

Nota Metodológica - “Amacro: sob o pulso das águas”

- **Como medimos a tendência e anomalia de precipitação e balanço hídrico:**

Esta nota detalha as fontes de dados e os métodos científicos utilizados para analisar a tendência e frequência de anomalia de precipitação e balanço hídrico tanto nas bacias hidrográficas do rio Purus e do rio Madeira quanto na região da AMACRO como um todo. O objetivo é garantir total transparência sobre como chegamos aos números e gráficos apresentados na reportagem.

1. Os Dados

- Para a precipitação, a média de volume total de chuva por mês em milímetro, a pesquisa utiliza o produto de sensoriamento remoto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) entre o período de 1981 a 2024.
- Já o balanço hídrico, diferença entre a precipitação e a evapotranspiração em milímetros, é produzido através do conjunto de dados ERA 5 - Land entre o mesmo período, 1981 a 2024.
- Os dados são recortados para cobrir as bacias do rio Purus e do rio Madeira em uma primeira análise e, posteriormente, recortados para a AMACRO, região de fronteira agrícola na Amazônia Legal formada pela união de 32 municípios nos estados do Amazonas, Acre e Rondônia.

2. A tendência

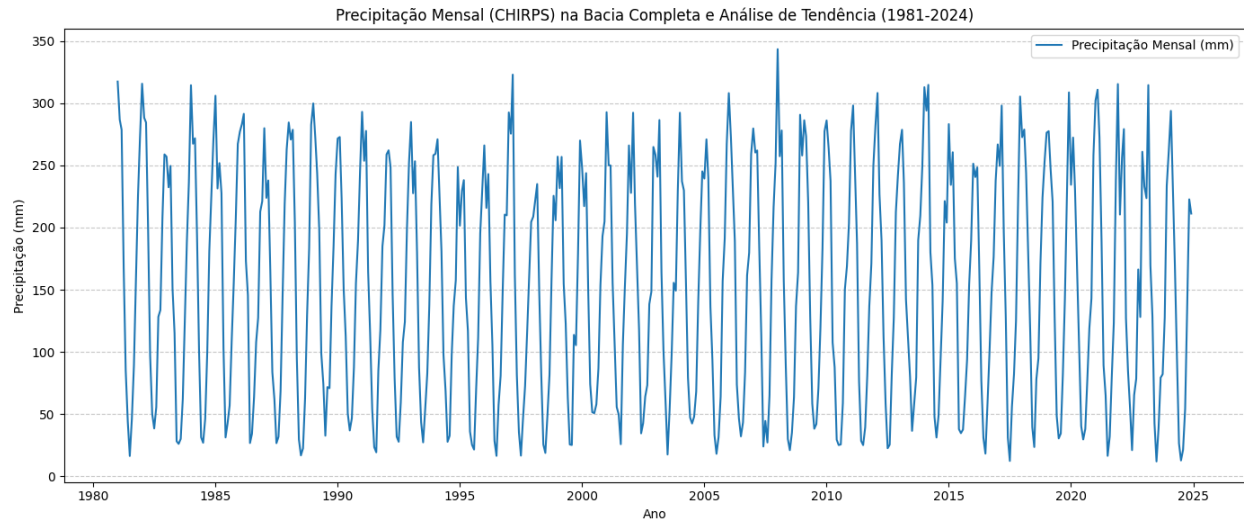
Para avaliar as tendências temporais da precipitação e do balanço hídrico entre 1981 e 2024, aplicou-se o teste estatístico de Mann-Kendall Sazonal, que permite identificar aumentos ou reduções significativas no volume de água controlando o efeito da sazonalidade.

3. Definição de anomalia

Para afirmar que as métricas estão fora do normal, precisamos primeiro definir o que é o considerado normal. Adotou-se o período de 1981 a 2010 como normal climatológica de referência, conforme as diretrizes internacionais da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Portanto, todas as médias calculadas nesta pesquisa utilizaram exclusivamente essas três décadas como linha de base. Com isso, as médias foram padronizadas e expressadas por desvios-padrão, a definição de anomalia, portanto, foi definido como tudo que está acima ou abaixo de 1,5 desvios-padrão da média histórica padronizada.

