



Período / Variável	Faz. Água Limpa (FAL)	Lagoa Grande (LG)	Observações Gerais
Ano completo (2017–2023)	Aumento da precipitação acumulada e dos dias de chuva	Redução da precipitação acumulada e dos dias de chuva	Tendências invertidas entre as estações
Ano completo – Média Diária	Estável no total da série; aumento em 2017–2023	Pequeno crescimento contínuo ao longo da série	AL: risco crescente de eventos extremos desde 2017
Períodos Secos (1984–2017)	Redução forte da precipitação acumulada e dos dias	Redução da precipitação acumulada e dos dias	AL: Redução mais acentuada
Períodos Secos (2017–2023)	Redução da precipitação; leve aumento nos dias	Redução da precipitação; estabilidade nos dias	Sinal de agravamento da severidade das secas
Períodos Secos – Média Diária	Redução (1984–2017); também redução (2017–2023)	Aumento (1984–2017); redução (2017–2023)	De 2017 a 2023, ambas com tendência de redução
Períodos Úmidos (1984–2017)	Redução leve da precipitação acumulada e aumento leve dos dias	Redução leve da precipitação e redução dos dias	AL e CD com tendências opostas
Períodos Úmidos (2017–2023)	Aumento acentuado da precipitação e dias de chuva	Aumento acentuado da precipitação e dos dias de chuva	Tendência comum de recuperação após 2017
Períodos Úmidos – Média Diária	Redução (1984–2017); aumento (2017–2023)	Aumento (1984–2017); redução (2017–2023)	Tendências opostas podem se cancelar no impacto sobre a vazão

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

4.10.3.1 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos

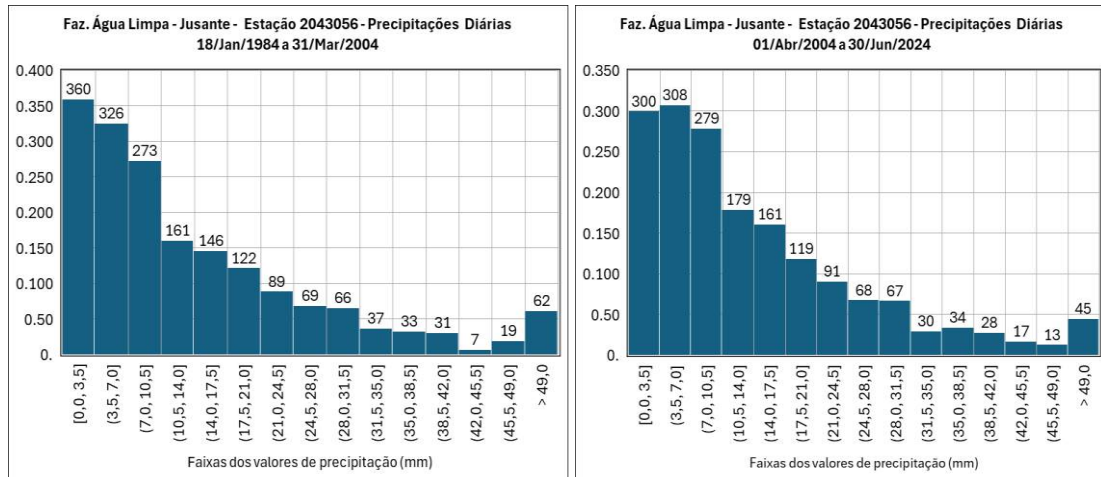
Como no caso da Estação Lagoa Grande (MMV), nas análises a seguir foi considerada a seguinte classificação das chuvas por intensidade (ver Anexo 1):

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 Fazenda Água Limpa - Jusante foi dividida em dois períodos com igual

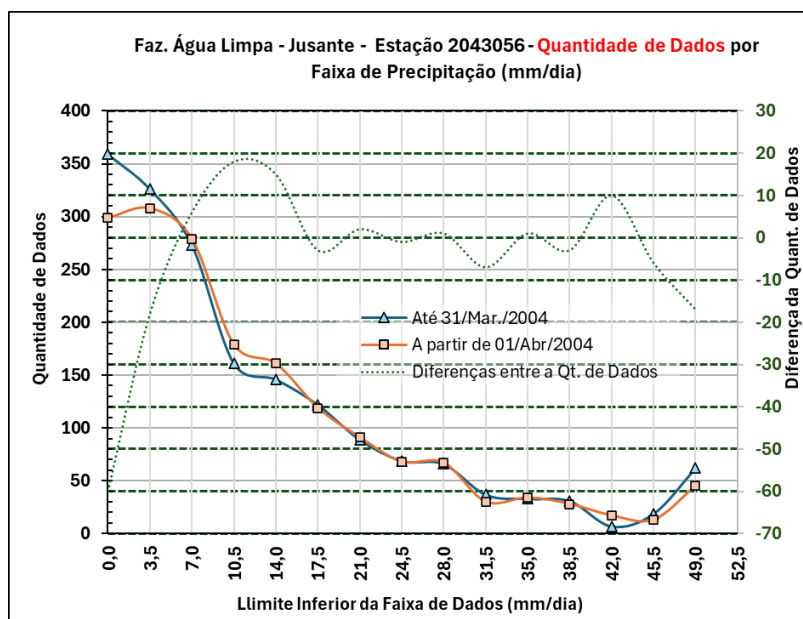
quantidade de dias, sendo o primeiro de 18/01/1984 a 30/03/2004 e o segundo de 01º/04/2004 a 30/06/2024. Os valores de precipitação (maiores ou iguais 1,3 mm por dia) foram classificados em 14 faixas, de largura 3,5 mm cada uma, e uma faixa com valores superiores a 49,0 mm diários.

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 20,2 anos da série ocorreram 62 dias com chuva acumulada diária com valores superiores a 49 mm e nos últimos 20,2 anos, 45 eventos, uma redução de 27%.

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



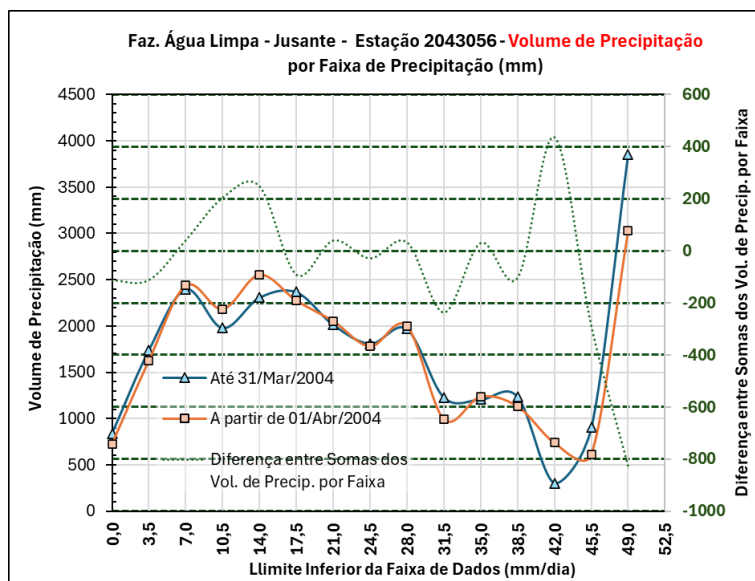
Pode-se ver que nos 20,2 anos mais recentes, contados a partir de 01º/04/2004, houve uma quantidade ligeiramente maior (ver diferença entre quantis, eixo vertical da esquerda) de dias chuvosos que nos 20,2 anos anteriores apenas nas faixas de precipitação de 6 a 17 mm e de 39 a 44 mm por dia. Ou seja, nos últimos 20,2 anos houve uma redução geral da quantidade de dias de chuva exceto nas duas faixas citadas.

No gráfico de dispersão acima a linha pontilhada refere-se à diferença entre frequências em cada faixa. Essa linha mostra diferenças positivas apenas entre 6 a 17 mm e de 39 a 44 mm. Conforme observado no caso da Lagoa Grande (MMV), precipitações até 20 mm por dia aprox. possivelmente são mais propícias à recarga dos aquíferos, principalmente se ocorrerem com intensidades horárias e sub-horárias adequadas. O ligeiro aumento dessas precipitações verificado nos últimos 20,2 anos poderia resultar em aumento dos níveis desses aquíferos e nas vazões das nascentes que eles alimentam, efeito que, poderia compensar, pelo menos parcialmente, as perdas registradas na Lagoa Grande (MMV), com alguma redução dos riscos à segurança hídrica da RMBH. No entanto, não existem aquíferos expressivos na área do vale do Rio das Velhas (em geral, aquíferos rasos), que pode ser a representada pela Estação Fazenda Água Limpa. O aquífero Cauê, mais importante manancial hídrico subterrâneo do Quadrilátero Aquífero-Ferrífero (QAF), responsável, em última instância, pelo abastecimento hídrico da RMBH, ocorre continuamente no Sinclinal (Serra da) Moeda – área em que estão situadas as estações Lagoa Grande (MMV) e Barragem das Codornas – e no Homoclinal Serra do Curral, fazendo-se presente em todo o relevo de cimeira da região (FIGUEIREDO, 2019).

Por outro lado, é possível que as chuvas inferiores a 6 mm, principalmente se abaixo de 3,5 mm, por dia (que reduziram significativamente nos últimos 20,2 anos) tenham pouca influência na recarga dos aquíferos, pois podem ficar retidas nas folhas da vegetação e na serrapilheira (parte da abstração inicial) 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 20,2 anos houve maior volume de chuvas apenas nas faixas com totais diários entre 6 a 17 mm e de 39 a 44 mm, sendo que o maior aumento ocorreu na faixa de precipitações com valores diários 39 a 44 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.

O aumento na quantidade anual de chuvas – principalmente chuvas de maior intensidade – 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.



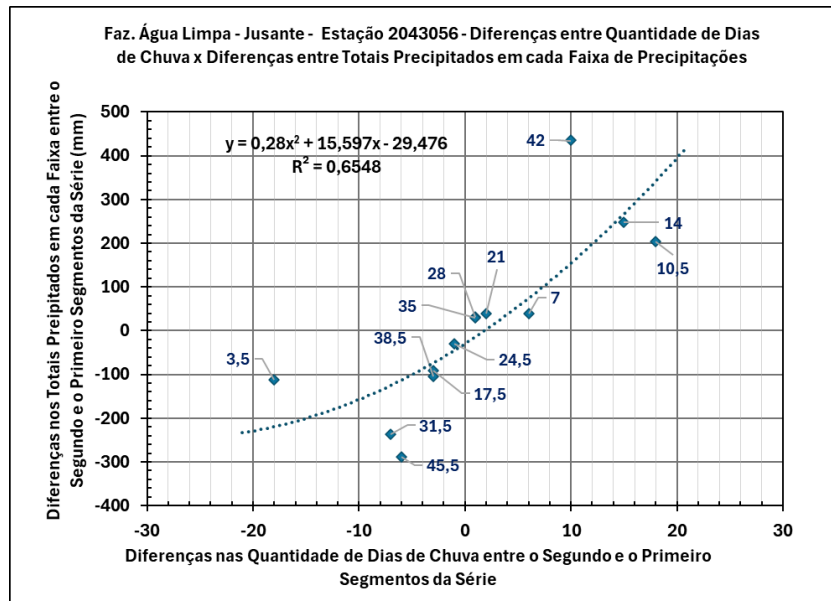
Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	359	299	840,4	727,0	-60	-113
3,5	7,0	326	308	1740,1	1627,6	-18	-113
7,0	10,5	273	279	2397,9	2437,9	6	40
10,5	14,0	161	179	1980,3	2183,5	18	203
14,0	17,5	146	161	2308,2	2555,4	15	247
17,5	21,0	122	119	2367,5	2275,7	-3	-92
21,0	24,5	89	91	2014,9	2054,0	2	39
24,5	28,0	69	68	1810,6	1781,2	-1	-29
28,0	31,5	66	67	1968,6	2001,0	1	32
31,5	35,0	37	30	1230,7	993,9	-7	-237
35,0	38,5	33	34	1207,0	1236,8	1	30
38,5	42,0	31	28	1237,4	1133,3	-3	-104
42,0	45,5	7	17	304,3	739,5	10	435
45,5	49,0	19	13	902,9	614,7	-6	-288
49,0	300,0	62	45	3852,9	3027,1	-17	-826
Totais		1800	1738	26164	25389	-62	-775

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 e outros casos.

