

Lagoa Grande – Períodos Secos (1983 a 2023) – Médias Aritméticas	Resultados
Período analisado:	1983 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	41
Valor mínimo:	4.83
1º Quartil:	9.10
Mediana (2º Quartil):	10.47
Média:	10.86
3º Quartil:	12.65
Valor Máximo:	17.59
Variância:	8.82
Desvio Padrão:	2.97
Regressão Linear	
Equação da reta:	Precipitação = $-2.31265e-02 * \text{tempo} + 57.18$
Coefficiente angular (variação por ano):	$2.31265e-02$
p-valor do coeficiente angular:	$5.6178e-01$
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	$(-0.1031, 0.05681)$
R ² do modelo:	0.087046
Interpretação:	Há evidências de redução na precipitação ao longo do tempo, com -0.0231 mm a menos na precipitação média dos dias de chuva por ano da série (0.9482 mm em 41 anos, $-8,73\%$ da média total do segmento analisado (10.86 mm/dia de chuva).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos	$W = 0.9634$ p-valor = $2.06e-01$
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos	$A = 0.5702$ p-valor = $1.31e-01$
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos:	$D = 0.1106$ p-valor = 0.6565 ($p > 0,05$)



Interpretação:	Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 0.9437 p-valor = 3.31e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 0.8536 p-valor = 3.56e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.8935 p-valor = 3.04e-01 Resíduos independentes (não autocorrelacionados)
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.1049 p-valor = 0.3397 Não há evidência de tendência significativa
Sen's Slope: Coeficiente angular (Sen's Slope): Intervalo de Confiança 95%: Valor-p: R2 Interpretação:	-0.0386638 IC95% = (-0.1159 , 0.04603) 0.339722 - Não há evidências de tendência estatisticamente significativa ($p \geq 0.05$ e IC95% inclui zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 138 p-valor = 0.3964 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.15 p-valor = 0.3492 Não há correlação significativa com o tempo ($p > 0.05$).
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta: Coeficiente angular: R ² da regressão: Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO Interpretação: CUSUM Tradicional	– $y = -16.097 + 0.008x$ ($p = 0.003$, $R^2 = 0.201$) (ver reta vermelha no gráfico) – +0.008 (positivo: Indica um pequeno aumento sistemático nos valores de precipitação ao longo do tempo). – 0.201 (valor de R2 baixo, ajuste pequeno) – 14.85 – detectada ($C^+ > H$) – detectada ($C^- > H$) • Curva predominantemente no entorno de zero entre 1983 e 2007 e com tendência de aumento até 2016 e acentuada tendência de redução a partir de 2016: • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes. A curva C- atinge o limite máximo em 2023 e se mantém próxima dele até 2007, tendo se mantido entre 0 e 10 no período de 1983 e 2007 e apresentado tendência forte de aumento a partir de 2007 até 2023. A curva C+ (azul) manteve-se entre 0 e 10 entre 0 e 10 no período de 1983 a 2007 e se eleva a partir de 2007 até cruzar a banda superior em 2015, quando começa a baixar novamente até 2023, atingindo o valor 5.
Changepoint: Análise de Mudança na Média: Análise de Mudança na Variância: Análise de Mudança na Média e na Variância:	Mudanças detectadas nos anos: 2012, 2013, 2014, 2017 – Período 1983-2012: Média = 11.012 mm – Período 2012-2013: Média = 13.85 mm – Período 2013-2014: Média = 11.508 mm – Período 2014-2017: Média = 12.169 mm – Período 2017-2023: Média = 8.832 mm Nenhuma mudança significativa na variância detectada.

	<ul style="list-style-type: none"> – Mudança mais significativa detectada em: 2022 – Nova média: 7.107 mm – Nova variância: NA mm
--	--

Características Gerais da Série

A série histórica **médias anuais** de precipitação dos **períodos secos** da Lagoa Grande no **segmento de 1983–2023**, com 41 anos de dados, apresenta valores entre 4,83 mm e 17,59 mm, indicando maior variabilidade interanual em comparação aos períodos úmidos.

A média (10,86 mm) é ligeiramente superior à mediana (10,47 mm), sugerindo leve assimetria à direita. A dispersão é moderada, com desvio padrão de 2,97 mm e variância de 8,82 mm², evidenciando maior instabilidade relativa neste período do ano.

Os quartis (Q1 = 9,10 mm; Q3 = 12,65 mm) mostram que 50% dos valores concentram-se em torno de 3,55 mm, mas ainda assim há ocorrência de extremos, reforçando a maior irregularidade dos períodos secos.

Regressão Linear:

A regressão linear ajustada apresentou coeficiente angular negativo (–0,0231 mm/ano), o que implicaria redução acumulada de 0,95 mm ao longo de 41 anos (8,7% da média da série). Contudo, o resultado não foi estatisticamente significativo ($p = 0,562$; IC95% = –0,1031 a 0,0568; inclui zero) e o modelo apresentou baixo poder explicativo ($R^2 = 0,087$).

Testes de Pressupostos da Regressão:

Os pressupostos da regressão linear foram atendidos:

- resíduos seguem distribuição normal (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e KS, $p > 0,1$);
- não há evidência de heterocedasticidade (Breusch-Pagan e White, $p > 0,3$);
- os resíduos são independentes (Durbin-Watson, $p = 0,304$).

Portanto, embora consistente em termos estatísticos, a regressão linear não evidencia tendência significativa.

Testes Não-Paramétricos:

Os testes não paramétricos confirmam a ausência de tendência robusta.

O Mann-Kendall ($\tau = -0,105$; $p = 0,340$) e o Spearman ($\rho = -0,15$; $p = 0,349$) não identificaram tendências significativas.

O Sen's Slope estimou inclinação negativa de –0,0387 mm/ano, mas com intervalo de confiança que inclui zero (–0,116 a 0,046; $p \geq 0,05$).

O Pettitt ($p = 0,396$) e o BFAST não identificaram pontos de ruptura relevantes.

O CUSUM tradicional ajustou uma reta positiva ($y = -16,10 + 0,008x$; $R^2 = 0,201$), sugerindo leve aumento sistemático, mas com baixo poder explicativo. A curva acumulada mostrou estabilidade entre 1983–2007, tendência de crescimento até 2012 e redução marcada a partir de 2012, atingindo valores mínimos em 2023.

A análise de Changepoint identificou múltiplas mudanças na média:

- 1983–2012: média de 11,01 mm;
- 2012–2013: aumento pontual para 13,85 mm;
- 2013–2014: recuo para 11,51 mm;
- 2014–2017: leve recuperação (12,17 mm);

- 2017–2023: queda acentuada (8,83 mm), com **mínima significativa em 2022 (7,11 mm), ano que registrou a maior evento de precipitação de toda a série (209 mm no dia 08 janeiro).**

Nenhuma mudança significativa foi observada na variância.

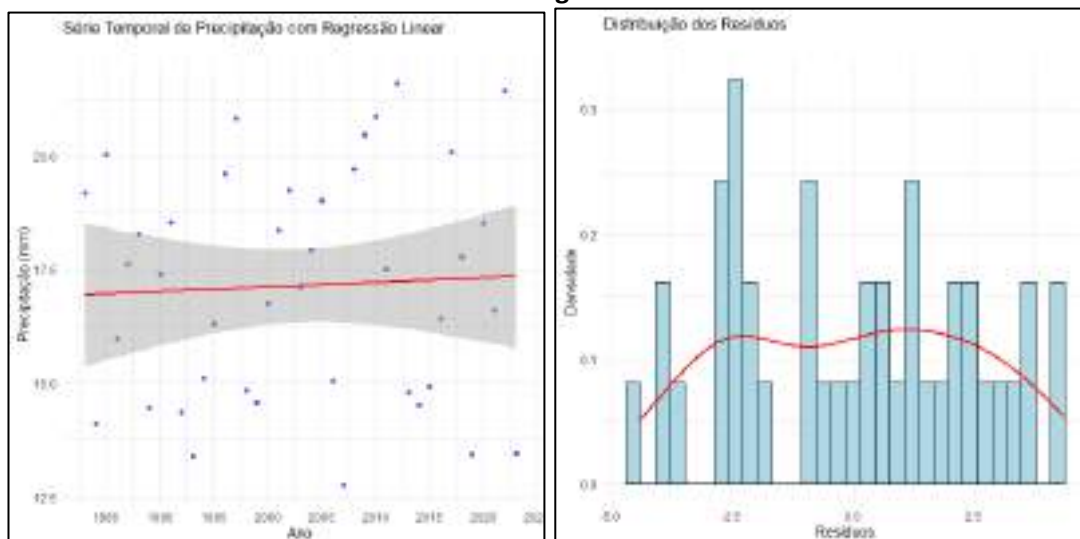
Conclusões Principais

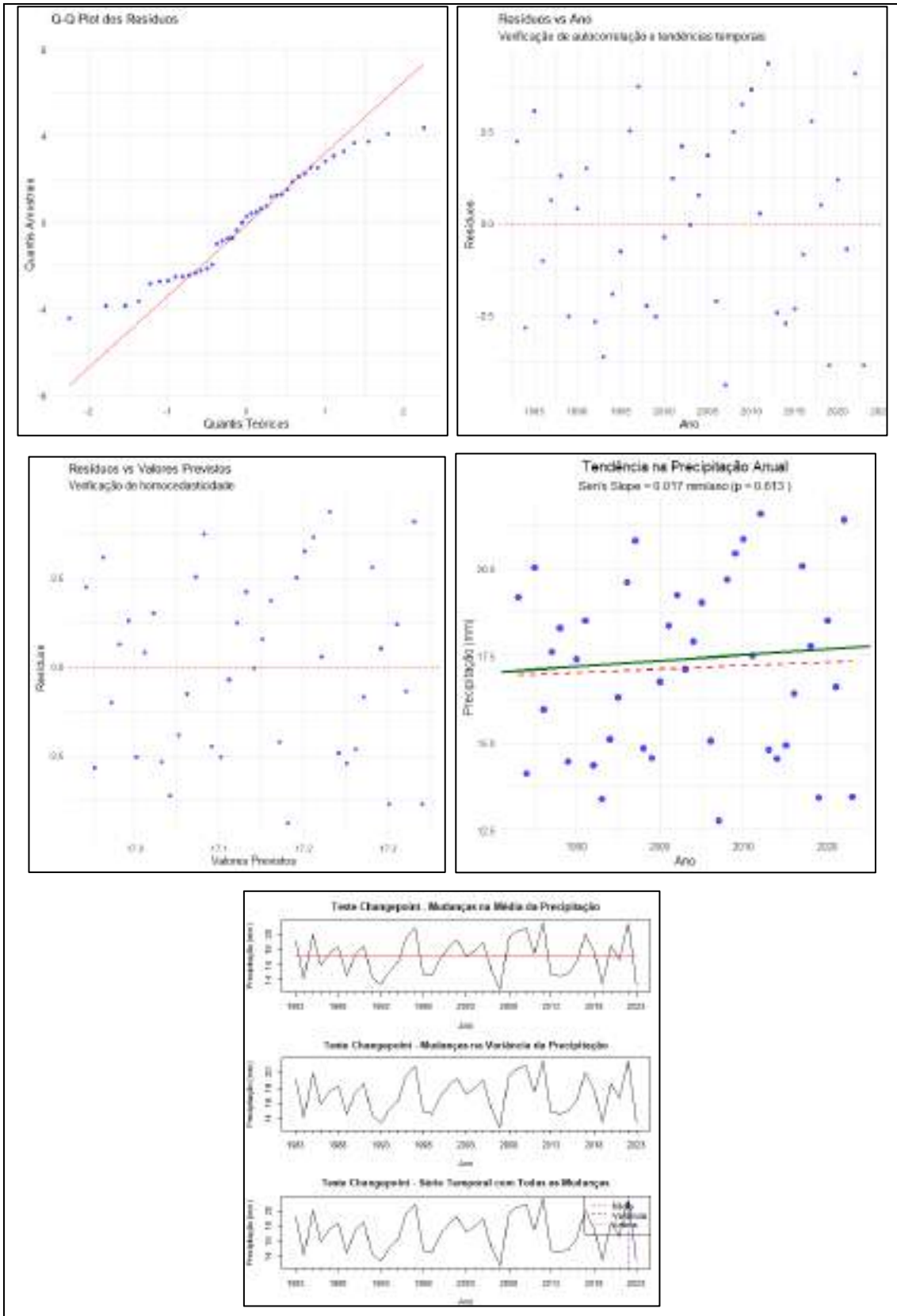
A série das **médias anuais** de precipitação dos **períodos secos** da Lagoa Grande no **segmento de 1983–2023** apresenta maior variabilidade que os períodos úmidos, com média relativamente baixa (10,9 mm) e presença de extremos.

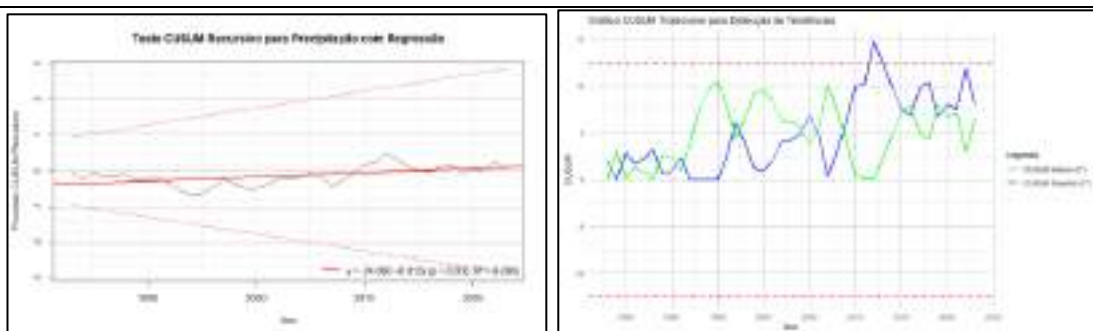
Apesar de a regressão linear e os testes não paramétricos não confirmarem tendência estatisticamente significativa, os resultados do CUSUM e da análise de mudanças de média indicam que, após relativa estabilidade até 2012, houve redução consistente na precipitação, especialmente após 2017, culminando em valores mínimos em 2022 (7,1 mm).

Assim, a série sugere **um possível enfraquecimento das chuvas nos períodos secos nas últimas décadas**, o que pode indicar aumento da vulnerabilidade hídrica no município.

Períodos Úmidos – Segmento: 1983 a 2023







Lagoa Grande – Períodos Úmidos (1983 a 2023) – Médias Aritméticas	Resultados
Período analisado:	1983 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	41
Valor mínimo:	12.77
1º Quartil:	14.84
Mediana (2º Quartil):	17.41
Média:	17.14
3º Quartil:	19.17
Valor Máximo:	21.58
Variância:	6.27
Desvio Padrão:	2.50
Regressão Linear	
Equação da reta:	Precipitação 0.009969483* tempo + -2.828
Coefficiente angular (variação por ano):	0.009969483
p-valor do coeficiente angular:	0.7671466
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	(-0.05766, 0.0776)
R ² do modelo:	0.002274633
Interpretação:	Há evidências de pequeno aumento na precipitação ao longo do tempo, com 0.00997 mm a mais na precipitação média dos dias de chuva por ano da série (0.4088 mm em 41 anos, 2,38% da média total do segmento analisado (17.14 mm/dia de chuva).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:	W = 0.957 p-valor = 1.24e-01 Resíduos seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:	A = 0.5342 p-valor = 1.62e-01 Resíduos seguem distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.1229 p-valor = 0.5251 Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 2.3678 p-valor = 1.24e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 0.9853 p-valor = 3.21e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 1.9551 p-valor = 3.77e-01 Resíduos independentes (não autocorrelacionados)
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = 0.0561 p-valor = 0.6133 Não há evidência de tendência significativa (p<0.05)
Sen's Slope: Coeficiente angular (Sen's Slope): Intervalo de Confiança 95%: Valor-p: R2 Interpretação:	0.01676991 IC95% = (-0.05957 , 0.08592) 0.6132518 - Não há evidências de tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05 e IC95% inclui zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto:	U = 86 p-valor = 1 (p>0.05)

Interpretação:	Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = 0.05801 p-valor = 0.7186 Não há correlação significativa com o tempo
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta: Coeficiente angular: R ² da regressão: Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO Interpretação: CUSUM Tradicional	<p>– $y = -24.086 + 0.012x$ ($p = 0.000$, $R^2 = 0.299$) (ver reta vermelha no gráfico)</p> <p>– +0.012 (positivo: Indica um aumento sistemático nos valores de precipitação ao longo do tempo).</p> <p>– 0.299 (valor de R² baixo, ajuste pequeno)</p> <p>– 12.52</p> <p>– detectada ($C^+ > H$)</p> <p>– Nenhuma tendência de diminuição detectada ($C^- \leq H$)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Curva predominantemente abaixo de zero até 2009 e permanece no entorno de zero de 2009 a 2023: • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes. <p>A curva C- oscila entre zero e 10, sempre abaixo da banda superior, durante toda a duração da série. A curva C+ (azul) mantém-se entre zero e 10, abaixo da banda superior, até 2010, passa acima dessa banda em 2012 e logo a seguir retorna para o patamar abaixo da banda superior</p>
Changepoint: Análise de Mudança na Média:	Nenhuma mudança significativa da média detectada
Análise de Mudança na Variância:	Nenhuma mudança significativa na variância detectada.
Análise de Mudança na Média e na Variância:	<p>– Mudança mais significativa detectada em: 2022</p> <p>– Nova média: 13.463 mm</p> <p>– Nova variância: NA mm</p>

Características Gerais da Série

A série das **médias anuais** de precipitação dos **períodos úmidos** da Lagoa Grande no **segmento de 1983–2023**, com 41 anos de dados, apresenta valores entre 12,77 mm e 21,58 mm, refletindo maior regularidade em relação aos períodos secos.

A média (17,14 mm) é próxima da mediana (17,41 mm), indicando distribuição praticamente simétrica. A dispersão é baixa, com desvio padrão de 2,50 mm e variância de 6,27 mm², revelando estabilidade nos acumulados médios diários de chuva durante este período.

Os quartis (Q1 = 14,84 mm; Q3 = 19,17 mm) mostram que 50% dos valores concentram-se em torno da média, evidenciando homogeneidade interanual e menor ocorrência de extremos.

Regressão Linear:

A regressão linear ajustada apresentou coeficiente angular positivo (0,00997 mm/ano), o que representaria um aumento acumulado de 0,41 mm em 41 anos (2,4% da média da série). No entanto, esse resultado não foi estatisticamente significativo ($p = 0,767$; IC95% = $-0,0577$ a $0,0776$; inclui zero) e o modelo apresentou poder explicativo muito baixo ($R^2 = 0,002$).

Testes de Pressupostos da Regressão:

Os pressupostos da regressão linear foram atendidos:

- os resíduos seguem distribuição normal (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e KS, $p > 0,1$);
- não há indícios de heterocedasticidade (Breusch-Pagan e White, $p > 0,1$);
- os resíduos são independentes (Durbin-Watson, $p = 0,377$).

Assim, embora estatisticamente consistente em termos de pressupostos, a regressão não evidencia tendência significativa de aumento da precipitação.

Testes Não-Paramétricos:

Os testes de tendência não paramétricos confirmam ausência de mudança significativa.

O Mann-Kendall ($\tau = 0,056$; $p = 0,613$) e o Spearman ($\rho = 0,058$; $p = 0,719$) não detectaram tendência estatisticamente relevante.

O Sen's Slope estimou uma inclinação positiva de $0,0168$ mm/ano, mas com intervalo de confiança que inclui zero ($-0,0596$ a $0,0859$; $p \geq 0,05$).

O Pettitt ($p = 1,0$) e o BFAST não identificaram pontos de ruptura significativos.

Por outro lado, o CUSUM tradicional ajustou uma reta positiva ($y = -24,09 + 0,012x$; $R^2 = 0,299$), sugerindo tendência de aumento, ainda que com baixo poder explicativo.

A curva acumulada manteve-se abaixo de zero até 2009, aproximando-se do equilíbrio após 2010. A curva C^+ ultrapassou brevemente a banda superior em 2012, mas retornou em seguida, enquanto a curva C^- permaneceu abaixo do limiar durante toda a série, sugerindo ausência de tendências negativas significativas.

A análise de Changepoint não identificou mudanças relevantes na média ou na variância. Apenas em 2022 foi registrada alteração expressiva, com nova média de $13,46$ mm, indicando uma redução pontual no ano que registrou a maior evento de precipitação de toda a série (209 mm no dia 08 janeiro)

Conclusões Principais

A série das **médias anuais** de precipitação dos **períodos úmidos** da Lagoa Grande no **segmento de 1983–2023** revela estabilidade e homogeneidade, com média elevada ($17,1$ mm) e baixa dispersão, contrastando com a maior variabilidade dos períodos secos.

Apesar de os testes paramétricos e não paramétricos não confirmarem tendência estatisticamente significativa, o CUSUM aponta leve sinal de aumento das precipitações ao longo do tempo, principalmente após 2009, ainda que de pequena magnitude.

O único sinal recente de alteração foi a queda de 2022, que reduziu a média para $13,5$ mm, sugerindo possível início de um regime mais seco.

Assim, os períodos úmidos mostram-se mais resilientes e estáveis, mas devem ser monitorados, já que a redução pontual de 2022 pode sinalizar mudanças estruturais emergentes.

Conclusões da Análise por Médias Anuais

1. Tendências Gerais das Precipitações:

- **Aumento das Médias Aritméticas e Redução das Médias Harmônicas:** Ao longo do período completo da série, observa-se um aumento das médias aritméticas das precipitações, indicando um crescimento nos valores máximos de chuva. Por outro lado, há uma redução nas médias harmônicas, o que sugere uma diminuição nos valores



mínimos de precipitação. Isso aponta para uma maior variabilidade na pluviosidade, ou seja, tendência de extremos climáticos, com chuvas mais intensas e secas mais prolongadas.

- Um aumento na quantidade anual de chuvas não implica, necessariamente, em maior disponibilidade de água subterrânea para alimentar nascentes no período seco, pois essa disponibilidade está associada não apenas à distribuição das chuvas (volume diário e quantidade de dias de chuva) mas também ao tempo de infiltração até a água atingir os aquíferos.

2. Comportamento das Médias em Segmentos:

- **1941 a 1970:** Redução uniforme tanto das médias aritméticas quanto das harmônicas, indicando uma distribuição mais homogênea da pluviosidade.
- **1971 a 1982:** Aumento acentuado da média aritmética e estabilidade da média harmônica, indicando um período de maior pluviosidade, com menos eventos de chuvas fracas.
- **1983 a 2016:** Comportamento similar ao período anterior, mas com menos variações acentuadas, exceto no período de 2008 a 2012.
- **2017 a 2023:** Aumento significativo das médias aritméticas e redução das médias harmônicas, indicando maior variabilidade na pluviosidade, com intensificação dos eventos de chuvas mais fortes, assim como dos eventos de chuvas mais fracas (aumento dos extremos)

3. Períodos Secos e Úmidos:

- **Períodos Secos:** Há uma tendência geral de redução das precipitações nos períodos secos, com uma diminuição mais acentuada das médias aritméticas de 2019 a 2023. Isso indica que os períodos secos estão se tornando mais severos.
- **Períodos Úmidos:** Observa-se um aumento geral das médias aritméticas das precipitações nos períodos úmidos, indicando um aumento na pluviosidade durante esses períodos devido a eventos de chuvas diárias de maior intensidade. No entanto, há uma estabilidade ou redução pouco expressiva nas médias harmônicas, sugerindo um aumento no número de eventos de chuva com baixos valores diários de precipitação, mesmo durante os períodos úmidos.

4. Ciclos de Variação:

- **Ciclos de Longo Prazo:** As curvas de regressão polinomial mostram ciclos de variação mais longos e de maior amplitude nos períodos secos, enquanto nos períodos úmidos esses ciclos são menos evidentes.
- **Ciclos de Oscilação:** De 1975 a 2015, as médias harmônicas mantiveram-se estáveis, indicando um período com menos variações nos valores mínimos de precipitação.

5. Eventos Extremos Recentes:

- **2023 e 2024:** O ano de 2023 apresentou um período seco com precipitação acumulada muito baixa, comparável apenas a anos como 1959, 1963, 1967 e 2003. O período seco de 2024 também foi marcado por uma estiagem prolongada, com 153 dias sem chuva, a mais longa desde 1961.

6. Implicações Climáticas:

- **Maior Variabilidade Climática:** A análise indica um cenário de maior variabilidade climática, com extremos de chuvas intensas e de secas mais severas. Isso pode ter

implicações significativas para o planejamento de recursos hídricos, agricultura e gestão de riscos de desastres naturais. A tendência de secas mais severas e prolongadas pode agravar problemas de abastecimento de água e impactar ecossistemas sensíveis.

7. Necessidade de Estudos Adicionais:

- **Confirmação de Ciclos:** Os ciclos de variação sugeridos pelos gráficos precisam ser confirmados por estudos subsequentes, como os propostos para a próxima etapa do Projeto “De Olho no Velhas”.
- **Análise de Tendências Futuras:** É importante continuar monitorando as tendências de precipitação para entender melhor as mudanças climáticas em curso e suas possíveis consequências.

