

Inferior (m³/s)	Superior (m³/s)	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	Quant. de Dados	Volumes (Mm3)
0,0	10,0	64	297	50,0	219,3	233	169
10,0	20,0	4066	4803	5655,6	6347,2	737	692
20,0	30,0	2627	2358	5545,8	4890,7	-269	-655
30,0	40,0	1133	916	3377,2	2737,6	-217	-640
40,0	50,0	621	417	2392,9	1601,8	-204	-791
50,0	60,0	335	261	1569,7	1234,6	-74	-335
60,0	70,0	197	162	1100,7	904,9	-35	-196
70,0	80,0	130	89	839,1	574,0	-41	-265
80,0	90,0	81	75	601,0	548,4	-6	-53
90,0	100,0	58	47	476,1	385,4	-11	-91
100,0	110,0	58	33	527,6	298,1	-25	-230
110,0	120,0	57	25	569,3	248,9	-32	-320
120,0	130,0	46	13	497,0	139,9	-33	-357
130,0	140,0	25	19	291,6	221,4	-6	-70
140,0	150,0	14	11	176,6	137,2	-3	-39
150,0	1000,0	93	80	1709,1	1525,3	-13	-184
<b>Totais:</b>		<b>9605</b>	<b>9606</b>	<b>25379,19</b>	<b>22014,79</b>	<b>1</b>	<b>-3364,4</b>
<b>Perda percentual de volume escoado com relação ao volume total do 1º segmento =</b>							<b>-13,2%</b>

A diferença entre o volume total escoado (25.379 Mm³) entre o período que vai de 27/04/1971 a 12/08/1997 (9.604 dias) e o volume escoado (222.027 Mm³) no período de 13/08/1997 a 30/11/2023 (9.605 dias) é de 3.364,23 Mm³, ou seja, uma perda de 13,26% (TDA-RMBH = 5563 dias = 15,23 anos)

No item “6.3.3.4 - Precipitações e Volumes Escoados Anuais e dos Períodos Úmidos e Secos” apresenta-se a equação da reta de regressão linear dos volumes anuais escoado durante o período de 1972 a 2022:

$$V = -3,599468 * t + 8.090,5 \text{ (Mm}^3\text{)}$$

Onde y é o valor do volume escoado referente ao tempo x.

Considerando-se essa fórmula válida para todo o período da série, de 27/04/1971 a 30/11/2023 (e não apenas de 1972 a 2022) pode-se calcular a perda, obtida por meio dessa equação, entre os dois períodos acima especificados. Essa perda pode ser comparada com a realmente ocorrida, registrada na tabela acima (3.362,82 Mm3). O quadro a seguir apresenta o cálculo da perda obtido por meio da equação da reta de regressão linear. Para aplicação da fórmula, transformou-se as datas de início e de fim de cada período em valores fracionários dos anos.

O volume total escoado (VTE) entre a data t1 e a data t2 corresponde à área, sob a reta de regressão, entre os pontos t1 e t2 do gráfico t x V (área de um trapézio):

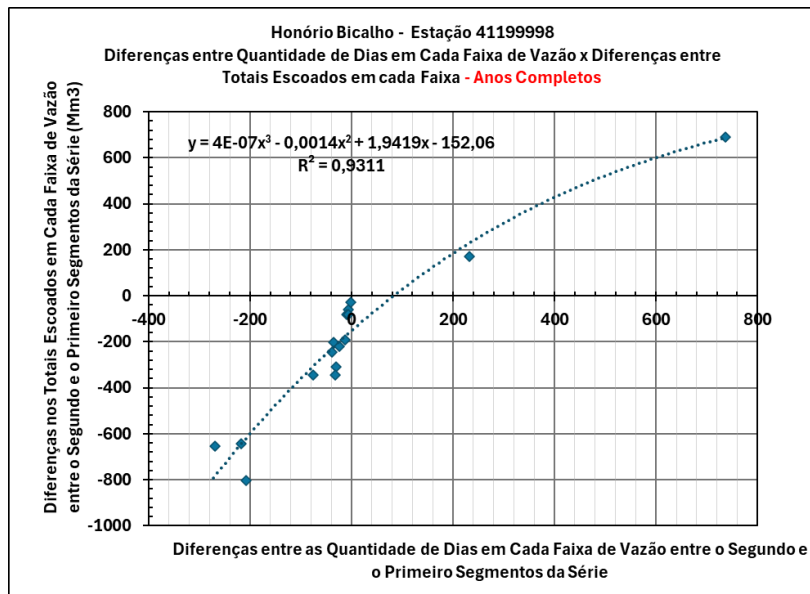
$$VTE = (V1 + V2) * (t2 - t1) / 2$$

A tabela a seguir apresenta os resultados do cálculo:

	Tempo (t) - Ano	Volume (V) - Mm3	Volume total escoado no período (Mm3)
27/04/1971	1971,321013	994,793	
12/08/1997	1997,615332	900,148	24.913,087
13/08/1997	1997,61807	900,138	
30/11/2023	2023,915127	805,482	22.426,392
		Diferença (Mm3)	-2.486,694
		Diferença Perc.	-9,98%

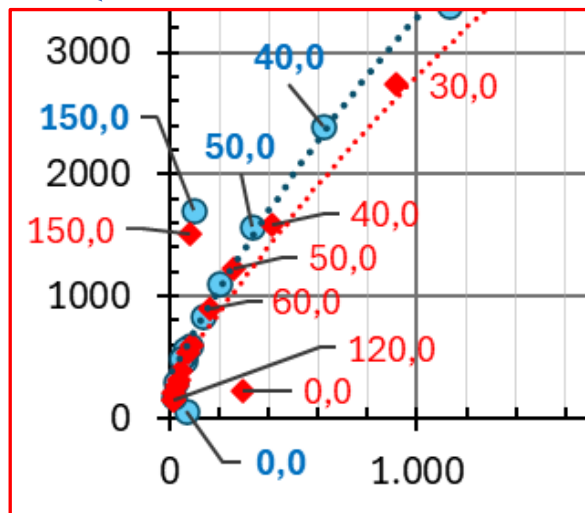
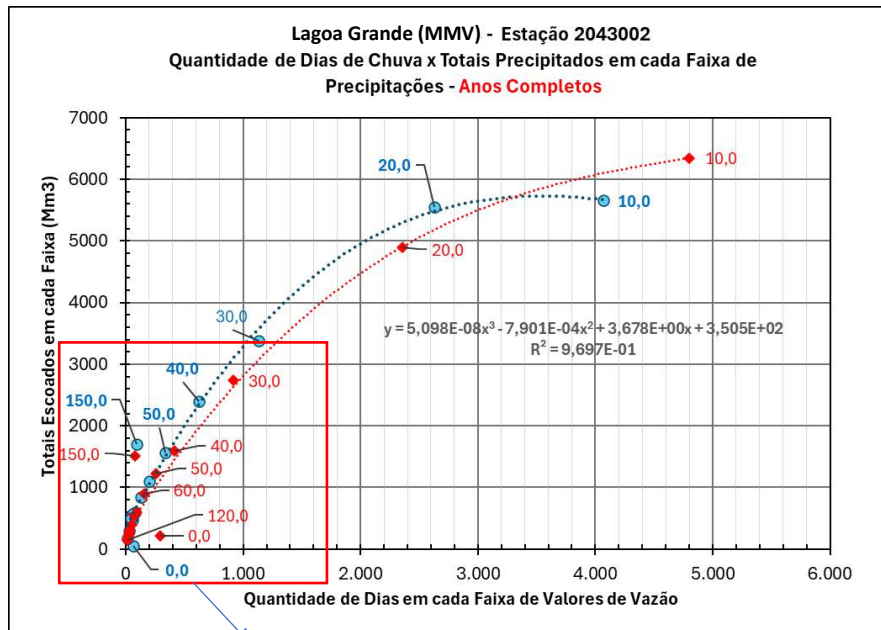
Os valores dos volumes totais escoados nos dois períodos estão relativamente próximos dos valores reais obtidos por meio da série histórica de vazões e diferença entre esses volumes é de 2.486 Mm<sup>3</sup>, não muito distante do valor real de 3.364,39 Mm<sup>3</sup>, o que mostra a validade das estimativas feitas por meio de retas de regressão.

O gráfico a seguir apresenta a correlação entre as diferenças entre números de dias em cada faixa de vazão e as diferenças entre os volumes escoados em cada faixa dos dois segmentos de 26,3 anos da série. O gráfico evidencia a boa correlação entre essas variáveis, o que se era de esperar, pois um maior número de dias com uma determinada vazão resulta em um maior volume escoado e vice-versa.



O gráfico abaixo mostra, para os dois segmentos da série, a relação entre a quantidade de dias com vazões em cada faixa de valores e os totais escoados em cada faixa (Mm<sup>3</sup>) evidenciando também a esperada correlação entre essas variáveis, pois um maior número de dias com uma determinada vazão resulta em um maior volume escoado e vice-versa. As exceções, nos dois segmentos, referem-se à faixa de vazões superiores a 150 m<sup>3</sup>/s, que engloba uma ampla faixa de valores e a faixa de 0 a 10 m<sup>3</sup>/s, vazões que ocorrem poucos dias, o que indica que, historicamente, o rio das Velhas tem relativamente poucos dias com vazões inferiores a 10 m<sup>3</sup>/s. **Os rótulos** de cada ponto informam **o limite inferior** da faixa de vazão a que ele se refere.

Em geral, os menores valores de dias e de volumes escoados referem-se à maiores faixas de vazões, pois quanto maior o valor da vazão, menor a sua ocorrência. Pode-se notar, no entanto, que o ponto referente à faixa de 0 a 10 m<sup>3</sup>/s (rótulo “0”) do segundo segmento da série, os 26,3 anos mais recentes, deslocou-se para a direita e para cima com relação ao “0” do segmento anterior, indicando uma maior quantidade de dias com vazões nessa faixa, ou seja, o agravamento das secas (ver detalhe do gráfico mais abaixo). Todos os demais pontos deslocaram-se para a esquerda e para baixo, indicando a redução das vazões em todas as faixas (redução do volume escoado e da quantidade de dias com vazões na faixa indicada pelo rótulo). O ponto “150” do segundo segmento está ligeiramente abaixo e à esquerda do correspondente ponto do primeiro segmento, indicando a redução das vazões superiores a 150 m<sup>3</sup>/s,



Outro aspecto a notar é que a linha pontilhada vermelha, de regressão dos pontos referentes aos últimos 26,3 anos, situa-se abaixo da linha azul dos primeiros 26,3 anos, com os pontos vermelhos à esquerda e abaixo dos pontos azuis correspondente, indicando a redução geral das vazões do Rio das Velhas. A única exceção diz respeito ao ponto “10”, referente a vazões entre 10 e 20 m<sup>3</sup>/s: assim como para o caso do ponto “0”, ele deslocou-se para a direita e para cima, indicando o aumento de dias e de vazões nessa faixa, ou seja, ou seja, a **perda significativa de vazões** do rio.

### Conclusões da Análise por Faixas de Valores de Vazão – Frequências - Dois Segmentos de 26,3 Anos Cada – Anos Completos

Realizou-se uma análise de frequências da série histórica de vazões na estação de Honório Bicalho, dividida em dois períodos de 26,3 anos (1971-1997 e 1997-2023). A partir dessa análise, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

#### 1. Aumento de dias com baixas vazões (menores que 17 m<sup>3</sup>/s)

- Nos últimos 26,3 anos (1997-2023), comparando-se com os 26,3 anos anteriores a eles (1971-1997), houve um aumento significativo no número de dias (970 a mais) com

vazões inferiores a 20 m<sup>3</sup>/s. Isso aponta para uma maior duração dos períodos de seca ou a ocorrência de vazões mais baixas mesmo durante os períodos úmidos.

- O volume escoado na faixa de vazões de 0 a 20 m<sup>3</sup>/s aumentou no segundo período com relação ao anterior, atingindo 861 milhões de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>), evidenciando o aumento da quantidade de vazões baixas, ou seja, aumento do tempo em que o rio está mais seco.

## 2. Redução das vazões

- Nos últimos 26,3 anos (1997-2023), comparando-se com os 26,3 anos anteriores a eles (1971-1997), houve perda de 655 Mm<sup>3</sup> na faixa entre 20 e 30 m<sup>3</sup>/s, perda de 643 Mm<sup>3</sup> na faixa entre 30 e 40 m<sup>3</sup>/s e perda de 2915 Mm<sup>3</sup> com vazões superiores a 40 m<sup>3</sup>/s. No total, nas faixas de vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/s, houve uma perda de 3352,19 Mm<sup>3</sup>, volume que seria suficiente para abastecer a RMBH, por meio da Estação Bela Fama, por mais de 15 anos. Essa perda representa 13,2% do volume escoado nos primeiros 26,3 anos.
- No período mais recente houve uma redução (969 a menos) no número de dias em todas as faixas de vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/s. Isso indica uma diminuição da pluviosidade em faixas que resultam nessas vazões, bem como uma menor capacidade dos aquíferos de manter o fluxo de base no início dos períodos de recessão.
- A redução da capacidade de recarga dos aquíferos pode estar relacionada à diminuição das chuvas moderadas, que são essenciais para a infiltração e manutenção dos fluxos de base.