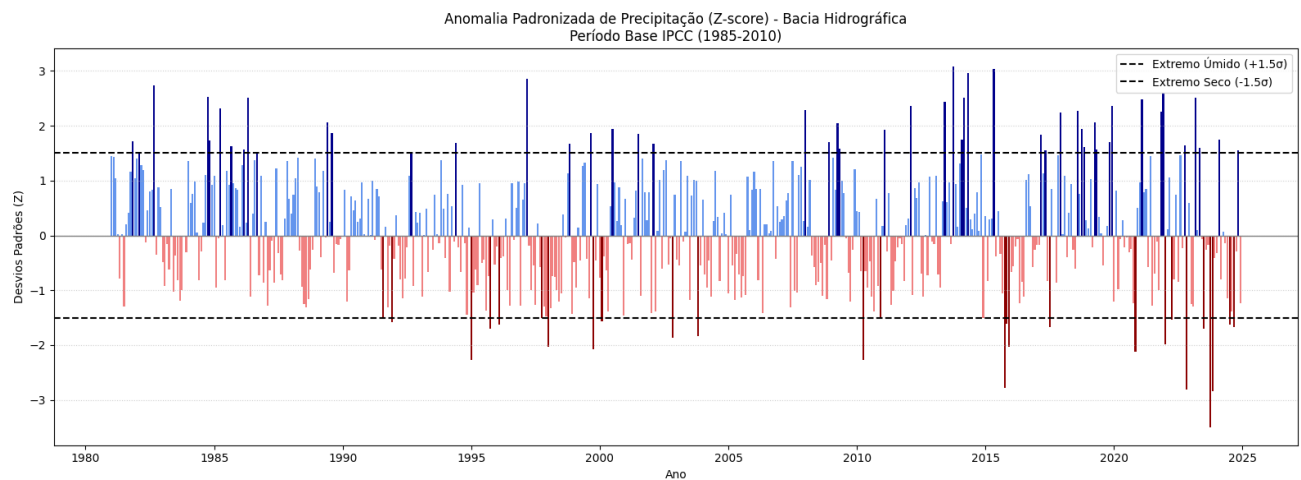
4. Os gráficos

4.1 Gráfico de tendência de precipitação nas bacias



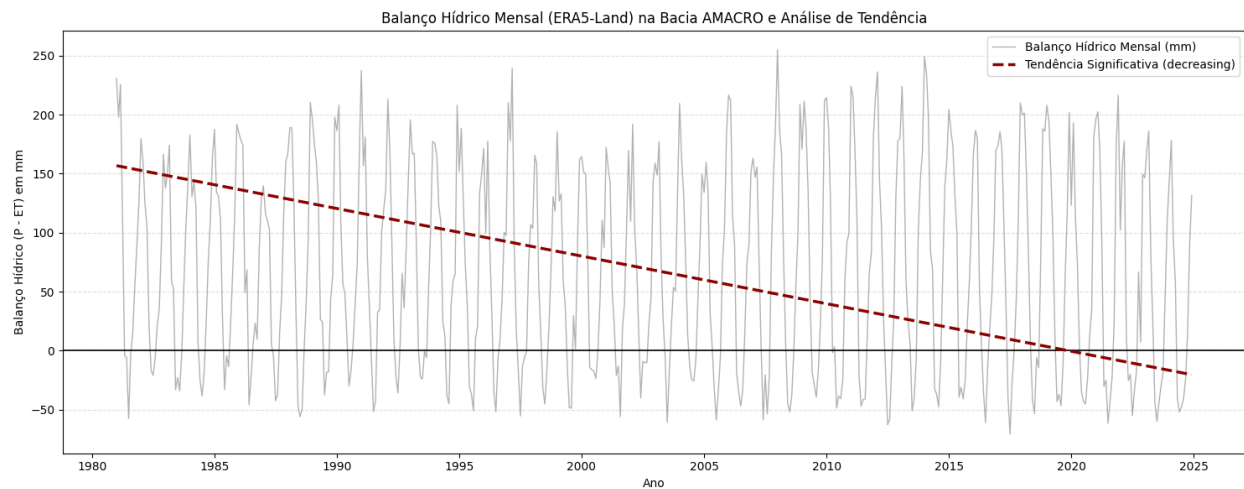
- Resultado: **Não houve variação média** da precipitação ao longo dos anos no recorte das Bacias.

4.2 Gráfico de anomalia de precipitação nas bacias



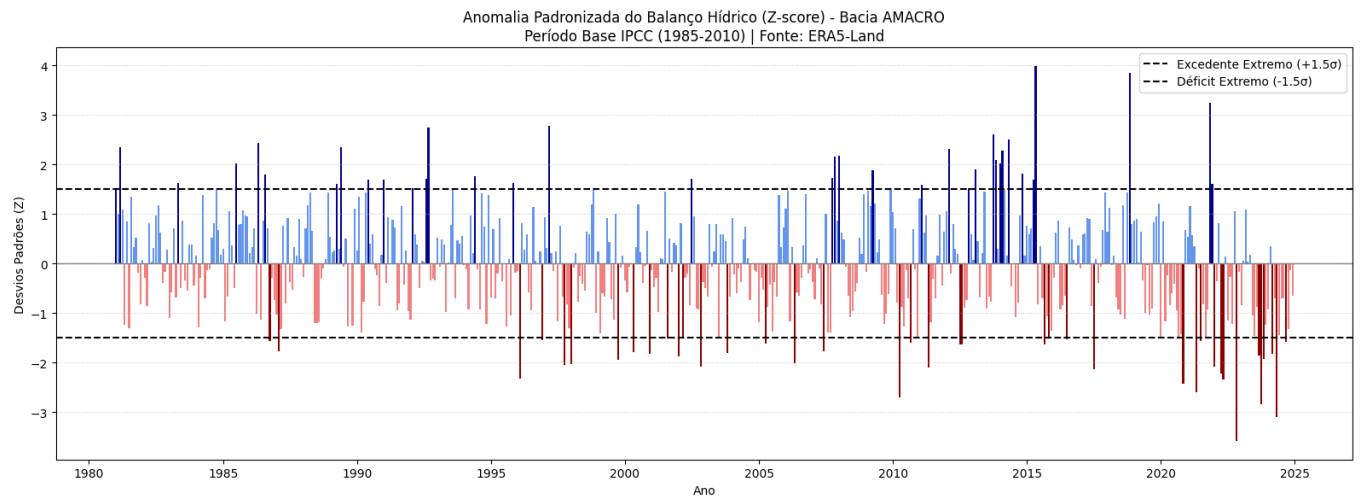
- Interpretação: Há bastante anomalias nessa área (as anomalias são as barra mais escuras, elas ultrapassam a linha pontilhada), o local já tem histórico de chuvas extremas e meses menos chuvosos, mas, se vê um aumento de vezes que ocorrem essas anomalias ao passar dos anos, especialmente após 2004, confirmado a partir de testes estatísticos.
- Resultado: a frequência de anomalia de chuva **aumentou a partir de 2004**.