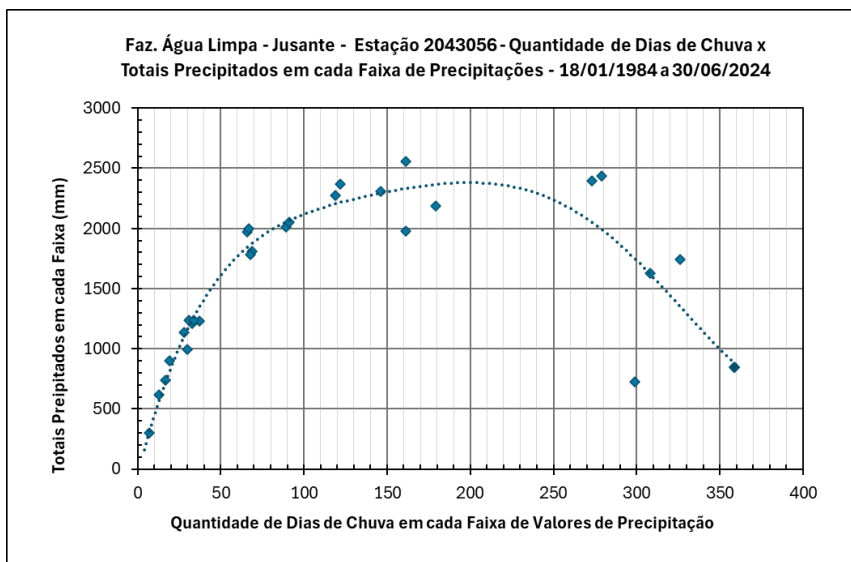
É importante observar que a maior redução de volume de precipitações ocorreu com valores diários superiores a 45,5 mm, ou seja, chuvas extremas, o inverso do que ocorreu na Lagoa Grande (MMV). No total, durante os 40,4 anos da série, o volume precipitado por meio dessas chuvas torrenciais foi de 8397,6 mm (16,3% do volume total). Nos primeiros 20,2 anos o volume dessas chuvas foi de 4755,8 mm e nos 20,2 anos mais recentes, de 3641,8 mm, uma redução de 23,4%. Essa redução da intensidade na região das cabeceiras do Rio das Velhas contribuiu para reduzir o impacto do aumento da intensidade das chuvas diárias na região do Sinclinal Moeda (Lagoa Grande (MMV)) e dos riscos a elas associados,

Por outro lado, houve redução de 8,8% dos volumes dos chuviscos e chuvas fracas (chuvas diárias de 1,2 a 7,0 mm), volumes que podem não ser de significativa importância para a recarga dos aquíferos.

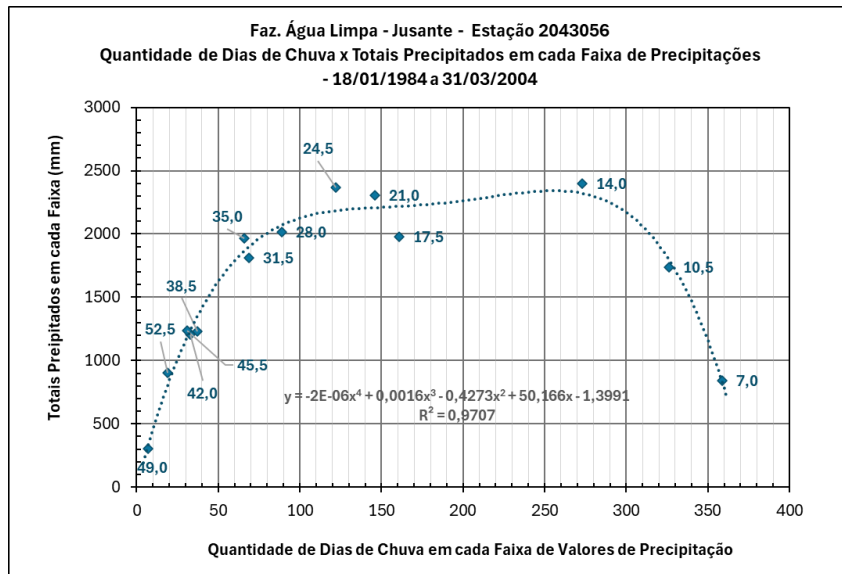
O gráfico a seguir apresenta a correlação entre as diferenças entre números de dias chuvosos e totais precipitados dos dois segmentos de 20,2 anos da série; os rótulos dos pontos indicam o limite superior da faixa de precipitações a que eles se referem:



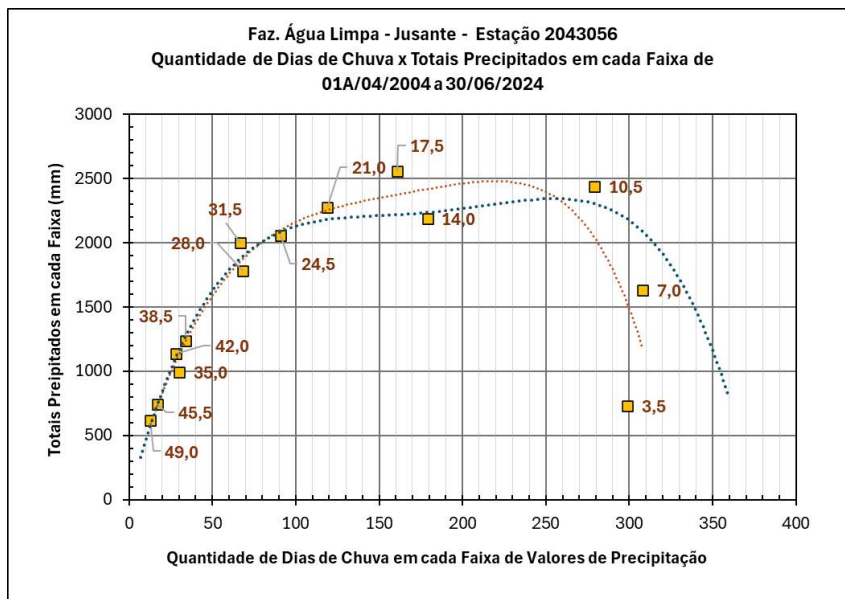
O gráfico abaixo mostra, para a série completa (40,4 anos) e desconsiderando as chuvas diárias com mais de 49 mm e as com menos de 3,5 mm) a relação entre a quantidade de dias de chuva em cada faixa de valores de precipitação e os totais precipitados em cada faixa (mm). Tanto as maiores quanto as menores quantidade de dias de chuva correspondem a menores volumes de precipitação. Os maiores volumes (acima de 1500 mm) de precipitação por faixa ocorreram com valores diários de precipitação entre 10,5 e 31,5 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 anos da série (de 18/01/1984 a 30/03/2004), 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 20,2 anos da série (de 01º/04/2004 a 30/06/2024), 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 faixas de 10,5 a 21 mm.



Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade dos anuais (Anos Civos) dos dois segmentos de 20,2 anos cada:

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação na região da Fazenda Água Limpa - Jusante, dividida em dois segmentos de 20,2 anos cada (1984 a 2004 e 2004 a 2023) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

1. Redução Geral da Frequência de Dias Chuvosos

- Nos últimos 20,2 anos (2004 a 2023), houve redução geral na quantidade de dias com chuva, quando comparado com os 20,2 anos anteriores (1984 a 2004).



- A frequência de dias chuvosos aumentou apenas em duas faixas de precipitação: 6 a 17 mm e 39 a 44 mm.

2. Redução nas Chuvas Extremas

- Houve redução significativa (27%) no número de dias com chuvas superiores a 49 mm/dia, passando de 62 para 45 eventos.
- Em termos de volume, as chuvas extremas (> 45,5 mm/dia) tiveram uma redução de 23,4%, de 4755,8 mm para 3641,8 mm.
- Isso pode reduzir os riscos associados a chuvas muito intensas, como erosão, assoreamento e inundações, principalmente na região das cabeceiras do Rio das Velhas.

3. Aumento de Chuvas Moderadas Potencialmente Benéficas

- O leve aumento nas chuvas entre 6 e 17 mm/dia pode favorecer a recarga de aquíferos, pois essas chuvas têm maior chance de infiltrar no solo, dependendo da sua intensidade horária e sub-horária.
- Essas chuvas são especialmente importantes para a manutenção das nascentes e da segurança hídrica da RMBH, podendo compensar parcialmente os efeitos negativos observados em outras regiões, como Lagoa Grande (MMV).

4. Redução nas Chuvas Muito Fracas (1,2 a 7,0 mm)

- Houve redução de 8,8% nos volumes de chuviscos e chuvas fracas, que são de baixa relevância para recarga de aquíferos, pois geralmente não ultrapassam as camadas superficiais do solo.
- Essas chuvas são frequentemente perdidas por evaporação e transpiração, principalmente se inferiores a 3 – 4 mm/dia, sem contribuir para a recarga subterrânea.

5. Chuvas Moderadas Contribuem com os Maiores Volumes Totais

- Os maiores volumes acumulados por faixa de precipitação foram registrados em chuvas moderadas (entre 10,5 e 31,5 mm/dia).
- Essas faixas de precipitação, apesar de não serem as mais frequentes, concentram o maior volume total de água precipitada, podendo ser essenciais para a recarga eficaz dos aquíferos, dependendo da intensidade horária e sub-horária.

6. Relação Direta entre Frequência de Dias e Volume Precipitado

- Há uma correlação direta entre a frequência de dias chuvosos e o volume total precipitado por faixa: faixas com menos dias tendem a ter menor volume total e vice-versa.
- Isso fortalece a análise baseada em faixas como ferramenta útil para avaliar tendências hidrológicas e impactos na disponibilidade de água.

7. Tendência Hidrológica Regional Heterogênea

- O comportamento na Fazenda Água Limpa (Jusante) contrasta com o observado na Lagoa Grande (MMV), sugerindo diferenças regionais na evolução das chuvas.
- Na Lagoa Grande (MMV), houve aumento das chuvas intensas; já na Fazenda Água Limpa, essas chuvas diminuíram, indicando que impactos e riscos variam geograficamente, exigindo análises localizadas.

8. Resumo Final

A análise das precipitações anuais registradas na estação Fazenda Água Limpa por faixas de precipitação revela uma tendência recente de redução geral de dias chuvosos e das chuvas extremas, com ligeiro aumento de chuvas moderadas, que podem ser mais favoráveis à recarga hídrica subterrânea. Isso pode indicar uma mudança qualitativa no regime de precipitação, com potenciais efeitos mitigadores sobre a segurança hídrica em determinadas áreas, apesar de uma queda geral nos volumes e frequências das chuvas fracas e extremas.

Tabela Comparativa: Fazenda Água Limpa vs. Lagoa Grande (MMV) – Análise de Precipitações por Faixas

Aspecto	Fazenda Água Limpa	Lagoa Grande (MMV)
Período de análise	Dois períodos de 20,2 anos: • 18/01/1984 a 30/03/2004 • 01/04/2004 a 30/06/2024	Dois períodos de 26,3 anos: • 27/04/1971 a 12/08/1997 • 13/08/1997 a 30/11/2023.
Critério de inclusão	Precipitação diária $\geq 1,3$ mm	Precipitação diária $\geq 1,3$ mm.
Classificação por faixas	14 faixas de 3,5 mm cada + uma faixa final > 49 mm	14 faixas de 3,5 mm cada + uma faixa final > 49 mm.
Tendência geral	Redução geral do número de dias chuvosos e dos volumes de precipitação com aumento apenas nas faixas de 6–17 mm e 39–44 mm	Redução de 101 dias chuvosos e 513 mm no total precipitado nos 26,3 anos mais recentes.
Reduções marcantes	Faixas > 45,5 mm: redução de 27% nos eventos (>49 mm) Volume dessas chuvas caiu 23,4% (de 4755,8 mm para 3641,8 mm)	Faixa > 45 mm: +5 dias e + 680 mm Faixa 45,5–49 mm: –3 dias e –127 mm Faixas 3,5–17,5 mm: –255 dias e –2548 mm Faixa 28–35 mm: –20 dias e –598 mm.
Aumentos relevantes	Faixas de 6–17 mm e 39–44 mm: ligeiro aumento de dias e volume (ex.: maior aumento em 39–44 mm) Volume maior nessas faixas	Faixa 1,3–3,5 mm: aumento de 78 dias e 297 mm Essas chuvas possivelmente são pouco eficazes para recarga.
Chuvas de maior contribuição ao volume total	Maiores volumes por faixa: chuvas moderadas (10,5–31,5 mm/dia) Chuvas torrenciais >49 mm: 16,3% do total em 40,4 anos	Reduções importantes em faixas moderadas, potencialmente críticas para recarga dos aquíferos.
Implicações para recarga de aquíferos	Leve aumento em faixas de 6–17 mm pode favorecer recarga Redução das extremas >49 mm pode ajudar a diminuir efeitos erosivos	Redução de chuvas nas faixas possivelmente mais favoráveis à infiltração pode ter contribuído para redução de vazões de base do Rio das Velhas e maior vulnerabilidade hídrica.
Chuvas fracas (< 6 mm/dia)	Redução expressiva (–8,8% no volume de chuviscos e fracas) Essas têm baixa capacidade de recarga efetiva	Aumento na faixa 1,3–3,5 mm pode ter pouca influência na recarga e até indicar mudança negativa na eficácia das chuvas.



