



INFRASTRUCTURE AND URBANISM STUDIES

WORKING PAPER PSPHUB

HIDROVIAS NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO

Daniel Kiyoyudi Komesu

Mario Antonio Margarido

Frederico Araujo Turolla

08 de junho de 2026

SUMÁRIO

1. Introdução	4
2. Enquadramento analítico: chuva, hidrovias e risco logístico	5
3. Área de estudo e recorte empírico	6
4. Dados e metodologia	7
4.1 Bases de dados.....	7
4.2 Estratégia empírica.....	8
4.3 Delimitação metodológica	9
5. Resultados	10
5.1 Sazonalidade da chuva e calendário de exportações	10
5.2 Tendência anual da série dessazonalizada	10
5.3 Tendência suavizada e componente cíclico	11
5.4 Fases de chuva acima e abaixo da tendência	12
6. Discussão: implicações para a vulnerabilidade hidroviária.....	14
6.1 Risco financeiro na origem agrícola	14
6.2 Canais de transmissão logística, Custo Brasil e dependência rodoviária	15
6.3 Gargalos operacionais, reservatórios e adaptação hidroviária	15
7. Conclusões	16
8. Referências	17
9. Apêndice A. Resultados completos do algoritmo Bry-Boschan	18

TENDÊNCIA PLUVIOMÉTRICA, CICLOS HÍDRICOS E EXPOSIÇÃO HIDROVIÁRIA NO CENTRO-OESTE
BRASILEIRO:
EVIDÊNCIAS PARA 2003-2025

Daniel Kiyoyudi Komesu¹
Mario Antonio Margarido²
Frederico Araujo Turolla³

Resumo: Este artigo analisa a evolução dos índices pluviométricos da Região Centro-Oeste brasileira e discute suas implicações para a exposição hídrica das hidrovias Tietê-Paraná e Paraguai. Utilizam-se dados mensais do BDMEP/INMET, no período de janeiro de 2003 a maio de 2025, complementados por indicadores sazonais de exportação de soja do Comex Stat/MDIC. A estratégia empírica combina dessazonalização por X13-ARIMA-SEATS, cálculo de índices sazonais, extração de tendência por Filtro Hodrick-Prescott e identificação de fases por meio do algoritmo Bry-Boschan. Os resultados indicam forte sazonalidade, queda de 26,4% da média anual dessazonalizada entre 2003 e 2024 e redução de aproximadamente um terço da tendência suavizada mensal entre janeiro de 2003 e maio de 2025. Embora as fases classificadas como chuva acima da tendência representem 55,02% dos meses com fases completas, contra 44,98% de fases abaixo da tendência, os resultados também indicam queda expressiva da tendência pluviométrica e ocorrência de episódios negativos recentes e persistentes. A evidência de maior exposição logística decorre, portanto, da combinação entre tendência descendente, menor base pluviométrica absoluta e fases críticas de chuva abaixo da tendência, especialmente em corredores dependentes de calado mínimo, gestão de reservatórios e previsibilidade hidrometeorológica. Como a análise empírica trabalha com precipitação e indicadores sazonais, sem incorporar séries de nível, vazão, calado, frete ou volume transportado, os resultados devem ser interpretados como evidência de exposição climática e não como estimativa causal do desempenho hidroviário. A contribuição do artigo está em aplicar ferramentas de séries temporais à avaliação de risco climático-logístico e em delimitar uma agenda de integração entre política de transportes, gestão de recursos hídricos e planejamento sazonal do agronegócio.

Palavras-chave: hidrovias; índices pluviométricos; Centro-Oeste; logística; agronegócio; séries temporais.

Classificação JEL: C22; Q25; Q54; R41.

Abstract: This paper analyzes rainfall dynamics in the Brazilian Center-West region and discusses their implications for the hydrological exposure of the Tietê-Paraná and Paraguay waterways. Monthly rainfall data from BDMEP/INMET from January 2003 to May 2025 are combined with seasonal soybean export indicators from Comex Stat/MDIC. The empirical strategy includes X13-ARIMA-SEATS seasonal adjustment, seasonal index estimation, Hodrick-Prescott trend extraction, and Bry-Boschan phase dating. The results reveal strong seasonality, a 26.4% decline in annual seasonally adjusted rainfall between 2003 and 2024, and an approximately one-third reduction in the monthly smoothed trend between January 2003 and May 2025. Although phases classified as above-trend rainfall account for 55.02% of complete phase months, compared with 44.98% for below-trend rainfall, the results also show a marked decline in the rainfall trend and recent persistent negative episodes. The evidence of increasing logistics exposure therefore stems from the combination of a downward trend, a lower absolute rainfall base, and critical below-trend rainfall phases, especially in corridors that depend on minimum draft, reservoir management, and hydrometeorological predictability. Because the empirical analysis is based on rainfall and seasonal export indicators and does not incorporate water-level, streamflow, draft, freight-rate, or transported-volume series, the conclusions should be interpreted as evidence of climate exposure rather than as a causal estimate of waterway performance. The paper contributes by applying time-series tools to climate-logistics risk assessment and by defining a research agenda that integrates transport policy, water-resource governance, and seasonal agribusiness planning.

¹ Daniel Kiyoyudi Komesu - Especialista em Data Science e Analytics. Partner Data Science da Pezco Economics. E-mail: danielkomesu@pezco.com.br

² Mario Antonio Margarido - Dr. em Economia Aplicada. Senior Partner e Líder de Econometria da Pezco Economics e Pesquisador do PSP Hub Estudos em Infraestrutura e Urbanismo. E-mail: mario.margarido@pezco.com.br

³ Frederico Araujo Turolla - Dr. em Economia de Empresas. Senior Partner da Pezco Economics e Presidente do PSP Hub Estudos em Infraestrutura e Urbanismo. E-mail: fredturolla@pezco.com.br

Keywords: waterways; rainfall; Center-West Brazil; logistics; agribusiness; time series.

1. Introdução

A matriz brasileira de transportes de carga permanece marcada por forte predominância do modal rodoviário, característica que amplia a sensibilidade do sistema logístico a custos de combustível, manutenção viária, distância aos portos e congestionamentos nos principais corredores de exportação. Essa dependência é recorrente na literatura de logística agrícola, que associa a baixa integração entre rodovias, ferrovias e hidrovias ao aumento do Custo Brasil e à perda de competitividade das exportações de grãos (Berti, 2018; Salin, 2024). Para commodities agrícolas, cuja competitividade depende de escala, regularidade e baixo custo por tonelada, a ampliação do uso de modais ferroviário e hidroviário é uma condição relevante para reduzir custos sistêmicos e aumentar a resiliência do escoamento.

