

NOTA TÉCNICA

PROGNÓSTICO DE NÍVEIS DO RIO TAPAJÓS PARA O PERÍODO DE VAZANTE DE 2025: ESTAÇÃO ITAITUBA – RIO TAPAJÓS

Brasília, 11 de setembro de 2025

**NOTA TÉCNICA
PROGNÓSTICO DE NÍVEIS DO RIO TAPAJÓS PARA O PERÍODO DE
VAZANTE DE 2025: ESTAÇÃO ITAITUBA – RIO TAPAJÓS**

Marcus Suassuna Santos

Bruna Gomes Amâncio

Artur José Soares Matos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	5
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	6
2.1	Dados hidrológicos	6
3	ANÁLISE DE MÍNIMAS ANUAIS	9
3.1	Estatísticas Descritivas	9
3.2	Análise da estacionariedade e tendência.....	10
3.3	Ajuste da Distribuição Normal	11
4	ANÁLISE DE DURAÇÃO DE EVENTOS	12
4.1	Análise de frequência.....	12
4.2	Correlação com mínimas anuais	14
5	PROGNÓSTICOS PARA 2025	15
5.1	Por semelhança dos cotogramas	15
5.2	Por Teleconexões Climáticas.....	16
6	COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS.....	19
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Bacia do rio Tapajós até a estação Itaituba (17730000)	5
Figura 2.1: Série histórica de níveis médios diários na estação de Itaituba entre 1974 e 2024.	7
Figura 2.2: Sazonalidade dos níveis do rio Tapajós na estação Itaituba.	8
Figura 2.3: Distribuição mensal de ocorrência das mínimas anuais.....	8
Figura 3.1: Tendência temporal das mínimas anuais na estação de Itaituba.....	11
Figura 3.2: Ajuste da distribuição normal aos dados de mínimas anuais na estação Itaituba	12
Figura 4.1: Ajuste da distribuição de Weibull aos dados de duração de eventos de estiagem.....	13
Figura 4.2: Probabilidade de excedência (período de retorno) para a duração de eventos de estiagem, derivada da distribuição de Weibull ajustada.	14
Figura 4.3: Análise de correlação entre os níveis mínimos anuais e o número de dias que o rio fica abaixo da cota de 280 cm.	15
Figura 5.1: Projeção comparativa do nível d'água em Itaituba a partir de 05/09/2025 ..	16
Figura 5.2: Evolução temporal do índice ENSO (El Niño-Oscilação Sul) no período 1974-2024.	17
Figura 5.3: Série temporal da Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) no período 1974-2024.	17
Figura 5.4: Correlação linear entre os índices climáticos do mês de dezembro do ano anterior e o nível mínimo anual observado na estação de Itaituba.....	18
Figura 5.5: Correlação entre os índices climáticos de dezembro do ano anterior e a duração dos eventos de baixa vazão na estação de Itaituba	19

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Menores valores de mínimas anuais para a estação fluviométrica de Itaituba	9
Tabela 3.2: Estatísticas descritivas mensais dos níveis da estação fluviométrica de Itaituba: médias, medianas, desvios padrão, mínimos, máximos, primeiro e terceiro quartis (estimativas em cm).	9
Tabela 6.1: Síntese dos cenários futuros para a estação de Itaituba em 2025	19

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O Rio Tapajós, um dos principais afluentes da margem direita do Rio Amazonas, possui a estação fluviométrica de Itaituba (código 17730000) como ponto estratégico para o monitoramento hidrológico e a gestão de recursos hídricos na região. O regime do rio é marcado por uma sazonalidade bem definida, com períodos de cheia e vazante que impactam diretamente a navegação, o abastecimento público e os ecossistemas locais. A Figura 1.1 ilustra a bacia do rio até a estação Itaituba e destaca duas das sub-bacias principais e as principais estações fluviométricas em operação na região.

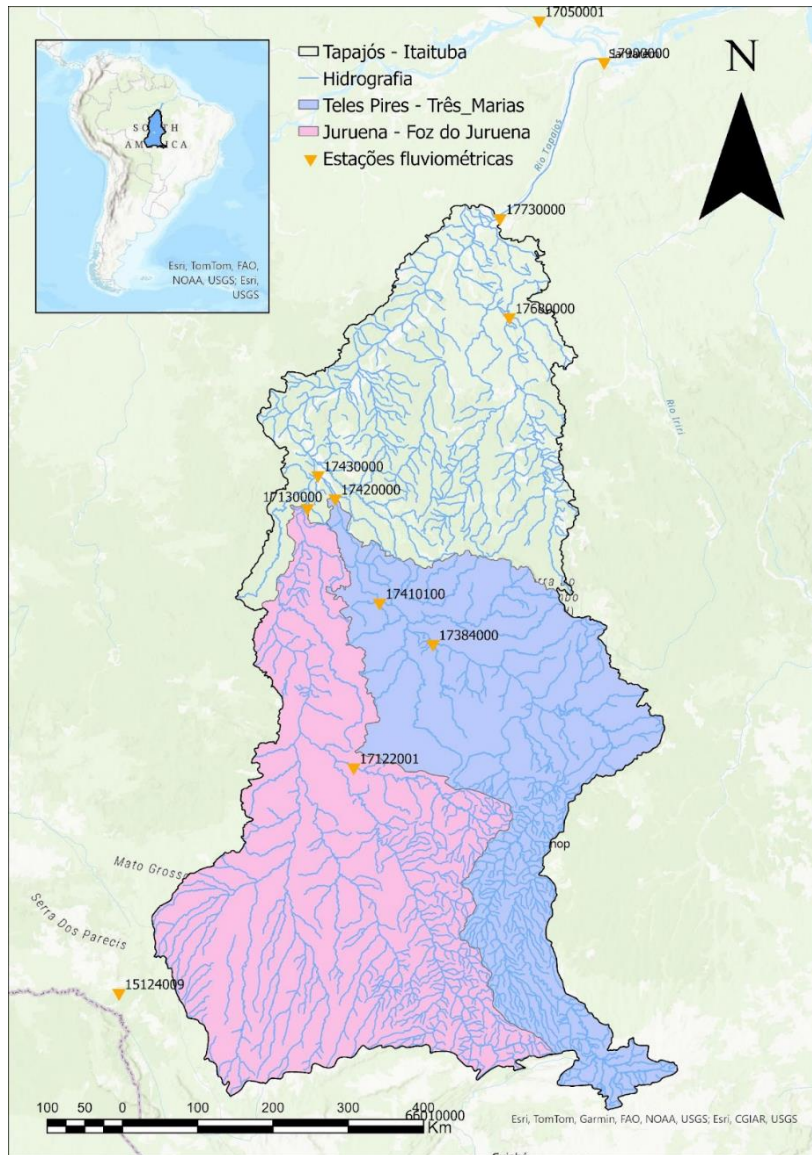


Figura 1.1: Bacia do rio Tapajós até a estação Itaituba (17730000). No mapa também são destacadas as duas bacias formadoras do rio Tapaós, a saber: Teles Pires (onde em sua foz está situada a estação Três Marias - 17420000); e Juruena (onde em sua foz está situada a estação Foz do Juruena - 17130000).

Eventos recentes de seca severa, como o registrado em 2024 – quando o nível mínimo atingiu 83 cm, o mais baixo da série histórica –, destacam a vulnerabilidade do sistema e a necessidade de ferramentas aprimoradas para previsão e gestão de riscos. Essa variabilidade hidrológica é influenciada por forçantes climáticas de grande escala, em

especial o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO), que modula os padrões de precipitação na Amazônia.

Considera-se ainda que o rio Tapajós vem se consolidando como uma das hidrovias mais importantes para o país e, em razão disso, informações sobre ela vem sendo constantemente demandadas ao SGB/CPRM por diversas instituições, público e privadas. Por esta razão, a equipe do SGB/CPRM produziu esta Nota Técnica para comunicar à comunidade o cenário para 2025 relacionado à vazante do rio, com foco na estação de Itaituba. Vale ressaltar que a referida estação fluviométrica não é operada pelo SGB. Ainda que seja de responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), essa estação tem como operadora uma empresa terceirizada (UFC Engenharia). Ainda assim, o SGB, em face do interesse público associado à divulgação desse prognóstico nessa localidade.