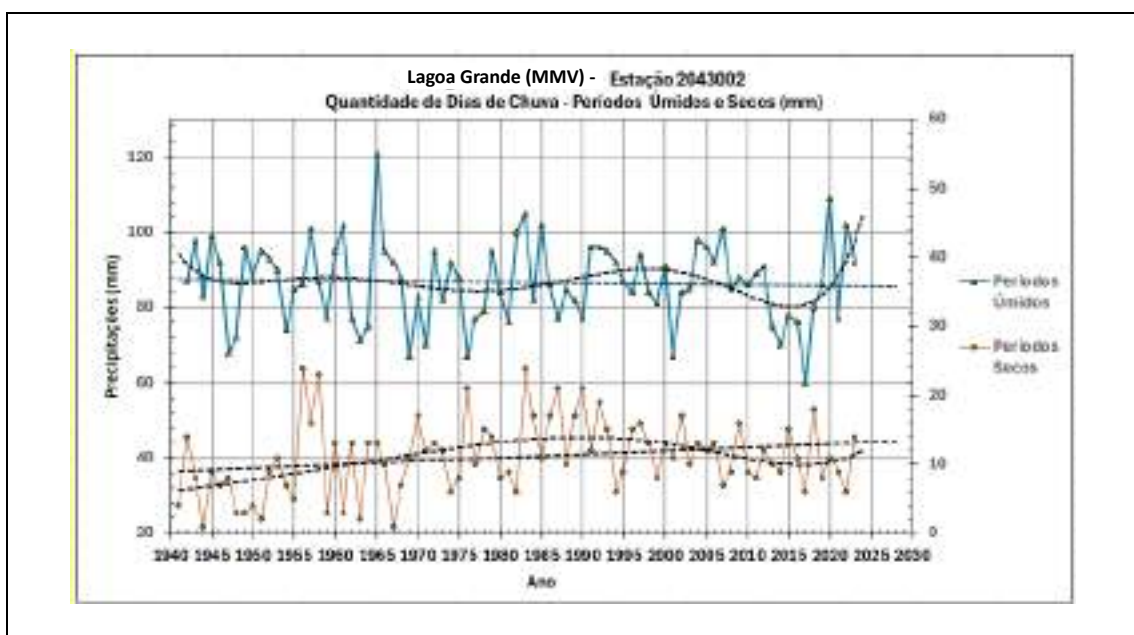
Em resumo, A análise das médias anuais na Lagoa Grande (MMV) mostra tendência geral de aumento das precipitações nos períodos úmidos e a de redução delas nos períodos secos, fato que aponta para dois riscos: de um lado, enchentes maiores, deslizamentos de encostas e taludes de barragem, possibilidade de rompimento de barragens e de deslizamento de pilhas de rejeitos e de estêreis nos períodos úmidos; de outro, riscos de falhas no abastecimento público de água da RMBH durante os períodos secos.

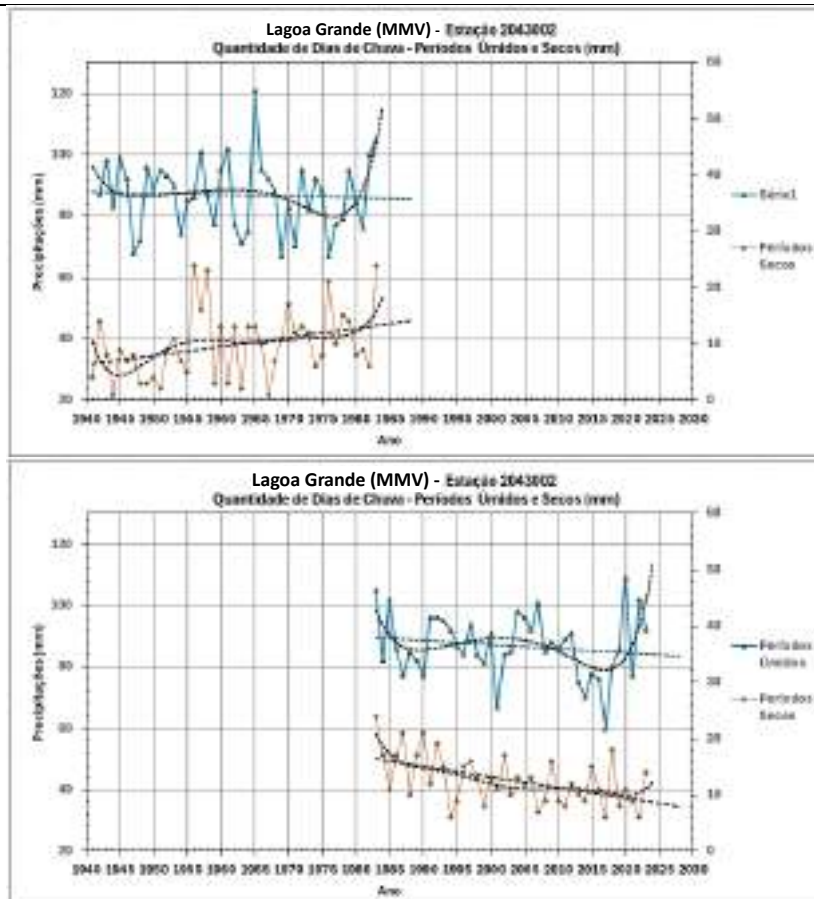
Tabela-Resumo da Análise do Segmento 1983 a 2023 da Lagoa Grande – Médias Aritméticas das Precipitações Diárias (mm/dia)

Indicador	Anos Cíveis	Períodos Secos	Períodos Úmidos
Período analisado	1983–2023	1983–2023	1983–2023
Período analisado	1983–2023	1983–2023	1983–2023
Quant, de Dados da Série Analisada	41	41	41
Valor mínimo	11,26 mm/dia	4,83 mm/dia	12,77 mm/dia
Mediana (2º Quartil)	16,69 mm/dia	10,47 mm/dia	17,41 mm/dia
Média	16,47 mm/dia	10,86 mm/dia	17,14 mm/dia
Valor Máximo	21,12 mm/dia	17,59 mm/dia	21,58 mm/dia
Desvio Padrão	2,25	2,97	2,5
Regressão Linear – Coef, angular (variação por ano)	+0,0338 mm/dia/ano – aumento pequeno (não significativo)	(-0,023126) mm/dia/ano – redução pequena (não significativa)	+0,00997 mm/dia/ano – aumento muito pequeno (não significativo)
Aumento em 41 anos	1,386 mm/dia	(-0,948 mm/dia)	0,4088 mm/dia
Varição percentual com relação à média total do segmento analisado	(+8,41%)	(-8,73%)	(+2,38%)
Teste Shapiro-Wilk	Resíduos normais	Resíduos normais	Resíduos normais
Teste Anderson-Darling	Resíduos normais	Resíduos normais	Resíduos normais
Kolmogorov-Smirnov	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada
Breusch-Pagan	Homocedasticidade confirmada	Homocedasticidade confirmada	Homocedasticidade confirmada
White	Homocedasticidade confirmada	Homocedasticidade confirmada	Homocedasticidade confirmada
Durbin-Watson	Resíduos independentes	Resíduos independentes	Resíduos independentes
Mann-Kendall	Sem tendência significativa	Sem tendência significativa	Sem tendência significativa
Sen's Slope	0,03460 mm/dia/ano, Sem inclinação significativa (IC inclui zero)	0,03866 mm/dia/ano, Sem inclinação significativa (IC inclui zero)	0,01677 mm/dia/ano, Sem inclinação significativa (IC inclui zero)

Indicador	Anos Civos	Períodos Secos	Períodos Úmidos
Alteração em 41 anos pelo Sen's Slope	1,442 mm/dia	(-1,59 mm/dia)	(+0,6876)
Varição percentual com relação à média total do segmento analisado	(+8,61%)	(-14,60%)	(+4,01%)
Teste de Pettitt	Nenhuma mudança significativa detectada	Nenhuma mudança significativa detectada	Nenhuma mudança significativa detectada
Spearman	Sem correlação significativa com o tempo	Sem correlação significativa com o tempo	Sem correlação significativa com o tempo
BFAST	Nenhuma mudança estrutural detectada	Nenhuma mudança estrutural detectada	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo	Aumento sistemático ao longo do tempo, embora fraco	Pequeno aumento até 2017 e tendência de redução após 2017	Pequeno aumento ao longo do tempo
CUSUM Recursivo – Coef, angular	+0,020 (tendência de aumento)	+0,008 (tendência de aumento)	+0,012 (tendência de aumento)
CUSUM Tradicional – Tendência de AUMENTO	Detectada	Detectada	Detectada
CUSUM Tradicional – Tendência de DIMINUIÇÃO	Detectada	Detectada após 2017	Não detectada
Changepoint – Mudança na Média	Mudança em 2020 (média passou de 16,305 → 18,157 mm/dia),	Mudanças em 2012, 2013, 2014, 2017 (médias variando entre 11,012 e 8,832 mm/dia)	Nenhuma mudança significativa até 2022, quando nova média = 13,463 mm/dia
Changepoint – Mudança na Variância	Nenhuma detectada	Nenhuma detectada	Nenhuma detectada
Changepoint – Média + Variância	Mudança mais significativa em 2022 (19,779 mm/dia)	Mudança mais significativa em 2022 (7,107 mm/dia)	Mudança mais significativa em 2022. (13,463 mm/dia)

4.9.3.5 Quantidade de Dias de Chuva e Precipitação Acumulada



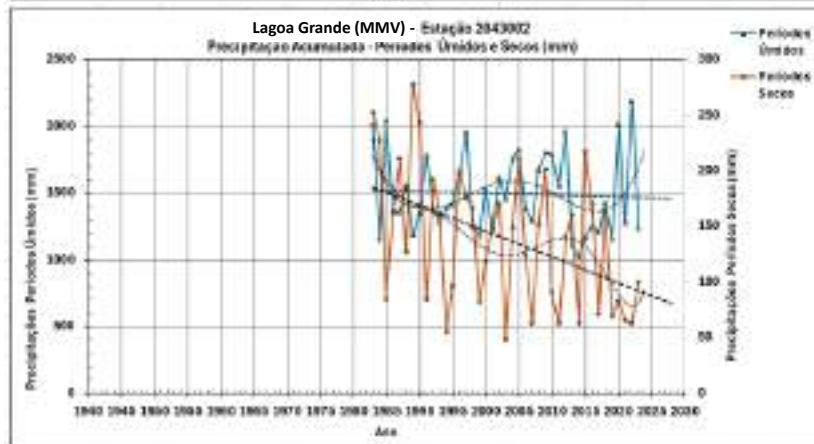
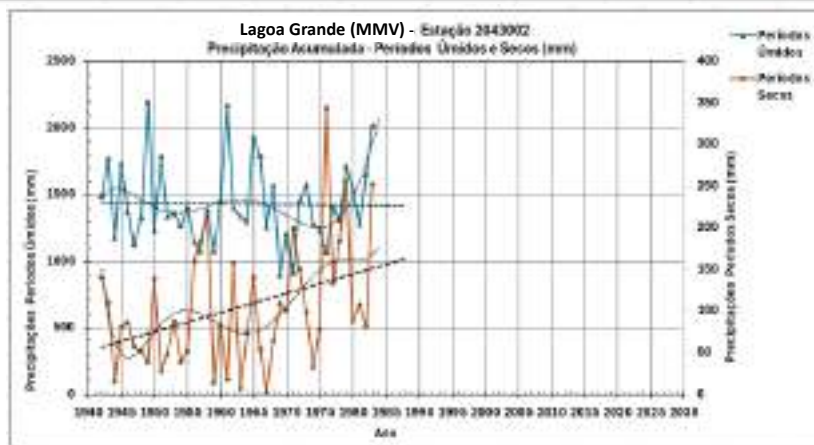
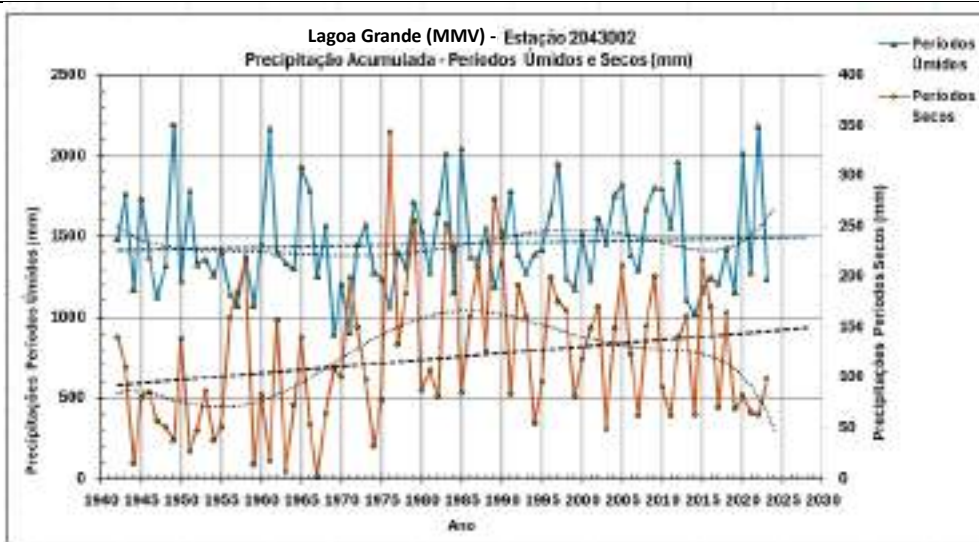


Para comparação, são incluídos nesse gráfico a quantidade de dias de chuva dos períodos secos e dos períodos úmidos, evidenciando-se, assim, no gráfico da série completa, tendência geral de aumento da quantidade de dias de chuva nos períodos secos e a de uma pequena redução da quantidade nos períodos úmidos. Ademais, ao se adotar uma regressão polinomial para a série completa, nota-se a presença de ciclos mais longos, com amplitudes maiores de variações, nos últimos 40 anos, tanto dos valores dos períodos secos dos valores dos períodos úmidos.

A segmentação da série em dois períodos (de 1941 a 1983, de 1983 a 2023), mostra, para os períodos úmidos, redução menos pronunciada da quantidade de dias de precipitação no primeiro segmento e mais pronunciada no segundo, confirmando que a quantidade de dias de chuvas dos períodos úmidos tem se reduzido desde 1940.

Para os períodos secos, o primeiro segmento apresenta tendência de aumento da quantidade de dias de precipitação, mas nos últimos 40 anos observa-se uma tendência bastante forte de redução da quantidade de dias de chuva no período seco do ano.

A interpretação desses resultados demanda a consideração conjunta da quantidade de dias de chuva e dos valores acumulados de precipitação, o que é feito a seguir.



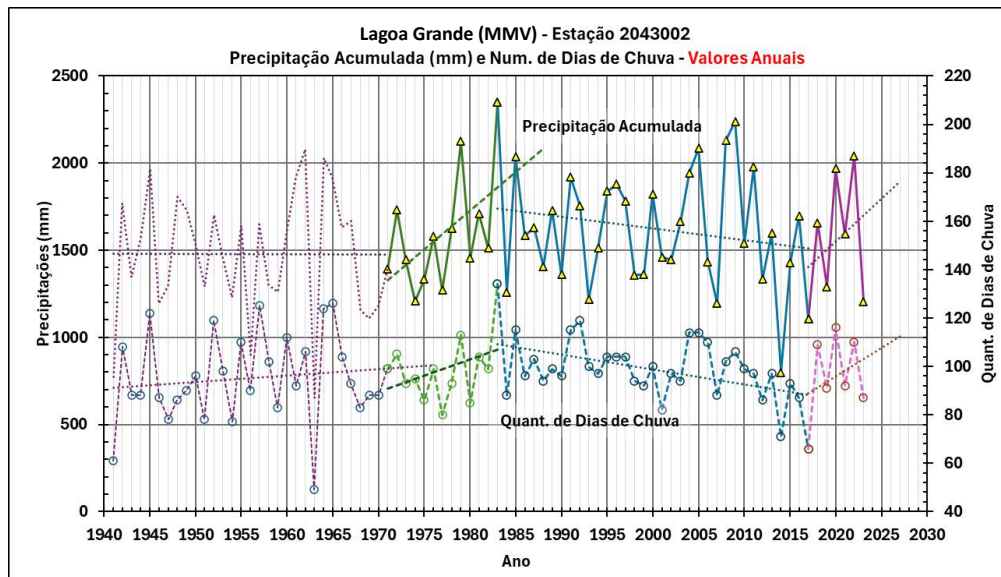
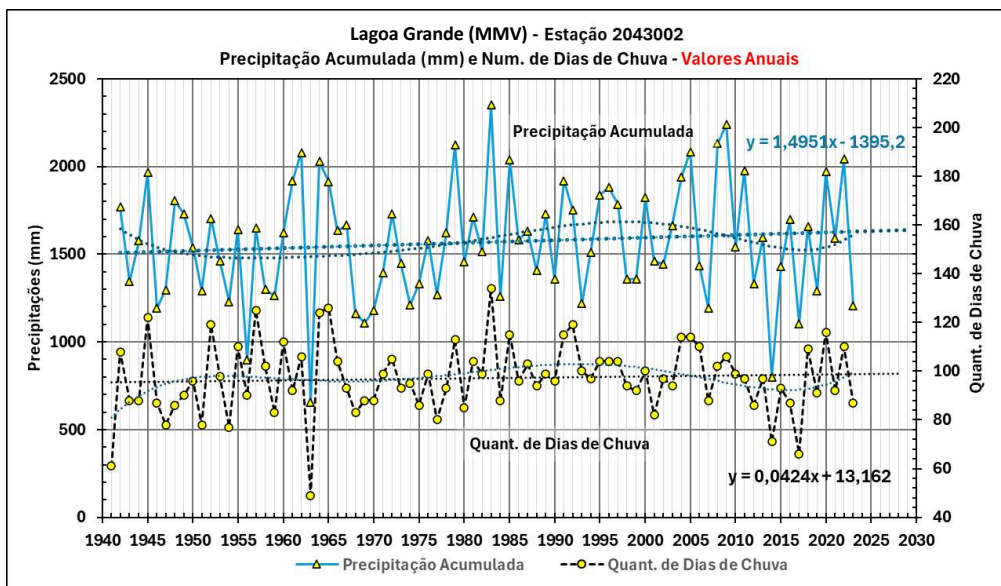
Para comparação, são incluídos nesse gráfico os valores de precipitação acumulada dos períodos secos e dos períodos úmidos, evidenciando-se, assim, no gráfico da série completa, tendência geral de ligeiro aumento das precipitações acumuladas nos períodos úmidos e de um aumento maior nos períodos secos.

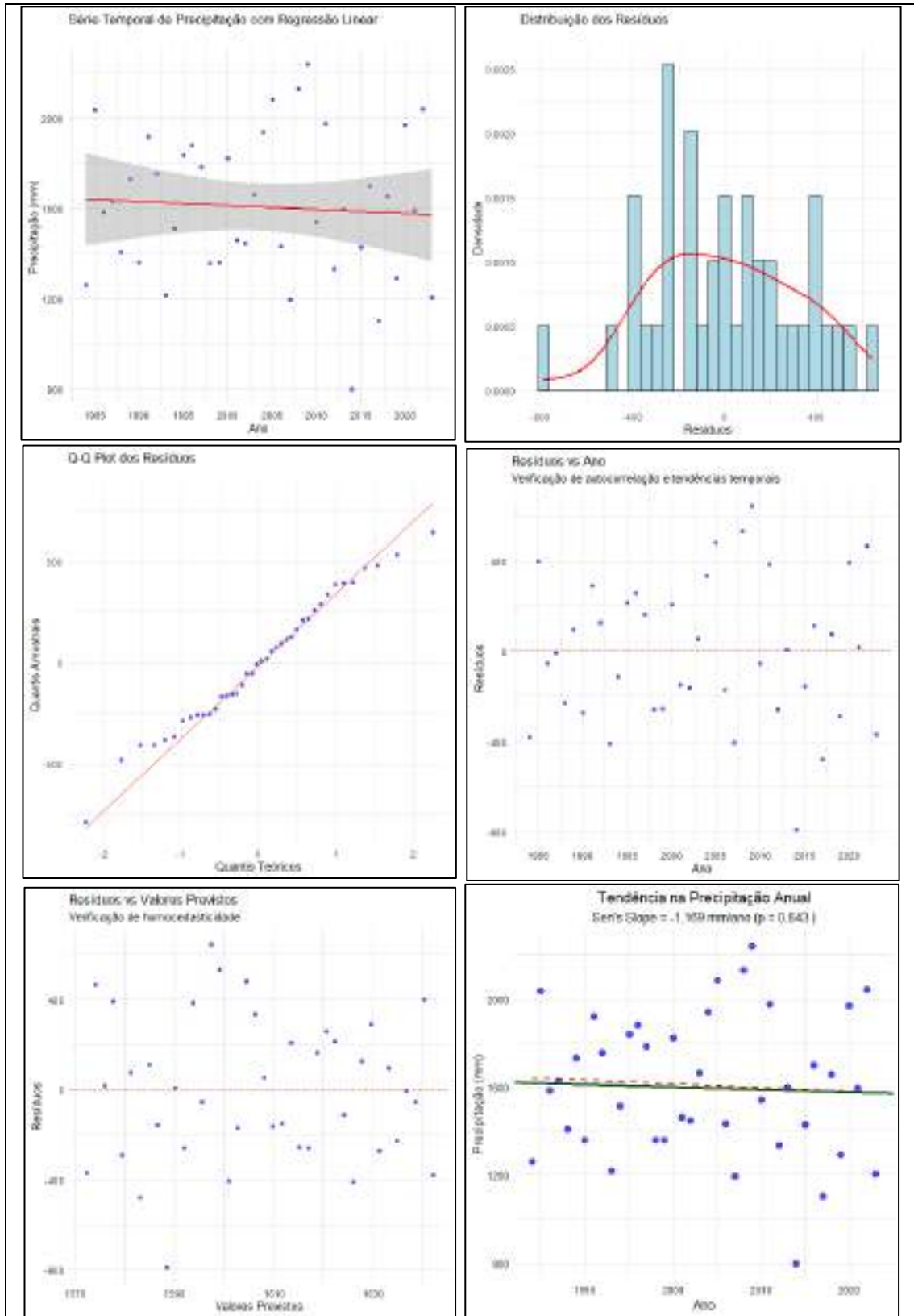
Ao se adotar uma regressão polinomial para a série completa, nota-se a presença de ciclos mais longos, com amplitudes maiores de variações, nos últimos 40 anos, tanto dos valores dos períodos secos dos valores dos períodos úmidos. A curva de regressão polinomial dos períodos úmidos evidencia uma menor variação das precipitações acumuladas ao longo dos 83 anos da série, com um crescimento nos últimos quatro anos da série. A curva de regressão polinomial dos períodos secos mostra uma acentuada variação das precipitações acumuladas

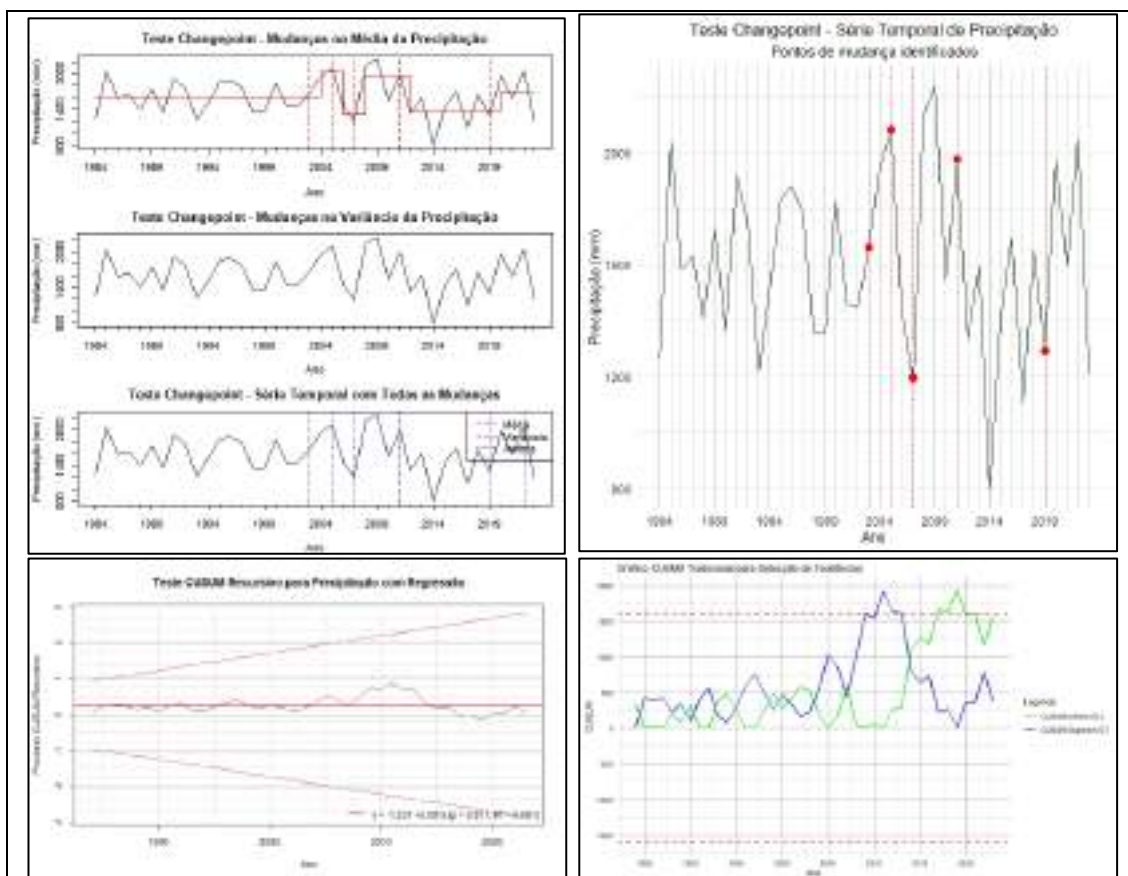
ao longo dos 83 anos da série e uma redução contínua e notável das precipitações acumuladas dos períodos secos.

A segmentação da série em dois períodos (de 1941 a 1983, de 1983 a 2023), mostra, para os períodos úmidos, uma pequena redução da quantidade de dias de precipitação nos dois períodos, confirmando que a precipitação acumulada dos períodos úmidos tem se reduzido ligeiramente desde 1940.

Para os períodos secos, o primeiro segmento apresenta tendência de forte aumento das precipitações acumuladas, mas nos últimos 40 anos observa-se uma tendência bastante forte de redução das precipitações acumulada no período seco do ano.