4.3 Gráfico de tendência de balanço hídrico nas bacias



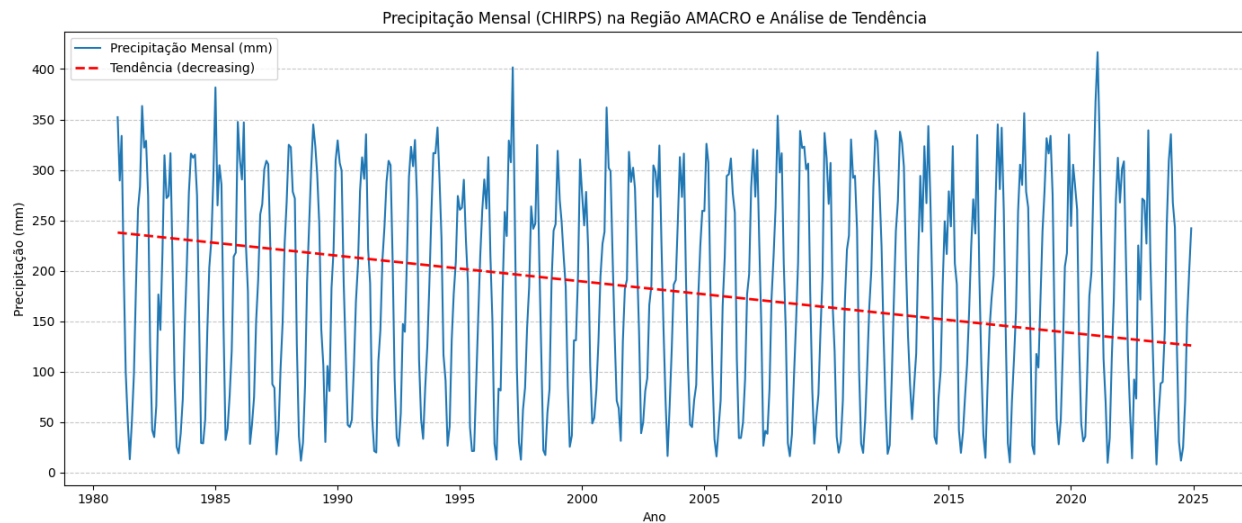
- Interpretação: A linha pontilhada vermelha indica a tendência do balanço hídrico ao longo dos anos.
- Resultado: o balanço hídrico diminuiu **em média -0.34 mm por mês** durante esses 44 anos.

4.4 Gráfico de anomalia de balanço hídrico nas bacias



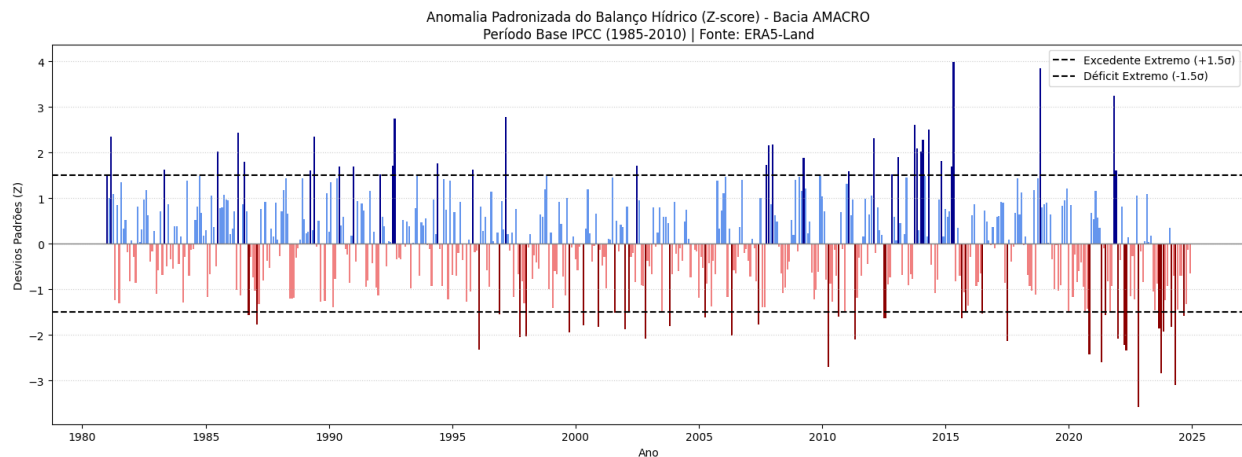
- Interpretação: Há bastante anomalias nessa área (as anomalias são as barra mais escuras, elas ultrapassam a linha pontilhada), o local já tem histórico de extremos de balanço hídrico, mas, se vê um aumento de vezes que ocorrem essas anomalias ao passar dos anos, especialmente após 2004, confirmado a partir de testes estatísticos.
- Resultado: a frequência de extremos de balanço hídrico **aumentou a partir de 2004**.