Aspecto	Fazenda Água Limpa	Lagoa Grande (MMV)
Chuvas intensas (>45,5 mm/dia)	Forte redução: eventos extremos diminuíram 27% em frequência e 23,4% em volume Menor risco de erosões, inundações	Pequeno aumento (1,3%) do volume e da quantidade de dias com chuvas extremas (0,08%)

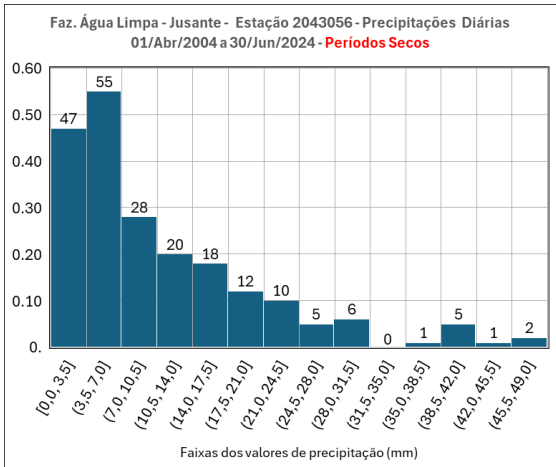
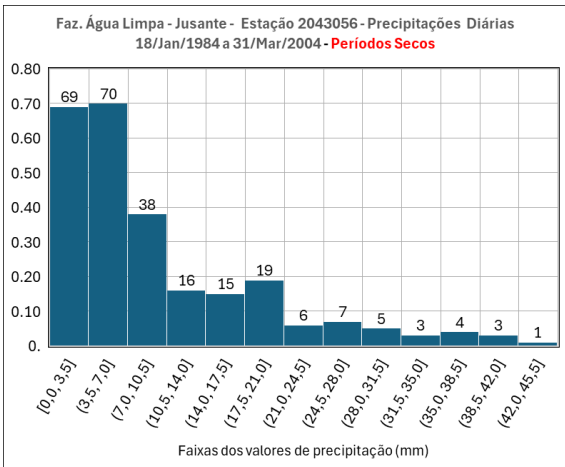
Conclusões da Comparação

- Fazenda Água Limpa mostra aumento de chuvas em faixas moderadas (6–17 mm), possivelmente mais favoráveis à recarga dos aquífero, dependendo de sua intensidade horária e sub-horária, ainda que tenha ocorrido redução geral de dias chuvosos e volumes totais. A redução de chuvas extremas também contribui para menores riscos erosivos e de assoreamento.
- Lagoa Grande (MMV) apresenta um cenário mais crítico, com redução de chuvas nas faixas possivelmente mais eficazes para recarga, o que pode ter impactado as vazões de base e aumentado a vulnerabilidade hídrica. O aumento em chuviscos possivelmente contribuiu pouco para a recarga e pode representar um deslocamento para eventos menos eficientes.

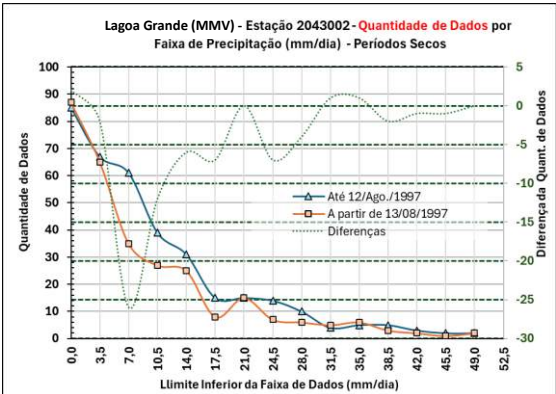
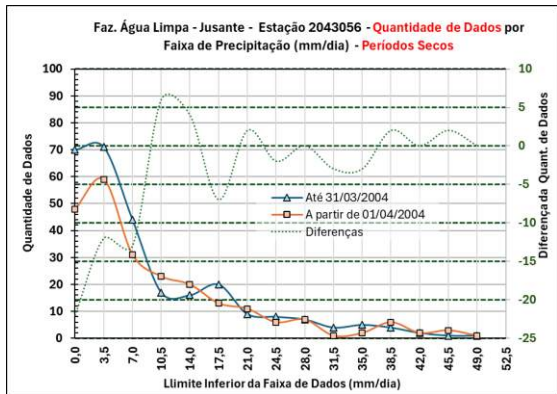
4.10.3.2 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Períodos Secos

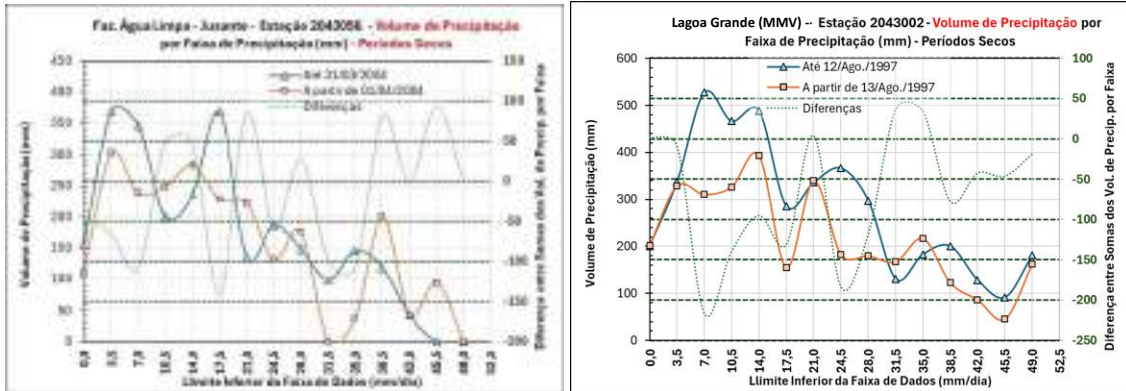
Considerou-se, na análise a seguir, somente os dados de precipitações dos **períodos secos** que foram registrados na Fazenda Água Limpa a partir de 18/jan./1984 até 30/06/2024. A tabela e os gráficos referentes a esses períodos são apresentados a seguir:

Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	70	48	154,3	110,2	-22	-44
3,5	7,0	71	59	368,9	303,2	-12	-66
7,0	10,5	44	31	345,9	238,0	-13	-108
10,5	14,0	17	23	200,1	248,7	6	49
14,0	17,5	16	20	235,5	283,4	4	48
17,5	21,0	20	13	368,8	228,3	-7	-141
21,0	24,5	9	11	135,2	222,3	2	87
24,5	28,0	8	6	187,5	130,6	-2	-57
28,0	31,5	7	7	148,4	177,0	0	29
31,5	35,0	4	1	99,3	0,0	-3	-99
35,0	38,5	5	2	145,1	37,3	-3	-108
38,5	42,0	4	6	119,2	201,6	2	82
42,0	45,5	2	2	42,9	42,5	0	0
45,5	49,0	1	3	0,0	94,5	2	95
49,0	300,0	1	1	0,0	0,0	0	0
Totais		279	233	2551,1	2317,6	-46	-233



Para permitir a comparação direta, abaixo são apresentados os gráficos das estações Fazenda Água Limpa e Lagoa Grande (MMV) :





Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade dos períodos secos dos dois segmentos de 20,2 anos cada da Estação Fazenda Água Limpa - Jusante:

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação dos períodos secos da série da Fazenda Água Limpa - Jusante, dividida em dois segmentos de 20,2 anos cada (1984-2004 e 2004-2024) e essa análise permite tirar as seguintes conclusões (as precipitações diárias menores que 1,3 mm não foram consideradas):

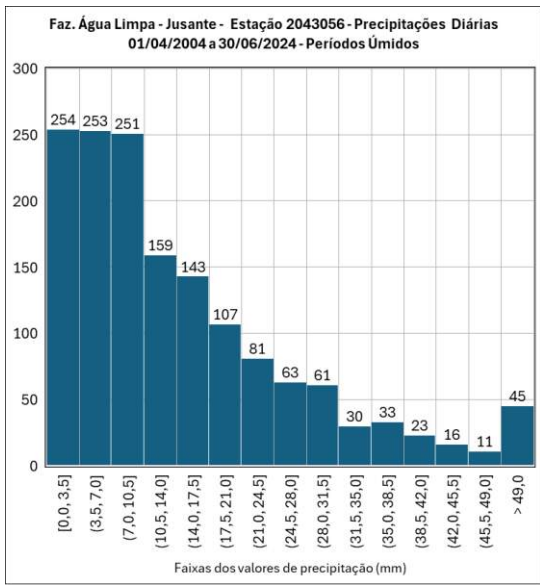
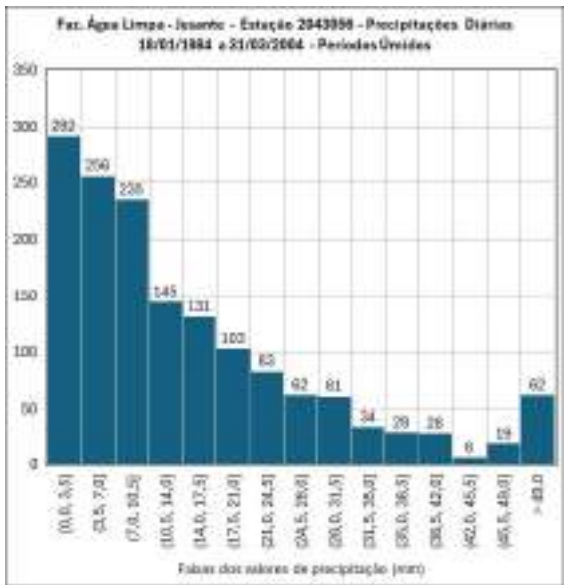
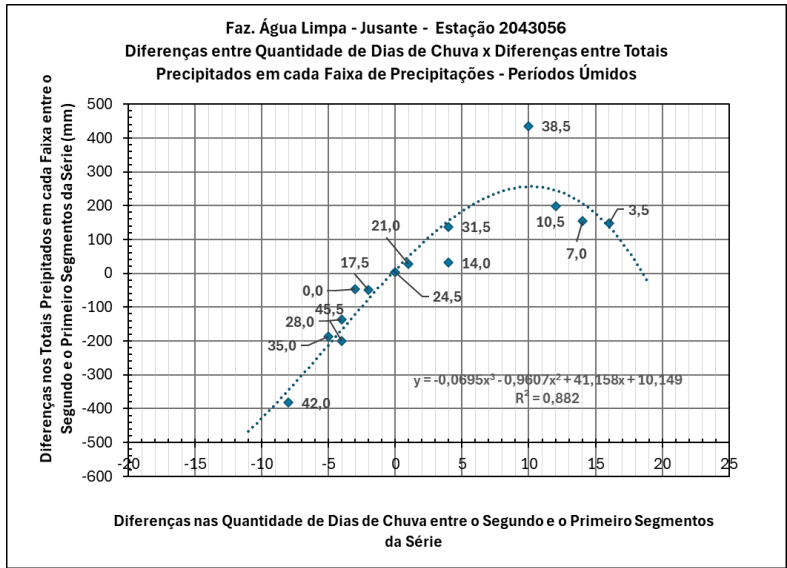
Alterações nas quantidades de dias chuvosos e nos volumes precipitados nos períodos secos da Estação Fazenda Água Limpa - Jusante – Nos últimos 20,2 anos (de 01/04/2004 a 30/06/2024), em comparação com os primeiros 20,2 anos (de 18/01/1984 a 31/03/2004):

- Houve uma redução total de 46 dias de chuva (16,5%) e de 234 mm de volume precipitado (9,15% do total precipitado nos primeiros 20,2 anos).
- Houve aumento de apenas 16 dias e de 389 mm (15,2% do total precipitado nos primeiros 20,2 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 62 dias e 622 mm de precipitações mas demais faixas (24,4% do total precipitado nos primeiros 20,2 anos), o que comprova que os períodos secos se tornaram mais secos.
- O maior volume de precipitações ocorreu com valores diários de 7 a 21 mm e a maior parte dos dias de chuva ocorreu na faixa de 1,3 a 14 mm diários, com redução progressiva nas faixas de maiores valores. No total, durante os 40,4 anos analisados, o volume precipitado nos períodos secos foi de 4.869 mm.
- Nos primeiros 20,2 anos o volume de chuvas dos períodos secos foi de 2.551 mm e nos 20,2 anos mais recentes, de 2.318 m, uma redução de 9,15%, 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.

4.10.3.3 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Períodos Úmidos

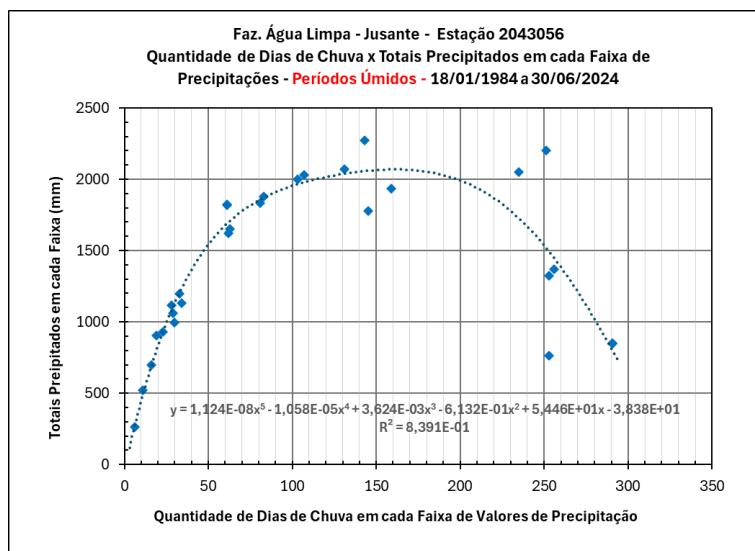
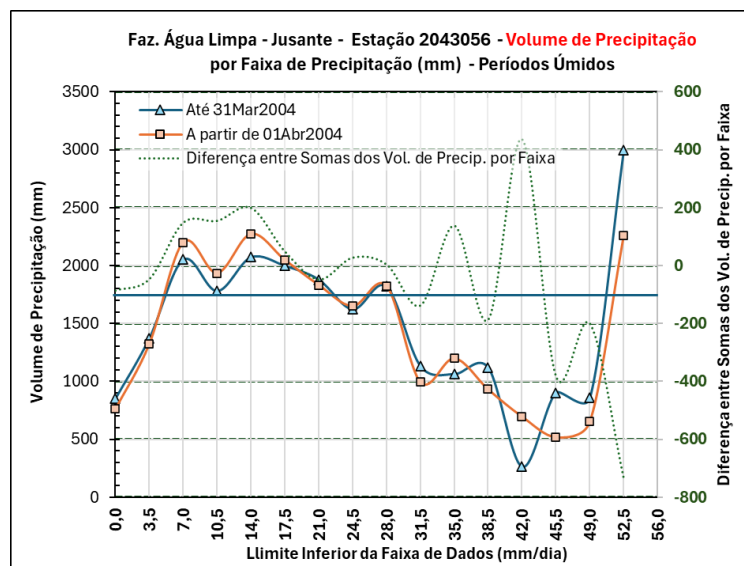
Considerou-se, na análise a seguir, somente os dados de precipitações dos **períodos úmidos** que foram registrados na Fazenda Água Limpa a partir de 18/jan./1984 até 30/06/2024. A tabela e os gráficos referentes a esses períodos são apresentados a seguir:

