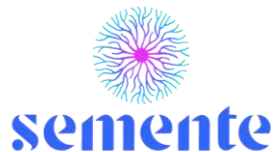


De Olho no Velhas Tópicos Principais

Realização



Apoio



Belo Horizonte, 18 de Setembro de 2025

Maiores secas no Rio das Velhas desde o início da série de registros (1971)

Ano	Volume Escoado no Ano (Mm3)
2017	468,954
2014	475,135
2015	568,842
1990	585,516
2019	593,133
2018	609,405



Rio das Velhas a Jusante da ETA Bela Fama – out./2014 – Fonte: CBH Velhas

Cheia recorde e seca no Rio das Velhas em 2022



Maior cheia da história do Rio das Velhas. Vista de Raposos, a jusante de Bela Fama – **09/01/2022**

Vazão Máx.: **788 m³/s**

Foto: <https://manuelzao.ufmg.br/um-balanco-das-cheias-do-rio-das-velhas/>



Rio das Velhas registra baixa vazão e entra em estado de alerta - **09/08/2022** - Vazão residual a jusante de Bela

Fama: **3,18 m³/s**

Foto: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/08/09/rio-das-velhas-registra-baixa-vazao-e-entra-em-estado-de-alerta.ghtml>

Projeto “De Olho no Velhas “

Idealizado e executado pelo Instituto Fórum Permanente São Francisco de julho/2024 a setembro/2025.

Apoio financeiro: Projeto Semente: parceria entre o CeMAIS (Centro Mineiro de Alianças Intersetoriais e o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) - CAOMA.

De olho no Velhas

Características

Área de abrangência:

Bacia do Alto Rio das Velhas entre Ouro Preto e Raposos

Municípios monitorados:

- Raposos
- Nova Lima
- Itabirito
- Rio Acima
- Ouro Preto

Parâmetros estudados:

- Vazões e Precipitações

Principais objetivos técnicos:

- Identificar anomalias e tendências hidrológicas com base em séries históricas de dados;
- Correlacionar variações de vazão com variações pluviométricas;
- Avaliar riscos à segurança hídrica regional;
- Avaliar o estado das principais estações flu/pluviométricas da Bacia do Alto Rio das Velhas e a qualidade dos dados registrados.

De olho no Velhas

Atividades realizadas

Inspeção visual das 9 estações hidrometeorológicas selecionadas para verificação de:

- Integridade estrutural
- Vulnerabilidade a danos
- Acessibilidade
- Condições operacionais e de manutenção
- Situação do rio nos pontos de instalação.

Campanhas de medição direta de vazões:

- Est. Telemétricas monitoradas: Raposos e Rio Acima (jusante e montante da ETA Bela Fama);
- Objetivo: validação dos dados da ANA;
- Executada por: HIDROGEST;
- Datas: 27/08/2024 e 24/07/2025

De olho no Velhas

Atividades realizadas

Dados hidrológicos:

- Fontes oficiais: HIDROWEB e HIDRO-TELEMETRIA (ANA);
- Dados coletados: Séries históricas de vazões e de precipitações;
- Criação de banco de dados.

Documentação técnica produzida:

- Relatórios de visitas técnicas;
- Relatórios de análise de dados;
- Diagnóstico consolidado.

Análise estatística das séries temporais para avaliação de:

- Consistência dos dados;
- Completude das séries;
- Períodos de registro disponíveis;
- Avaliação e comparação de tendências e de anomalias por meio de várias metodologias e de testes estatísticos diferentes + **IA**.

Estações hidrometeorológicas monitoradas e duração das séries

Fluviométrica (F), pluviométrica (P), convencional (C) e telemétrica (T)

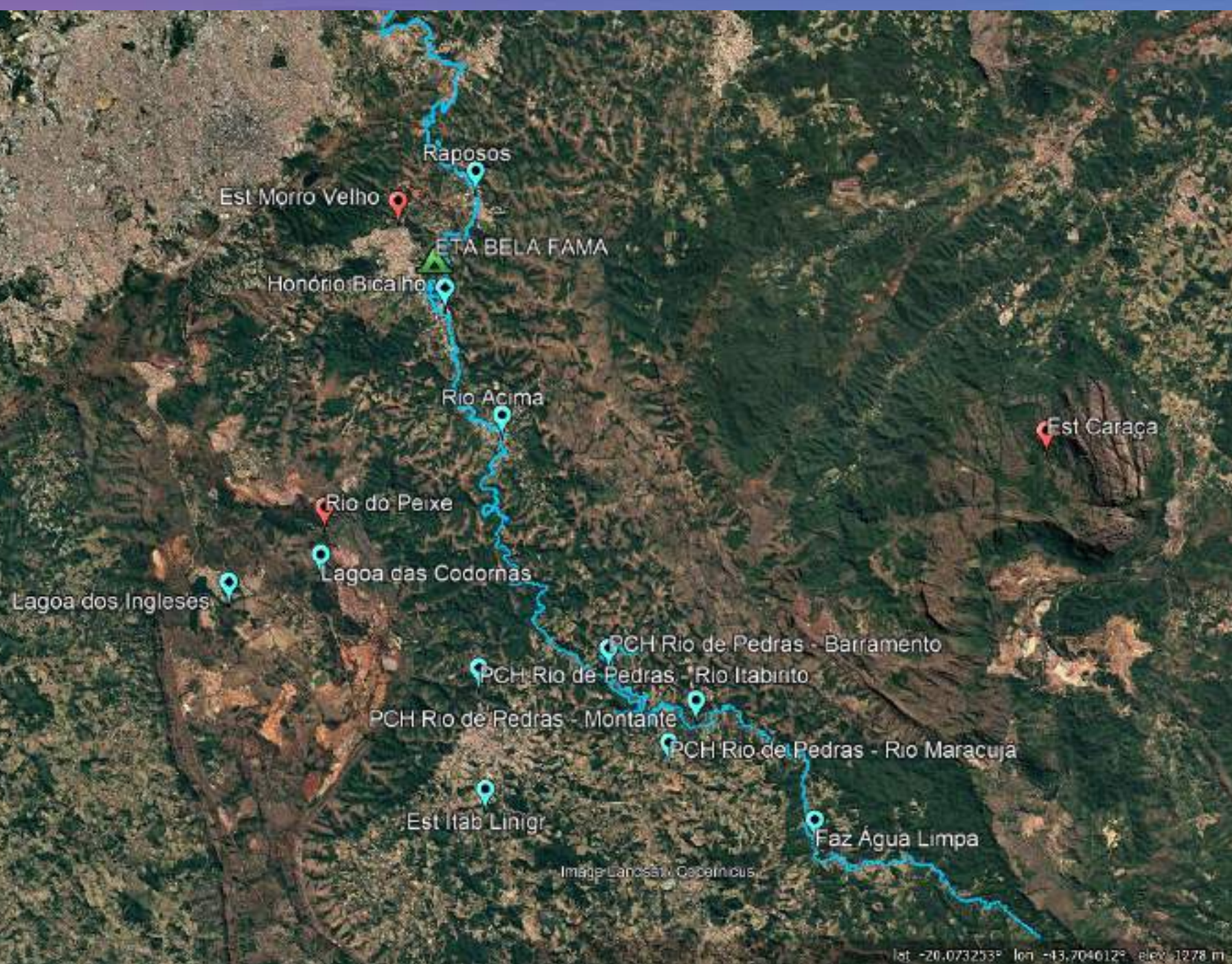
Nome	Código ANA	Município	Duração
Fazenda Água Limpa Jusante	41151001	Ouro Preto	40 anos P-C, 30 anos F-C
PCH Rio de Pedras Rio Maracujá	41153050	Ouro Preto	9 anos, F-T
Itabirito Linígrafo	41180000	Itabirito	68 anos F-C, 40 anos P-C
PCH Rio de Pedras Montante	41152000	Itabirito	14 anos F-T
PCH Rio de Pedras Barramento	41140080	Itabirito	14 anos F-T
PCH Rio de Pedras Rio Itabirito	41180500	Itabirito	9 anos F-T
Rio Acima	41195050	Rio Acima	7 anos F-T
Honório Bicalho	41199998	Nova Lima	53 anos F-C
Raposos	41200430	Raposos	7 anos F-T
Lagoa Grande dos Ingleses (aux.)	2043002	Nova Lima	83 anos P-C
Barragem das Codornas (aux.)	2043042	Nova Lima	48 anos P-C

Nascente do Rio das Velhas



Bela Fama

Bacia do Alto Rio das Velhas e Estações



Estação hidrometeorológica

Raposos



Localização da Estação Fluviométrica Raposos



Estação de Raposos: Equipamentos de coleta e transmissão de dados e régua linimétrica

Estação hidrometeorológica

Raposos



Localização
da Estação
Telemétrica de
Raposos

Alagamento da estação durante a enchente de janeiro de 2022

Área da Estação Telemétrica Cód. 41200430.

O nível da água nessa foto estava abaixo da caixa de Instrumentos do Sistema de Comunicação.

Fonte:

<https://www.youtube/watch?v=2KEz6TRNjpY>

Observação Apesar de estar localizada em local passível de alagamento, como o ocorrido em 2022, verificamos que a estação não foi reposicionada nem teve seus instrumentos instalados em poste de maior altura.

Aferição dos valores de vazões do Rio das Velhas

Medições x Valores do Portal Hidrotelemetria da (ANA)

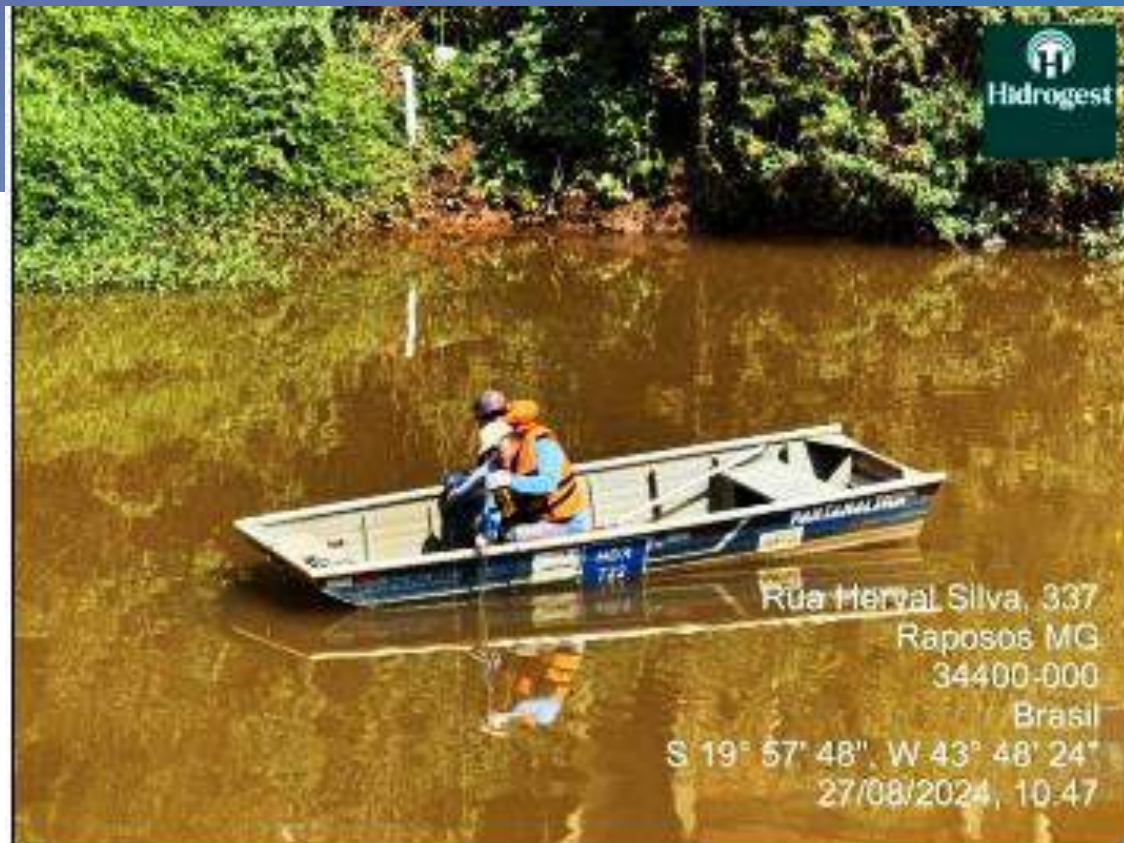


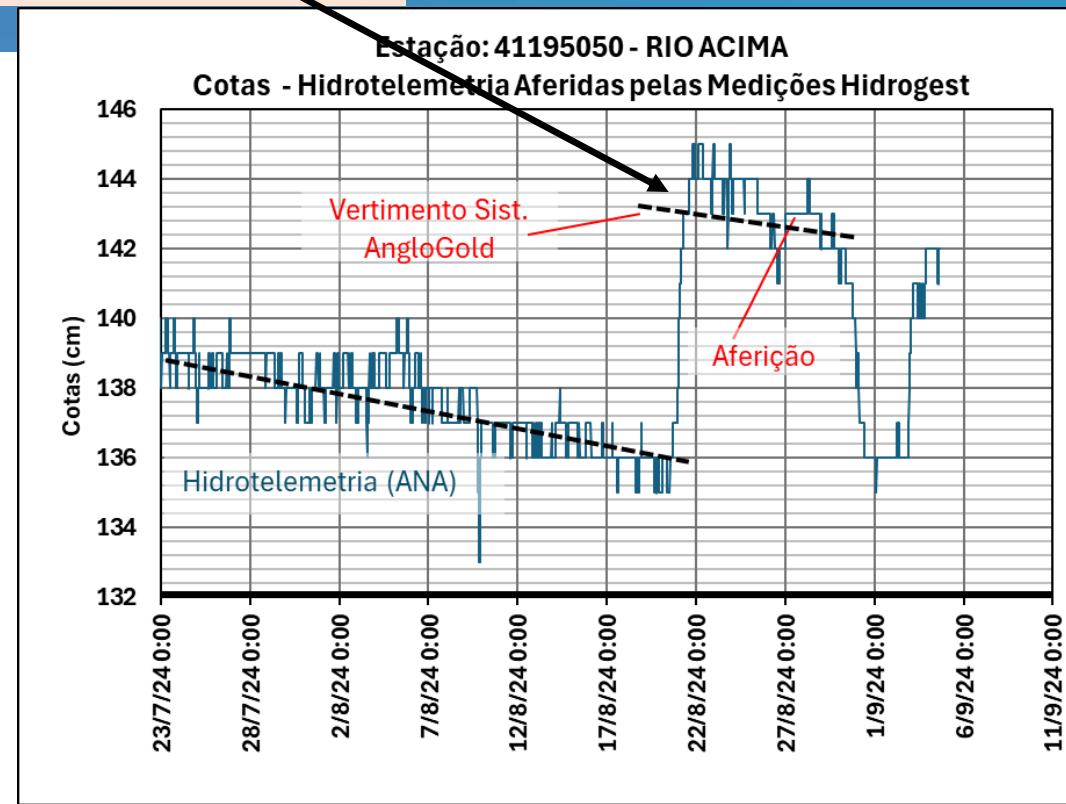
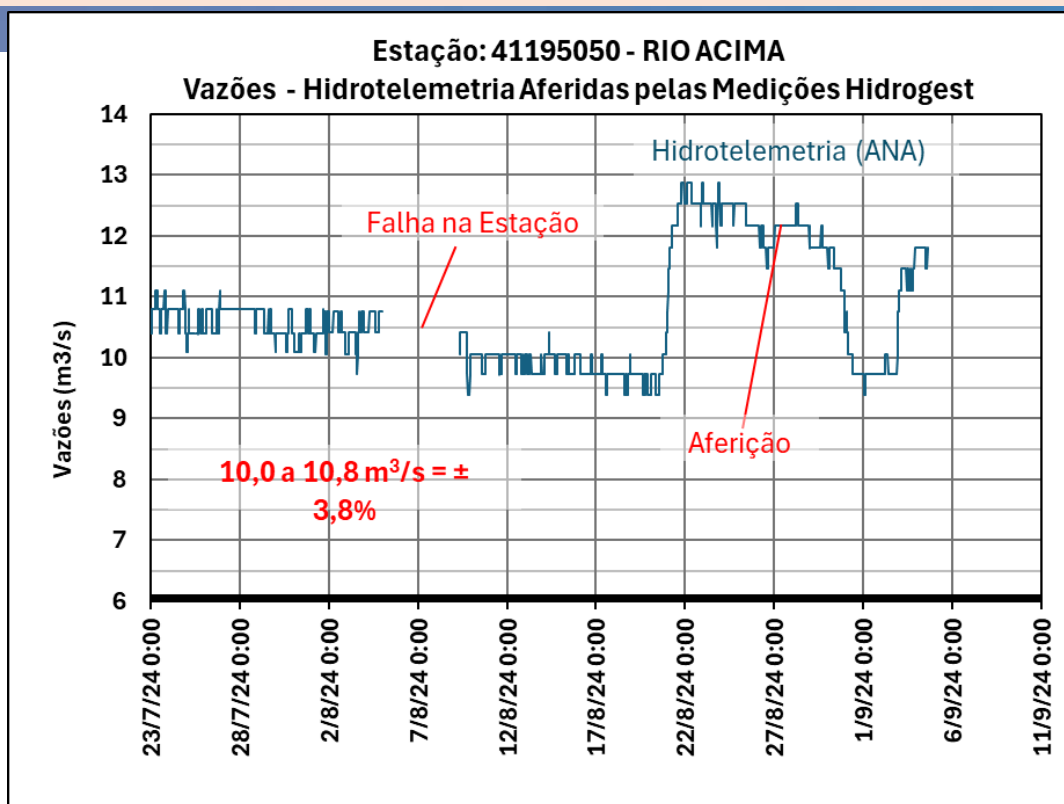
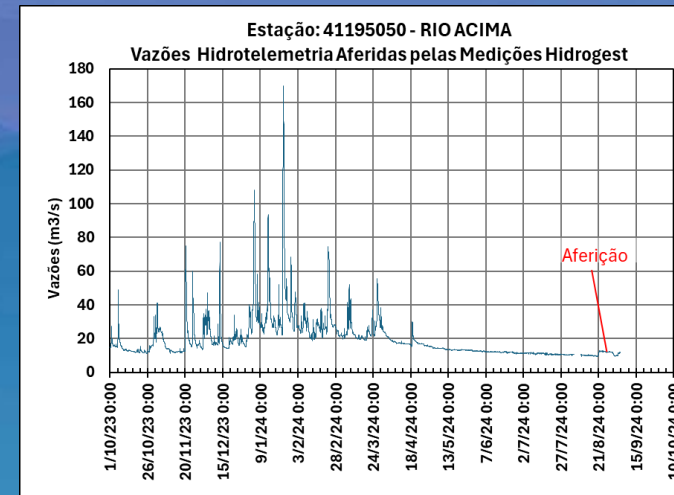
Figura 5 - Medição de descarga líquida estação Raposos – 27/08/24