## 3. Impacto no abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)

- Considerando que a ETA Bela Fama retira em média 7,0 m<sup>3</sup>/s do Rio das Velhas para abastecer a RMBH, **o déficit de volume de 3.364,39 Mm<sup>3</sup> nos últimos 26,3 anos, em comparação com os 26,3 anos anteriores seria suficiente para abastecer a RMBH por 5.563 dias (aproximadamente 15,2 anos).**
- Essa perda de volume ressalta a importância de medidas para garantir a segurança hídrica da RMBH, como a gestão integrada de recursos hídricos, a recuperação de bacias hidrográficas e a adaptação às mudanças climáticas.

## 4. Implicações para a gestão de recursos hídricos

- O aumento das baixas vazões e a redução das vazões intermediárias indicam uma mudança no regime hidrológico da bacia, com possíveis impactos na disponibilidade de água para abastecimento, irrigação e geração de energia.
- É necessário monitorar continuamente as tendências hidrológicas e implementar políticas públicas para mitigar os impactos das mudanças observadas.

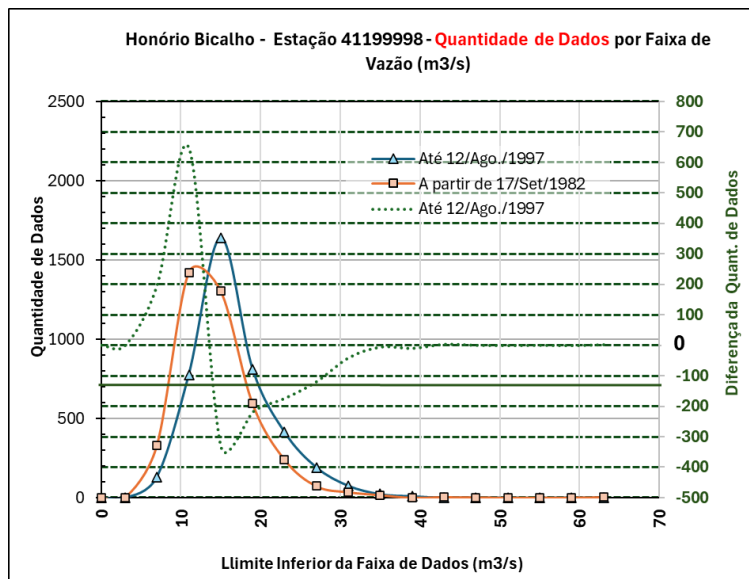
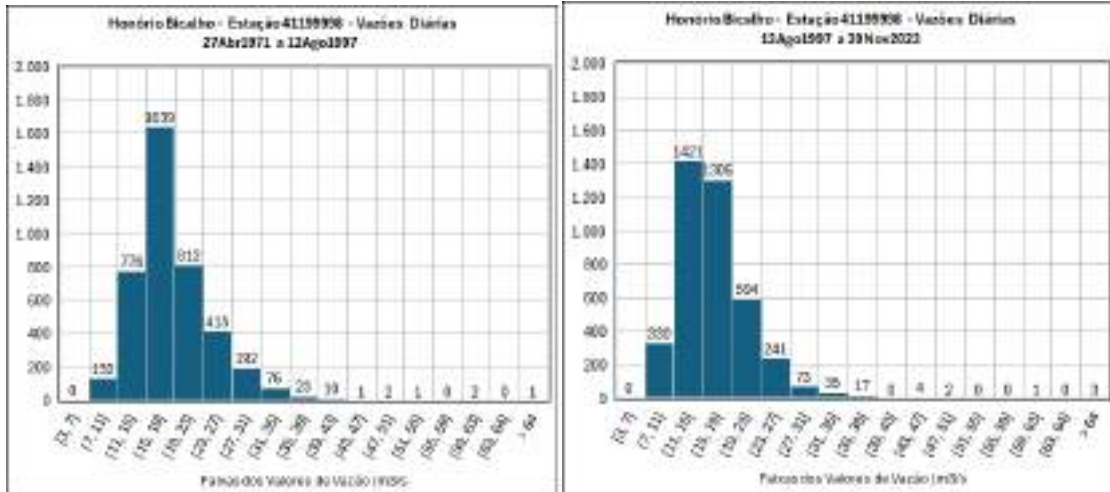
A análise evidencia uma mudança significativa no regime de vazões da bacia do Rio das Velhas, com aumento das baixas vazões, redução das vazões intermediárias e um déficit considerável no volume escoado. Essas mudanças têm implicações importantes para a gestão dos recursos hídricos e a segurança hídrica da RMBH, exigindo ações estratégicas para adaptação e mitigação.

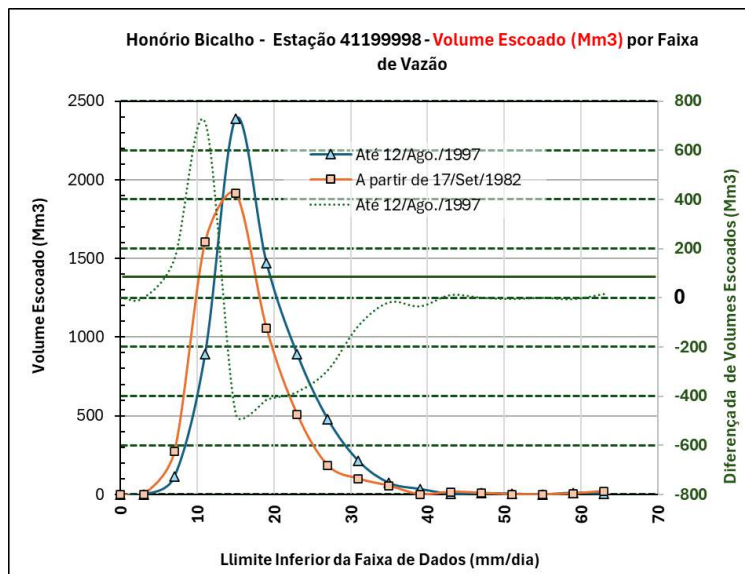
### 6.3.4.2 Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Períodos Secos

Uma avaliação de tendências dos **períodos secos** (maio a setembro) também foi feita dividindo-se a série de Honório Bicalho em dois períodos de 26,3 anos, ou seja, com igual quantidade de dias, sendo o primeiro de 1971 a 1997 e o segundo de 1997 a 2023. Os valores de vazões foram

classificados em 14 faixas, de largura 4 m<sup>3</sup>/s mm cada uma, e uma faixa com valores superiores a 63 m<sup>3</sup>/s.

A seguir são apresentados os histogramas referentes aos dois períodos, bem como o gráfico de dispersão correspondente às frequências mostradas nos histogramas



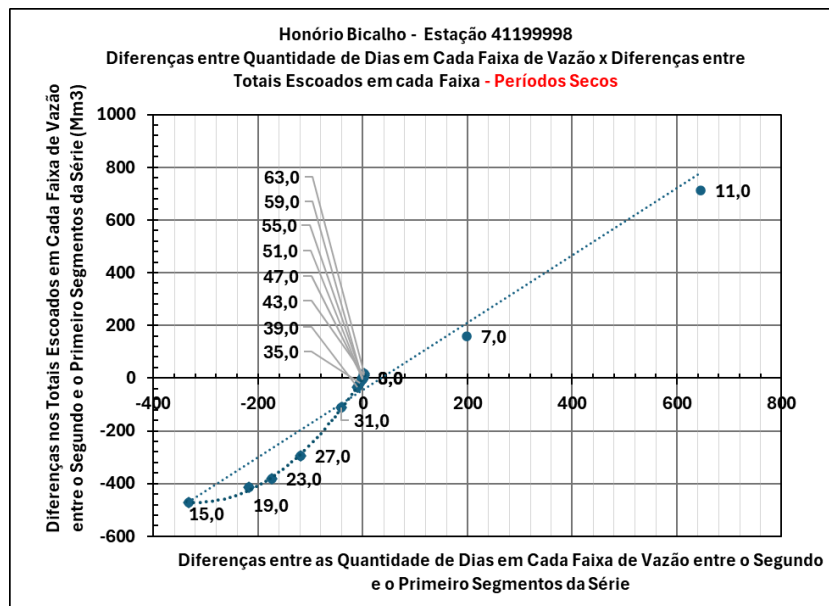


Nos dois gráficos acima, para vazões superiores a 15 m<sup>3</sup>/s as curvas referentes ao período mais recente estão abaixo das curvas do período anterior, indicando a redução das vazões do rio nos períodos secos em todas as faixas superiores a 15 m<sup>3</sup>/s. O contrário ocorre com relação às vazões inferiores a 15 m<sup>3</sup>/s, indicando que o rio passou ter mais vazões menores no segundo segmento da série. Essas diferenças são representadas pela linha pontilhada verde. O gráfico espelha os dados da seguinte tabela:

Limites das Faixas de Vazões		Qt. de Dados		Vol. Escoado (Mm3)		Diferenças	
Inferior (m <sup>3</sup> /s)	Superior (m <sup>3</sup> /s)	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	Quant. de Dados	Volumes (Mm3)
0,0	3,0	0	1	0,0	0,0	1	0
3,0	7,0	0	0	0,0	0,0	0	0
7,0	11,0	132	330	113,5	271,9	198	158
11,0	15,0	776	1421	893,1	1606,6	645	713
15,0	19,0	1639	1306	2387,4	1915,2	-333	-472
19,0	23,0	812	594	1472,1	1058,1	-218	-414
23,0	27,0	415	241	891,4	509,4	-174	-382
27,0	31,0	192	73	477,0	183,4	-119	-294
31,0	35,0	76	35	211,8	99,1	-41	-113
35,0	39,0	23	17	72,3	54,2	-6	-18
39,0	43,0	10	0	34,6	0,0	-10	-35
43,0	47,0	1	4	4,0	15,5	3	12
47,0	51,0	2	2	8,4	8,4	0	0
51,0	55,0	1	0	4,6	0,0	-1	-5
55,0	59,0	0	0	0,0	0,0	0	0
59,0	63,0	2	1	10,6	5,3	-1	-5
63,0	1000,0	1	3	5,5	21,4	2	16
<b>Totais:</b>		<b>4082</b>	<b>4028</b>	<b>6586</b>	<b>5749</b>	<b>-54</b>	<b>-837,71</b>

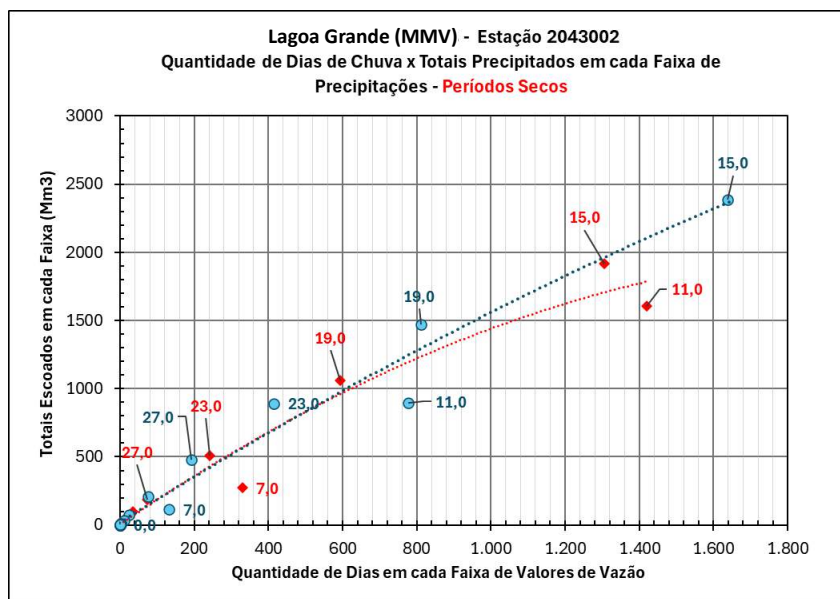
O gráfico a seguir apresenta, para os períodos secos, a correlação entre as diferenças entre números de dias em cada faixa de vazão e as diferenças entre os volumes escoados em cada faixa dos dois segmentos de 26,3 anos da série; os rótulos dos pontos indicam o **limite inferior** da faixa de vazões a que eles se referem. O gráfico evidencia a boa correlação entre essas variáveis, o que se era de esperar, pois um maior número de dias com uma determinada vazão resulta em

um maior volume escoado e vice-versa. O gráfico sugere duas curvas de regressão, pois, aparentemente, as correlações das diferenças positivas são diferentes das negativas.



O gráfico abaixo mostra, para os dois segmentos da série, a relação entre a quantidade de dias com vazões em cada faixa de valores e os totais escoados em cada faixa ( $Mm^3$ ) evidenciando também a esperada correlação entre essas variáveis, pois um maior número de dias com uma determinada vazão resulta em um maior volume escoado e vice-versa. A exceção, nos dois segmentos, refere-se à faixa de vazões de 7 a  $10 m^3/s$  (pontos “7”), vazões que ocorrem poucos dias, o que indica que, historicamente, o rio das Velhas tem relativamente poucos dias com vazões inferiores a  $10 m^3/s$ . **Os rótulos** de cada ponto informam o **limite inferior** da faixa de vazões a que ele se refere.

Em geral, os menores valores de dias e de volumes escoados referem-se à maiores faixas de vazões, pois quanto maior o valor da vazão, menor a sua ocorrência. Pode-se notar, no entanto, que os pontos referentes às faixas de 7 a 11 e de 11 a  $15 m^3/s$  (rótulos “7” e “11”) do segundo segmento da série, os 26,3 anos mais recentes, deslocaram-se para a direita e para cima com relação aos “7” e “11” do segmento anterior, indicando uma maior quantidade de dias com vazões nessa faixa, ou seja, o agravamento das secas. Todos os demais pontos deslocaram-se para a esquerda e para baixo, indicando a redução das vazões em todas as faixas (redução do volume escoado e da quantidade de dias com vazões na faixa indicada pelo rótulo).



