

[illegible]



Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoara

Av. Alberto Lamego, nº 2.000, Prédio P5, TÉRREO
Parque Califórnia - Campos dos Goytacazes/RJ CEP: 28.013-602
(22) 2725 9023 - cbhbaixops@agevap.org.br



EQUIPE

SALA DE MONITORAMENTO DO CBH-BPSI

Antônio Ednaldo Souza Oliveira (AE)

Engenheiro Florestal e mestre em Desenvolvimento Territorial e Políticas Públicas
 Especialista em Recursos Hídrico da AGEVAP

Dhiego da Silva Sales (DS)

Geógrafo e mestre em Engenharia Ambiental
 Estagiário de Engenharia Ambiental da AGEVAP

João Victor França de Abreu Terra (JV)

Estagiário de Engenharia Ambiental da AGEVAP

COMITÊ DO BAIXO PARAÍBA DO SUL E ITABAPOANA (CBH-BPSI)

João Gomes de Siqueira (JG)

Diretor Secretário

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

José Carlos Mendonça (JM)

Doutor em Produção Vegetal, professor da UENF e consultor do CBH-BPSI

INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE

Jader Lugon Junior (JL)

Doutor em Modelagem Computacional, professor do IFF, coordenador do doutorado AMBHIDRO e colaborador *ad-hoc* do CBH-BPSI



O PROJETO SALA DE MONITORAMENTO

Foi criado no Comitê, através da resolução 027/2018 de 26 de junho de 2018, o Grupo Técnico para definir o Manejo de Comportas da Baixada Campista – GTMC. Ao longo do tempo viu-se que havia a necessidade de informações estruturadas sobre a Região Hidrográfica Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana, mas não só da baixada. Assim desenvolveu-se o anseio do Comitê, a realizar o projeto Sala de Monitoramento, que, a princípio, seria um espaço virtual para divulgação das informações coletadas pelo Comitê para toda a sociedade

A Sala de Monitoramento vem sendo estruturada pelo Comitê desde 2016, com os recursos da cobrança pelo uso da água. No entanto, sua implementação se dá no ano de 2017, onde a sala começa atuar na obtenção, sistematização e divulgação de informações sobre a bacia hidrográfica, permitindo uma visão geral da situação atual e futura do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana.

Portanto, é correto afirmar que a Sala de Monitoramento ou Situação é um espaço de informação referentes aos eventos hídricos da região do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana. São atividades de acompanhamento, análise, avaliação, planejamento e alerta para diminuir os impactos causados por esses eventos, disponibilizando aos três segmentos da Região Hidrográfica IX (Poder Público, Usuários e Sociedade Civil) os dados e informações relevantes locais e regionais de nossa bacia. O CBH-BPSI criou essa importante ferramenta de monitoramento e análise de dados gerados na bacia para fins de subsidiar ações de gestão dos seus recursos hídricos.

Na Sala de Monitoramento sempre deverá haver uma equipe técnica, para caracterizar as situações de acordo com os dados ambientais e principalmente hidrológicos dos recursos hídricos da região em observação. As informações geradas na Sala de Monitoramento são apresentadas em diversos formatos para facilitação da leitura e do entendimento: tabelas, gráficos, mapas, documentos técnicos e relatórios estratégicos para auxiliar o processo de tomada de decisão.

APRESENTAÇÃO

O presente documento é um estudo complementar a outros realizados na Sala de Monitoramento, com destaque para o inaugurado no Relatório Técnico 004/2003, intitulado **IMPACTOS DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO NORTE E NOROESTE FLUMINENSE**¹, elaborado pela equipe do Projeto Sala de Monitoramento do Comitê de Bacias Hidrográficas do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana (CBH-BPSI). Este trabalho prévio é fruto da parceria entre o CBH-BPSI e a Regional Norte da Defesa Civil – REDEC Norte do estado do Rio de Janeiro, cujo objetivo foi de desenvolver uma avaliação socioeconômica dos impactos dos ventos eventos de extremos climáticos na região do Baixo Paraíba do Sul, a partir de dados adquiridos do Sistema Nacional da Defesa Civil, onde os municípios registram os danos humanos, danos materiais, prejuízos públicos e privados a que foram submetidos em situações de desastres.

