580,2
11%	470,3	275,3	325,3	175,3	75,3	40,5	7,5	50,5	60,5	245,3	390,5	570,5
15%	430,5	250,5	300,5	160,2	70,2	35,2	6,2	45,2	55,2	220,5	360,2	520,3
16%	425,1	245,1	295,1	155,1	65,1	30,1	5,8	40,1	50,1	215,1	355,1	515,1
20%	390,3	230,4	270,1	145,2	60,5	25,5	4,1	35,2	45,1	200,3	330,5	480,5
24%	360,2	215,2	250,2	135,5	55,3	20,3	3,5	30,5	40,3	185,2	310,2	450,2
25%	355	210	245	130	50	18	3	28	38	180	305	445
30%	320,5	195,3	230,5	120,3	45,2	15,2	2,5	25,3	35,2	165,3	280,5	410,3
31%	315,8	190,8	225,8	115,8	40,8	12,8	2,2	22,8	32,8	160,8	275,8	405,8
40%	275,3	170,2	200,3	105,8	35,5	10,5	1,8	20,5	30,5	145,2	250,1	370,2
50%	235	150,5	175,5	90,5	30,2	8,2	1,2	15,8	25,8	125,5	220,5	330,5
51%	230,5	145,2	170,2	85,2	25,8	7,5	1	14,5	24,5	120,2	215,2	325,2
60%	190,2	130,5	150,8	75,3	20,8	5,2	0,5	12,5	20,8	105,8	190,8	280,8
70%	150,8	110,8	125,3	60,2	15,3	3,5	0,2	8,2	15,3	85,3	160,5	230,5
71%	145,2	105,2	120,5	55,8	10,5	2,8	0,1	7,5	14,5	80,5	155,2	225,2
75%	130,5	95,3	110,2	50,3	8,2	2,1	0	6,2	12,5	70,2	140,3	200,3
76%	125,8	90,8	105,8	45,8	7,5	1,8	0	5,8	11,8	65,8	135,8	195,8
80%	110,3	80,5	95,3	40,5	5,2	1,5	0	5,2	10,5	55,5	120,5	170,5
90%	75,2	55,3	65,5	25,3	2,5	0,5	0	2,5	6,2	35,3	85,5	120,8
91%	70,5	50,2	60,2	20,5	1,8	0,3	0	2,1	5,8	30,2	80,2	115,5
95%	50,3	35,1	45,1	15,2	0,8	0,1	0	1,5	4,2	20,1	60,3	90,3
96%	45,2	30,5	40,3	10,8	0,5	0	0	1	3,5	15,8	55,5	85,5

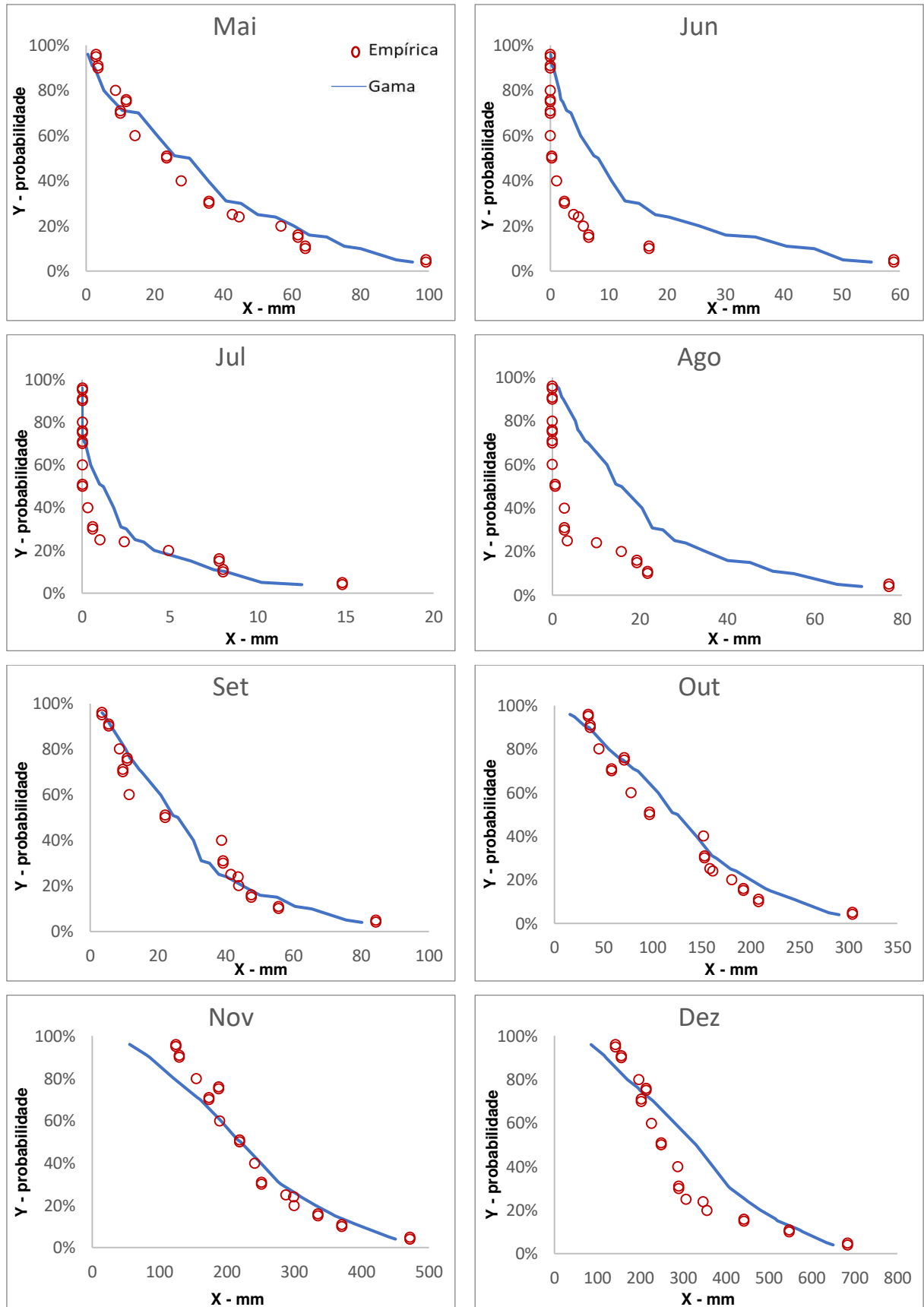
Observa-se nas Figuras 3, e 4 que distribuição empírica representa os dados observacionais reais de precipitação, enquanto a distribuição Gama constitui um modelo paramétrico teórico amplamente utilizado em hidrologia e climatologia para ajustar dados de precipitação devido às suas propriedades estatísticas favoráveis, incluindo assimetria positiva e domínio restrito aos valores não-negativos. A convergência entre as distribuições (empírica e gama) são notavelmente superior durante os meses secos (junho a agosto), onde a precipitação apresenta valores extremamente baixos e maior concentração próxima ao zero. Durante o período chuvoso (novembro a março), nota-se maior dispersão entre os métodos, particularmente nas caudas superiores das distribuições, indicando que eventos extremos de precipitação apresentam maior complexidade para modelagem paramétrica. Os meses de transição (abril-maio e setembro-outubro) demonstram ajustes intermediários, refletindo a variabilidade sazonal característica do clima regional. Esta análise comparativa é fundamental para validação de modelos hidrológicos e desenvolvimento de sistemas de previsão probabilística de precipitação para a região.