### Conclusões da Análise por Faixas de Valores de Vazão – Frequências - Dois Segmentos de 26,3 Anos Cada – **Períodos Secos**

Realizou-se, para os **períodos secos**, uma análise de frequências da série histórica de vazões na estação de Honório Bicalho, dividida em dois períodos de 26,3 anos (1971-1997 e 1997-2023). A partir dessa análise, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

#### 5. Aumento de dias com baixas vazões (menores que 15 m³/s)

- Nos últimos 26,3 anos (1997-2023), comparando-se com os 26,3 anos anteriores a eles (1971-1997), houve um aumento significativo no número de dias (844 a mais) com vazões inferiores a 15 m³/s. Isso aponta para uma maior duração dos períodos de seca.
- O volume escoado na faixa de vazões de 0 a 15 m³/s aumentou no segundo período com relação ao anterior, atingindo 872 milhões de metros cúbicos (Mm³), evidenciando o aumento da quantidade de vazões baixas, ou seja, aumento do tempo em que o rio está mais seco.

#### 6. Redução das vazões

- Nos últimos 26,3 anos (1997-2023), comparando-se com os 26,3 anos anteriores a eles (1971-1997), houve perda de 886 Mm³ na faixa entre 15 e 23 m³/s, perda de 676 Mm³ na faixa entre 23 e 31 m³/s e perda de 148 Mm³ com vazões superiores a 31 m³/s. No total, nas faixas de vazões superiores a 15 m³/s, houve uma perda de 1710 Mm³, ou seja, 26,0% do total escoado nos primeiros 26,3 anos.
- No período mais recente houve uma redução (898 a menos) no número de dias em praticamente todas as faixas de vazões superiores a 15 m³/s, ou seja, 22,0% do total de dias de cada um dos dois segmentos analisados. Isso indica uma diminuição das vazões devido a uma menor capacidade dos aquíferos de manter o fluxo de base dos períodos de recessão.
- A redução da capacidade de recarga dos aquíferos pode estar relacionada à diminuição das chuvas moderadas e ao bombeamento de água dos aquíferos, tanto para atender a indústrias e núcleos urbanos quando para possibilitar o aprofundamento das cavas de mineração.

#### 7. Déficit total de volume escoado

- Nos últimos 26,3 anos, houve um déficit total de 837,71 Mm<sup>3</sup> em comparação com o período anterior. Esse valor representa 12,7% do volume escoado nos primeiros 26,3 anos nos períodos secos.

### 8. Impacto no abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)

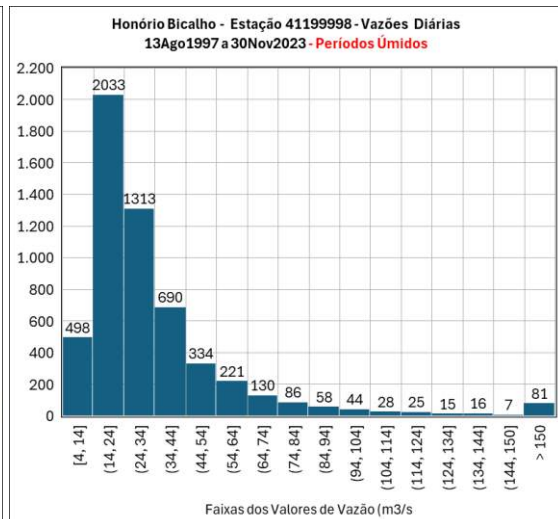
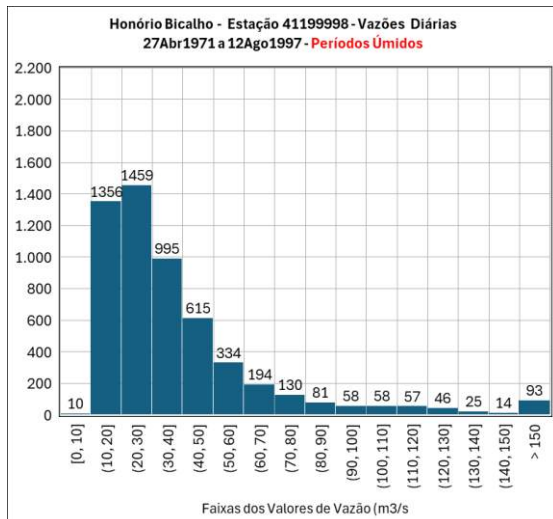
- Considerando que a ETA Bela Fama retira em média 7,0 m<sup>3</sup>/s do Rio das Velhas para abastecer a RMBH, o déficit de volume de 837,71 Mm<sup>3</sup> dos períodos secos dos últimos 26,3 anos, em comparação com os dos 26,3 anos anteriores, seria suficiente para abastecer a RMBH por 1.385 dias (aproximadamente 3,8 anos).
- Essa perda de volume ressalta a importância de medidas para garantir a segurança hídrica da RMBH, como a gestão integrada de recursos hídricos, a recuperação de bacias hidrográficas e a adaptação às mudanças climáticas.

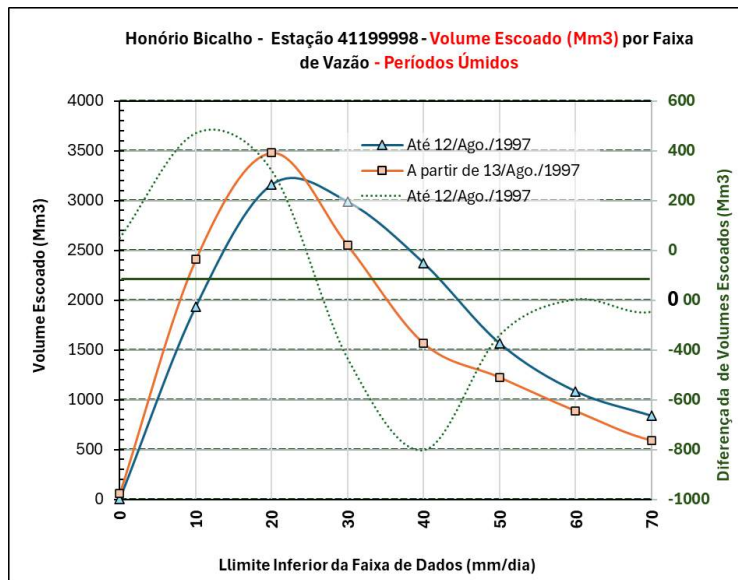
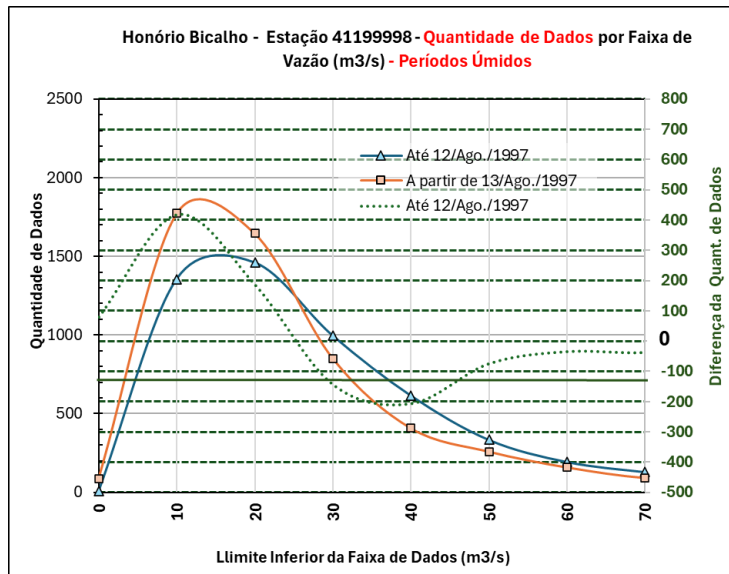
A análise evidencia uma mudança significativa no regime de vazões dos períodos secos da bacia do Rio das Velhas, com aumento das baixas vazões e um déficit considerável no volume escoado. Essas mudanças têm implicações importantes para a gestão dos recursos hídricos e a segurança hídrica da RMBH, exigindo ações estratégicas para adaptação e mitigação.

#### 6.3.4.3 Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Períodos Úmidos

Uma avaliação de tendências dos períodos úmidos (outubro a abril) também foi feita dividindo-se a série de Honório Bicalho em dois períodos de 26,3 anos, ou seja, com igual quantidade de dias, sendo o primeiro de 1971 a 1997 e o segundo de 1997 a 2023. Os valores de vazões foram classificados em 14 faixas, de largura 4 m<sup>3</sup>/s mm cada uma, e uma faixa com valores superiores a 150 m<sup>3</sup>/s.

A seguir são apresentados os histogramas referentes aos dois períodos, bem como o gráfico de dispersão correspondente às frequências mostradas nos histogramas



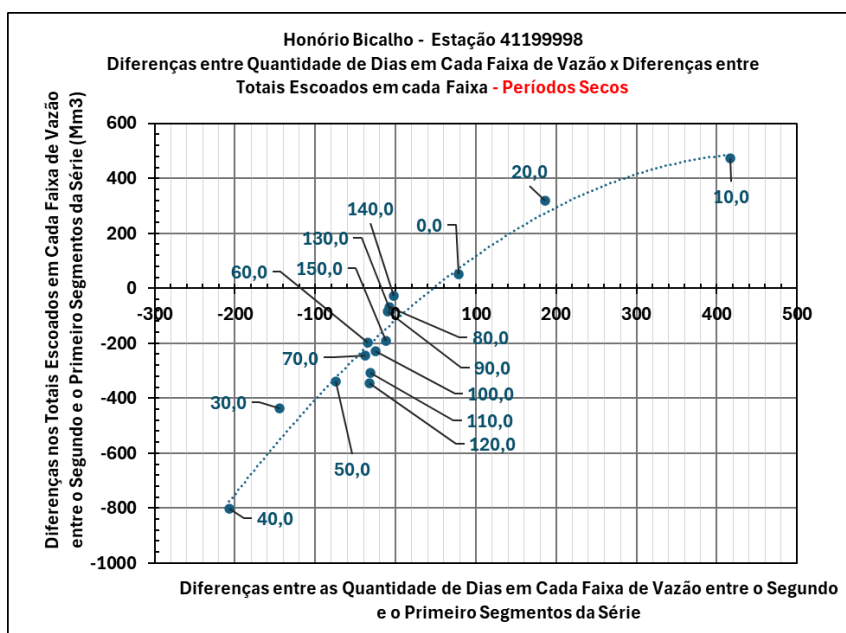


Nos dois gráficos acima, para vazões superiores a 25 m<sup>3</sup>/s as curvas referentes ao período mais recente estão abaixo das curvas do período anterior, indicando a redução das vazões do rio nos períodos secos em todas as faixas superiores a 25 m<sup>3</sup>/s. O contrário ocorre com relação às vazões inferiores a 25 m<sup>3</sup>/s, indicando que o rio passou ter mais vazões menores no segundo segmento da série. Essas diferenças são representadas pela linha pontilhada verde. O gráfico espelha os dados da seguinte tabela:

Limites das Faixas de Vazões		Qt. de Dados		Vol. Escoado (Mm3)		Diferenças	
Inferior (m <sup>3</sup> /s)	Superior (m <sup>3</sup> /s)	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	Quant. de Dados	Volumes (Mm3)
0,0	10,0	9	88	7,1	57,9	79	51
10,0	20,0	1355	1772	1935,0	2407,1	417	472
20,0	30,0	1459	1645	3159,1	3479,3	186	320
30,0	40,0	995	851	2985,1	2549,1	-144	-436
40,0	50,0	615	408	2369,8	1566,8	-207	-803
50,0	60,0	334	259	1565,1	1225,7	-75	-339
60,0	70,0	194	159	1084,6	888,0	-35	-197
70,0	80,0	130	92	839,1	593,1	-38	-246

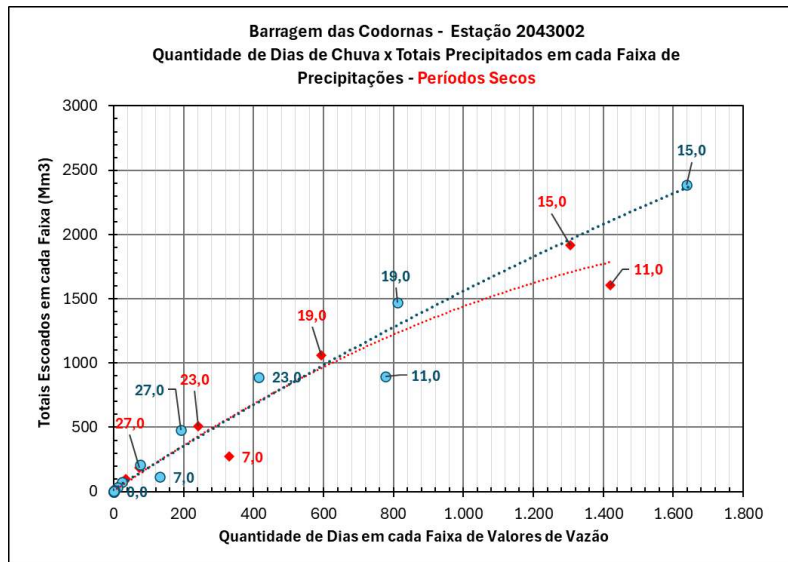
80,0	90,0	81	73	601,0	533,8	-8	-67
90,0	100,0	58	48	476,1	393,0	-10	-83
100,0	110,0	58	33	527,6	297,9	-25	-230
110,0	120,0	57	26	569,3	260,1	-31	-309
120,0	130,0	46	14	497,0	150,6	-32	-346
130,0	140,0	25	18	291,6	209,8	-7	-82
140,0	150,0	14	12	176,6	149,3	-2	-27
150,0	1000,0	93	81	1709,1	1517,0	-12	-192
<b>Totais:</b>		<b>5523</b>	<b>5579</b>	<b>18793</b>	<b>16278</b>	<b>56</b>	<b>-2514,7</b>

O gráfico a seguir apresenta, para os **períodos úmidos**, a correlação entre as diferenças entre números de dias em cada faixa de vazão e as diferenças entre os volumes escoados em cada faixa dos dois segmentos de 26,3 anos da série; os rótulos dos pontos indicam o **limite inferior** da faixa de vazões a que eles se referem. O gráfico evidencia a boa correlação entre essas variáveis, o que se era de esperar, pois um maior número de dias com uma determinada vazão resulta em um maior volume escoado e vice-versa.