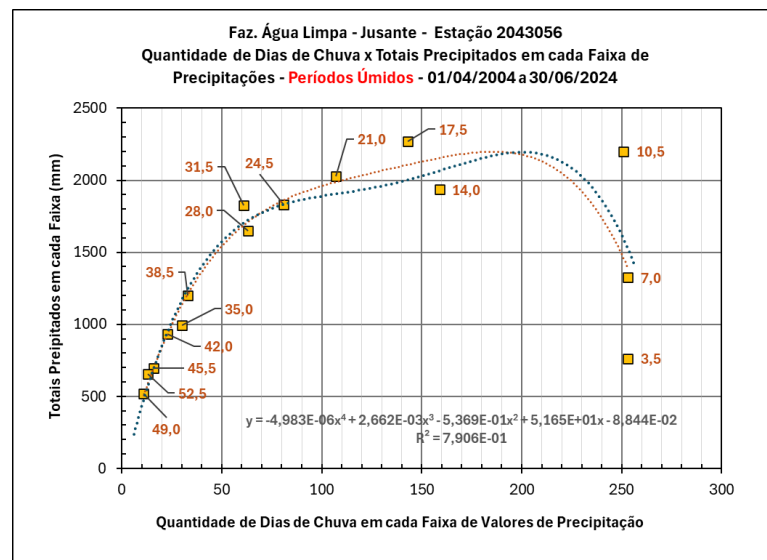
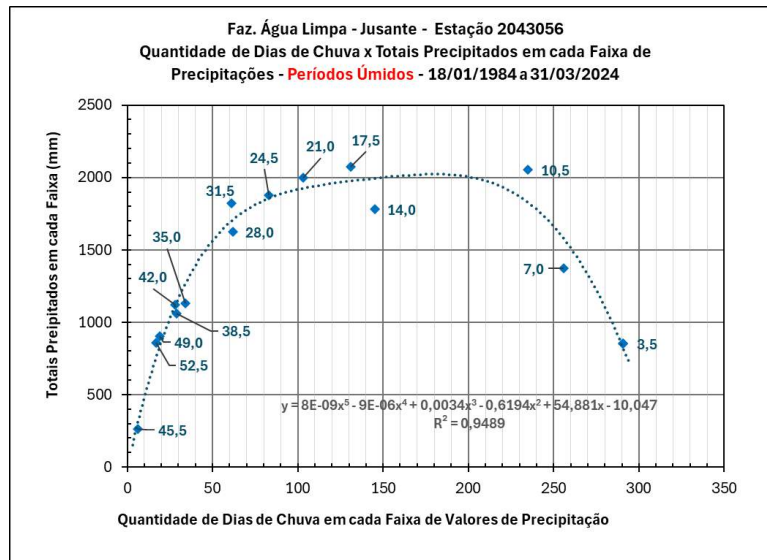


Limites das Faixas de Precipitações		Qt. de Dados		Precip. Acumulada (mm)		Diferenças	
Inferior	Superior	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	Quant de Dados	Alturas de Precip. (mm)
0,0	3,5	291	253	849,1	763,2	-38	-86
3,5	7,0	256	253	1371,2	1324,4	-3	-47
7,0	10,5	236	251	2052,0	2199,9	16	148
10,5	14,0	145	159	1780,2	1934,8	14	155
14,0	17,5	131	143	2072,7	2272,0	12	199
17,5	21,0	103	107	1998,7	2029,6	4	31
21,0	24,5	83	81	1879,7	1831,7	-2	-48
24,5	28,0	62	63	1623,1	1650,6	1	27
28,0	31,5	61	61	1820,2	1824,0	0	4
31,5	35,0	34	30	1131,4	993,9	-4	-138
35,0	38,5	29	33	1061,9	1199,5	4	138
38,5	42,0	28	23	1118,2	931,7	-5	-187
42,0	45,5	6	16	261,4	697,0	10	436
45,5	49,0	19	11	902,9	520,2	-8	-383



49,0	52,5	17	13	856,9	656,5	-4	-200
52,5	300,0	45	30	2996,0	2260,4	-13	-736
Totais		1545	1527	23776	23107	-16	-668





Conclusões da Distribuição Volumétrica da Precipitação Diária por Classes de Intensidade dos **períodos úmidos** dos dois segmentos de 20,2 anos cada:

Realizou-se uma análise detalhada da precipitação dos **períodos úmidos** da série da Fazenda Água Limpa - Jusante, dividida em dois segmentos de 20,2 anos cada (1984-2004 e 2004-2024) 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 e nos volumes precipitados dos **períodos úmidos** – Nos últimos 20,2 anos (de 01/04/2004 a 30/06/2024), em comparação com os primeiros 20,2 anos (de 18/01/1984 a 31/03/2004):

- Considerando-se todas as faixas de precipitação, houve uma redução total de 16 dias (-1,0%) de chuva e de 668 mm (-2,8%) de volume precipitado. Essas diferenças percentuais, embora pequenas, apontam para uma tendência de redução das precipitações dos períodos úmidos.
- Houve uma redução total de 77 dias (-5,0%) de chuva e de 1.823 mm (-7,7%) de volume precipitado) em faixas diferentes de precipitação, principalmente acima de 31,5 mm/dia, apontando para uma redução das chuvas mais intensas. Esse comportamento



é oposto ao verificado na Lagoa Grande (MMV) e permite afirmar que as precipitações dos períodos úmidos têm se intensificado nas partes mais altas da região Sinclinal Moeda) e reduzido nas mais baixas (fundo do vale do Rio das Velhas).

- Houve uma redução de 41 dias e 133 mm de precipitações diárias entre 1,2 e 7,0 mm/dia, o que mostra a tendência de redução dos chuviscos e chuvas mais fracas também nos períodos úmidos, praticamente não significativos, principalmente se inferiores a 3 – 4 mm/dia, em termos de segurança hídrica e recarga de aquíferos.
- Ao contrário do que ocorreu na Lagoa Grande (MMV), houve um aumento de 46 dias (3,0%) e 551 mm (2,3%) de precipitações entre 7,0 mm e 21 mm por dia.
- Na faixa de 21,0 a 31,5 mm/dia houve uma redução de 1 dia (0,06%) e 17 mm (0,07%) de precipitações.
- Na faixa de 31,5 a 45,5 mm/dia houve um aumento de 5 dias (0,3%) e 249 mm (1,1%) de precipitações.
- As chuvas com valores acima de 45,5 mm/dia reduziram-se nos últimos 20,2 anos em comparação com as chuvas da mesma faixa do período de igual duração anterior: 25 dias (1,6% a menos) e 1319 mm (5,5% a menos), o que pode ter contribuído para reduzir as cheias no rio, atenuando o efeito do aumento das precipitações nessa faixa em outras áreas da bacia.
- O exame dos valores de precipitação diária da série da Fazenda Água Limpa revelou que nos primeiros 20,2 anos o máximo ocorreu no dia 28/01/2000 (105,5 mm em 24 h) e nos últimos 20,2 anos os máximos ocorreram no dia 25/01/2020 (175,5 mm em 24 h) e no dia 09/01/2022 (170,2 mm em 24 h), o que pode indicar uma intensificação dos eventos extremos.
- Um volume muito grande de precipitações, com um total de 6.769,8 mm (14,4% de toda a precipitação dos períodos úmidos dos 40,4 anos) ocorreu com valores diários superiores a 49 mm. Essas chuvas provocam cheias intensas e boa parte delas escoou superficialmente sem recarregar os aquíferos.
- Nos primeiros 20,2 anos o volume de chuvas dos períodos úmidos com valores diários superiores a 49 mm foi de 3.853 mm e nos 20,2 anos mais recentes, de 2.917 mm, uma redução 24,3%, o que denota a redução das chuvas muito fortes, ao contrário do que ocorreu na Lagoa Grande (MMV)
- Nos primeiros 20,2 anos o volume de chuvas dos períodos úmidos foi de 23.776 mm e nos 20,2 anos mais recentes, de 23.107 mm, uma redução de 2,8%.

4.10.3.4 Conclusões da Comparação de Dois Períodos dos Últimos 40,4 anos – Frequências

A comparação dos padrões de precipitação dos últimos 20 anos com os dos 20 anos anteriores da Fazenda Água Limpa e dos últimos 26,3 anos com os dos 26,3 anos anteriores da Lagoa Grande (MMV) revela mudanças significativas na distribuição espacial e intensidade das chuvas da região do Alto Rio das Velhas, o que pode ter implicações diretas na recarga dos aquíferos e nas vazões do rio.

Pode-se considerar que a Estação Fazenda Água Limpa representa a parte de menor altitude da bacia do Alto Rio das Velhas. A estação está situada em uma margem do rio e não muito distante da cabeceira do rio e registrou uma redução global dos dias e dos volumes de chuva, apresentando, assim, tendência a uma menor pluviosidade e agravamento das secas.

Quadro Comparativo – Estação Fazenda Água Limpa – Alterações nas Chuvas entre os Dois Períodos de 20,2 anos – Períodos Úmidos

	Aspecto	1984–2004	2004–2024	Tendência Observada
Valores Anuais (Anos Cívicos)	Dias chuvosos e volumes de chuva	1.800 dias 26.164 mm	1.738 dias 25.389 mm Redução geral nos dias de chuva: – 62 dias (3,4%) e – 775 mm (-3,0%).	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)	2.580 mm (9,9% do total)	2.355 mm (9,3% do total) Redução de 78 dias (11,4%) e de 226 mm (8,8%).	Redução. Chuvas possivelmente pouco relevantes para recarga de aquíferos.
	Chuvas moderadas (7–21 mm)	9.054 mm (34,6% do total)	9.453 mm (37,2% do total) Aumento de 36 dias (5,1%) e de 399 mm (4,4%).	Pequeno aumento em faixa que pode favorecer a recarga de aquíferos, porém não existem aquíferos significativos na área representada pela estação.
	Chuvas fortes (21–31,5 mm)	5.794 mm (22,1% do total)	5.836 mm (23,0% do total) Redução de 2 dias(0,9%) e de 42 mm (0,7%).	Sem alteração. Faixa possivelmente importante para recarga onde há aquíferos significativos.
	Faixa de 7 a 31,5 mm/dia	14.848 mm (56,8% do total)	15.289 mm (60,2% do total) Redução de 38 dias (4,1%) e de 441 mm (3,0%)	Pequeno aumento em faixas de precipitação possivelmente importante para recarga dos aquíferos, o que depende da intensidade horária e sub-horária das chuvas. Aprox. 60% de toda a precipitação da série histórica ocorreu nessa faixa entre 7 e 31,5 mm/dia.
	Chuvas fortes (31,5–42 mm)	3.675 mm (14,0% do total)	3.364 mm (13,3% do total) Redução 9 dias de 311 mm.	Pequena redução. Menor risco de cheias, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial.
	Chuvas fortes (42–49 mm)	1.207 mm (4,6% do total)	1.354 mm (5,3% do total) Aumento de 4 dias e de 147 mm.	Pequeno aumento. Faixa com maior risco de cheias e erosões, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial.
	Chuvas muito forte e extremas (>49 mm)	3.853 mm (14,7% do total)	3.027 mm (11,9% do total) Redução de 17 dias e de 826 mm.	Redução. Alto risco de cheias, erosões, escorregamentos, rompimentos de barragens, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial. Não existem minerações significativas na área representada pela estação. Chuvas muito fortes e extremas foram responsáveis por um sétimo do volume total precipitado na área da estação.
Períodos Secos	Volume total	2.551 mm	2.318 mm Aumento (12%) em algumas faixas (10,5–17,5 mm, 21–24,5 mm etc.), mas redução significativa nas demais.	Redução de 9,15% no volume precipitado, indicando agravamento das secas. O maior volume de precipitações (45% do total precipitado nos períodos secos de toda a série) ocorreu com valores diários de 7 a 21 mm
	Dias de chuva	279 dias	233 dias	Redução de 46 dias chuvosos (18,1%), indicando agravamento das secas. A maior parte dos dias