No Centro-Oeste, principal fronteira de produção de grãos do país, a questão logística é agravada pela distância entre áreas produtoras e portos marítimos. Berti (2018) mostra que a Hidrovia Tietê-Paraná pode funcionar como alternativa de integração logística para a soja do Mato Grosso em direção ao Porto de Santos, mas ressalta que a falta de chuva e a operação das eclusas são riscos inerentes ao transporte por barcaças. Nesse contexto, as hidrovias Tietê-Paraná e Paraguai são relevantes não apenas como ativos de transporte, mas como componentes de uma rede intermodal que combina terminais interiores, transbordo, armazenagem, transporte rodoviário de curta distância e conexão com mercados externos. A confiabilidade dessas hidrovias, entretanto, depende de condições hidrológicas compatíveis com calado mínimo, operação segura e estabilidade no planejamento de carga.

A vulnerabilidade hidroviária torna-se mais importante quando se observa que o regime de chuvas do Centro-Oeste é fortemente sazonal e que a própria fronteira agrícola do Cerrado está exposta a alterações climáticas relevantes. Monaco et al. (2024) associam mudanças no regime de chuvas, aumento de temperatura local e maior volatilidade de produtividade a riscos econômicos para a expansão agrícola no Cerrado. A estação chuvosa, concentrada entre a primavera e o verão, eleva o volume dos rios e favorece a navegação. A estação seca, por sua vez, reduz vazões, expõe bancos de areia e pode impor restrições de carga ou interrupções temporárias. A presença de reservatórios hidrelétricos atenua parte dessa variabilidade, mas introduz uma camada adicional de governança, pois a água precisa atender simultaneamente a geração de energia, usos consuntivos, controle de cheias e navegação (Freitas Júnior et al., 2024).

O problema de pesquisa deste artigo é o seguinte: em que medida a dinâmica recente dos índices pluviométricos no Centro-Oeste indica aumento de exposição hídrica com implicações potenciais para a logística hidroviária? A hipótese central é que a redução da tendência pluviométrica, combinada à ocorrência de episódios persistentes de chuva abaixo da tendência, reduz a margem hídrica disponível para corredores dependentes de calado mínimo. Essa hipótese é analisada como evidência de exposição, e não como prova causal de interrupções hidroviárias, pois o efeito final sobre transporte depende de vazões, níveis fluviométricos, gestão de reservatórios, dragagem, sinalização, condições de canal e decisões logísticas privadas.

O artigo contribui em três dimensões. Primeiro, organiza a evidência pluviométrica regional em termos de sazonalidade, tendência e ciclos. Segundo, adapta instrumentos de análise de séries temporais, usualmente empregados em economia aplicada, para a leitura de regimes hídricos, com ancoragem explícita nos métodos X13-ARIMA-SEATS, Hodrick-Prescott e Bry-Boschan. Terceiro, delimita as implicações logísticas da redução das chuvas sem transformar correlação climática em causalidade operacional direta, o que fortalece a consistência metodológica da análise.

Além desta introdução, o artigo está organizado em seis seções. A seção 2 apresenta o enquadramento analítico entre chuva, hidrovias e risco logístico; a seção 3 delimita a área de estudo e o recorte empírico; a seção 4 descreve as bases de dados e a metodologia; a seção 5 apresenta os resultados; a seção 6 discute as implicações para a exposição hidroviária; e a seção 7 sintetiza as conclusões, limitações e recomendações de política pública.

2. Enquadramento analítico: chuva, hidrovias e risco logístico

O transporte hidroviário é particularmente adequado para cargas de grande volume e baixo valor unitário, como grãos, minérios, fertilizantes, combustíveis e açúcar. Sua competitividade decorre da economia de escala dos comboios, do menor consumo energético por tonelada-quilômetro e da capacidade de reduzir tráfego de longa distância em rodovias. Freitas Júnior et al. (2024) destacam que o modal hidroviário é reconhecido por baixo custo relativo e menor emissão, enquanto Berti (2018) enfatiza sua contribuição potencial para a integração logística da soja do Mato Grosso. Essas vantagens, contudo, dependem de regularidade operacional: calado insuficiente reduz a carga por embarcação, aumenta o número de viagens necessárias e encarece o frete por tonelada.

A relação entre precipitação e navegação não é mecânica. A chuva regional influencia o escoamento superficial, a recarga de rios e reservatórios e, em última instância, níveis e

vazões. Ainda assim, o nível navegável depende também da geometria do canal, da presença de barragens e eclusas, de operações de dragagem, da defluência de reservatórios e da demanda concorrente por água. Por esse motivo, este artigo trata os índices pluviométricos como indicador de exposição hídrica, e não como medida direta de desempenho hidroviário.

Na Hidrovia do Paraguai, a sensibilidade à variação de níveis é relevante porque o sistema atravessa áreas de planície, Pantanal e trechos sujeitos a restrições sazonais. Na Hidrovia Tietê-Paraná, a presença de reservatórios e eclusas modifica o regime natural e torna a navegação dependente de decisões de operação hídrica e energética. Freitas Júnior et al. (2024) descrevem a Hidrovia Tietê-Paraná como uma das principais hidrovias em funcionamento no Brasil, com aproximadamente 2.400 km de extensão, e registram que sua operacionalidade depende de obras especiais, eclusas e investimentos permanentes. Em ambos os casos, a previsibilidade da água disponível é decisiva para contratos, janelas de embarque, formação de comboios e escolha entre modal hidroviário, rodoviário e ferroviário.

Do ponto de vista de política pública, a análise integrada deve articular planejamento logístico, informações hidrometeorológicas, gestão de reservatórios e investimentos em infraestrutura de navegação. A disponibilidade de bases como BDMEP/INMET, HidroWeb/ANA, Estatístico Aquaviário/ANTAQ, Dados Abertos do ONS e Comex Stat/MDIC permite avançar para modelos de maior granularidade, com variáveis de chuva, vazão, nível, volume transportado e comércio exterior. O recorte empírico concentra-se na dinâmica pluviométrica e em suas implicações para a vulnerabilidade hidroviária.

3. Área de estudo e recorte empírico

A Região Centro-Oeste, composta por Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal, combina elevada participação agropecuária, forte integração ao comércio exterior e dependência de corredores logísticos extensos. Margarido e Turolla (2024) mostram que, entre 2017/18 e 2020/21, o Centro-Oeste concentrou a maior parcela da produção brasileira de soja, com destaque para Mato Grosso. A região possui regime climático tropical com estação chuvosa e estação seca bem definidas, característica que impõe sazonalidade ao planejamento agrícola e à disponibilidade hídrica.

O recorte hidroviário do artigo considera duas infraestruturas de interesse logístico: a Hidrovia do Paraguai e a Hidrovia Tietê-Paraná (Figura 1). A primeira está diretamente vinculada ao sistema Paraguai-Paraná e ao escoamento de cargas de Mato Grosso do Sul e áreas adjacentes. A segunda, embora se estenda por estados fora do Centro-Oeste, compõe um

corredor intermodal associado à produção do interior e ao sistema do rio Paraná. A delimitação regional, portanto, é econômica e logística, não apenas político-administrativa.