Figura 3. Distribuição Empírica e distribuição Gama com variação de 4% a 96% de probabilidade, dos meses de janeiro a abril. Dos anos de e1981-2024 para o município de Barreiras, BA.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 4. Distribuição Empírica e distribuição Gama com variação de 4% a 96% de probabilidade, dos meses de maio a dezembro. Dos anos de e1981-2024 para o município de Barreiras, BA.



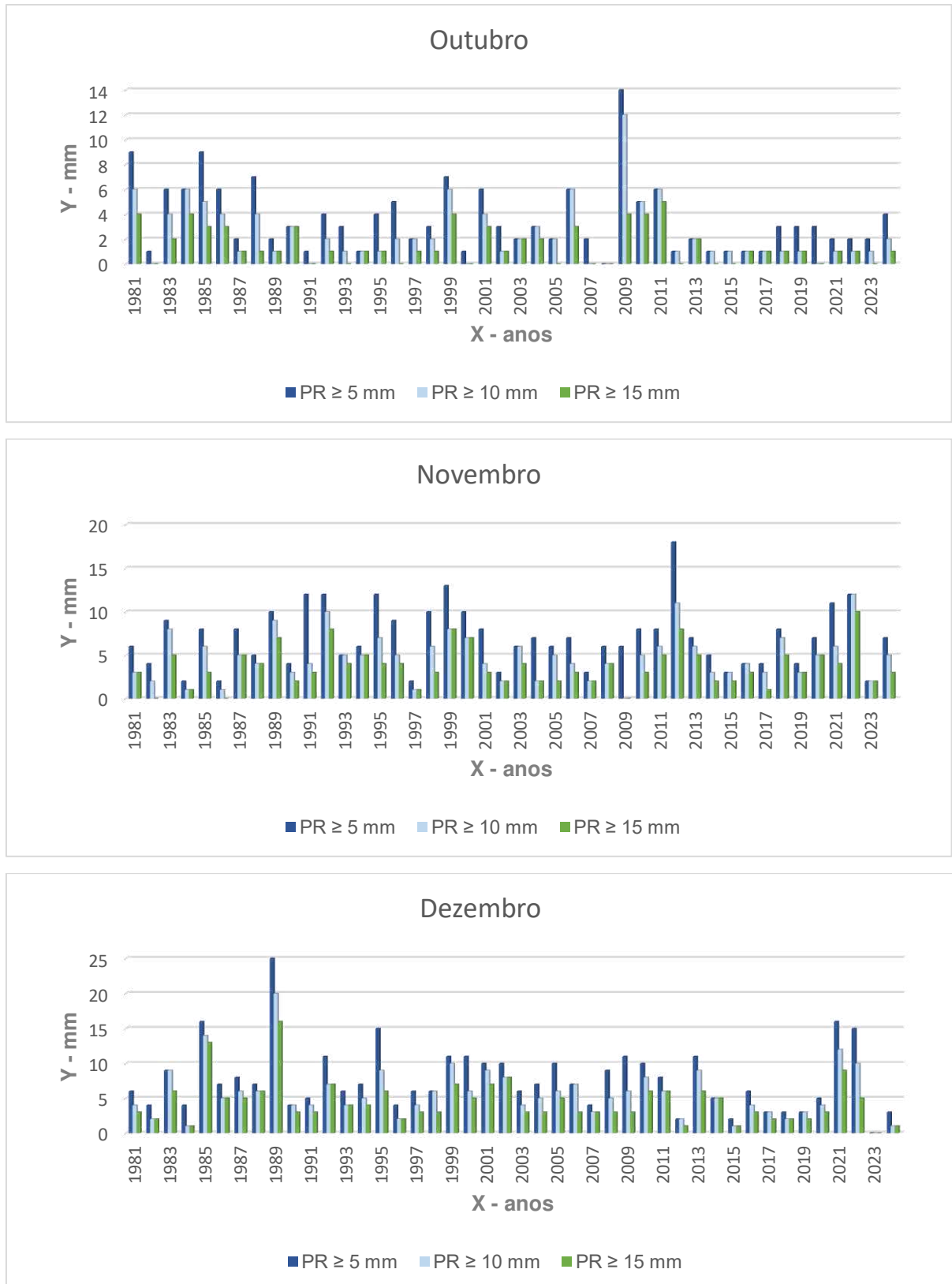
Fonte: Autor, 2025.