Os objetivos específicos incluem:

- Realizar uma análise estatística da série histórica de níveis mínimos anuais e da duração de eventos de estiagem;
- Investigar a existência de tendências de longo prazo e a influência de teleconexões climáticas, como o ENSO e a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO);
- Elaborar prognósticos para a vazante de 2025 utilizando dois métodos independentes: analogia hidrológica por semelhança de cotogramas e análise de correlação com índices climáticos;
- Comparar os cenários gerados pelos diferentes métodos para estabelecer um prognóstico e apresentar conclusões e recomendações para a gestão operacional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados hidrológicos

Este estudo utilizou dados diários de nível d'água da estação fluviométrica Itaituba, localizada no rio Tapajós (código 17730000). A série temporal analisada compreende o período de 1974 a 2024, totalizando 50 anos de dados. Optou-se por iniciar a análise em 1974 devido à significativa quantidade de dados faltantes no período anterior (1968 a 1973), aumentando assim a confiabilidade estatística da análise.

A Figura 2.1 apresenta a série temporal de 1974 a 2025 dos níveis diários do rio Tapajós na estação Itaituba. A série evidencia uma sazonalidade marcante, característica típica dos rios amazônicos, com ciclos anuais bem definidos de cheias e secas. A linha vermelha representa uma avaliação da tendência linear da série, que indica estabilidade dos níveis médios ao longo do período analisado, sem tendência significativa de aumento ou diminuição nos valores médios diários. Análises específicas dos extremos será feita no item 3.2.

Série Temporal de Níveis Diários - Estação Itaituba
Rio Tapajós - Período: 1974-2024

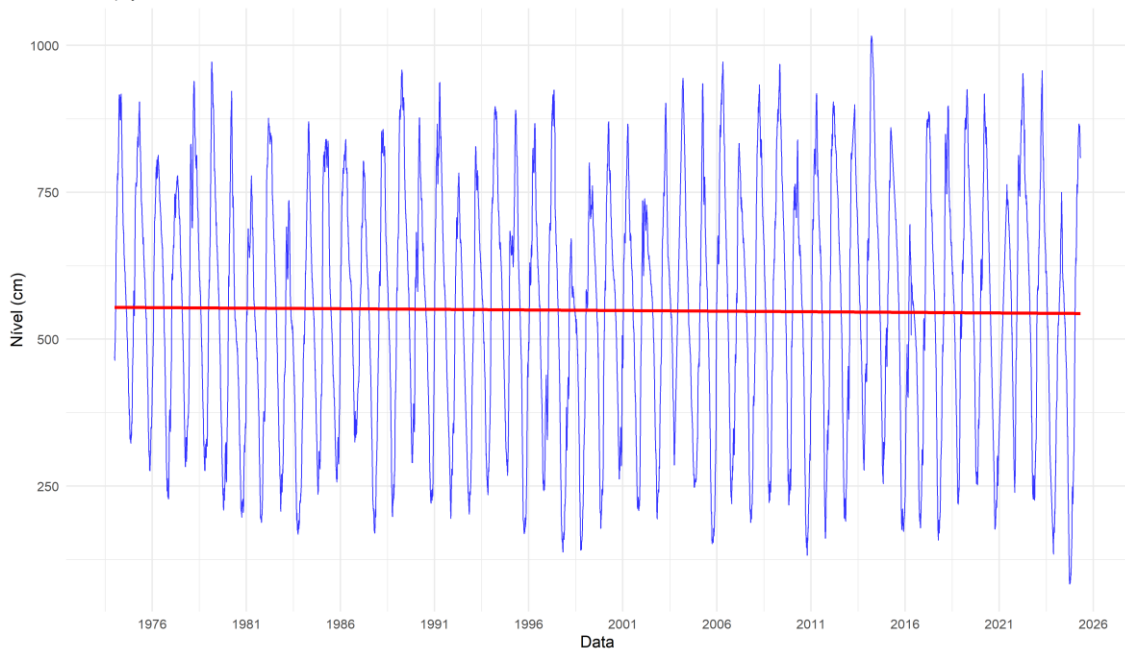


Figura 2.1: Série histórica de níveis médios diários na estação de Itaituba entre 1974 e 2024.

A Figura 2.2 apresenta a sazonalidade do Rio Tapajós na estação de Itaituba, cada linha colorida ilustra o nível da água (em cm) para um ano específico. É possível observar um padrão sazonal bem definido, com um período de cheia ocorrendo entre janeiro e maio, atingindo picos que podem alcançar os 10,0 m, e um período de vazante de julho a novembro, com níveis mínimos que chegam a 2,5 m. Além da sazonalidade, o gráfico sugere uma tendência de longo prazo, onde anos mais recentes (linhas em tons claros de verde e amarelo) mostram picos de cheia mais elevados e níveis de vazante mais baixos em comparação com anos anteriores (linhas em tons de roxo e azul). Isso pode indicar um possível aumento na amplitude da variação do nível do rio ao longo das décadas, que pode estar relacionado à ocorrência de eventos hidrológicos extremos ou uma concentração das chuvas em uma janela mais curta de tempo.

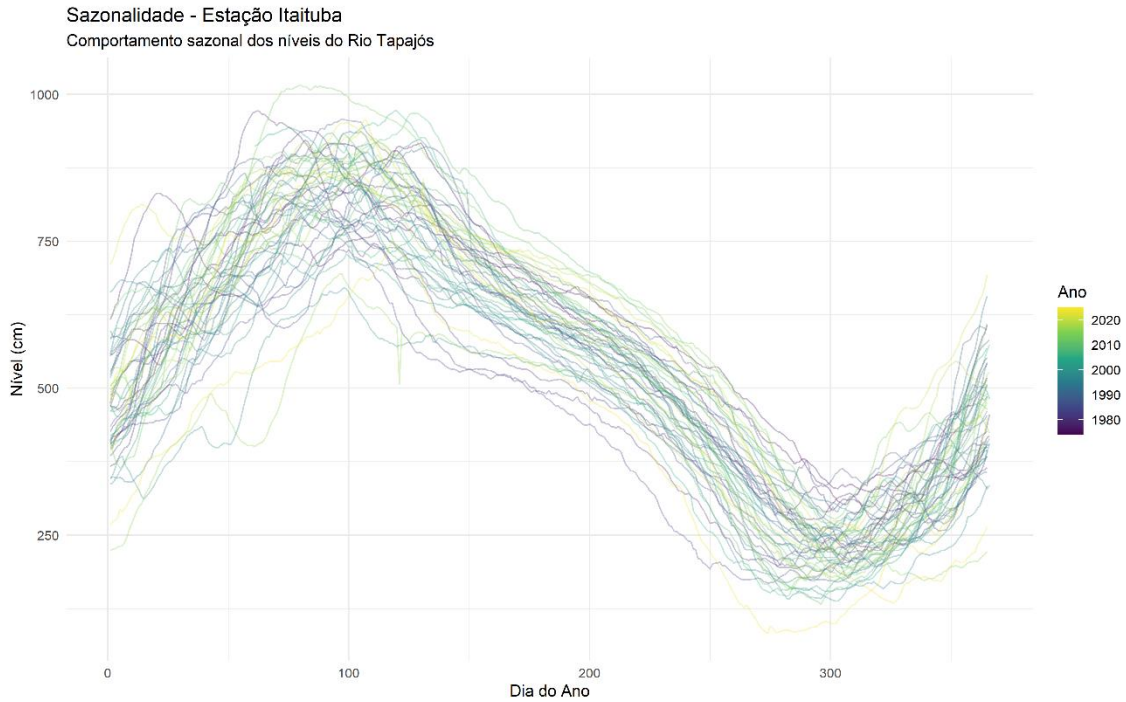


Figura 2.2: Sazonalidade dos níveis do rio Tapajós na estação Itaituba.