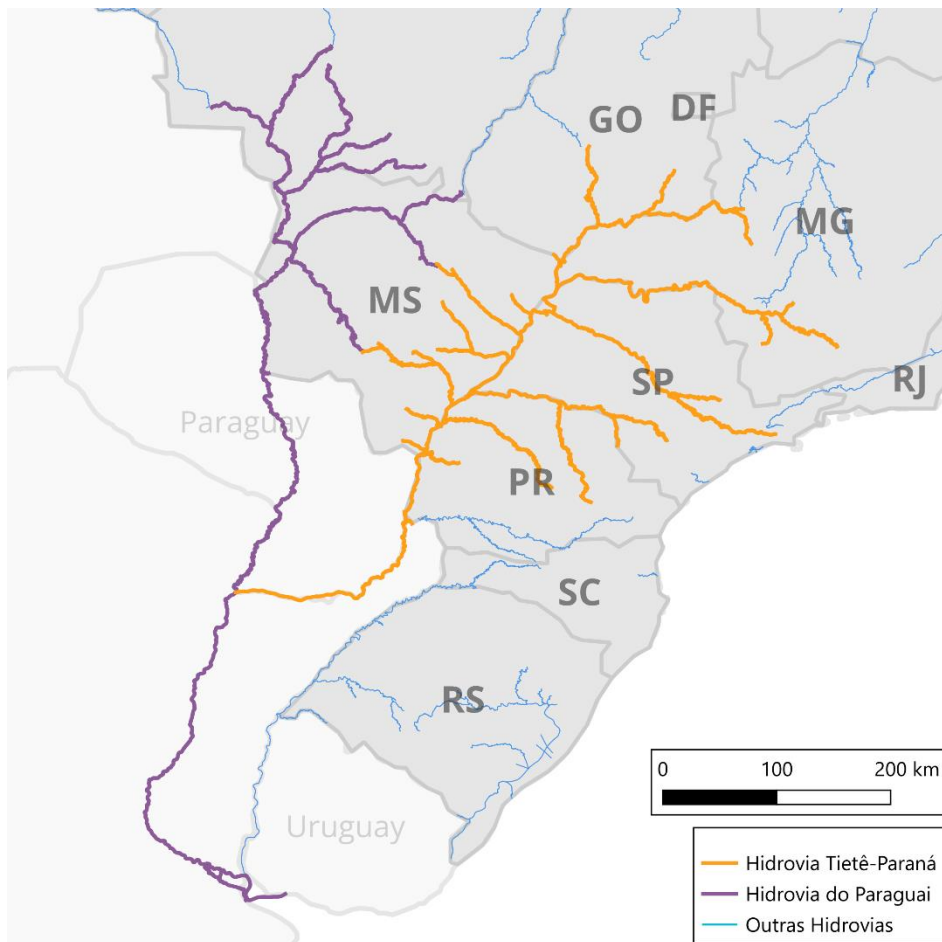


Figura 1. Extensão Geográfica das Hidroviárias Tietê-Paraná e do Paraguai

Fonte: elaboração própria com dados do Banco de Informações de Transportes (BIT) Ministério dos Transportes (2026).

A análise empírica cobre janeiro de 2003 a maio de 2025 para a série mensal dessazonalizada e 2003 a 2024 para as médias anuais. A diferença entre os períodos decorre da disponibilidade de observações completas no fechamento anual. Quando se utiliza a média anual, 2025 é excluído para evitar comparação entre ano incompleto e anos completos.

4. Dados e metodologia

4.1 Bases de dados

A principal variável do estudo é o índice pluviométrico mensal da Região Centro-Oeste, construído a partir do Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (BDMEP/INMET) (INMET, 2026). A unidade de medida é milímetro de precipitação, com frequência mensal. A série regional consolidada representa a média dos registros disponíveis para a região, após tratamento dos dados e agregação temporal.

Para a análise sazonal comparativa, utiliza-se também a quantidade exportada de soja em grão pelo Brasil, em frequência mensal, extraída da base Comex Stat/MDIC (MDIC, 2026). Essa série não é usada para explicar estatisticamente a precipitação; sua função é contextualizar a sobreposição entre calendário de exportações agrícolas e calendário hídrico.

4.2 Estratégia empírica

A metodologia é composta por quatro etapas. Na primeira, as séries mensais são dessazonalizadas por X13-ARIMA-SEATS, de modo a separar movimentos sazonais recorrentes de variações de tendência e ciclo (United States Census Bureau, 2026). A utilização de procedimentos da família X-ARIMA é justificada porque a sazonalidade integra o processo gerador de muitas séries econômicas e agroclimáticas, e sua omissão pode gerar leituras viesadas de tendência, ciclo e relações entre variáveis (Margarido, 2021). A decomposição sazonal permite calcular os índices médios mensais de precipitação e exportação de soja.

Na segunda etapa, calculam-se médias anuais da série pluviométrica dessazonalizada. Essas médias são usadas para avaliar a variação de longo prazo em escala anual e para representar graficamente a tendência polinomial de segundo grau. Essa etapa é descritiva e não substitui testes formais de tendência.

Na terceira etapa, aplica-se o Filtro Hodrick-Prescott à série mensal dessazonalizada (Hodrick e Prescott, 1997). O filtro decompõe a série observada em tendência suavizada e componente cíclico. Formalmente, a tendência é obtida pela minimização da soma dos desvios quadráticos em relação à série observada e de uma penalização sobre a variação da inclinação da tendência. A aplicação combinada de filtro HP e datação de ciclos em séries mensais segue procedimento análogo ao utilizado por Margarido, Shikida e Komesu (2025), que empregam essas ferramentas para identificar fases acima e abaixo da tendência. Adota-se lambda igual a 14.400, de modo a preservar a especificação utilizada na estimação das séries reportadas. Como o parâmetro lambda influencia o grau de suavização da tendência, os resultados devem ser lidos à luz dessa escolha; especificações alternativas, como lambda igual a 129.600 segundo a regra de frequência de Ravn e Uhlig (2002), podem ser utilizadas em pesquisas posteriores para avaliar a sensibilidade da datação cíclica.

Na quarta etapa, utiliza-se o algoritmo Bry-Boschan para identificar pontos de virada e fases de expansão e retração do ciclo pluviométrico (Bry e Boschan, 1971). O procedimento é adequado para localizar picos e vales em torno da tendência suavizada, permitindo mensurar duração e amplitude das fases, como em aplicações recentes de séries temporais econômicas mensais (Margarido, Shikida e Komesu, 2025). As fases positivas são denominadas Chuva (+),

indicando precipitação acima da tendência, enquanto as fases negativas são denominadas Chuva (-), indicando precipitação abaixo da tendência. Essa classificação não deve ser interpretada como seca hidrológica em sentido técnico estrito; trata-se de uma leitura de ciclos relativos da série pluviométrica dessazonalizada.