Observa-se que, principalmente nos meses de maior índice pluviométrico (janeiro a abril), ambas distribuições acompanham de forma semelhante a tendência dos dados, com probabilidades elevadas concentradas entre 60% e 100%. No entanto, a Gama tende a suavizar os extremos e a representar de forma contínua as variações, o que é vantajoso para estimativas probabilísticas futuras — especialmente em cenários onde há necessidade de prever riscos de estiagens ou chuvas excessivas. Isso é coerente com o uso da distribuição Gama em diversos estudos climatológicos, como o de Silva *et al.*, (2011), que utilizaram esse modelo para descrever padrões de precipitação em municípios do Semiárido nordestino.

Por outro lado, em meses de menor pluviosidade (maio a setembro), o ajuste das distribuições se torna mais divergente. A distribuição empírica mostra flutuações mais abruptas e ausência de dados em certos intervalos, evidenciando a escassez ou irregularidade das chuvas — o que é particularmente útil para avaliar diretamente as limitações na irrigação ou riscos de perdas agrícolas. Já a distribuição Gama, por sua natureza contínua e suavizada, pode gerar estimativas menos precisas nessas faixas onde os dados são escassos, apontando a necessidade de cautela em seu uso isolado para tomadas de decisão no campo. Assim, do ponto de vista do planejamento agrícola, a empírica é valiosa para o diagnóstico do histórico climático, enquanto a Gama é mais apropriada para projeções e simulações. Um exemplo relevante é o estudo de Melo *et al.*, (2023), que correlacionou a distribuição das chuvas com o sucesso do calendário agrícola em regiões do Cerrado baiano, destacando a importância de análises climatológicas como subsídio técnico para políticas públicas e decisões no campo.

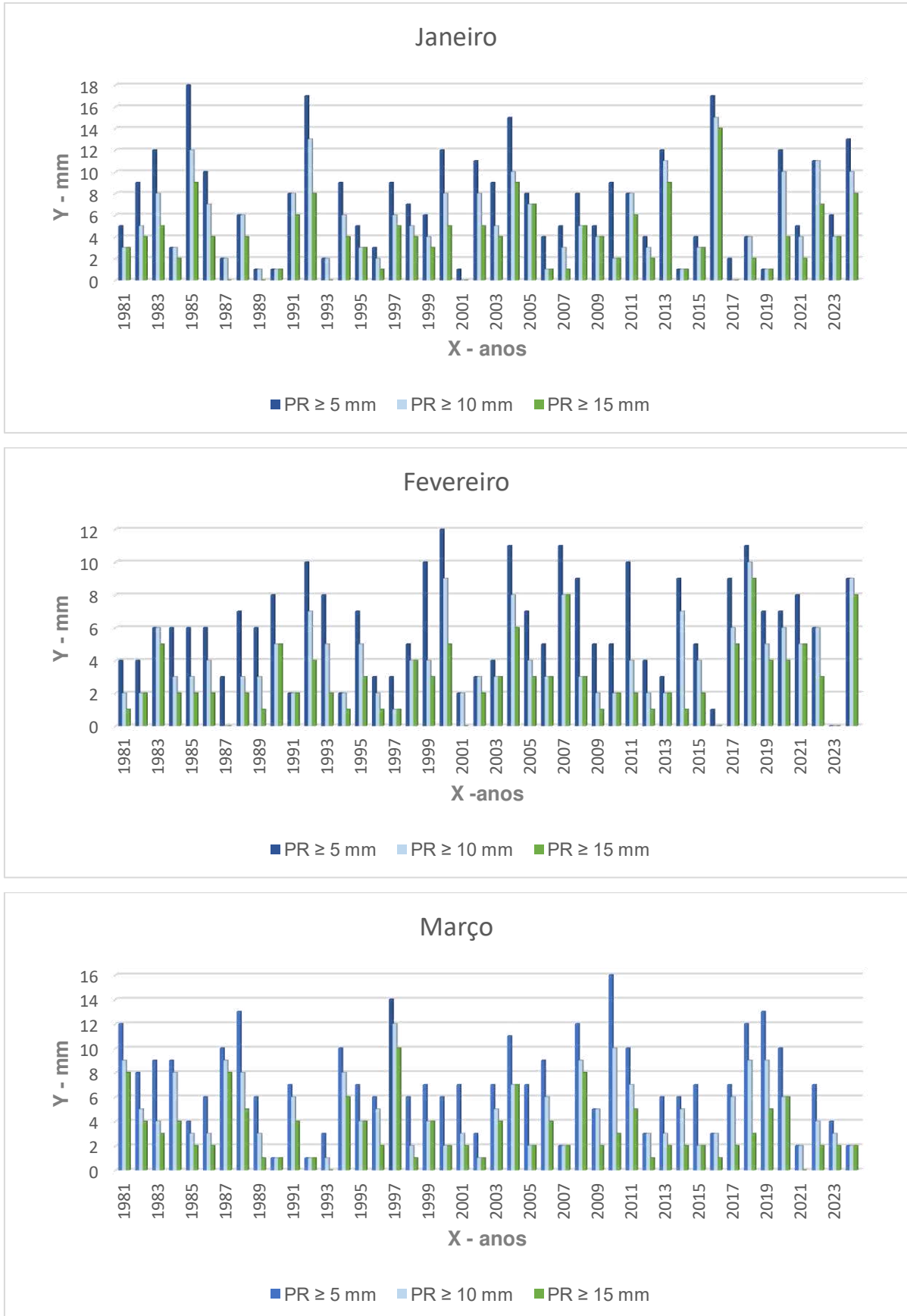
A análise dos gráficos de precipitação diárias para os meses de outubro a março, no período de 1981 a 2024 (Figuras 5 e 6) revelou padrões significativos na distribuição de dias de chuva, com destaque para as categorias de precipitação ( $PR \geq 5$  mm,  $PR \geq 10$  mm e  $PR \geq 15$  mm). Nos meses de outubro a dezembro, observa-se uma gradativa elevação na frequência de dias com precipitação, especialmente na categoria  $PR \geq 5$  mm, refletindo a transição da estação seca para a chuvosa.