Lagoa Grande – Valores Anuais de Precipitação Acumulada (Anos Cívicos: 1984 - 2023)	Resultados
Período analisado:	1984 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	40
Valor mínimo:	799,20 (em 2014)
1º Quartil:	1360,62
Mediana (2º Quartil):	1594,75
Média:	1607,12
3º Quartil:	1848,33
Valor Máximo:	2239,10 (em 2009)
Variância:	103536.58
Desvio Padrão:	321.77
Regressão Linear	
Equação da reta:	Precipitação = $-1.791857e+00 * \text{tempo} + 5197$
Coefficiente angular (variação por ano):	-1.791857
p-valor do coeficiente angular:	6.9e-01
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	(-10.81, 7.228)
R ² do modelo:	0.004238144
Interpretação:	Há evidências de redução na precipitação ao longo do tempo, com -1,7919 mm a menos na precipitação média anual, por ano da série (-71,67 mm em 40 anos, -4,46% da média total da série de 1607,12 mm/ano).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos	W = 0.9846 p-valor = 8.51e-01
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos	A = 0.2222 p-valor = 8.17e-01
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos:	D = 0.08073 p-valor = 0.938
Interpretação:	

	Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 2.4291 p-valor = 1.19e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 1.8364 p-valor = 1.75e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 2.1217 p-valor = 5.87e-01 Resíduos independentes (não autocorrelacionados)
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = -0.02308 p-valor = 0.843) Não há evidência de tendência significativa
Sen's Slope: Intervalo de Confiança 95%: Interpretação:	Inclinação = -1,168531 p-valor = 0.84299 (p > 0.05) IC95% = (-10.88 , 9.387) Não há evidências de tendência estatisticamente significativa (p ≥ 0.05, IC95% inclui zero)
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 102 p-valor = 0.7723 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.05047 p-valor = 0.7571 Não há correlação significativa com o tempo
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta: Coeficiente angular: R ² da regressão: Valor-p Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO Interpretação:	<p>– $y = -1.237 + 0.001x$ (ver reta vermelha no gráfico)</p> <p>– +0.001 (positivo: Indica praticamente nenhum aumento nos valores de precipitação ao longo do tempo).</p> <p>– 0.001 (valor de R2 muito pequeno, ausência de ajuste</p> <p>– 0,817</p> <p>– 1608.86</p> <p>– detectada (C* > H)</p> <p>– detectada (C* > H)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Curva predominantemente acima de zero e com tendência de crescimento até 2012; tendência de redução a partir desse ano: • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes.
CUSUM Tradicional	<p>A curva C- oscila entre zero e 1608 mm, sempre abaixo da banda superior até 2011, quando começa a se elevar e passa acima dessa banda em 2018 e logo a seguir retorna para o patamar abaixo da banda superior.</p> <p>A curva C+ (azul) oscila entre zero e 1608 mm, sempre abaixo da banda superior até 2004, quando começa a se elevar e passa acima dessa banda em 2012 e logo a seguir retorna para o patamar abaixo da banda superior.</p>
Changepoint: Análise de Mudança na Média:	<p>Mudanças detectadas nos anos: 2003, 2005, 2007, 2011, 2019</p> <p>– Período 1984-2003: Média = 1601.14 mm</p> <p>– Período 2003-2005: Média = 1896.433 mm</p> <p>– Período 2005-2007: Média = 1570.9 mm</p> <p>– Período 2007-2011: Média = 1816.44 mm</p> <p>– Período 2011-2019: Média = 1432.1 mm</p> <p>– Período 2019-2023: Média = 1620.44 mm</p> <p>–</p>
Análise de Mudança na Variância:	Nenhuma mudança significativa na variância detectada.
Análise de Mudança na Média e na Variância:	<p>– Mudança mais significativa detectada em: 2022</p> <p>– Nova média: 1206.5 mm</p>

– Nova variância: NA mm

Para permitir uma comparação mais direta, esses gráficos incorporam tanto a curva dos valores anuais de precipitação acumulada quanto a da quantidade de dias de chuva de cada ano e ambas, em geral, apresentam tendências semelhantes: tanto as tendências de crescimento quanto as de redução, sejam da série completa ou de segmentos dessa série, estão correlacionadas, de forma que o aumento das precipitações é acompanhado do aumento dos dias de chuva, o mesmo ocorrendo com a redução, embora esses aumentos e reduções não ocorram em proporções semelhantes, ou seja, o aumento das precipitações pode ser mais acentuado que o da quantidade de dias de chuva, resultando em aumento da média diária.

Portanto, como se verá em conjunto de gráficos mais abaixo, a similaridade de tendências, no entanto, não implica em manutenção da estabilidade dos valores médios diários de precipitação, valor esse calculado dividindo-se a precipitação acumulada de cada ano pela quantidade de dias de chuva do mesmo ano.

As tendências apontadas podem ser observadas tanto no gráfico da série completa quanto no dos quatro segmentos (1941 a 1970, 1971 a 1982, 1983 a 2016 e 2017 a 2023).

Características Gerais da Série

A série de precipitação acumulada anual em Lagoa Grande, referente ao período de 1984 a 2023 (40 anos), apresenta valores entre 799,2 mm (2014) e 2239,1 mm (2009), com média de 1607,1 mm, mediana de 1594,8 mm e dispersão relativamente alta (desvio-padrão = 321,8 mm; variância = 103.537 mm²).

Os quartis (Q1 = 1360,6 mm; Q3 = 1848,3 mm) revelam que 50% dos valores se concentram em torno da média, mas com episódios expressivos de extremos, tanto de secas severas como de anos muito chuvosos.

Esses resultados indicam uma série com comportamento médio robusto, mas sujeita a variabilidade interanual acentuada.

Regressão Linear:

A regressão linear ajustada indicou coeficiente angular negativo (-1,79 mm/ano), o que corresponderia a uma redução acumulada de cerca de 71,7 mm em 40 anos (-4,5% da média da série).

Contudo, esse resultado não é estatisticamente significativo ($p = 0,69$; IC95% = -10,81 a 7,23 mm/ano; inclui zero) e o modelo tem baixo poder explicativo ($R^2 = 0,0042$).

Testes de Pressupostos da Regressão:

Os pressupostos da regressão linear foram plenamente atendidos:

- os resíduos seguem distribuição normal (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, KS, $p > 0,05$);
- não há indícios de heterocedasticidade (Breusch-Pagan e White, $p > 0,1$);
- os resíduos são independentes (Durbin-Watson, $p = 0,587$)

Isso mostra que o ajuste é estatisticamente válido, mas com sinal de tendência fraca e sem significância estatística.

Testes Não-Paramétricos:

Os testes não paramétricos confirmam a ausência de tendências significativas:



Mann-Kendall ($\tau = -0,023$; $p = 0,843$) e Spearman ($\rho = -0,050$; $p = 0,757$) não rejeitam a hipótese de ausência de tendência.

O Sen's Slope estimou uma inclinação de $-1,17$ mm/ano, também não significativa ($p = 0,843$; IC95% inclui zero), reforçando a ausência de tendência clara de longo prazo.

O teste de Pettitt ($p = 0,772$) e o BFAST não identificaram pontos de ruptura relevantes.

A análise de CUSUM tradicional indicou oscilações da curva C^- e C^+ em torno da linha zero, com variações ascendentes até 2012 e redução a partir desse ano, mas sem ultrapassar de forma consistente as bandas de confiança, sinalizando que tais flutuações não são estatisticamente robustas.

Por outro lado, a análise de Changepoint revelou alternâncias na média entre períodos mais úmidos e mais secos: um aumento entre 2003–2005 (média = 1896 mm), seguido de queda em 2005–2007 (1571 mm) e nova elevação até 2011 (1816 mm), antes de uma redução expressiva no período 2011–2019 (1432 mm).

O período mais recente (2019–2023) voltou a níveis médios próximos ao geral da série (1620 mm), mas em 2022 houve queda acentuada (média = 1206 mm), sugerindo possível início de um novo regime mais seco. Nenhuma mudança significativa foi detectada na variância.

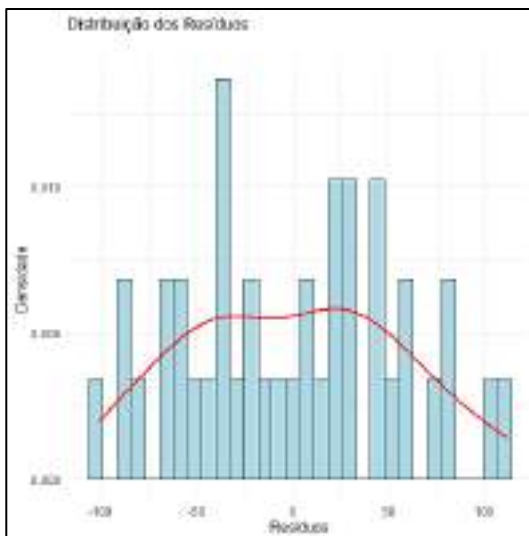
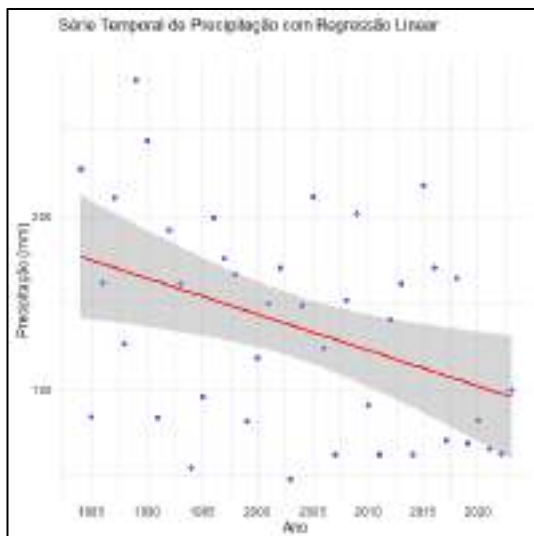
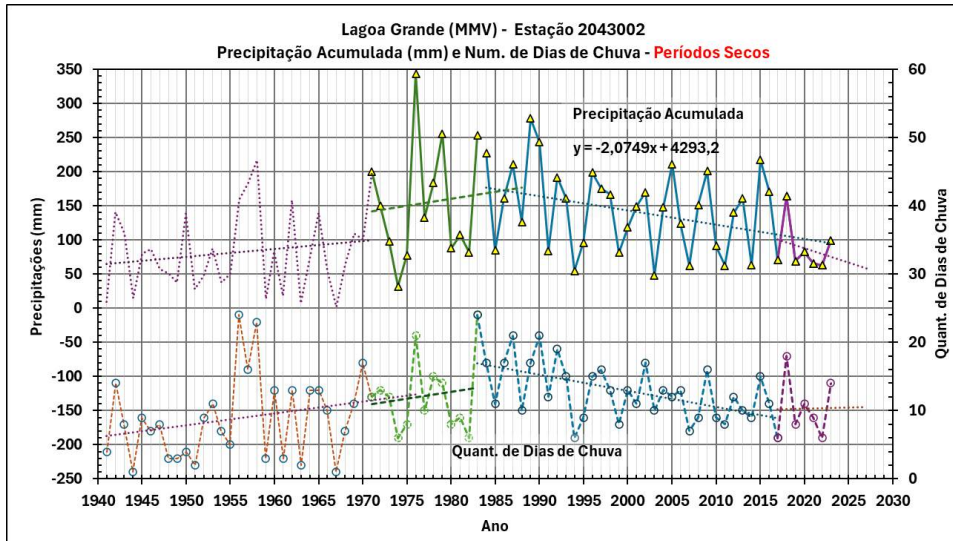
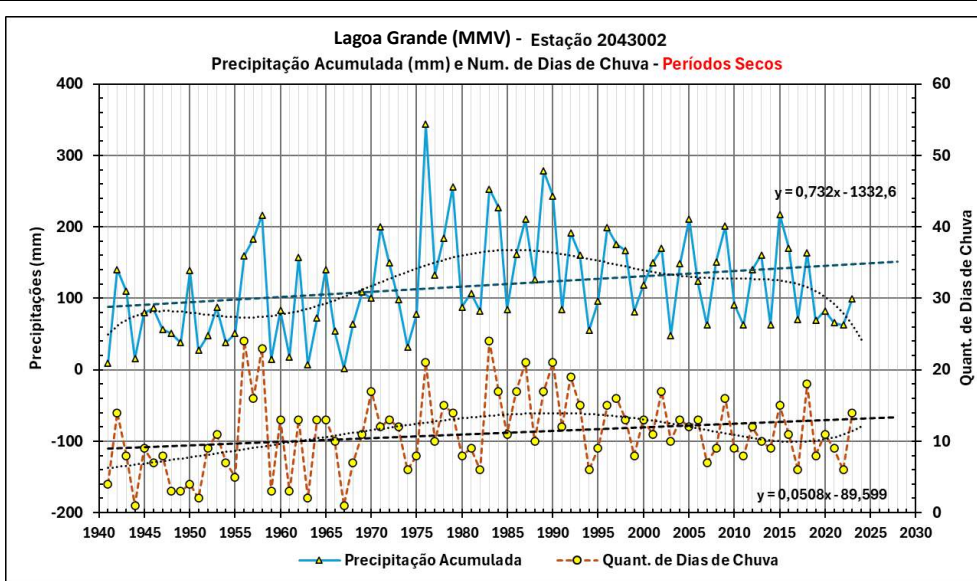
Conclusões Principais

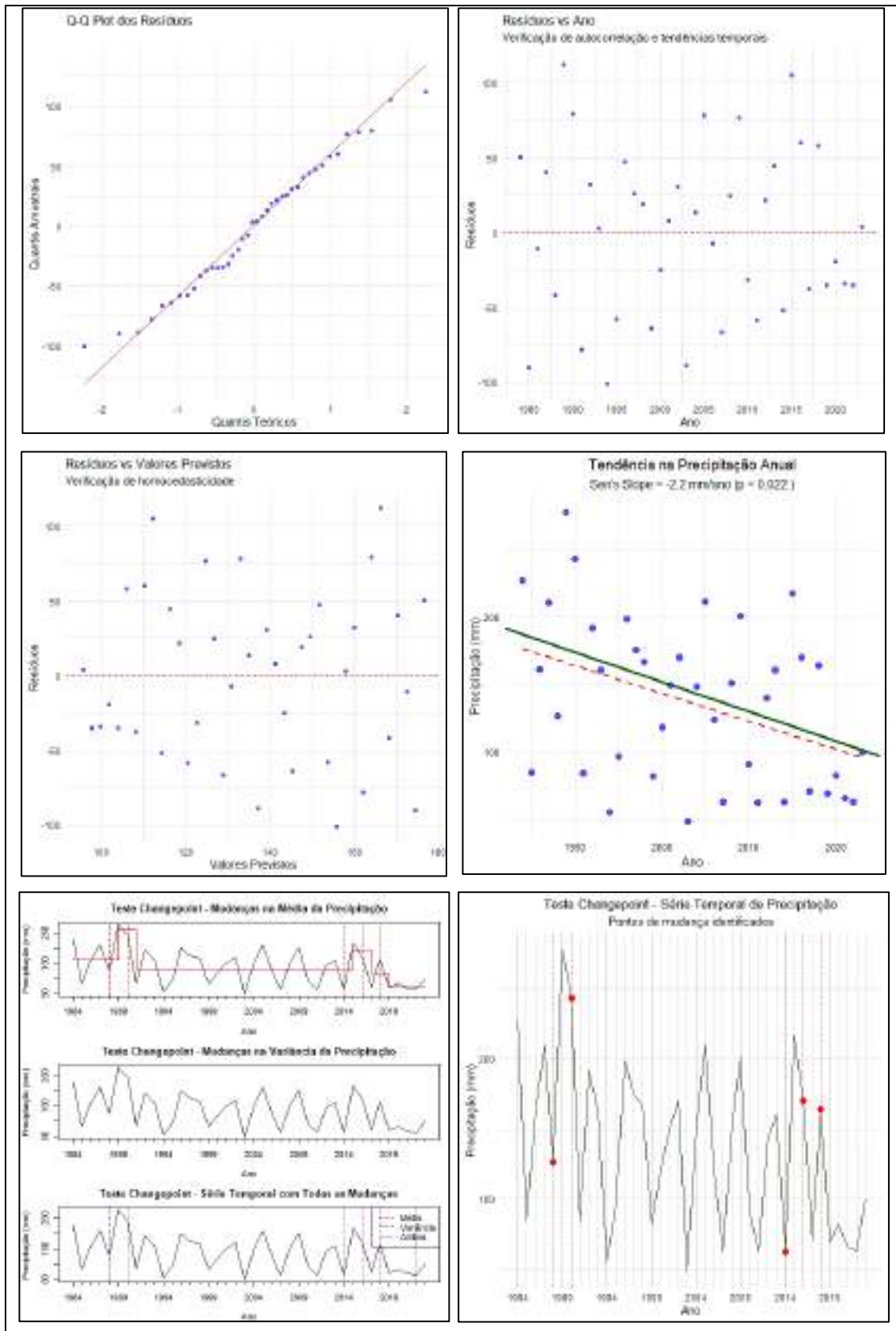
A análise da precipitação acumulada anual em Lagoa Grande (1984–2023) indica que, embora a média da série seja relativamente alta (1607 mm), a variabilidade interanual é considerável, marcada por extremos de secas e cheias.

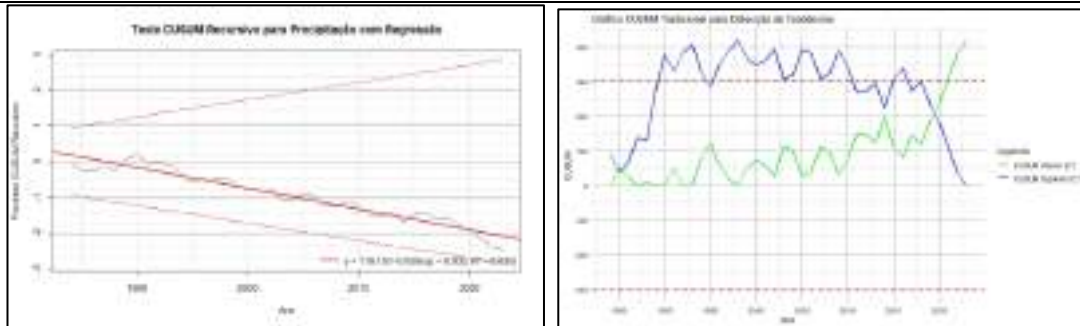
A regressão linear, o Sen's Slope e os testes de tendência não apontam mudanças estatisticamente significativas de longo prazo, embora o sinal seja levemente negativo (redução anual estimada em torno de 1–2 mm).

As oscilações identificadas pelo CUSUM e pelo Changepoint mostram que a série alternou períodos de maior e menor pluviosidade, com destaque para a redução no intervalo 2011–2019 e a forte queda em 2022.

Em síntese, a precipitação anual apresenta estabilidade de longo prazo, mas com ciclos de flutuação e risco de episódios secos marcantes, o que reforça a importância do monitoramento contínuo para antecipar impactos sobre os recursos hídricos e a segurança hídrica local.







Lagoa Grande – Períodos Secos: (1984 - 2023) – Precipitação Acumulada	Resultados
Período analisado:	1984 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	40
Valor mínimo:	48,30
1º Quartil:	82,03
Mediana (2º Quartil):	144,05
Média:	136,05
3º Quartil:	171,52
Valor Máximo:	277,90
Variância:	3675,38
Desvio Padrão:	60,62
Regressão Linear	
Equação da reta:	Precipitação = $-2.074934e+00 * \text{tempo} + 4293,2$
Coefficiente angular (variação por ano):	-2.074934
p-valor do coeficiente angular:	0.01052264
Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação:	(-3.636, -0.5142) – Não inclui 0 – Tendência estatisticamente significativa
R ² do modelo:	0.1601
Interpretação:	Há evidências de redução na precipitação ao longo do tempo, com -2,0749 mm a menos na precipitação média anual, por ano da série (-83,00 mm em 40 anos, -61,05% da média total da série de 136,05 mm/ano).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos	W = 0.9785 p-valor = 6.34e-01
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos	A = 0.2358 p-valor = 7.75e-01
Interpretação:	Resíduos seguem distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos:	D = 0.09059 p-valor = 0.8686
Interpretação:	Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade:	LM = 1.9983 p-valor = 1.57e-01
Interpretação:	Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade:	Chisq = 1.1469 p-valor = 2.84e-01
Interpretação:	Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação:	DW = 2.2133 p-valor = 6.96e-01
Interpretação:	Resíduos independentes (não autocorrelacionados)
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall:	tau = -0.2538 p-valor = 0.02172
Interpretação:	Há tendência estatisticamente significativa de redução na precipitação ($p \leq 0.05$)
Sen's Slope:	Inclinação = -2,2 p-valor = 0.02171858 ($p < 0.05$)
Intervalo de Confiança 95%:	(-3.928 , -0.34)
Interpretação:	Há evidências de tendência estatisticamente significativa ($p \geq 0.05$, IC95% não inclui zero e $p < 0,05$)

	Há evidências de redução na precipitação ao longo do tempo, com -2,2 mm a menos na precipitação média anual, por ano da série (-88,00 mm em 40 anos, -64,68% da média total da série de 136,05 mm/ano).
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 161 p-valor = 0.1868 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.3764 p-valor = 0.01668 Correlação negativa significativa com o tempo (p ≤ 0.05)
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta: Coeficiente angular: R ² da regressão: Valor-p Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO Interpretação: CUSUM Tradicional	<p>– $y = 116.150 - 0.058x$ (ver reta vermelha no gráfico)</p> <p>– +0.058 (positivo: Indica praticamente nenhum aumento nos valores de precipitação ao longo do tempo).</p> <p>– 0.93 (valor de R2 muito alto, ajuste muito bom.</p> <p>– 0,000</p> <p>– 303.12</p> <p>– detectada (C* > H)</p> <p>– detectada (C* > H)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Curva abaixo de zero em toda a série, exceto em um ponto em 1990, com tendência sistemática de redução e tendência mais pronunciada de redução a partir de 2017. • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes. <p>A curva C- oscila entre zero e 303 mm, sempre abaixo da banda superior até 2016, quando começa a se elevar e passa acima dessa banda em 2021.</p> <p>A curva C+ (azul) inicia-se próxima de 100 em 1984 e logo sobre acima do limiar superior, atingindo 400 em 1990. Permanece oscilando nesse patamar até 2011, quando passa abaixo da banda superior e atinge zero em 2023.</p>
Changepoint: Análise de Mudança na Média: Análise de Mudança na Variância: Análise de Mudança na Média e na Variância:	<p>Mudanças detectadas nos anos: 1988, 1990, 2014, 2016, 2018</p> <p>– Período 1984-1988: Média = 162 mm</p> <p>– Período 1988-1990: Média = 215.9 mm</p> <p>– Período 1990-2014: Média = 134.112 mm</p> <p>– Período 2014-2016: Média = 150.067 mm</p> <p>– Período 2016-2018: Média = 134.9 mm</p> <p>– Período 2018-2023: Média = 90.517 mm</p> <p>Nenhuma mudança significativa na variância detectada.</p> <p>– Mudança mais significativa detectada em: 2022</p> <p>– Nova média: 99,5 mm</p> <p>– Nova variância: NA mm</p>

Como no caso anterior, esses gráficos, referentes aos períodos secos de cada ano, incorporam tanto a curva dos valores de precipitação acumulada quanto a da quantidade de dias de chuva de cada ano e ambas, em geral, apresentam tendências semelhantes: tanto as tendências de crescimento quanto as de redução, sejam da série completa ou de segmentos dessa série, estão correlacionadas, de forma que o aumento das precipitações é acompanhado do aumento dos dias de chuva, o mesmo ocorrendo com a redução, embora esses aumentos e reduções não ocorram em proporções semelhantes, ou seja, o aumento das precipitações

pode ser mais acentuado que o da quantidade de dias de chuva, resultando em aumento da média diária.

As tendências apontadas podem ser observadas tanto no gráfico da série completa quanto no dos quatro segmentos (1941 a 1970, 1971 a 1982, 1983 a 2016 e 2017 a 2023).

No entanto, **é muito importante destacar** que, apesar da tendência de crescimento que se observa, nas duas curvas, no gráfico do período completo da série, os dois primeiros segmentos apresentam tendência de crescimento em ambas as curvas, mas **os dois últimos mostram tendência persistente de redução das precipitações**. O último subperíodo (2017 a 2023) apresenta redução mais acentuada ainda das precipitações e estabilidade da quantidade dias de chuva. Esse fato permite afirmar que **os períodos secos têm sido cada vez mais secos desde 1970**, o que agrava o cenário de insegurança hídrica na RMBH.

Características Gerais da Série

A série de precipitação acumulada nos períodos secos em Lagoa Grande (1984–2023; 40 anos) apresenta valores entre 48,3 mm (mínimo) e 277,9 mm (máximo), com média de 136,05 mm, mediana de 144,05 mm e distribuição assimétrica para valores menores ($Q_1 = 82,0$ mm; $Q_3 = 171,5$ mm).

O desvio-padrão é 60,6 mm (variância = 3675,4 mm²), indicando forte variabilidade relativa, já que os extremos representam proporção significativa em relação à média.

Esses resultados caracterizam um regime sazonal seco com grande instabilidade interanual.

Regressão Linear:

A regressão linear estimou um coeficiente angular de $-2,07$ mm/ano, equivalente a uma redução acumulada de -83 mm em 40 anos (-61% da média da série), com **tendência estatisticamente significativa** ($p = 0,0105$; IC95% = $-3,64$ a $-0,51$ mm/ano, não inclui zero).

Testes de Pressupostos da Regressão:

Apesar de o modelo apresentar baixo poder explicativo ($R^2 = 0,16$), todos os pressupostos da regressão linear foram atendidos:

- os resíduos seguem distribuição normal (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e KS com $p > 0,6$);
- há heterocedasticidade (Breusch-Pagan e White, $p > 0,15$);
- não existe autocorrelação (Durbin-Watson, $p = 0,696$).

Isso confere robustez estatística à indicação de tendência negativa.

Testes Não-Paramétricos:

Os testes não paramétricos reforçam a tendência de queda.