O gráfico abaixo mostra, para os dois segmentos da série, a relação entre a quantidade de dias com vazões em cada faixa de valores e os totais escoados em cada faixa ( $Mm^3$ ) evidenciando também a esperada correlação entre essas variáveis, pois um maior número de dias com uma determinada vazão resulta em um maior volume escoado e vice-versa. A exceção, nos dois segmentos, refere-se à faixa de vazões de 0 a  $10 m^3/s$  (pontos “0”), vazões que ocorrem poucos dias, o que indica que, historicamente, o rio das Velhas tem relativamente poucos dias com vazões inferiores a  $10 m^3/s$ . **Os rótulos** de cada ponto informam o **limite inferior** da faixa de vazões a que ele se refere.

Em geral, os menores valores de dias e de volumes escoados referem-se à maiores faixas de vazões, pois quanto maior o valor da vazão, menor a sua ocorrência. Pode-se notar, no entanto, que os pontos referentes às faixas de 10 a 20 e de 20 a  $30 m^3/s$  (rótulos “10” e “30”) do segundo segmento da série, os 26,3 anos mais recentes, deslocaram-se para a direita e para cima com relação aos “10” e “20” do segmento anterior, indicando uma maior quantidade de dias com vazões nessa faixa, ou seja, o aumento do tempo, mesmo nos períodos úmidos, em que o rio fica com menores vazões (de 10 a  $30 m^3/s$ ). Todos os demais pontos deslocaram-se para a esquerda e para baixo, indicando a redução das vazões em todas as faixas (redução do volume escoado e da quantidade de dias com vazões na faixa indicada pelo rótulo).



### Conclusões da Análise por Faixas de Valores de Vazão – Frequências - Dois Segmentos de 26,3 Anos Cada – **Períodos Úmidos**

Realizou-se, para os **períodos úmidos**, uma análise de frequências da série histórica de vazões na estação de Honório Bicalho, dividida em dois períodos de 26,3 anos (1971-1997 e 1997-2023). A partir dessa análise, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

#### 9. Aumento de dias com baixas vazões (menores que 30 m³/s)

- Nos últimos 26,3 anos (1997-2023), comparando-se com os 26,3 anos anteriores a eles (1971-1997), houve um aumento significativo no número de dias (682 a mais) com vazões inferiores a 30 m³/s. Isso aponta para uma redução das vazões do Rio das Velhas mesmo nos períodos úmidos.
- O volume escoado na faixa de vazões de 0 a 30 m³/s aumentou no segundo período com relação ao anterior, atingindo 843 milhões de metros cúbicos (Mm³), evidenciando o aumento da quantidade de vazões baixas, ou seja, aumento do tempo em que o rio está mais seco.

#### 10. Redução das vazões

- Nos últimos 26,3 anos (1997-2023), comparando-se com os 26,3 anos anteriores a eles (1971-1997), houve perda de 1.239 Mm³ na faixa entre 30 e 59 m³/s, perda de 536 Mm³ na faixa entre 50 e 70 m³/s e perda de 1.583 Mm³ com vazões superiores a 31 m³/s. No total, nas faixas de vazões superiores a 30 m³/s, houve uma perda de 3.358 Mm³, ou seja, 17,9% do total escoado nos primeiros 26,3 anos.
- No período mais recente houve uma redução (626 a menos) no número de dias em todas as faixas de vazões superiores a 30 m³/s, ou seja, 11,3% do total de dias de cada um dos dois segmentos analisados. Isso indica uma diminuição das vazões devido possivelmente devido à redução das chuvas fortes, moderadas e fracas

#### 11. Déficit total de volume escoado

- Nos últimos 26,3 anos, houve um déficit total de 2.514,69 Mm³ em comparação com o período anterior. Esse valor representa 13,4% do volume escoado durante os períodos úmidos dos primeiros 26,3 anos.

## 12. Impacto no abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)

- Considerando que a ETA Bela Fama retira em média 7,0 m<sup>3</sup>/s do Rio das Velhas para abastecer a RMBH, **o déficit de volume de 2.514,69 Mm<sup>3</sup> dos períodos úmidos dos últimos 26,3 anos, em comparação com os dos 26,3 anos anteriores, seria suficiente para abastecer a RMBH por 4.158 dias (aproximadamente 11,4 anos).**
- Essa perda de volume ressalta a importância de medidas para garantir a segurança hídrica da RMBH, como a gestão integrada de recursos hídricos, a recuperação de bacias hidrográficas e a adaptação às mudanças climáticas.

A análise evidencia uma mudança significativa no regime de vazões dos **períodos úmidos** da bacia do Rio das Velhas, com aumento das baixas vazões e um déficit considerável no volume escoado. Essas mudanças têm implicações importantes para a gestão dos recursos hídricos e a segurança hídrica da RMBH, exigindo ações estratégicas para adaptação e mitigação.

### 6.3.5 Análise por Quantis

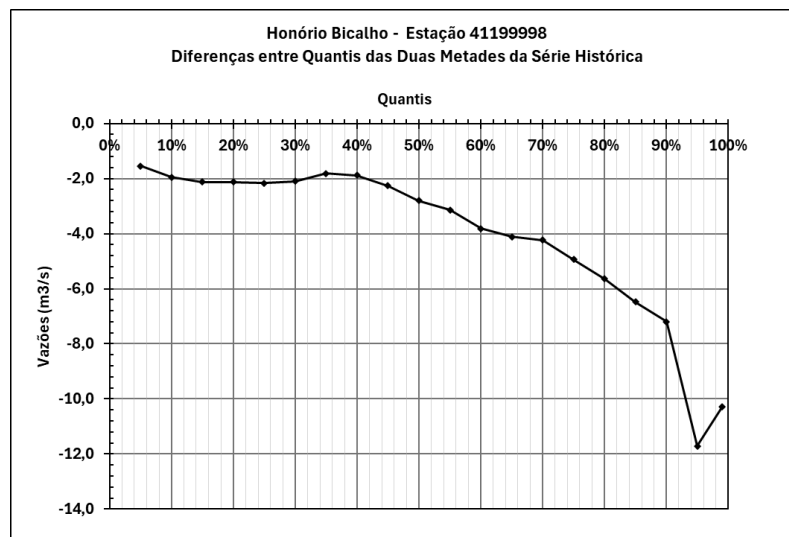
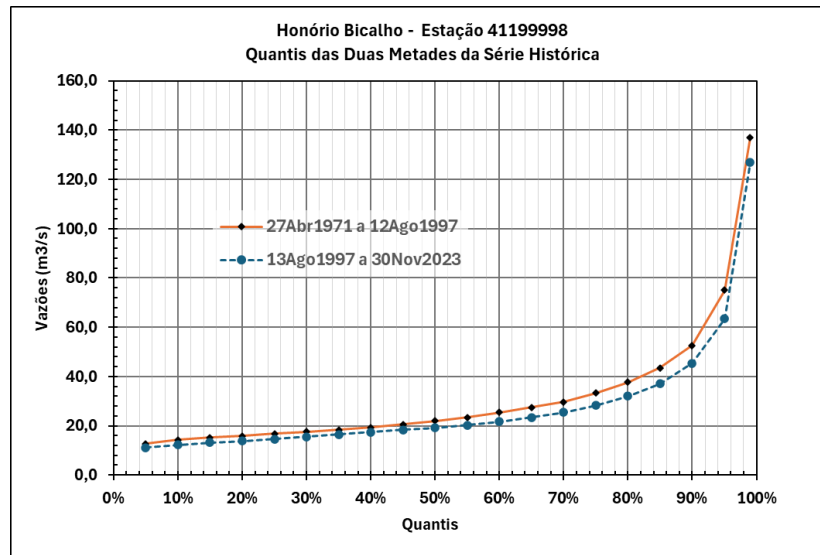
*Para explicações sobre a análise por quantis, ver a parte referente à Estação Lagoa Grande (MMV).*

#### 6.3.5.1 Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Anos Completos

A tabela a seguir apresenta os quantis calculados para os dois períodos de 26,3 anos, ou seja, dois períodos com igual quantidade de dias em que a série histórica de dados da Estação Honório Bicalho foi dividida, sendo o primeiro de 1971 a 1997 e o segundo de 1997 a 2023:

ESTAÇÃO HONÓRIO BICALHO – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41199998			
Probabilidade	Quantis (m <sup>3</sup> /s)		Diferenças (m <sup>3</sup> /s)
	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	
5,0%	12,64	11,10	-1,54
10,0%	14,20	12,26	-1,95
15,0%	15,26	13,14	-2,13
20,0%	15,89	13,76	-2,13
25,0% (Q1)	16,82	14,64	-2,17
30,0%	17,63	15,53	-2,10
35,0%	18,30	16,48	-1,82
40,0%	19,34	17,45	-1,88
45,0%	20,63	18,36	-2,27
50,0% (Q2)	21,93	19,13	-2,80
55,0%	23,45	20,30	-3,14
60,0%	25,46	21,64	-3,81
65,0%	27,44	23,32	-4,12
70,0%	29,68	25,44	-4,24
75,0% (Q3)	33,20	28,26	-4,93
80,0%	37,64	32,00	-5,64
85,0%	43,52	37,04	-6,48
90,0%	52,61	45,42	-7,19
95,0%	75,06	63,34	-11,72
99,0%	137,08	126,80	-10,28

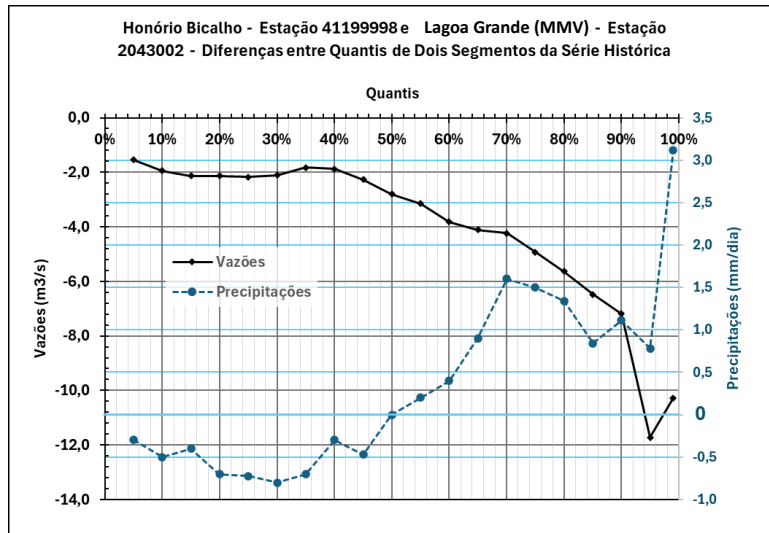
A distribuição dos quantis (primeira e segunda colunas da tabela) e a diferença entre os quantis da segunda e da primeira metade da série histórica (última coluna da tabela) podem ser visualizadas por meio dos gráficos a seguir:



Com relação aos números acima pode-se observar:

1. Nos últimos 26 anos, em comparação com os 26 anteriores, houve **redução das vazões do rio das Velhas para todos os quantis**. A redução até o segundo quartil (50%) foi da ordem de 2,0 m<sup>3</sup>/s, com redução mais intensa e progressiva a partir daí. Na faixa de 95% e 99% a redução foi de 10 a 12 m<sup>3</sup>/s.
2. Essa averiguação está em acordo com as feitas anteriormente por meio da análise das médias e dos volumes escoados, confirmando uma perda significativa e preocupante de vazões nas últimas décadas.
3. A análise por quartis do segmento da série pluviométrica da Lagoa Grande (MMV) equivalente à duração da série de Honório Bicalho (53 anos) mostrou que houve aumento dos volumes de chuva para todos os quantis superiores ao segundo quartil (50%), o que indica um aumento dos dias com chuvas mais fortes e redução dos volumes diários de chuva para quantis iguais ou inferiores ao segundo quartil Q1 (50%), ou seja, chuvas muito fracas e chuviscos. O maior aumento se deu no quantil de 99,0% (de 64,26 mm para 67,37 mm), o que significa que, na parte mais recente da série (últimos 26,3 anos), houve notável aumento dos eventos mais extremos de chuva.
4. A redução dos volumes diários de chuva para quantis iguais ou inferiores ao primeiro quartil Q1 (50%) pode implicar em redução das vazões do rio, pelo menos no que diz

respeito às faixas de menores vazões, porém a **redução mais acentuada dos quantis de vazões** superiores a 50% se dá em um cenário de **aumento dos quantis de chuvas** nessa mesma faixa, como se pode ver no gráfico a seguir. Somente para os quantis de 95% e 99% é que se verifica uma correspondência de comportamentos: redução simultânea dos quantis de precipitações e de vazões para 95% e aumento simultâneo para 99%.