4.5 Gráfico de tendência de precipitação na AMACRO



- Resultado: a precipitação diminuiu em média **-0.2 mm por mês** durante os 44 anos.

4.6 Gráfico de anomalia de precipitação na AMACRO



- Interpretação: Há bastante anomalias nessa área (as anomalias são as barra mais escuras, elas ultrapassam a linha pontilhada), o local já tem histórico de extremos de balanço hídrico, mas, se vê um aumento de vezes que ocorrem essas anomalias ao passar dos anos, especialmente após 2013, confirmado a partir de testes estatísticos.
- Resultado: a frequência de extremos de balanço hídrico **aumentou a partir de 2013 na região da AMACRO.**

- **Como medimos as mudanças na cobertura e uso da terra e desmatamento:**

Esta nota detalha as fontes de dados e os métodos científicos utilizados para analisar a cobertura e uso da terra e desmatamento na região da AMACRO. O objetivo é garantir total transparência sobre como chegamos aos números e gráficos apresentados na reportagem.

1. Os Dados

- Para a cobertura e uso da terra, utilizou-se a Coleção 10.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil do Projeto MapBiomass, comparando os anos 2000 e 2024 na região da AMACRO.
- Para o desmatamento, utilizou-se a mesma coleção - Módulo Desmatamento, comparando os anos 1985, 2000 e 2024 na região da AMACRO.

F

- **Como medimos a vazão:**

1. Os dados e metodologia

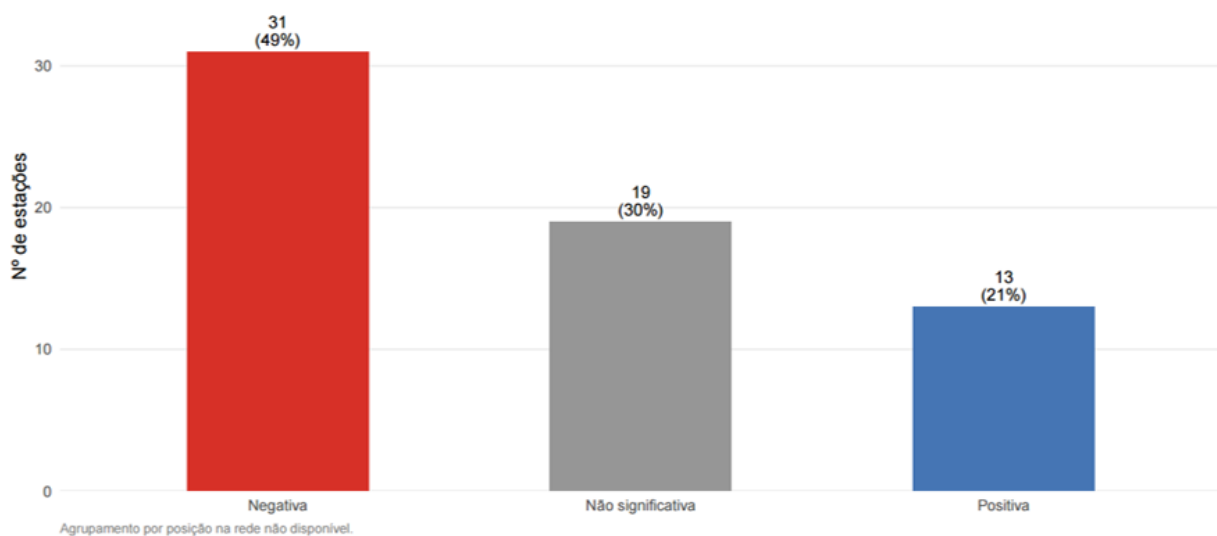
Este diagnóstico hidrológico foi elaborado para caracterizar o comportamento recente da vazão na bacia AMACRO (Bacia do rio Purus e Bacia do rio Madeira), considerando tendências de longo prazo, ocorrência de anomalias, mudanças na sazonalidade e o contexto regional da precipitação. A análise concentra-se em estações localizadas em rios principais e tributários principais, buscando identificar alterações no comportamento hidrológico ao longo da série histórica.

A análise foi organizada a partir de uma rede de estações da Agência Nacional das Águas submetidas a critérios de qualidade e continuidade das séries temporais. Para a variável de vazão, foram exigidos pelo menos 10 anos de dados válidos dentro da janela de 2000 a 2026, com tolerância máxima de 2% de falhas mensais por ano. Após a seleção, 63 estações fluviométricas e 102 estações pluviométricas foram aprovadas e utilizadas como estações de foco, todas classificadas como pertencentes a rios principais ou tributários principais.