A Figura 2.3 ilustra um gráfico que mostra o mês de ocorrência das mínimas anuais na série histórica (1974-atual). Os dados indicam que as mínimas anuais ocorreram predominantemente em outubro (65% dos anos), seguido por novembro (29%), setembro (4%) e dezembro (2%), o que sugere que o pico da estação de seca ocorre em outubro.

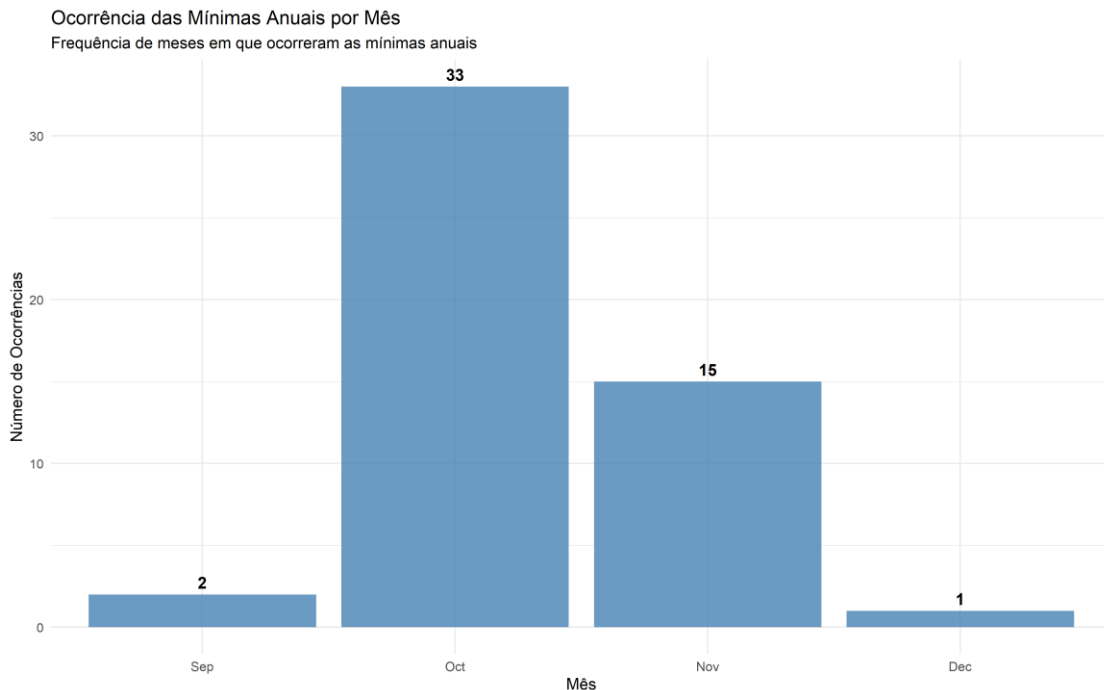


Figura 2.3: Distribuição mensal de ocorrência das mínimas anuais

A análise da série temporal dos níveis diários do Rio Tapajós na estação de Itaituba (1974-2024) reforça a sazonalidade marcante de cheias e vazantes, típica da região amazônica, e indica que o nível médio do rio se manteve estável ao longo das décadas. O gráfico de sazonalidade, por sua vez, sugere uma amplitude hidrológica maior nos anos mais

recentes. A análise do mês de ocorrência dos níveis mínimos anuais mostra que o período de vazante mais crítico ocorre predominantemente entre outubro e novembro, consolidando essa fase como o ápice da estação seca. Em conjunto, essas análises fornecem uma compreensão abrangente do regime hidrológico do Rio Tapajós.

3 ANÁLISE DE MÍNIMAS ANUAIS

3.1 Estatísticas Descritivas

A Tabela 3.1 apresenta os 10 valores mínimos anuais registrados no período de análise, os quais estão numa faixa de 80 a 170 cm. Sendo que apenas no ano de 2024 foram registradas dificuldades para navegação nesse trecho, onde a estação chegou a apresentar cota mínima de 83 cm.

Tabela 3.1: Menores valores de mínimas anuais para a estação fluviométrica de Itaituba

ANO	MÍNIMA ANUAL (CM)
2024	83
2010	132
2023	134
1997	138
1998	141
2005	152
1969	153
2017	158
2011	161
1983	168

Na Tabela 3.2 são apresentadas uma série de estatísticas descritivas mensais dos níveis do período para a estação fluviométrica de Itaituba, apresentando médias, medianas, desvios-padrão, mínimos, máximos, além do primeiro e terceiro quartis. Os dados de média e mediana da Tabela 3.2 corroboram com o padrão sazonal identificado na Figura 2.2. Esses dados permitem identificar os meses de pico de cheia, março a maio, e os meses de pico de seca, outubro e novembro, embora o valor mínimo de cota tenha sido registrado em setembro de 2024. Já os dados de desvio padrão revelam que os meses com maior variação de nível são janeiro e fevereiro, os quais correspondem ao período de transição de seca para cheias, enquanto o período de vazante e de secas tende a ser mais consistente, exceto por setembro que possui um alto desvio padrão, o que sugere que setembro seja o mês que apresente a maior descida ao longo do histórico.

Os valores de Mínimo e Máximo reforçam a grande amplitude dos níveis do rio ao longo do ano, com diferenças de até 6 m entre o valor mínimo e máximo já registrado em um mês. Porém, a análise dos quartis oferece uma visão mais precisa, e confirma o que foi observado pelos dados de desvio padrão. Durante o pico de cheias em abril 75% dos dados de nível do rio ficam abaixo de 878 cm (Q3), enquanto 25% estão abaixo de 755 cm (Q1), evidenciando que, mesmo no pico da cheia, os níveis variam significativamente. Já durante a seca em outubro, a maior parte dos dados (50% centrais) se concentra entre 202 cm (Q1) e 299 cm (Q3), o que destaca o baixo nível recorrente nesse mês.

Tabela 3.2: Estatísticas descritivas mensais dos níveis da estação fluviométrica de Itaituba: médias, medianas, desvios padrão, mínimos, máximos, primeiro e terceiro quartis (estimativas em cm).

<i>Mês</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>DP</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>
<i>Jan</i>	549	551	110	224	832	470	628
<i>Fev</i>	669	676	107	366	960	598	748
<i>Mar</i>	794	807	99	401	1016	736	864
<i>Abr</i>	814	820	82	507	1010	755	878
<i>Mai</i>	749	754	93	527	968	689	813
<i>Jun</i>	656	660	66	488	861	616	703
<i>Jul</i>	592	596	63	395	755	553	634
<i>Ago</i>	497	503	74	227	668	450	551
<i>Set</i>	364	371	93	83	568	305	432
<i>Out</i>	253	250	68	84	441	202	299
<i>Nov</i>	262	255	59	116	467	221	303
<i>Dez</i>	367	360	94	153	693	298	430

3.2 Análise da estacionariedade e tendência

A análise de tendências de longo prazo para a estação de Itaituba (1974-2024) revela um comportamento distinto e climaticamente significativo entre os extremos hidrológicos. Para as mínimas anuais (Figura 3.1), foi identificada uma tendência estatisticamente significativa ($p\text{-value} < 0.05$) de declínio à taxa de -1.36 cm/ano. Este resultado indica vazantes mais extremas, com as cotas mínimas tornando-se sistematicamente mais baixas ao longo das últimas cinco décadas.

Em contraste, a análise das máximas anuais aponta para uma tendência positiva, porém não estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p\text{-value} = 0.306$; Teste de Mann-Kendall), com uma taxa de aumento estimada em $+0.52$ cm/ano (resultados detalhados não foram apresentados). Apesar de não ser significativa, a direção positiva da tendência é consistente com observações em outras bacias amazônicas.