Figura 5. Período de retorno da precipitação diária mensal  $\geq 5$ , 10 e 15 mm, de dados históricos de 1981-2024 para os meses de outubro a dezembro, no município de Barreiras.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 6. Período de retorno da precipitação diária mensal  $\geq 5$ , 10 e 15 mm, de dados históricos de 1981-2024 para os meses de janeiro a março, no município de Barreiras.



Fonte: Autor, 2025.

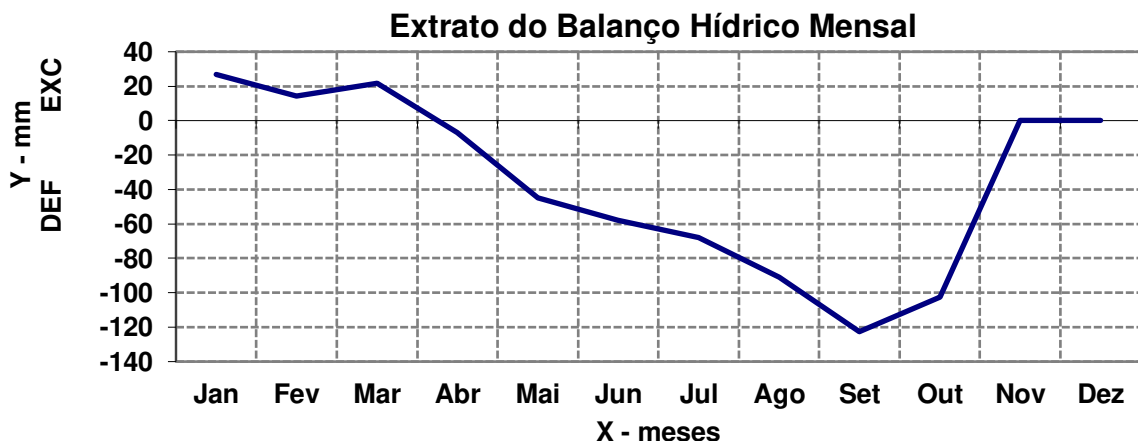
A ocorrência de eventos mais significativos ( $PR \geq 10$  mm e  $PR \geq 15$  mm) torna-se mais comum a partir de novembro, quando a umidade atmosférica aumenta devido à maior evapotranspiração. Já em janeiro a março, nota-se um pico na frequência de dias com chuvas intensas ( $PR \geq 15$  mm).

Um aspecto crítico a ser destacado é a tendência de aumento na ocorrência de eventos extremos ( $PR \geq 15$  mm) nas últimas décadas, possivelmente relacionada às mudanças climáticas. Esses episódios têm implicações diretas para a agricultura – principal atividade econômica da região, podendo causar tanto benefícios com o reabastecimento hídrico quanto prejuízos erosão e enchentes.

A seguir tem-se nas figuras que representam o extrato do balanço hídrico mensal, balanço hídrico normal mensal, deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano e capacidade de armazenamento (CAD) e armazenamento mensal (ARM), respectivamente.

A Figura 7 apresenta o balanço hídrico mensal da cidade de Barreiras, demonstrando EXC (Excedente Hídrico) e DEF (Deficiência Hídrica Acumulada). Observa-se no EXC, mostra que ocorre excedente principalmente nos meses chuvosos (janeiro a março), onde as precipitações são mais abundantes e as condições de umidade do solo favorecem o atendimento das necessidades hídricas, quando nesses meses chega a ter um superávit  $>20$  mm de água em relação à demanda. A partir de abril, entretanto, ocorre uma transição marcante no comportamento da DEF, com um aumento progressivo dos valores negativos. Este padrão se intensifica ao longo dos meses subsequentes, atingindo seu valor máximo em setembro, quando a deficiência atinge valores maiores que  $-120$  mm, aumentando a necessidade de irrigação.