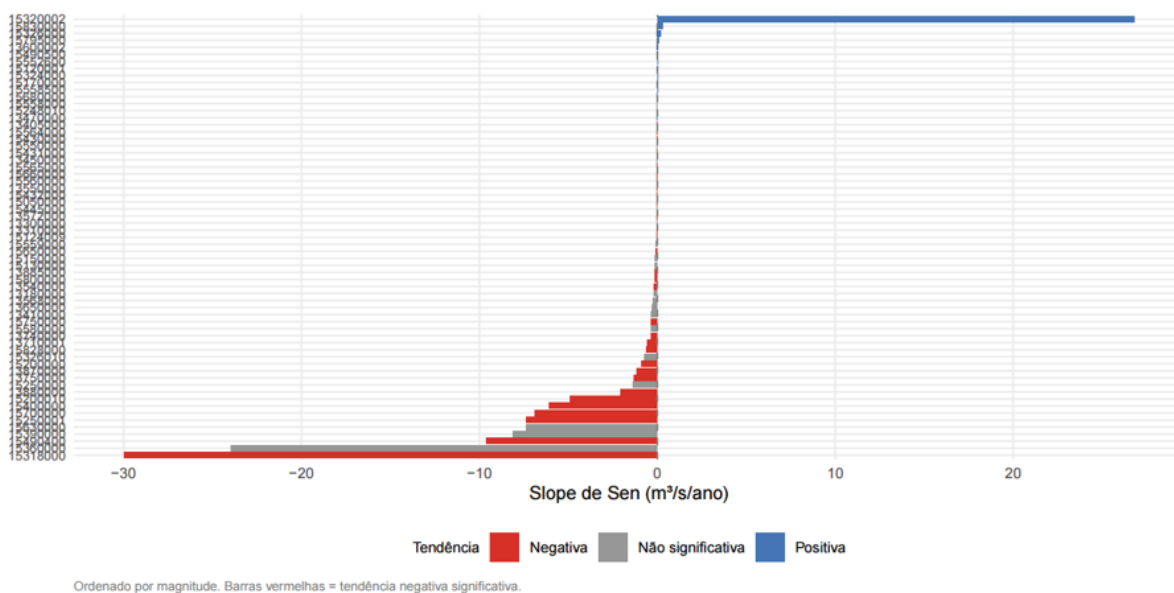
O diagnóstico foi estruturado em diferentes componentes. Foram avaliadas as tendências de vazão e sua magnitude, a ocorrência de meses com comportamento anômalo em relação à climatologia mensal de cada estação, a duração dos períodos de seca, o deslocamento temporal do regime hidrológico e a amplitude sazonal. Os resultados também foram analisados em relação às áreas de contribuição das estações e contextualizados com as tendências observadas na precipitação.

2. Tendências de vazão

Os resultados indicam que aproximadamente metade das estações analisadas apresenta redução significativa da vazão ao longo do período estudado. Das 63 estações de foco, 31 (49,2%) apresentaram tendência negativa significativa, 19 (30,2%) não apresentaram tendência significativa e 13 (20,6%) apresentaram tendência positiva.



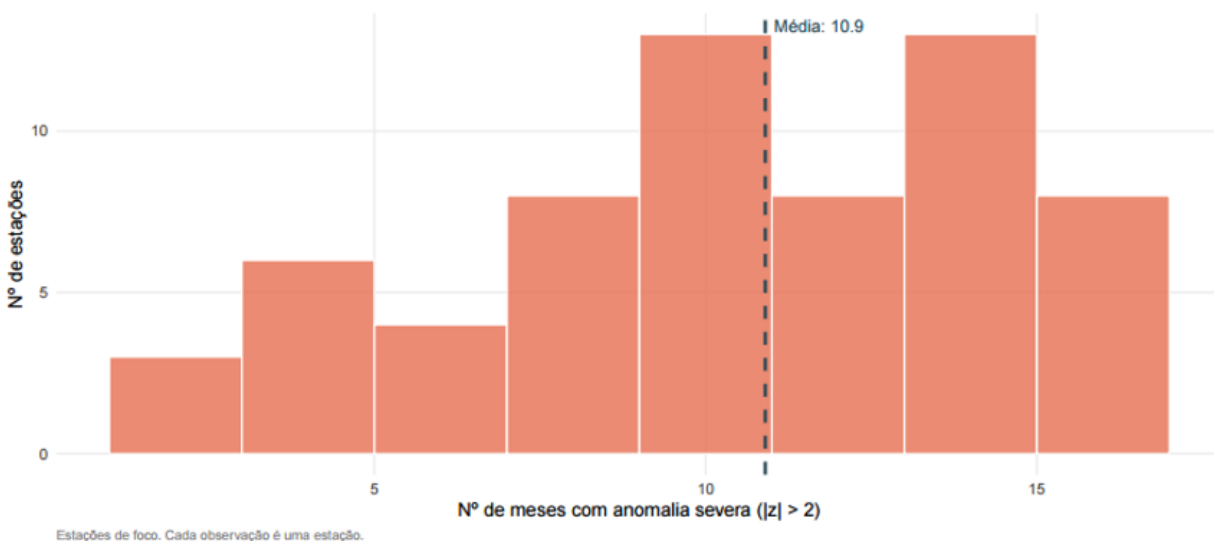
Entre os maiores valores de decaimento destaca-se a estação 15318000, que é de aproximadamente 30 m³/s por ano. Outras estações também apresentaram reduções expressivas, incluindo quedas próximas de 10 m³/s por ano e 7 m³/s por ano. Ao mesmo tempo, a existência de estações com tendências positivas demonstra que o comportamento da vazão não segue uma única direção em toda a rede analisada.