A conjugação desses dois fenômenos — a redução significativa das mínimas e a tendência de aumento das máximas — sugere um aumento da amplitude hidrológica no sistema, o que confirma a análise visual prévia realizada na Figura 2.2. Isto é, os eventos extremos de seca (vazantes) estão se tornando mais severos, enquanto as cheias podem estar atingindo patamares mais elevados, ainda que esta última tendência necessite de um período de observação mais longo para ser confirmada estatisticamente.

Este padrão é coerente com estudos recentes na Amazônia que associam essas mudanças à maior variabilidade climática e a alterações nos regimes de precipitação. Do ponto de vista operacional, essa ampliação da amplitude entre extremos implica em desafios ampliados para a gestão de recursos hídricos, afetando múltiplos setores.

Portanto, embora a média da série hidrológica possa não apresentar uma tendência (Figura 2.1), a análise dos extremos demonstra uma mudança importante no regime do rio, com implicações críticas para o planejamento e a adaptação às mudanças ambientais em curso.

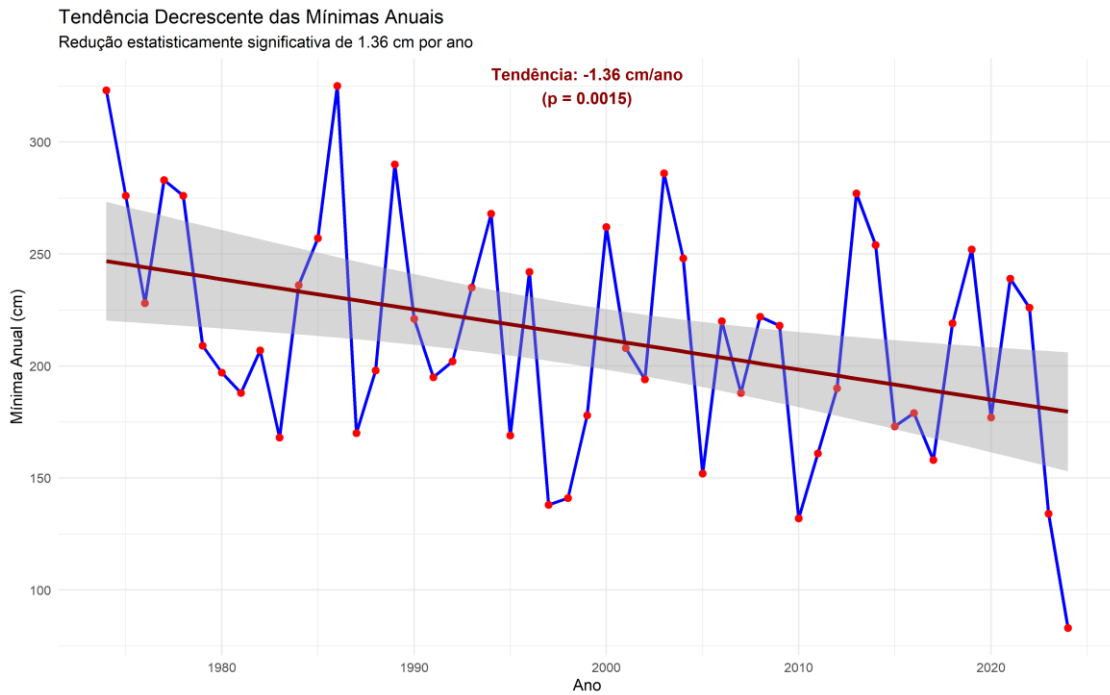


Figura 3.1: Tendência temporal das mínimas anuais na estação de Itaituba. A linha de regressão linear (vermelha) indica uma taxa de declínio significativa de -1,36 cm/ano ($p\text{-value} < 0,05$) no período analisado, evidenciando uma redução progressiva das cotas mínimas ao longo das últimas décadas.

3.3 Ajuste da Distribuição Normal

A Figura 3.2 apresenta a distribuição de probabilidade dos dados mínimos anuais, e uma curva de densidade de probabilidade ajustada aos dados. A simetria da distribuição em torno da média (linha azul) e a proximidade entre média, em 213 cm, e mediana (linha verde), em 209 cm, sugerem aderência à distribuição normal. Essa hipótese, foi confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk, cujo o p-value encontrado (0,97) não rejeita a hipótese nula de normalidade com um nível de significância de 5%. O gráfico revela, também, que a maior frequência de cotas mínimas se concentra entre 100 e 300 cm.

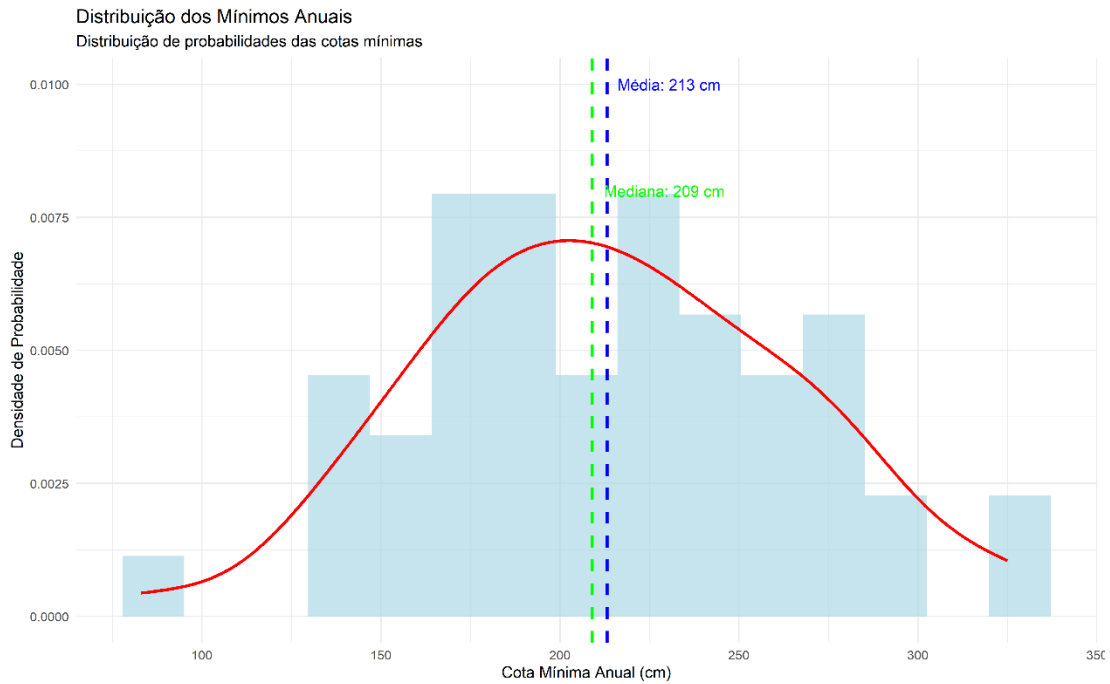


Figura 3.2: Ajuste da distribuição normal aos dados de mínimas anuais na estação Itaituba

4 ANÁLISE DE DURAÇÃO DE EVENTOS

4.1 Análise de frequência

A Figura 4.1 apresenta o histograma da duração de dias abaixo de 280 cm, o qual apresenta pico de duração entre 50 e 75 dias. Para modelar probabilisticamente o fenômeno, as distribuições Gamma, Exponencial e Weibull, que são mais adequadas para modelar o fenômeno do que a normal, foram ajustadas aos dados. Com base no Critério de Informação de Akaike (AIC) e nos testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling, a distribuição de Weibull demonstrou melhor aderência aos dados, sendo selecionada para representar a função densidade de probabilidade do fenômeno.