4.3 Delimitação metodológica

A estratégia empírica adotada mede a exposição pluviométrica regional, não o impacto operacional direto sobre as hidrovias. Para converter a análise em estimativa causal ou quase causal de vulnerabilidade hidroviária, é necessário incorporar, em etapa posterior, séries de nível e vazão de estações como Ladário, informações de reservatórios e defluências do ONS, dados de calado operacional, restrições de navegação, volume transportado e fretes por corredor. Essa delimitação evita extrapolação indevida entre chuva e desempenho logístico e caracteriza a análise como uma etapa de triagem de risco climático-logístico.

Pesquisas posteriores podem priorizar séries de nível fluviométrico de Ladário no rio Paraguai e informações operacionais das eclusas e reservatórios associados à Hidrovia Tietê-Paraná. Em termos mínimos, essa extensão pode testar correlação contemporânea e defasada entre o componente cíclico da chuva e níveis de rio, bem como estimar se fases de Chuva (-) elevam a probabilidade de restrições de calado. Esse avanço permitiria converter a exposição pluviométrica documentada neste artigo em evidência operacional direta, preservando a distinção entre risco climático e impacto hidroviário observado.

5. Resultados

5.1 Sazonalidade da chuva e calendário de exportações

A sazonalidade mensal da precipitação no Centro-Oeste é acentuada. Os maiores índices médios ocorrem entre novembro e março, com pico em janeiro. Entre maio e setembro, a precipitação média sazonal cai de forma expressiva, atingindo seu ponto mínimo em julho. Esse padrão confirma a separação entre estação chuvosa e estação seca, elemento central para a operação logística regional.

A comparação com os índices médios sazonais de exportação de soja mostra uma defasagem relevante. O pico de exportações ocorre entre abril e maio, período em que o índice pluviométrico já se encontra em queda. A partir de junho e julho, a produção exportada permanece relevante, mas o regime hídrico entra no trecho mais crítico do ano (Figura 2). Essa sobreposição reforça a importância de planejamento logístico sazonal, armazenagem e monitoramento de calado.

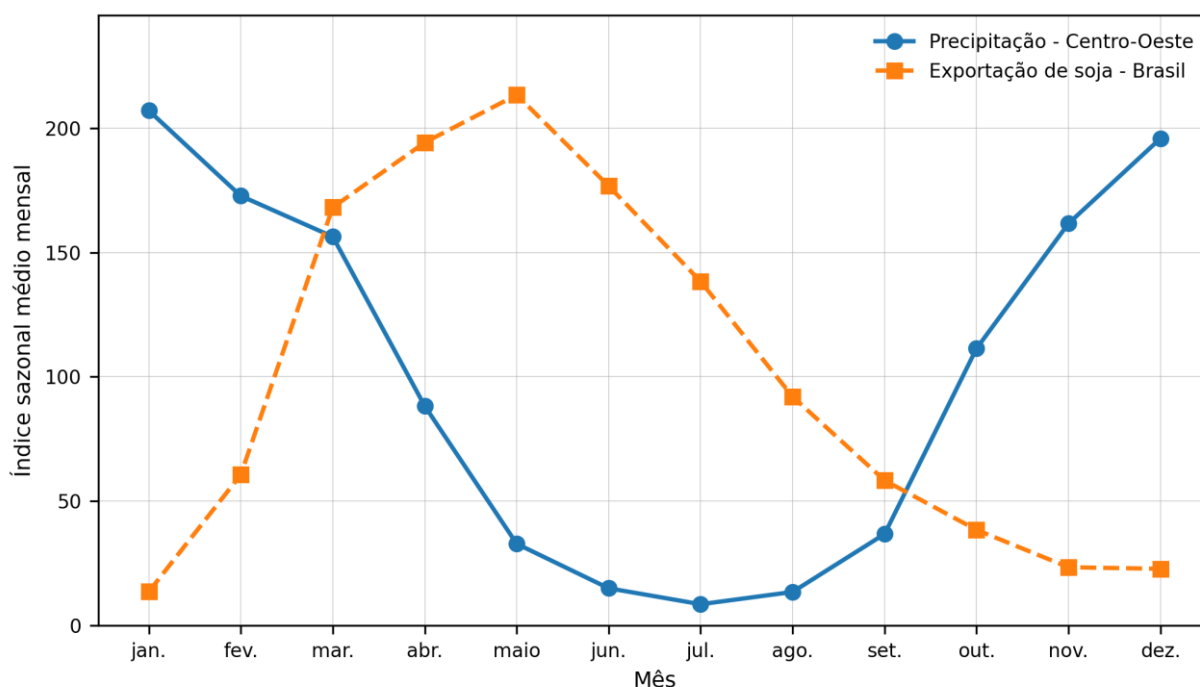


Figura 2. Índices médios sazonais mensais da precipitação no Centro-Oeste e da quantidade exportada de soja, Brasil

Fonte: Elaboração própria com base em BDMEP/INMET e Comex Stat/MDIC.

5.2 Tendência anual da série dessazonalizada

A média anual da série pluviométrica dessazonalizada mostra redução entre o início e o fim do período anual completo. Em 2003, o índice médio anual foi de 107,7 mm; em 2024, foi de 79,3 mm. A variação acumulada foi de -26,4%, indicando perda relevante de precipitação média no recorte analisado.

A trajetória não é monotônica. Entre 2003 e 2008, observa-se menor amplitude anual. Entre 2009 e 2016, a série exibe maior variabilidade, com anos de precipitação relativamente elevada. A partir de 2017, os valores se deslocam para patamar inferior, com destaque para 2021, ano de menor média anual da série. A tendência polinomial de segundo grau sintetiza essa dinâmica como uma trajetória que cresce até meados da amostra e passa a declinar posteriormente (Figura 3).