Neste contexto este relatório, tem o objetivo de realizar estudos pertinentes a análise de séries históricas de dados hidrológicos com foco nas vazões mínimas, para avaliação da disponibilidade hídrica no Baixo Paraíba do Sul.

A motivação do estudo tem relação com o compromisso do Comitê de Bacias Hidrográficas do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana (CBH-BPSI), por intermédio do Projeto Sala de Monitoramento de analisar a correlação dos afluentes com o comportamento de redução na vazão mínima observada na estação de monitoramento de Campos dos Goytacazes, por consequência, nos impactos socioeconômicos dessa mudança.

¹ Disponível em: <https://salademonitoramento.cbhbaixoparaiba.org.br/banco-de-dados>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Unidades de planejamento da bacia do Rio Paraíba do Sul; localização das bacias dos rios Pomba, Muriaé e Dois Rios; e localização das estações fluviométricas utilizadas como ponto de controle.....	11
Figura 2	Curvas de permanência das estações com vazão diária entre 2012 e 2022.....	17
Figura 3	Séries de vazões médias mensais, entre 2012 e 2022, para todas as estações da ANA, com preenchimento de série de vazão média mensal na estação de Aperibé e Dois Rios.....	20
Figura 4	Distribuição de frequência das vazões médias mensais para cada ano e estação, em função da classe de criticidade.....	23
Figura 5	Ajuste da distribuição teórica de Weibull em relação a distribuição empírica para a estação de Campos – Ponte Municipal.....	34
Figura 6	Curva da distribuição teórica de Weibull para a estação de Campos – Ponte Municipal.....	34
Figura 7	Ajuste da distribuição teórica de Weibull em relação a distribuição empírica para a estação de Dois Rios.....	35
Figura 8	Curva da distribuição teórica de Weibull para a estação de Dois Rios.....	35
Figura 9	Ajuste da distribuição teórica de Weibull em relação a distribuição empírica para a estação de Cardoso Moreira.....	36
Figura 10	Curva da distribuição teórica de Weibull para a estação de Cardoso Moreira.....	36
Figura 11	Ajuste da distribuição teórica de Weibull em relação a distribuição empírica para a estação de Ilha dos Pombos.....	37
Figura 12	Curva da distribuição teórica de Weibull para a estação de Ilha dos Pombos.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estações fluviométricas da ANA utilizadas como ponto de controle em cada bacia.....	11
Tabela 2	Vazão residual calculada pela COHIDRO para as estações da ANA de interesse	12
Tabela 3	Critério de classificação das vazões médias mensais em classes de criticidade..	13
Tabela 4	Vazão Q_{95} calculada para o período de 2012 e 2022 nas estações de interesse...	17
Tabela 5	Teste de aderência e avaliação de desempenho para as distribuições Weibull e Gumbel, e calcula da vazão $Q_{7,10}$	18
Tabela 6	Parâmetros utilizados para composição do modelo de regionalização.....	19
Tabela 7	Vazões mínimas regionalizadas para a estação de Aperibé.....	19
Tabela 8	Matriz de correlação entre as estações de controle, com dados mensais médios completos entre mar/2016 e dez/2022.....	20
Tabela 9	Período preenchido nas estações de Aperibé e Dois Rios e equação de preenchimento.....	20
Tabela 10	Distribuição de frequência das vazões médias mensais para cada ano e estação, em função da classe de criticidade.....	22
Tabela 11	Comparativo da Q_{95} do plano de bacia e do período de 2012 a 2022.....	25
Tabela 12	Comparativo da vazão de outorga do plano de bacia e do período de 2012 a 2022.....	26
Tabela 13	Variação da capacidade de outorga calculada pela $Q_{7,10}$ e Q_{95} para o período de 2012 a 2022.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS

AGEVAP	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento
BRPS	Bacia do Rio Paraíba do Sul
CBH-BPSI	Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo paraíba do Sul e Itabapoana
CEIVAP	Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RH-IX	Região Hidrográfica IX
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> (raiz do erro médio quadrático)
UHE	Usina Hidrelétrica

SUMÁRIO

EQUIPE.....	1
O PROJETO SALADE MONITORAMENTO.....	2
APRESENTAÇÃO.....	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE TABELAS.....	5
LISTA DE ABREVIATURAS.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. METODOLOGIA.....	10
2.1 ÁREA DE ESTUDO E PONTOS DE CONTROLE.....	10
2.2 VAZÃO RESIDUAL PARA O NORTE E NOROESTE FLUMINENSE.....	11
2.3 ESTATÍSTICAS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	12
2.3.1 Análise de frequência das vazões médias mensais.....	12
2.3.2 Cálculo das vazões mínimas Q_{95} por meio da curva de permanência.....	13
2.3.3 Cálculo das vazões mínimas $Q_{7,10}$ por meio de distribuições teóricas.....	14
2.3.4 Regionalização de vazões mínimas.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
3.1 CÁLCULO DAS VAZÕES MÍNIMAS Q_{95} e $Q_{7,10}$	16
3.1.1 Regionalização das vazões mínimas Q_{95} e $Q_{7,10}$.....	18
3.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO NORTE E NOROESTE FLUMINENSE.....	19
3.2.1 Análise da frequência das vazões médias mensais.....	19
3.2.2 Avaliação comparativa da Q_{95}.....	25
3.2.3 Análise comparativa a partir dos critérios de outorga do INEA e IGAM....	26
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
5. REFERÊNCIAS.....	31
6. ANEXOS.....	34
6.1 DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE WEIBULL PARA A ESTAÇÃO DE CAMPOS – PONTE MUNICIPAL.....	34
6.2 DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE WEIBULL PARA A ESTAÇÃO DE DOIS RIOS.....	35
6.3 DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE WEIBULL PARA A ESTAÇÃO DE CARDOSO MOREIRA.....	36
6.4 DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE WEIBULL PARA A ESTAÇÃO DE ILHA DOS POMBOS.....	37

1. INTRODUÇÃO

O cenário atual de pressão sob os recursos hídricos, tem motivado uma série de debates em diferentes escalas de abrangência, cujo foco principal, visa entender a água como recursos natural finito e indispensável a vida, além de apresentá-la como motor do desenvolvimento.

Nesse contexto, a nível global, na conferência das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável no Rio de Janeiro, em 2012, foram definidos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), dos quais o objetivo 6, trata especificamente da temática da água limpa e saneamento. A ODS 6, neste sentido, versa sobre a garantia da disponibilidade e manejo sustentável da água e prevê a universalização do saneamento, o que implica em observar a água tanto em seu viés quantitativo quanto no qualitativo (ONU, 2018).

Na esfera nacional, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), constitui marco importante no processo de gestão das águas no território brasileiro. Dentre os principais fundamentos da PNRH, expressa na Lei nº 9.433/97, pode-se destacar estabelecimento da bacia hidrográfica como unidade territorial para a gestão das águas; o entendimento que a água é um recurso natural limitado e dotado de valor econômico e que a gestão das águas deve ser descentralizada, contando com a participação do Poder Público, usuários e comunidades, para garantir o uso múltiplo das águas (BRASIL, 1997). Uso múltiplo significa entender a água tanto em sua função mais elementar, ou seja, abastecimento público e dessedentação animal, bem como, em sua dimensão estratégica ao desenvolvimento econômico, em suas diferentes formas de uso em processos industriais.

Nesta perspectiva, conhecer o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é etapa fundamental a ser considerado no gerenciamento dos recursos hídricos, sendo, neste sentido, imprescindível a resposta desta a extremos de precipitação (mínimas e máximas), que implicará em extremos de vazão (mínimas e máximas).