O Mann-Kendall ($\tau = -0,254$; $p = 0,0217$) aponta **tendência negativa significativa**, confirmada pelo Sen's Slope ($-2,2$ mm/ano; IC95% = $-3,93$ a $-0,34$; $p < 0,05$), indicando **redução expressiva** de -88 mm em 40 anos ($-64,7\%$ da média da série).

O teste de Spearman ($\rho = -0,376$; $p = 0,0167$) mostra **correlação negativa significativa** com o tempo, reforçando a consistência da tendência.

O teste de Pettitt ($p = 0,1868$) e o BFAST não identificaram pontos de ruptura isolados, mas a análise de CUSUM mostrou **queda contínua**, especialmente após 2017, com a curva abaixo de zero em quase todo o período e tendência mais acentuada de redução nos anos recentes.

A análise de Changepoint identificou mudanças na média em 1988, 1990, 2014, 2016 e 2018: após oscilações iniciais, a precipitação manteve média de 134 mm (1990–2014), caindo para 90,5 mm (2018–2023).

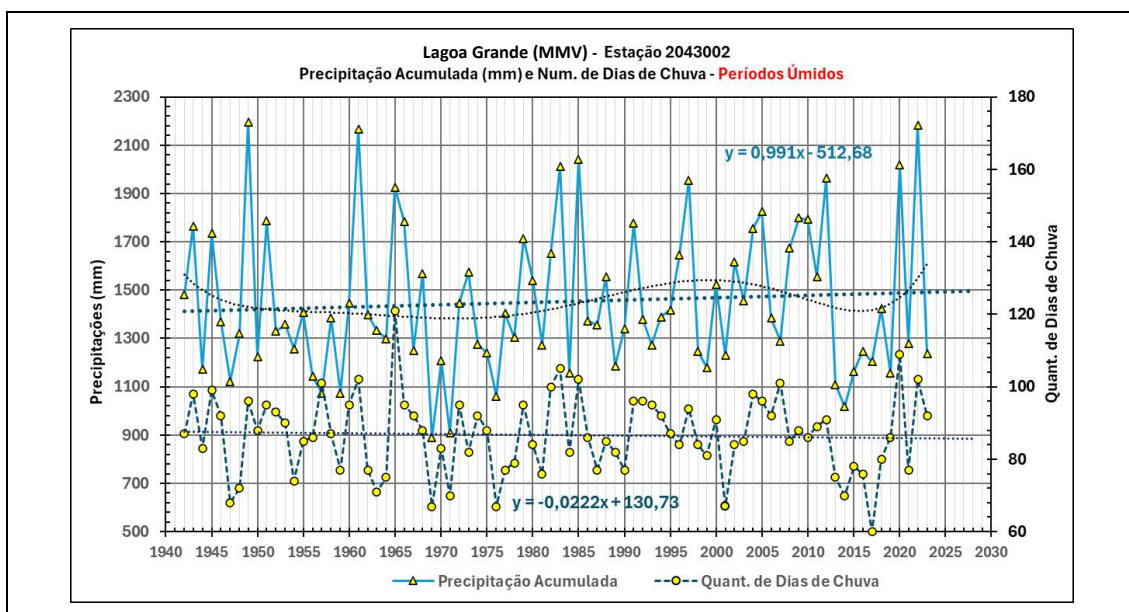
A mudança mais significativa ocorreu em 2022, com média de apenas 99,5 mm, sem alteração significativa na variância.

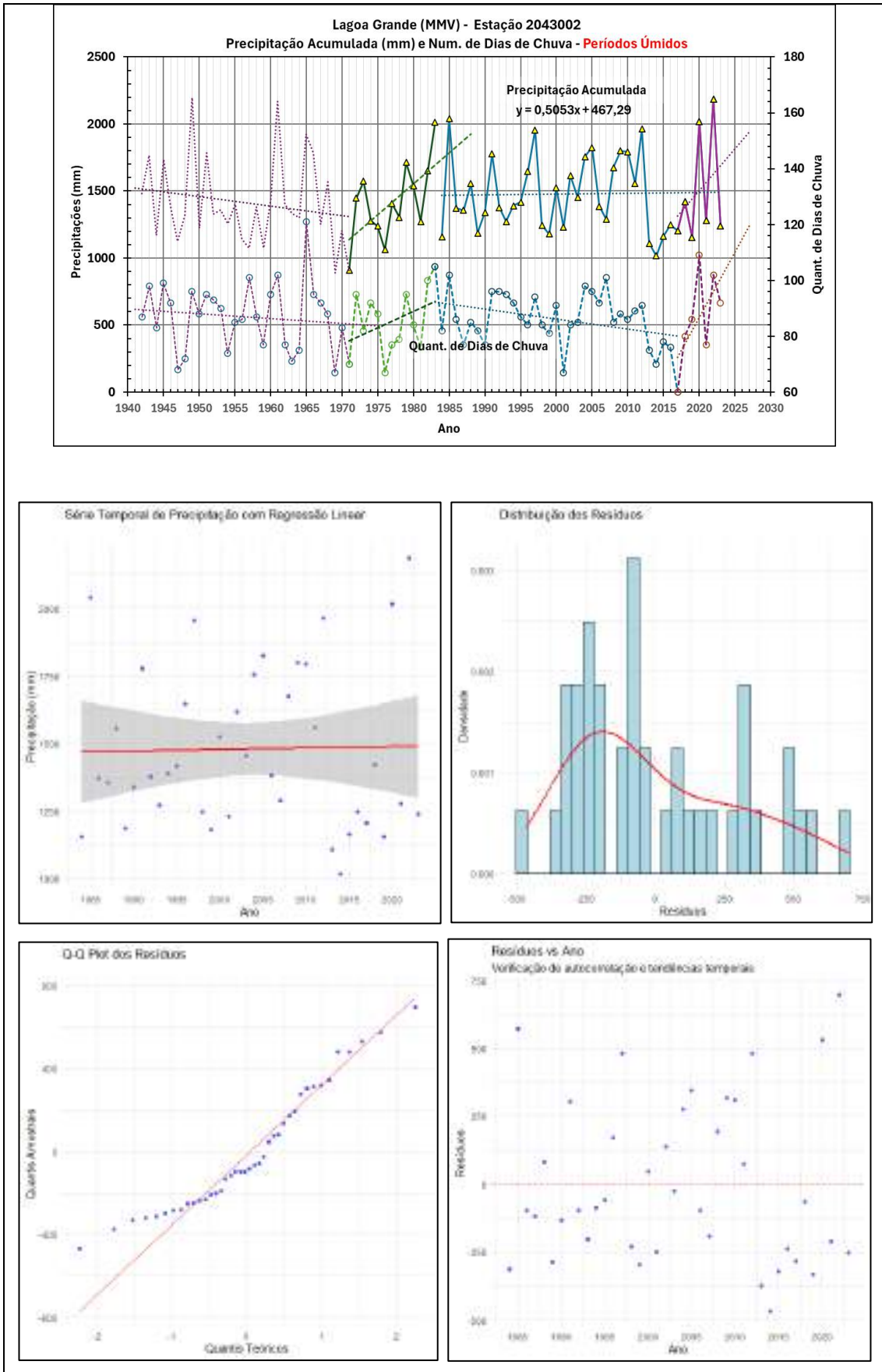
Conclusões Principais

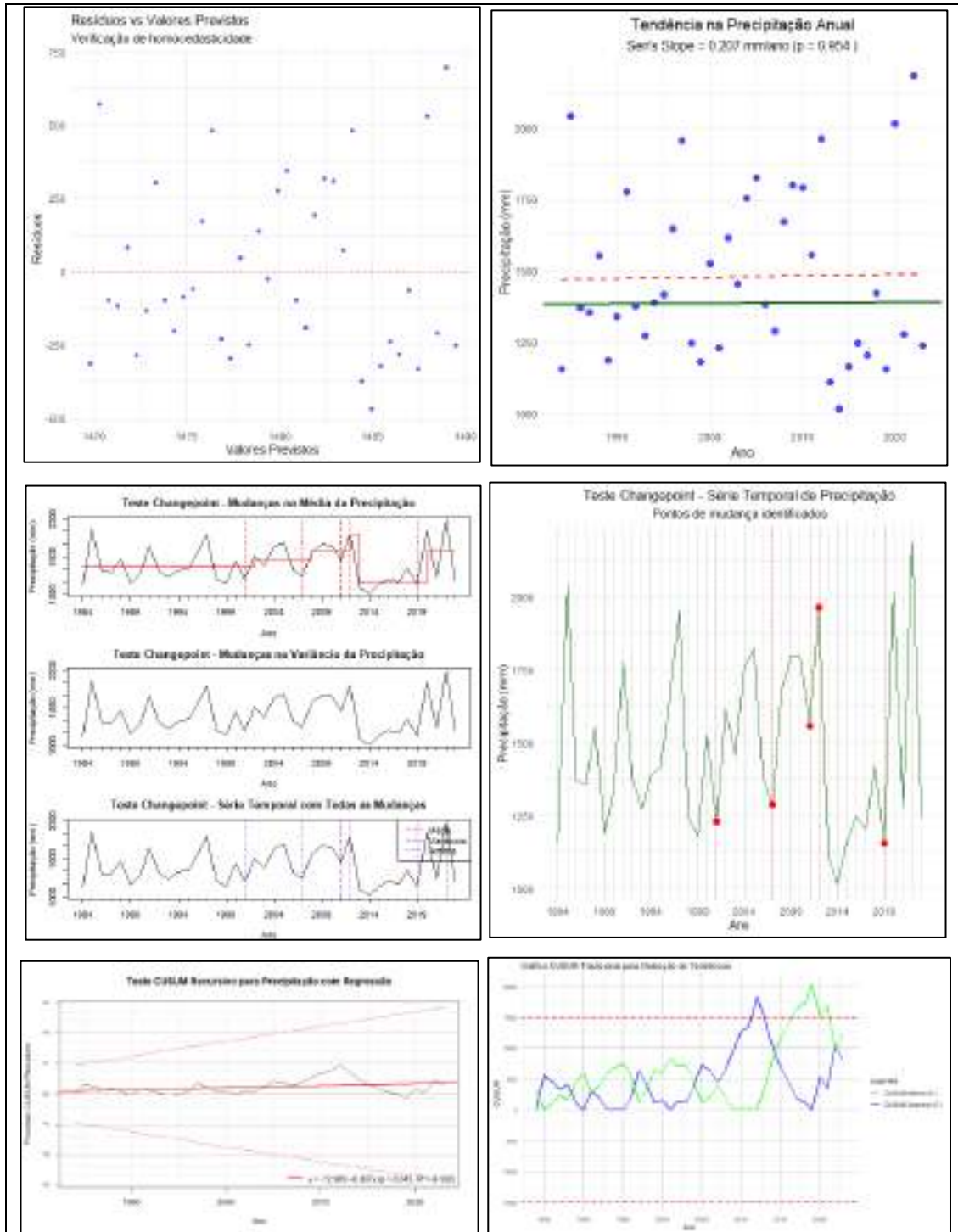
A precipitação acumulada nos períodos secos em Lagoa Grande (1984–2023) apresenta **tendência estatisticamente significativa de redução**, confirmada tanto pela regressão linear quanto pelos testes não paramétricos (Mann-Kendall, Sen's Slope e Spearman), com declínio estimado em torno de -2 mm/ano, o que representa **redução de mais de 60%** da média histórica em 40 anos.

Apesar da variabilidade interanual, evidenciada por oscilações em diferentes períodos, a análise de CUSUM e Changepoint indica uma **intensificação da queda após 2017**, culminando em valores muito baixos no período recente (2018–2023, média ≈ 90 mm; 2022 com apenas 99 mm).

Em síntese, os períodos secos em Lagoa Grande mostram tendência clara de agravamento, com redução significativa e progressiva da precipitação, elevando o risco de estiagens prolongadas e maior vulnerabilidade hídrica local.







Lagoa Grande – Períodos Úmidos: (1984 - 2023)	Resultados
Período analisado:	1984 a 2023
Quant. de Dados da Série Analisada:	40
Valor mínimo:	1017,50
1º Quartil:	1244,45
Mediana (2º Quartil):	1387,25
Média:	1479,62
3º Quartil:	1694,72
Valor Máximo:	2184,30
Variância:	89397,20
Desvio Padrão:	298,99



Regressão Linear	
Equação da reta: Coeficiente angular (variação por ano): p-valor do coeficiente angular: Intervalo de Confiança: IC95% para a inclinação: R ² do modelo: Interpretação:	Precipitação = 0,5052814*tempo + 467,29 0,5052814 0.9036922 (-7.892, 8.903) – Inclui o zero – Tendência estatisticamente não significativa 0.0003903061 Há evidências aumento na precipitação ao longo do tempo, com 0,5053 mm a mais na precipitação média anual, por ano da série (+20,21 mm em 40 anos, - 1,37% da média total da série de 1479,62 mm/ano).
Testes de Pressupostos da Regressão:	
Teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos Interpretação:	W = 0.9343 p-valor = 2.23e-02 Resíduos NÃO seguem distribuição normal
Teste Anderson-Darling para normalidade dos resíduos Interpretação:	A = 0.9763 p-valor = 1.26e-02 Resíduos NÃO seguem distribuição normal
Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos: Interpretação:	D = 0.1509 p-valor = 0.2919 Não há evidências para rejeitar a normalidade dos resíduos
Teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade: Interpretação:	LM = 3.2534 p-valor = 7.13e-02 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de White para heterocedasticidade: Interpretação:	Chisq = 2.2097 p-valor = 1.37e-01 Variância constante (homocedasticidade)
Teste de Durbin-Watson para autocorrelação: Interpretação:	DW = 2.1281 p-valor = 5.95e-01 Resíduos independentes (não autocorrelacionados)
Testes de tendências e mudanças	
Mann-Kendall: Interpretação:	tau = 0.007692 p-valor = 0.9535 Não há evidência de tendência significativa (p > 0.05).
Sen's Slope: Intervalo de Confiança 95%: Interpretação:	Inclinação = +0,2071429 p-valor = 0.9535 (p < 0.05) (-7.2 , 10.35) Não há tendência significativa (IC95% inclui zero).
Teste de Pettitt para mudança de ponto: Interpretação:	U = 139 p-valor = 0.3416 Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Teste de Spearman: Interpretação:	rho = -0.03827 p-valor = 0.8146 Não há correlação significativa com o tempo (p > 0.05).
BFAST:	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo: Equação da reta: Coeficiente angular: R ² da regressão: Valor-p Limiar de Decisão (H): Tendência de AUMENTO Tendência de DIMINUIÇÃO Interpretação: CUSUM Tradicional	– y = -12.989 +0.007x (ver reta vermelha no gráfico) – +0,007 (positivo: Indica praticamente nenhum aumento nos valores de precipitação ao longo do tempo). – 0.102 (valor de R2 muito baixo, ajuste pequeno. – 0,045 – 1494.97 – detectada (C ⁺ > H) – detectada (C ⁺ > H) • Curva acima de zero praticamente em toda a série, exceto em um ponto em 2019; tendência de aumento entre 2002 e 2012, tendência mais forte de redução de 2012 a 2019 e posterior e, a seguir nova tendência de aumento. • Flutuações não ultrapassam as bandas de confiança: são estatisticamente insignificantes. A curva C- oscila entre zero e 1495 mm, sempre abaixo da banda superior até 2012, quando começa a se elevar e passa acima dessa banda em 2019, voltando a cair depois.

	A curva C+ (azul) oscila entre zero e 1495 mm, sempre abaixo da banda superior até 2002, quando começa a se elevar e passa acima dessa banda em 2012, voltando a cair depois.
Changepoint: Análise de Mudança na Média:	Mudanças detectadas nos anos: 2001, 2007, 2011, 2012, 2019 – Período 1984-2001: Média = 1446.022 mm – Período 2001-2007: Média = 1508.143 mm – Período 2007-2011: Média = 1622.8 mm – Período 2011-2012: Média = 1760.4 mm – Período 2012-2019: Média = 1285.75 mm – Período 2019-2023: Média = 1574.98 mm
Análise de Mudança na Variância:	Nenhuma mudança significativa na variância detectada.
Análise de Mudança na Média e na Variância:	– Mudança mais significativa detectada em: 2022 – Nova média: 1238,6 mm – Nova variância: NA mm

Como nos dois casos anteriores, esses gráficos, referentes aos períodos úmidos, incorporam tanto a curva dos valores anuais de precipitação acumulada quanto a da quantidade de dias de chuva dos períodos úmidos de cada ano.

Com relação à precipitação acumulada, a tendência da série completa dos períodos úmidos é de aumento contínuo, porém a segmentação revela tendência de redução no primeiro e no terceiro segmentos (1941 a 1970 e 1983 a 2016) e tendência de aumento no segundo e no último (1971 a 1982 e 2017 a 2023), com destaque para o mais recente. Esse fato evidencia a acentuação da variabilidade climática e o risco de eventos de chuva mais fortes durante os períodos úmidos, eventos esses associados ao aumento da média de precipitação diária.

Quanto à quantidade de dias de chuva, a tendência da série completa de períodos úmidos é de estabilidade, porém a segmentação revela, como no caso da precipitação anual acumulada, tendência de redução no primeiro e no terceiro segmentos (1941 a 1970 e 1983 a 2016) e tendência de aumento no segundo e no último (1971 a 1982 e 2017 a 2023), com destaque para o mais recente, o que reforça a tendência já observada da variabilidade climática.

Características Gerais da Série

A série de precipitação acumulada nos períodos úmidos em Lagoa Grande (1984–2023; 40 anos) apresentou valores entre 1017,5 mm (mínimo) e 2184,3 mm (máximo), com média de 1479,6 mm e mediana de 1387,3 mm, indicando distribuição levemente assimétrica com predomínio de valores acima da média histórica em alguns anos.

Os quartis (Q1 = 1244,5 mm; Q3 = 1694,7 mm) mostram dispersão moderada, enquanto a variância (89.397,2 mm²) e o desvio-padrão (299 mm) indicam elevada variabilidade interanual, com amplitudes expressivas que chegam a superar 40% da média.

Regressão Linear:

A regressão linear estimou uma inclinação de +0,51 mm/ano, o que equivaleria a um aumento de 20 mm em 40 anos (1,37% da média histórica), mas sem significância estatística ($p = 0,903$; IC95% = -7,89 a +8,90 mm/ano, inclui zero; $R^2 \approx 0,0004$).

Testes de Pressupostos da Regressão:

Quanto aos pressupostos da regressão linear, houve inconsistências:

- os testes de normalidade dos resíduos apresentaram resultados divergentes — Shapiro-Wilk ($p = 0,022$) e Anderson-Darling ($p = 0,013$) rejeitam a normalidade, enquanto o Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,292$) não a rejeita.
- Já os testes de heterocedasticidade (Breusch-Pagan e White, $p > 0,07$) confirmam homocedasticidade;
- O testes de Durbin-Watson ($p = 0,595$) indica ausência de autocorrelação.

Assim, embora o modelo seja estatisticamente robusto em termos de variância e independência, a ausência de normalidade consistente e o baixíssimo R^2 limitam a capacidade preditiva da regressão.

Testes Não-Paramétricos:

Os testes de tendência não paramétricos confirmam a ausência de sinal estatisticamente robusto:

o Mann-Kendall ($\tau = 0,0077$; $p = 0,9535$) não identifica tendência significativa, e o Sen's Slope (+0,21 mm/ano; IC95% = -7,20 a +10,35; $p = 0,9535$) reforça a ausência de tendência, já que o intervalo inclui zero.

O teste de Spearman ($\rho = -0,038$; $p = 0,815$) também não revela correlação temporal.

O teste de Pettitt ($p = 0,342$) e o BFAST não detectaram pontos de mudança significativos.

A análise de CUSUM evidenciou flutuações, com períodos de aumento (2002–2012) e de redução mais acentuada (2012–2019), seguidos por nova fase de aumento, mas sem ultrapassar as bandas de confiança de forma estatisticamente consistente.

A análise de Changepoint identificou oscilações de médias entre períodos: aumento gradual entre 1984–2012 (médias até 1760,4 mm), queda expressiva em 2012–2019 (1285,8 mm) e recuperação parcial em 2019–2023 (1575 mm).

A mudança mais significativa ocorreu em 2022, quando a média caiu para 1238,6 mm, embora sem alteração significativa da variância.

Conclusões Principais

A precipitação acumulada nos períodos úmidos em Lagoa Grande (1984–2023) não apresenta tendência estatisticamente significativa de aumento ou redução, segundo a regressão linear, Mann-Kendall, Sen's Slope e Spearman, todos indicando estabilidade ao longo das quatro décadas. Embora a análise de Changepoint revele oscilações médias importantes entre subperíodos — com destaque para a queda expressiva em 2012–2019 (-13% em relação à média geral) e recuperação parcial após 2019 —, essas mudanças não se configuram como tendências persistentes de longo prazo. Em conjunto, os resultados sugerem que, diferentemente dos períodos secos, os períodos úmidos mantêm relativa estabilidade, ainda que com flutuações interdecadais que podem refletir oscilações climáticas regionais. Assim, a vulnerabilidade hídrica local decorre menos da redução das chuvas úmidas e mais do agravamento dos períodos secos.

O seguinte quadro resume o comportamento dos dados analisados com relação à segmentação da série:



		Anuais	Per. Úmidos			Per. Secos				
Série Completa	Precip. Acum.	A	A			A				
	Quant. Dias de Chuva	E	E			A				
	Média	A	A			E				
Dois Segmentos	Precip. Acum.	A	R	R	R	A	R			
	Quant. Dias de Chuva	A	R	R	R	A	R			
	Média	E	A	A	A	R	R			
4 Segmentos	Precip. Acum.	A	A	R	A	R	A	R	A	R
	Quant. Dias de Chuva	A	A	R	A	R	A	R	A	R
	Média	R	A	A	A	R	A	R	R	A

onde:

A = Aumento R = Redução E = Estabilidade

Conclusões da Análise Precipitação Acumulada x Quantidade de Dias de Chuva

1. Observações sobre os valores médios de precipitação dos dias de chuva;

- a precipitação acumulada anual e a quantidade de dias de chuva apresentam tendências semelhantes, ou seja, quando há aumento na precipitação, há também aumento ou estabilidade nos dias de chuva, e vice-versa. No entanto, essas mudanças não ocorrem em proporções iguais, podendo haver um aumento mais acentuado na precipitação em relação aos dias de chuva, resultando em um aumento da média diária de precipitação.
- os aumentos na precipitação podem ser mais acentuados do que os aumentos nos dias de chuva, resultando em um aumento da média diária de precipitação;

2. Observações gerais resultantes da análise, em separado, dos valores anuais de **quatro segmentos** da série: de 1941 a 1971, 1971 a 1983, 1983 a 2017 e 2017 a 2023:

1941 a 1970:

- período marcado por grande variabilidade climática, com oscilações fortes na precipitação;
- tendência de redução na média de precipitação diária, resultado de uma estabilidade da precipitação acumulada anual e um aumento da quantidade de dias de chuva, ou seja, redução da intensidade das chuvas diminuiu.

1971 a 1982:

- Tendência de aumento acentuado na média de precipitação diária devido ao aumento da precipitação acumulada anual em proporção maior do que o aumento da quantidade de dias de chuva. Indica que, nesse período, as chuvas foram mais intensas, mesmo com um número crescente de dias de chuva.

1983 a 2016:

- Tendência de redução da precipitação acumulada anual menor do que a de redução na quantidade de dias de chuva, resultando em um aumento da média diária, ou seja, embora chovesse menos dias, a intensidade das chuvas aumentou.

2017 a 2023:

- Comportamento similar ao período de 1971 a 1982. A tendência de aumento da precipitação acumulada anual foi proporcionalmente maior do que a de aumento da quantidade de dias de chuva, resultando em aumento na média de precipitação diária, indicando que as chuvas têm sido mais intensas nesse período recente.



3. Observações sobre a análise dos dados de precipitação ao longo de 83 anos e dos segmentos segmentados:

1. Considerando-se a **série completa (83 anos)**, observa-se:
 - **Ano completo:** aumento das precipitações acumuladas ao longo do ano, combinado com uma estabilidade (ou tendência pequena de aumento) na quantidade de dias de chuva, resultando em um aumento da média diária de precipitação, ou seja, aumento da intensidade das chuvas.
 - **Períodos úmidos:** tendências similares às do ano completo.
 - **Períodos secos:** aumento das precipitações acumuladas ao longo do ano, combinado com aumento na quantidade de dias de chuva, resultando em uma estabilidade da média diária de precipitação.
2. Dividindo-se a série em **dois segmentos** iguais, de 41,5 anos cada, observa-se que:
 - a quantidade de dias de chuvas e a precipitação acumulada dos **Anos Cívicos** tiveram, ambas, tendências de aumento no primeiro segmento e de redução no segundo, resultando em média estável no primeiro segmento crescentes no segundo.
 - a quantidade de dias de chuvas e a precipitação acumulada dos **períodos úmidos** têm se reduzido desde o início da série, porém em proporções distintas, resultando em um aumento da precipitação média dos dias de chuva desde 1940.
 - a quantidade de dias de chuvas e a precipitação acumulada dos **períodos secos** dos últimos 40 anos têm se reduzido acentuadamente, porém em proporções distintas, resultando em uma redução precipitação média dos dias de chuva; a tendência dos 40 anos anteriores era de aumento da precipitação acumulada e da quantidade de dias de chuva, porém com redução da média diária.
3. Dividindo-se a série em **quatro segmentos**, observa-se que:
 - para o **ano completo**, a quantidade de dias de chuvas e a precipitação acumulada tiveram tendência de aumento no primeiro, segundo e último segmento, com tendência de redução apenas no terceiro. As médias diárias reduziram-se apenas no primeiro segmento e tiveram tendência de aumento nos demais, indicando aumento da intensidade de chuvas desde 1971.
 - para os **períodos úmidos**, a quantidade de dias de chuvas e a precipitação acumulada tiveram forte tendência de aumento no segundo e quarto segmentos, com tendência de redução no primeiro e terceiro. As médias diárias reduziram-se no primeiro e no quarto e aumentaram no segundo e terceiro.
 - para os **períodos secos**, a quantidade de dias de chuvas e a precipitação acumulada tiveram tendência de aumento no primeiro e segundo segmentos, com tendência de redução nos dois últimos. As médias diárias reduziram-se no primeiro e último segmento e aumentaram segundo e no terceiro.