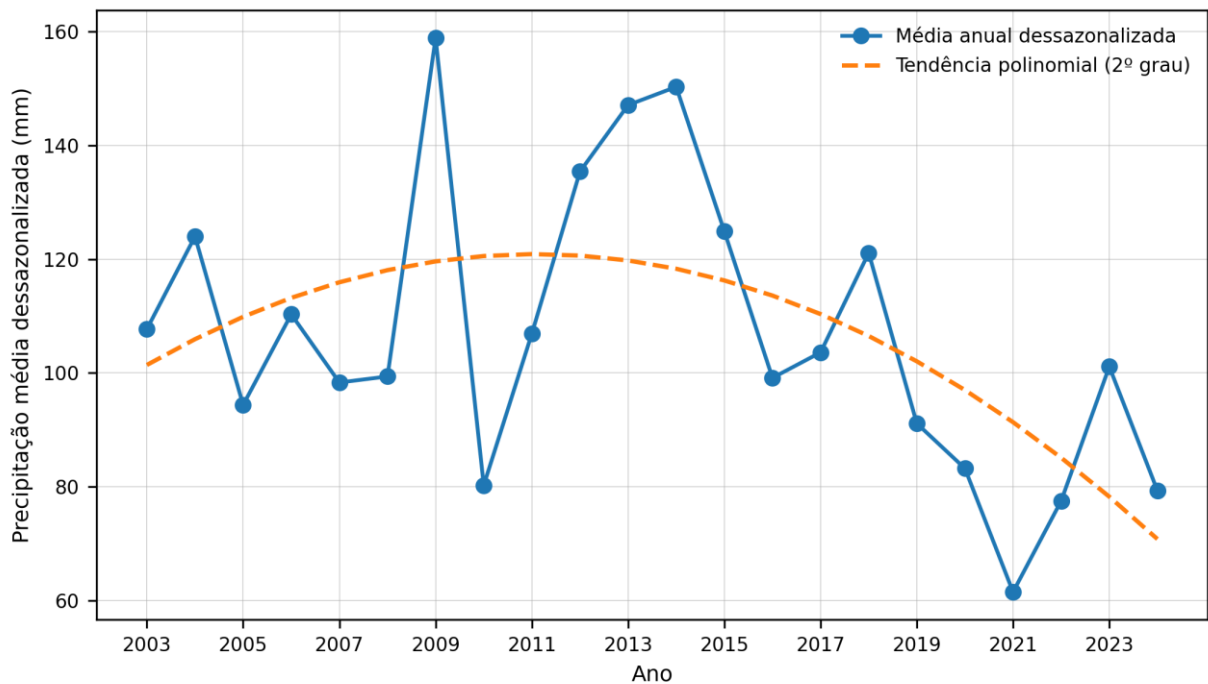


Figura 3. Índices pluviométricos médios anuais dessazonalizados na Região Centro-Oeste, 2003-2024

Fonte: Elaboração própria com base em BDMEP/INMET.

5.3 Tendência suavizada e componente cíclico

A aplicação do Filtro Hodrick-Prescott à série mensal dessazonalizada confirma a tendência descendente (Hodrick e Prescott, 1997). A tendência suavizada passa de 116,18 mm em janeiro de 2003 para 77,09 mm em maio de 2025, o que representa variação de -33,65%. A magnitude é superior à observada na comparação anual simples porque a janela mensal inclui 2025 e porque a tendência HP suaviza movimentos de curto prazo.

O componente cíclico apresenta alternância frequente entre desvios positivos e negativos em relação à tendência. O interesse substantivo não está apenas em episódios isolados, mas na persistência de fases negativas, pois períodos prolongados abaixo da tendência podem reduzir a margem operacional de hidrovias dependentes de calado mínimo e aumentar a necessidade de decisões de mitigação, como redução de carga, transbordo, dragagem e alteração modal (Figura 4).

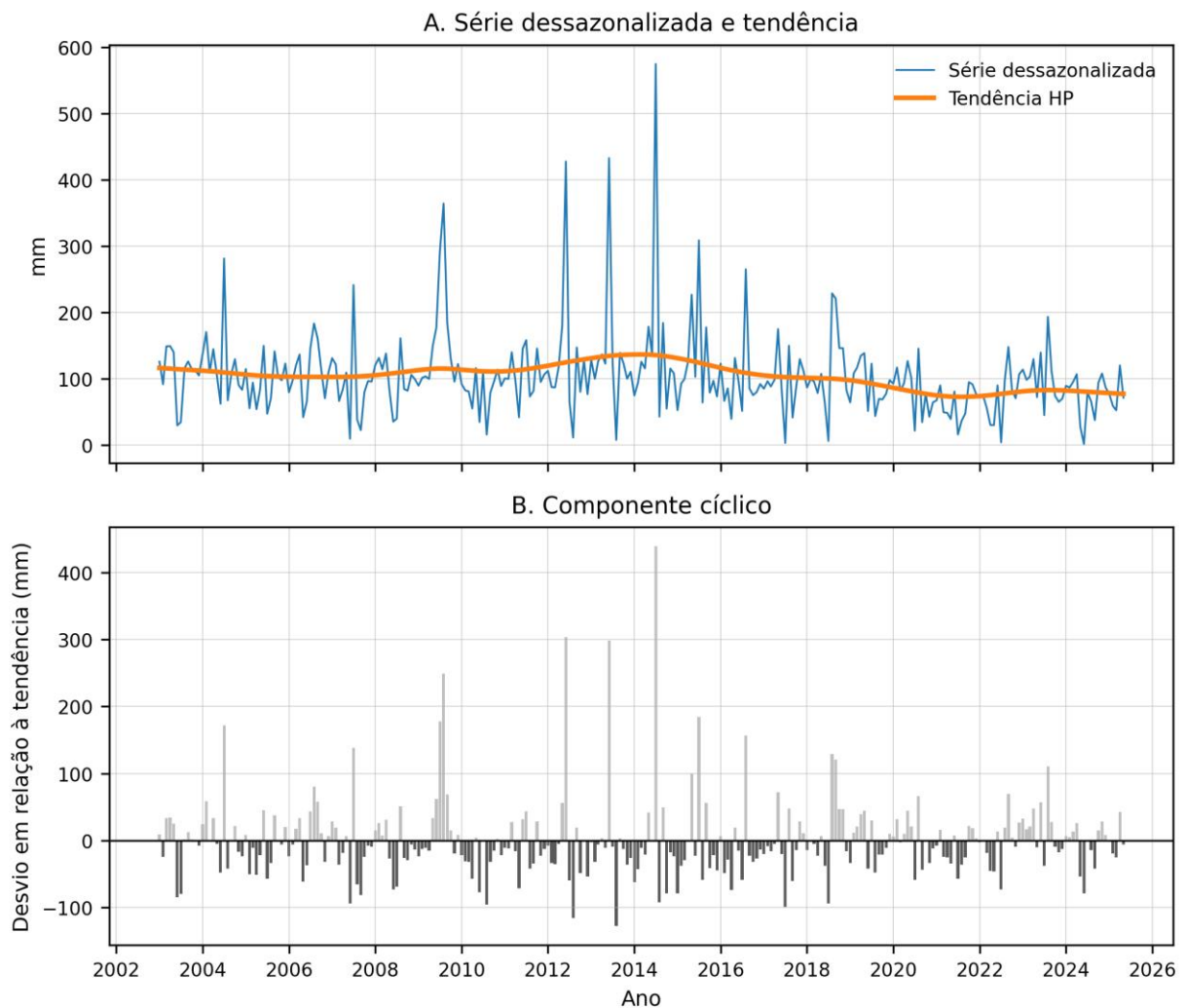


Figura 4. Filtro HP aplicado aos índices pluviométricos mensais dessazonalizados da Região Centro-Oeste, janeiro de 2003 a maio de 2025
Fonte: Elaboração própria com base em BDMEP/INMET.