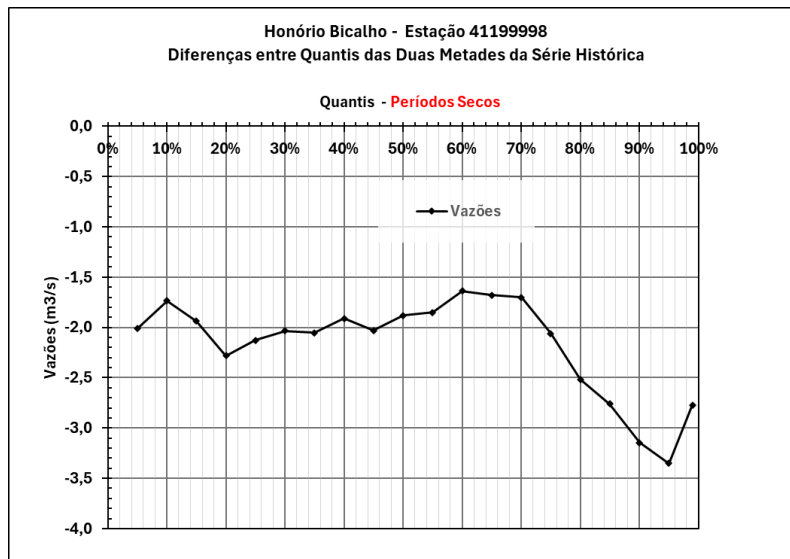
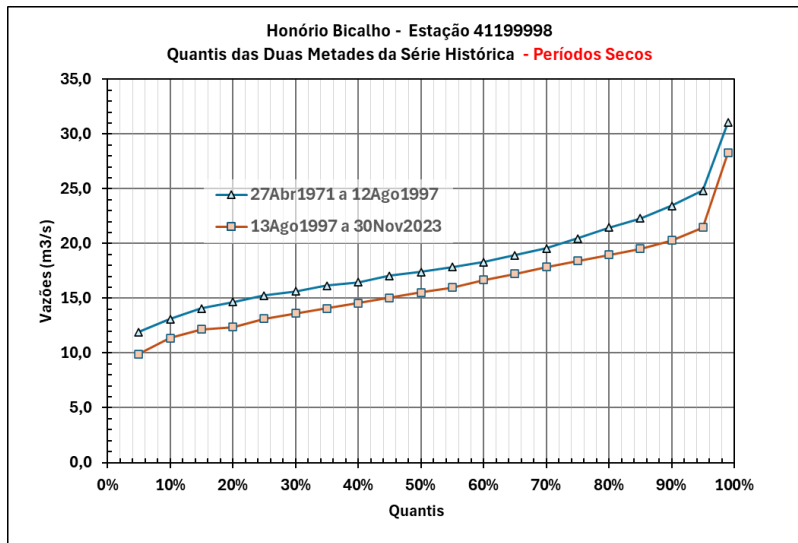


6.3.5.2 Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Períodos Secos

A tabela a seguir apresenta, para os **períodos secos**, os quantis de vazões calculados para os dois períodos de 26,3 anos, ou seja, dois períodos com igual quantidade de dias em que a série histórica de dados da Estação Honório Bicalho foi dividida, sendo o primeiro de 1971 a 1997 e o segundo de 1997 a 2023:

ESTAÇÃO HONÓRIO BICALHO – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41199998			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (m3/s)
	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	
5,0%	11,92	9,91	-2,01
10,0%	13,09	11,36	-1,73
15,0%	14,09	12,15	-1,94
20,0%	14,67	12,39	-2,28
25,0% (Q1)	15,26	13,14	-2,13
30,0%	15,65	13,61	-2,04
35,0%	16,14	14,09	-2,05
40,0%	16,47	14,56	-1,91
45,0%	17,07	15,04	-2,03
50,0% (Q2)	17,41	15,52	-1,88
55,0%	17,85	16,00	-1,85
60,0%	18,30	16,66	-1,64
65,0%	18,92	17,25	-1,68
70,0%	19,55	17,85	-1,70
75,0% (Q3)	20,47	18,41	-2,06
80,0%	21,48	18,96	-2,52
85,0%	22,28	19,52	-2,76
90,0%	23,45	20,30	-3,14
95,0%	24,82	21,47	-3,35
99,0%	31,03	28,26	-2,77

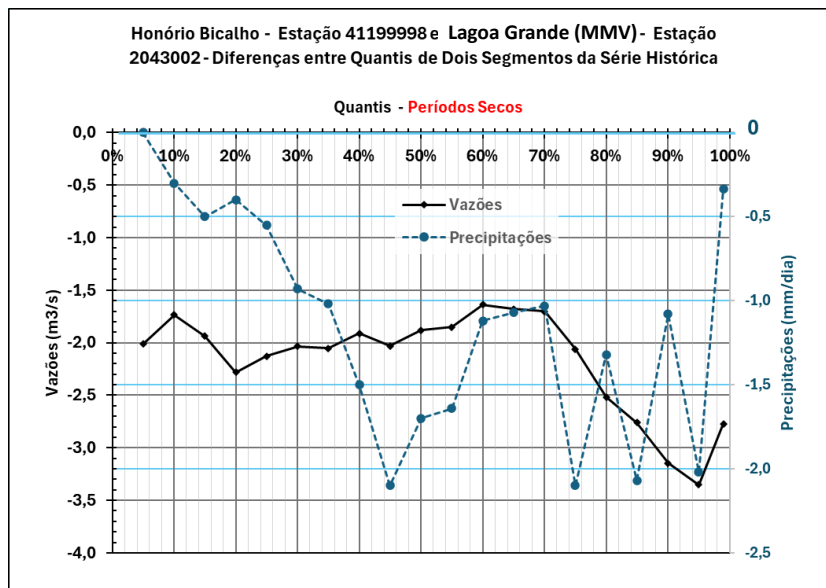
A distribuição dos quantis (primeira e segunda colunas da tabela) e a diferença entre os quantis da segunda e da primeira metade da série histórica (última coluna da tabela) podem ser visualizadas por meio dos gráficos a seguir:



Com relação aos números acima pode-se observar:

1. Nos **períodos secos** dos últimos 26,3 anos, em comparação com os dos 26 anteriores, houve **redução das vazões do rio das Velhas para todos os quantis**. A redução até o terceiro quartil (75%) foi da ordem de 2,0 m<sup>3</sup>/s, com redução mais intensa e progressiva a partir daí. Na faixa de 95% e 99% a redução foi de cerca de 3,0 m<sup>3</sup>/s.
2. Essa averiguação está em acordo com as feitas anteriormente por meio da análise das médias e dos volumes escoados, confirmando uma perda significativa e preocupante de vazões nas últimas décadas.
3. A análise por quartis do segmento da série pluviométrica da Lagoa Grande (MMV) relativa aos **períodos secos** e equivalente à duração da série de Honório Bicalho (53 anos) mostrou que houve aumento dos volumes de chuva para todos os quantis, sendo as reduções maiores ocorrerem nos quantis de 45%, 75%, 85% e 95%.
4. A redução geral dos volumes diários de chuva nos períodos secos implica em maior redução das vazões do rio principalmente se os aquíferos perderam capacidade para

manter o escoamento de base, o que, ao que tudo indica, é o caso dos aquíferos da bacia do Alto Velhas.

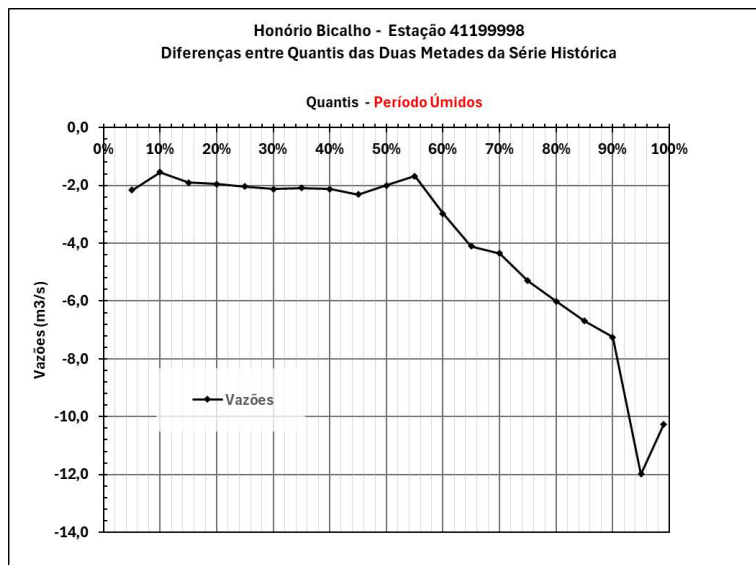
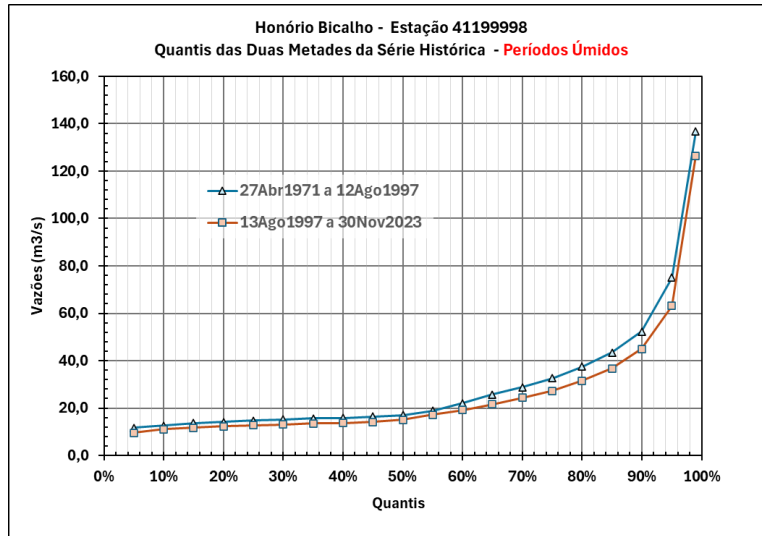


### 6.3.5.3 Dois Períodos Iguais de 26,3 anos – Períodos Úmidos

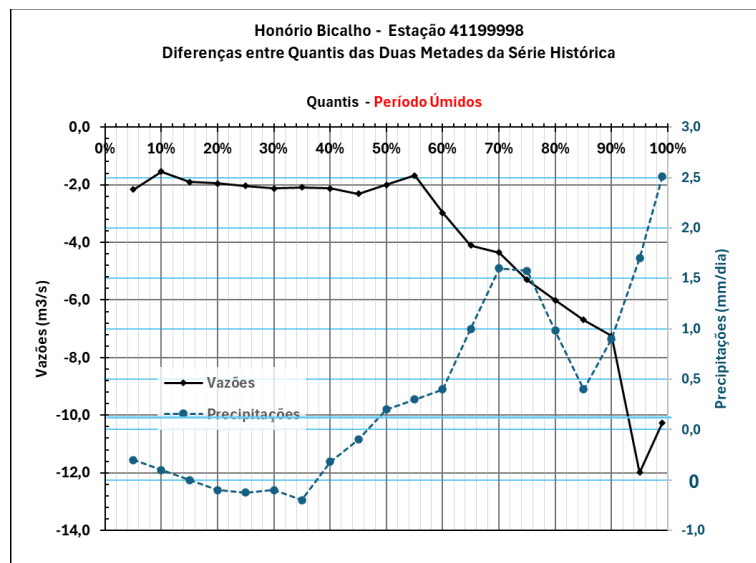
A tabela a seguir apresenta, para os **períodos úmidos**, os quantis de vazões calculados para os dois períodos de 26,3 anos, ou seja, dois períodos com igual quantidade de dias em que a série histórica de dados da Estação Honório Bicalho foi dividida, sendo o primeiro de 1971 a 1997 e o segundo de 1997 a 2023:

ESTAÇÃO HONÓRIO BICALHO – CÓD. FLUVIOMÉTRICO: 41199998			
Probabilidade	Quantis (mm/dia)		Diferenças (m <sup>3</sup> /s)
	27Abr1971 a 12Ago1997	13Ago1997 a 30Nov2023	
5,0%	11,67	9,51	-2,16
10,0%	12,64	11,10	-1,54
15,0%	13,65	11,75	-1,90
20,0%	14,20	12,26	-1,95
25,0% (Q1)	14,76	12,72	-2,04
30,0%	15,26	13,14	-2,13
35,0%	15,70	13,61	-2,08
40,0%	15,89	13,76	-2,13
45,0%	16,46	14,14	-2,32
50,0% (Q2)	17,05	15,04	-2,01
55,0%	18,92	17,24	-1,68
60,0%	22,13	19,15	-2,97
65,0%	25,74	21,63	-4,11
70,0%	28,77	24,42	-4,35
75,0% (Q3)	32,62	27,32	-5,31
80,0%	37,56	31,55	-6,01
85,0%	43,45	36,76	-6,70
90,0%	52,29	45,04	-7,25
95,0%	75,06	63,07	-11,99
99,0%	136,71	126,45	-10,26

A distribuição dos quantis (primeira e segunda colunas da tabela) e a diferença entre os quantis da segunda e da primeira metade da série histórica (última coluna da tabela) podem ser visualizadas por meio dos gráficos a seguir:



A distribuição dos quantis relativos aos períodos úmidos da série de Honório Bicalho é praticamente a mesma dos quantis relativos aos anos completos e, portanto, valem para esses períodos as observações já feitas acima, para os anos completos.