Isso indica que no período úmido do ano as chuvas têm se tornado mais intensas, sugerindo um maior risco de eventos extremos, como enchentes e desastres relacionados a chuvas fortes, enquanto os períodos secos apresentam uma redução acentuada na precipitação acumulada, na quantidade de dias de chuva e nos valores médios da precipitação dos dias de chuva, o que resulta em maior severidade das secas.

Essas tendências destacam a acentuação da variabilidade climática e a necessidade de medidas adaptativas para lidar com os impactos das mudanças climáticas, como a gestão de recursos hídricos e a prevenção de desastres naturais.

Tabela-Resumo da Análise da Série Histórica de 1984 a 2023 da Lagoa Grande (MMV) – Precipitação Acumulada (mm/ano)

Indicador	Valores Anuais (1984–2023)	Períodos Secos (1984–2023)	Períodos Úmidos (1985–2023)
Indicador	Valores Anuais	Períodos Secos	Períodos Úmidos
Período analisado	1984–2023	1984–2023	1984–2023
Quant. de Dados da Série Analisada	40	40	40
Valor mínimo	799,20 (em 2014)	48,3	1017,5
Mediana (2º Quartil)	1594,75	144,05	1387,25
Média	1607,12	136,05	1479,62
Valor Máximo	2.239,10 (em 2009)	277,9	2184,3
Desvio Padrão	321,77	60,62	298,99
Regressão Linear – Coef. angular (variação por ano)	(–1,7919 mm/ano) – não significativo	(–2,075 mm/ano) – significativo	(+0,5053 mm/ano) – não significativo
Aumento em 40 anos	(–71,67 mm)	(–83,00 mm)	(+20,21 mm)
Variação percentual com relação à média total do segmento analisado	(–4,46%)	(–61,05%)	(+1,37%)
Teste Shapiro–Wilk	Resíduos normais	Resíduos normais	Resíduos não normais
Teste Anderson–Darling	Resíduos normais	Resíduos normais	Resíduos não normais
Kolmogorov–Smirnov	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada	Normalidade não rejeitada
Breusch–Pagan	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)
White	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)	Variância constante (homocedasticidade)
Durbin–Watson	Resíduos independentes	Resíduos independentes	Resíduos independentes
Mann–Kendall	Sem tendência significativa	Há tendência estatisticamente significativa de redução	Sem tendência significativa
Sen’s Slope	(–1,1685 mm/ano) – sem inclinação significativa (IC95% = –10,88; 9,387)	(–2,200 mm/ano) – significativa (IC95% = –3,928; –0,34)	(+0,2071 mm/ano) – sem inclinação significativa (IC95% = –7,20; 10,35)
Alteração em 40 anos pelo Sen’s Slope	(–46,74 mm)	(–88,00 mm)	(+8,29 mm)
Variação percentual com relação à média total do segmento analisado	(–2,91%)	(–64,68%)	(+0,56%)
Teste de Pettitt	Nenhum ponto de mudança significativo detectado	Nenhum ponto de mudança significativo detectado	Nenhum ponto de mudança significativo detectado
Spearman	Sem correlação significativa	Tendência negativa significativa	Sem correlação significativa
BFAST	Nenhuma mudança estrutural detectada	Nenhuma mudança estrutural detectada	Nenhuma mudança estrutural detectada
CUSUM Recursivo	Curva acima de zero até ~2012; depois redução; flutuações pequenas e insignificantes	Curva abaixo de zero praticamente em toda a série; redução contínua, mais forte após 2017	Curva acima de zero quase toda a série; aumento (~2002–2012), queda (2012–2019) e nova alta; flutuações insignificantes



Indicador	Valores Anuais (1984–2023)	Períodos Secos (1984–2023)	Períodos Úmidos (1985–2023)
CUSUM Recursivo – Coef. angular	(+0,001)	(–0,058)	(+0,007)
CUSUM Tradicional – Tendência de AUMENTO	Detectada ($C^+ > H$)	Detectada ($C^+ > H$)	Detectada ($C^+ > H$)
CUSUM Tradicional – Tendência de DIMINUIÇÃO	Detectada ($C^- > H$)	Detectada ($C^- > H$; mais pronunciada após 2017)	Detectada ($C^- > H$; sobretudo 2012–2019)
Changepoint – Mudança na Média	2003, 2005, 2007, 2011, 2019; médias entre 1.432,10 e 1.896,43 mm/ano	1988, 1990, 2014, 2016, 2018; médias entre 90,52 e 215,90 mm/ano	2001, 2007, 2011, 2012, 2019; médias entre 1.285,75 e 1.760,40 mm/ano
Changepoint – Mudança na Variância	Nenhuma mudança significativa	Nenhuma mudança significativa	Nenhuma mudança significativa
Changepoint – Média + Variância	Mudança mais significativa em 2022 – (nova média: 1.206,5 mm)	Mudança mais significativa em 2022 – (nova média: 99,5 mm)	Mudança mais significativa em 2022 – (nova média: 1.238,6 mm)

4.9.4 Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade – Frequências

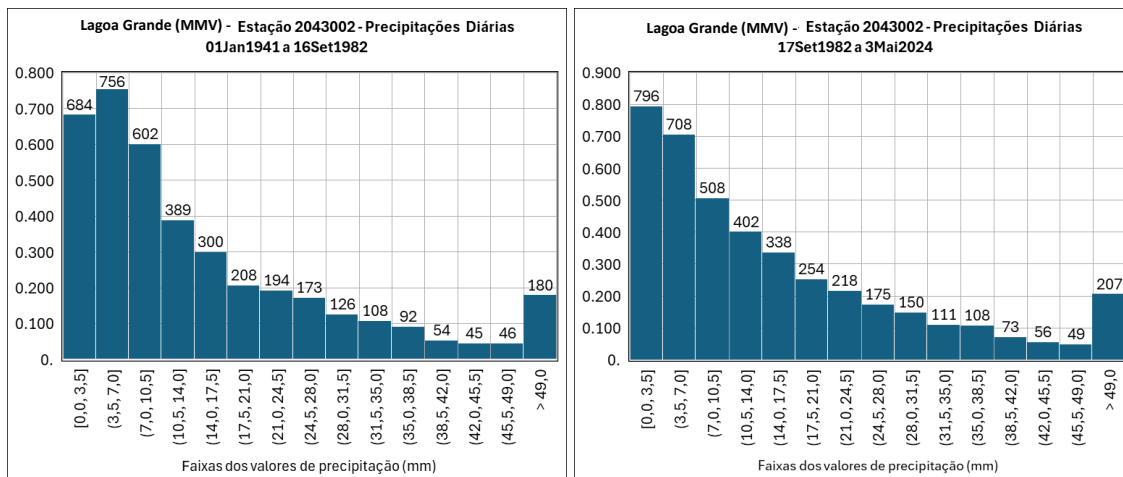
4.9.4.1 Dois Segmentos Iguais de 41,5 anos – Anos Cíveis

Nas análises a seguir foi considerada a seguinte classificação das chuvas por intensidade (ver Anexo 1):

Volume Diário de Chuva (mm)	Classificação
0	Sem precipitação
0,1 a 2,4	Chuveiro
2,5 a 10	Chuva fraca
10,1 a 20	Chuva moderada
20,1 a 50	Chuva forte
50,1 a 100	Chuva muito forte
Acima de 100	Chuva extrema ou torrencial

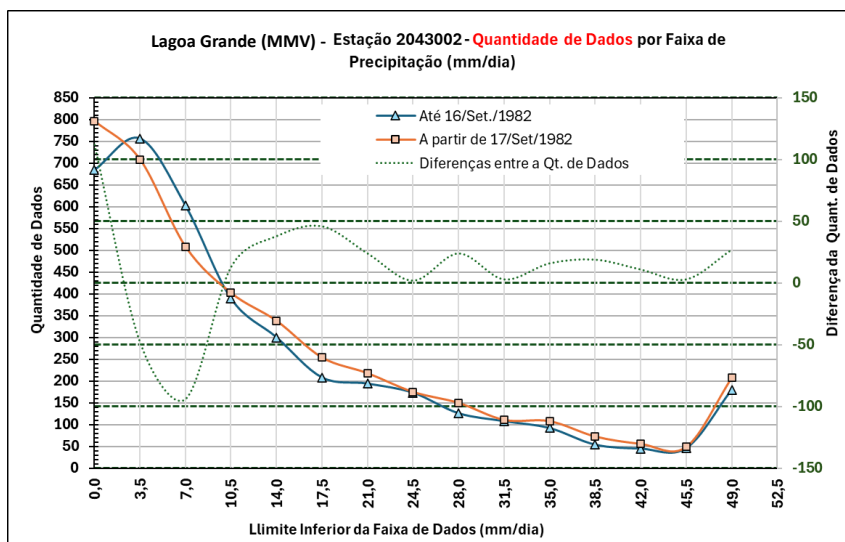
Para tentar avançar na detecção de tendências, no âmbito da análise de que trata o presente documento, a série da Lagoa Grande (MMV) foi dividida em dois períodos com igual quantidade de dias, sendo o primeiro de 1941 a 1982 e o segundo de 1982 a 2024. Os valores de precipitação (maiores ou iguais 1,3 mm por dia) foram classificados em 14 faixas, de largura 3,5 mm cada uma, e uma faixa com valores superiores a 49,0 mm diários.

A seguir são apresentados os histogramas referentes aos dois períodos, mostrando as quantidades de dias de chuva em cada faixa de valores de precipitação diária.



Como exemplo de comparação permitida por esses histogramas, pode-se mencionar que nos primeiros 41,5 anos da série ocorreram 180 dias com chuva acumulada diária com valores superiores a 49 mm e nos últimos 41,5 anos, 207 eventos, um aumento de 15,0%.

A seguir são apresentados os gráficos de dispersão correspondentes às frequências mostradas nos histogramas acima.



Pode-se ver que nos 41,5 anos mais recentes, contados a partir de 16/set./1982, houve uma quantidade maior (ver diferença entre quantis, eixo vertical da esquerda) de dias chuvosos que nos 41,5 anos anteriores em todas as faixas de precipitação exceto nas faixas de 3,5 a 7,0 e de 7,0 a 10,5 mm por dia. Ou seja, nos últimos 41,5 anos ocorreu um aumento do número de dias de chuva com precipitações muito pequenas (abaixo de 3,5 mm) e com precipitações superiores a 10,5 mm por dia.

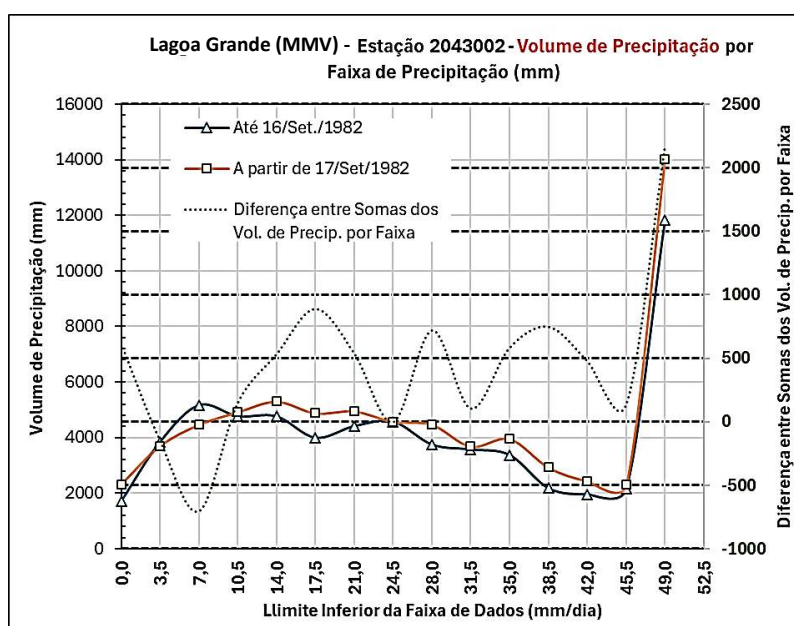
No gráfico de dispersão acima a linha pontilhada refere-se à diferença entre frequências em cada faixa. Essa linha mostra diferenças negativas apenas entre 3,5 a 10,0 mm, ou seja, nos 41,5 anos mais recentes a quantidade de chuvas com valores entre 3,5 e 10 mm por dia foi menor que nos primeiros 41,5 anos, o que poderia prejudicar a recarga dos aquíferos e que a redução observada nos últimos 41,5 anos poderia ter implicações nos níveis desses aquíferos e nas vazões das nascentes que eles alimentam, efeito que, somado ao do rebaixamento dos níveis pelas atividades de mineração, implicaria em impactos ambientais e aumento dos riscos à segurança hídrica da RMBH.

Por outro lado, é possível que as chuvas inferiores a 3,5 mm por dia (que aumentaram nos últimos 41,5 anos) tenham pouca influência na recarga dos aquíferos, pois podem ficar retidas

nas folhas da vegetação e na serrapilheira³ (parte da abstração inicial⁴) e evaporar em seguida, bem como ser absorvidas pelas raízes e retornar à atmosfera por transpiração das plantas, não conseguindo se infiltrar mais no solo e chegar aos aquíferos.

O gráfico a seguir mostra que redução da quantidade de dias de chuva está diretamente relacionada ao volume precipitado: nos últimos 41,5 anos houve maior volume de chuvas cujos valores totais diários foram menores que 3,5 mm ou maiores que 10 mm, sendo que o maior aumento ocorreu na faixa de precipitações com valores diários acima de 45,5 mm. Essas chuvas de maior intensidade tendem a escoar rapidamente para os cursos d'água, provocando erosões, assoreamentos, deslizamentos e inundações, sem tempo para percolar pela terra e recarregar os aquíferos.

Portanto, um aumento na quantidade anual de chuvas não implica, necessariamente, em maior disponibilidade de água subterrânea para alimentar nascentes no período seco, pois essa disponibilidade está associada não apenas à distribuição das chuvas (volume diário), mas também ao tempo de infiltração até a água atingir os aquíferos.



Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	01/01/1941 a 16/09/1982	17/09/1982 a 31/05/2024	01/01/1941 a 16/09/1982	17/09/1982 a 31/05/2024	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	684	796	1709,0	2324,6	112	616
3,5	7,0	756	708	3845,5	3699,9	-48	-146
7,0	10,5	602	508	5167,5	4465,7	-94	-702
10,5	14,0	389	402	4769,9	4917,9	13	148
14,0	17,5	300	338	4766,0	5298,6	38	533
17,5	21,0	208	254	3995,5	4883,4	46	888
21,0	24,5	194	218	4413,4	4951,7	24	538
24,5	28,0	173	175	4575,4	4574,4	2	-1
28,0	31,5	126	150	3750,8	4470,4	24	720
31,5	35,0	108	111	3576,9	3682,3	3	105

³ Serrapilheira: camada de folhas, galhos, cascas e outros materiais orgânicos que cobre o solo em áreas vegetadas de campos e matas.

⁴ Abstração inicial: parcela de água que, no começo da chuva, é armazenada nas copas das árvores, reservatórios e depressões naturais;



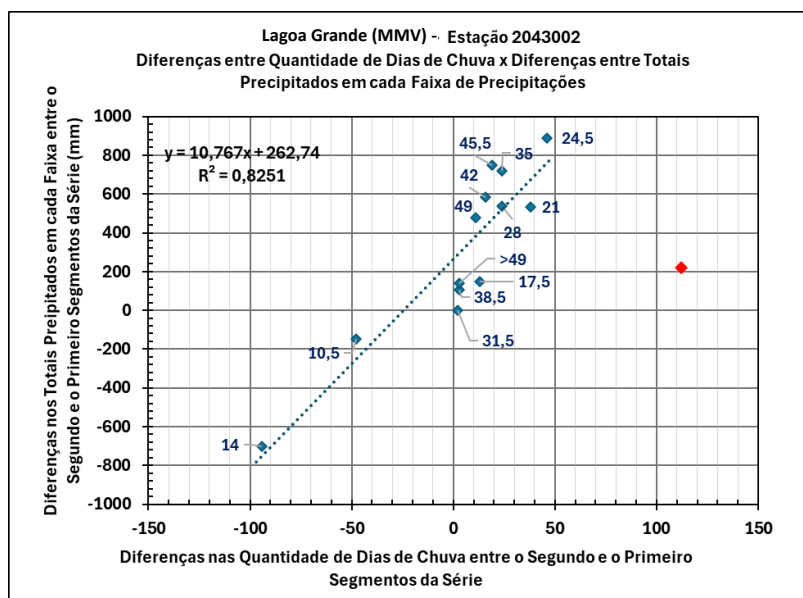
35,0	38,5	92	108	3374,1	3957,2	16	583
38,5	42,0	54	73	2180,8	2928,3	19	748
42,0	45,5	45	56	1964,3	2441,3	11	477
45,5	49,0	46	49	2163,6	2302,0	3	138
49,0	300,0	180	207	11835,5	14008,6	27	2173
Totais		3956	4152	62017	68438	196	6421

O primeiro ponto a notar refere-se à correspondência entre as diferenças de dias de chuva e as de total precipitado: em todas as faixas, os valores negativos das diferenças entre dias de chuva dos dois segmentos analisados correspondem a valores negativos do total precipitado, o mesmo se dando com relação aos valores positivos. Isso confirma a correlação entre as quantidades de precipitação e de dias de chuva, embora possam ocorrer exceções.

De especial importância é o fato – já comentado acima – de que o maior volume de precipitações ocorre com valores diários superiores a 49 mm, ou seja, chuvas extremas. No total, durante os 83 anos da série, o volume precipitado por meio dessas chuvas torrenciais foi de 25.844 mm (19,8% do volume total). Nos primeiros 41,5 anos o volume foi de 11.835 mm e nos 41,5 anos mais recentes, de 14.009 mm, um crescimento de 18,4%, o que comprova o agravamento da intensidade das chuvas diárias e dos riscos a elas associados, bem como a perda, por escoamento superficial de grandes volumes de água que poderiam, se as precipitações fossem menos intensas, infiltrar no solo e recarregar os aquíferos.

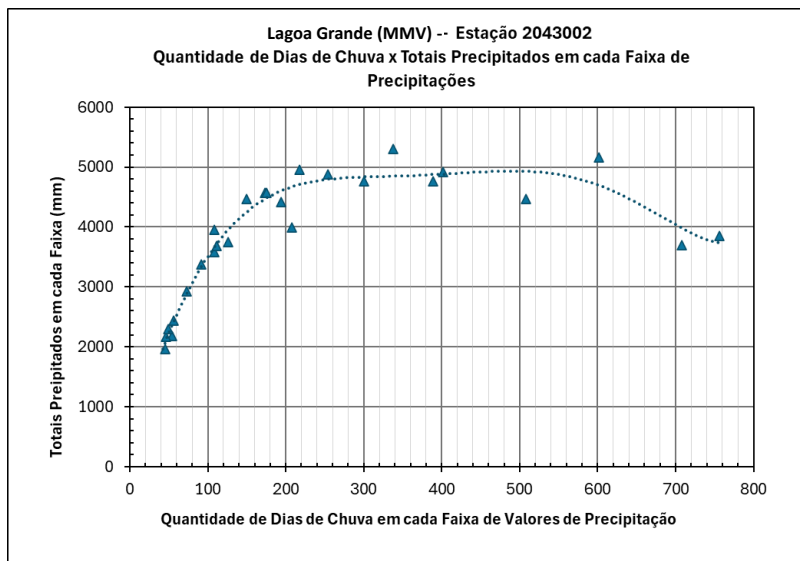
Por outro lado, houve um aumento de 13,3% dos volumes dos chuviscos (chuvas diárias de 1,2 a 3,5 mm), volumes que podem não ser de importância para a recarga dos aquíferos.

O gráfico a seguir apresenta a correlação entre as diferenças entre números de dias chuvosos e totais precipitados dos dois segmentos de 41,5 anos da série; os rótulos dos pontos indicam o limite superior da faixa de precipitações a que eles se referem; o ponto em vermelho corresponde uma exceção (chuvas diárias entre 1,2 e 3,5 mm) e não foi considerado para o traçado da reta de regressão:

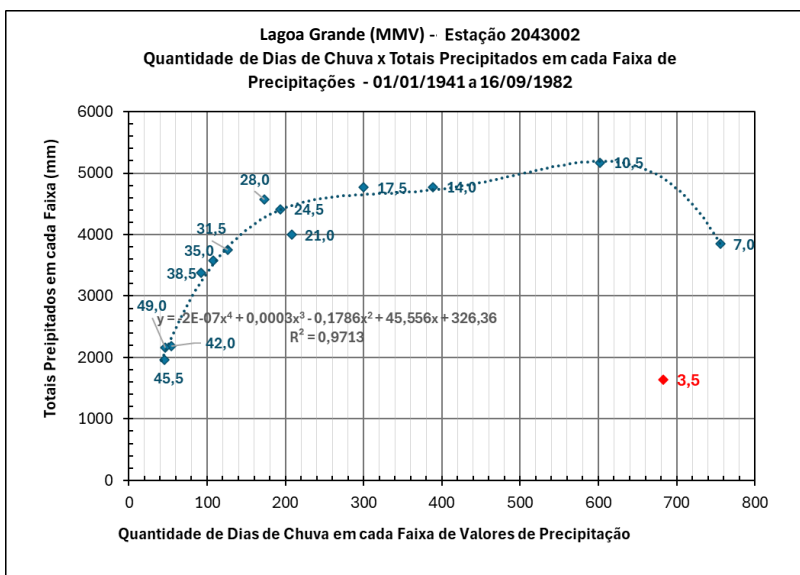


O gráfico abaixo mostra, para a série completa (83 anos) e desconsiderando as chuvas diárias com mais de 49 mm e as com menos de 3,5 mm a relação entre a quantidade de dias de chuva em cada faixa de valores de precipitação e os totais precipitados em cada faixa (mm). Tanto as maiores quanto as menores quantidade de dias de chuva correspondem a menores volumes de precipitação. Os maiores volumes (acima de 4000 mm) de precipitação por faixa ocorreram com valores diários de precipitação entre 7 e 28 mm aproximadamente, valores esses informados

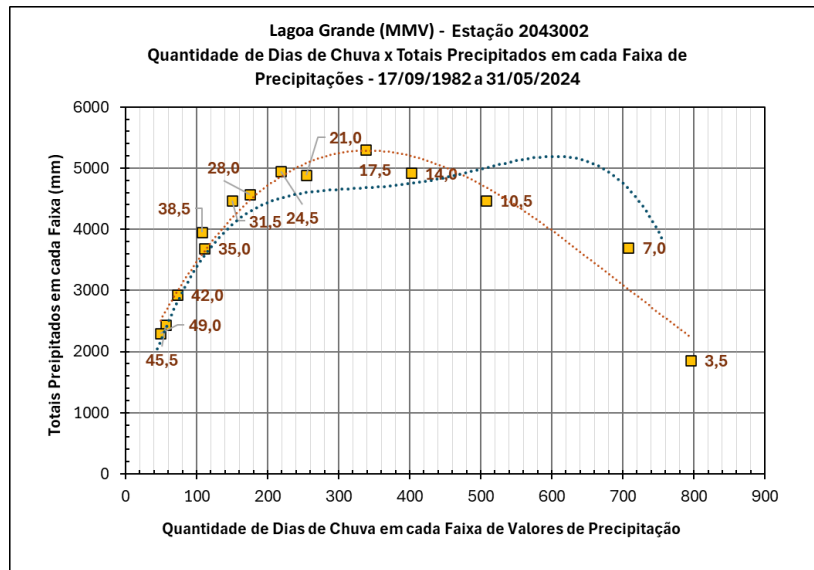
pelos rótulos dos gráficos mais abaixo. Ou seja, chuvas moderadas foram responsáveis pelos maiores volumes precipitados (desconsiderando-se os volumes das chuvas torrenciais).



O gráfico a seguir, similar ao anterior, refere-se ao primeiro segmento de 41,5 anos da série (de 01/01/1941 a 16/09/1982), destacando as relações referentes a esse período. Em geral, os menores valores de quantidade de dias referem-se à maiores faixas de precipitações, pois quanto maior o valor da precipitação, menor a sua ocorrência.



O gráfico a seguir, similar aos anteriores, refere-se ao segundo segmento de 41,5 anos da série (de 17/09/1982 a 31/05/2024), destacando as relações referentes a esse período em comparação com as do período anterior (linha azul pontilhada), tornando evidente a redução das precipitações nas faixas de 7,0 a 10,5 mm (ou um pouco mais) e o aumento nas demais faixas.



Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade – Frequências - Dois Segmentos de 41,5 Anos cada

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação na região da Lagoa Grande (MMV), dividida em dois segmentos de 41,5 anos cada (1941-1982 e 1982-2024) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

1. Alterações nas quantidades de dias chuvosos - Nos últimos 41,5 anos (1982-2024):

- Houve um aumento total de 196 dias de chuva, 5,0% do total da precipitação dos primeiros 41,5 anos.
- Tirando-se as precipitações diárias entre 3,5 mm e 10,5 mm por dia, houve aumento no número de dias chuvosos (338 dias a mais) em comparação com o período anterior (1941-1982).
- Houve uma redução de 142 dias com precipitações entre 3,5 mm e 10,5 mm por dia.
- Houve um aumento de 112 dias com precipitações inferiores a 3,5 mm/dia e aumento de dias (226 a mais) com precipitações superiores a 10,5 mm/dia.

2. Alterações dos volumes precipitados - Nos últimos 41,5 anos (1982-2024):

- Houve um aumento total de 6.421 mm de chuva, 10,4% do total da precipitação dos primeiros 41,5 anos. Assim, a precipitação média passou de 15,68 para 16,48 mm.
- Tirando-se as precipitações diárias entre 3,5 mm e 10,5 mm por dia, houve aumento no volume de chuvas (7268 mm a mais) em comparação com o período anterior (1941-1982).
- Houve uma redução de 847 mm das precipitações entre 3,5 mm e 10,5 mm por dia.
- Houve um aumento de 218 mm das precipitações inferiores a 3,5 mm/dia e aumento de 7050 mm das precipitações superiores a 10,5 mm/dia.