Função de Densidade de Probabilidade (PDF) - Weibull

Ajuste sobre histograma das durações observadas

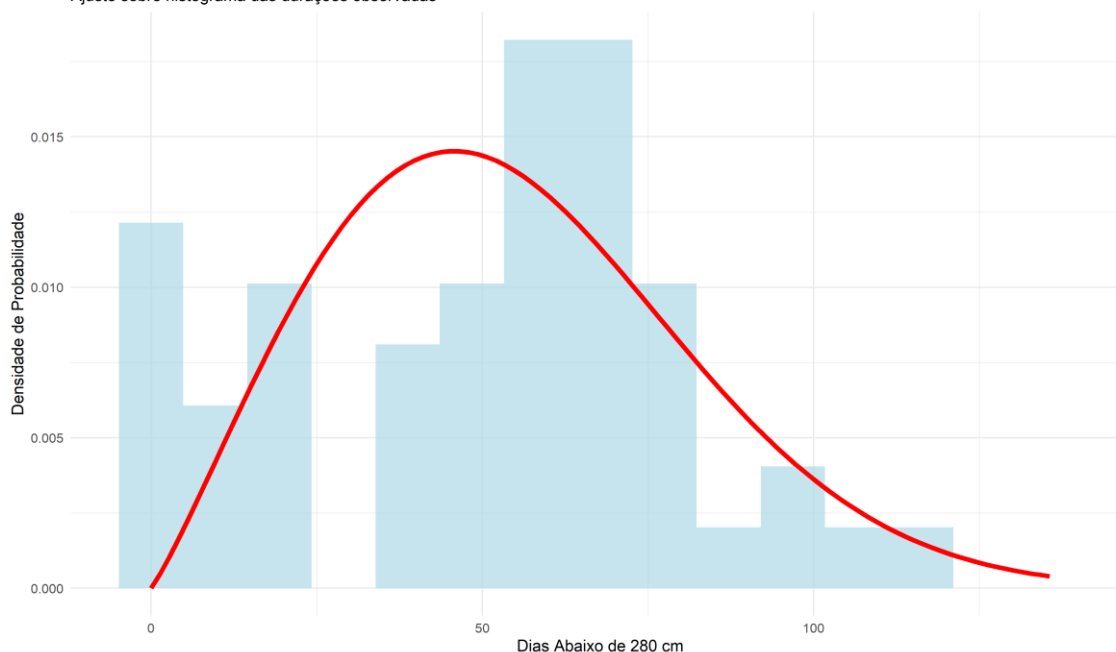


Figura 4.1: Ajuste da distribuição de Weibull à duração de eventos de estiagem (dias abaixo de 280 cm). A natureza assimétrica positiva dos dados torna a distribuição de Weibull mais adequada que a normal para modelar este fenômeno. O ajuste foi superior ao de outras distribuições comuns (Gamma e Exponencial), conforme avaliado pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling e pelo Critério de Informação de Akaike (AIC).

Com base nos dados selecionados para a análise de frequência de duração dos eventos de estiagem, foi construída uma curva de probabilidade de excedência, a qual indica a probabilidade de um evento de seca ultrapassar determinada duração (em dias). Para melhor visualização dos eventos mais raros e extremos, optou-se pela aplicação de escala logarítmica no eixo das probabilidades (Figura 4.2).

O ajuste dos dados revela que a probabilidade de um evento durar mais de 25 dias é de aproximadamente 90%, o qual possui tempo de retorno (TR) associado de aproximadamente 1,1 ano. Isso significa que é improvável que o rio passe por um ano aleatório sem que passe dessa conta de referência. Já para 50 dias essa probabilidade é de aproximadamente 50%, o qual possui tempo de retorno (TR) associado de 2 anos. A partir deste ponto, à medida que a duração do evento aumenta, a probabilidade de excedência diminui e o tempo de retorno aumenta drasticamente, com aproximadamente 70 dias a probabilidade de excedência é de aproximadamente 25%, o qual possui tempo de retorno (TR) associado de 4 anos, já para 90 dias a probabilidade de excedência é de aproximadamente 10%, o qual possui tempo de retorno (TR) associado de 10 anos, para 100 dias a probabilidade é de aproximadamente 5%, o qual possui tempo de retorno (TR) associado de 20 anos.

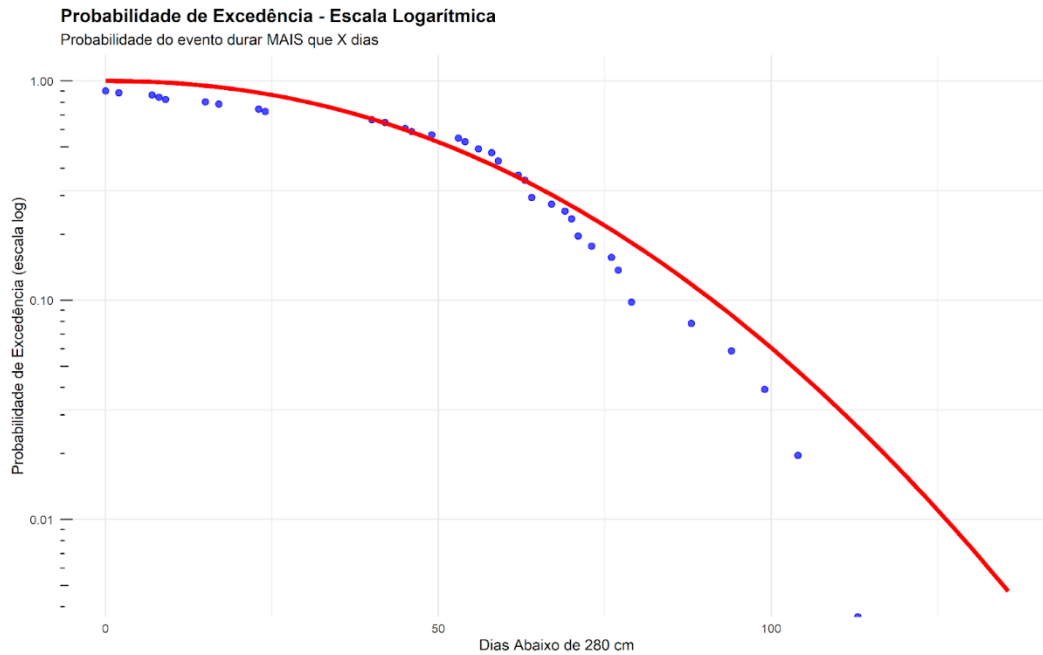


Figura 4.2: Probabilidade de excedência (período de retorno) para a duração de eventos de estiagem, derivada da distribuição de Weibull ajustada.

4.2 Correlação com mínimas anuais

A Figura 4.3 apresenta uma análise de correlação entre os níveis mínimos anuais e a duração de eventos de estiagem (dias abaixo da cota de 280 cm). O coeficiente de correlação de $R = -0.89$ e o p-value estatisticamente significativo ($< 0,05$) confirmam uma forte correlação negativa. Isso demonstra que, em anos onde o nível mínimo atingido é mais baixo, a duração do período de estiagem é proporcionalmente maior. Essa relação é esperada (quanto mais baixo o nível do rio, mais tempo ele leva para se recuperar), mas nem sempre existe essa correlação significativa, por isso que foi realizada a verificação. Essa relação é importante para qualificar a gestão dos recursos hídricos, uma vez que não só o mínimo é importante, mas também o tempo em que alguma restrição de uso pode ser observada.