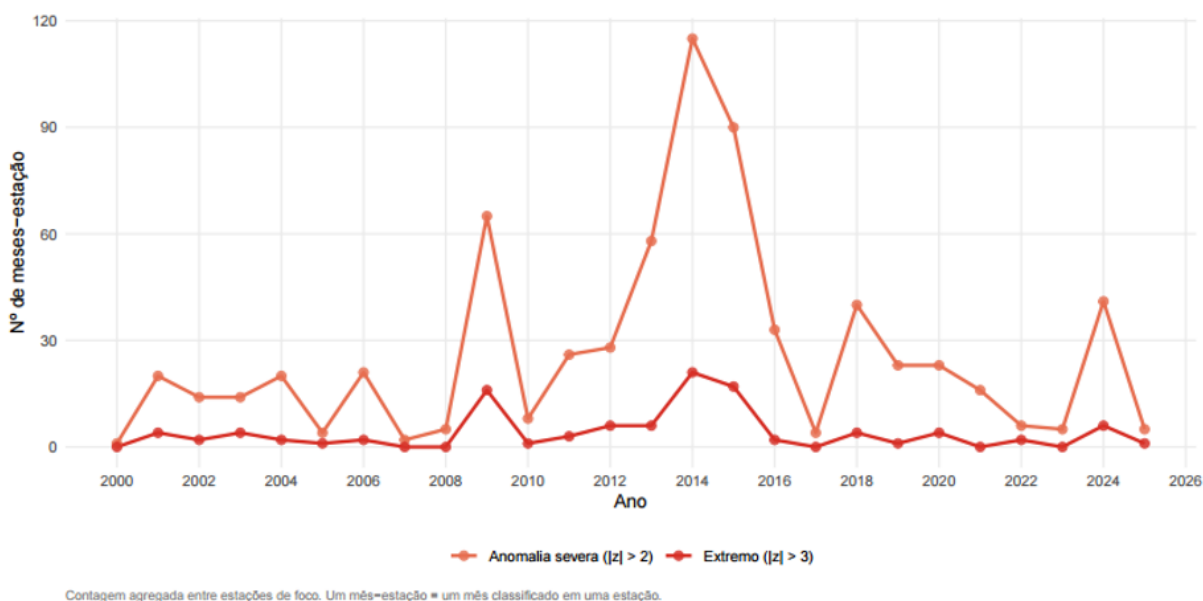
3. Anomalias hidrológicas e eventos extremos

Além das tendências graduais de aumento ou redução da vazão, o diagnóstico avaliou meses em que o comportamento do rio se afastou significativamente do padrão histórico esperado para aquela época do ano. Para isso, cada mês foi classificado com base em seu z-score em relação à climatologia mensal histórica da própria estação. Meses com $|z| > 2$ foram classificados como anomalias severas, enquanto aqueles com $|z| > 3$ foram classificados pelo relatório como valores extremos. Dessa forma, a análise

identifica desvios estatísticos da vazão em relação ao comportamento esperado para cada estação e mês do ano.