Figura 6 - Cota durante a medição na estação Raposos em 27/08/24

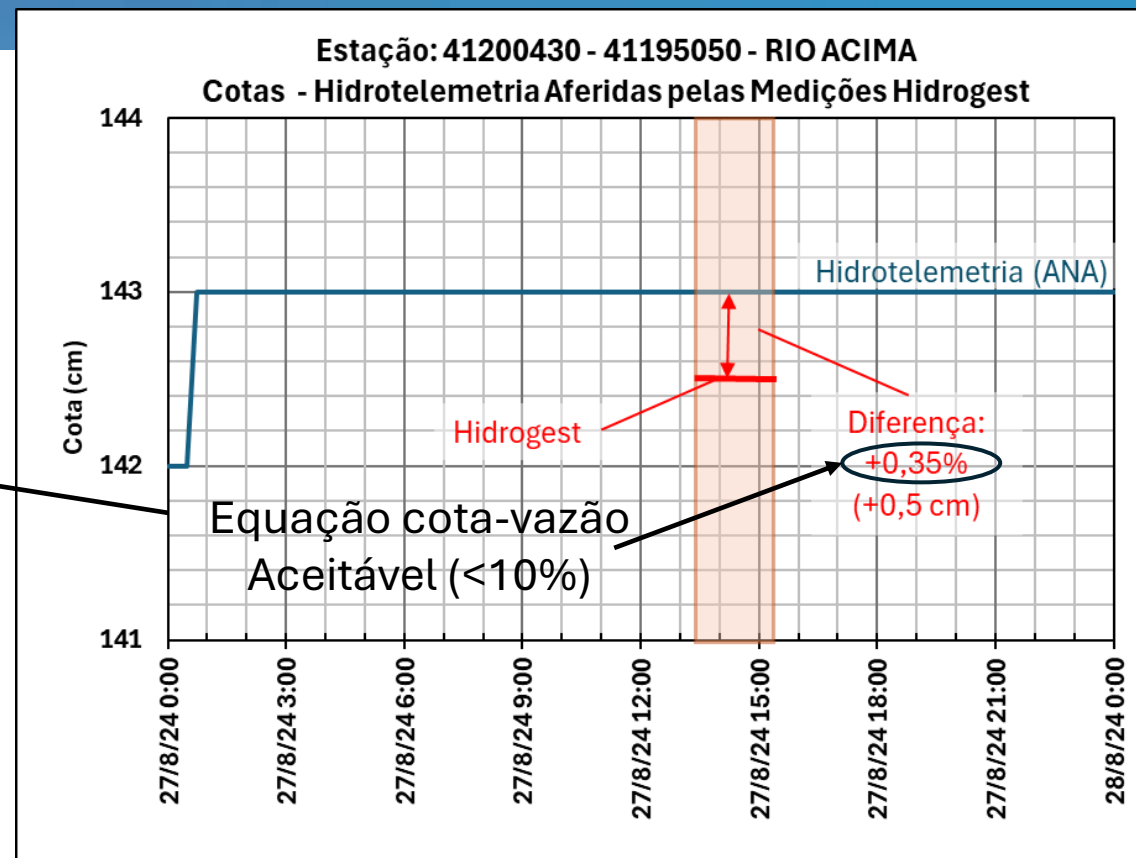
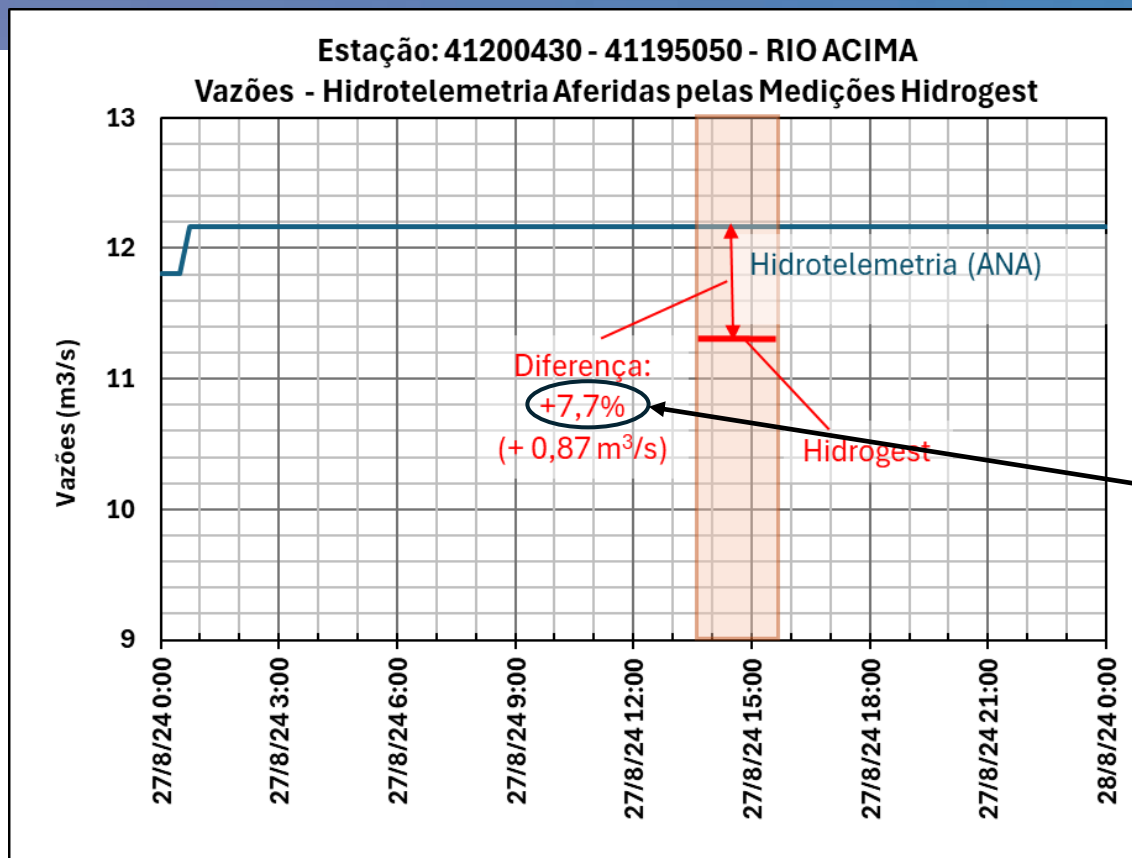
Aferição dos valores de vazões do Rio das Velhas – 27/08/2024 – RIO ACIMA

No final dos períodos secos o rio tem recebido volumes adicionais de água do Sist. Rio de Peixe, da AngloGold, desde 2014 aprox. Sem essas vazões, não naturais, os estudos realizados mostrariam uma redução ainda maior que a identificada nos períodos secos.



Aferição dos valores de vazões do Rio das Velhas – 27/08/2024 – RIO ACIMA

Estação	Data	Cota Média (m)	Descarga (m ³ /s)	Área (m ²)	Largura (m)	Profundidade Média (m)	Velocidade Média (m/s)
Raposos	27/08/2024	1,225	5,947	22,224	27,3	0,814	0,268
Rio Acima	27/08/2024	1,425	11,296	26,35	28,3	0,931	0,429
Raposos	24/07/2025	1,2	4,32	21,9	27,5	0,793	0,198
Rio Acima	24/07/2025	1,37	10,5	26,8	26,6	1,01	0,392



Operação da ETA Bela Fama - COPASA



NOTA TÉCNICA

Nº NT: 132/2025

Página

1 / 4

ASSUNTO: Operação da comporta - Alça Esquerda

DATA:03/07/2025

I- INTRODUÇÃO

O Sistema Rio das Velhas (SRV), opera 24 horas por dia, com capacidade atual de produção de 8.771 litros por segundo (vazão outorgada), sendo responsável pelo abastecimento de água tratada de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes, representando o abastecimento de 71% da população de Belo Horizonte e 43% da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH.

Operação da ETA Bela Fama - COPASA

A COPASA não é responsável pelos serviços de água e esgoto de Ouro Preto, Itabirito e Rio Acima

Risco para a segurança hídrica da RMBH

Qual foi a causa da “variação na qualidade do manancial”? Esgotos (“o sistema de cloração ficou saturado”)?

Com qual frequência isso tem ocorrido? Há planos para aumentar a capacidade do sistema de cloração? Os filtros e decantadores estão atendendo bem à demanda?

IV – CONSIDERAÇÕES

No mês de junho, o Sistema de Produção do Rio das Velhas teve que reduzir a vazão captada durante alguns dias, não sequenciais, por causa de uma variação na qualidade do manancial. Tal fato fez com que o sistema de cloração ficasse saturado, impossibilitando o tratamento total demandado pelo Sistema de Distribuição. Para manter a qualidade da água produzida, a ETA teve que reduzir a vazão captada durante boa parte do dia.

Com a redução na captação, o nível do rio nas alças tende a subir, conseqüentemente, as comportas de saída tem que ser abertas um pouco mais, aumentando a vazão residual. Esta é uma das prováveis causas das oscilações de grande amplitude na medição em Raposos.

O modo de operação do sistema, em relação ao controle de nível das alças, também pode causar oscilações na medição, mas com uma intensidade bem menor do que foi apontada nos dias de redução de captação.

UTR (Unid. de Tratamento de Resíduos) e mancha de água vermelha no Rio das Velhas



Comportas



Descargas de águas residuais no Rio das Velhas – ETA Bela Fama

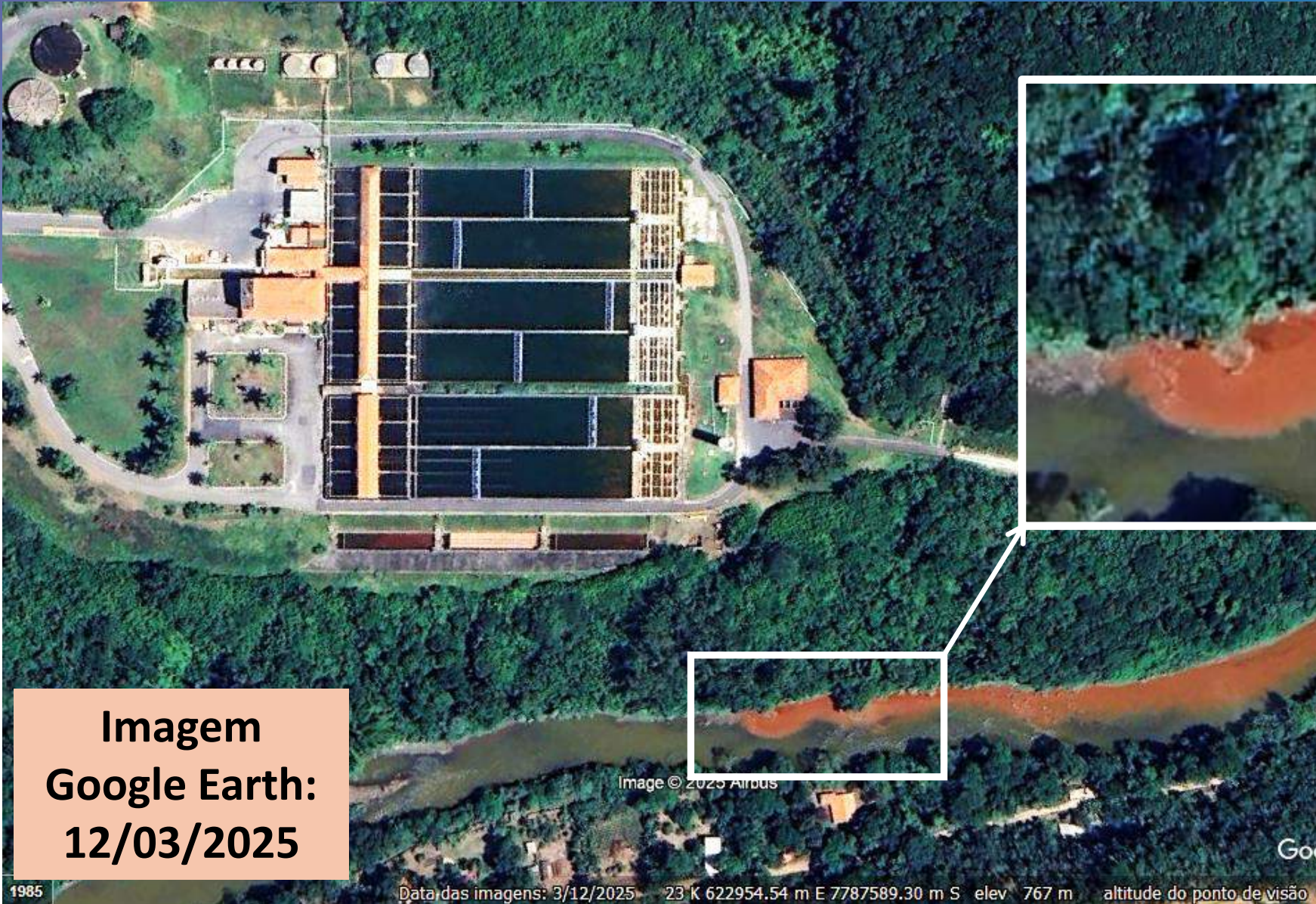


Imagem
Google Earth:
12/03/2025

Qual é a origem / causa dessa mancha?