				de chuva (55%) ocorreu na faixa de 1,2 a 14 mm diários.
Períodos Úmidos	Volume total	23.776 mm	22.854 mm	Redução de 3,88% no volume precipitado, tendência de queda.
	Dias de chuva	1545 dias	1527 dias	Redução de 1,17% nos dias chuvosos, tendência de queda.
	Chuvas muito fracas (1,3–7,0 mm)	2.220 mm (9,3% do total)	2.087 mm (9,1% do total) Redução de 41 dias (7,5%) e de 133 mm (6,0%).	Redução. Chuvas possivelmente pouco relevantes para recarga de aquíferos.
	Chuvas moderadas (7–21 mm)	7.904 mm (33,2% do total)	8.436 mm (36,9% do total) Aumento de 46 dias (7,5%) e de 533 mm (6,7%).	Pequeno aumento, talvez importante para recarga, mas com pouco impacto hidrológico, pois os aquíferos estão nas partes mais altas da bacia (serras)
	Chuvas fortes (21–31,5 mm)	5.323 mm (22,4% do total)	5.306 mm (23,2% do total) Redução de 1 dia 0,5% e de 17 mm (0,3%).	Sem alteração. Faixa possivelmente importante para recarga onde há aquíferos.
	Faixa de 7 a 31,5 mm/dia	13.267 mm (55,6% do total)	13.743 mm (60,1% do total) Redução de 38 dias (4,1%) e de 441 mm (3,0%)	Pequeno aumento em faixas de precipitação possivelmente importante para recarga dos aquíferos. Aprox. 60% de toda a precipitação da série histórica ocorreu nessa faixa entre 7 e 31,5 mm/dia.
	Chuvas fortes (31,5–42 mm)	3.312 mm (13,9% do total)	3.125 mm (13,7% do total) Redução 5 dias (5,5%) de 186 mm (5,6%).	Pequena redução. Menor risco de cheias, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial.
	Chuvas fortes (42–49 mm)	1.164 mm (4,9% do total)	1.217 mm (5,3% do total) Aumento de 2 dias (8,0%) e de 53 mm (4,5%).	Pequeno aumento. Faixa com maior risco de cheias e erosões, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial.
	Chuvas muito forte e extremas (>49 mm)	3.853 mm (16,2% do total)	2.681 mm (11,7% do total) Redução de 19 dias (30,6%) e de 1.172 mm (30,4%).	Redução acentuada. Chuvas com risco de cheias, erosões, escorregamentos, rompimentos de barragens, menor recarga percentual devido ao aumento do escoamento superficial. Não existem minerações significativas na área representada pela estação. Chuvas muito fortes e extremas foram responsáveis por um sétimo do volume total precipitado na área da estação.
	Eventos extremos máximos	105,5 mm (28/01/2000)	110,2 mm (03/01/2012) 175,5 mm (25/01/2020) 170,2 mm (09/01/2022)	Os três eventos mais intensos da série ocorreram no 2º período: possível tendência de aumento de eventos extremos. Alto risco de rompimentos de barragens e pilhas, erosões, deslizamentos. Não existem minerações significativas na área representada pela estação.

4.10.4 Análise Quantílica das Mudanças nos Padrões de Precipitação

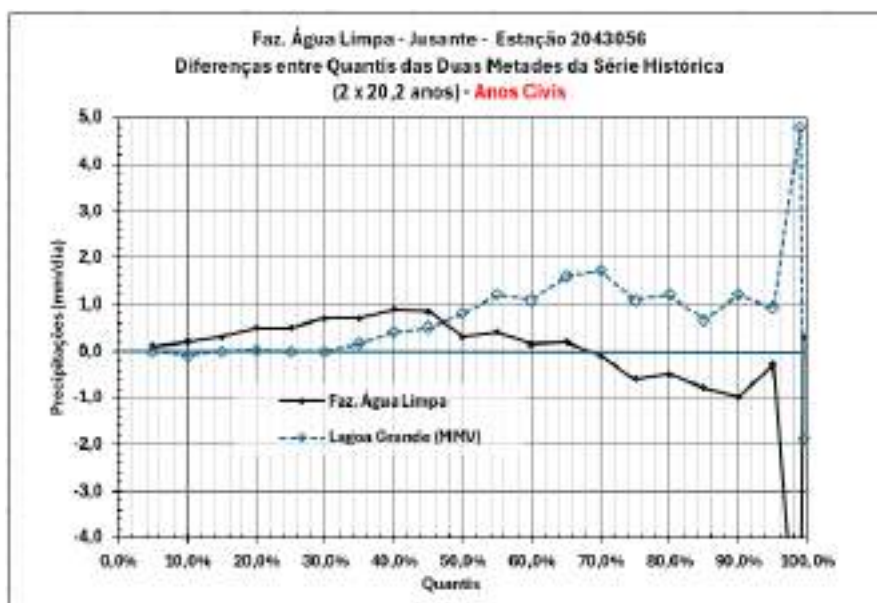
Para explicações sobre esse tipo de análise, ver parte referente à Estação Lagoa Grande (MMV).

4.10.4.1 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos

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 Fazenda Água Limpa - Jusante foi dividida, sendo o primeiro de 1984 a 2004 e o segundo de 2004 a 2024:

FAZENDA ÁGUA LIMPA - JUSANTE (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043056			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	
5,0%	1,90	2,00	0,10
10,0%	2,30	2,50	0,20
15,0%	3,00	3,30	0,30
20,0%	3,60	4,10	0,50
25,0%	4,60	5,10	0,50
30,0%	5,30	6,00	0,70
35,0%	6,40	7,10	0,70
40,0%	7,30	8,20	0,90
45,0%	8,35	9,20	0,85
50,0%	10,00	10,30	0,30
55,0%	11,30	11,70	0,40
60,0%	13,16	13,30	0,14
65,0%	15,30	15,50	0,20
70,0%	17,40	17,30	-0,10
75,0%	20,10	19,50	-0,60
80,0%	23,00	22,50	-0,50
85,0%	27,09	26,30	-0,78
90,0%	32,39	31,40	-0,99
95,0%	41,30	41,00	-0,30
99,0%	68,10	61,00	-7,10
99,5%	76,19	76,50	0,30

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. Para comparação, é incluída no gráfico a curva referente à Lagoa Grande (MMV) resultante da comparação entre os períodos de 27/04/1971 a 12/08/1997 e 13/08/1997 a 30/11/2023.





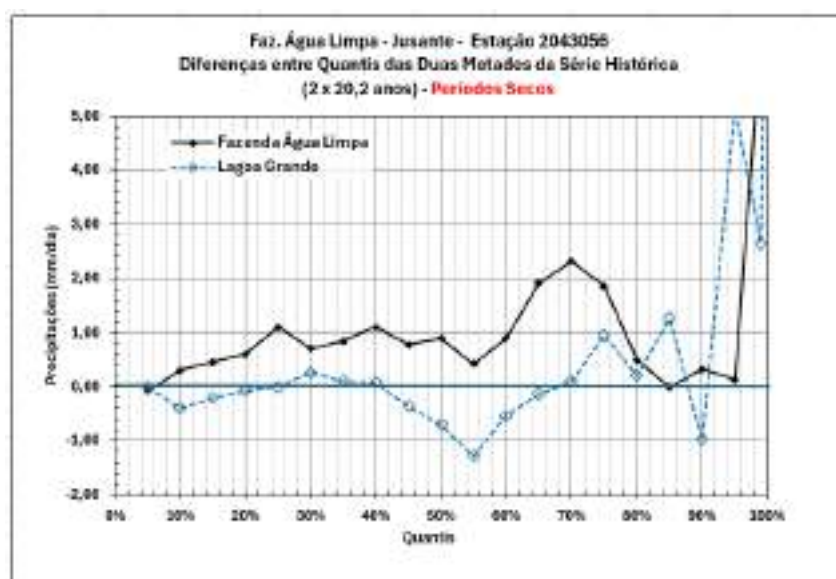
Com relação aos números e ao gráfico acima pode-se observar:

1. O primeiro aspecto que se destaca no gráfico e o da simetria entre as duas curvas, ou seja, o comportamento das precipitações na área da estação Fazenda Água Limpa se mostra invertido com relação ao que ocorre na área da Lagoa Grande (MMV), o que aponta para uma nítida diferença climática no que diz respeito às precipitações: enquanto que na Lagoa Grande (MMV) (alto da serra) as chuvas muito fortes e extremas aumentaram no segundo período com relação ao primeiro, na área da Fazenda Água Limpa (vale) essas chuvas se reduziram. Isso confirma o que já foi constatado pela análise de frequências (item anterior): aumento dos riscos de erosões, escorregamentos de taludes e pilhas, rompimentos de barragens etc. nas diversas áreas de mineração existentes na parte mais alta da bacia e redução desses riscos na área do vale, onde não existem minerações significativas.
2. Na Fazenda Água Limpa, nos últimos 20,2 anos, em comparação com os 20,2 anteriores a eles, houve aumento da intensidade das chuvas para quantis iguais ou inferiores ao quantil de 70% (17 mm/dia), ou seja, chuviscos, chuvas fracas e moderadas. Os eventos de chuva de menor intensidade se tornaram um pouco mais frequentes ou mais intensos no período mais recente.
3. Houve redução da intensidade das chuvas para todos os quantis superiores ao terceiro quartil (20 mm/dia), o que indica pequena redução na intensidade ou frequência de eventos de chuva mais fortes.
4. A maior redução se deu no quantil de 99,0% (de 68,10 para 61,00 mm/dia), o que significa que, na parte mais recente da série (últimos 20,2 anos), houve notável redução da intensidade e/ou da frequência das chuvas mais intensas (os 0,5% maiores valores de precipitação diária). Essa tendência de redução na intensidade das chuvas extremas, oposta à que ocorreu na área da Lagoa Grande (MMV), aponta para uma redução – e não eliminação – dos riscos advindos de eventos extremos de chuvas na área da estação Fazenda Água Limpa. De fato, como já apontado, o recorde de precipitação na área da estação ocorreu no final do segundo período, com o evento extremo do dia 08/01/2022.
5. Esse padrão é se opõe às observações globais de que eventos extremos de precipitação têm se tornado mais frequentes e intensos em muitas regiões e assinala mudanças climáticas regionais, com redução das precipitações e agravamento das secas.
6. Além das causas climáticas, a redução das chuvas intensas 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.

4.10.4.2 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos – Períodos Secos

FAZENDA ÁGUA LIMPA - JUSANTE (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043056			
	Quantis (mm/dia)		
Probabilidade	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	Diferenças (mm/dia)
5,0%	1,68	1,60	-0,08
10,0%	2,00	2,30	0,30
15,0%	2,30	2,75	0,45
20,0%	2,70	3,30	0,60
25,0%	3,20	4,30	1,10
30,0%	4,00	4,70	0,70
35,0%	4,56	5,40	0,84
40,0%	5,20	6,30	1,10

45,0%	5,92	6,70	0,78
50,0%	6,40	7,30	0,90
55,0%	7,78	8,20	0,42
60,0%	9,00	9,90	0,90
65,0%	10,04	11,95	1,91
70,0%	11,38	13,70	2,32
75,0%	13,80	15,65	1,85
80,0%	17,20	17,70	0,50
85,0%	19,96	19,95	-0,01
90,0%	23,08	23,40	0,32
95,0%	30,42	30,55	0,13
99,0%	39,99	46,37	6,38
99,5%	42,37	47,66	5,29



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

Com relação aos números e ao gráfico acima pode-se observar:

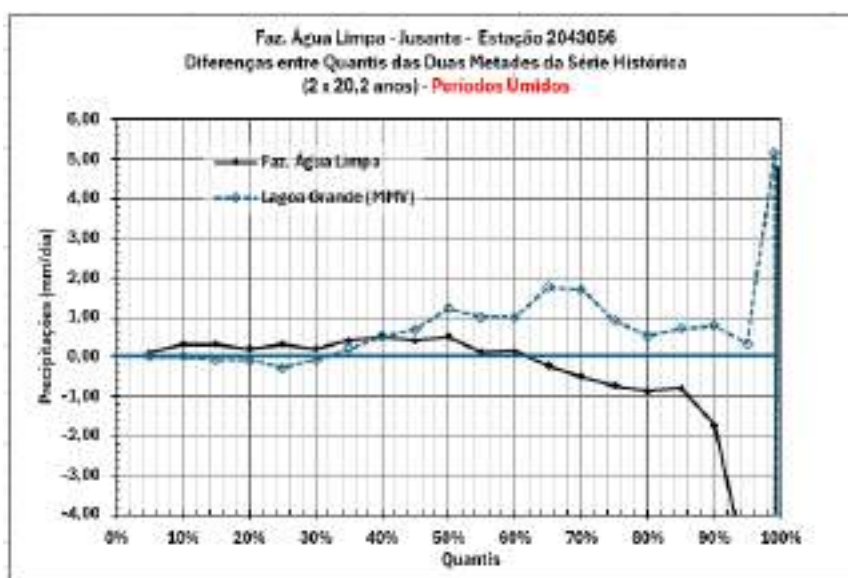
1. O comportamento das precipitações dos períodos secos na área da estação Fazenda Água Limpa se mostra similar ao da Lagoa Grande (MMV), porém com menores diferenças de intensidade entre os dois segmentos analisados.
2. Na área da Lagoa Grande as chuvas do período seco aumentaram de intensidade em todos os quantis e na área da Fazenda Água Limpa houve estabilidade de valores até o quantil de 40%, redução entre 40 e 70% e aumento nos quantis superiores a 70% (exceto em 90%).
3. Nos últimos 20,2 anos, tanto na área da Fazenda Água Limpa quanto na da Lagoa Grande (MMV), nos períodos secos, houve aumento dos valores dos quantis superiores a 90% (23 mm/dia), com destaque para o quantil de 99% (40 mm/dia), o que significa que os eventos de chuva mais intensas, quando ocorreram no período seco, tornaram-se mais severos ou mais frequentes nos 20,2 anos mais recentes.
4. Isso indica um alongamento da cauda superior da distribuição e pode refletir alterações no regime climático local, como mudança nos padrões de circulação atmosférica ou menor regularidade nas chuvas, com mais picos extremos.