As vazões máximas são geralmente mais observadas em função da magnitude dos danos associados. No entanto, conforme Granemann, Mine e Kaviski (2018), o estudo de vazões mínimas vem se tornando cada vez mais frequente e importante, em função de sua relação com a conservação de ecossistema, da necessidade de se garantir disponibilidade hídrica em processos de outorga de águas superficiais, do aproveitamento hidrelétrico para geração de energia e devido à escassez hídrica decorrente das mudanças climáticas.

No Brasil, as vazões mínimas mais utilizadas são as de permanência de 90 e 95% ou as vazões médias mínimas com duração de 7 dias e período de retorno de 10 anos, conhecidas como $Q_{7,10}$. (GASQUES *et al.*, 2018), sendo a opção de uso, definidas pelo órgão ambiental

estadual. No estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), na resolução INEA nº 171 de 29 de março de 2019, define como parâmetro de vazão mínima de outorga a vazão Q_{95} e estabelece que a vazão máxima outorgável é de 40% desta (RIO DE JANEIRO, 2019). No estado de Minas Gerais, por sua vez, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), define como parâmetro a vazão mínima de outorga a vazão $Q_{7,10}$ e estabelece que a vazão máxima outorgável é de 50% desta (MINAS GERAIS, 2019).

A bacia do rio Paraíba do Sul, foco do presente estudo, perpassa por 3 estados da federação e está totalmente inserida na região sudeste, que possui a maior concentração de pessoas e atividade industrial no país. É uma bacia fortemente antropizada e palco de diversas transposições, além de possuir um grande conjunto de barramentos para aproveitamento hidroelétrico (VASCONCELOS, FORMIGA-JOHNSSON e RIBEIRO, 2019).

Conforme estudo do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), a bacia experimentou uma grave crise hídrica entre 2014 e 2015, sendo a pior dos últimos 85 anos, o que afetou de forma significativa a sua disponibilidade hídrica, a geração de energia, além de comprometer a captação de alguns municípios para abastecimento humano, como o caso de Barra Mansa, Barra do Piraí, Itaocara, Paraíba do Sul, São Fidélis, Vassouras, Sapucaia e Três Rios. Na foz do rio Paraíba do Sul o problema foi ainda mais grave, uma vez que a diminuição das vazões na foz intensificou o processo de intrusão da cunha salina, que ao alcançar o ponto de captação do município levou a interrupção do fornecimento de água potável (RIO DE JANEIRO, 2023; VASCONCELOS, FORMIGA-JOHNSSON e RIBEIRO, 2019).

Nesta perspectiva o presente trabalho, realizou o estudo da disponibilidade hídrica na região Norte e Noroeste Fluminense, por meio de análise de séries históricas da calha principal do rio Paraíba do Sul e das principais bacias contribuintes (Pomba, Muriaé e Dois Rios). Considerando a crise hídrica de 2014-2015 e a vazão residual do plano de bacia estabelecida na publicação da COHIDRO (2014) pela vazão Q_{95} , que utilizou os dados até 2011, o recorte temporal aqui definido foi de 11 anos, estabelecidos entre 2012 e 2022, cuja finalidade é avaliação do comportamento hidrológico antes, durante e depois da crise hídrica, bem como, destacar o período após a publicação do plano de bacia. Dessa forma o estudo foi dividido em: (i) Análise de frequência de vazões médias mensais em classes de criticidade; (ii) Análise comparativa da Q_{95} , calculada para o período de interesse e a calculada pela COHIDRO (2014) para o estudo diagnóstico do Plano de Bacia (série histórica até 2011); e (iii) avaliação da disponibilidade segundo critérios de outorga do INEA (40% da Q_{95}) e IGAM (50% da $Q_{7,10}$).

2. METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO E PONTOS DE CONTROLE

A bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS) está inserida no sudeste brasileiro e ocupa uma área de 62.074 km², dos quais 14.510 km² está em São Paulo, 26.851 km² no Rio de Janeiro e 20.713 km² em Minas Gerais. Abrange 184 municípios, sendo 88 em Minas Gerais, 57 no Estado do Rio e 39 no estado de São Paulo (CEIVAP, 2023).

Para fins de gestão, a BRPS foi dividida em 8 unidades de planejamentos pelo Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), que não segue necessariamente a área de contribuição das sub-bacias que a compõe, sendo neste sentido, possível que uma sub-bacia esteja em duas unidades de planejamento diferentes.

O foco do presente trabalho é o Norte e Noroeste Fluminense, isto é, a região do Baixo Paraíba do Sul, no que concerne o recorte estadual, inclui a parte Fluminense da Bacia do rio Itabapoana, sendo então, denominada de Região Hidrográfica IX (RH-IX) e está sob gestão do Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana (CBH-BPSI).

Uma vez que a RH-IX é constituída pelo Baixo Curso do Paraíba do Sul, e este tem influência de toda região a montante, este trabalho definiu as sub-bacias dos rios Pomba, Muriaé e Dois Rios como sendo as principais bacias afluentes para o baixo curso. Para cada uma dessas sub-bacias foi definida uma estação fluviométrica da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), como ponto de controle para avaliação do comportamento hidrológico destas.

A estação fluviométrica da Usina Hidrelétrica (UHE) Ilha dos Pombos foi utilizada como ponto de controle para a representação da calha principal da BRPS, e, por consequência, toda a região a montante, uma vez que: (i) não há nenhum afluente significativo para a calha principal do rio Paraíba do Sul em seu Baixo Curso (além do Pomba, Muriaé e Dois Rios), a jusante de Ilha dos Pombos; (ii) a UHE possui dados históricos disponíveis para o período de interesse; e, (iii) o comportamento da hidrógrafa da referida estação é semelhante aos demais pontos de controle (conforme item 3.2). A disposição das unidades de planejamento da BRPS; a localização das bacias do Pomba, Muriaé e Dois Rios; bem como, as estações fluviométricas utilizadas como ponto de controle, podem ser observadas na Figura 1 e Tabela 1.

Tabela 1 – Estações fluviométricas da ANA utilizadas como ponto de controle em cada bacia.

Cód. ANA	Estação	Bacia	Município	Latitude	Longitude	Área Dren. (km ²)
58792100	APERIBÉ	POMBA	APERIBÉ	-21,621	-42,100	8530
58874000	DOIS RIOS	DOIS RIOS	SÃO FIDÉLIS	-21,644	-41,859	3120
58653500	UHE ILHA DOS POMBOS JUSANTE	CALHA PRINCIPAL DO PARAÍBA DO SUL	CARMO	-21,835	-42,582	34400
58974000	CAMPOS - PONTE MUNICIPAL	PARAÍBA DO SUL	CAMPOS DOS GOYTACAZES	-21,751	-41,324	55700
58960000	CARDOSO MOREIRA	MURIAÉ	CARDOSO MOREIRA	-21,492	-41,614	7210