**Com qual frequência ocorre?
A UTR não deveria ser capaz de retirar esses sedimentos da água devolvida ao rio? Os impactos ambientais dessa mancha já foram avaliados?**

Análise Descritiva e Análise Inferencial Realizadas

Análise Descritiva: organiza, resume e descreve o que os dados indicam (mostra "o que foi" nos dados coletados, ou seja, é uma "fotografia" dos dados observados).

Análise Inferencial: usa os dados para tirar conclusões, fazer previsões e testar hipóteses sobre uma realidade mais ampla (conclui "o que pode ser" no futuro, o que se pode prever a partir da "fotografia" obtida).

Precipitação Acumuladas e Volumes Escoados - Quantidade de Dias de Chuva – Precipitações e Vazões Médias

Análise Descritiva realizada:

- Valor mínimo
- 1º Quartil
- Mediana (2º Quartil)
- Média Aritmética
- 3º Quartil
- Valor Máximo
- Variância
- Desvio Padrão
- Distribuição dos Dados por Classes de Intensidade – Frequências

Índices de Anomalias

Análise Inferencial realizada:

Regressão Linear - Coeficiente angular (variação por ano), p-valor do coeficiente angular, Intervalo de Confiança (IC95%) do coef. angular, R^2

Testes de Pressupostos da Regressão:

- Normalidade dos resíduos: Testes de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov.
- Heterocedasticidade: Teste de Breusch-Pagan e de White
- Autocorrelação: Teste de Durbin-Watson

Gráficos Q-Q Plot (suporte à Análise Inferencial)

Testes de tendências e mudanças

- Mann-Kendall
- Sen's Slope
- Teste de Pettitt:
- Teste de Spearman
- BFAST
- CUSUM
- Changepoint
- Análise Quantílica das Mudanças nos Padrões dos Dados

Análise Descritiva e Análise Inferencial Realizadas

Estudo	Categoria	Explicação
Distribuição das Alt. das Precip., Vazões e Vol. Escoados por Classes de Intensidade – Frequências	Não Paramétrico (Descritivo)	Este estudo organiza, resume e descreve como o volume total de chuva do ano ou de um período, as vazões diárias e os volumes anuais escoados pelo rio se distribuem entre diferentes intensidades (ex.: quantos mm de chuva total caíram como chuva fraca, moderada ou intensa). É uma "fotografia" detalhada do comportamento observado dos dados analisados.
Análise Quantílica das Mudanças nos Padrões das Precipitações e Vazões	Não Paramétrico (Inferencial)	Este método vai além de descrever a média. Ele testa se houve mudanças estatisticamente significativas não só no centro (média), mas em toda a distribuição (ex.: nos percentis 10º, 50º, 90º). Ele infere se os padrões de eventos extremos ou secas mudaram no processo climático subjacente.
Gráficos Q-Q Plot	Ferramenta Paramétrica de Análise (suporta a Inferencial)	O Q-Q Plot é primariamente uma ferramenta gráfica de diagnóstico usada para validar um pressuposto inferencial (normalidade dos resíduos) ou para comparar duas distribuições. Sua finalidade é servir de base para uma conclusão inferencial.
Índices de Anomalias (Precipitações e Vazões)	Paramétrica (Descritiva) / Não Paramétrica (Inferencial)	O cálculo do índice em si (ex.: precipitação observada - média histórica) é descritivo, pois resume o desvio de um valor específico em um período. Porém, a interpretação padronizada desse índice (ex.: classificar como "seco", "normal" ou "úmido") e qualquer teste de tendência aplicado a uma série de anomalias são atividades inferenciais.

Análise Descritiva e Análise Inferencial Realizadas

Métodos paramétricos assumem que os dados seguem uma distribuição específica, como a normal, enquanto **métodos não paramétricos** não fazem suposições sobre a distribuição subjacente, sendo mais robustos para dados complexos ou que violam pressupostos tradicionais.

Métodos de Análise

Paramétricos (assumem uma distribuição, geralmente a normal):

- Regressão Linear e todos os seus componentes (coeficiente, p-valor, IC, R^2)
- Testes de Pressupostos: Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Breusch-Pagan, White, Durbin-Watson
- Teste CUSUM (na sua forma de teste de hipótese clássico)
- Métodos Paramétricos de Changepoint

Não Paramétricos (livres de distribuição):

- Teste de Kolmogorov-Smirnov
- Testes de Tendência: Mann-Kendall, Sen's Slope, Spearman
- Teste de Mudança: Pettitt
- Métodos Não Paramétricos de Changepoint

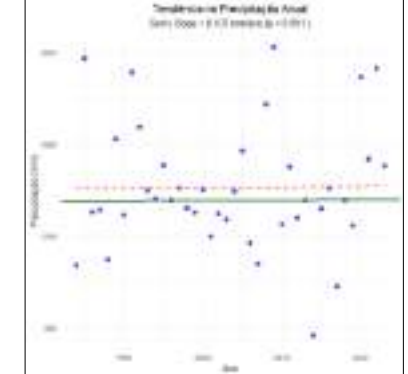
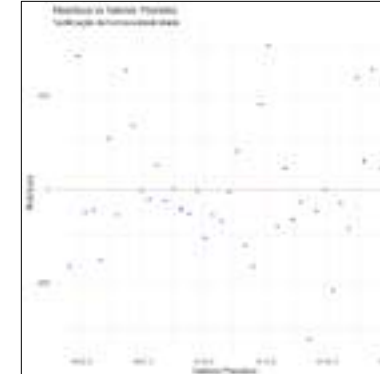
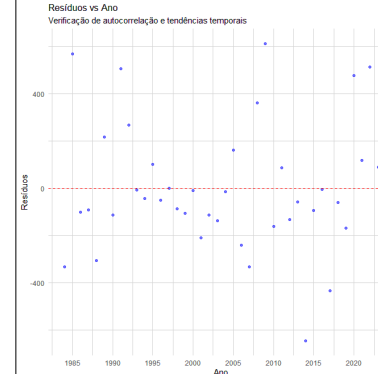
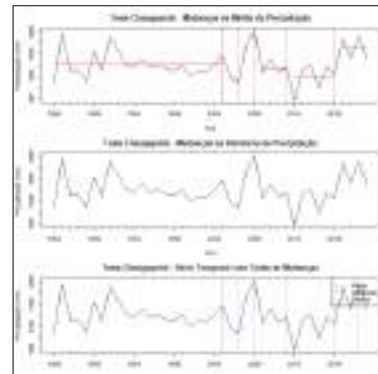
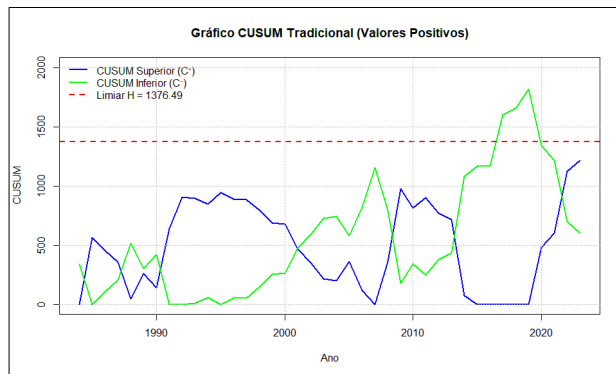
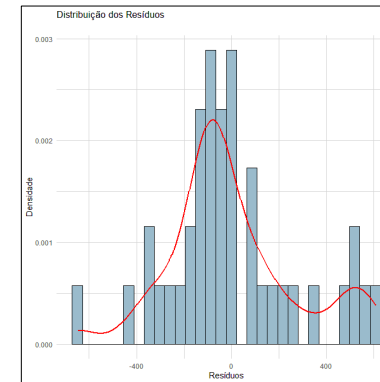
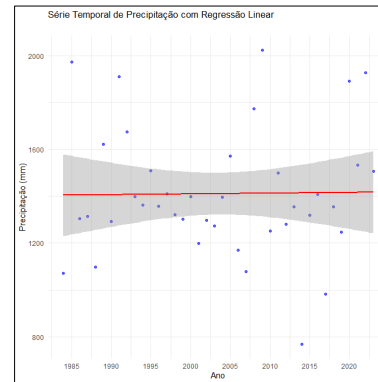
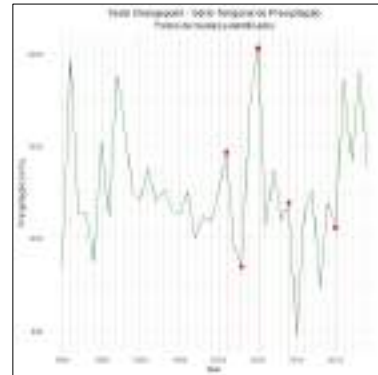
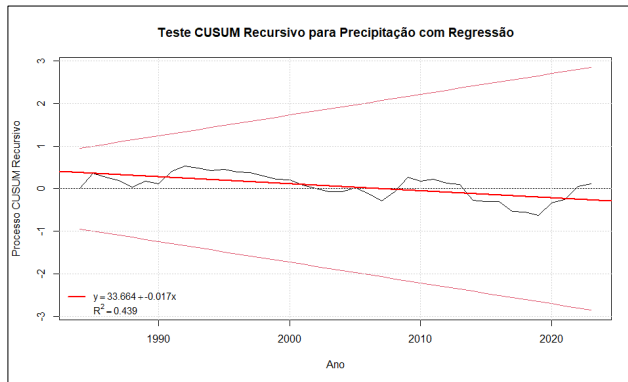
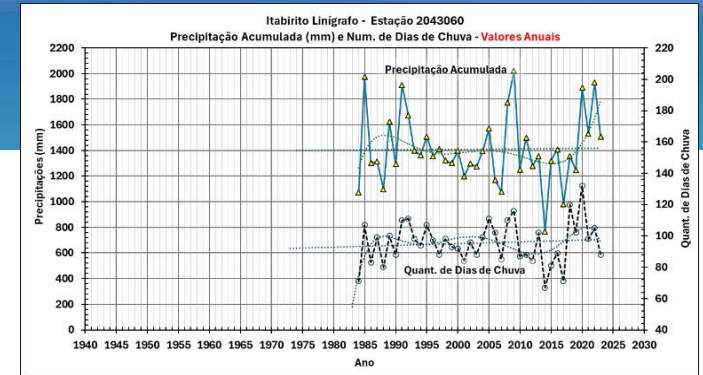
BFAST

Método essencialmente paramétrico, cuja sofisticação ("inteligência") reside em seu algoritmo iterativo e adaptativo para detectar automaticamente múltiplos pontos de mudança dentro de um modelo de decomposição temporal.

O teste Changepoint utilizado nesses estudos é paramétrico, pois utiliza algoritmos (BinSeg, PELT, AMOC) que dependem do pressuposto de normalidade dos dados para detectar mudanças na média e na variância.

Análise Descritiva /Inferencial Realizadas

Análise de Tendências – Precipitação Acumulada Valores Anuais (Anos Cíveis), Períodos Secos e Períodos Úmidos - 1984 a 2023 - Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande

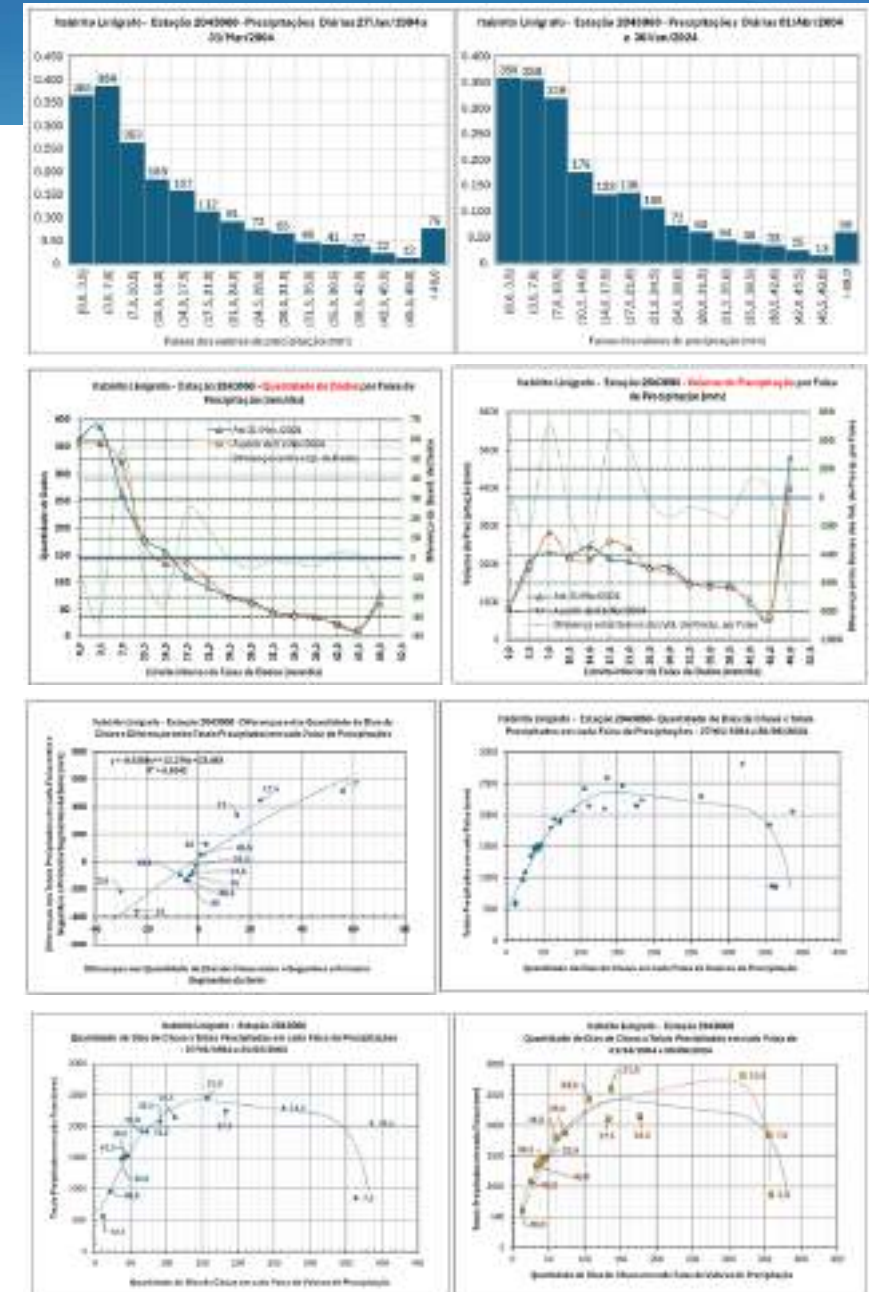


Classes de Intensidade – Frequências

Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade – Frequências

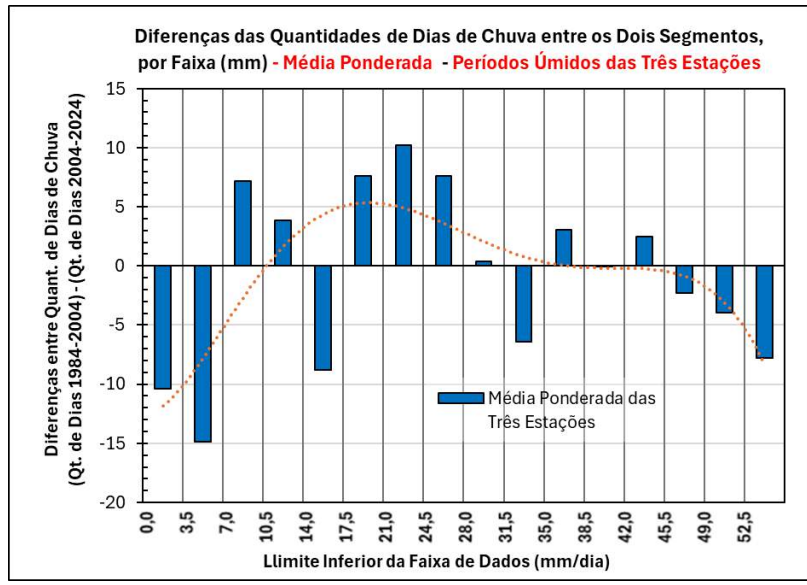
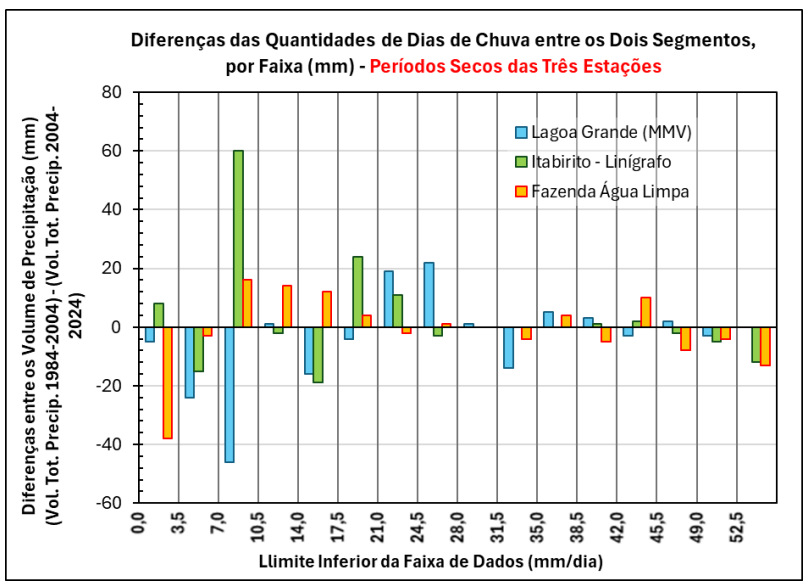
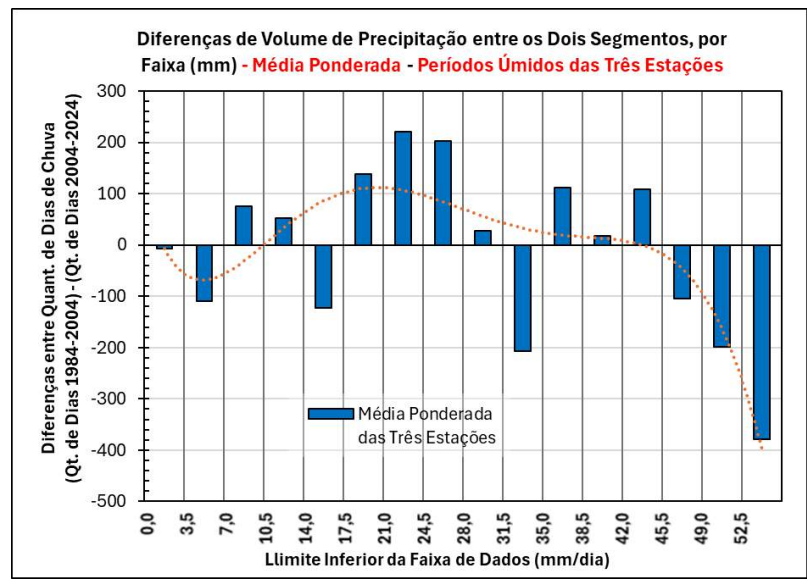
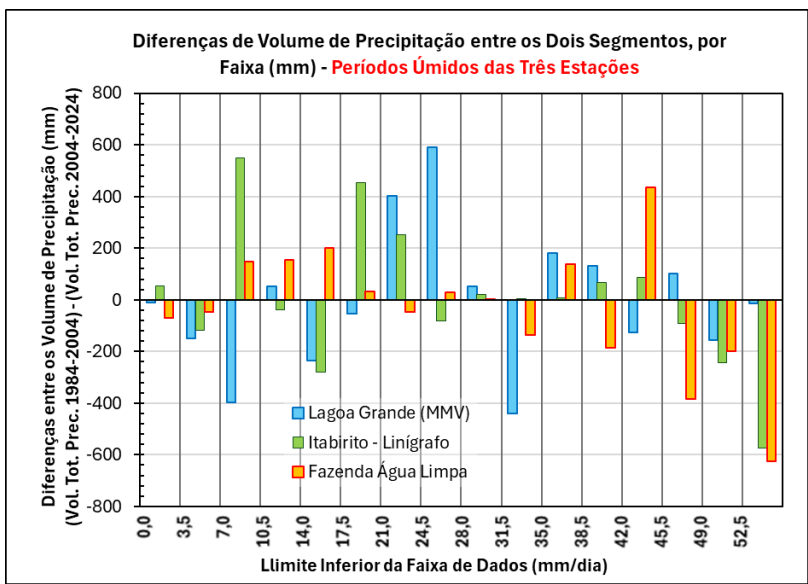
Valores Anuais (Anos Civos), Períodos Secos e Períodos Úmidos - Dois Segmentos de 20,2 anos cada (1984-2004 e 2004-2024) - Estações: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande

Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	27/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	27/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	Quant. de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	364	358	849,3	864,4	-6	15
3,5	7,0	386	356	2056,2	1841,9	-30	-214
7,0	10,5	263	319	2298,4	2813,0	56	515
10,5	14,0	183	176	2242,0	2148,3	-7	-94
14,0	17,5	157	133	2462,7	2106,0	-24	-357
17,5	21,0	112	136	2145,9	2595,0	24	449
21,0	24,5	91	106	2072,2	2413,9	15	342
24,5	28,0	73	72	1911,0	1881,8	-1	-29
28,0	31,5	65	60	1931,0	1796,9	-5	-134
31,5	35,0	46	44	1527,5	1458,0	-2	-69
35,0	38,5	41	38	1508,5	1410,3	-3	-98
38,5	42,0	37	33	1475,7	1343,7	-4	-132
42,0	45,5	22	25	960,3	1088,4	3	128
45,5	49,0	12	13	566,3	620,0	1	54
49,0	300,0	76	59	4792,5	3981,2	-17	-811
Totais		1928	1928	28800	28363	0	-437



Períodos Úmidos nas Três Estações – (1984 a 2004) x (2004 a 20024)

Diferenças de Volumes Precipitados e de Quantidade de Dias de Chuva.



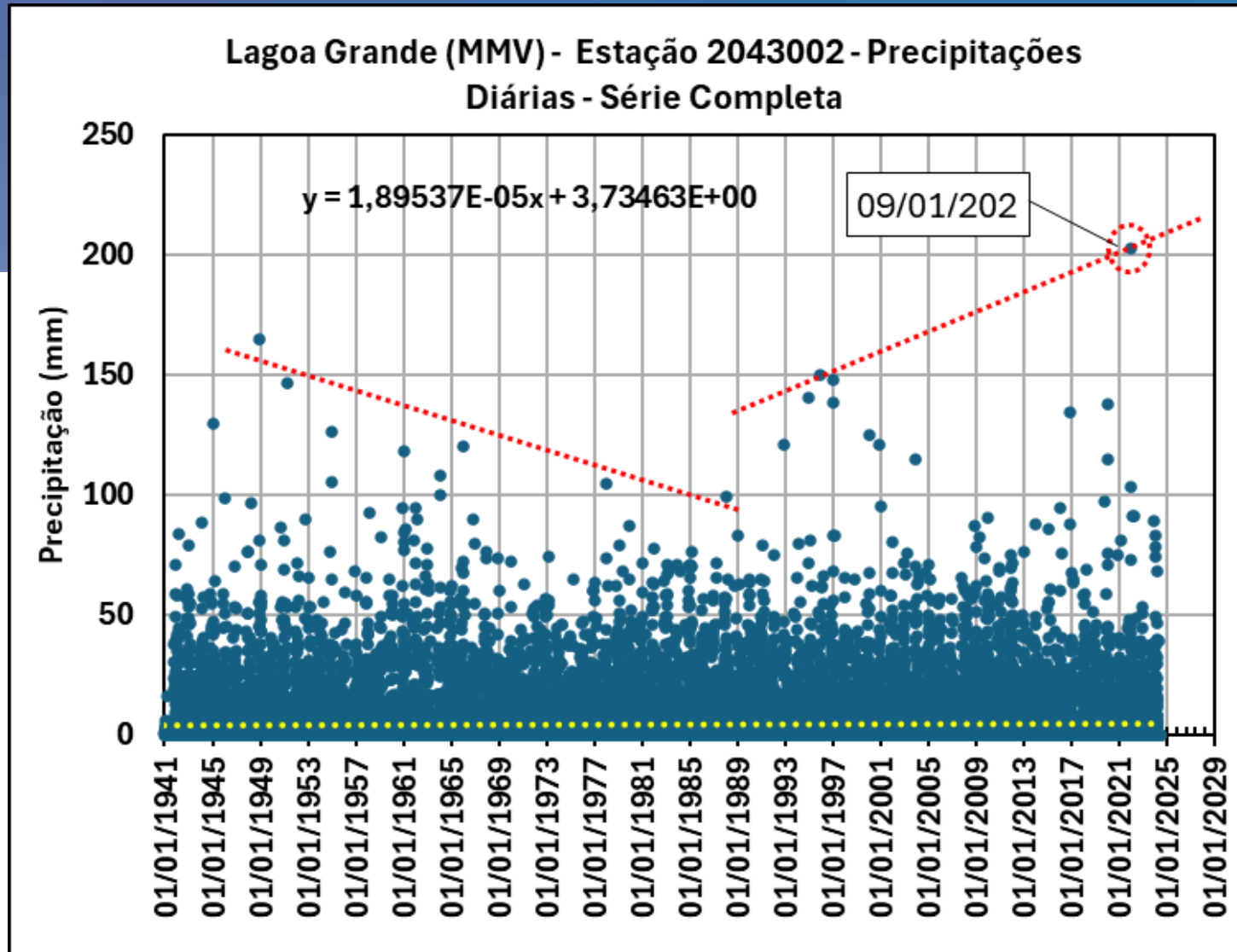
← Aumento das chuvas de menor intensidade e redução das de maior intensidade

Limites das Faixas de Precipitações		Diferenças Médias Ponderadas	
Inferior	Superior	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	-10	-7
3,5	7,0	-15	-110
7,0	10,5	7	76
10,5	14,0	4	53
14,0	17,5	-9	-122
17,5	21,0	8	138
21,0	24,5	10	220
24,5	28,0	8	203
28,0	31,5	0	27
31,5	35,0	-6	-206
35,0	38,5	3	112
38,5	42,0	0	17
42,0	45,5	2	109
45,5	49,0	-2	-104
49,0	52,5	-4	-198
52,5	300,0	-8	-378
Totais		-12	-171

← Redução dos dias com chuvas de menor intensidade e de maior intensidade

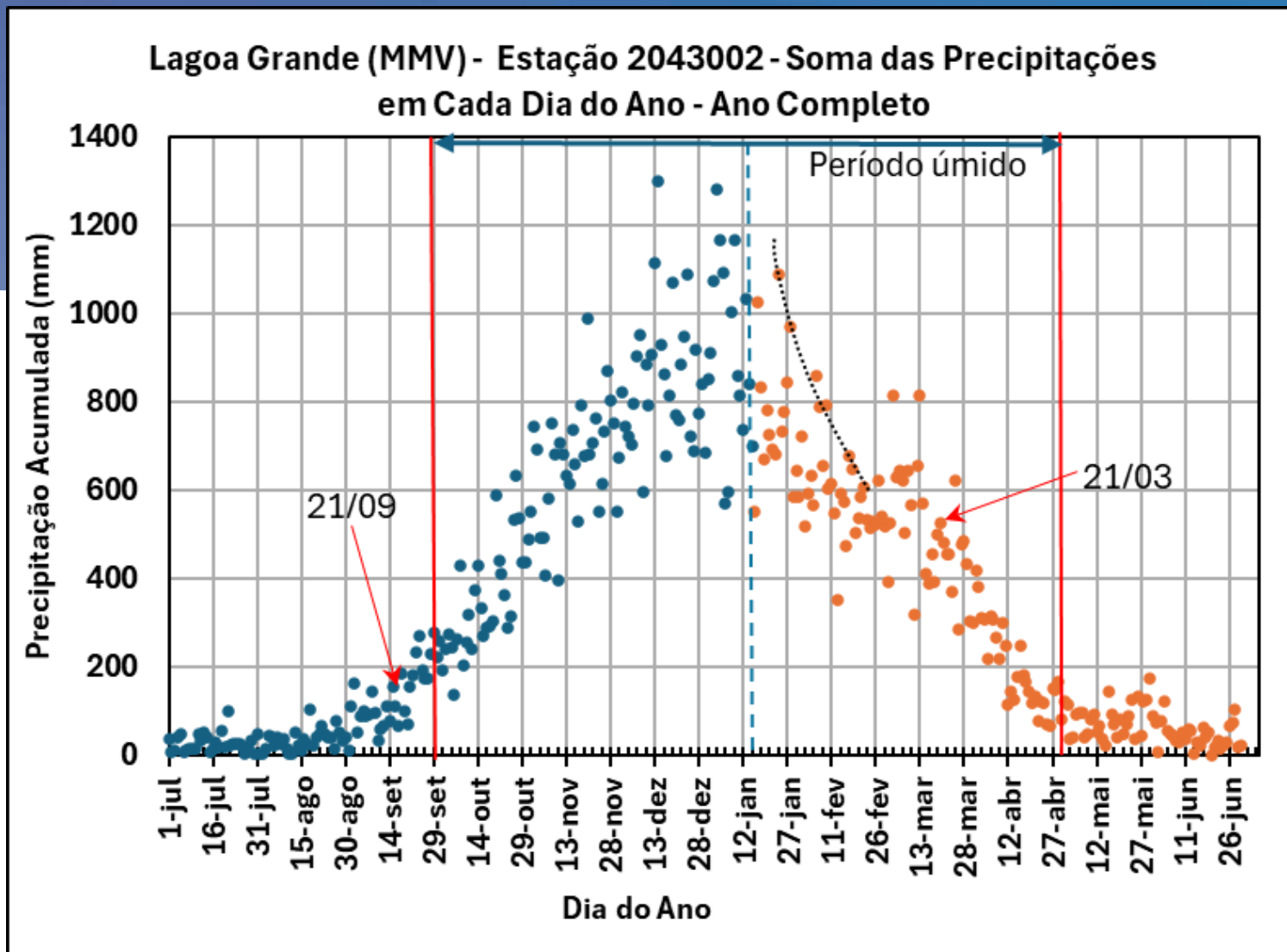
Distribuição das precipitações e vazões ao longo do período total das séries

Estações: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande (MMV) e Honório Bicalho



Exemplo:
Análise visual de
comportamentos e
tendências.