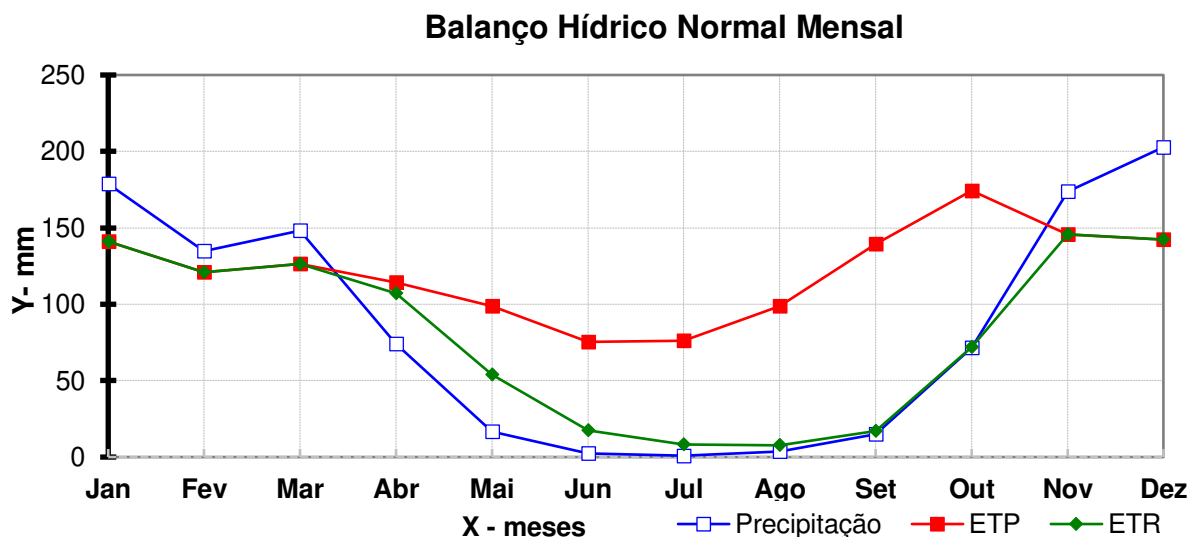
Figura 7. Extrato do balanço hídrico, onde demonstra deficiência (DEF) e excedente (EXC) da água no solo do município de Barreiras-BA. Dados 1981-2024.



Este valor representa uma escassez hídrica significativa que pode impactar diversas atividades agrícolas, econômicas e sociais na região. Já excedente representa o volume de água disponível além das necessidades imediatas, podendo contribuir para o abastecimento de aquíferos, cursos d'água e reservatórios artificiais. Assim revelando os padrões sazonais marcantes que caracterizam o regime hidrológico da região. Esta característica tem implicações diretas para o planejamento de atividades agrícolas, gestão de reservatórios e políticas públicas de abastecimento de água.

Na figura 8 observa-se os componentes do balanço hídrico normal mensal, incluindo Precipitação, ETP (Evapotranspiração Potencial) e ETR (Evapotranspiração Real). A precipitação, mostra picos sazonais, especialmente entre novembro e março, onde os valores podem ultrapassar 200 mm. A ETP, reflete a demanda teórica de água para a evaporação e transpiração das plantas, sendo relativamente constante ao longo do ano, pois é uma transpiração da necessidade atmosférica, o mês de outubro tem a maior ETP, que é  $>170$  mm. A ETR, demonstra uma evapotranspiração real, que varia de acordo com as condições climáticas, hidrológicas locais, que está ligada a disponibilidade de água no solo e plantas.

Figura 8. Balanço hídrico normal, onde se encontra a precipitação, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) para o município de Barreiras-BA. Dados de 1981-2024.



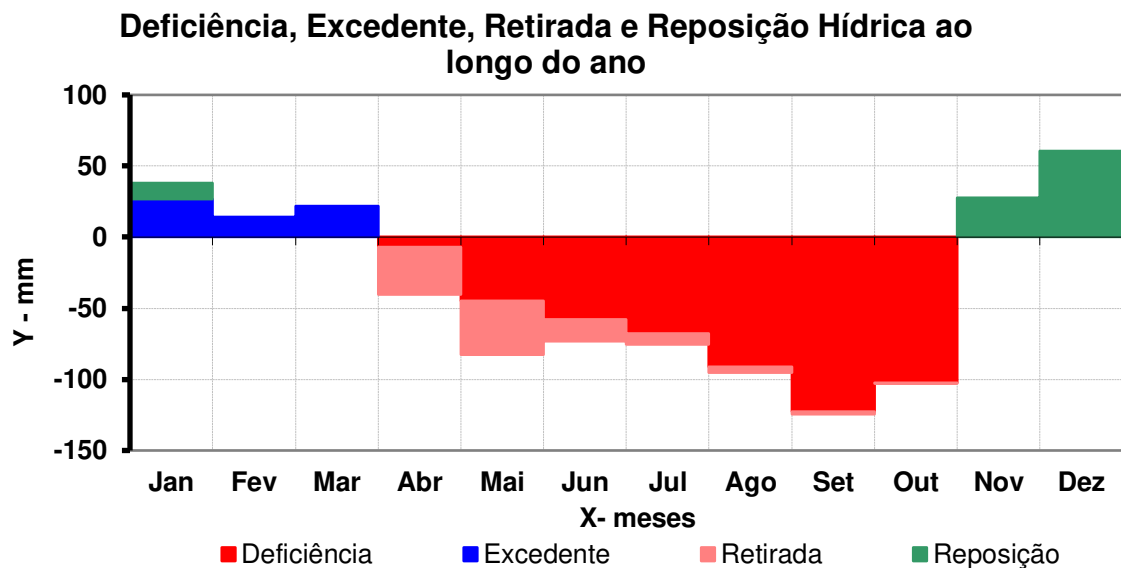
Fonte: Autor, 2025.

Nos meses que apresentam as maiores precipitações é possível observar que a ETP e ETR são sanadas, assim apresentando condições ideais para o cultivo. A análise dessas curvas permite identificar períodos de equilíbrio ou desequilíbrio entre oferta e demanda hídrica.

Na Figura 9 tem-se uma visão integrada e completa da dinâmica do balanço hídrico, incorporando quatro componentes fundamentais: deficiência, excedente, retirada e reposição

hídrica ao longo do ano. Esta representação gráfica oferece uma compreensão abrangente dos fluxos hídricos que caracterizam o regime hidrológico da região. A Deficiência: Representada por barras vermelhas, ocorre quando a demanda hídrica excede a oferta, especialmente entre maio e setembro; Excedente: Barras azuis indicam períodos de superávit hídrico, como novembro e dezembro; Retirada: Barras cor-de-rosa mostram a quantidade de água retirada do sistema, geralmente associada aos meses secos; Reposição: Barras verdes indicam a recuperação do estoque hídrico, principalmente nos meses chuvosos. Lembrando que a CAD foi escolhido valor de 100mm, por conta do tipo de solo da região de Barreiras.