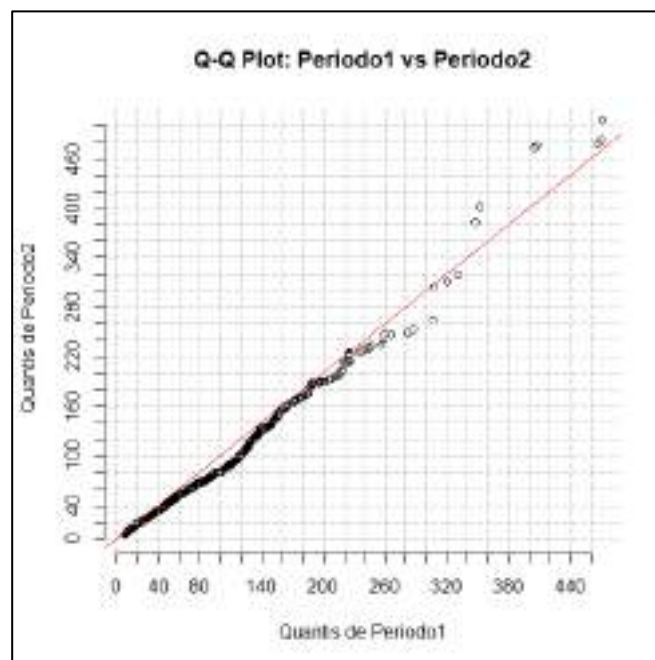


### 6.3.6 Gráficos Q-Q Plot

*Para explicações sobre a análise por gráficos Q-Q Plot, ver a parte referente à Estação Lagoa Grande (MMV).*

#### Períodos de Igual duração

Os dois gráficos a seguir apresentam a comparação dos dados dos dois períodos acima referidos, com igual duração: Período 1: 27/04/1971 a 12/08/1997 e Período 2: 213/08/1997 a 30/11/2023.

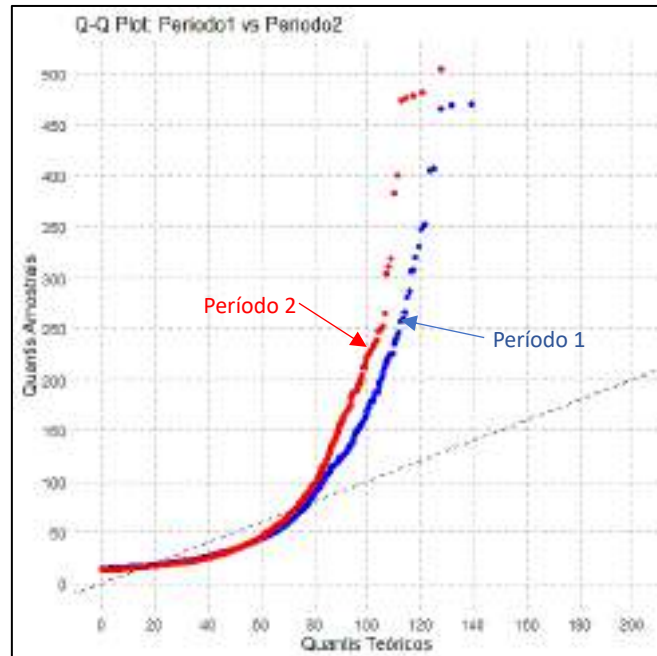


A interpretação do Q-Q Plot é feita comparando-se a disposição dos pontos com a linha de referência ( $y = x$ ):

1. Os pontos se encontram próximos da linha de referência desde zero até aprox. 260 m<sup>3</sup>/s, indicando que nessa faixa os dois conjuntos de dados (Período 1 e Período 2) têm distribuições semelhantes, no caso, a distribuição dos valores de vazões ao longo dos períodos. Quanto mais próximos da linha reta, mais semelhantes são as distribuições, ou seja, mais parecido é o comportamento das vazões dos dois períodos, em termos de intensidade.
2. No entanto, os pontos nessa faixa, embora abaixo da linha de referência, encontram-se sistematicamente abaixo dela. Esse desvio sistemático, indica que o Período 2 apresentou menores vazões que o Período 1 na faixa de zero até aprox. 260 m<sup>3</sup>/s. Essa diferença para menos se amplia na faixa de 260 a 310 m<sup>3</sup>/s. Assim, o Período 2 teve a grande maioria das vazões com valores menores que os do Período 1, indicando uma perda significativa de volumes escoados, como já visto acima.
3. Os valores de Período 2 são maiores do que os de Período 1 somente para a faixa de vazões acima de 340 m<sup>3</sup>/s valores, com destaque para o evento extremo de 715,0 m<sup>3</sup>/s do dia 09/01/2022. Confirma-se, portanto, a constatação já feita, de que nos últimos 26 anos as cheias têm sido mais volumosas que nos 26 anos anteriores, ou seja, que a

intensidade das chuvas tem aumentado, o que implica em aumento dos riscos de enchentes e desastres.

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).



A reta tracejada preta é a linha de referência  $y = x$ , que representa o caso ideal, aquela em que os dados seguiriam perfeitamente a distribuição teórica (normal, neste caso). O eixo X (Quantis Teóricos) representa os quantis esperados da distribuição normal e o eixo Y (Quantis Amostrais) representa os quantis observados nos dados (Período 1 e Período 2).

A interpretação do Q-Q Plot é feita comparando as curvas dos dados (Período 1 e Período 2) com a linha de referência ( $y = x$ ):

1. Em geral os pontos das duas curvas encontram-se distantes da linha de referência, afastando-se bastante dela para os quantis teóricos superiores a  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que indica que a distribuição dos dados se difere bem de uma distribuição normal. Nas faixas de vazões em que se encontra próximos da linha há um melhor ajuste à distribuição normal.
2. As partes iniciais e finais das curvas situam-se acima da linha de referência sendo que o afastamento é muito grande para os quantis teóricos superiores a  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Isso significa que os dados têm caudas da direita bem pesadas (valores extremos – ou cheias – maiores) do que a distribuição normal.
3. As duas curvas estão próximas uma da outra somente até os quantis teóricos superiores a  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que sugere que, entre 0 e  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  o Período 1 e o Período 2 têm distribuições semelhantes. A curva do Período 1 se aproxima da linha de referência mais que a do Período 2 na faixa dos quantis teóricos superiores a  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  (embora ainda esteja bem distante), o que indica que nessa faixa a distribuição dos dados do Período 2 se aproximam um pouco mais da distribuição normal que os dados do Período 1.

Esse desvio da normalidade indica que a análise dos dados deve ser feita por meio de testes estatísticos não paramétricos, como se verá a seguir.

## Conclusões

Realizou-se, utilizando-se gráficos Q-Q Plot para interpretar a distribuição dos dados, uma análise comparativa de dois períodos distintos (Período 1: 27/04/1971 a 12/08/1997 e Período 2: 13/08/1997 a 30/11/2023) em relação às vazões do Rio das Velhas registradas pela Estação Honório Bicalho. As principais conclusões que podem ser tiradas são:

### 1. Semelhança nas distribuições em baixas vazões (0 a 260 m<sup>3</sup>/s):

- Nos dois períodos, as distribuições das vazões são semelhantes na faixa de 0 a 260 m<sup>3</sup>/s, com os pontos próximos à linha de referência ( $y = x$ ) no Q-Q Plot.
- No entanto, há um desvio sistemático abaixo da linha de referência, indicando que o Período 2 teve vazões menores que o Período 1 nessa faixa. Essa diferença se amplia na faixa de 260 a 310 m<sup>3</sup>/s, sugerindo uma redução significativa nos volumes escoados pelo rio no Período 2.

### 2. Aumento de vazões extremas no Período 2:

- Para vazões acima de 340 m<sup>3</sup>/s, o Período 2 apresentou valores maiores que o Período 1, com destaque para um evento extremo de 715,0 m<sup>3</sup>/s.
- Isso indica que, nos últimos 26 anos (Período 2), as cheias foram mais volumosas e intensas do que no Período 1, indicando um aumento na intensidade das chuvas e, consequentemente, maiores riscos de enchentes e desastres.

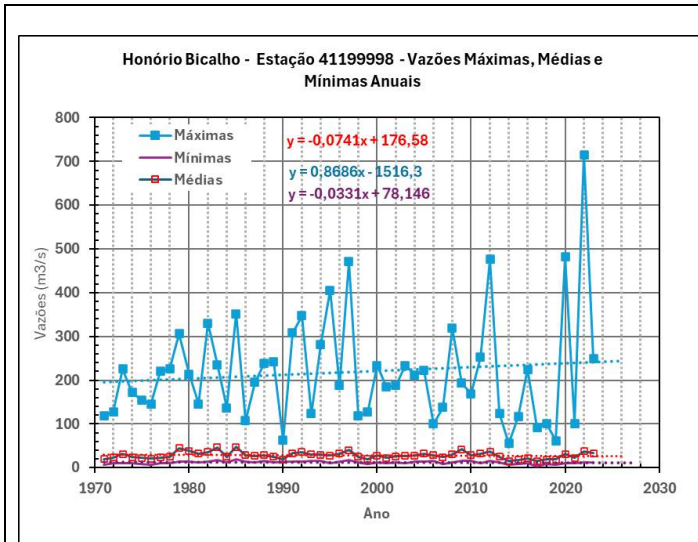
### 3. Desvio da distribuição normal:

- Os dados de ambos os períodos não seguem uma distribuição normal, especialmente para vazões superiores a 80 m<sup>3</sup>/s, onde os pontos se afastam significativamente da linha de referência no Q-Q Plot.
- As caudas da distribuição são mais pesadas à direita, indicando a presença de valores extremos (cheias) maiores do que o esperado em uma distribuição normal.
- Até 80 m<sup>3</sup>/s, as distribuições dos dois períodos são semelhantes.
- Acima de 80 m<sup>3</sup>/s, a distribuição do Período 2 se aproxima um pouco mais da distribuição normal do que a do Período 1, embora ambos os períodos ainda apresentem desvios significativos.

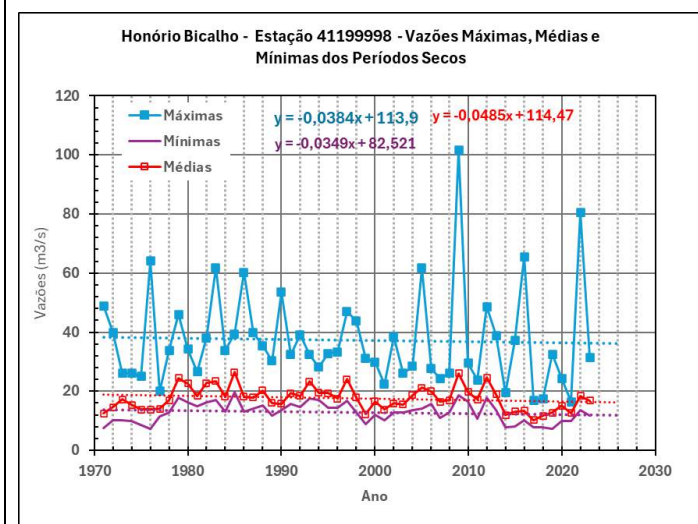
Em resumo, houve uma redução nas vazões médias e baixas no Período 2 em comparação com o Período 1, mas um aumento nas vazões extremas, indicando mudanças no regime hidrológico e um possível aumento na intensidade das chuvas e nos riscos associados a eventos extremos. Além disso, a distribuição dos dados não segue um padrão normal, o que requer métodos estatísticos adequados para sua análise.

## 6.3.7 Vazões Anuais Máximas, Médias e Mínimas

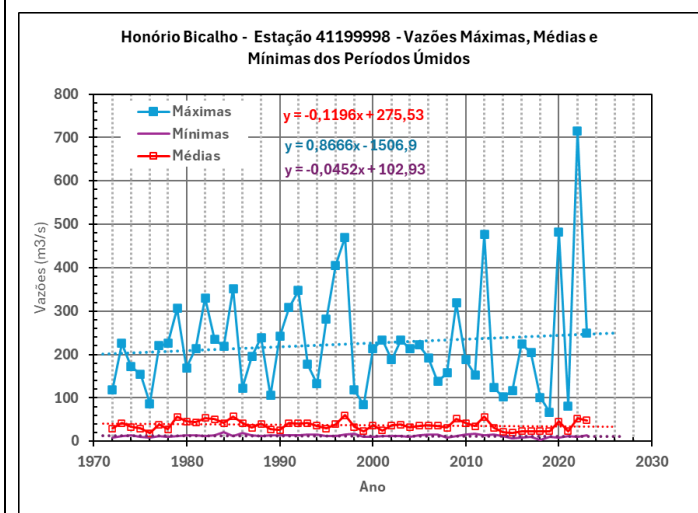
Os itens anteriores abordaram a análise preliminar das médias (aritmética e harmônica) – tanto as anuais quanto as aproximadamente decenais – das vazões do Rio das Velhas ao longo do período total (53 anos) da série histórica da estação convencional e ao longo do período das séries das estações telemétricas (2017 a set./2024). A seguir são apresentados os gráficos referentes ao comportamento das vazões anuais máximas, e mínimas absolutas, comparando-as com as médias aritméticas das vazões anuais.