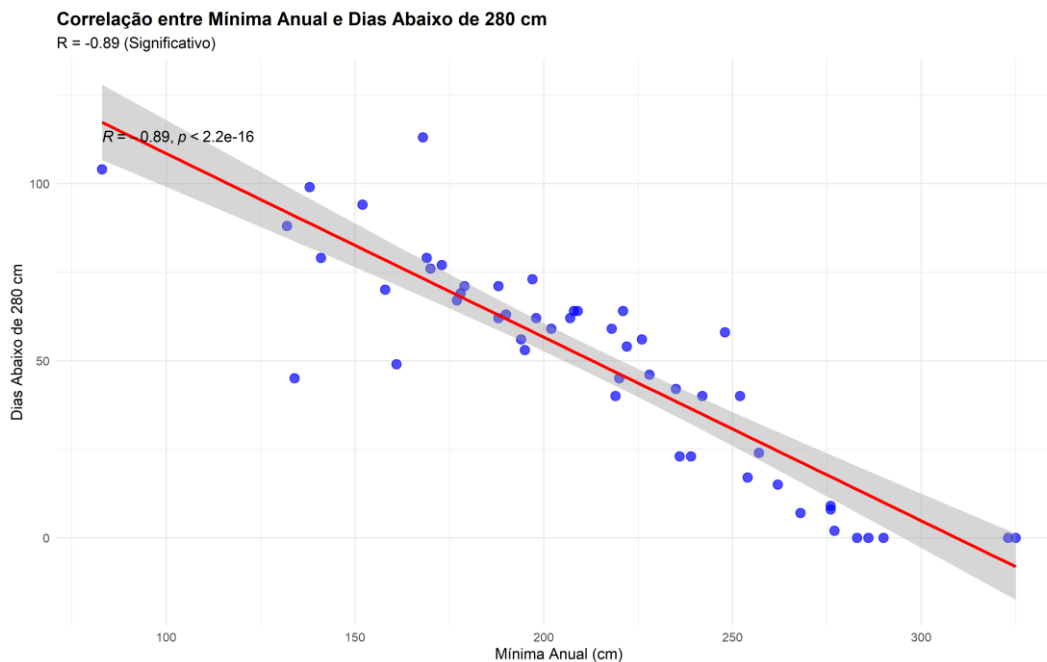


Figura 4.3: Análise de correlação entre os níveis mínimos anuais e o número de dias que o rio fica abaixo da cota de 280 cm. A correlação significativa (p -valor $< 0,05$) indica que quanto mais baixo o nível que o rio atinge em um determinado ano, mais tempo ele permanece em níveis baixos.

5 PROGNÓSTICOS PARA 2025

5.1 Por semelhança dos cotogramas

A Figura 5.1 apresenta a projeção de níveis do Rio Tapajós para o ano de 2025, a partir do nível atual de 518 cm em 05/09/2025. A análise, baseada em cenários históricos, considera duas projeções distintas para a cota mínima, que deverá ser alcançada na primeira semana de novembro.

O primeiro cenário, representado pela linha azul, considera o comportamento de anos com tendências semelhantes à de 2025 e projeta uma cota mínima de 240 cm. O segundo cenário, indicado pela linha roxa, baseia-se em anos que registraram as maiores descidas históricas e projeta uma cota mínima de 205 cm. Em ambos cenários as áreas sombreadas representam as incertezas das previsões, sendo a área rosada referente à incerteza associada ao cenário de maiores descida e a área azulada referente à incerteza associada ao cenário de anos semelhantes ao atual, essas áreas representam a variação provável dos níveis em torno das projeções centrais.

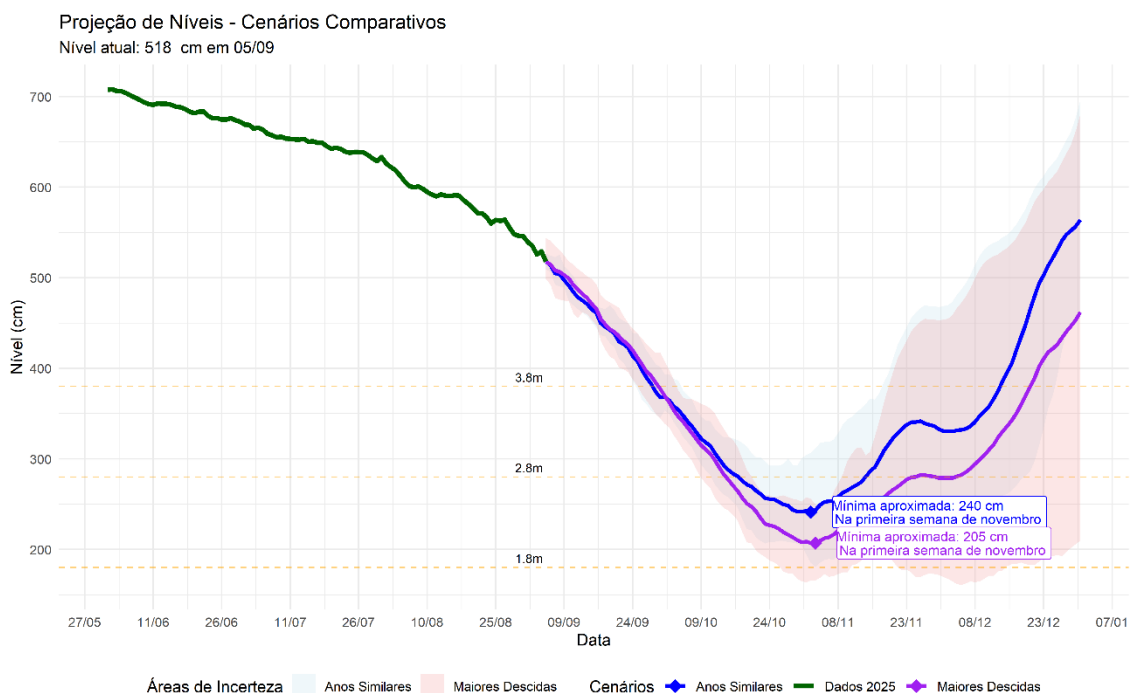


Figura 5.1: Projeção comparativa do nível d'água em Itaituba a partir de 08/09/2025 - Simulação do comportamento futuro do nível (em cm) com base no patamar atual de 518 cm. Apresenta a projeção derivada de anos históricos similares (Anos Similares) e o cenário de maiores descidas registradas (Maiores Descidas). As faixas sombreadas representam os envelopes de incerteza das projeções.

5.2 Por Teleconexões Climáticas

A linha preta do gráfico da Figura 5.2 mostra a variação mensal do índice ENSO (El Niño-Oscilação Sul), que é a anomalia de temperatura da superfície do mar na região NINO 3.4 no Pacífico Central, ao longo dos últimos 50 anos (1974-2024). Destacam-se, com bandas vermelhas, os eventos de El Niño e, com bandas azuis, os eventos de La Niña, identificados quando as anomalias persistem por pelo menos três meses consecutivos acima dos limiares de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. A alternância entre El Niño e La Niña introduz uma significativa variabilidade nos regimes hidrológicos e nos níveis dos rios da região. Considerando que o ENSO atualmente se encontra em fase neutra, as projeções sazonais de níveis que incorporam essa variável tendem a indicar condições próximas à média histórica, com menores desvios em relação à normalidade. Cabe destacar que as secas severas observadas em 2023 e 2024 ocorreram durante um evento forte de El Niño, classificado como o quarto mais intenso desde a década de 1970.

A Figura 5.3 apresenta a série temporal da Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), a imagem demonstra a alternância entre as fases positiva (PDO+), em bandas laranjas, e negativa (PDO-), em bandas roxas. Em escala decadal, a PDO tem potencial para modular a frequência e a intensidade dos eventos de ENSO, os quais, por sua vez, exercem influência direta sobre a variabilidade hidrológica na Amazônia. Essa oscilação exibe caráter persistente, permanecendo em uma mesma fase por longos períodos. Por exemplo, entre 2006 e o presente, verifica-se uma predominância de anomalias negativas, interrompida apenas entre 2014 e 2017. Atualmente, a PDO encontra-se em fase negativa, com temperaturas consistentemente inferiores à média.