3. Aumento nas Chuvas Fracas e Intensas

- O maior volume de precipitações ocorreu com valores diários superiores a 49 mm, ou seja, chuvas extremas. No total, durante os 83 anos da série, o volume precipitado por meio dessas chuvas torrenciais foi de 25.844 mm (19,8% do volume total).
- Nos primeiros 41,5 anos o volume de chuvas extremas foi de 11.835 mm e nos 41,5 anos mais recentes, de 14.009 m, um crescimento de 18,4%, o que comprova o agravamento da intensidade das chuvas diárias e dos riscos a elas associados, bem como a perda, por



escoamento superficial de grandes volumes de água que poderiam, se as precipitações fossem menos intensas, infiltrar no solo e recarregar os aquíferos.

- Por outro lado, houve um aumento de 36,0% dos volumes dos chuviscos (chuvas diárias de 1,2 a 3,5 mm), volumes que possivelmente não sejam de importância para a recarga dos aquíferos.

4. Impacto na recarga de aquíferos:

- **Chuvas leves (< 3,5 mm/dia):** Essas chuvas podem ter menor capacidade de recarregar os aquíferos principalmente se sua intensidade horária for muito pequena (chuviscos), pois grande parte da água pode ficar retida pela vegetação ou evaporar antes de infiltrar no solo.
- **Chuvas moderadas (3,5 mm a 10,5 mm/dia):** É possível que essas precipitações possam ser consideradas mais eficientes para a recarga dos aquíferos, pois permitiriam maior infiltração no solo, principalmente se forem de intensidade horária adequada. A redução dessas chuvas nos últimos 41,5 anos pode ter impactado negativamente a recarga dos aquíferos.
- **Chuvas intensas (> 30 mm/dia):** Embora aumentem o volume total de água, parte importante dessas chuvas, caso tenham maior intensidade horária ou sub-horária, tendem a escoar rapidamente, causando erosão, assoreamento e inundações, sem contribuir significativamente para a recarga dos aquíferos.
- O aumento do volume total de chuvas não se traduz necessariamente em maior disponibilidade de água subterrânea, pois a eficiência da recarga depende da distribuição temporal, da intensidade das precipitações, da permeabilidade do solo e de outros fatores.

5. Riscos ambientais e hídricos:

- A redução das chuvas moderadas, combinada com o aumento das chuvas intensas, pode comprometer a segurança hídrica da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), especialmente em períodos de seca.
- A diminuição da recarga dos aquíferos, somada aos efeitos de atividades como a mineração, pode agravar os impactos ambientais e reduzir a disponibilidade de água subterrânea.

Em resumo, foram verificadas mudanças nos padrões de precipitação, com aumento das chuvas leves e das chuvas intensas e redução de chuvas moderadas, o que pode ter implicações significativas para a recarga de aquíferos, a segurança hídrica e o meio ambiente, exigindo atenção e ações para mitigar os riscos associados.

4.9.4.2 *Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – Anos Cívicos – Para Comparação com Honório Bicalho*

Para melhor avaliar a relação entre precipitações e vazões do Rio das Velhas por meio de comparação direta das precipitações registradas na Estação Lagoa Grande (MMV) com as vazões registradas na Estação Honório Bicalho, considera-se a seguir somente os dados de precipitações que registradas na Lagoa Grande (MMV) a partir de 27/04/1971, quando foram iniciados os registros em Honório Bicalho, até 30/11/2023, data do último registro em Honório Bicalho.

Como no caso anterior, os valores de precipitação (maiores ou iguais 1,3 mm por dia) foram classificados em 14 faixas, de largura 3,5 mm cada uma, e uma faixa com valores superiores a 49,0 mm diários.

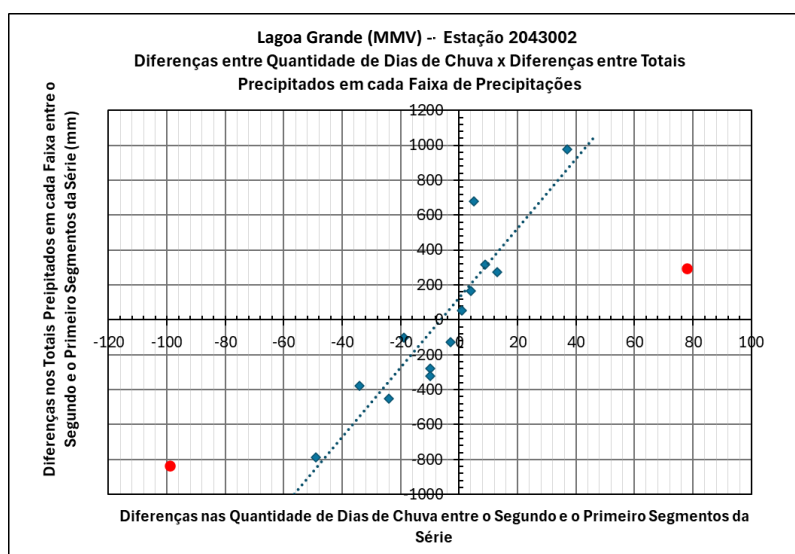
A seguir são apresentados os histogramas referentes aos dois períodos, bem como o gráfico de dispersão e a tabela de dados correspondentes às frequências mostradas nos histogramas.

Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	415	493	1161,7	1458,7	78	297
3,5	7,0	455	436	2373,7	2273,2	-19	-100
7,0	10,5	389	290	3399,7	2564,2	-99	-835
10,5	14,0	273	239	3310,4	2934,1	-34	-376
14,0	17,5	250	201	3941,7	3155,8	-49	-786
17,5	21,0	176	152	3376,0	2925,7	-24	-450
21,0	24,5	130	143	2963,8	3237,5	13	274
24,5	28,0	86	123	2247,2	3222,3	37	975
28,0	31,5	97	87	2877,8	2600,1	-10	-278
31,5	35,0	72	62	2382,5	2062,5	-10	-320
35,0	38,5	63	72	2313,7	2628,9	9	315
38,5	42,0	41	45	1645,2	1811,1	4	166
42,0	45,5	35	36	1517,4	1570,7	1	53
45,5	49,0	32	29	1496,3	1369,3	-3	-127
49,0	300,0	119	124	7726,7	8406,6	5	680
Totais		2633	2532	42734	42221	-101	-513

Pode-se ver que nos 26,3 anos mais recentes, contados a partir de 13/08/1997, houve, no total, uma quantidade **menor** de dias chuvosos (101 a menos) e de altura de precipitação (513 mm a menos) que nos 26,3 anos anteriores. Embora essa diferença total possa não ser tão significativa, a análise das quantidades por faixa de precipitação apresenta resultados importantes.

O primeiro e importante ponto a notar refere-se à correspondência entre as diferenças de dias de chuva e as de total precipitado: em todas as faixas, os valores negativos das diferenças entre dias de chuva dos dois segmentos analisados correspondem a valores negativos do total precipitado, o mesmo se dando com relação aos valores positivos. Isso confirma a correlação entre as quantidades de precipitação e de dias de chuva, embora possam ocorrer exceções.

O gráfico a seguir apresenta a correlação entre essas variáveis; os pontos em vermelho correspondem às exceções e não foram considerados para o traçado da reta de regressão:



No segmento mais recente da série, em comparação com o anterior, houve uma redução de.

A **redução** da quantidade de dias de chuva e de total precipitado ocorreram nas faixas de:

- 3,5 a 17,5 mm diários: 255 dias de chuva e de 2548 mm de chuva;
- 28 a 35 mm diários: 20 dias e 598 mm;
(essas diferenças, que ocorreram em faixa de precipitação em que a infiltração da água no solo e, portanto, a recarga dos aquíferos, provavelmente é mais favorecida, pode ter causado redução das vazões nos períodos de recessão, além de perdas por abstração inicial);
- 45,5 a 49 mm: 3 dias de chuva e de 127 mm, valores menos significativos que os das outras faixas em que ocorreu redução.

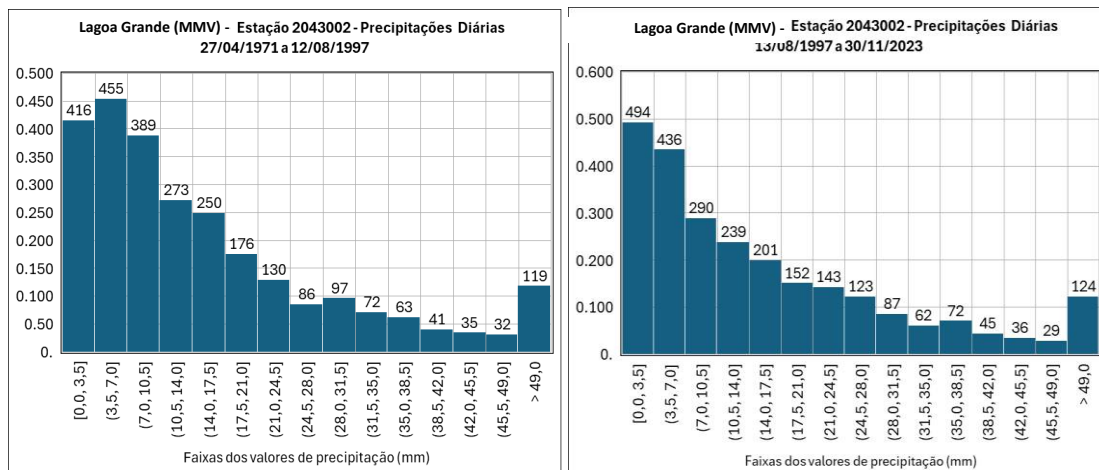
O **aumento** da quantidade de dias de chuva e de total precipitado ocorreram nas faixas de:

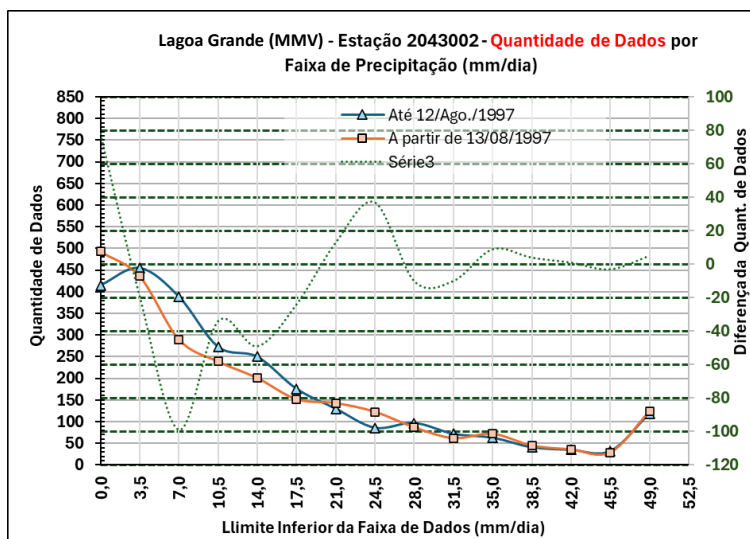
- 1,3 a 3,5 mm/dia (valores inferiores a 1,3 desconsiderados, conforme já foi explicado): 78 dias e 297 mm a mais; nessa faixa as chuvas praticamente não se refletem em alterações das vazões do rio, pois as perdas por abstração inicial são mais significativas;
- de 21 a 28 mm/dia: 50 dias e 1249 mm a mais; nessa faixa a infiltração da água no solo e, portanto, a recarga dos aquíferos, provavelmente é mais favorecida, dependendo da intensidade horária e sub-horária;
- de 35 a 45,5 mm/dia: 14 dias e 534 mm;
- valores superiores a 49 mm/dia: 5 dias e 680 mm

Esses números permitem confirmar as tendências, já apontadas por outras abordagens, de redução das chuvas fracas e moderadas e aumento das chuvas fortes e muito fortes, assim como o aumento dos dias apenas com chuvisco, que praticamente não interferem na disponibilidade hídrica.

Como no caso dos períodos de 41,5 anos, nota-se a correspondência entre as diferenças de dias de chuva e as de total precipitado, bem como o maior volume de precipitações que ocorre com valores diários superiores a 49 mm, ou seja, chuvas extremas. No total, durante os 53,2 anos considerados na análise, o volume precipitado por meio dessas chuvas torrenciais foi de 16.133 mm (19,0% do volume total). Nos primeiros 26,3 anos o volume foi de 7.727 mm e nos 26,3 anos mais recentes, de 8407 m, um crescimento de 8,8%, o que comprova o agravamento da intensidade das chuvas diárias e dos riscos a elas associados, bem como a perda, por escoamento superficial de grandes volumes de água que poderiam, se as precipitações fossem menos intensas, infiltrar no solo e recarregar os aquíferos.

As quantidades informadas na tabela acima estão representadas nos seguintes histogramas:

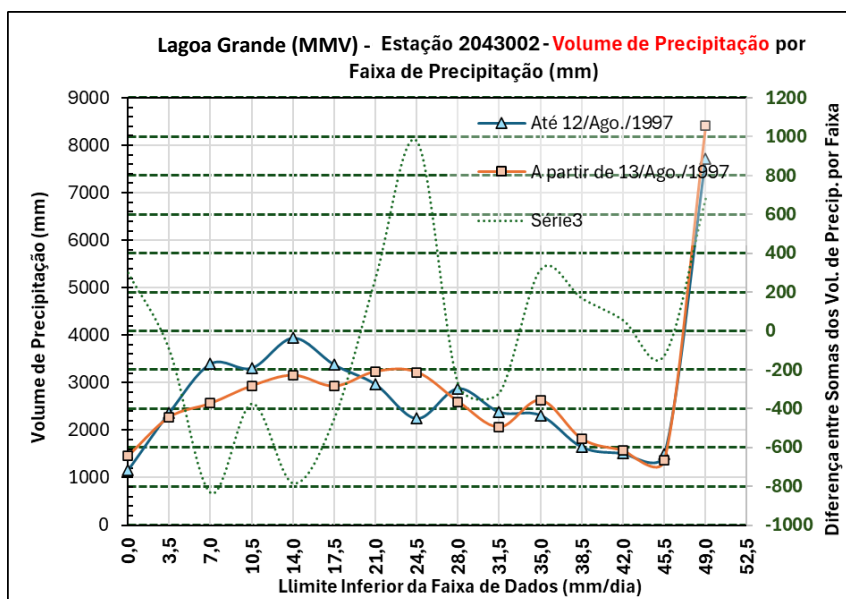




No gráfico acima, de dispersão, a linha pontilhada refere-se à diferença entre frequências em cada faixa. Essa linha mostra diferenças negativas principalmente entre 3 e 20 mm, ou seja, nos 26,3 anos mais recentes a quantidade de chuvas com valores entre 3 e 20 mm foi menor que nos primeiros 26,3 anos, valores esses que possivelmente são mais propícios a recarga dos aquíferos, como já comentado.

O gráfico a seguir mostra que redução da quantidade de dias de chuva está diretamente relacionada ao volume precipitado: nos últimos 26,3 anos houve maior volume de chuvas com totais diários menores que 3 mm, com totais diários entre 20 e 27 mm e entre 34 e 38 mm, sendo que o maior aumento ocorreu nas faixas de precipitações com valores diários entre 20 e 27 mm acima de 49 mm. Essas chuvas de maior intensidade tendem a escoar rapidamente para os cursos d'água, provocando erosões, assoreamentos, deslizamentos e inundações, sem tempo para percolar pela terra e recarregar os aquíferos.

Portanto, um aumento na quantidade anual de chuvas não implica, necessariamente, em maior disponibilidade de água subterrânea para alimentar nascentes no período seco, pois essa disponibilidade está associada não apenas à distribuição das chuvas (volume diário), mas também ao tempo de infiltração até a água atingir os aquíferos.





Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade – Freqüências - Dois Segmentos de 26,3 Anos Cada – Anos Cíveis

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação na região da Lagoa Grande (MMV), dividida em dois segmentos de 26,3 anos cada (1971-1997 e 1997-2024) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

1. Alterações nas quantidades de dias chuvosos – Nos últimos 26,3 anos (de 13/08/1997 a 30/11/2023), em comparação com os primeiros 26,3 anos (de 27/04/1971 a 12/08/1997):

- Houve uma redução total de 101 dias de chuva e de 513 mm de volume precipitado (3,8% e 1,2% respectivamente dos totais dos primeiros 26,3 anos). Essa redução contrasta com o aumento de 6421 mm obtido da comparação dos dois segmentos de 41,5 anos, apontando para uma mudança importante nos últimos 26 anos, suficiente para inverter a tendência de aumento.
- Houve um aumento de 78 dias e 297 mm de precipitações diárias entre 1,2 e 3,5 mm, o que mostra a tendência ao aumento dos chuviscos, possivelmente não significativos em termos de segurança hídrica e recarga de aquíferos.
- Houve uma redução de 225 dias e de 2.548 mm de precipitações entre 3,5 mm e 21 mm por dia (6,0% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos), mas, por outro lado, um aumento de apenas 50 dias e de 1.249 mm de precipitações entre 21 mm e 28 mm por dia (2,9% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos), faixas essas poderiam ser importantes para a recarga de aquíferos.
- Houve uma redução de 20 dias e de 598 mm de precipitações entre 28 mm e 35 mm por dia.
- No total, houve uma redução de 195 dias e de 1600 mm nas faixas de precipitação de 0 a 35 mm (3,74% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos).
- No total, houve um aumento de 16 dias e 1.087 mm de precipitações superiores a 35 mm/dia (2,54% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos) que, em geral, aumentam os riscos de desastres, principalmente se ocorrerem chuvas de alta intensidade horária ou sub-horária, as quais, por resultarem em maior escoamento superficial, têm parte importante do seu volume perdido sem penetrar no solo para recarregar os aquíferos.

2. Aumento nas Chuvas Fracas e Intensas

- O maior volume de precipitações ocorreu com valores diários superiores a 49 mm, ou seja, chuvas extremas. No total, durante os 53,2 anos analisados, o volume precipitado por meio dessas chuvas torrenciais foi de 16.133 mm (19,0% do volume total).
- Nos primeiros 26,3 anos o volume de chuvas extremas foi de 7.727 mm e nos 26,3 anos mais recentes, de 8.407 mm, um crescimento de 8,8%, o que comprova o agravamento da intensidade das chuvas diárias e dos riscos a elas associados, bem como a perda, por escoamento superficial de grandes volumes de água que poderiam, se as precipitações fossem menos intensas, infiltrar no solo e recarregar os aquíferos.
- Por outro lado, houve um aumento de 25,6% dos volumes dos chuviscos (chuvas diárias de 1,2 a 3,5 mm), volumes que pode não ser de importância para a recarga dos aquíferos.

1. Impacto na Recarga dos Aquíferos e no Regime Hídrico

- As faixas de chuva que reduziram correspondem às chuvas de intensidade moderada, que podem ser mais eficientes para infiltrar no solo e recarregar aquíferos,

principalmente se ocorreram com intensidade horária e sub-horária adequada. Já o aumento de chuvas muito fracas e chuviscos tem pouco impacto na disponibilidade hídrica, pois boa parte da água se perde por evaporação e abstração inicial. Da mesma forma, o aumento de chuvas intensas favorece o escoamento superficial, podendo provocar erosão, assoreamento e inundações, sem tempo suficiente para infiltrar no solo.

2. Tendência de Mudança no Regime Pluviométrico

- A análise confirma uma tendência já apontada em outras abordagens feitas no presente documento: diminuição das chuvas fracas e moderadas e aumento das chuvas intensas e muito intensas. Esse padrão pode ter impactos significativos na disponibilidade hídrica, pois esta depende não apenas do volume total precipitado, mas também da distribuição diária das chuvas e do tempo necessário para a infiltração.

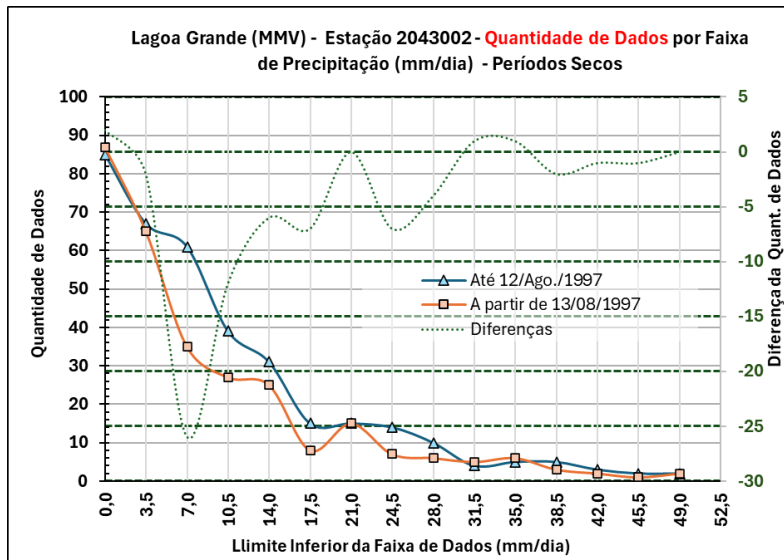
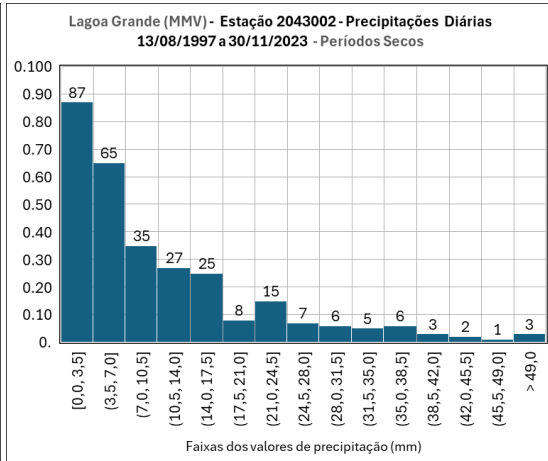
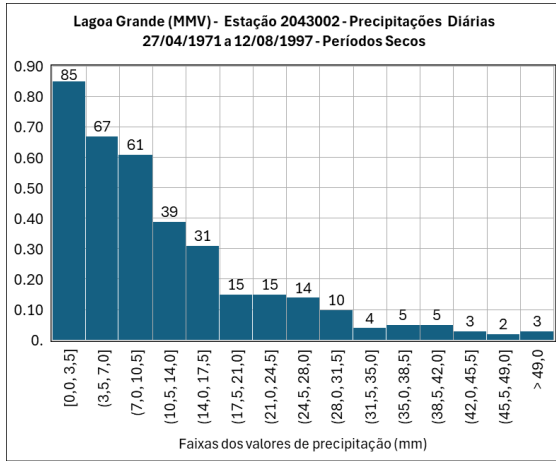
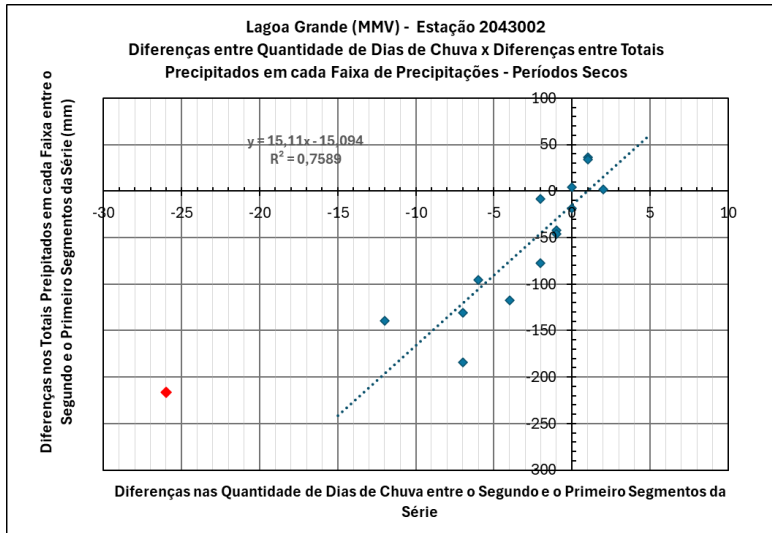
Chuvas mais intensas podem aumentar a vazão dos rios a curto prazo, mas sem contribuir de forma significativa para a manutenção das vazões nos períodos secos.

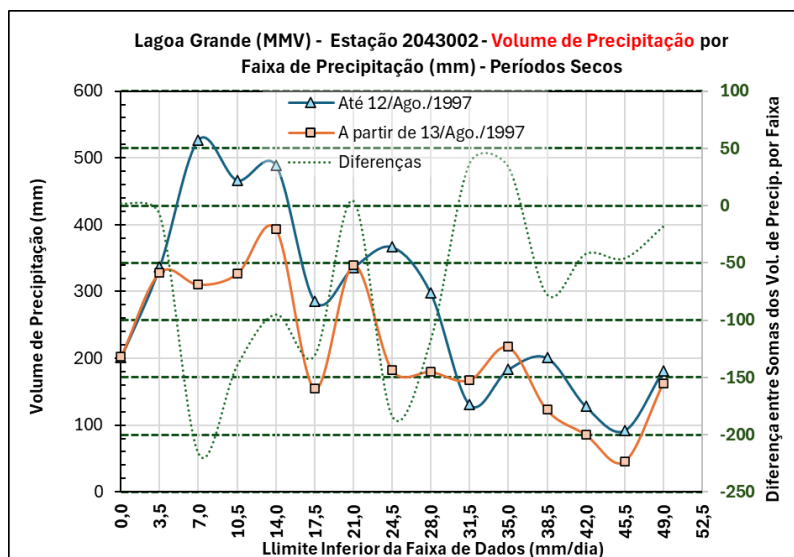
Os resultados sugerem que mudanças no regime de chuvas podem ter contribuído para a redução das vazões nos períodos de recessão, devido à menor infiltração de água no solo.