5.4 Fases de chuva acima e abaixo da tendência

Os resultados do algoritmo Bry-Boschan reforçam a leitura de exposição hídrica (Bry e Boschan, 1971). O maior período de Chuva (+) ocorreu entre fevereiro de 2005 e janeiro de 2007, com duração de 23 meses. O maior período de Chuva (-) ocorreu entre fevereiro de 2021 e abril de 2022, com duração de 14 meses. A duração desse episódio negativo é particularmente relevante porque coincide com uma fase recente de maior preocupação com crise hídrica, navegação, energia e custos logísticos (Figura 5).

A síntese das fases mostra que a amplitude média dos períodos de Chuva (-) foi de 101,8 mm, ligeiramente superior à amplitude média dos períodos de Chuva (+), igual a 99,0 mm. Em termos de duração, as fases positivas duraram, em média, 6,8 meses, enquanto as fases negativas duraram 5,6 meses. Quando se soma a duração das fases completas, a predominância é dos meses classificados como Chuva (+): 137 meses, ou 55,02% do total, contra 112 meses,

ou 44,98%, em Chuva (-) (Tabelas 1 e 2). Esse resultado indica que a evidência de exposição hidroviária não decorre de maior frequência das fases negativas, mas da combinação entre declínio tendencial da precipitação, amplitude média ligeiramente maior das fases de Chuva (-) e episódios negativos persistentes e recentes. Como a tendência suavizada sofreu redução de 33,65% no período analisado, as fases recentes de Chuva (+) ocorrem sobre uma base pluviométrica absoluta significativamente menor do que no início dos anos 2000, o que preserva o risco de restrições hídricas severas para o modal hidroviário (Tabelas 1 e 2).

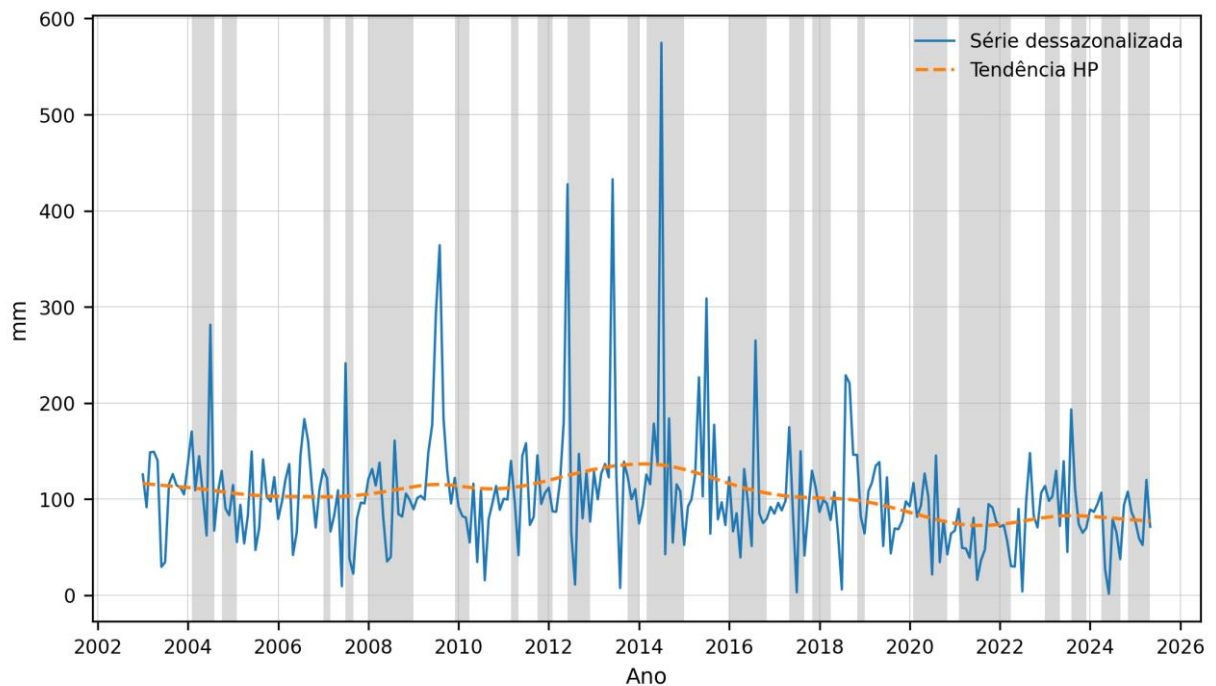


Figura 5. Fases de Chuva (-) identificadas pelo algoritmo Bry-Boschan sobre a série pluviométrica dessazonalizada da Região Centro-Oeste, janeiro de 2003 a maio de 2025
Fonte: Elaboração própria com base em BDMEP/INMET. Áreas sombreadas indicam fases de chuva abaixo da tendência.

Tabela 1. Síntese dos resultados do algoritmo Bry-Boschan

Fase	Amplitude média (mm)	Duração média (meses)	Meses	Participação (%)
Chuva (+)	99,0	6,8	137	55,02
Chuva (-)	101,8	5,6	112	44,98
Total	-	-	249	100,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2. Episódios selecionados de maior duração e maior amplitude

Critério	Fase	Período	Duração	Amplitude (mm)
Maior duração positiva	Chuva (+)	2005M2-2007M1	23 meses	162,6 mm
Maior duração negativa	Chuva (-)	2021M2-2022M4	14 meses	104,4 mm
Maior amplitude positiva	Chuva (+)	2015M1-2016M1	12 meses	288,8 mm
Maior amplitude negativa	Chuva (-)	2014M3-2015M1	10 meses	279,4 mm

Fonte: Elaboração própria.

6. Discussão: implicações para a vulnerabilidade hidroviária

Os resultados indicam que a discussão sobre hidrovias no Centro-Oeste não deve se restringir à capacidade física instalada. A confiabilidade do modal depende da interação entre infraestrutura, regime de chuvas, operação dos reservatórios, dragagem, sinalização, previsões climáticas e decisões privadas de embarque. Uma tendência pluviométrica declinante pode reduzir a margem de segurança do sistema e aumentar a probabilidade de que anos secos provoquem restrições operacionais, mas essa inferência precisa ser validada com séries de nível, vazão, calado e movimentação de carga.

6.1 Risco financeiro na origem agrícola

A redução da tendência pluviométrica observada no Centro-Oeste não afeta apenas a hidrologia e a logística, mas também pode traduzir-se em risco financeiro para o agronegócio. Modelagens econômicas e climáticas recentes indicam que mudanças no regime climático podem reduzir a produtividade agrícola da soja e do milho e aumentar a volatilidade das safras. Monaco et al. (2024) mostram que, em diversas microrregiões do Cerrado, a conversão de vegetação nativa em lavoura pode gerar Valor Presente Líquido negativo sob cenários de mudança climática, além de associar desmatamento ao encurtamento da estação chuvosa, aumento de temperatura local e chuvas mais erráticas. Nesse contexto, a vulnerabilidade do calado hidroviário deve ser analisada em conjunto com a vulnerabilidade da produção na origem, pois perdas de produtividade, maior incerteza e maior custo logístico podem afetar simultaneamente a rentabilidade das cadeias agrícolas.