4.10.4.3 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos –

4.10.4.4 Períodos Úmidos

FAZENDA ÁGUA LIMPA - JUSANTE (MMV) – CÓD. PLUVIOMÉTRICO: 2043056			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (mm/dia)
	18/01/1984 a 31/03/2004	01/04/2004 a 30/06/2024	
5,0%	1,90	2,00	0,10
10,0%	2,30	2,60	0,30
15,0%	3,10	3,40	0,30
20,0%	4,00	4,20	0,20
25,0%	5,00	5,30	0,30
30,0%	6,10	6,30	0,20
35,0%	7,00	7,40	0,40
40,0%	8,00	8,50	0,50
45,0%	9,10	9,50	0,40
50,0%	10,40	10,90	0,50
55,0%	12,13	12,25	0,12
60,0%	14,06	14,20	0,14
65,0%	16,19	15,95	-0,24
70,0%	18,30	17,80	-0,50
75,0%	21,00	20,25	-0,75
80,0%	24,28	23,40	-0,88
85,0%	28,30	27,50	-0,80
90,0%	33,94	32,20	-1,74
95,0%	46,64	41,30	-5,34
99,0%	70,21	61,86	-8,35
99,5%	78,43	83,15	4,72



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

1. O comportamento oposto representado pelas curvas da Fazenda Água Limpa e da Lagoa Grande (MMV), já apontado acima para o caso dos anos civis, repete-se também para os períodos úmidos, o que confirma as alterações climáticas.
2. Na Fazenda Água Limpa, nos últimos 20,2 anos, em comparação com os 20,2 anteriores a eles, houve aumento da intensidade das chuvas para quantis iguais ou inferiores ao quantil de 70% (18 mm/dia), ou seja, chuviscos, chuvas fracas e moderadas. Os eventos

de chuva de menor intensidade se tornaram um pouco mais frequentes ou mais intensos no período mais recente.

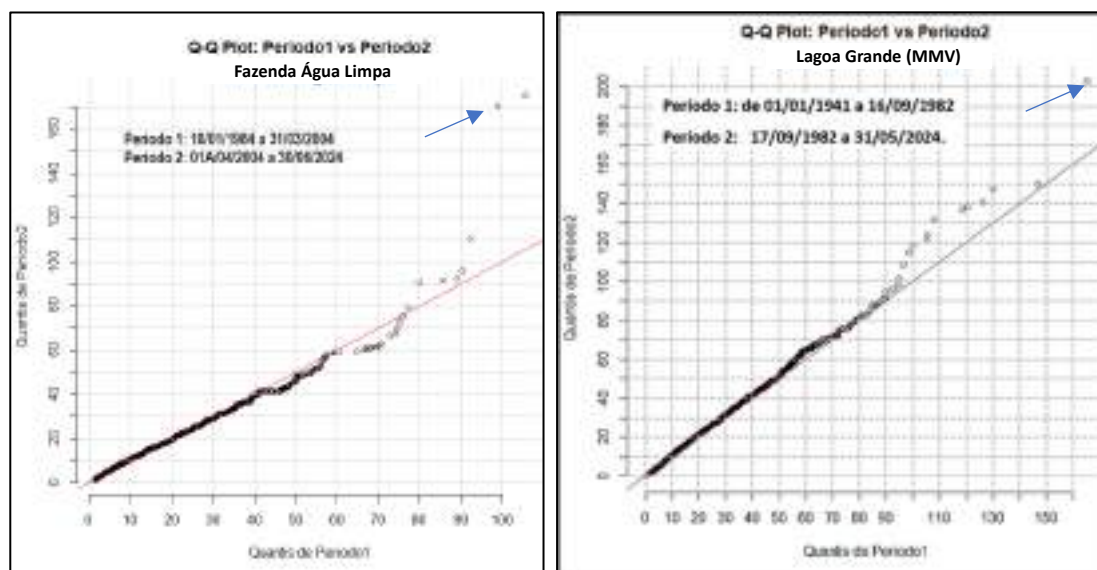
3. Houve redução da intensidade das chuvas para todos os quantis superiores 60% (14 mm/dia), o que indica redução na intensidade ou frequência de eventos de chuvas moderadas e mais fortes.
4. A maior redução se deu no quantil de 99,0% (de 70,21 para 61,86 mm/dia), o que significa que, na parte mais recente da série (últimos 20,2 anos), houve notável redução da intensidade e/ou da frequência das chuvas mais intensas (os 1% maiores valores de precipitação diária). No entanto, houve forte aumento no quantil de 99,5%, o que indica que a redução da intensidade das chuvas maiores foi acompanhada da ocorrência de eventos de chuvas muito fortes e extrema.

4.10.5 Gráficos Q-Q Plot

Para explicações sobre esse tipo de análise, ver parte referente à Estação Lagoa Grande (MMV).

4.10.5.1 Dois Segmentos Iguais de 20,2 anos

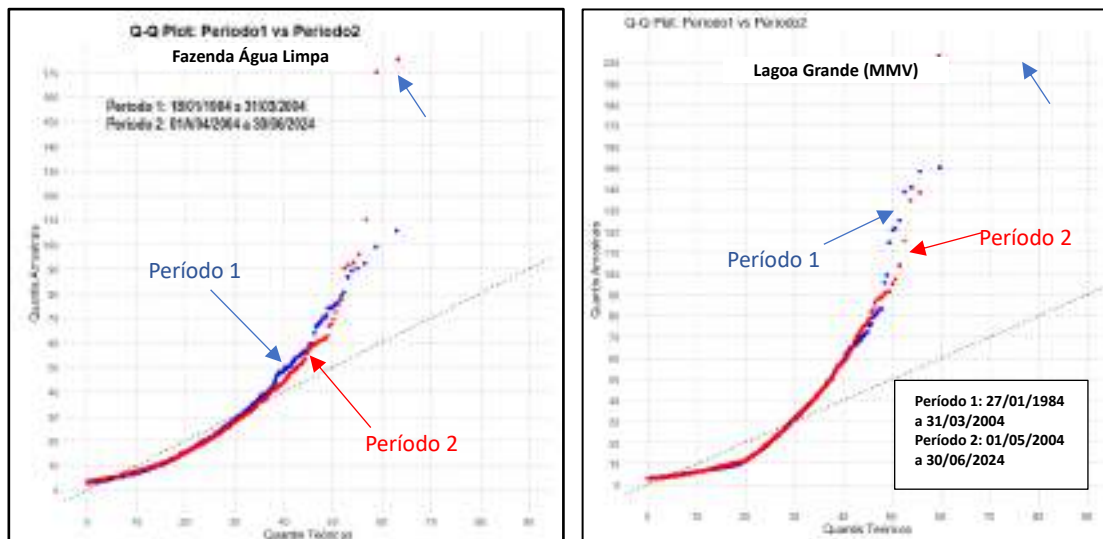
Os dois gráficos a seguir apresentam a comparação dos dados dos dois períodos, com igual duração: Período 1, de 18/01/1984 a 31/03/2004, e Período 2, 01/04/2004 a 30/06/2024:



No gráfico da esquerda, referente à Estação Fazenda Água Limpa, pode-se ver que os pontos relativos aos dois períodos (Período 1 e Período 2) estão próximos da linha de referência até o valor de 40 mm/dia, ou seja, até esse valor os dois conjuntos de dados têm distribuições muito semelhantes, no caso, a distribuição dos valores de intensidade das chuvas ao longo dos períodos

Pontos acima e abaixo da linha: os valores de Período 2 são maiores do que os de Período 1 para os mesmos quantis. Nos gráficos acima, fica evidente que, para Lagoa Grande (MMV) as chuvas com valores superiores a 90 mm por dia foram mais frequentes no Período 2 que no Período 1, com destaque para o evento extremo de 202 mm do dia 08/01/2022. Para Água Limpa as chuvas com valores superiores a 40 mm/dia até 78 mm/dia foram menos frequentes no Período 2 que no Período 1 e as chuvas extremas, acima de 80 mm/dia, foram mais frequentes do Período 2, com destaque para os eventos extremos de 175,5 mm (25/01/2020) e 170,2 mm (09/01/2022)

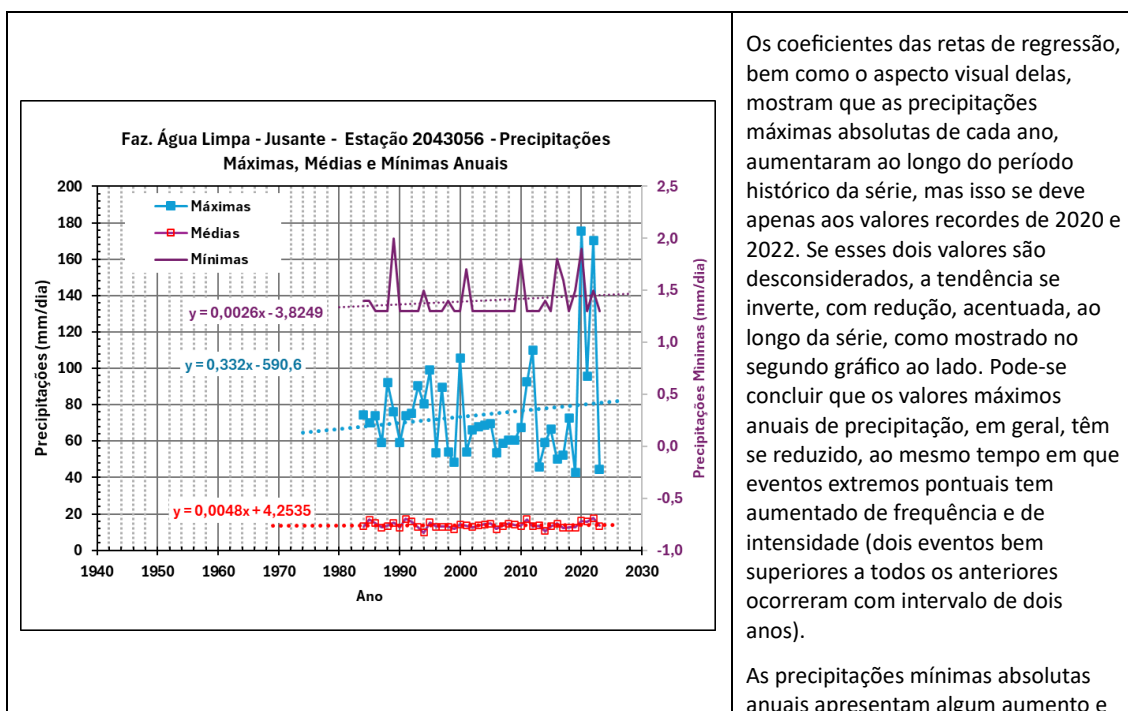
O gráfico a seguir constitui outra forma de comparar os quantis dos dois períodos analisados. O gráfico compara a distribuição de dois conjuntos de dados em relação a uma distribuição teórica (neste caso, a distribuição normal, ou gaussiana).



Nos dois gráficos acima pode-se ver que as duas curvas estão próximas uma da outra em sua parte inicial, o que indica que o Período 1 e o Período 2 têm distribuições semelhantes nessa parte, mas verifica-se um afastamento das duas curvas na faixa dos quantis teóricos superiores a 40 mm/ dia, o que indica que os valores maiores de intensidade de chuva afastam-se dos valores esperados em uma distribuição normal (cauda mais pesada à direita).

4.10.6 Precipitações Anuais Máximas, Médias e Mínimas

A seguir são apresentados os gráficos referentes ao comportamento das precipitações anuais máximas, e mínimas absolutas, comparando-as com as médias aritméticas das precipitações anuais.



Os coeficientes das retas de regressão, bem como o aspecto visual delas, mostram que as precipitações máximas absolutas de cada ano, aumentaram ao longo do período histórico da série, mas isso se deve apenas aos valores recordes de 2020 e 2022. Se esses dois valores são desconsiderados, a tendência se inverte, com redução, acentuada, ao longo da série, como mostrado no segundo gráfico ao lado. Pode-se concluir que os valores máximos anuais de precipitação, em geral, têm se reduzido, ao mesmo tempo em que eventos extremos pontuais tem aumentado de frequência e de intensidade (dois eventos bem superiores a todos os anteriores ocorreram com intervalo de dois anos).

As precipitações mínimas absolutas anuais apresentam algum aumento e

<p>Faz. Água Limpa - Jusante - Estação 2043056 - Precipitações Máximas, Médias e Mínimas Anuais</p>	<p>as médias anuais mostram-se praticamente estáveis (coeficiente pequeno, positivo), embora com um pequeno crescimento.</p>
<p>Faz. Água Limpa - Jusante - Estação 2043056 - Precipitações Máximas, Médias e Mínimas dos Períodos Secos</p>	<p>Os coeficientes das retas e o aspecto visual delas mostram que as precipitações máximas absolutas dos períodos secos (maio a setembro), aumentaram ao longo do período.</p> <p>As precipitações mínimas absolutas dos períodos secos apresentam algum aumento e as médias desses períodos secos tiveram um pequeno crescimento.</p>
<p>Faz. Água Limpa - Jusante - Estação 2043056 - Precipitações Máximas, Médias e Mínimas dos Períodos Úmidos</p>	<p>Como as máximas anuais ocorrem nos períodos úmidos, a curva das máximas desses períodos é praticamente igual à curva das máximas anuais.</p> <p>As precipitações mínimas absolutas dos períodos úmidos apresentam algum aumento e as médias desses períodos úmidos tiveram uma redução bastante pequena.</p>

Conclusão Geral:

A análise das tendências das precipitações ao longo da série histórica mostra que os valores máximos anuais aumentaram apenas devido a eventos extremos recentes (2020 e 2022); ao desconsiderá-los, verifica-se uma tendência de redução acentuada das máximas anuais,

indicando que, em geral, os picos de precipitação têm diminuído, ao passo que eventos extremos isolados se tornaram mais frequentes e intensos. As precipitações mínimas absolutas anuais e dos períodos secos e úmidos apresentam um leve aumento, enquanto as médias anuais se mantêm praticamente estáveis, com pequeno crescimento. Já nos períodos secos, tanto as precipitações máximas quanto as médias mostram crescimento ao longo do tempo.