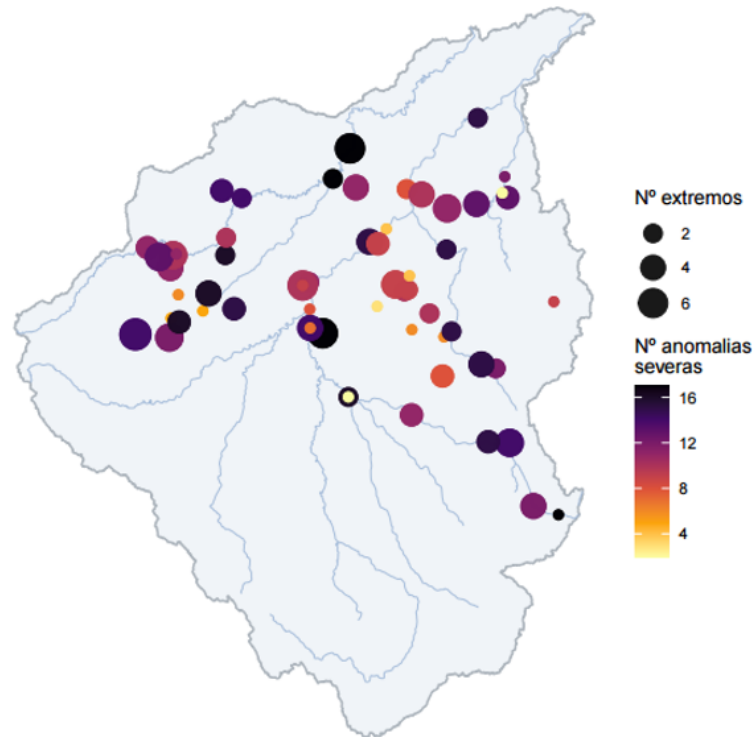


Nas 63 estações de foco, foram identificados 687 meses-estação com anomalia severa e 105 meses-estação com valor extremo, correspondendo a uma média de aproximadamente 10,9 anomalias por estação ao longo do período analisado. Um mês-estação representa uma ocorrência mensal classificada em uma estação específica. Os maiores picos ocorreram em 2009, entre 2012 e 2016, em 2018 e em 2024, indicando anos em que diferentes rios amazônicos apresentaram simultaneamente condições hidrológicas muito fora do esperado.



Especialmente, essas anomalias não seguem um padrão claro, mas sugere que o sistema vêm apresentando episódios recorrentes de elevada instabilidade hidrológica ao longo das últimas décadas.

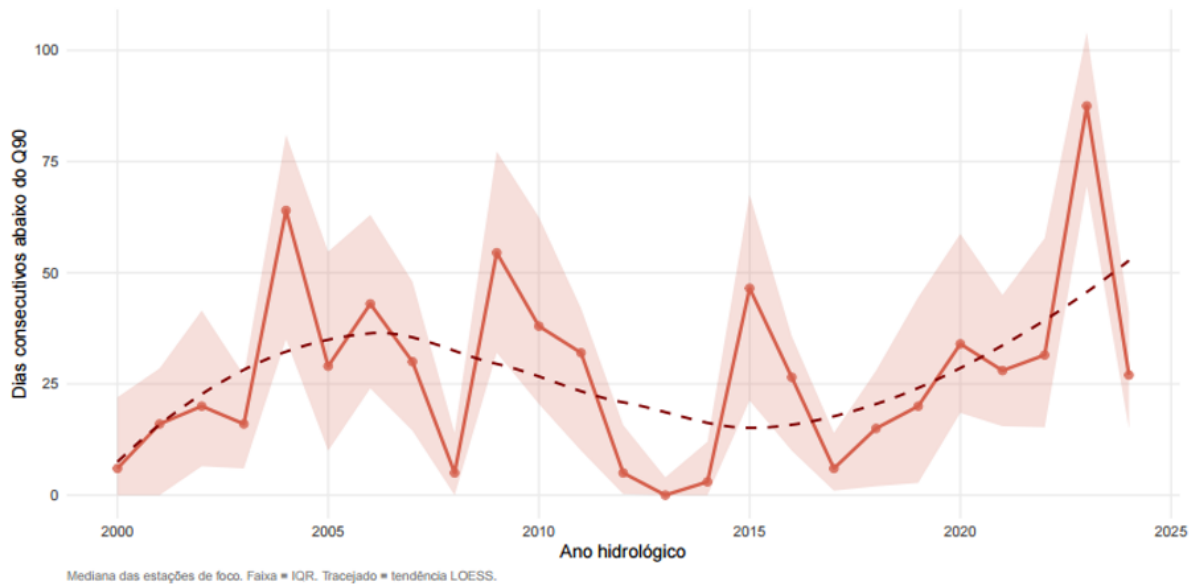
Anomalias Severas por Estação



4. Mudanças na sazonalidade dos rios

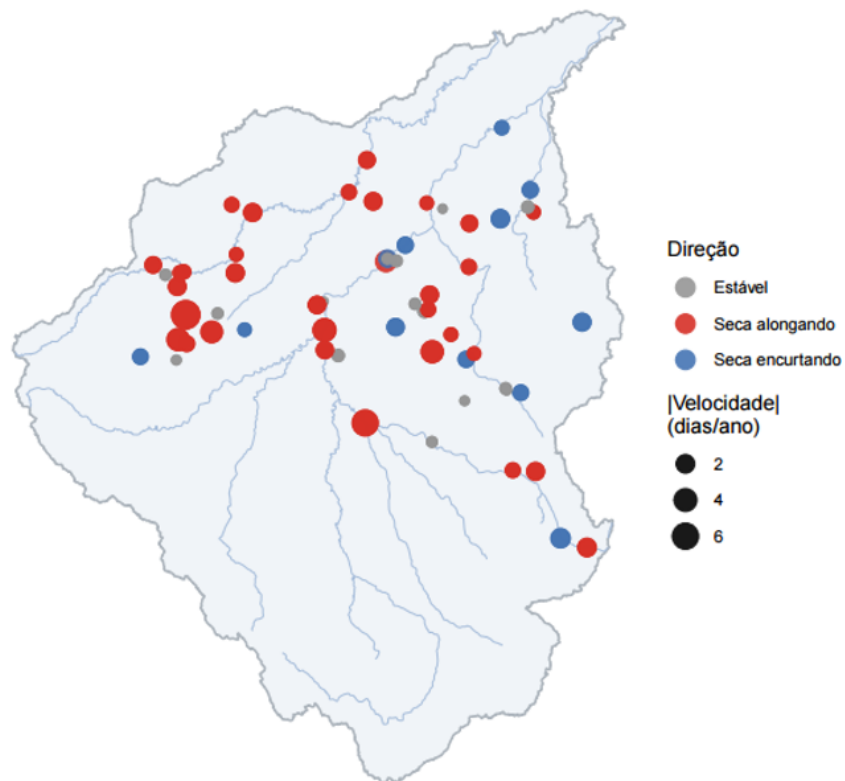
A sazonalidade hidrológica foi analisada a partir de três dimensões principais: a duração dos períodos de seca estrita, o timing hidrológico representado pelo centro de massa anual e a amplitude sazonal.