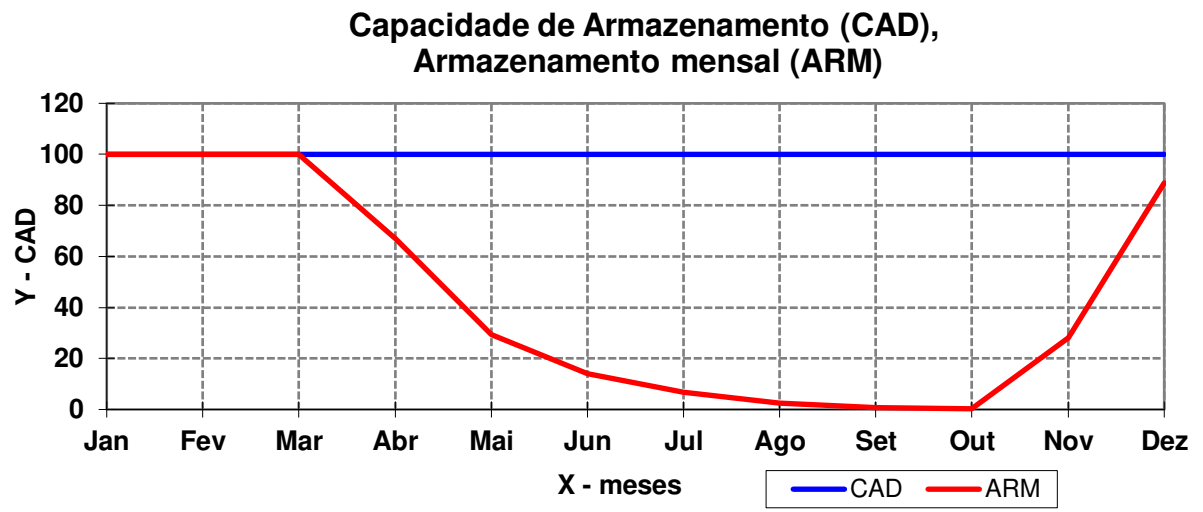
Figura 9. Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano para o município de Barreiras-BA. Com dados de 1981-2024.



Fonte: Autor, 2025.

Já na figura 10 apresenta a Capacidade de Armazenamento (CAD) e o Armazenamento Mensal (ARM). A linha azul continua representando a CAD, que é a capacidade máxima de armazenamento de água no solo. A linha vermelha, correspondente ao ARM, mostra o volume efetivamente armazenado ao longo do tempo. Durante os meses secos (maio a setembro), o ARM diminuiu drasticamente, chegando próximo a zero o seu estoque de água no solo, enquanto aumenta novamente nos meses chuvosos (novembro a fevereiro), assim chegando as suas capacidades máximas de armazenamento que são 100 mm. Podemos também definir que o início das chuvas é no mês de outubro.

Figura 10. Capacidade de Armazenamento (CAD), Armazenamento mensal (ARM) para o município de Barreiras-BA. Dados 1981-2024.



Fonte: Autor, 2025.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES INFERENCIAIS

A análise estatística servindo como uma ferramenta para definir a precipitação pluvial em Barreiras-BA, revelou padrão climático com forte sazonalidade, destacando-se uma estação seca de alta variabilidade entre maio e setembro e um período chuvoso mais regular de outubro a abril. Os dados descritivos evidenciam elevados coeficientes de variação, assimetrias e curtoses nos meses secos, demonstrando a irregularidade das chuvas e reforçando a necessidade de irrigação durante esse período para garantir viabilidade produtiva agrícola.

A distribuição teórica Gama demonstrou aderência estatística robusta (teste de Kolmogorov-Smirnov,  $p > 0,05$ ) em todos os meses do ano, validando sua aplicação para modelagem probabilística da precipitação. Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  permitiram caracterizar a concentração e dispersão das chuvas, subsidiando decisões como escolha de cultivares, delimitação de períodos de plantio e dimensionamento de sistemas de irrigação, especialmente em cenários de maior imprevisibilidade hídrica.

O balanço hídrico climatológico quantificou a dinâmica de entrada e saída de água no sistema, revelando excedentes hídricos significativos de janeiro a março e deficiências máximas em agosto (-120mm). A evapotranspiração real apresentou comportamento sazonal diretamente relacionado à disponibilidade hídrica, evidenciando a necessidade crítica de irrigação suplementar durante o período seco.

Esse estudo pode ser utilizado nos planejamentos agrícolas dos agricultores, para diversas finalidades, a exemplo dos agricultores que plantam em sequeiro (dependem da precipitação pluviométrica), definindo suas culturas e variedades, épocas mais seguras, etc. Além do objetivo do trabalho, esse estudo pode ser utilizado para planejamentos no meio urbano. A aplicabilidade deste estudo estende-se além do setor agrícola, fornecendo subsídios técnicos para planejamento urbano, gestão de recursos hídricos e políticas públicas de desenvolvimento regional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AHRENS, C. D., HENSON, R. **Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment** (12<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning, 2019.

ALVES, A. V. P. et al.. Análise dos métodos de estimativa para os parâmetros das distribuições de Gumbel e Gev em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá-MT. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.6, n.1, p.32-43, 2013.

ARAÚJO, E. M.; et al. Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu – CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 36-45, 2010.