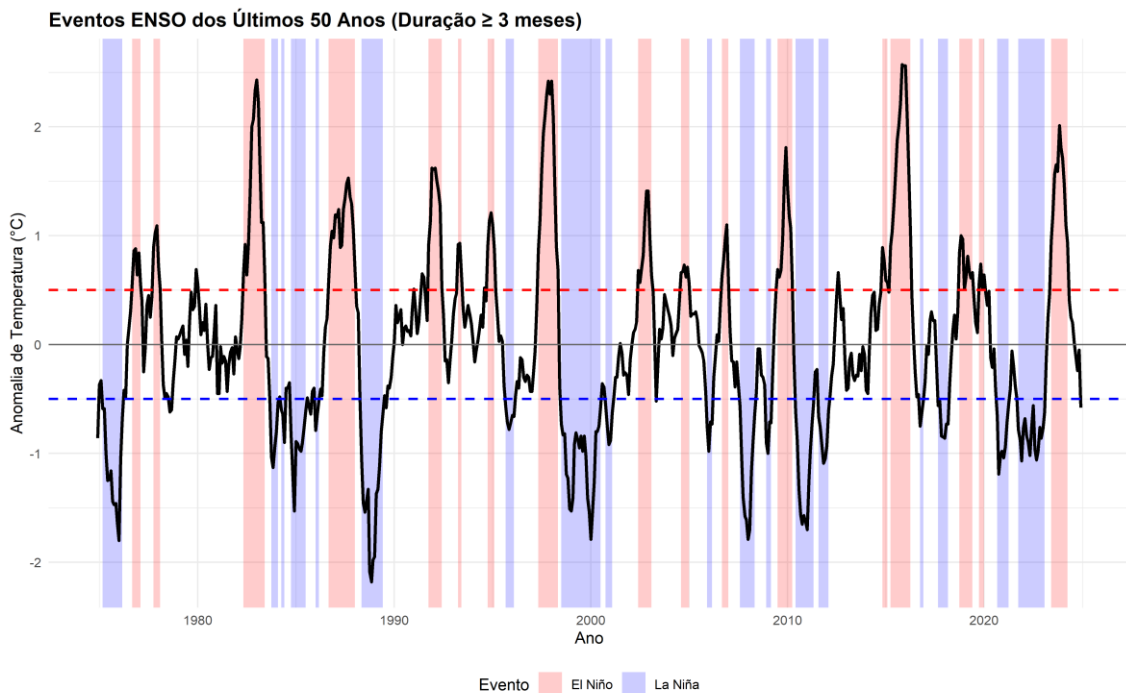


Figura 5.2: Evolução temporal do índice ENSO (El Niño-Oscilação Sul) no período 1974-2024. O gráfico apresenta a anomalia de temperatura da superfície do mar na região NINO3.4 do Pacífico Central. As bandas coloridas destacam os eventos de El Niño (vermelho) e La Niña (azul) que persistiram por pelo menos 3 meses consecutivos acima dos limiares de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. A linha preta contínua mostra a variação mensal do índice. Ressalte-se que o período atual apresenta uma situação de neutralidade.

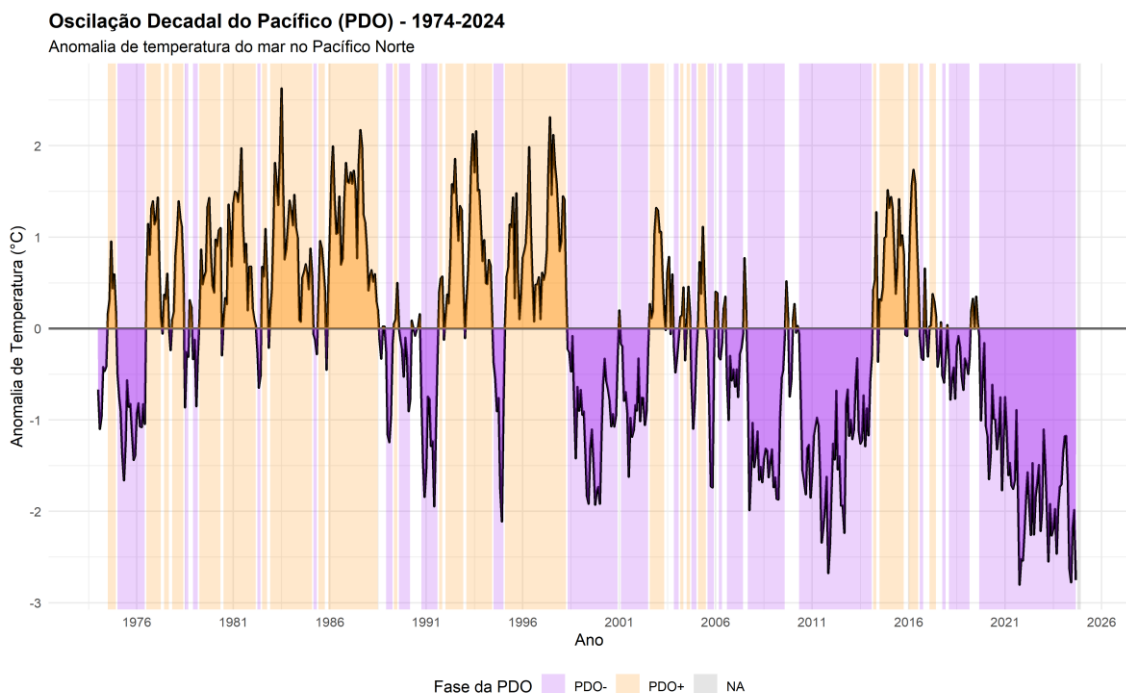


Figura 5.3: Série temporal da Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) no período 1974-2024. O gráfico mostra a anomalia de temperatura da superfície do mar no Pacífico Norte, representando as fases positiva (PDO+) e negativa (PDO-) da oscilação. As bandas laranja indicam fases quentes (PDO+), enquanto as bandas roxas representam fases frias (PDO-). Ressalte-se que o período atual apresenta uma situação de PDO negativo.

Para analisar a correlação entre os índices climáticos de dezembro do ano anterior e os níveis mínimos anuais do Rio Tapajós em Itaituba no ano seguinte foi obtida a Figura 5.4. O gráfico do Niño 3.4 (a) demonstra uma correlação negativa significativa entre o índice Niño 3.4 e a cota mínima anual (com $R = -0,4$; $p\text{-value} = 0,004$). Essa relação sugere que as condições de El Niño em dezembro estão associadas a níveis mínimos mais baixos no ano subsequente. Essa correlação constata a condição normalmente colocada para a teleconexão da Amazônia com o El Niño, associado a secas mais severas, enquanto um cenário de La Niña associa-se a uma condição de cheias mais severas. Por outro lado, a análise com o índice da PDO (b) não apresentou uma correlação estatisticamente significativa ($R = 0,18$; $p\text{-value} = 0,21$), indicando que essa oscilação climática não é um bom preditor da vazante para o período avaliado na área de estudo.