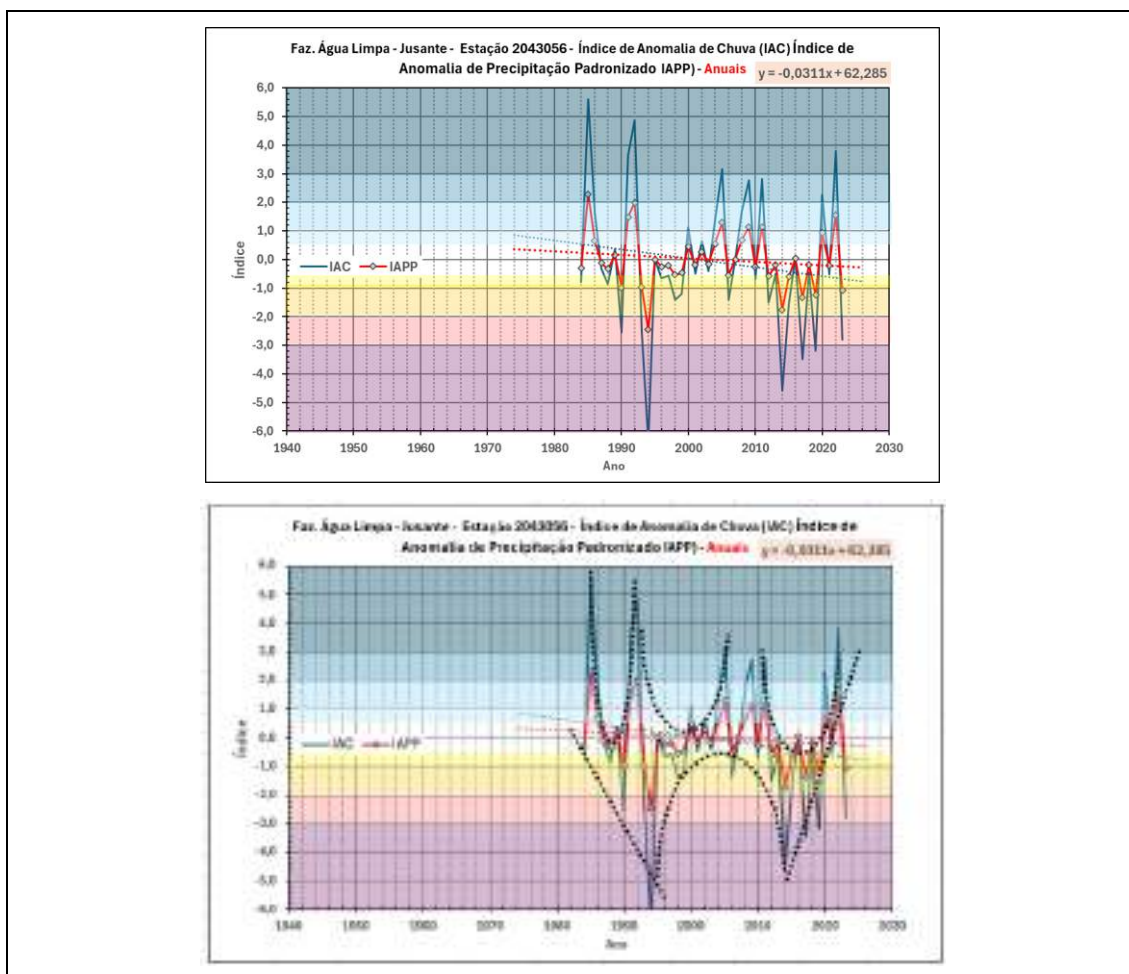
4.10.7 Índices de Anomalias

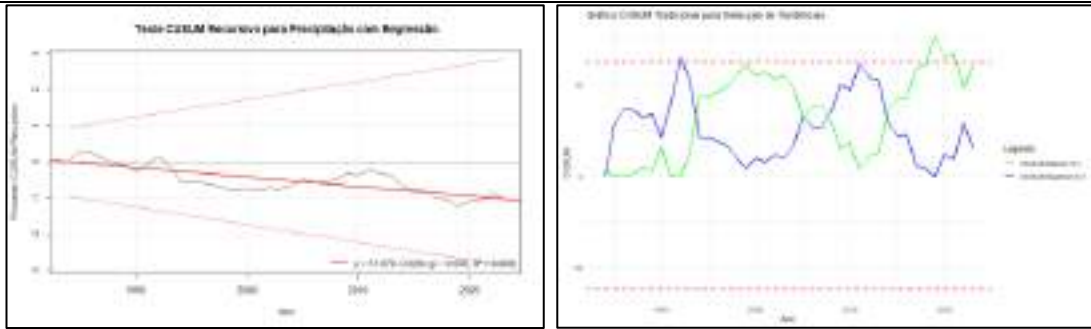
Para explicações sobre esse tipo de análise, ver parte referente à Estação Lagoa Grande (MMV).

4.10.7.1 Índices de Anomalia Aplicados às Precipitações – Estação Fazenda Água Limpa - Jusante

Os gráficos a seguir apresentam os resultados dos cálculos dos índices IAC E IAPP aplicados aos valores das médias anuais das precipitações registradas pela Estação da Fazenda Água Limpa - Jusante e das médias dos períodos secos e úmidos de cada ano.

As faixas coloridas foram adicionadas aos gráficos para facilitar a visualização dos limites de severidade, conforme tabelas acima. Os gráficos dos períodos úmidos e secos apresentam 3 faixas para as anomalias negativas (seca) e três para as positivas (úmido), conforme tabela mais simplificada proposta por Araújo et al. (2007). Os gráficos dos valores anuais apresentam 4 faixas para as anomalias negativas (seca) e três para as positivas (úmido), além da faixa central considerada como sendo de valores próximos da normalidade, conforme tabela original de van Rooy (1965).



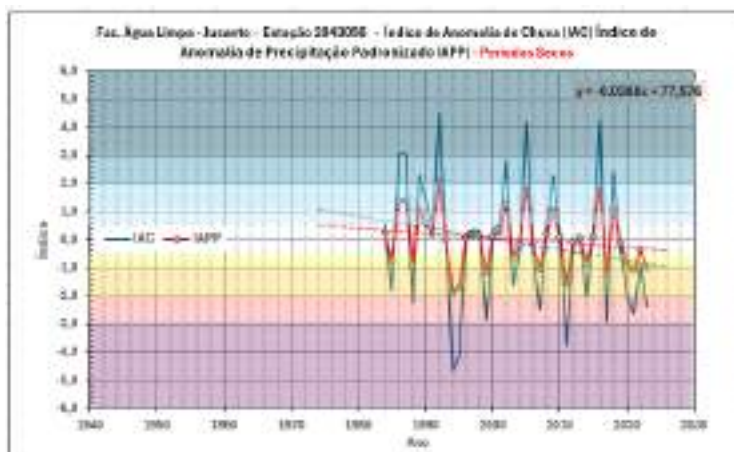


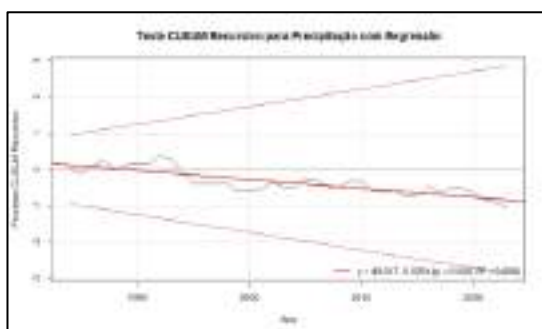
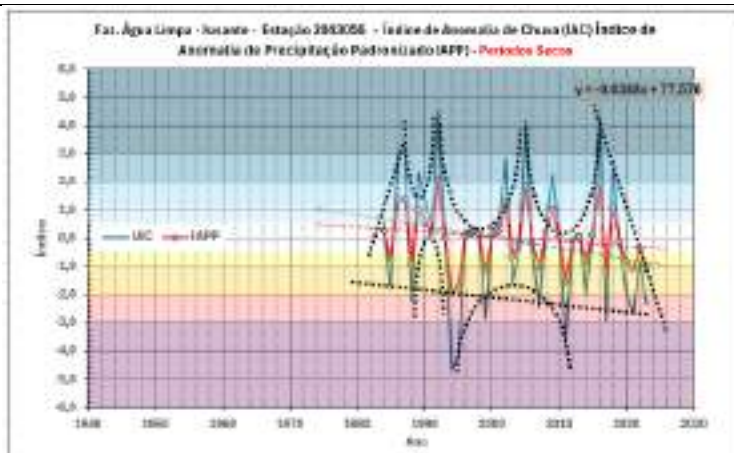
CUSUM Recursivo e CUSUM Tradicional	
Média (valor de referência)	-0.07
Desvio Padrão	2.49
Limiar de Decisão (H)	12.44
Tendência de AUMENTO detectada ($C^+ > H$)	
Tendência de DIMINUIÇÃO detectada ($C^- > H$)	
Quant. de Dados da Série Analisada	40
Valor mínimo	-6.39
1º Quartil	-1.40
Mediana (2º Quartil)	-0.47
Média	-0.07
3º Quartil	1.42
Valor Máximo	5.61
Variância	6.19
Desvio Padrão	2.49
Equação	$y = 51.879 - 0.026x$ ($p = 0.000$, $R^2 = 0.606$)
Coeficiente angular	-0.026 (p -valor = 0.000)
R^2 do modelo	0.606

Os Índices de Anomalia de Chuva da Estação Fazenda Água Limpa relativos aos valores anuais acumulados de precipitação apresentam tendência nítida de redução ao longo dos 40,4 anos da série histórica, ou seja, tendência de redução das anomalias positivas e aumento das negativas.

As linhas tracejadas superpostas ao gráfico dos índices anuais procuram destacar tendências e comportamentos de subperíodos da série. A anomalias positivas apresentaram picos em 1985, em 1992, 2005, 2009, 2020 e 2022, com ciclos de aproximadamente 7, 13, 4 e 2 anos.

As anomalias negativas apresentaram picos em 1990, 1994, 2014, 2017, 2019 e 2023, o que configura um quadro de aumento da frequência das anomalias negativas.





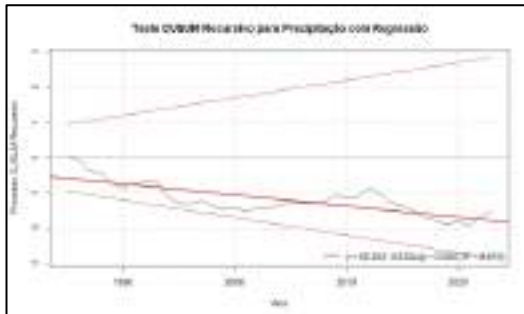
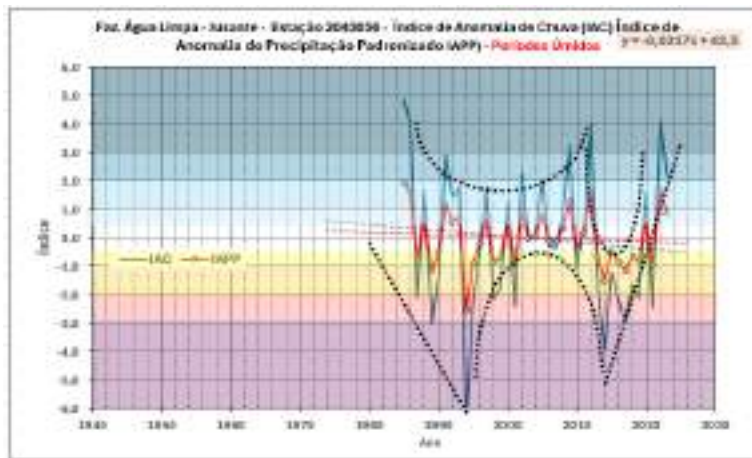
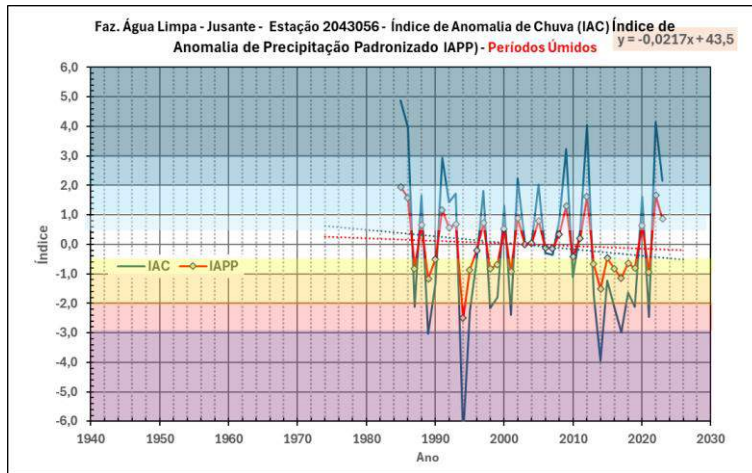
CUSUM Recursivo e CUSUM Tradicional	
Média (valor de referência)	-0.09
Desvio Padrão	2.31
Limiar de Decisão (H)	11.56
Tendência de AUMENTO detectada (C ⁺ > H)	
Tendência de DIMINUIÇÃO detectada (C ⁻ > H)	
Quant. de Dados da Série Analisada	40
Valor mínimo	-4.67
1º Quartil	-1.96
Mediana (2º Quartil)	0,18
Média	-0.09
3º Quartil	0.77
Valor Máximo	4.52
Variância	5.34
Desvio Padrão	2.31
Equação	$y = 49.017 - 0.025x$ (p = 0.000, R ² = 0.699)
Coeficiente angular	-0.025 (p-valor = 0.000)
R ² do modelo	0.699

Os Índices de Anomalia de Chuva da Estação Fazenda Água Limpa relativo aos valores acumulados de precipitação dos períodos secos de cada ano (maio a setembro) também apresentam tendência nítida de redução ao longo dos 40,4 anos da série histórica, ou seja, tendência de redução das anomalias positivas e aumento das negativas. Essa tendência se mostra acentuada a partir de 2016.