4.9.4.3 Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – Para Comparação com Honório Bicalho – Períodos Secos

Considerou-se, na análise a seguir, somente os dados de precipitações dos **períodos secos** que foram registrados na Lagoa Grande (MMV) a partir de 27/04/1971, quando foram iniciados os registros em Honório Bicalho, até 30/11/2023, data do último registro em Honório. A tabela e os gráficos referentes a esses períodos são apresentados a seguir:

Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	85	87	200,7	202,3	2	2
3,5	7,0	67	65	337,2	328,7	-2	-8
7,0	10,5	61	35	527,2	310,5	-26	-217
10,5	14,0	39	27	466,4	326,7	-12	-140
14,0	17,5	31	25	488,9	393,6	-6	-95
17,5	21,0	15	8	286,0	154,9	-7	-131
21,0	24,5	15	15	335,9	339,7	0	4
24,5	28,0	14	7	366,6	182,7	-7	-184
28,0	31,5	10	6	297,5	180,1	-4	-117
31,5	35,0	4	5	131,0	167,6	1	37
35,0	38,5	5	6	183,4	217,1	1	34
38,5	42,0	5	3	200,8	123,0	-2	-78
42,0	45,5	3	2	128,6	86,2	-1	-42
45,5	49,0	2	1	92,0	45,6	-1	-46
49,0	300,0	2	2	181,3	162,6	0	-19
Totais		358	294	4224	3221	-64	-1002





Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade dos Dois Segmentos de 26,3 Anos Cada – **Períodos Secos** da Estação Lagoa Grande (MMV)

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação dos períodos secos da série da Lagoa Grande (MMV), dividida em dois segmentos de 26,3 anos cada (1971-1997 e 1997-2024) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

Alterações nas quantidades de dias chuvosos dos períodos secos da Estação Lagoa Grande (MMV) – Nos últimos 26,3 anos (de 13/08/1997 a 30/11/2023), em comparação com os primeiros 26,3 anos (de 27/04/1971 a 12/08/1997):

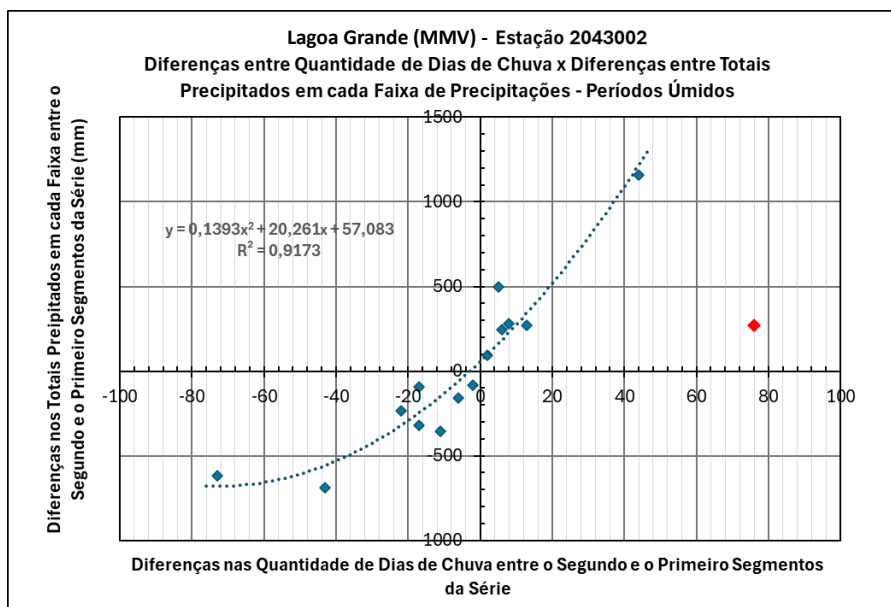
- Houve uma redução total de 64 dias de chuva (17,9%) e de 1.002 mm de volume precipitado (23,7% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos).
- Houve aumento de apenas 4 dias e de 76 mm (1,8% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos) nas faixas 10,5 a 17,5 mm, 21 a 24,5 mm, 28 a 31,5 e acima de 38,5 mm de precipitações diárias.
- Houve uma redução de 68 dias e 1.078 mm de precipitações mas demais faixas (25,5% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos), o que comprova que os períodos secos se tornaram mais secos.
- O maior volume de precipitações ocorreu com valores diários de 7 a 42 mm e a maior parte dos dias de chuva ocorreu na faixa de 1,3 a 17,5 mm diários, com redução progressiva nas faixas de maiores valores. No total, durante os 53,2 anos analisados, o volume precipitado nos períodos secos foi de 7.445 mm.
- Nos primeiros 26,3 anos o volume de chuvas dos períodos secos foi de 4.224 mm e nos 26,3 anos mais recentes, de 3.221 m, uma redução de 23,7%, o que comprova o agravamento das secas.
- A análise confirma uma tendência já apontada em outras abordagens feitas no presente documento: agravamento das secas, com redução das precipitações e dos dias de chuva dos períodos secos.

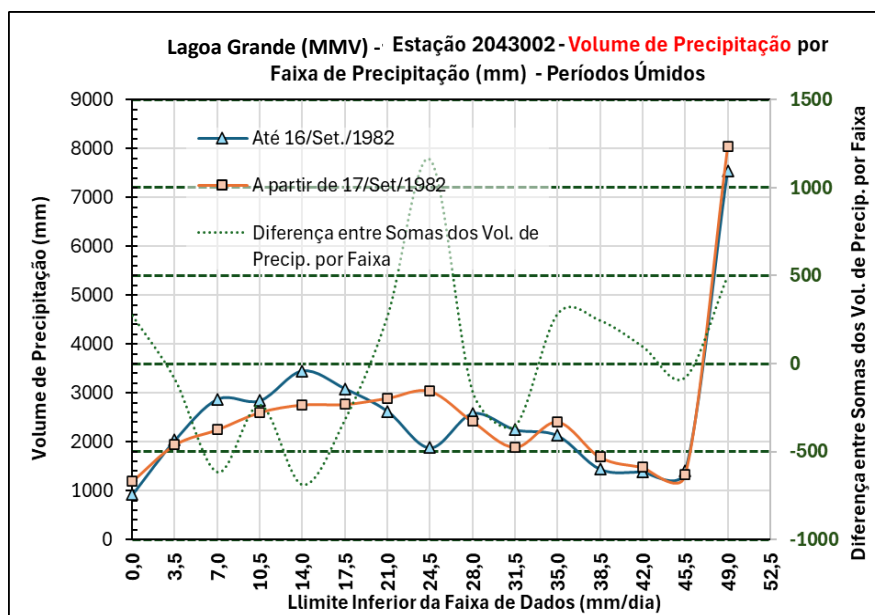
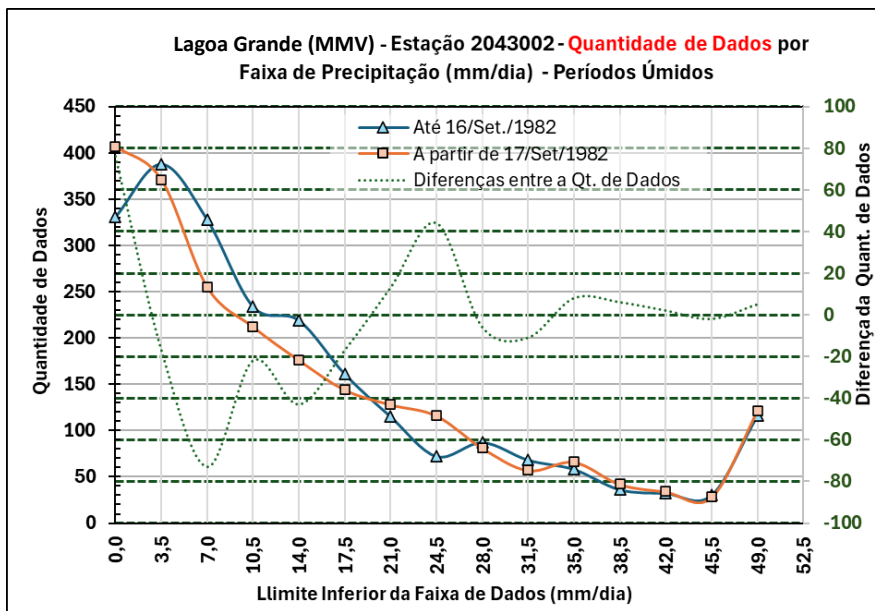
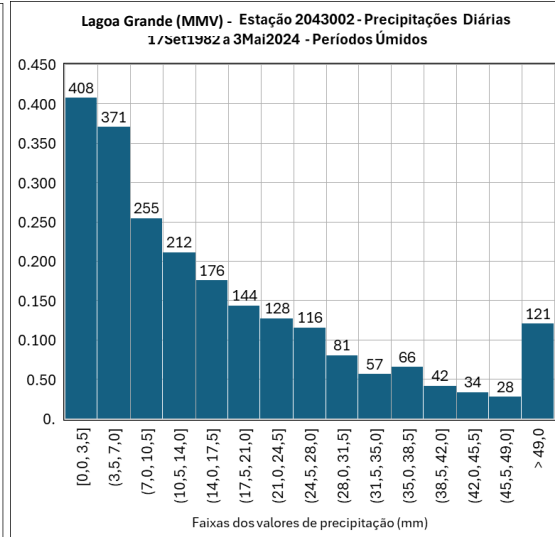
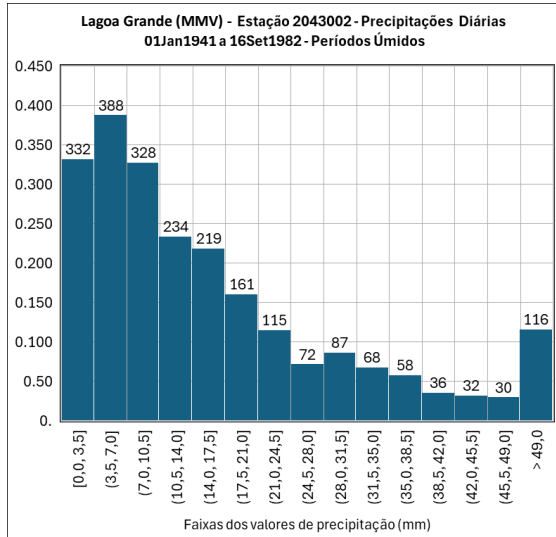
Os resultados sugerem que mudanças no regime de chuvas podem ter contribuído para a redução das vazões do Rio das Velhas nos períodos de recessão.

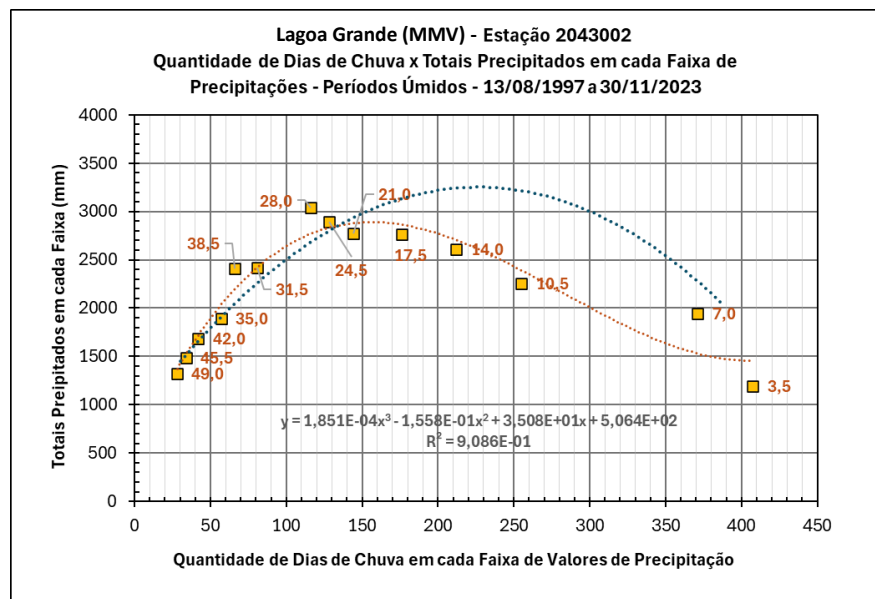
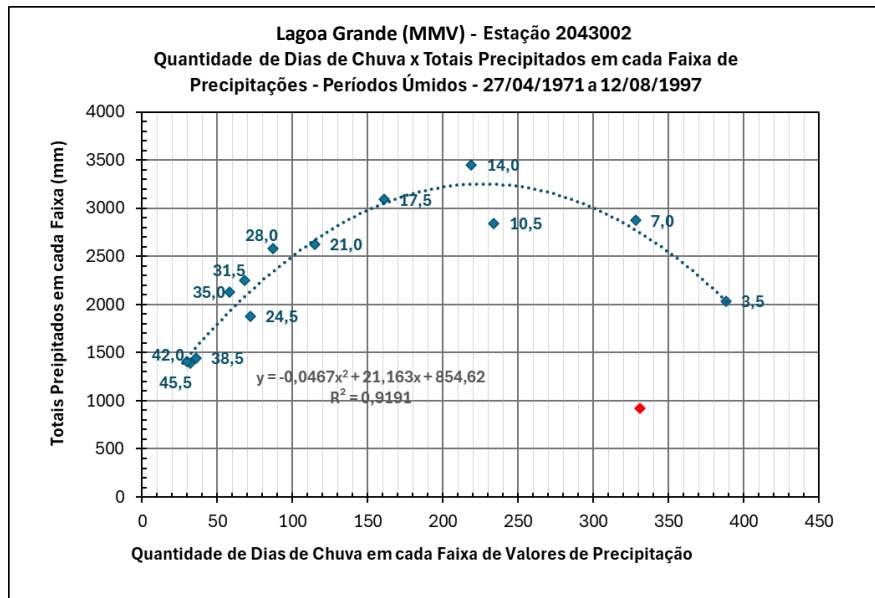
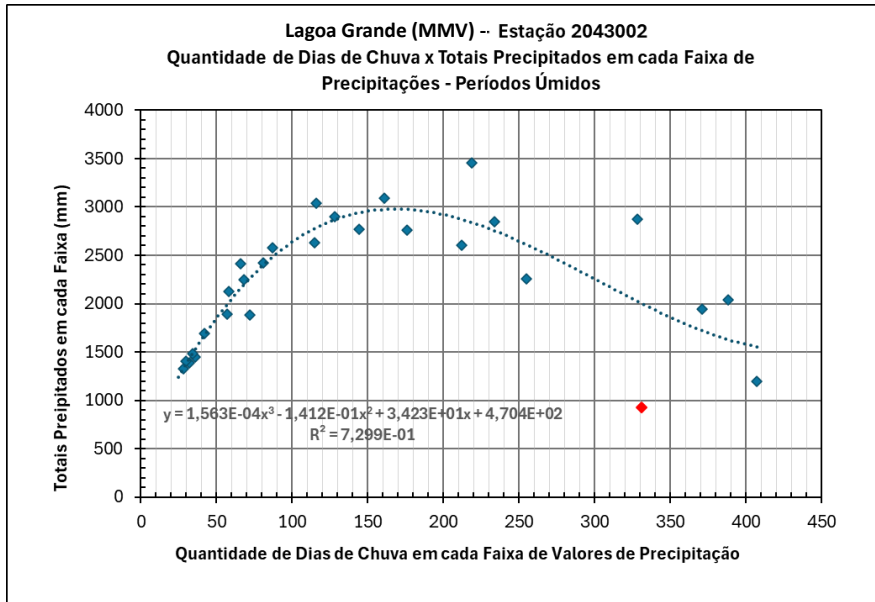
4.9.4.4 Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – Para Comparação com Honório Bicalho – Períodos Úmidos

Considerou-se, na análise a seguir, somente os dados de precipitações dos **períodos úmidos** que foram registrados na Lagoa Grande (MMV) a partir de 27/04/1971, quando foram iniciados os registros em Honório Bicalho, até 30/11/2023, data do último registro em Honório. A tabela e os gráficos referentes a esses períodos são apresentados a seguir:

Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	331	407	924,0	1195,6	76	272
3,5	7,0	388	371	2036,5	1944,5	-17	-92
7,0	10,5	328	255	2872,5	2253,7	-73	-619
10,5	14,0	234	212	2844,0	2607,4	-22	-237
14,0	17,5	219	176	3452,8	2762,2	-43	-691
17,5	21,0	161	144	3090,0	2770,8	-17	-319
21,0	24,5	115	128	2627,9	2897,8	13	270
24,5	28,0	72	116	1880,6	3039,6	44	1159
28,0	31,5	87	81	2580,3	2420,0	-6	-160
31,5	35,0	68	57	2251,5	1894,9	-11	-357
35,0	38,5	58	66	2130,3	2411,8	8	282
38,5	42,0	36	42	1444,4	1688,1	6	244
42,0	45,5	32	34	1388,8	1484,5	2	96
45,5	49,0	30	28	1404,3	1323,7	-2	-81
49,0	300,0	116	121	7545,4	8041,1	5	496
Totais		2275	2238	38473	38736	-37	262









Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade dos Dois Segmentos de 26,3 Anos Cada – **Períodos Úmidos**

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação dos **períodos úmidos** da série da Lagoa Grande (MMV), dividida em dois segmentos de 26,3 anos cada (1971-1997 e 1997-2024) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

3. Alterações nas quantidades de dias chuvosos dos **períodos úmidos**– Nos últimos 26,3 anos (de 13/08/1997 a 30/11/2023), em comparação com os primeiros 26,3 anos (de 27/04/1971 a 12/08/1997):

- Houve uma redução total de 37 dias de chuva um aumento de 262 mm de volume precipitado (-1,63% e +0,68% respectivamente). Embora essas diferenças percentuais sejam pequenas, elas apontam para uma tendência de aumento da intensidade das chuvas (maior volume em menos dias de chuva).
- Houve um aumento de 76 dias e 272 mm de precipitações diárias entre 1,2 e 3,5 mm, o que mostra a tendência ao aumento dos chuveiros também nos períodos úmidos, possivelmente não significativos em termos de segurança hídrica e recarga de aquíferos.
- Houve uma redução de 172 dias e 1.957 mm de precipitações entre 3,5 mm e 21 mm por dia (5,1% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos), mas, por outro lado, um aumento 57 dias e 1.429 mm de precipitações entre 21 mm e 28 mm por dia (3,7% do total precipitado nos primeiros 26,3 anos), resultando em um saldo positivo de apenas 528 mm (1,4%) nessas faixas que, em geral, podem ser importantes para a recarga de aquíferos.
- Houve uma redução de 17 dias 517 mm (1,3%) de precipitações entre 28 mm e 35 mm por dia,
- Houve um aumento de 19 dias e 1.036 mm (2,7%) de precipitações superiores a 35 mm/dia que, em geral, aumentam os riscos de desastres e podem não representar recarga de aquíferos proporcionalmente maior.

4. Aumento nas Chuvas Fracas e Intensas

- O maior volume de precipitações, com um total de 15.587 mm (20,2% de toda a precipitação dos períodos úmidos dos 53,2 anos) ocorreu com valores diários superiores a 49 mm.
- Nos primeiros 26,3 anos o volume de chuvas dos períodos úmidos com valores diários superiores a 49 mm foi de 7.545 mm e nos 26,3 anos mais recentes, de 8.041 mm, um aumento de 6,6%, o que denota o aumento das chuvas intensas já constatado por outras análises.
- Nos primeiros 26,3 anos o volume de chuvas dos períodos úmidos foi de 38.473 mm e nos 26,3 anos mais recentes, de 38.736 mm, um aumento inexpressivo de 0,68%. Porém, o aumento dos volumes das chuvas intensas e a redução das chuvas moderadas podem ter impacto negativo na recarga dos aquíferos e no aumento dos riscos de desastres.

3. Tendência de Mudança no Regime Pluviométrico

- A análise confirma uma tendência já apontada em outras abordagens feitas no presente documento: agravamento da intensidade das chuvas dos períodos úmidos.

Os resultados sugerem que mudanças no regime de chuvas dos períodos úmidos também podem ter contribuído para a redução das vazões do Rio das Velhas nos períodos de recessão devido à menor recarga dos aquíferos e aumento das cheias e dos riscos a elas associados.

Quadro Comparativo – Estação Lagoa Grande (MMV) – Alterações nas Chuvas entre os Dois Segmentos de 26,3 anos – Períodos Úmidos

	Aspecto	1971–1997	1997-2023	Tendência Observada
Valores Anuais (Anos Cívicos)	Dias chuvosos e volumes de chuva	42.734 mm 2.634 dias	42.221 mm 2.533 dias Redução geral nos dias de chuva: – 101 dias (3,8%) e – 513 mm (1,2%).	Pequena redução global dos dias e dos volumes de chuva. Tendência a uma menor pluviosidade, agravamento das secas.
	Chuvas muito fracas (1,3–7,0 mm/dia)	3.535 mm (8,3% do total)	3.732 mm (8,8% do total) Aumento de 59 dias (6,8%) e de 197 mm (5,6%).	Aumento. Chuvas talvez pouco relevantes para recarga de aquíferos.
	Chuvas moderadas (7–21 mm/dia)	14.028 mm (32,8% do total)	11.580 mm (27,4% do total) Redução de 206 dias (18,9%) e de 2.448 mm (17,5%).	Forte redução em faixa que pode ser mais favorável à recarga de aquíferos existentes na área da estação e responsáveis por alimentar várias nascentes.
	Chuvas fortes (21–31,5 mm/dia)	8.089 mm (18,9% do total)	9.060 mm (21,5% do total) Aumento de 40 dias (12,8%) e de 971 mm (12,0%).	Aumento em faixa que pode ser importante para recarga dos aquíferos existentes na área da estação, porém esse aumento pode não compensar a forte redução na faixa anterior.
	Faixa de 7 a 31,5 mm/dia	22.117 mm (51,8% do total)	20.640 mm (48,9% do total) Redução de 166 dias (11,8%) e de 1.477 mm (6,7%)	Redução notável em faixas de precipitações que podem ser importantes para a recarga dos aquíferos. 50% de toda a precipitação da série histórica ocorreu nessa faixa.
	Chuvas fortes (31,5–42 mm/dia)	6.341 mm (14,8% do total)	6.503 mm (15,4% do total) Aumento de 3 dias de 161 mm.	Praticamente sem alteração. Menor risco de cheias, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial.
	Chuvas fortes (42–49 mm/dia)	3.014 mm (7,1% do total)	2.940 mm (7,0% do total) Redução de 2 dias (3,0%) e de 74 mm (2,4%).	Pequena redução. Faixa com maior risco de cheias e erosões, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial.
	Chuvas muito forte e extremas (>49 mm/dia)	7.727 mm (18,1% do total)	8.407 mm (19,9% do total) Aumento de 5 dias (4,2%) e de 680 mm (8,8%)	Aumento em faixa com alto risco de cheias, erosões, escorregamentos, rompimentos de barragens, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial. Existem grandes áreas de mineração, com barragens e pilhas significativas, na área representada pela estação. Chuvas muito fortes e extremas foram responsáveis por um quinto do volume total precipitado na área da estação.
Período de Secas	Volume total	4.224 mm	3.221 mm (- 23,7%) Grande redução em quase todas as faixas de precipitação indicando secas mais severas.	Marcante agravamento das secas.

	Dias de chuva	358 dias	294 dias (-17,9%). Grande redução em quase todas as faixas de precipitação indicando secas mais severas.	Marcante agravamento das secas.
Períodos Úmidos	Volume total	38.473 mm	38.736 mm Aumento de 262 mm (0,68%)	Aumento insignificante no volume total precipitado.
	Dias de chuva	2.275 dias	2.238 dias Pequena redução de 37 dias (1,63%)	Pequeno aumento na intensidade diária média de chuva.
	Chuvas muito fracas (1,3–7,0 mm/dia)	2.960 mm (7,7% do total)	3.140 mm (8,1% do total) Aumento de 59 dias (8,2%) e de 180 mm (6,1%).	Aumento. Chuvas pouco relevantes para recarga de aquíferos.
	Chuvas moderadas (7–21 mm/dia)	12.259 mm (31,9% do total)	10.394 mm (26,8% do total) Redução de 155 dias (16,5%) e de 1.865 mm (15,2%).	Forte redução em faixa que pode ser favorável à recarga de aquíferos existentes na área da estação e responsáveis por alimentar várias nascentes.
	Chuvas fortes (21–31,5 mm/dia)	7.089 mm (18,4% do total)	8.357mm (21,6% do total) Aumento de 51 dias (18,6%) e de 1.269 mm (17,9%).	Aumento em faixa que pode ser importante para recarga dos aquíferos existentes na área da estação, porém esse aumento não compensa a forte redução na faixa anterior.
	Chuvas fortes (31,5–42 mm/dia)	5.826 mm (15,1% do total)	5.995 mm (15,5% do total) Aumento de 3 dias (1,9%) de 169 mm (2,9%).	Praticamente sem alteração. Menor risco de cheias, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial.
	Chuvas fortes (42–49 mm/dia)	2.793mm (7,3% do total)	2.808 mm (7,2% do total) Sem alteração na quantidade de dias (0,0%) e de volume precipitado (+0,5%).	Sem alterações. Faixa com maior risco de cheias e erosões, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial.
	Chuvas muito forte e extremas (>49 mm/dia)	7.545 mm (19,6% do total)	8.041 mm (20,8% do total) Aumento de 5 dias (4,3%) e de 496 mm (6,6%).	Aumento em faixa com alto risco de cheias, erosões, escorregamentos, rompimentos de barragens, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial. Existem grandes áreas de mineração, com barragens e pilhas significativas, na área representada pela estação. Chuvas muito fortes e extremas foram responsáveis por um quinto do volume total precipitado na área da estação.
	Eventos extremos máximos	150,2 mm (14/12/1995)	202,9 mm (09/01/2022)	O evento mais intenso da série ocorreu no 2º período: possível tendência de aumento de eventos extremos. Alto risco de rompimentos de barragens e pilhas, erosões, deslizamentos. Existem grandes áreas de mineração, com barragens e pilhas significativas, na área representada pela estação.