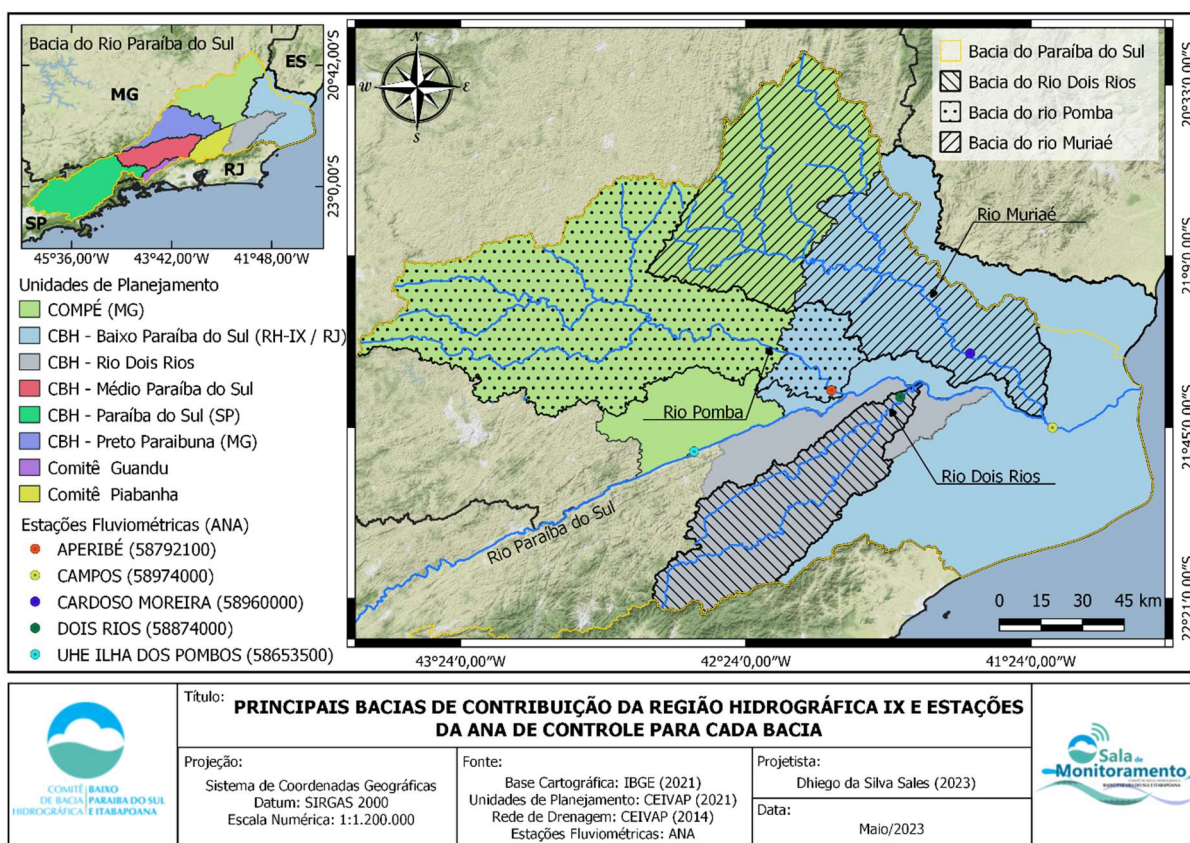


Figura 1 – Unidades de planejamento da bacia do Rio Paraíba do Sul; localização das bacias dos rios Pomba, Muriaé e Dois Rios; e localização das estações fluviométricas utilizadas como ponto de controle

2.2 VAZÃO RESIDUAL PARA O NORTE E NOROESTE FLUMINENSE

A vazão ecológica, também conhecidas como: residual, remanescente ou ambiental, é entendida como a vazão mínima necessária para garantir a manutenção de ecossistemas aquáticos. Conforme Longhi e Formiga (2011), existem mais de 200 metodologias para a avaliação da vazão ecológica, sendo estas classificadas em quatro tipos: (i) hidrológica: que

utiliza de séries temporais de vazão para a sua determinação. Se enquadram nesta modalidade: os métodos de vazão $Q_{7,10}$, da curva de permanência e o método de Tennant (que estabelece um percentual da vazão média de longo prazo - Q_{MLT}); (ii) hidráulica: considera as mudanças em variáveis hidráulicas simples, tais como, perímetro molhado ou profundidade máxima, medidas numa única seção transversal dos rios. Dessa forma, a partir de modelos de simulação hidráulica são definidas curvas de habitat em função da vazão; (iii) habitat: que consiste em avaliar o habitat físico disponível para as espécies; (iv) holística: que pretende definir a vazão ecológica a partir da análise de todo o ecossistema, onde um grupo de profissionais que a definem após fazer julgamentos acerca das consequências ecológicas (SARMENTO, 2007).