6.2 Canais de transmissão logística, Custo Brasil e dependência rodoviária

Na prática, a redução da chuva pode afetar a navegação por três canais. O primeiro é hidrológico: menor precipitação tende a reduzir vazões e níveis, ainda que a intensidade dessa transmissão dependa da bacia, do solo, da vegetação e da operação de reservatórios. O segundo é operacional: menor nível dos rios exige redução de carga, limitação de comboios, dragagem emergencial ou reprogramação de janelas de navegação. O terceiro é econômico: menor confiabilidade hidroviária aumenta o valor da flexibilidade logística, desloca cargas para rodovias ou ferrovias e pressiona custos de frete, armazenagem e programação portuária. Berti (2018) documenta a relevância da intermodalidade para reduzir gargalos no escoamento da soja do Mato Grosso, enquanto Margarido e Turolla (2024) mostram que a competitividade brasileira no mercado internacional de soja depende da estrutura de rotas, fretes e portos. Salin (2024) reforça essa leitura ao apontar que melhorias de infraestrutura e redução de custos de transporte no Brasil têm efeito potencial sobre a participação do país no mercado mundial de soja.

6.3 Gargalos operacionais, reservatórios e adaptação hidroviária

Para a Hidrovia Tietê-Paraná, o ponto central é a coordenação entre operação energética, manutenção de eclusas, dragagem e previsibilidade do calado. Na prática, as fases de chuva abaixo da tendência expõem limitações estruturais do sistema aquaviário nacional. Freitas Júnior et al. (2024) caracterizam a Tietê-Paraná como hidrovia de grande extensão e com obras especiais, mas que ainda demanda investimentos de manutenção e gestão para sustentar regularidade operacional. Durante a crise hídrica iniciada em 2014, parte da hidrovia ficou interrompida para o transporte de longo curso devido ao baixo nível do reservatório de Três Irmãos, episódio que ilustra a dependência entre navegabilidade, reservatórios e governança hídrica (Freitas Júnior et al., 2024).

Para a Hidrovia do Paraguai, a atenção deve se concentrar em monitoramento fluviométrico, pontos críticos, integração com o Pantanal e planejamento de janelas sazonais de embarque. A seca do Pantanal em 2024 oferece um exemplo recente da relevância dessa agenda: o Serviço Geológico do Brasil registrou déficit de precipitação no período chuvoso de 2023/2024 e destacou efeitos potenciais sobre setores como navegação e agricultura (SGB, 2024). Além disso, a ANTAQ passou a tratar a concessão da Hidrovia do Paraguai como projeto estruturado, com metas de serviços obrigatórios aos usuários e foco na manutenção de condições de navegabilidade (ANTAQ, 2026b). A leitura conjunta com Berti (2018) reforça que a hidrovia deve ser planejada como parte de uma estratégia intermodal: quando a restrição

hídrica reduz o calado, o sistema precisa dispor de alternativas ferroviárias, rodoviárias e de armazenagem para evitar ruptura do escoamento.

Pesquisas posteriores podem combinar a série pluviométrica estimada neste artigo com dados de nível e vazão do HidroWeb/ANA, dados de reservatórios e defluências do ONS, e informações de movimentação aquaviária e cargas da ANTAQ (ANA, 2026; ANTAQ, 2026a; ONS, 2026). Com essas variáveis, será possível estimar elasticidades entre chuva, vazão e volume transportado, testar defasagens entre precipitação e nível de rio, identificar limiares de calado e avaliar se fases de Chuva (-) elevam custos logísticos de forma não linear.

7. Conclusões

Este artigo revisou a evidência pluviométrica da Região Centro-Oeste sob uma perspectiva de exposição climático-logística. Os resultados mostram forte sazonalidade, redução da média anual dessazonalizada entre 2003 e 2024 e queda expressiva da tendência suavizada mensal entre janeiro de 2003 e maio de 2025. A aplicação do algoritmo Bry-Boschan evidenciou que, no conjunto de fases completas, os meses com chuva acima da tendência Chuva (+) foram mais frequentes do que os meses abaixo da tendência Chuva (-).

A principal implicação é que a exposição hidroviária pode aumentar mesmo em um contexto no qual os desvios cíclicos positivos foram mais frequentes. Isso ocorre porque esses desvios orbitam uma tendência em forte declínio, fazendo com que a infraestrutura opere sob uma margem hídrica absoluta historicamente inferior. A redução estrutural das chuvas não determina automaticamente interrupções de navegação, mas eleva a exposição do sistema a restrições de calado, perda de regularidade, aumento do custo por tonelada e necessidade de realocação modal. A resposta adequada exige integração entre monitoramento climático, gestão de reservatórios, planejamento de dragagem, sinalização, inteligência logística e coordenação regulatória.

Do ponto de vista de política pública, três recomendações se destacam. A primeira é fortalecer sistemas de informação que conectem chuva, vazão, nível de rio, reservatórios e movimentação de carga. A segunda é priorizar investimentos de manutenção em trechos críticos, especialmente dragagem, balizamento e eclusas. A terceira é incorporar cenários de variabilidade climática ao planejamento de longo prazo de transportes, evitando que hidrovias sejam avaliadas apenas por capacidade física nominal.

A limitação central do estudo decorre da ausência de uma base operacional hidroviária integrada à série pluviométrica. Portanto, as conclusões devem ser lidas como evidência de exposição e vulnerabilidade potencial, não como estimativa causal do impacto da chuva sobre

volume transportado ou frete. A continuidade natural da pesquisa é estimar modelos que combinem precipitação, vazão, nível fluviométrico, calado operacional, volume transportado e custos logísticos, especialmente para Ladário, para trechos críticos do Paraguai e para eclusas e reservatórios da Tietê-Paraná.

8. Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2026. HidroWeb: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/> (acesso em 25 maio 2026).

Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), 2026a. Estatística: Painel do Estatístico Aquaviário. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/assuntos/estatistica> (acesso em 25 maio 2026).

Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), 2026b. Hidrovia do Paraguai: novas concessões hidroviárias. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/assuntos/projetos-de-concessao/novas-concessoes-hidroviarias/paraguai> (acesso em 28 maio 2026).

Berti, L.C., 2018. O modal hidroviário como oportunidade de integração logística: a utilização da hidrovia Tietê-Paraná como alternativa para o escoamento de soja para exportação do estado do Mato Grosso para o Porto de Santos. Tese (Doutorado em Geografia Humana), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Bry, G., Boschan, C., 1971. Cyclical analysis of time series: selected procedures and computer programs. National Bureau of Economic Research, New York.

Freitas Júnior, M. de, Bueno, R.E., Toloi, R.C., Santos, D.V. dos, Vendrametto, O., 2024. Transporte hidroviário, um estudo das hidrovias brasileiras e suas principais características. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana 22 (1), 2642-2664. <https://doi.org/10.55905/oelv22n1-137>.