BACK, Á. J. et al. **Determinação da magnitude de chuvas intensas para projetos de engenharia hidráulica e conservação do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 2, n. 3, p. 302-308, 1998.

BARBERIS, L. M. R.; MATTANA, R. S. **Zoneamento Agroclimático na Cultura do Milho**. In: Atualidades na Cultura do Milho/ Organizadores José Guilherme Lança Rodrigues e Ricardo Toshio Fujihara. – 1<sup>a</sup> ed. – Avaré, SP: Faculdade Eduvale de Avaré, 2013. P.79-90.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, Weather and Climate**. 9<sup>a</sup> ed. Routledge, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BIGOLIN, T.; TALAMINI, E.. **Impacts of Climate Change Scenarios on the Corn and Soybean Double-Cropping System in Brazil**. Basel: MDPI, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2225-1154/12/3/42>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CAETANO, A. L.; BARBOSA, F. S. Probabilidade de ocorrência de chuvas extremas para região de Inconfidentes – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 15. Vol. 25 – p. 537-548, JUL/DEZ 2019.

CÂMARA, A. de O. **Zoneamento Agroclimático de Culturas de Subsistência em Região Semiárida**. 2020, 63f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal Da Paraíba Centro De Ciências Exatas E Da Natureza.

CARVALHO, M. A. C. C. de et al. Drought Monitoring Based on Remote Sensing in a Grain-Producing Region in the Cerrado–Amazon Transition, Brazil. **Water** v.12, n..12, 3366. 2020 <https://doi.org/10.3390/w12123366>

CHAVES, M. A. **Sistema de informação e modelagem de radiação solar**. 1999. 237 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

CHERUBIN, M. R., Precision Agriculture in Brazil: The Trajectory of 25 Years of Scientific Research. **Agriculture**, v.12, n.11, p.1882. 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/365233135\\_Precision\\_Agriculture\\_in\\_Brazil\\_The\\_Trajectory\\_of\\_25\\_Years\\_of\\_Scientific\\_Research](https://www.researchgate.net/publication/365233135_Precision_Agriculture_in_Brazil_The_Trajectory_of_25_Years_of_Scientific_Research). Acesso em: 06 de julho de 2025.

- CLIMATE-DATA.ORG. **Dados climáticos de Barreiras**. 2021. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em: 13 de jul. 2025.
- COAN, B. de P.; BACK, A. J.; BONETTI, A. V. Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 15, p. 122142, abr. 2015.
- CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB, v. 8, n. 12, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- COUTINHO, L. M. **O conceito de bioma**. Acta Botanica Brasilica, v. 30, n. 1, p. 13-23, 2016.
- DEGROOT, M. H.; SCHERVISH, M. **Probability and Statistics**. 4. ed. Boston: Pearson Education, 2012.
- DHARANI, C. et al. **Rainfall variability analysis and trend assessment in Theni district of Tamil Nadu, India**: An implication for crop planning Journal of Agrometeorology Short Communication. ISSN: 0972-1665 (print), 2583-2980 (online) v.24, n3. P.305-308. 2022. <https://doi.org/10.54386/jam.v24i3.1797>
- DOURADO NETO, D. et al. Ajustes de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 273-283, 2005.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, p. 11-15, 2016.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2021.
- EVENSON, R. E. ; ALVES, D. C. O. **Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture**. Brasília: Ipea. 1998. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/104/107>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- FERREIRA NETO, J. V. **Regiões climatologicamente homogêneas do estado de Alagoas com base na análise espaço-temporal da pluviometria**. 2001. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- GELMAN, A et al. **Bayesian Data Analysis**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- GHOSH, S.; MUKHERJEE, R. **Statistical methods in hydrological sciences**. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- HACKBART, E. **El niño: condições oceânicas do fenômeno são alcançadas**, 27 jun. 2012. Disponível em: <[https://metsul.com/blog2012/Home/home/83/El\\_Ni%C3%B1o\\_Condi%C3%A7%C3%B5es\\_oce%C3%A2nicas\\_do\\_fen%C3%B4meno\\_s%C3%A3o\\_alcan%C3%A7adas](https://metsul.com/blog2012/Home/home/83/El_Ni%C3%B1o_Condi%C3%A7%C3%B5es_oce%C3%A2nicas_do_fen%C3%B4meno_s%C3%A3o_alcan%C3%A7adas)>. Acesso em: 05 jul. 2025.

HARTMANN, D. L. **Global Physical Climatology**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2016.

HOFMANN, G. S. et al. Changes in atmospheric circulation and evapotranspiration are reducing rainfall in the Brazilian. **Scientific Reports**. v.13:11236. 2023.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-38174-x>

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press. 2021.

JABUR, AS **Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco, PR**. 167f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

KOLMOGOROV, A. N. **Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung**. Springer-Verlag. 1933.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. v. 1, pt. C.

LI, T. et al. Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. **Global Change Biology**, v.21, n.3, p.1328-1341. 2015.

LIMEIRA, R. C. **Variabilidade e tendência das chuvas no estado da Paraíba**. 2008. 114f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

LIU, B., Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods. **Nature Climate Change**, 6(12), 1130-1136. 2016.

LYRA, G. B. et al. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Revista Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.205-215, 2006.

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. **Noções de probabilidade e estatística**. 7. ed. São Paulo: Edusp, 2015.

MARAUN, D. et al. Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. **Reviews of Geophysics**, v.48, n.3. 2010.

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; RIGHI, E. Z. **Balanço hídrico em culturas perenes: Aplicações para café e citros**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2016.

MELO, L. N. **Distribuição temporal de chuvas para seis municípios do oeste baiano, Bahia/BR**. 2023. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Posse.