4.9.5 Análise Quantílica das Mudanças nos Padrões de Precipitação

Quantis são medidas estatísticas que dividem um conjunto de dados ordenados em intervalos de probabilidade iguais. Cada quantil indica o valor abaixo do qual uma determinada porcentagem dos dados se encontra. Os quantis podem receber denominações específicas:

- **Quartis:** Dividem os dados em 4 partes iguais (Q1, Q2, Q3).
- **Decis:** Dividem os dados em 10 partes iguais.
- **Percentis:** Um caso específico de quantis, que dividem os dados em 100 partes iguais.

O segundo quartil é o valor da mediana e representa o valor que separa a metade inferior da metade superior dos dados. O 90º percentil indica que 90% dos dados são iguais ou inferiores a esse valor.

A análise de quantis em séries históricas de precipitação é fundamental para compreender o comportamento dos eventos de chuva ao longo do tempo. Esse tipo de análise permite identificar níveis típicos e extremos de precipitação, contribuindo para o planejamento e gestão de recursos hídricos, de atividades agrícolas, infraestrutura urbana e prevenção de desastres naturais. A análise dos quantis permite, entre outros pontos:

1. **Identificação de Valores Extremos:** Quantis elevados, como o 95º ou 99º, são úteis para identificar eventos extremos de precipitação, os quais têm maior potencial para causar enchentes, deslizamentos e desastres.
2. **Avaliação de Tendências Climáticas:** Comparar os valores de quantis ao longo de diferentes períodos pode revelar tendências de aumento ou redução na intensidade das chuvas, indicando possíveis mudanças climáticas ou variações naturais no regime de precipitação.
3. **Definição de Limiares para Alerta:** Valores de quantis podem ser utilizados para estabelecer limites de alerta para eventos de chuva, ajudando na emissão de avisos precoces para comunidades vulneráveis.
4. **Caracterização do Regime de Precipitação:** Quantis intermediários, como o 25º e o 75º, ajudam a descrever o comportamento típico da precipitação, permitindo uma avaliação mais detalhada da variabilidade climática local.

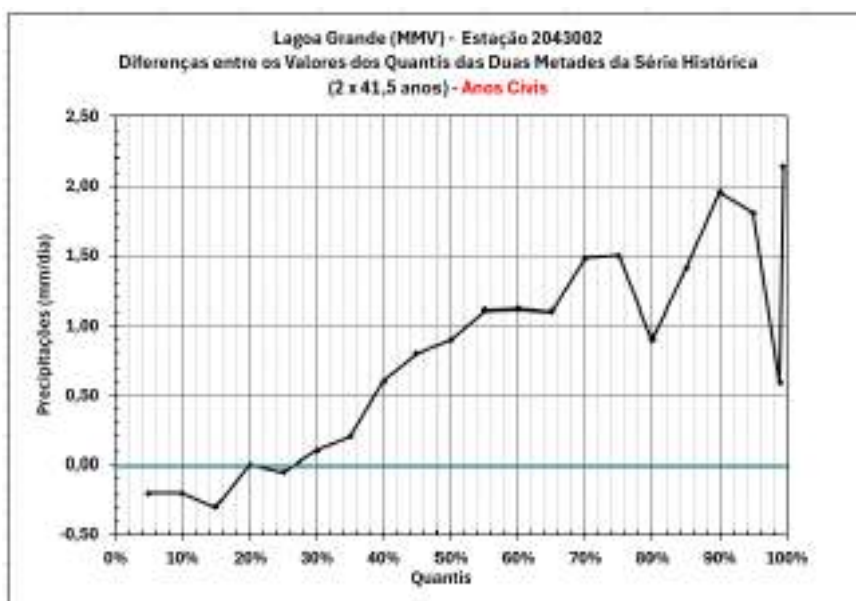
4.9.5.1 Dois Segmentos Iguais de 41,5 anos – Anos Cívicos

A tabela a seguir apresenta os valores dos quantis calculados para os dois períodos com igual quantidade de dias em que a série histórica completa da Estação Lagoa Grande (MMV) foi dividida, sendo o primeiro de 1941 a 1982 e o segundo de 1982 a 2024:

LAGOA GRANDE (MMV) (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043002			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	01/01/1941 a 16/09/1982	17/09/1982 a 31/05/2024	
5,0%	2,00	1,80	-0,20
10,0%	2,50	2,30	-0,20
15,0%	3,30	3,00	-0,30
20,0%	3,80	3,80	0,00
25,0% (Q1)	4,65	4,60	-0,05
30,0%	5,60	5,70	0,10
35,0%	6,60	6,80	0,20
40,0%	7,60	8,20	0,60
45,0%	8,70	9,50	0,80
50,0% (Q2)	10,20	11,10	0,90

55,0%	11,69	12,80	1,11
60,0%	13,68	14,80	1,12
65,0%	15,70	16,80	1,10
70,0%	18,20	19,68	1,48
75,0% (Q3)	21,30	22,80	1,50
80,0%	25,40	26,30	0,90
85,0%	29,79	31,20	1,41
90,0%	35,60	37,56	1,96
95,0%	47,22	49,03	1,81
99,0%	75,10	75,68	0,59
99,5%	87,50	89,64	2,15

A diferença entre os quantis da segunda e da primeira metade da série histórica (última coluna da tabela) pode ser visualizada por meio do gráfico a seguir:



Com relação aos números acima pode-se observar:

1. Nos últimos 41,5 anos, em comparação com os 41,5 anteriores a eles, houve redução da intensidade das chuvas para quantis iguais ou inferiores ao primeiro quartil Q1 (25% = 4,6 mm/dia), ou seja, chuvas muito fracas e chuviscos.
2. Houve aumento da intensidade das chuvas para todos os quantis superiores ao primeiro quartil, o que indica um aumento dos dias com chuvas de maior intensidade e/ou aumento da intensidade das chuvas.
3. Os maiores aumentos ocorreram nos quantos superiores a 85% (30 mm/dia) o que significa que, na parte mais recente da série (últimos 41,5 anos), houve notável aumento dos eventos mais intensos de chuva. Essa tendência de aumento na intensidade das chuvas extremas é relevante para a gestão de riscos associados, como enchentes, deslizamentos, rupturas de barragens e pilhas de estéreis e de rejeitos de mineração etc.
4. Esse padrão é consistente com observações globais de que eventos extremos de precipitação têm se tornado mais frequentes e intensos em muitas regiões. O aumento nos valores extremos pode estar associado, também a mudanças climáticas regionais, como o aumento da temperatura média, que intensifica o ciclo hidrológico e resulta em chuvas mais intensas.



5. Além das causas climáticas, o aumento pode indicar uma mudança no regime local de chuvas, seja por variações naturais de longo prazo (como ciclos climáticos) ou por mudanças no uso da terra, desmatamento ou urbanização, que alteram o microclima.

Conclusões da Análise por Quantis - Dois Segmentos Iguais de 41,5 anos

1. **Aumento da intensidade das chuvas extremas:** Nos últimos 41,5 anos, houve um aumento significativo na intensidade das chuvas para quantis superiores ao primeiro quartil (Q1 = 4,6 mm/dia), com destaque para o quantil superiores a 85% (30 mm/dia). Isso indica uma tendência de intensificação dos eventos extremos de precipitação, o que eleva os riscos associados a enchentes, deslizamentos, rupturas de barragens e outros desastres naturais.
2. **Mudanças no regime de chuvas e possíveis causas:** O padrão observado de redução das chuvas mais fracas e aumento de intensidade das chuvas mais fortes é consistente com tendências globais de mudanças climáticas, como o aumento da temperatura média e a intensificação do ciclo hidrológico. Além disso, fatores locais, como mudanças no uso da terra, desmatamento e urbanização, podem estar contribuindo para alterações no regime de chuvas, reforçando a necessidade de gestão de riscos e adaptação às novas condições climáticas.

4.9.5.2 Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – Para Comparação com Honório Bicalho – Anos Cíveis

Para permitir a comparação direta das precipitações registradas na Estação Lagoa Grande (MMV) com as vazões registradas na Estação Honório Bicalho, considera-se a seguir somente os dados de precipitações que registradas na Lagoa Grande (MMV) a partir de 27/04/1971, quando foram iniciados os registros em Honório Bicalho, até 30/11/2023, data do último registro em Honório Bicalho.

A tabela a seguir apresenta os valores dos quantis calculados para os dois períodos com igual quantidade de dias (de 27/04/1971 a 12/08/1997 e de 13/08/1997 a 30/11/2023) em que o período de 27/04/1971 a 30/11/2023 da Estação Lagoa Grande (MMV) foi dividido:

LAGOA GRANDE (MMV) (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043002			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	
5,0%	2,10	1,80	-0,30
10,0%	2,80	2,30	-0,50
15,0%	3,40	3,00	-0,40
20,0%	4,30	3,60	-0,70
25,0% (Q1)	5,30	4,60	-0,70
30,0%	6,30	5,59	-0,71
35,0%	7,40	6,80	-0,60
40,0%	8,50	8,12	-0,38
45,0%	10,10	9,60	-0,50
50,0% (Q2)	11,20	11,20	0,00
55,0%	12,80	13,10	0,30
60,0%	14,70	15,10	0,40
65,0%	16,50	17,20	0,70
70,0%	18,40	20,00	1,60
75,0% (Q3)	21,35	22,90	1,55
80,0%	25,20	26,44	1,24
85,0%	30,39	31,20	0,81
90,0%	36,46	37,44	0,98



95,0%	46,72	48,80	2,08
99,0%	70,93	75,97	5,04
99,5%	79,73	91,23	11,50

A diferença entre os quantis da segunda e da primeira metade da série histórica (última coluna da tabela) pode ser visualizada por meio do gráfico a seguir:



Com relação aos números acima pode-se observar:

1. Nos últimos 26,3 anos (até 30/11/2023), em comparação com os 26,3 anteriores a eles, houve redução da intensidade das chuvas para quantis iguais ou inferiores ao segundo quartil Q1 (50%), ou seja, chuvas fortes, moderadas, fracas e chuviscos (11 mm/dia).
2. Houve aumento da intensidade das chuvas para todos os quantis superiores segundo quartil (50% = 11 mm/dia), o que indica um aumento dos dias com chuvas muito fortes e extremas.
3. Os maiores aumentos se deram nos quantis superiores a 90% (37 mm/dia), o que significa que, na parte mais recente da série (últimos 26,3 anos), houve aumento dos eventos mais intensos de chuva. Essa tendência de aumento na intensidade das chuvas mais fortes é relevante para a gestão de riscos associados, como enchentes, deslizamentos, rupturas de barragens e pilhas de estéréis e de rejeitos de mineração etc.
4. Esse padrão é consistente com observações globais de que eventos extremos de precipitação têm se tornado mais frequentes e intensos em muitas regiões. O aumento nos valores extremos pode estar associado, também a mudanças climáticas regionais, como o aumento da temperatura média, que intensifica o ciclo hidrológico e resulta em chuvas mais intensas.
5. Além das causas climáticas, o aumento pode indicar uma mudança no regime local de chuvas, seja por variações naturais de longo prazo (como ciclos climáticos) ou por mudanças no uso da terra, desmatamento ou urbanização, que alteram o microclima.

Conclusões da Análise por Quantis - Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – Anos Cíveis

1. **Redução das chuvas moderadas e fracas:** Nos últimos 26,3 anos, houve uma diminuição na intensidade das chuvas para quantis até 50% (= 11 mm/dia).
2. **Aumento das chuvas extremas:** As chuvas com intensidade superior à do segundo quartil (50% = 11 mm/dia) aumentaram, indicando maior frequência de chuvas muito fortes e extremas. O maior crescimento ocorreu no quantil de 99,5% (de 79,73 mm para 91,23 mm), reforçando a intensificação dos eventos extremos.



- Riscos hidrológicos aumentados:** O crescimento das chuvas extremas tem implicações para enchentes, deslizamentos, rupturas de barragens e outros riscos ambientais e estruturais.
- Consistência com tendências globais:** O padrão observado segue a tendência mundial de aumento na intensidade e frequência de eventos extremos, possivelmente ligado às mudanças climáticas e ao aquecimento global.

4.9.5.3 *Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – Para Comparação com Honório Bicalho – Períodos Secos*

LAGOA GRANDE (MMV) (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043002			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	
5,0%	1,60	1,60	0,00
10,0%	2,30	2,00	-0,30
15,0%	2,70	2,23	-0,48
20,0%	3,20	2,80	-0,40
25,0%	3,80	3,20	-0,60
30,0%	4,74	3,60	-1,14
35,0%	5,20	4,20	-1,00
40,0%	6,30	5,00	-1,30
45,0%	7,56	5,78	-1,78
50,0%	8,40	6,80	-1,60
55,0%	9,20	7,83	-1,38
60,0%	10,68	9,90	-0,78
65,0%	11,94	11,18	-0,76
70,0%	14,06	12,85	-1,21
75,0%	15,60	15,20	-0,40
80,0%	18,64	17,20	-1,44
85,0%	22,23	21,98	-0,25
90,0%	26,84	26,25	-0,59
95,0%	35,11	35,68	0,56
99,0%	48,09	49,47	1,38
99,5%	63,39	56,77	-6,62





Conclusões da Análise por Quantis - Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – **Períodos Secos**

- Redução geral das chuvas:** Nos últimos 26,3 anos, houve uma diminuição na intensidade das chuvas para todos os quantis superiores a 5% até 90% (26 mm/dia), o que denota o agravamento das secas. No entanto, os eventos de chuvas intensas, quando ocorreram, foram de maior intensidade (superiores a 35 mm/dia). Houve redução, também, nas chuvas com intensidade superior a 63 mm/dia, eventos esses raros nos períodos secos.
- Riscos hidrológicos aumentados:** O agravamento das secas representa crescente e séria ameaça à segurança hídrica da RMBH.
- Consistência com tendências globais:** O padrão observado segue a tendência mundial de aumento na intensidade e frequência das secas, possivelmente ligada às mudanças climáticas e ao aquecimento global.

4.9.5.4 *Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – Para Comparação com Honório Bicalho – Períodos Úmidos*

LAGOA GRANDE (MMV) (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043002			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	27/04/1971 a 12/08/1997	13/08/1997 a 30/11/2023	
5,0%	2,10	1,80	-0,30
10,0%	2,80	2,40	-0,40
15,0%	3,60	3,10	-0,50
20,0%	4,60	4,00	-0,60
25,0%	5,60	5,00	-0,60
30,0%	6,60	6,00	-0,60
35,0%	7,80	7,10	-0,70
40,0%	9,10	8,80	-0,30
45,0%	10,30	10,10	-0,20
50,0%	11,60	12,00	0,40
55,0%	13,50	13,80	0,30
60,0%	15,30	15,80	0,50
65,0%	17,20	18,50	1,30
70,0%	19,30	21,20	1,90
75,0%	22,60	24,03	1,43
80,0%	26,40	27,30	0,90
85,0%	31,46	32,40	0,94
90,0%	37,88	38,80	0,92
95,0%	49,20	50,00	0,80
99,0%	71,65	79,92	8,27
99,5%	82,38	94,32	11,94



Conclusões da Análise por Quantis - Dois Segmentos Iguais de 26,3 anos – Períodos Úmidos

1. **Redução geral das chuvas fortes, moderadas e fracas:** Nos últimos 26,3 anos, houve uma diminuição na intensidade das chuvas para todos os quantis inferiores a 50% (12 mm/dia).
2. **Aumento geral das chuvas moderadas e fortes:** Nos últimos 26,3 anos, houve um aumento na intensidade das chuvas para todos os quantis iguais ou superiores a 50% (12 mm) e, de modo especial, das chuvas superiores a 50 mm/dia (95%).
3. **Riscos hidrológicos aumentados:** O crescimento das chuvas intensas e extremas tem implicações para enchentes, deslizamentos, rupturas de barragens e outros riscos ambientais e estruturais.
4. **Consistência com tendências globais:** O padrão observado segue a tendência mundial de aumento na intensidade e frequência de eventos extremos, possivelmente ligado às mudanças climáticas e ao aquecimento global.

4.9.5.5 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Para Comparação Itabirito Linígrafo e Faz. Água Limpa – Anos Cíveis

Para permitir a comparação direta das precipitações registradas na Estação Lagoa Grande (MMV) precipitações registradas nas estações Itabirito Linígrafo e Fazenda Água Limpa, considera-se a seguir somente os dados de precipitações que registradas na Lagoa Grande (MMV) a partir de 27/01/1984, quando foram iniciados os registros em Honório Bicalho, até 30/06/2024.

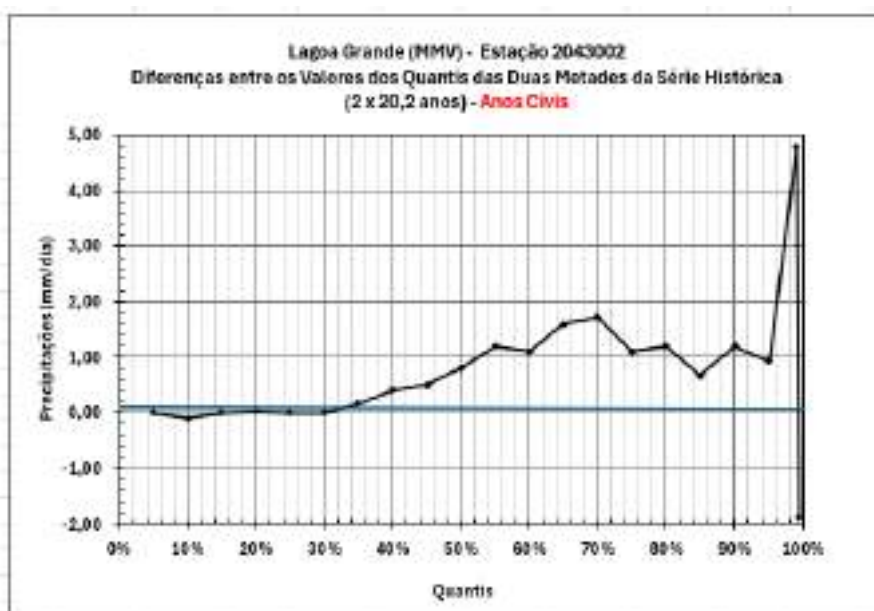
A tabela a seguir apresenta os valores dos quantis calculados para os dois períodos com igual quantidade de dias (de 27/01/1984 a 31/03/2004 e de 01/04/2004 a 30/06/2024):

LAGOA GRANDE (MMV) (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043002			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	
5,0%	1,80	1,80	0,00
10,0%	2,30	2,20	-0,10
15,0%	3,00	3,00	0,00
20,0%	3,78	3,80	0,02
25,0%	4,60	4,60	0,00
30,0%	5,60	5,60	0,00
35,0%	6,64	6,80	0,16



40,0%	7,90	8,30	0,40
45,0%	9,30	9,80	0,50
50,0%	10,70	11,50	0,80
55,0%	12,20	13,40	1,20
60,0%	14,20	15,30	1,10
65,0%	16,20	17,80	1,60
70,0%	18,48	20,20	1,72
75,0%	21,90	23,00	1,10
80,0%	25,60	26,80	1,20
85,0%	30,84	31,50	0,66
90,0%	36,80	38,00	1,20
95,0%	48,18	49,10	0,92
99,0%	73,84	78,62	4,78
99,5%	92,79	90,92	-1,87

A diferença entre os quantis da segunda e da primeira metade da série histórica (última coluna da tabela) pode ser visualizada por meio do gráfico a seguir:



Com relação aos números acima pode-se observar:

- Nos últimos 20,2 anos (até 30/03/2024), em comparação com os 20,2 anteriores a eles, não houve alteração da intensidade das chuvas para quantis iguais ou inferiores a 35% (7 mm/dia).
- Houve aumento da intensidade das chuvas para todos os quantis superiores ao segundo quartil (50% = 11 mm/dia), o que indica um aumento dos dias com chuvas muito fortes e extremas.
- Os maiores aumentos se deram nos quantis superiores a 90% (37 mm/dia), o que significa que, na parte mais recente da série (últimos 20,2 anos), houve aumento dos eventos mais intensos de chuva. Essa tendência de aumento na intensidade das chuvas mais fortes é relevante para a gestão de riscos associados, como enchentes, deslizamentos, rupturas de barragens e pilhas de estéreis e de rejeitos de mineração etc.
- Esse padrão é consistente com observações globais de que eventos extremos de precipitação têm se tornado mais frequentes e intensos em muitas regiões. O aumento nos valores extremos pode estar associado, também a mudanças climáticas regionais,



como o aumento da temperatura média, que intensifica o ciclo hidrológico e resulta em chuvas mais intensas.

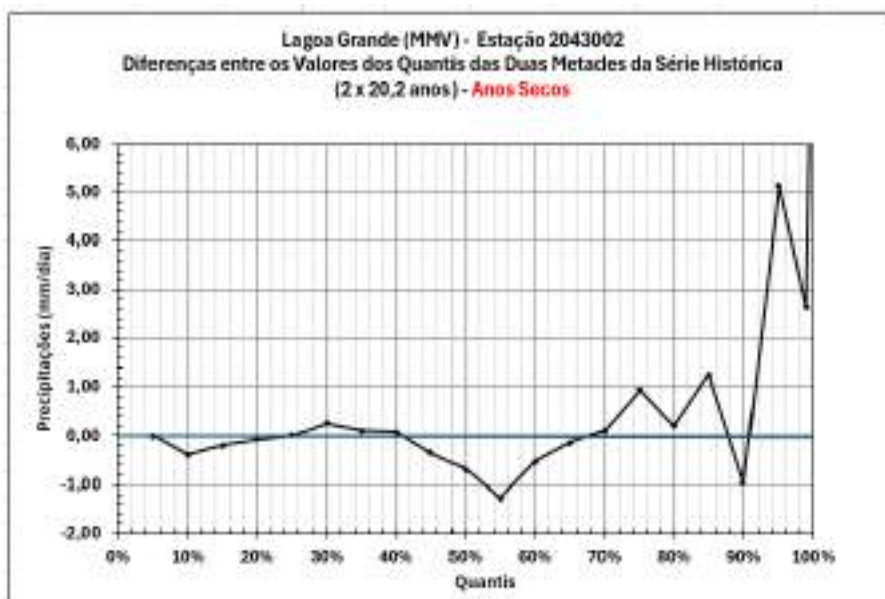
- Além das causas climáticas, o aumento pode indicar uma mudança no regime local de chuvas, seja por variações naturais de longo prazo (como ciclos climáticos) ou por mudanças no uso da terra, desmatamento ou urbanização, que alteram o microclima.

Conclusões da Análise por Quantis - Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Anos Cíveis

- Redução das chuvas moderadas e fracas:** Nos últimos 20,2 anos, houve uma diminuição da intensidade das chuvas para quantis até 50% (=11 mm/dia).
- Aumento das chuvas extremas:** As chuvas com intensidades superiores à do segundo quartil (50% = 11 mm/dia) aumentaram, indicando maior frequência de chuvas muito fortes e extremas. O maior crescimento ocorreu no quantil de 99,5% (de 73,84 mm para 78,62 mm), reforçando a intensificação dos eventos extremos.
- Riscos hidrológicos aumentados:** O crescimento das chuvas extremas tem implicações para enchentes, deslizamentos, rupturas de barragens e outros riscos ambientais e estruturais.
- Consistência com tendências globais:** O padrão observado segue a tendência mundial de aumento na intensidade e frequência de eventos extremos, possivelmente ligado às mudanças climáticas e ao aquecimento global.

4.9.5.6 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Para Comparação com Honório Bicalho – Períodos Secos

LAGOA GRANDE (MMV) (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043002			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	
5,0%	1,59	1,58	-0,01
10,0%	2,20	1,80	-0,40
15,0%	2,40	2,20	-0,20
20,0%	2,80	2,72	-0,08
25,0%	3,20	3,20	0,00
30,0%	3,54	3,80	0,26
35,0%	4,36	4,46	0,10
40,0%	5,02	5,10	0,08
45,0%	6,20	5,84	-0,36
50,0%	7,50	6,80	-0,70
55,0%	9,08	7,80	-1,28
60,0%	10,00	9,46	-0,54
65,0%	11,14	11,00	-0,14
70,0%	12,80	12,90	0,10
75,0%	14,45	15,40	0,95
80,0%	16,96	17,16	0,20
85,0%	21,20	22,46	1,26
90,0%	26,20	25,22	-0,98
95,0%	30,81	35,94	5,13
99,0%	45,89	48,54	2,65
99,5%	49,01	55,82	6,81



Conclusões da Análise por Quantis - Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Períodos Secos

1. Nos últimos 20,2 anos (até 30/03/2024), em comparação com os 20,2 anteriores a eles, não houve alteração da intensidade das chuvas para quantis iguais ou inferiores a 40% (5 mm/dia).
2. **Redução geral das chuvas:** Nos últimos 20,2 anos, houve uma diminuição na intensidade das chuvas entre os quantis de 40 a 70% (de 5 a 13 mm/dia). No entanto, os eventos de chuvas moderadas foram de maior intensidade (de 13 a 26 mm/dia). Houve forte aumento da intensidade das chuvas superiores a 30 mm/dia, eventos esses raros nos períodos secos.

4.9.5.7 *Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Para Comparação com Honório Bicalho – Períodos Úmidos*

LAGOA GRANDE (MMV) (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043002			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	
5,0%	1,80	1,80	0,00
10,0%	2,40	2,40	0,00
15,0%	3,20	3,10	-0,10
20,0%	4,10	4,00	-0,10
25,0%	5,10	4,80	-0,30
30,0%	6,10	6,00	-0,10
35,0%	7,10	7,30	0,20
40,0%	8,30	8,80	0,50
45,0%	9,80	10,48	0,68
50,0%	11,20	12,40	1,20
55,0%	13,00	14,00	1,00
60,0%	15,10	16,10	1,00
65,0%	17,10	18,86	1,76
70,0%	19,80	21,50	1,70
75,0%	23,20	24,10	0,90
80,0%	27,20	27,72	0,52
85,0%	32,31	33,00	0,69
90,0%	38,48	39,26	0,78
95,0%	50,08	50,40	0,32