Picos de anomalias positivas ocorreram em 1986, 1992, 2002, 2005, 2009, 2016 e 2018.

As linhas tracejadas superpostas ao gráfico dos índices dos períodos secos procuram destacar tendências e comportamentos de subperíodos da série.

De 1993 a 2001 predominaram anomalias negativas com índices altos, sugerindo uma alteração climática nos períodos secos. A partir de 2002 sucederam-se, com intervalos de 3 a 4 anos, picos com valores absolutos maiores, de índices positivos e negativos, indicando significativa instabilidade climática. De forma particular, houve uma redução pronunciada dos índices positivos a partir de 2016, o que indica secas mais severas nos últimos 7 anos da série.



CUSUM Recursivo e CUSUM Tradicional	
Média (valor de referência)	-0.04
Desvio Padrão	2.55
Limiar de Decisão (H)	12.75
Nenhuma tendência de aumento detectada ($C^+ \leq H$)	
Tendência de DIMINUIÇÃO detectada ($C^- > H$)	
Quant. de Dados da Série Analisada	39
Valor mínimo	-6.50
1º Quartil	-2.12
Mediana (2º Quartil)	-0.30
Média	-0.04
3º Quartil	1.77
Valor Máximo	4.88
Variância	6.40
Desvio Padrão	2.55
Equação	$y = 62.553 - 0.032x$ ($p = 0.000$, $R^2 = 0.610$)
Coefficiente angular	-0.032 (p -valor = 0.000)
R ² do modelo	0.610

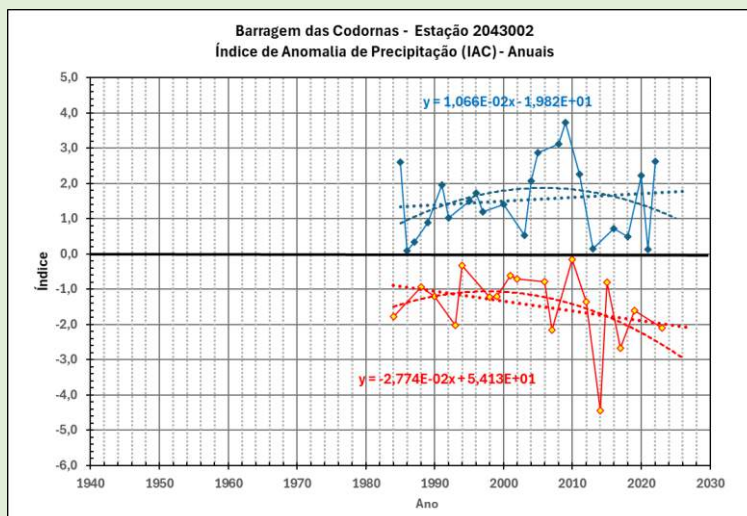
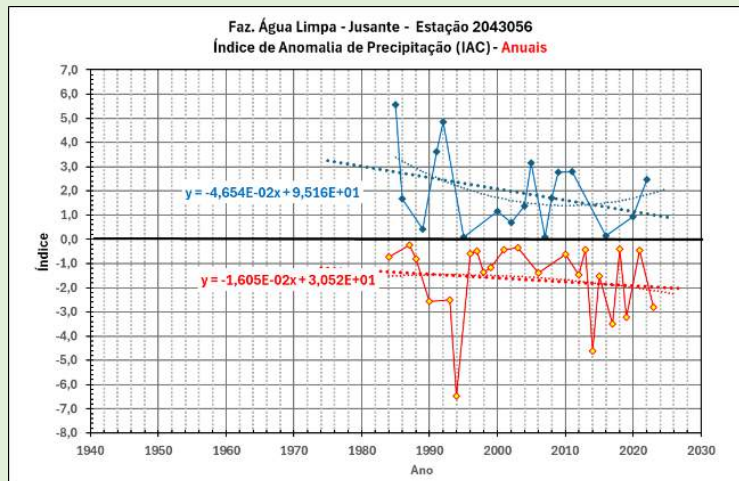


Os Índices de Anomalia de Chuva da Estação Fazenda Água Limpa relativo aos valores acumulados de precipitação dos períodos úmidos apresentam comportamento geral similar ao dos índices anuais, com tendência nítida de redução ao longo dos 40,4 anos da série histórica, ou seja, tendência de redução das anomalias positivas e aumento das negativas. No entanto, destaca-se uma tendência acentuada, a partir de 2009, de redução do módulo das negativas e aumento das positivas, o que aponta para o aumento dos eventos de alta pluviosidade, como os eventos extremos de 2020 e 2022.

A anomalias positivas dos períodos úmidos apresentaram picos maiores em 1985, 1991, 2009, 2012 e 2022, com ciclos de aproximadamente 6, 18, 3 e 10 anos.

As anomalias negativas apresentaram picos maiores em 1987, 1989, 1994, 1999, 2001, 2014, 2017, 2019 e 2021.. No período de 2002 a 2012 predominaram anomalias positivas.

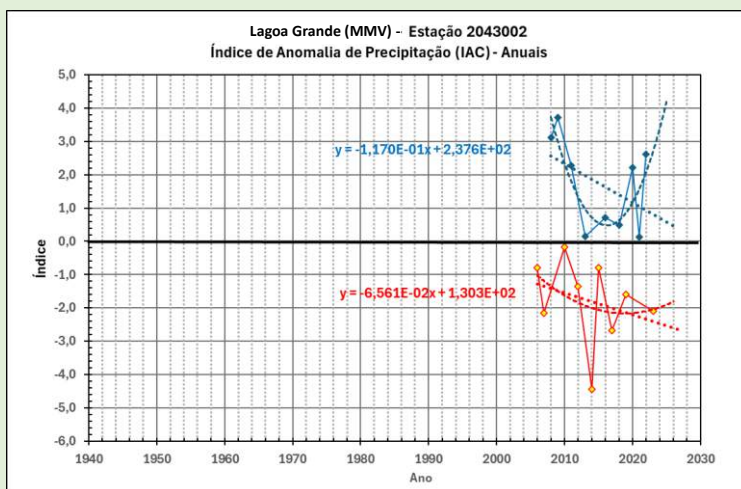
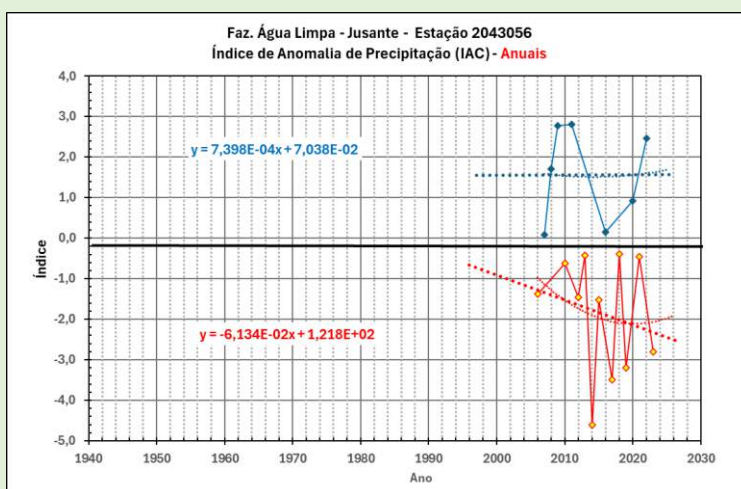
Com o objetivo de evidenciar visualmente, ainda mais, o comportamento das anomalias dos valores acumulados de precipitação anuais e dos períodos úmido e seco, apresentamos os gráficos a seguir nos quais os conjuntos de anomalias positivas e negativas foram separados em duas séries, permitindo o traçado de curvas de regressão separadas para cada conjunto. Para cada conjunto, são adicionadas ao gráfico duas curvas, sendo uma de regressão linear e outra, polinomial de segundo grau.



Considerando-se um período anual para a análise, o gráfico da Estação Fazenda Água Limpa mostra tendência, ao longo dos 40,4 anos da série, de redução do módulo dos valores das anomalias positivas e aumento do módulo das negativas, apesar dos ciclos de seca e umidade, o que indica uma tendência de redução da pluviosidade se a série é considerada em sua totalidade.

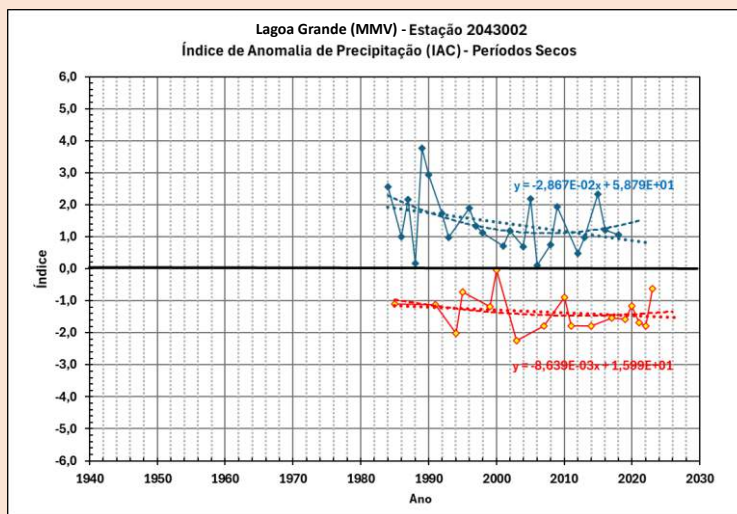
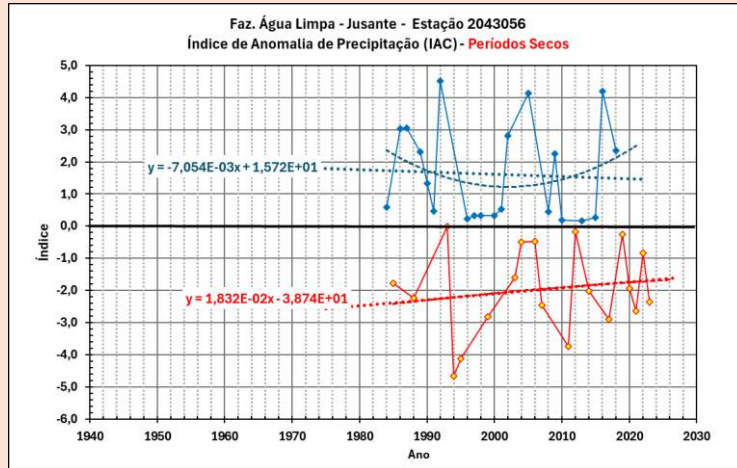
A tendência das anomalias positivas na Fazenda Água Limpa é oposta à verificada na Lagoa Grande (MMV) no mesmo período (1984 a 2023), como se pode ver pelo gráfico inferior, ou seja, enquanto na Fazenda Água Lima (área do vale, junto ao rio das Velhas) houve redução significativa do módulo das anomalias positivas anuais ao longo dos últimos 40,4 anos, na Lagoa Grande (MMV) (área da serra e dos aquíferos que alimentam nascentes) houve um aumento pequeno dos módulos dessas anomalias.

Na área das duas estações houve aumento do módulo das anomalias negativas, ou seja, intensificação das negativas ao longo dos últimos 40,4 anos, sendo essa intensificação mais forte na serra, área da Lagoa Grande (MMV), o que denota agravamento das secas nas duas áreas.



Se consideramos apenas os últimos 18 anos, a tendência anual na área da Estação Fazenda Água Limpa é de estabilidade dos valores das anomalias positivas e aumento do módulo das negativas, ou seja, agravamento das secas. No mesmo período, na área da Lagoa Grande (MMV), a tendência é de acentuada redução dos valores dos módulos das anomalias positivas e aumento dos valores absolutos das negativas, o que também denota agravamento das secas nos últimos 18 anos.

Pode-se ver, portanto, que nos últimos 18 anos houve agravamento das secas tanto na área da serra quanto na do vale representadas pelas duas estações.



Considerando-se o período seco de cada ano (maio a setembro) da série histórica da Fazenda Água Limpa (gráfico superior), observa-se uma tendência geral, ao longo dos 40,4 anos da série, redução tanto do módulo das anomalias positivas quanto das negativas, com convergência dos valores para a média histórica.

No mesmo período de 40,4 anos, na área da Lagoa Grande (MMV) (gráfico inferior), houve redução do módulo das anomalias positivas e aumento das negativas, o que aponta para um agravamento da severidade dos períodos secos.