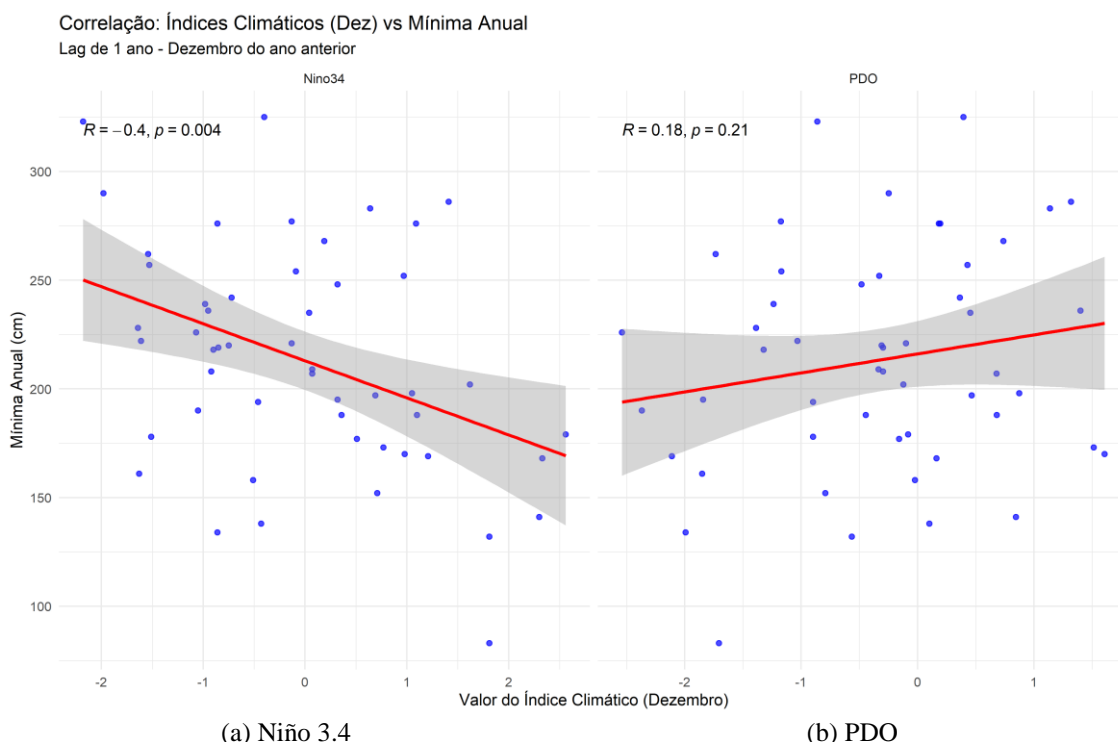


Figura 5.4: Correlação linear entre os índices climáticos do mês de dezembro do ano anterior e o nível mínimo anual observado na estação de Itaituba. O índice Niño 3.4 (a) mostra uma correlação negativa significativa ($R = -0,4$; $p = 0,004$) com a vazante do ano seguinte, enquanto a PDO (b) não apresentou uma correlação significativa ($R = 0,18$; $p = 0,21$) para o mesmo período.

Ao realizar a mesma análise, porém para a relação entre esses índices e a duração de eventos de estiagem (dias abaixo de 280 cm) foi obtida a Figura 5.5. O gráfico da esquerda (Niño 3.4 – a) demonstra uma correlação positiva e significativa entre o índice Niño 3.4 e a duração da seca ($R = 0,45$; $p\text{-value} = 0,00092$). Essa relação sugere que as condições de El Niño no final de um ano estão associadas a períodos de seca mais longos e severos no ano subsequente. Em contraste, a análise com o índice da PDO não mostrou uma correlação estatisticamente significativa ($R = -0,095$; $p\text{-value} = 0,51$), reforçando que esta oscilação climática de longo prazo não atua como um preditor confiável para a duração das vazantes na estação de Itaituba.

Correlação: Índices Climáticos (Dez) vs Dias Abaixo de 280 cm
Lag de 1 ano - Dezembro do ano anterior

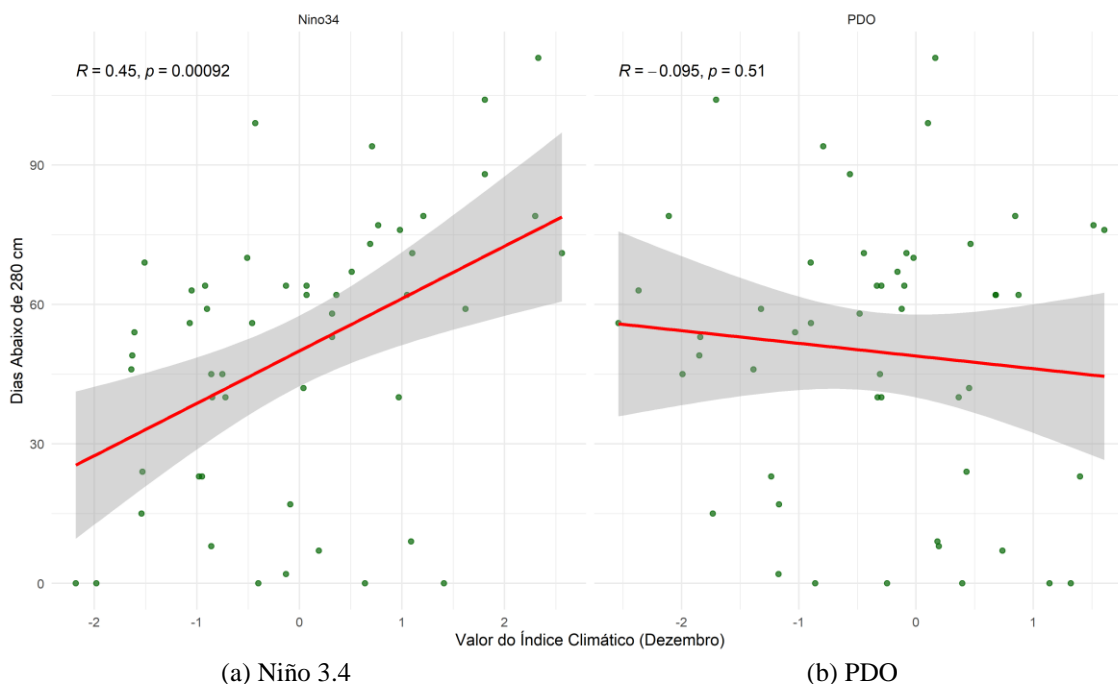


Figura 5.5: Correlação entre os índices climáticos de dezembro do ano anterior e a duração dos eventos de baixa vazão na estação de Itaituba

6 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS

A Tabela 6.1 consolida as projeções para a vazante de 2025 obtidas por dois métodos independentes: análise por semelhança de cotogramas e a previsão por teleconexões climáticas; com os valores dos respectivos intervalos de confiança entre parênteses.

Tabela 6.1: Síntese dos cenários futuros para a estação de Itaituba em 2025

Método	Mínima prevista (cm)	Dias abaixo 280 (cm)
Anos similares	240 (181 - 293)	27
Maiores descidas	205 (161 - 247)	45
Teleconexões climáticas	223 (208 - 238)	44 (35 - 52)

A análise comparativa revela convergência entre o cenário de Maiores Descidas, Anos Similares e o prognóstico baseado em teleconexões climáticas. Todos os métodos indicam uma vazante para 2025 cujos intervalos de confiança se interceptam. Ou seja, além da proximidade dos valores previstos, existe uma grande coerência estatística das previsões.

Com relação aos dias abaixo da cota de referência de 280 metros, esse período deve se situar entre 27 e 45 dias abaixo da cota de referência de 280 cm. Comparando-se com o ajuste apresentado na Figura 4.2, essa duração tem um período de recorrência baixo, de aproximadamente 2 anos. Ou seja, é um evento bastante comum quando comparado com a referência histórica. A neutralidade do ENSO no período anterior favorece a não ocorrência de extremos, tendendo a um comportamento mais próximo da média histórica.

Diante disso, o cenário mais provável para a vazante de 2025 aponta para uma seca de intensidade moderada, com níveis mínimos previstos entre 215 e 255 cm e um período de estiagem (abaixo da cota de referência de 280 cm) de aproximadamente 30 a 45 dias.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise da série histórica (1974-2024) confirma uma tendência estatisticamente significativa de agravamento das secas na estação de Itaituba ao longo dos anos, com as mínimas anuais decaindo a uma taxa de $-1,36$ cm/ano. Além disso, foi identificada uma forte correlação negativa ($R = -0,89$) entre a cota mínima anual e a duração dos eventos de estiagem, demonstrando que anos com níveis mais baixos estão associados a períodos de seca mais longos.

Quanto aos fatores climáticos de influência, o fenômeno ENSO mostrou-se um preditor climático robusto para a hidrologia local. Condições de El Niño em dezembro correlacionam-se significativamente com níveis mínimos mais baixos ($R = -0,4$; $p\text{-value} = 0,004$) e estiagens mais longas ($R = 0,45$; $p\text{-value} = 0,00092$) no ano subsequente. Em contraste, a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) não apresentou correlação significativa com os extremos hidrológicos na bacia.

Diante deste contexto, os prognósticos para 2025, gerados por métodos independentes, convergem para um cenário de seca moderada, com cota mínima projetada em aproximadamente 220 cm e a duração da estiagem podendo se estender por até 45 dias.

Portanto, recomenda-se que os órgãos gestores, autoridades locais e usuários do rio considerem este cenário de seca moderada (~ 220 cm, ~ 45 dias) como o mais provável para o planejamento de operações logísticas, navegação e abastecimento hídrico na região de Itaituba para o final de 2025.