Os coeficientes das retas de regressão, bem como o aspecto visual delas, mostram que as vazões máximas absolutas de cada ano aumentaram ao longo do período histórico da série, o que aponta para maiores riscos de enchentes catastróficas. Por outro lado, as vazões mínimas absolutas de cada ano e as médias anuais diminuíram no mesmo período, indicando riscos maiores para o abastecimento hídrico da RMBH.

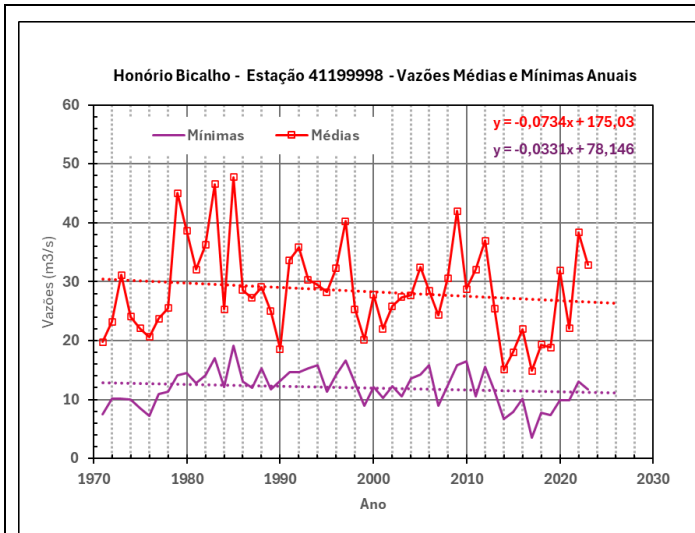


Os coeficientes das retas e o aspecto visual delas mostram que as vazões máximas e as mínimas absolutas dos períodos secos (maio a setembro), bem como as médias desse período diminuíram ao longo do histórico da série, indicando riscos crescentes para o abastecimento hídrico da RMBH.

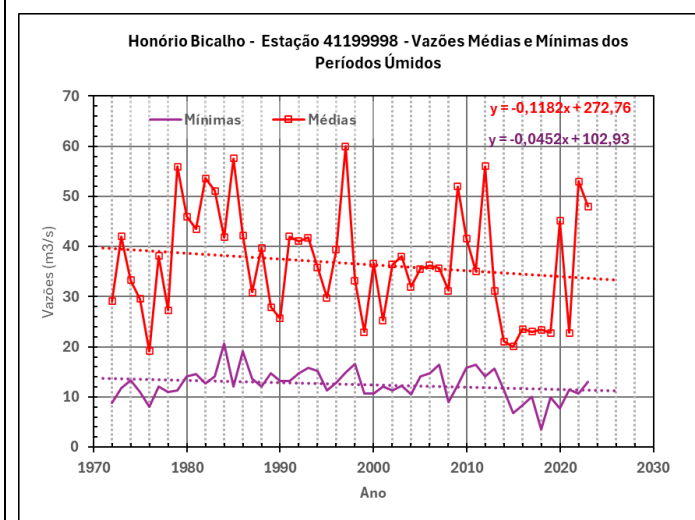


Os coeficientes das retas e o aspecto visual delas mostram que as vazões máximas absolutas dos períodos úmidos (outubro a abril) aumentaram ao longo do período histórico da série, o que aponta para maiores riscos de enchentes catastróficas. Por outro lado, as vazões mínimas absolutas de cada ano e as médias anuais diminuíram no mesmo período, indicando riscos maiores para o abastecimento hídrico da RMBH.

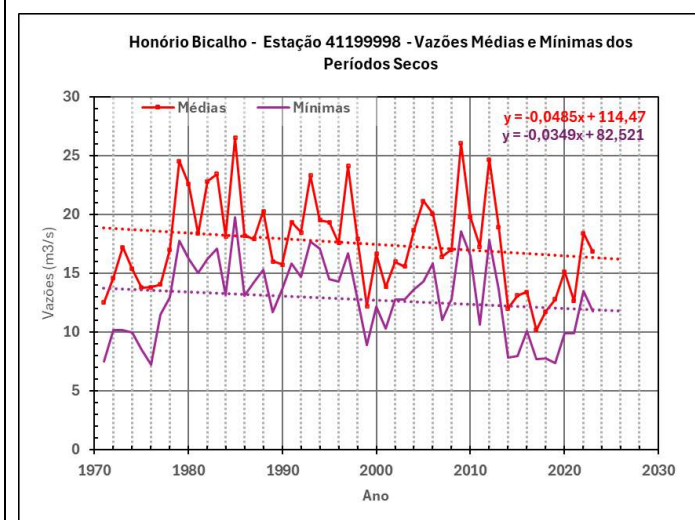
Para melhor visualização, os gráficos acima são reproduzidos a seguir, porém sem as curvas das vazões máximas, o que permite aumentar a escala e, assim, evidenciar o comportamento das vazões mínimas e das médias.



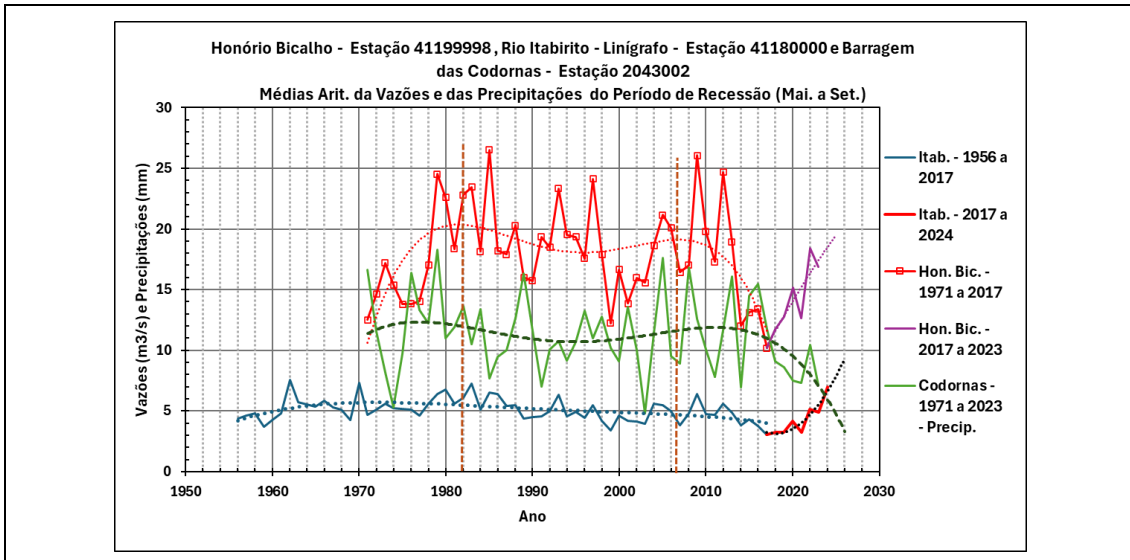
Os coeficientes das retas de regressão, bem como o aspecto visual delas, mostram que as vazões mínimas absolutas de cada ano e as médias anuais diminuíram ao longo do período histórico da série,, indicando riscos maiores para o abastecimento hídrico da RMBH.



Os coeficientes das retas e o aspecto visual delas mostram que as vazões mínimas absolutas dos períodos úmidos (outubro a abril) e as médias e as médias desse período diminuíram ao longo do histórico da série, indicando riscos maiores para o abastecimento hídrico da RMBH.



Os coeficientes das retas e o aspecto visual delas mostram que as vazões mínimas absolutas dos períodos secos (maio a setembro) e as médias e as médias desse período diminuíram ao longo do histórico da série, indicando riscos maiores para o abastecimento hídrico da RMBH.



O gráfico acima inclui os valores das médias aritméticas das **vazões** dos períodos secos nas estações Honório Bicalho e Itabirito Linígrafo, bem como os valores das médias aritméticas das **precipitações** dos períodos secos na Estação Lagoa Grande (MMV). Pode-se ver que já uma forte redução das precipitações a partir de 2017, situação essa que ocorreu em toda a bacia do Alto Rio das Velhas, da qual a Estação Lagoa Grande (MMV) é bastante representativa. Apesar dessa redução das precipitações as vazões apresentaram acentuado crescimento nos períodos secos a partir de 2017, em comparação com a tendência dos anos anteriores, o que pode ser considerado um **comportamento anômalo**, possivelmente devido ao aporte de vazões provenientes de bombeamento de águas de cavas de mineração para rebaixamento do nível do lençol freático<sup>6</sup>. Esse tema é tratado nesse relatório de forma detalhada no item referente à Estação Itabirito Linígrafo.

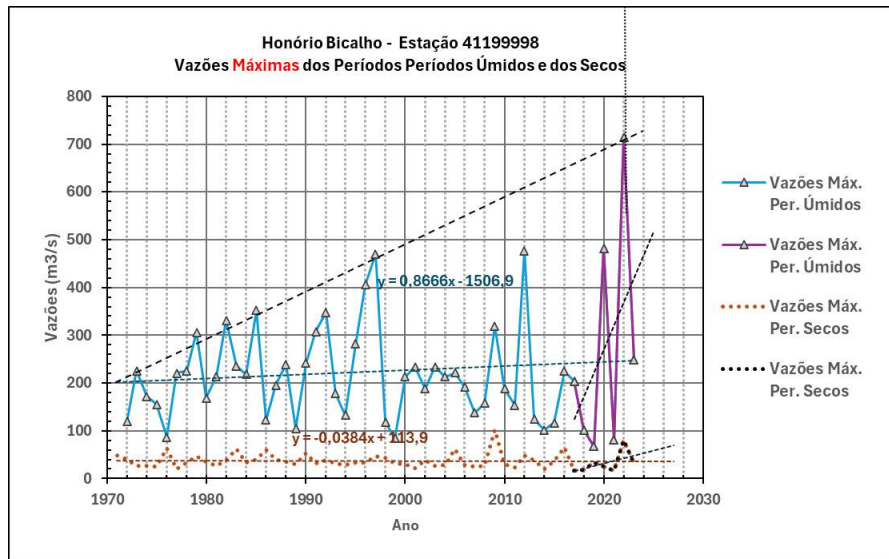
O aumento do Rio Itabirito, registrado na Estação Itabirito Linígrafo teve influência direta nas vazões medidas em Rio Acima, Honório Bicalho e Raposos a partir de 2017. Sem essa vazão anômala do Rio Itabirito a situação a jusante nos períodos secos seria bem mais grave do que foi, **com possibilidade real de ter sido necessária a declaração de situação de escassez hídrica** por parte do IGAM e consequente **necessidade de racionamento no abastecimento da RMBH**. A se confirmar a hipótese de ser a vazão adicional proveniente de rebaixamento de níveis de aquíferos, que diminui, ou mesmo leva a zero a vazão de nascentes no período de estiagem, pode-se estar a reduzir problemas do presente ao custo do agravamento dos futuros.

Os gráficos já apresentados no presente documento mostram que, qualquer que seja a abordagem usada, constata-se que as vazões médias e as mínimas do Rio das Velhas, medidas imediatamente a montante da ETA Bela Fama, diminuíram ao longo dos anos e que as vazões máximas aumentaram, o que evidencia um crescimento dos riscos de cheias catastróficas, por um lado, e de falta de água para o abastecimento da RMBH, por outro.

No gráfico a seguir inclui as curvas das vazões máximas dos períodos secos e dos úmidos. Nota-se a tendência geral de crescimento das vazões máximas (coef. positivo da variável da reta de regressão) e tendência geral de redução das vazões mínimas (coef. negativo da variável da reta de regressão). Pode-se observar ainda, apesar das oscilações, uma forte tendência de aumento das vazões máximas de ambos os períodos a partir de 2017. A reta tracejada assinala o aumento preocupante das vazões máximas desde o início da série, principalmente tendo-se em conta que a vazão no dia 9 de janeiro de 2002 foi de 715,0 m<sup>3</sup>/s. **A ausência de dados da Estação Honório**

<sup>6</sup> Para explicações sobre essa técnica ver: <https://igeologico.com.br/a-pratica-de-rebaixamento-de-lencol-freatico-na-mineracao/> e <https://waterservicestech.com/pt/a-pratica-de-rebaixamento-de-lencol-freatico-na-mineracao/>

**Bicalho a partir de dezembro de 2023, devido à desativação dessa Estação, impedirá a continuação do estudo das tendências até que ela seja reativada.**



**Vazões Máximas dos períodos úmidos e dos secos**

### Conclusões

- Aumento das vazões máximas absolutas anuais e durante os períodos úmidos (outubro a abril):** Gráficos e dados confirmam a tendência de aumento na intensidade das cheias e de redução das baixas vazões, com um possível subregistro de vazões máximas que, se corrigido, acentuaria ainda mais essa tendência. Isso indica um aumento do risco de enchentes catastróficas, especialmente nos meses mais chuvosos.
- Diminuição das vazões mínimas absolutas anuais e médias anuais:** Essa redução, observada tanto nos períodos secos (maio a setembro) quanto nos úmidos, aponta para um risco crescente de escassez hídrica, comprometendo o abastecimento de água na RMBH.
- Tendência de redução das vazões mínimas e médias durante os períodos secos e úmidos:** A diminuição consistente ao longo do tempo reforça a vulnerabilidade do sistema hídrico da região, com impactos potencialmente graves para a disponibilidade de água.
- A partir de 2017, observou-se uma forte redução das precipitações na bacia do Alto Rio das Velhas, mas, paradoxalmente, as vazões dos rios aumentaram nos períodos secos. Esse comportamento anômalo é possivelmente resultado do bombeamento de águas de cavas de mineração para rebaixamento do lençol freático. Esse aporte hídrico influenciou diretamente as vazões a jusante, evitando uma crise de escassez hídrica na RMBH. No entanto, se confirmado, esse processo pode comprometer a sustentabilidade hídrica futura, reduzindo ou eliminando vazões de nascentes durante estiagens.