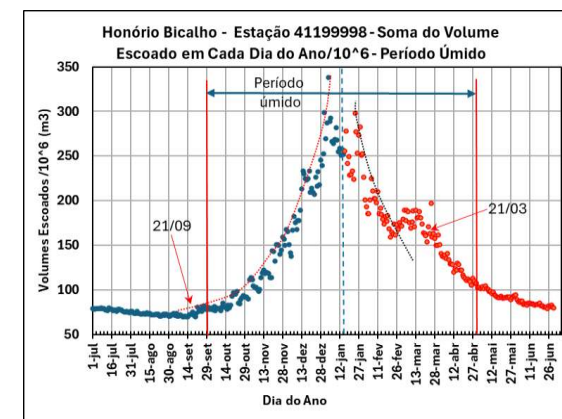
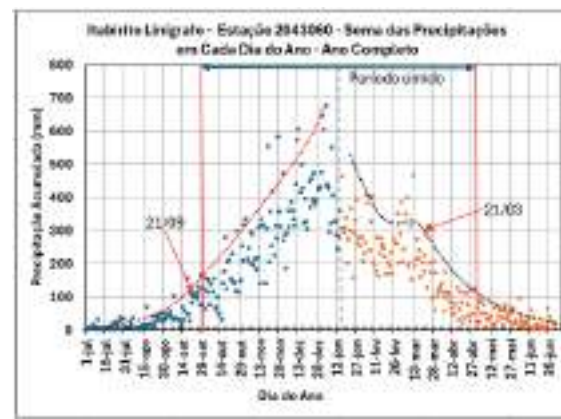
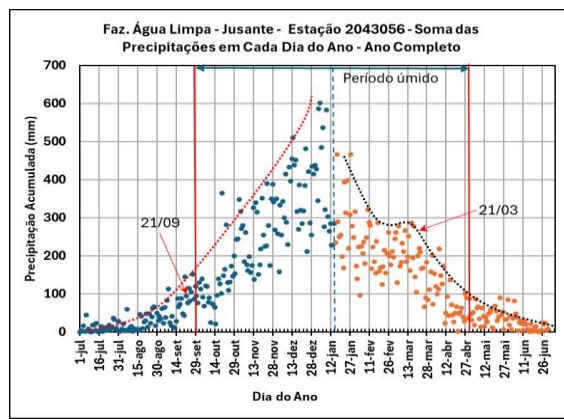
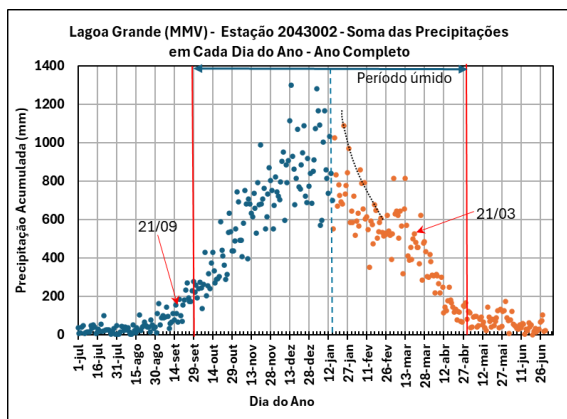
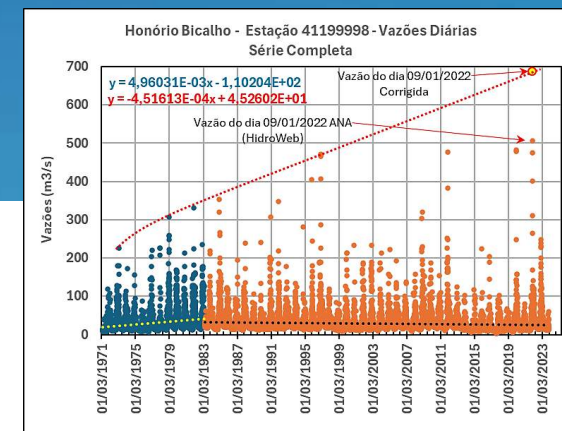
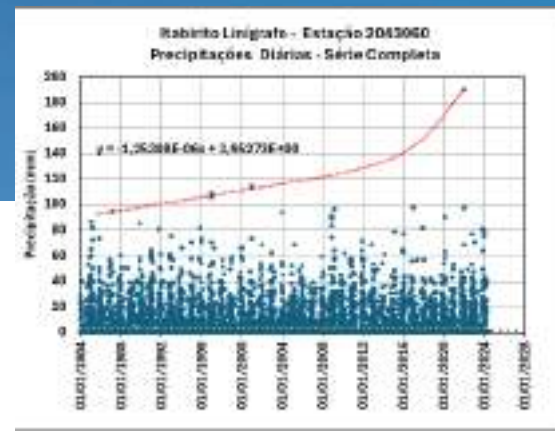
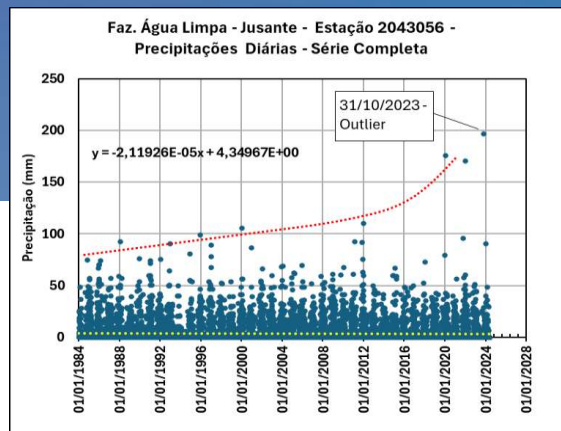
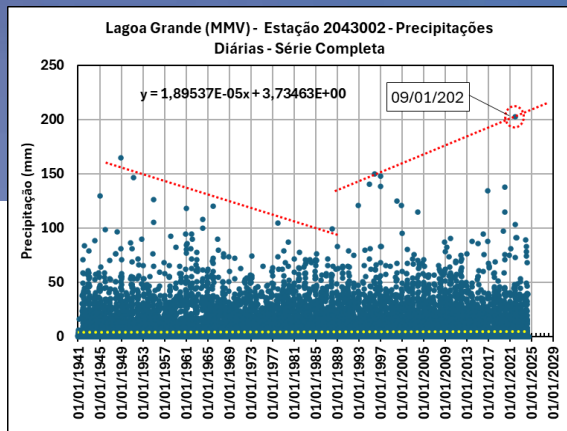
Distribuição das precipitações e vazões ao longo do período total das séries
Estações: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande (MMV) e Honório Bicalho



Exemplo:
Análise visual de
comportamentos e
tendências.

Distribuição das precipitações e vazões ao longo do período total das séries

Estações: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa, Lagoa Grande (MMV) e Honório Bicalho



Análises Realizadas

- Valores Anuais (anos civis)
- Períodos Secos (1º/mai. a 30/set.)
- Períodos Úmidos (1º/out. a 30/abr.)

Séries completas

Comparação entre 2 segmentos das séries

Lagoa Grande (LG) – Pluv.

Série completa: 1941-2023

Segmento: 1984-2024 = FAL, IL

Segmentos: (1984-2004) x (2004-2024) = 2 seg. FAL, IL

Segmentos: (1971-1997) x (1997-2023) = 2 seg. HB

Honório Bicalho (HB) – Fluv.

Série completa: 1971-2023

Segmentos: (1971-1977) x (1977-2023) = 2 seg. LG

Segmentos: (1984-2004) x (2004-2024) = 2 seg. LG,IL, FAL

Fazenda Água Limpa (FAL) – Pluv.

Série completa: 1984-2024

Segmentos: (1984-2004) x (2004-2024) = 2 seg. LG,IL

Itabirito – Linígrafo – Pluv.

Série completa: 1984-2024

Segmentos: (1984-2004) x (2004-2024) = 2 seg. LG,IL

Característica das Precipitações



Estações: Itabirito Linígrafo, Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV)

Dados das Precipitações nas Três Estações			
Variável	Lagoa Grande (MMV)	Itabirito Linígrafo	Faz. Água Limpa
Duração da série de dados (anos)	83,41	40,43	40,45
Total precipitado – Soma da série (mm)	130.995	57.645	52.147
50% do vol. precipitado ocorre de 16/jan. a	19/out.	20/out.	21/out.
Total de dias desse período =	277 75,9% do ano	278 76,2% do ano	279 76,4% do ano
	19/out.	20/out.	21/out.
Total de dias do período em que ocorre a precipitação dos outros 50% =	88 24,1% do ano	87 23,8% do ano	86 23,6% do ano
Vol. de precipitações dos períodos úmidos (1º/out. a 30/abr.) Quantidade de dias do período úmido = 213 dias (58,36% do ano)	120.194 mm 91,8% do vol. total precipitado	52.806 91,6% do vol. total precipitado	46.918 90,0% do vol. total precipitado
Períodos úmidos – Precipitações do dia 1º/out. até o dia 15/jan.	58,43%	59,1%	60,0%
Períodos úmidos – Precipitações do dia 16/jan. até o dia 30/abr.	41,6%	40,8%	40,0%
Vol. de precipitações dos períodos secos (1º/mai. a 30/set.) Quantidade de dias do período seco = 152 dias (41,64% do ano)	10.801 mm 8,2% do vol. total precipitado	4.840 8,4% do vol. total precipitado	5.229 10,0% do vol. total precipitado
Precipitação média anual (mm)	1.570,5	1.425,8	1.289,2
Precipitação média do período úmido (mm)	1.441,0	1.306,1	1.159,9
Precipitação média do período seco (mm)	129,5	119,7	129,3

Volumes Escoados pelo Rio das Velhas no Ponto da Estação Honório Bicalho

Volume Diário Escorado = Vazão Média do Dia (valor registrado na série histórica analisada) x 3600 segundos/hora x 24 horas por dia

Comparação de Dois Segmentos da Série (50% da duração total de 52,6 anos)

- Nos últimos 26,3 anos, houve um **déficit total de 3.364,4 Mm³** de volume escoado pelo Rio das Velhas em comparação com o período anterior. Esse valor representa 13,26% do volume escoado nos primeiros 26,3 anos.
- Considerando que a ETA Bela Fama retira em média 7,0 m³/s do Rio das Velhas para abastecer a RMBH, **o déficit total de volume de 3.363,4 Mm³ dos últimos 26,3 anos, em comparação com os 26,3 anos anteriores, seria suficiente para abastecer a RMBH por 5.563 dias (aproximadamente 15,2 anos).**

Volumes Escoados pelo Rio das Velhas no Ponto da Estação Honório Bicalho

Alterações Totais dos Volumes Precipitados entre os Dois Períodos Analisados (2 x 20,2 anos) para Lagoa Grande (MMV), Fazenda Água Limpa e Itabirito Linígrafo). (27/01/1984 a 31/03/2004) x (01/04/2004 a 30/06/2024)			
	Valores Anuais	Períodos Secos	Períodos Úmidos
Lagoa Grande (MMV)	-2,06%	-20,20%	-0,24%
Itabirito Linígrafo	-1,52%	-19,03%	0,24%
Fazenda Água Limpa	-2,96%	-9,13%	-2,37%

Alterações Totais dos Volumes Escoados pelo Rio das Velhas em Honório Bicalho entre os Dois Períodos Analisados (2 x 19,9 anos) e (2 x 26,3 anos)			
Honório Bicalho (2 x 19,9 anos) 18/01/1984 a 24/12/2003 (7.281 dias) x 25/12/2003 a 30/11/2023 (7.281 dias)	-6,62% (-1.207,5 Mm ³ = 5,47 TA*)	-8,27% (-400,93 Mm ³ = 1,81 TA*)	-6,03% (-806,6 Mm ³ = 3,65 TA*)
Honório Bicalho (2 x 26,3 anos) 27/04/1971 a 12/08/1997 (9.605 dias) x 13/08/1977 a 30/11/2023 (9.606 dias)	-13,26% (3.364,4 Mm ³ = 15,23 TA*)	-12,72% (837,7 Mm ³ = 3,79 TA*)	-13,45% (4.178,0 Mm ³ = 11,44 TA*)

TA-RMBH (Tempo de Abastecimento da RMBH – q = 7,0 m³/s)

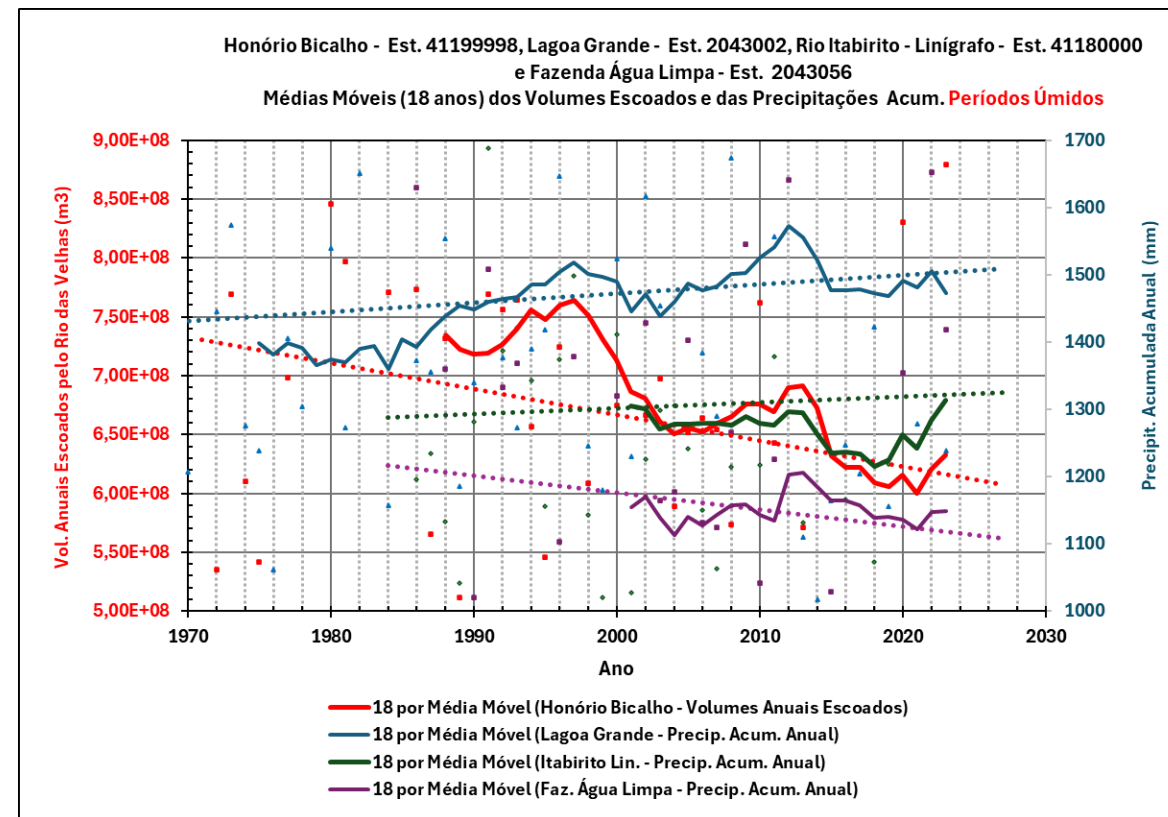
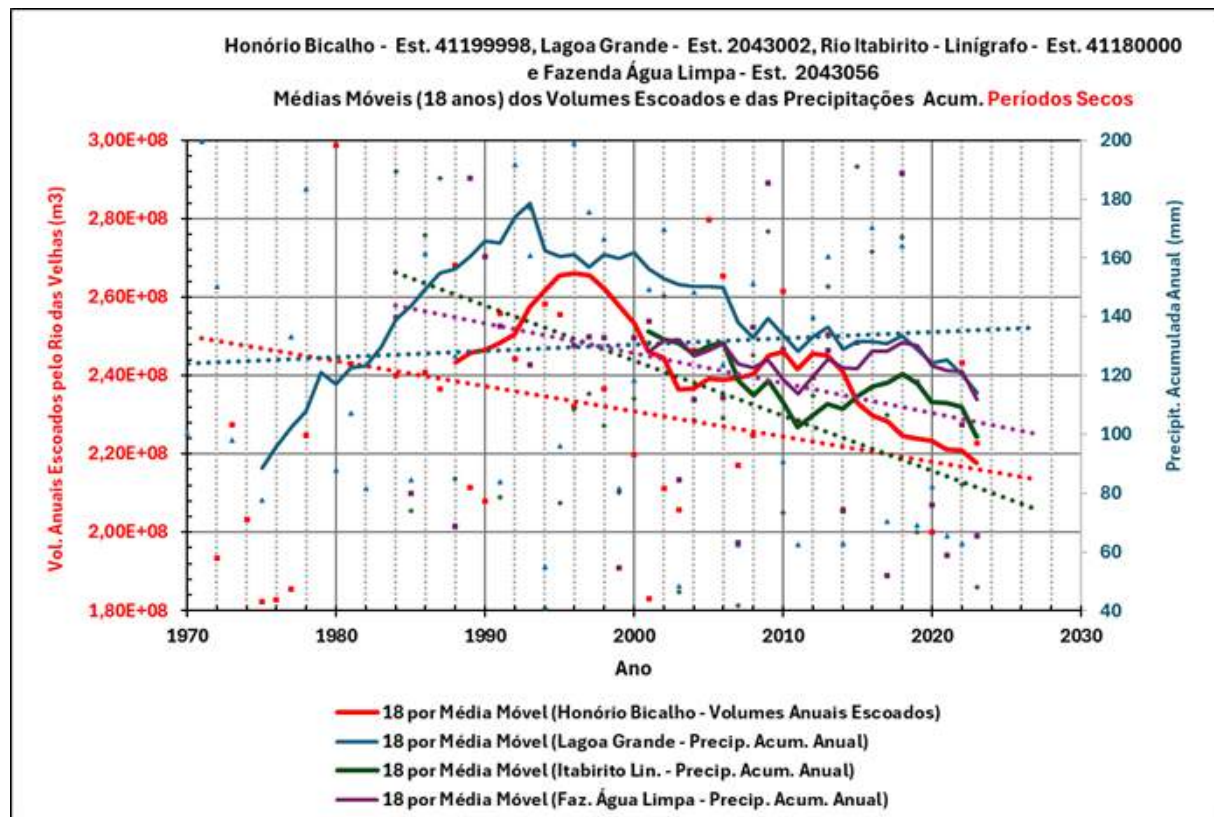
Análise de precipitações por faixas de volumes e precipitados diários