MEYER, P. L. **Probabilidade: aplicações à estatística**. 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MOOD, ALEXANDER M.; GRAYBILL, FRANKLIN A.; BOES, DUANE C. **Introduction to the Theory of Statistics**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1974.

SOARES NETO, J. P., SILVA M. A. V. **Probabilidades mensais de chuva para a região de Barreiras-BA**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 91-94. 1996

NFCCC. MAIS Program: **Climate-Smart Agriculture** | Brazil. Disponível em: <https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/financing-for-climate-friendly-investment/mais-program-climate-smart-agriculture>. Acesso em: 01 de julho de 2025.

PARREIRAS, T. C. et al. Applications, challenges and perspectives for monitoring agricultural dynamics in the Brazilian savanna with multispectral remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 37, p. 101448, 2025. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1171826/1/AP-Applications-challenges-2025.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2025.

PASSOS, M. L. V.; RAPOSO, A. B.; MENDES, T. J. Precipitação pluviométrica mensal e anual provável para o município de São Mateus – ES, **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 13, n. 2, p. 162-168, 2017.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007. Disponível em: . Acesso em: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>. 12 de jul 2025.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Meteorologia agrícola: Conceitos e aplicações práticas**. Viçosa: UFV, 2009.

PEREIRA, V. da C. et al. Influência dos eventos El Niño e La Niña na precipitação pluviométrica de Mossoró-RN. **Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-13, 2011.

PRADHAN, A. et al. Crop planning based on rainfall variability for Bastar region of Chhattisgarh, India. **Journal of Agrometeorology**, v.22, n.4, p.509-517. 2020. <https://doi.org/10.54386/jam.v22i4.477>

RODRIGUES, J. A.; SANTOS FILHO, J.; CHAVES, L. M. Funções densidade de probabilidade para a estimativa de precipitação mensal. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 34, n. 1, p. 03-08, 2013.

ROSS, S. M. **Introduction to probability models**. 11. ed. Boston: Academic Press, 2014.

SABUT, A. et al. Assessing the impact of climate indices on corn yield in the continental USA using machine learning approach. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.371, n.15. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110632>

SAMPAIO, S. C. et al. Precipitação efetiva para o Município de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, págs. 210-213, 2000.

SANTOS, R. F.; LIMA, J. E.; ALMEIDA, C. A. Impactos das mudanças climáticas na agricultura de Barreiras-BA. **Revista Agro@ambiente**, v. 13, n. 1, p. 22-35, 2019. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/agroambiente>. Acesso em: 01 de jul. 2023.

SENA, J. P. O. **Análise da precipitação pluviométrica em anos extremos no Cariri Paraibano e suas consequências na agricultura e cobertura vegetal**. 2017. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande 2017.

SILVA, A. C. V. da. **Avaliação dos dados meteorológicos simulados por diferentes fontes de dados para o Oeste Paulista**. 2022, 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas

SILVA, E. G. F. A. et al. Determinação de precipitação provável mensal para o município de Goiana-PE. **Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia**, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/351364960\\_Determinacao\\_de\\_precipitacao\\_provavel\\_mensal\\_para\\_o\\_municipio\\_de\\_Goiana-PE](https://www.researchgate.net/publication/351364960_Determinacao_de_precipitacao_provavel_mensal_para_o_municipio_de_Goiana-PE). Acesso em: 12 jul. 2025.

SILVA, E. S. et al. Distribuição da probabilidade de chuva no município de Sapezal – MT. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1112-1122, 2013.

SILVA, I. N.; et al. Distribuição de frequência da chuva para região Centro-Sul do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 481-487, 2013.

SILVA, P. N. da et al. Valores efetivos de negociação pluvial para manejo do aquecimento na cana-de-açúcar em Goiana, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.5, n.4, p.585-591, 2010.

SILVA, V. P. R. et al. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.2, p.131–138, 2011

SILVA, V. P. R.; ARAÚJO, L. E.; SOUZA, E. P. Balanço hídrico e eficiência no uso da água em cultivos de soja e milho. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 345-356, 2020.

SOBRINHO, S. P. et al. Determinação dos parâmetros da distribuição Gama e média pluviométrica decenal para estações do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.2, p.183-196, 2014.

SOCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELUTTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages-SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.6, p.569-574, 2010.

SPLANGLER, K. R. et al. Precipitation Drivers of Cropping Frequency in the Brazilian Cerrado: Evidence and Implications for Decision-Making. **Weather, Climate, and Society**, v.9, n.2. p.201-212. 2017.

TARJUELO, J. M.; ORTEGA, J. F.; MONTERO, J. Precision irrigation: Sensors and decision support systems for water management. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 3-19, 2018.

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, v. 86, n. 4, p. 117-122, 1958.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance. Publications in Climatology**, 1955.

TRENBERTH, K. E., FASULLO, J. T., SHEPHERD, T. G. Attribution of climate extreme EVENTS. **Nature Climate Change**, v.5, n.8, p. 725-730. 2015.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WAMIS – World AgroMeteorological Information Service. **Brazil – Agritempo weekly bulletins and monitoring maps**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: [http://wamis.gmu.edu/countries/brazil\\_agritempo.php](http://wamis.gmu.edu/countries/brazil_agritempo.php) . Acesso em: 10 jul. 2025.

WEATHER SPARK. **Clima de Barreiras – Bahia. 2025**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/>. Acesso em: 13 de jul. 2025.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2011.

WOODWELL CLIMATE. **Climate change is pushing Brazil's farmland out of agricultural suitability range**. 2021. Disponível em: <https://www.woodwellclimate.org/brazils-farms-losing-agricultural-suitability/>. Acesso em: 06 de julho de 2025.