Em resumo, os dados sugerem um cenário de maior risco de enchentes durante os períodos úmidos e de escassez hídrica ao longo de todo o ano, exigindo atenção e planejamento para mitigar esses desafios.

### 6.3.8 Índices de Anomalias

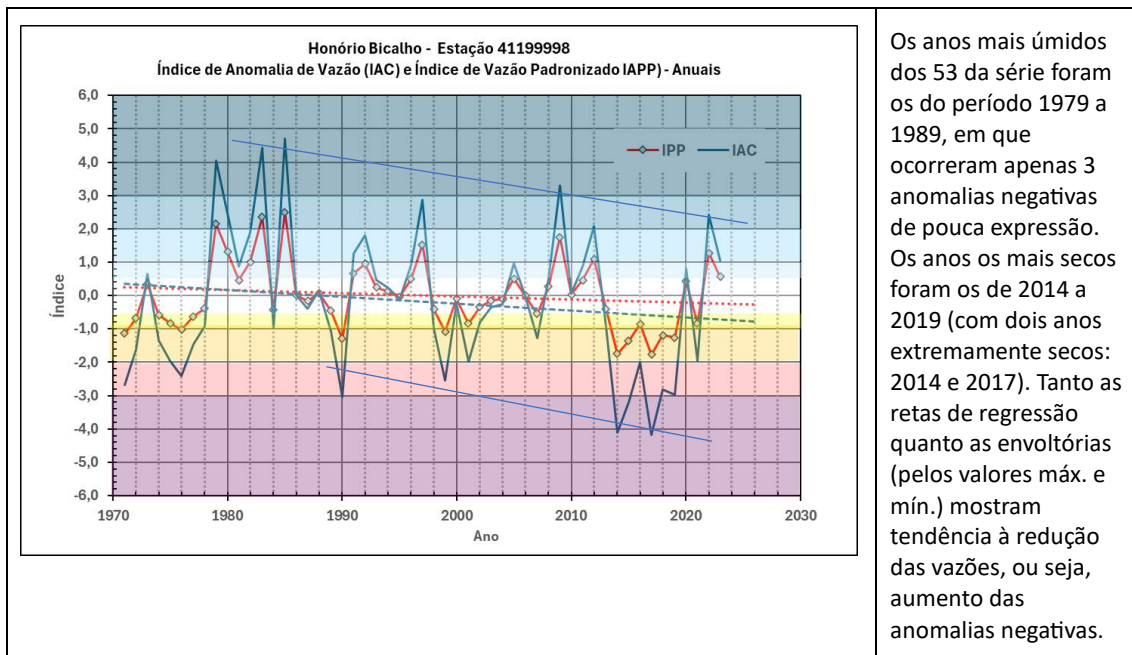
Para explicações sobre os índices de anomalias, ver o item referente à Estação Lagoa Grande (MMV). A mesma metodologia aplicada às precipitações vale também para o estudo das anomalias das vazões.

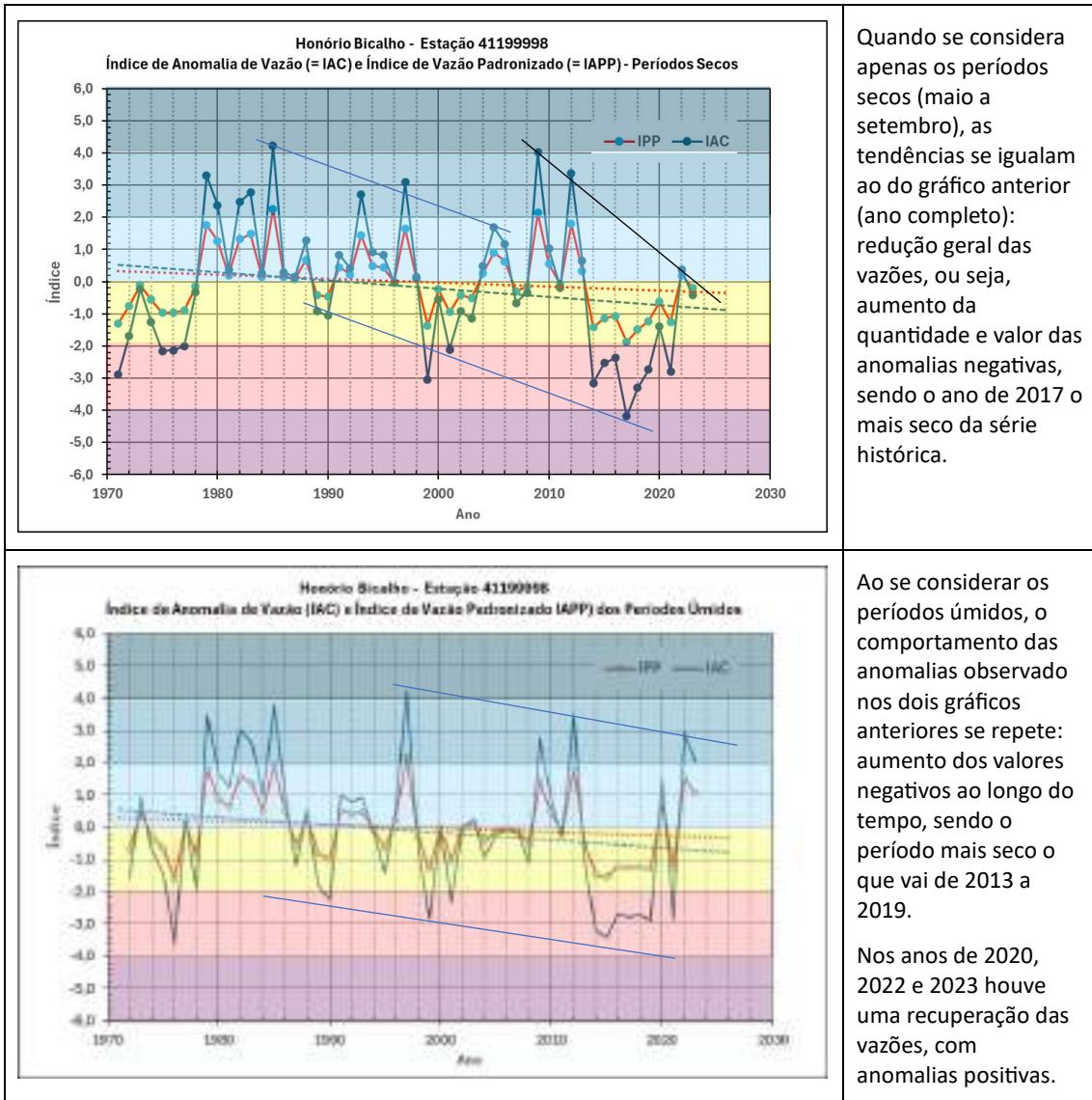
#### 6.3.8.1 Índices de Anomalia Aplicados às Vazões – Estação Honório Bicalho

Os gráficos a seguir apresentam os resultados dos cálculos dos índices IAC E IAPP aplicados aos valores das médias anuais das vazões registradas pela Estação de Honório Bicalho 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).

Como já assinalado com relação aos gráficos anteriores, após um período de nove anos com vazões bem baixas, os anos de 2020, 2022 e 2023 apresentaram recuperação das vazões, principalmente nos períodos úmidos o que talvez seja o início de um novo ciclo de vazões mais altas, similar ao que antecedeu o ano de 2013. Os dados de 2024, quando disponíveis, serão importantes para essa avaliação. O ano de 2021 apresentou vazões tão baixas quanto as do período de 2013 a 2019.





Quando se considera apenas os períodos secos (maio a setembro), as tendências se igualam ao do gráfico anterior (ano completo): redução geral das vazões, ou seja, aumento da quantidade e valor das anomalias negativas, sendo o ano de 2017 o mais seco da série histórica.

Ao se considerar os períodos úmidos, o comportamento das anomalias observado nos dois gráficos anteriores se repete: aumento dos valores negativos ao longo do tempo, sendo o período mais seco o que vai de 2013 a 2019. Nos anos de 2020, 2022 e 2023 houve uma recuperação das vazões, com anomalias positivas.

Pode-se observar nos gráficos acima que, em geral, as anomalias se agrupam em períodos que duram alguns anos, com uma sucessão de "anos de vacas gordas e de vacas magras", como na história bíblica de José e o sonho do Faraó. Tem-se, dessa forma, considerando o gráfico com os valores referentes aos anos completos, os seguintes períodos:

Período	Duração	Anomalias
? – 1978	-	Negativas
1979 a 1986	8 anos	Positivas
1987 a 1990	4 anos	Negativas
1991 a 1997	7 anos	Positivas
1998 a 2007	10 anos	Negativas, com uma positiva menor em 2005
2008 a 2012	5 anos	Positivas
2013 a 2021	9 anos	Negativas, com uma positiva menor em 2020
2022 a ?	-	Positivas

Tem-se, portanto, no total, 24 anos com anomalias positivas e 29 anos com negativas. A soma dos valores dos índices positivos perfaz 40,78 e a dos negativos, 46,60. Esses números mostram uma predominância de anos de “vacas magras”. Em uma primeira avaliação, com base em apenas nos 53 anos da série, pode-se cogitar que a duração dos períodos de anomalias positivas está se reduzindo (8, 7 e 5 anos) e a dos períodos de anomalias negativas aumentando (4, 10 e 9 anos). Adicionalmente, as anomalias negativas reduzem o valor da média da série como um todo, o que favorece a avaliação de determinado ano como de anomalia positiva, mas, mesmo assim, as anomalias positivas estão se reduzindo.

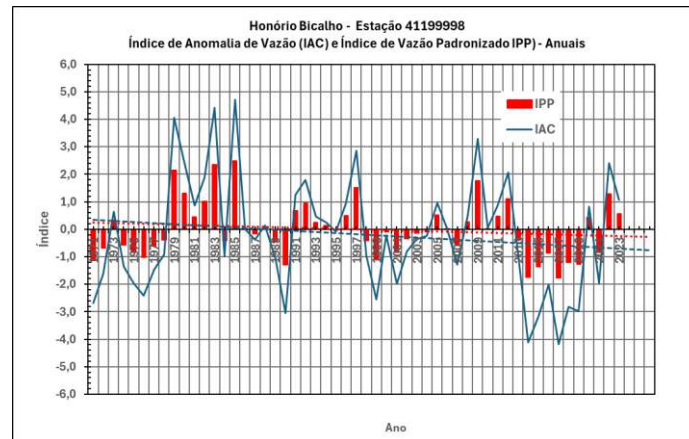
Os períodos mostrados na tabela acima correspondem aos que foram esboçados nos gráficos do item 5 do presente documento, referente à análise dos dados pluviométricos.



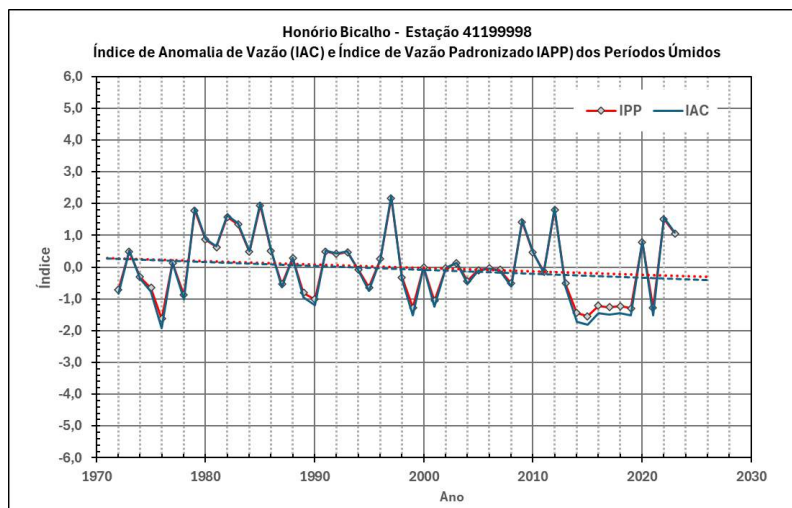
**“O Rio das Velhas entrou em estado de alerta na região de Honório Bicalho” -  
05/08/2021**

**Foto:** <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/08/05/copasa-confirma-situacao-critica-do-rio-das-velhas-na-grande-bh-e-reduz-captacao.ghtml>

Uma observação: optamos por apresentar os gráficos das anomalias usando o tipo dispersão, como os anteriores desse documento, para facilitar a visualização das variações e tendências, assim como das retas de regressão. No entanto, é comum que os gráficos de anomalia sejam apresentados na forma de barras, como o exemplo a seguir, no qual mesclamos as duas formas de representação (barras e linha), tendo removido as faixas coloridas.



Para evidenciar a similaridade dos resultados obtidos com os dois índices alteramos o fator de escala do índice IAC, passando-o de 3 para 1,6. Apesar dos índices terem fórmulas de cálculo diferentes, os resultados são praticamente os mesmos, o que é mostrado pela superposição das linhas vermelha (IAPP) e azul (IAC) no gráfico a seguir:



Com o objetivo de evidenciar visualmente, ainda mais, o comportamento das anomalias, 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.