Período de análise		Dois períodos de 20,2 anos: • 18/01/1984 a 30/03/2004 • 01/04/2004 a 30/06/2024								
Critério de inclusão		Precipitação diária ≥ 1,3 mm								
Classificação por faixas		14 faixas de 3,5 mm cada + uma faixa final > 49 mm (<52,5 mm para os períodos úmidos)								
	Unid.	Valores Anuais			Períodos Secos			Períodos Úmidos		
Indicador		LG	IT	FAL	LG	IT	FAL	LG	IT	FAL
Aumento da quantidade de dias chuvosos em faixas específicas	Dias	43	99	53	9	8	16	53	106	61
Redução da quantidade de dias nas demais faixas (número)	Dias	-169	-99	-115	-72	-56	-62	-115	-58	-77
Alteração total da quantidade de dias chuvosos	Dias	-126	0	-62	-63	-48	-46	-62	48	-16
Alteração % de dias chuvosos com relação ao 1º segmento	%	-6,07%	0,00%	-3,44%	-22,60%	-19,30%	-16,50%	-3,51%	2,86%	-1,04%
Aumento do volume precipitado em faixas específicas (mm)	mm	1.131	1.502	1.027	265	338	389	1.512	1.491	1.137
Aumento % do vol. precip. nas faixas com relação ao 1º segmento	%	3,43%	5,22%	3,92%	8,75%	12,90%	15,20%	5,05%	5,70%	4,82%
Redução do volume precipitado nas demais faixas	mm	-1.930	-1.939	-1.802	-876	-837	-622	-1.583	-1.429	-1.697
Redução % do vol. precip. nas faixas com relação ao 1º segmento	%	-5,86%	-6,73%	-6,89%	-29,0%	-31,90%	-24,40%	-5,30%	-5,46%	-7,19%
Alteração total do volume precipitado	mm	-679	-437	-775	-612	-499	-234	-71	62	-559
Alteração % do volume precipitado com relação ao 1º segmento	%	-2,06%	-1,52%	-2,96%	-20,2%	-19,03%	-9,15%	-0,24%	0,24%	-2,37%
Volume precipitado do primeiro segmento (1984 a 2004)	mm	32.947	28.800	26.164	3.027	2.620	2.551	29.923	26.179	23.613
Volume precipitado do segundo segmento (2004 a 2024)	mm	32.268	28.363	25.389	2.415	2.122	2.318	29.852	26.241	23.053
Volume total precipitado nos períodos	mm	65.214	57.162	51.552	5.442	4.742	4.869	59.776	52.421	46.666
Total precipitado nas 3 estações	mm	173.928			15.053			158.863		

LG = Lagoa Grande (MMV) IT = Itabirito Linígrafo FAL = Fazenda Água Lima

Volumes Escoados em Honório Bicalho e Precipitações Médias Móveis – Períodos Secos e Úmidos – 18 anos

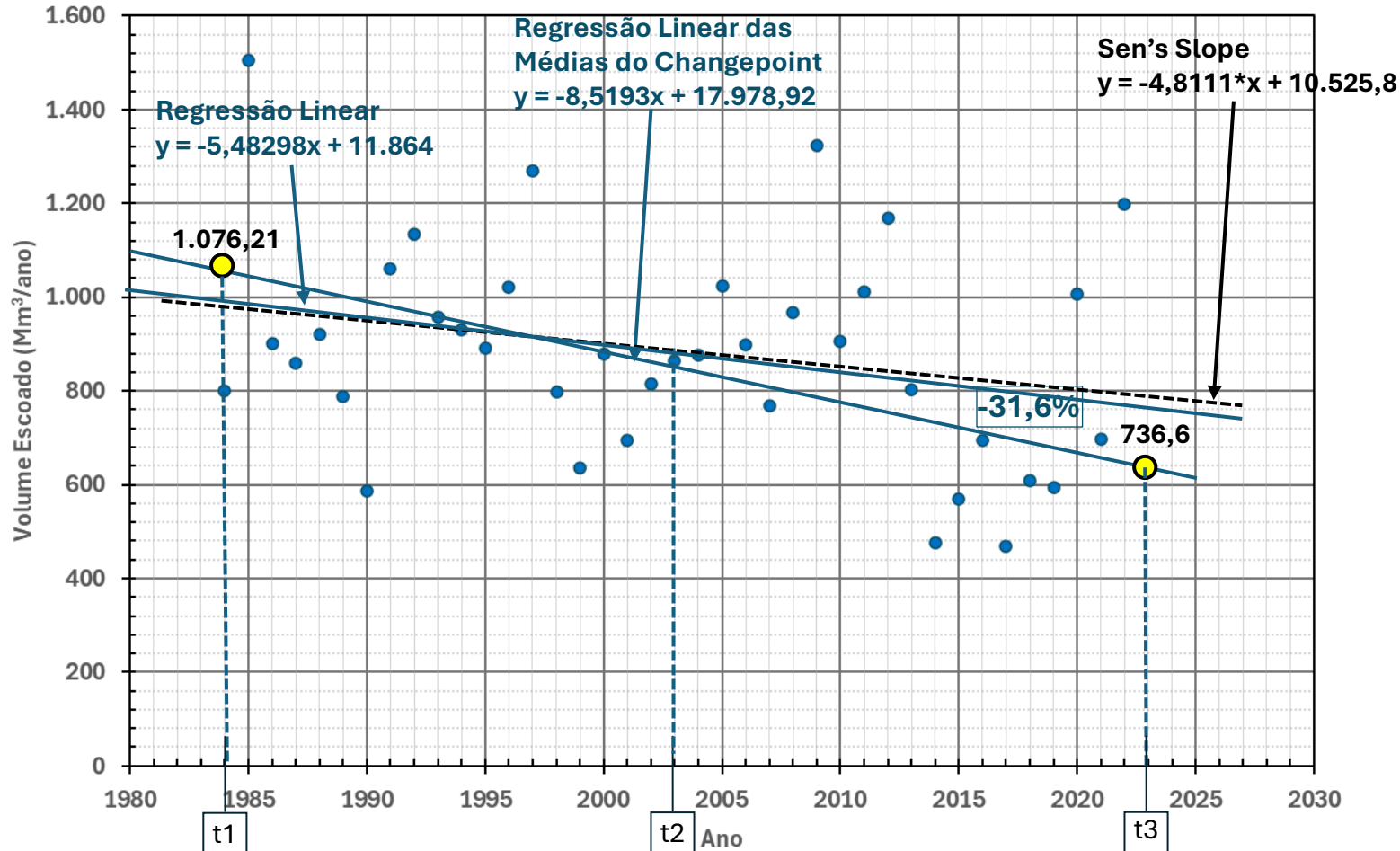


Volumes Escoados em Honório Bicalho

Honório Bicalho - Estação 41199998

Volumes de Água Escoados pelo Rio das Velhas - Evolução dos **Valores Anuais**

A1 = (18/01/1984 a 24/12/2003) x A2 = (25/12/2003 a 30/11/2023)



	Data	Data Decimal	Intervalo (anos)
t1	18/01/1984	1984,0493	
t2	24/12/2003	2003,9822	19,9329
t3	30/11/2023	2023,9151	19,9329

Recorte	Anual	Secos	Úmidos
Coef. ChangePoint	-8,5193	-1,6857	-5,3581
Intercepto	17.978,92	3.612,64	11.400,24
V1	1076,210	268,127	769,508
V2	906,396	234,526	662,705
V3	736,581	200,926	555,903
Perda	-339,629	-67,202	-213,605
	-31,56%	-25,06%	-27,76%

Média dos 4 métodos	-21,53%	-24,71%	-23,11%
---------------------	---------	---------	---------

Redução do volume escoado pelo Rio das Velhas no período 1984 a 2023

ANÁLISE DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO:

- A **precipitação total nos períodos úmidos** foi aprox. a mesma nas três estações comparadas: - **2,37% em média**.
- **Alterações na distribuição da intensidade diária:** afetam recarga e vazões, mesmo sem grande mudança no volume total.
- **Chuvas com grande intensidade e curta duração:** maior escoamento superficial, cheias e diminuição da recarga de aquíferos.
- **Falta de medições horárias ou telemétricas para os 40 anos** impede análise detalhada da distribuição ao longo do dia e seu real impacto na recarga.
- A análise indica que a **redução sistemática das vazões do Rio das Velhas** pode ser causada mais por fatores antrópicos do que por alterações no regime das chuvas dos períodos úmidos.
- Notável redução da quantidade de dias e dos volumes precipitados nos períodos secos.

POSSÍVEIS CAUSAS DA REDUÇÃO DAS VAZÕES:

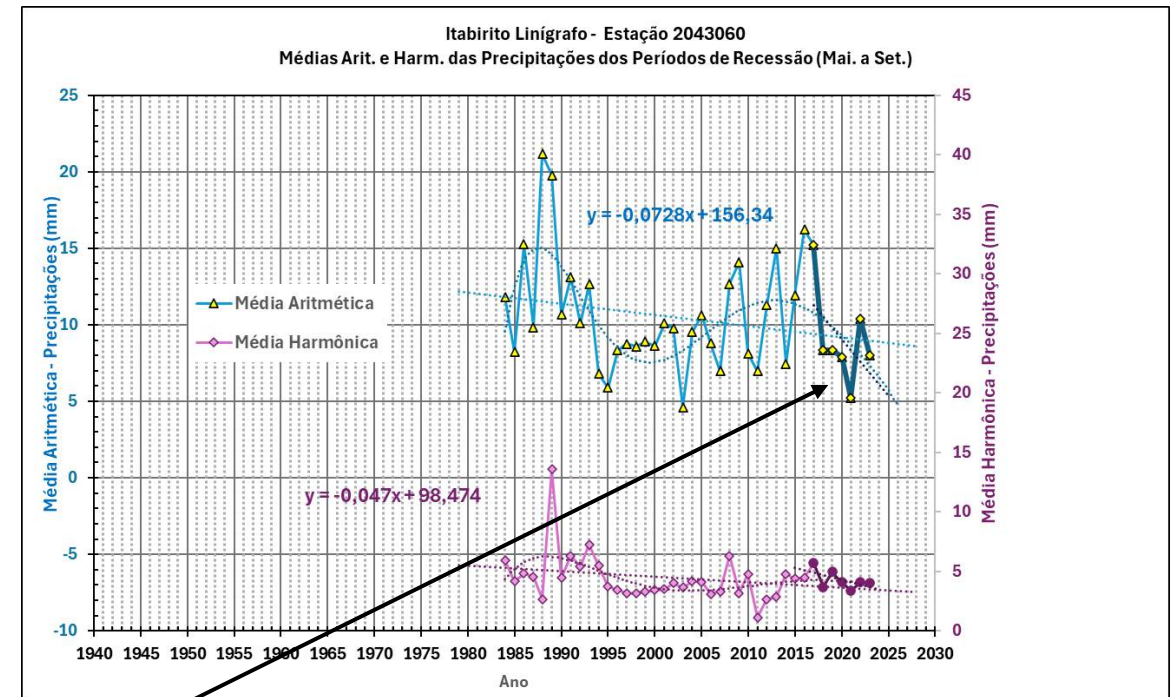
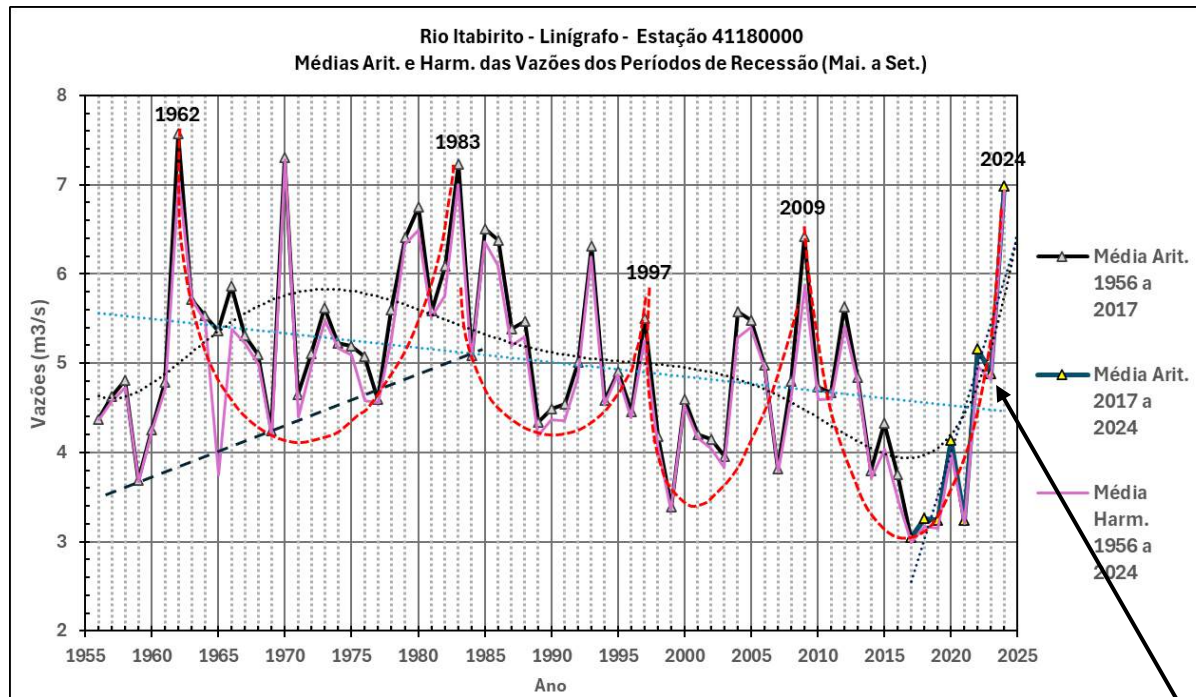
- **Ampliação das áreas de mineração:** Remoção de canga e corpos minerais que armazenam água, bombeamento contínuo para rebaixamento de aquíferos e alteração da permeabilidade do solo devido a pilhas de rejeito, vias de acesso etc.
- **Alterações no uso do solo:** Aumento de áreas urbanizadas, pavimentação e perda de vegetação nativa.
- **Aumento de captações de água:** Aumento da quantidade de poços, outorgados ou não, e dos volumes captados.
- **Mudanças na evapotranspiração:** Variações na cobertura vegetal, temperatura e umidade do ar: podem aumentar a perda de água para a atmosfera.

RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS:

Para identificar com mais precisão as causas da redução das vazões, são necessários estudos mais aprofundados sobre:

- A **distribuição horária das chuvas** ao longo do tempo (o que é limitado pela ausência de dados telemétricos antigos).
- A **variação espacial e temporal da permeabilidade dos solos** em toda a bacia.
- As **características dos aquíferos da região:** tipo (fraturado, poroso), capacidade de armazenamento, profundidade e tempo de resposta à recarga.
- A **contribuição das nascentes** para o fluxo do rio nos períodos de estiagem.

Volumes Escoados pelo Rio das Velhas no Ponto da Estação Honório Bicalho



Contrariando a tendência das vazões do Rio das Velhas em Honório Bicalho, as vazões do Rio Itabirito durante os períodos secos aumentaram, mesmo com a acentuada redução das precipitações dos períodos secos em toda a bacia do Alto Rio das Velhas.

O aumento das vazões, portanto, foi causado por ações antrópicas, como aporte de volumes de água bombeados das cavas de mineração.

Volumes Escoados pelo Rio das Velhas no Ponto da Estação Honório Bicalho

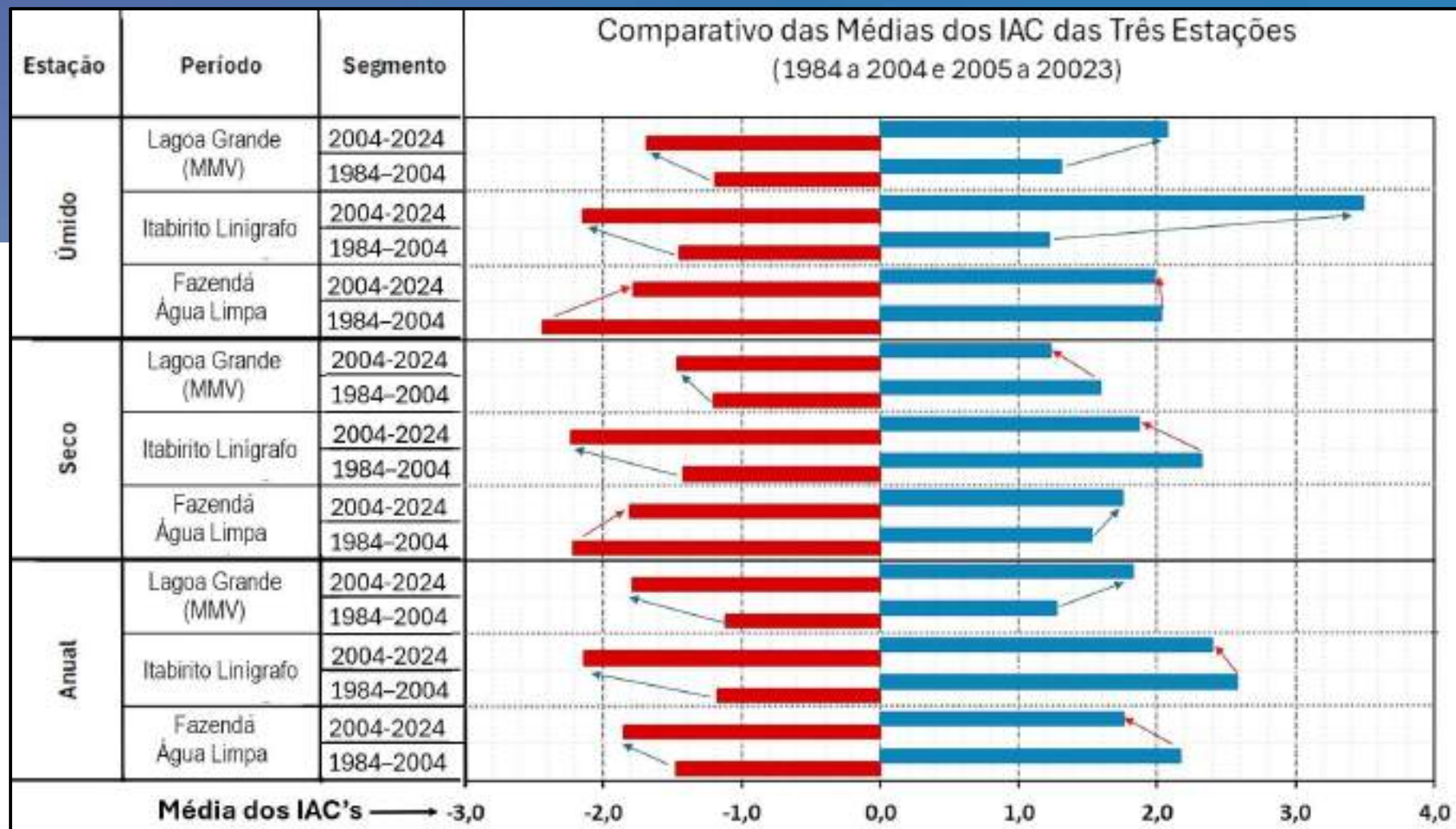
Não sabemos quais serão os impactos cumulativos e sinérgicos sobre as águas subterrâneas e superficiais desta bacia como consequência dos inúmeros rebaixamentos que estão sendo realizados pela mineração.

Daqui a 30 ou 50 anos, quando as mineradoras terminarem sua exploração, deixarão de:

- Aumentar artificialmente a vazão dos córregos e riachos com águas subterrâneas mais profundas compensando assim, pelo menos parcialmente, os volumes de água naturais que estavam armazenados nos minérios que foram retirados e que supriam as inúmeras nascentes das encostas do Sinclinal Moeda e do Gandarela;
- Melhorar, com o acréscimo de água subterrânea de excelente qualidade, a péssima qualidade da água que observamos hoje.

O que acontecerá com o Velhas?

Análise dos Índice de Anomalia de Chuva – IAC (Rainfall Anomaly Index - RAI) (1984 a 2004) x (2004 a 2024)



Análise dos Índice de Anomalia de Chuva – IAC (Rainfall Anomaly Index - RAI) (1984 a 2004) x (2004 a 2024)



Tabela Comparativa dos Índices de Anomalias de Chuvas das Três Estações

Est.	Período	Segmento	IAC Neg.	Soma IAC Neg.	Média IAC Neg.	IAC Pos.	Soma IAC Pos.	Média IAC Pos.	Balanco IAC
Úmido	Lagoa Grande	2004-2024	11	-18,59	-1,69	8	16,62	2,08	-1,97
		1984-2004	12	-14,35	-1,20	9	11,74	1,30	-2,61
	Itabirito - Linígrafo	2004-2023	13	-27,97	-2,15	6	20,92	3,49	-7,05
		1984-2004	11	-15,92	-1,45	9	11,00	1,22	-4,92
	Faz. Água Limpa	2004-2024	11	-19,64	-1,79	8	15,86	1,98	-3,78
		1984-2004	9	-21,95	-2,44	11	22,31	2,03	0,36
Seco	Lagoa Grande	2004-2024	10	-14,65	-1,47	9	11,03	1,23	-3,62
		1984-2004	7	-8,43	-1,20	14	22,24	1,59	13,81
	Itabirito - Linígrafo	2004-2023	12	-26,80	-2,23	7	13,10	1,87	-13,70
		1984-2004	11	-15,64	-1,42	10	23,19	2,32	7,55
	Faz. Água Limpa	2004-2024	11	-19,84	-1,80	8	14,02	1,75	-5,82
		1984-2004	8	-17,72	-2,22	13	19,85	1,53	2,13
Anual	Lagoa Grande	2004-2024	9	-16,09	-1,79	10	18,30	1,83	2,21
		1984-2004	9	-10,04	-1,12	12	15,29	1,27	5,25
	Itabirito - Linígrafo	2004-2023	11	-23,56	-2,14	8	19,20	2,40	-4,36
		1984-2004	16	-18,80	-1,18	5	12,87	2,57	-5,93
	Faz. Água Limpa	2004-2024	11	-20,36	-1,85	8	14,08	1,76	-6,28
		1984-2004	12	-17,69	-1,47	9	19,47	2,16	1,78

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências

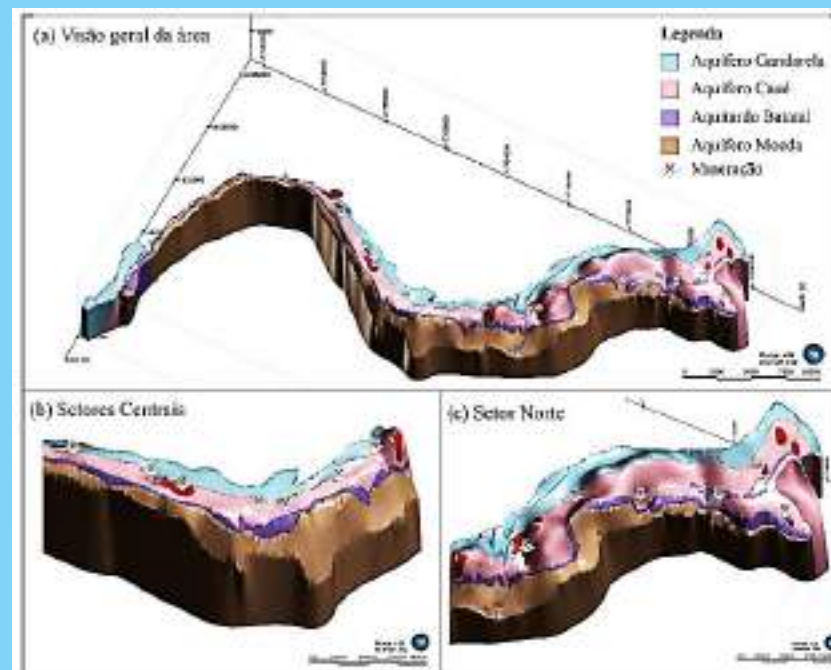
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Celina Cenni de Castro Magalhães

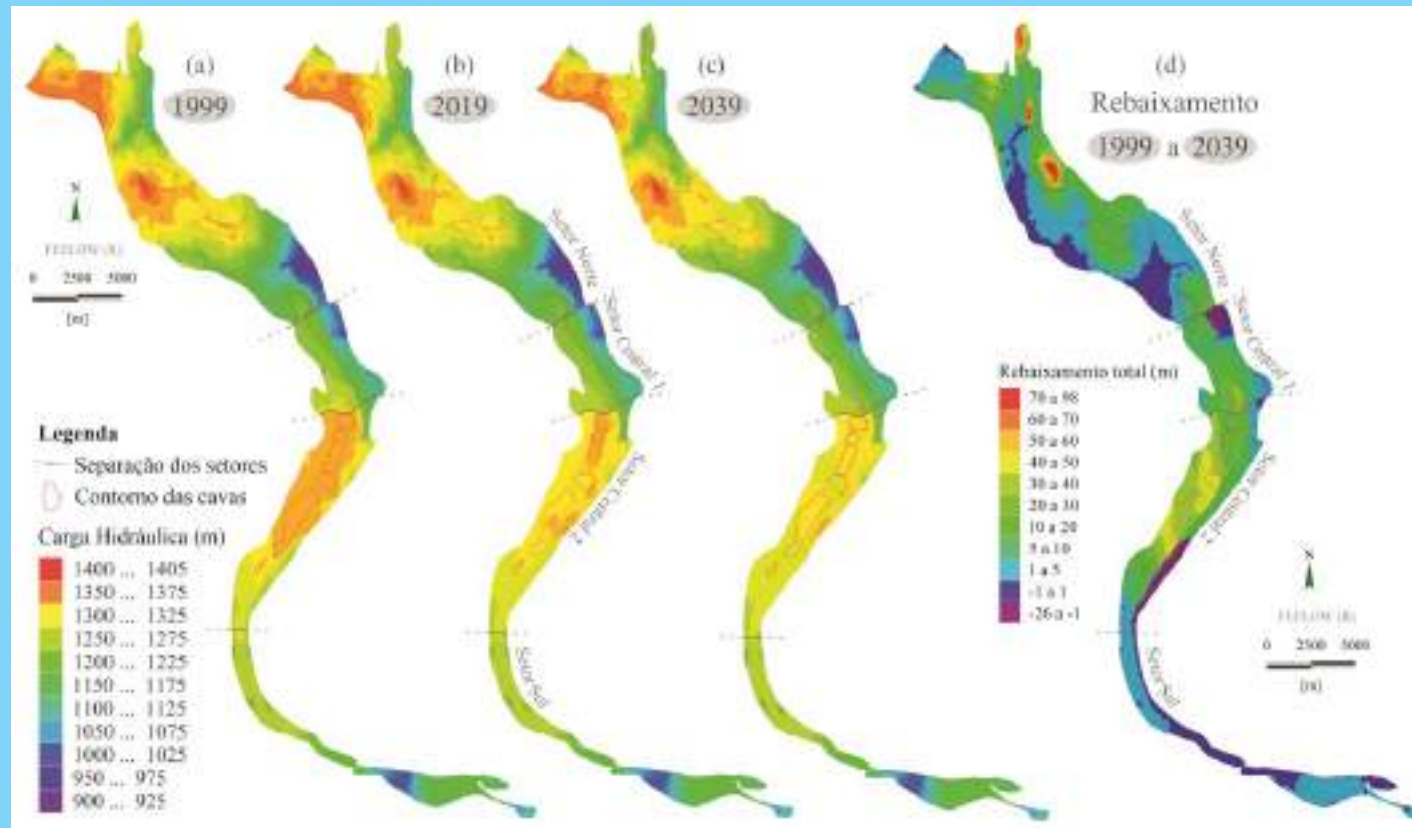
**MODELO HIDROGEOLÓGICO DE FLUXO DO FLANCO LESTE DO SINCLINAL
MOEDA (QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG): caracterização, impactos e
perspectivas futuras para o Aquífero Cauê**

Belo Horizonte

DATA 26/01/2023



MODELO HIDROGEOLÓGICO DE FLUXO DO FLANCO LESTE DO SINCLINAL MOEDA (QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG): caracterização, impactos e perspectivas futuras para o Aquífero Cauê



O estudo considerou as vazões outorgadas de bombeamento. No entanto, existem muitos poços não outorgados (privados) e as vazões bombeadas em certas áreas de mineração podem estar superando as outorgas. Qual é a vazão total, real, captada em poços em toda a bacia?