A duração da seca foi avaliada pelo número máximo de dias consecutivos abaixo do limiar Q90 histórico. A síntese diagnóstica mostra um padrão consistente de prolongamento dos períodos de baixa vazão. Observou-se um aumento gradual da duração das secas ao longo da série histórica. Nos anos mais recentes, a duração média dos períodos consecutivos de baixa vazão ultrapassou 50 dias, indicando que, em escala regional, os rios têm permanecido mais tempo sob condições de baixa disponibilidade de água.



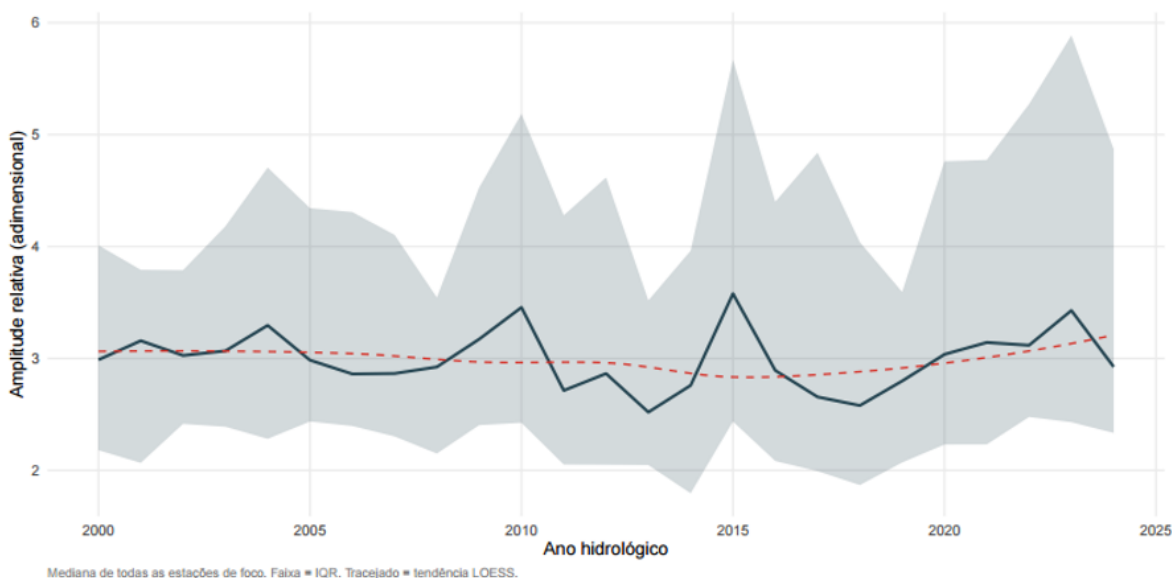
O timing hidrológico foi avaliado pelo centro de massa anual, definido como o dia do ano em que 50% do volume anual passou pela estação. Tendências de avanço ou atraso desse indicador representam mudanças no ritmo temporal do regime hídrico. O relatório apresenta a distribuição espacial dessas tendências, classificando as estações entre condições de adiantamento, atraso ou estabilidade.

Tendência da Duração da Seca Q90



Tendência linear de dias consecutivos abaixo do limiar Q90. Apenas estações com = 10 anos.

A amplitude sazonal foi calculada como a razão entre a diferença anual entre os valores máximo e mínimo e a média anual. Valores mais elevados representam maior contraste entre os períodos de cheia e seca, enquanto tendências crescentes indicariam intensificação dessa oscilação ao longo do tempo.



5. Síntese

O diagnóstico hidrológico integrado mostra que uma parcela expressiva das estações analisadas apresenta alterações estatisticamente significativas na dinâmica da vazão. Das 63 estações de foco, 31 apresentaram tendência de redução, enquanto também foram registrados 687 meses-estação classificados como anomalias severas e 105 classificados como valores extremos segundo os limiares estatísticos adotados. A análise da sazonalidade também identificou sinais de prolongamento dos períodos de seca estrita.

De forma geral, o relatório fornece um diagnóstico quantitativo das tendências, anomalias e componentes da sazonalidade hidrológica na rede analisada. Os resultados mostram que essas mudanças não ocorrem de maneira uniforme entre as estações e entre os diferentes portes de bacia, evidenciando a existência de comportamentos hidrológicos distintos dentro da área de estudo.