Hodrick, R.J., Prescott, E.C., 1997. Postwar U.S. business cycles: an empirical investigation. Journal of Money, Credit and Banking 29 (1), 1-16. <https://doi.org/10.2307/2953682>.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2026. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> (acesso em 25 maio 2026).

Margarido, M.A., 2021. Análise da série de vendas do varejo restrito no Estado de São Paulo: uma aplicação do Método X12-ARIMA. Revista IPT: Tecnologia e Inovação 5 (17), 76-94.

Margarido, M.A., Shikida, P.F.A., Komesu, D.K., 2025. Análise das apreensões de cigarros contrabandeados no Estado do Paraná: uma aplicação de modelos de séries temporais. Revista de Economia e Agronegócio 23 (1), 1-21.

Margarido, M.A., Turolla, F.A., 2024. Brazilian soybeans: quo vadis? Theoretical and Applied Economics 31 (1), 137-160.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), 2026. Comex Stat: estatísticas oficiais do comércio exterior brasileiro de bens. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/> (acesso em 25 maio 2026).

Ministério dos Transportes. Banco de Informações de Transportes (BIT). Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit> (acesso em 01 jun. 2026).

Monaco, H., Ortiz, C., Caetano, L., Müller, C., Jägermeyr, J., 2024. The economics of farming expansion in the Brazilian Cerrado under possible effects of climate change. International Food and Agribusiness Management Review 27 (3), 441-462. <https://doi.org/10.22434/IFAMR1028>.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), 2026. Dados Abertos: reservatórios e dados hidrológicos. Disponível em: <https://dados.ons.org.br/> (acesso em 25 maio 2026).

Ravn, M.O., Uhlig, H., 2002. On adjusting the Hodrick-Prescott filter for the frequency of observations. Review of Economics and Statistics 84 (2), 371-376.

Salin, D.L., 2024. Update on The Impact of Brazil's Infrastructure and Transportation Costs on U.S. Soybean Market Share: An Updated Analysis from 1992-2022 (Summary). U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. <https://doi.org/10.9752/TS410.02-2024>.

Serviço Geológico do Brasil (SGB), 2024. Seca no Pantanal 2024. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/seca-no-pantanal-2024> (acesso em 28 maio 2026).

United States Census Bureau, 2026. X-13ARIMA-SEATS Seasonal Adjustment Program. Disponível em: <https://www.census.gov/data/software/x13as.html> (acesso em 25 maio 2026).

9. Apêndice A. Resultados completos do algoritmo Bry-Boschan

A tabela apresenta as fases completas resultantes do procedimento de datação cíclica, com padronização da nomenclatura das colunas. As colunas "Índice inicial" e "Índice final" reportam valores da série pluviométrica dessazonalizada em milímetros nos pontos de virada identificados pelo algoritmo; a coluna "Amplitude" corresponde à diferença absoluta entre esses pontos. Assim, as amplitudes individuais do apêndice podem superar a amplitude média reportada na Tabela 1. Fases abertas no início ou no fim da amostra são mantidas com indicação <NA>

	Fase	Início	Fim	Duração	Índice inicial (mm)	Índice final (mm)	Amplitude (mm)
1	CHUVA (+)	<NA>	2004M2	NA	NA	531	NA
2	CHUVA (-)	2004M2	2004M8	6	531	456	75.6
3	CHUVA (+)	2004M8	2004M10	2	456	487	31.8
4	CHUVA (-)	2004M10	2005M2	4	487	348	139.3
5	CHUVA (+)	2005M2	2007M1	23	348	511	162.6
6	CHUVA (-)	2007M1	2007M3	2	511	385	126.2
7	CHUVA (+)	2007M3	2007M7	4	385	470	85.2
8	CHUVA (-)	2007M7	2007M9	2	470	416	53.6
9	CHUVA (+)	2007M9	2008M1	4	416	498	81.4
10	CHUVA (-)	2008M1	2009M1	12	498	437	60.4
11	CHUVA (+)	2009M1	2009M12	11	437	502	64.4
12	CHUVA (-)	2009M12	2010M4	4	502	408	93.6
13	CHUVA (+)	2010M4	2011M3	11	408	510	102.4
14	CHUVA (-)	2011M3	2011M5	2	510	434	76.7
15	CHUVA (+)	2011M5	2011M10	5	434	501	67.2
16	CHUVA (-)	2011M10	2012M2	4	501	416	85.2
17	CHUVA (+)	2012M2	2012M6	4	416	497	81.5
18	CHUVA (-)	2012M6	2012M12	6	497	407	89.9
19	CHUVA (+)	2012M12	2013M10	10	407	487	79.5
20	CHUVA (-)	2013M10	2014M1	3	487	402	84.4
21	CHUVA (+)	2014M1	2014M3	2	402	493	91.1
22	CHUVA (-)	2014M3	2015M1	10	493	214	279.4
23	CHUVA (+)	2015M1	2016M1	12	214	503	288.8
24	CHUVA (-)	2016M1	2016M11	10	503	425	77.5
25	CHUVA (+)	2016M11	2017M5	6	425	478	53.1
26	CHUVA (-)	2017M5	2017M9	4	478	426	52.5
27	CHUVA (+)	2017M9	2017M11	2	426	502	75.7
28	CHUVA (-)	2017M11	2018M4	5	502	434	67.4
29	CHUVA (+)	2018M4	2018M11	7	434	518	83.9
30	CHUVA (-)	2018M11	2019M1	2	518	364	154.6
31	CHUVA (+)	2019M1	2020M2	13	364	473	109.1
32	CHUVA (-)	2020M2	2020M11	9	473	224	248.9
33	CHUVA (+)	2020M11	2021M2	3	224	455	231.4
34	CHUVA (-)	2021M2	2022M4	14	455	351	104.4
35	CHUVA (+)	2022M4	2023M1	9	351	493	142.2
36	CHUVA (-)	2023M1	2023M5	4	493	446	47.3
37	CHUVA (+)	2023M5	2023M8	3	446	468	22
38	CHUVA (-)	2023M8	2023M12	4	468	387	80.2
39	CHUVA (+)	2023M12	2024M4	4	387	463	75.3
40	CHUVA (-)	2024M4	2024M9	5	463	423	39.8
41	CHUVA (+)	2024M9	2024M11	2	423	475	51.6
42	CHUVA (-)	2024M11	<NA>	NA	475	NA	NA

The logo for PSP Hub features the letters 'PSP' in a bold, dark grey sans-serif font, followed by 'Hub' in a lighter green sans-serif font. The 'P' in 'PSP' has a green accent on its right side. The background of the page is white with a large green triangle in the bottom right corner and a smaller green triangle in the top right corner, both pointing towards the center. A dark grey triangle is also visible in the top right corner, partially overlapping the green one.

PSP Hub

INFRASTRUCTURE AND URBANISM STUDIES