MODELO HIDROGEOLÓGICO DE FLUXO DO FLANCO LESTE DO SINCLINAL MOEDA (QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG): caracterização, impactos e perspectivas futuras para o Aquífero Cauê

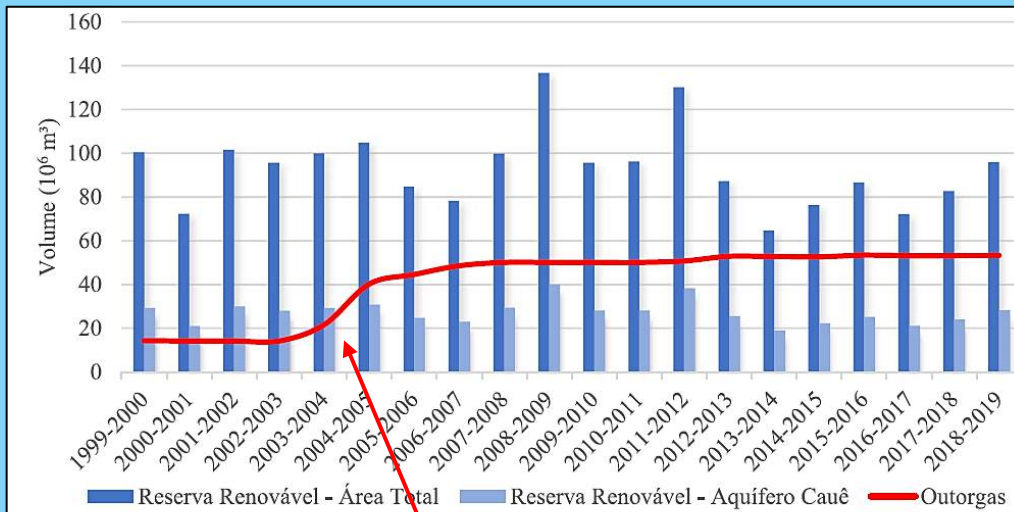


Figura 8. Resultados obtidos para os cálculos da reserva renovável comparados às vazões outorgadas

Já em 2005 as vazões de bombeamento outorgadas para mineração superaram a taxa de recarga do Aquífero Cauê

O Aquífero Gandarela, que originalmente recebia água do Aquífero Cauê, conforme a primeira seta da figura, passa a ceder água. Já as unidades Batatal e Moeda passam a receber menos água do Aquífero Cauê. Isso se deve ao intenso bombeamento, que reduz o gradiente hidráulico, prejudicando o fornecimento de água para as outras unidades.

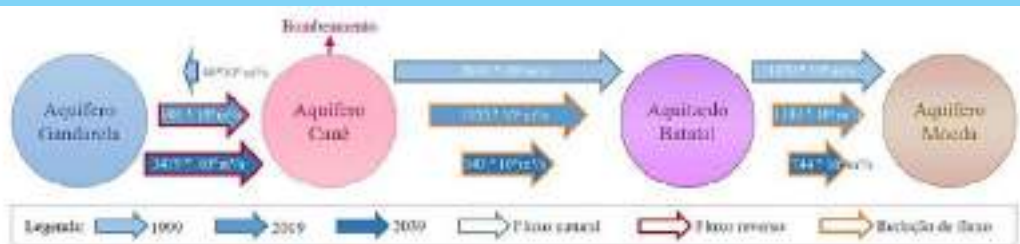


Figura 12. Evolução do fluxo em direção ao Aquífero Cauê. Valores negativos indicam fluxo de saída do Aquífero Cauê, e os positivos indicam entrada.

Unidade / Indicador	Valor / Resultado
Aquíferos considerados	Cauê, Gandarela, Moeda
Condutividade hidráulica (média)	Cauê: $9,45 \times 10^{-7}$ m/s (maior entre os três aquíferos)
Taxa de recarga	Cauê: 38,7% da pluviosimetria
Volume médio bombeado	41 milhões m^3 /ano Equivale a 150% da reserva renovável do Cauê
Reserva renovável do Cauê	27 milhões m^3 /ano
Período 1999-2019	- Redução de 13,6% no escoamento de base (geral)
	- Rebaixamento médio: 10,4 m (Cauê) e 2,2 m (outros)
	- Setor Central 2: 11,6 m de rebaixamento e -21,6% no escoamento de base
Período 2019-2039 (simulação)	Rebaixamento adicional: 7,4 m (média)
	- Setor Central 2: 10,6 m de rebaixamento
	Maior rebaixamento nos setores Norte e Central
Observações e Recomendação	Simulado: 52 Mm^3 /ano
	- Redução do escoamento de base: 7,6% (geral)
	-21,2% em 40 anos
Observações e Recomendação	- Córrego Fecho (Setor Norte): -14,7% no escoamento de base
	Cones de rebaixamento afetando nascentes e poços; risco de intermitência de cursos d'água.
Observações e Recomendação	Instalar rede de monitoramento (nível d'água e vazão superficial)



O volume médio bombeado foi estimado em 41 milhões de m³/ano, equivalente a cerca de 150% da reserva renovável do Aquífero Cauê, calculada em 27 milhões de m³/ano. Como resultados da calibração do modelo em regime transiente estima-se que entre 1999 e 2019 houve redução de 13,6% no escoamento de base da área como um todo, além de um rebaixamento médio de 10,4 metros no Aquífero Cauê e 2,2 metros nas demais unidades. O setor mais impactado foi o Central 2, que teve rebaixamento de cerca de 11,6 metros e 21,6% de redução do escoamento de base.

Devido a essas dificuldades e incertezas, a avaliação do impacto foi feita de forma conservadora. Foi considerado que a vazão bombeada para cada empreendimento não ultrapassa a vazão outorgada e foram desconsideradas as captações superficiais e subterrâneas para outros usos que não a mineração. Assim, pode-se dizer que os impactos reais são ainda maiores que os apresentados.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento dos modelos conceitual e computacional possibilitou concluir que entre outubro de 1999 e setembro de 2019 houve impacto significativo sobre o Aquífero Cauê na área de estudo. Ainda, foi possível estimar que haverá maior impacto nos 20 anos subsequentes caso sejam mantidas as vazões outorgadas atualmente, podendo afetar a disponibilidade hídrica local e regional.

Além disso essa etapa gerou um banco de dados de monitoramento hidrogeológico, reunindo informações anteriormente dispersas por relatórios, que poderá ser utilizado posteriormente, pelo IGAM.

Por fim, conclui-se que é necessário maior controle das vazões outorgadas e medidas de mitigação, definindo limites de captação, sobretudo para a região mais impactada, aqui denominada “Setor Central 2”. Dessa forma será possível realizar uma gestão mais adequada dos mananciais, garantindo a disponibilidade hídrica para as gerações futuras e ecossistemas.





ARTICLE

<https://doi.org/10.1590/2317-4889202220220005>

BJGEO
Brazilian Journal of Geology



The Cauê Aquifer on the eastern limb of the Moeda Syncline: characterization, impacts, and flow in the western Iron Quadrangle (*Quadrilátero Ferrífero*), MG, Brazil

Celina Cenni de Castro Magalhães^{1*} , Marília Carvalho de Melo^{2,3} , Nilson Guiguer⁴ ,
Rodrigo Sérgio de Paula¹ 

CONCLUSIONS

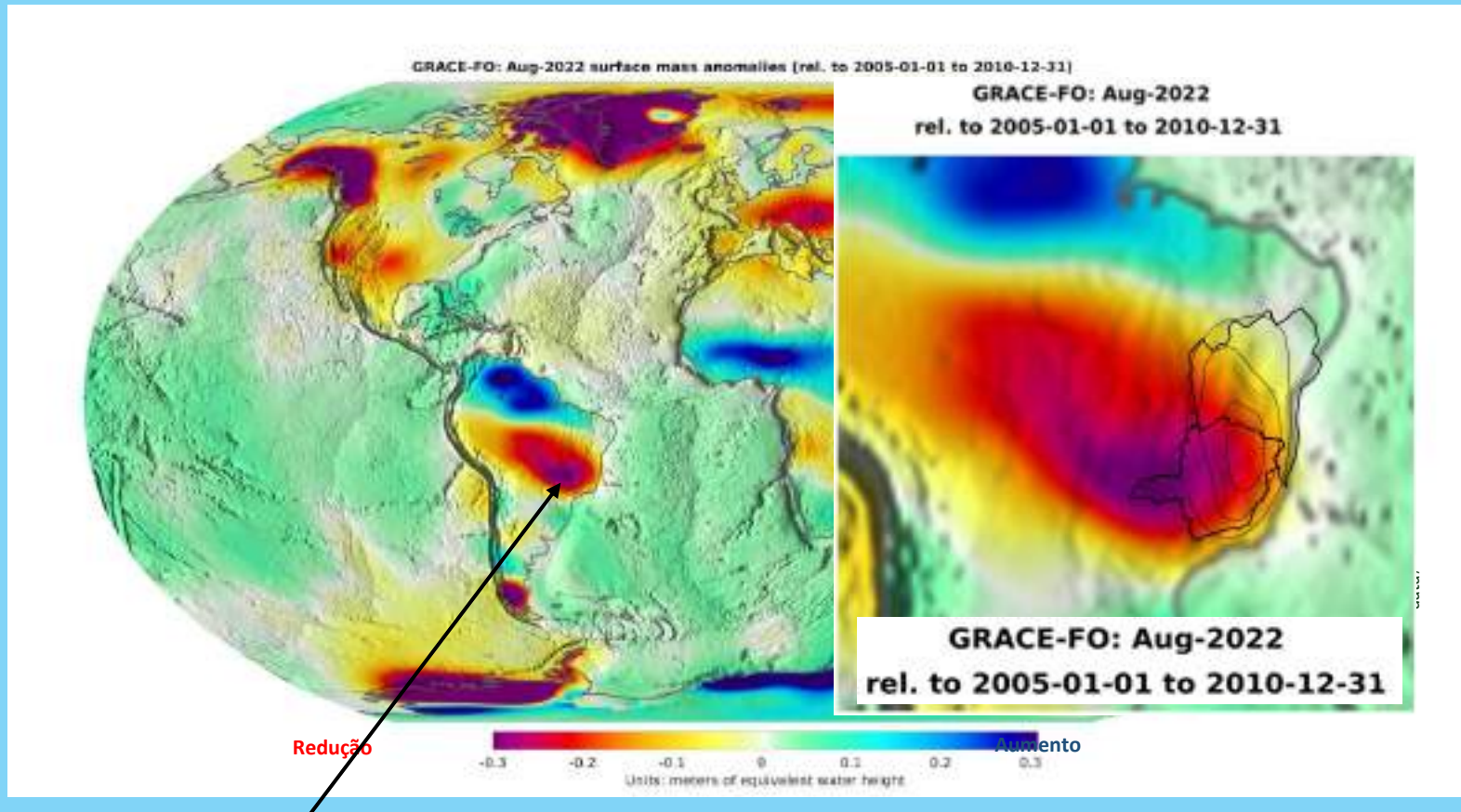
The importance of groundwater in maintaining drainage flows can be demonstrated by the calculated BFI of 63%. This significant base flow contribution to surface drainage is of utmost importance for the supply of the MRBH throughout the year.

As for the exploitation that has been occurring in the aquifer, it exceeds 50% of the renewable reserve of the Cauê Aquifer and is close to the renewable reserve of the area. This means that the exploitation also affects the permanent reserve, the surface runoff, and the units adjacent to the Cauê Aquifer. Considering the uncertainties presented, the impact generated is probably greater than that estimated.

A importância das águas subterrâneas na manutenção das vazões de drenagem pode ser demonstrada pelo IBF calculado de 63%. Essa contribuição significativa da vazão de base para a drenagem superficial é de suma importância para o abastecimento da RMBH ao longo do ano.

Quanto à exploração que vem ocorrendo no aquífero, ela ultrapassa 50% da reserva renovável do Aquífero Cauê e se aproxima da reserva renovável da área. Isso significa que a exploração afeta também a reserva permanente, o escoamento superficial e as unidades adjacentes ao Aquífero Cauê. Considerando as incertezas apresentadas, o impacto gerado é provavelmente maior do que o estimado.

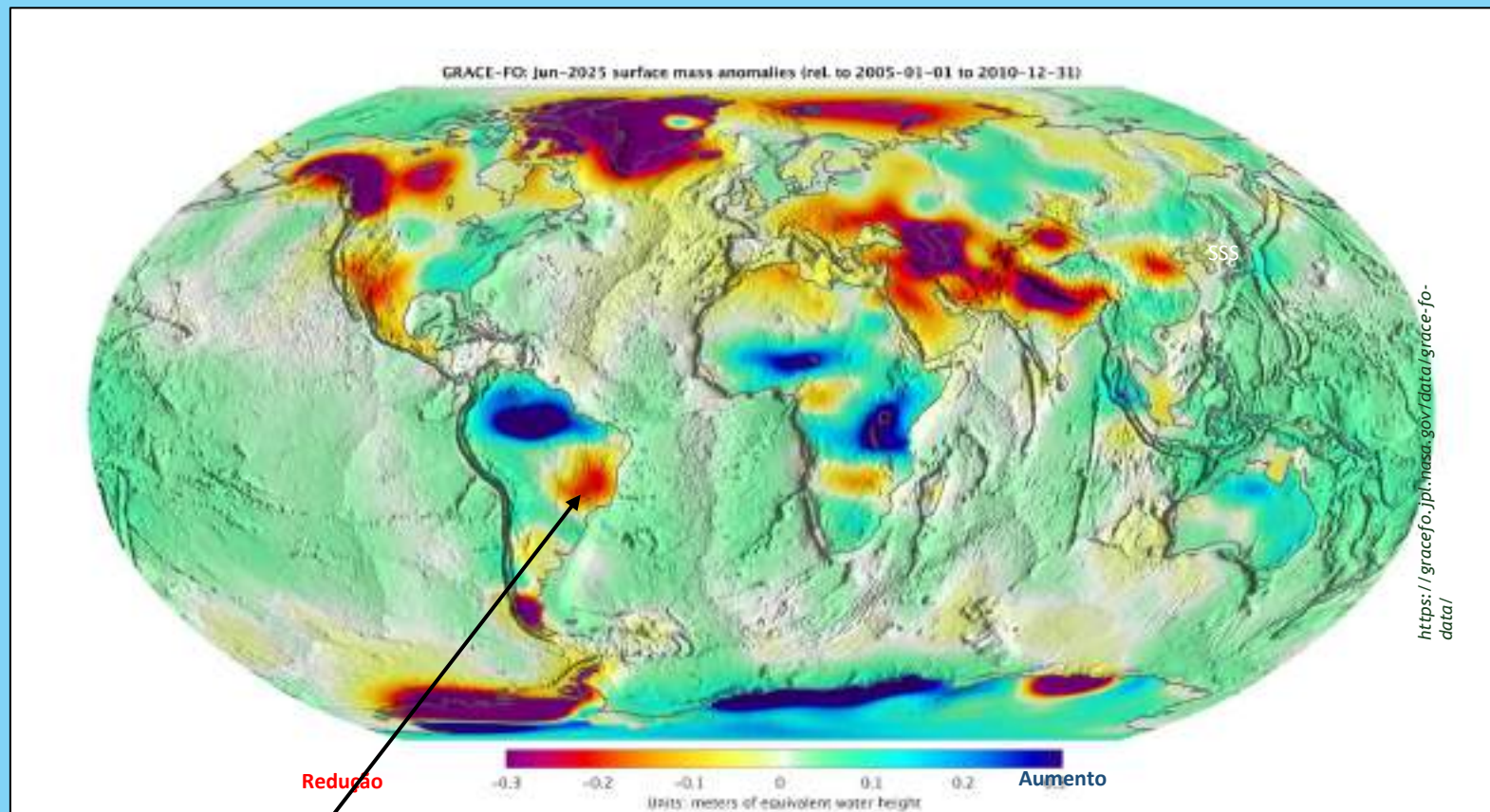
Evolução da Disponibilidade de Água Doce Ago-2022



Em Ago/2022: perda de 30 cm de altura de água com relação ao período 2005/2010

Evolução da Disponibilidade de Água Doce

Jun-2025



Em Jun/2025: perda de 25 cm de altura de água com relação ao período 2005/2010



Muito Obrigado

Euler de Carvalho Cruz
Belo Horizonte, 04 de Outubro de 2025

Realização



Apoio