A definição da vazão residual para diferentes pontos da BRPS, utiliza a metodologia da curva de permanência (Q_{95}), que foi obtida a partir dos pontos de controle que possuem dados históricos de longo prazo (até 2011), e, posteriormente, foram regionalizadas para os demais pontos da bacia, a partir do cálculo do balanço hídrico quantitativo contratado pelo CEIVAP, para elaboração do plano de bacia. Os valores de vazão residual estão disponíveis no relatório COHIDRO (2014), sendo os valores de interesse para a posição das estações da ANA aqui utilizadas, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Vazão residual calculada pela COHIDRO para as estações da ANA em 2014.

Rio	Ponto de controle (Estação da ANA)	Vazão Residual (m^3/s)
Paraíba do Sul	Campos – Ponte Municipal	252,02
Muriaé	Cardoso Moreira	21,20
Pomba	Aperibé	42,43
Dois Rios	Dois Rios	15,14

2.3 ESTATÍSTICAS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

2.3.1 Análise de frequência das vazões médias mensais

Um problema frequentemente enfrentado pelos hidrólogos na modelagem estatística de variáveis hidrológicas é disponibilidade de séries longas e ininterruptas, sendo frequentemente necessário, o uso de técnicas de preenchimento de falhas para viabilizar as análises. Uma vez que as estações de Aperibé e Dois Rios não possuem séries completas de vazão para o período de 2012 a 2022, optou-se por utilizar a regressão linear simples para o preenchimento de falhas, conforme Silva, Marques e Lemos (2009) e Generoso (2021). Este procedimento consiste em estabelecer regressões lineares entre os postos que possuem os dados a serem preenchidos e os postos próximos que possuem séries completas (uma vez que estações próximas tendem a ter

respostas hidrológicas semelhantes), sendo os de melhor ajuste o mais indicado. Conforme Collischonn e Dornelles (2013), o procedimento não é indicado para dados diários devido a elevada variabilidade e o atraso da onda de cheia entre as estações, sendo mais apropriado para séries mensais ou anuais.

Após o preenchimento de dados de vazão média mensal para as estações faltantes e comparando com as vazões mínimas calculadas pela COHIDRO para o estudo disponibilidade hídrica, publicado em 2014, foi realizado um estudo de frequência para observação do comportamento médio mensal das vazões. Foram definidas três classes de frequência (crítica, alerta e normal), onde: a vazão crítica é estabelecida com base na vazão residual do estudo da COHIDRO, ou seja, os valores abaixo desse corte são considerados como vazão crítica; a vazão de alerta, que foi definida pelo CBH-BPSI, tendo como limite inferior a vazão residual e o limite superior 20% desta; e a vazão normal, que é toda vazão acima da vazão residual + 20%. Os valores estabelecidos, conforme esta metodologia, podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Critério de classificação das vazões médias mensais em classes de criticidade.

CAMPOS – PONTE MUNICIPAL (Paraíba do Sul)	CARDOSO MOREIRA (Muriaé)	APERIBÉ (Pomba)	DOIS RIOS (Dois Rios)	Classes de Criticidade
$\geq 315,03$	$\geq 26,50$	$\geq 53,04$	$\geq 18,92$	Normal
$315,03 < x < 252,02$	$26,50 < x < 21,20$	$53,04 < x < 42,43$	$18,92 < x < 15,14$	Alerta
$\leq 252,02$	$\leq 21,20$	$\leq 42,43$	$\leq 15,14$	Crítico

2.3.2 Cálculo das vazões mínimas Q_{95} por meio da curva de permanência

A curva de permanência é um procedimento estatístico que relaciona a vazão com sua probabilidade de ocorrência ao longo do tempo. Conforme Naghettini e Pinto (2007) a curva de permanência de vazões de um rio pode ser obtida, onde se tem informações de N dias (ou meses) de registros, da seguinte forma: (i) classificação das vazões Q em ordem decrescente; (ii) atribuição para cada vazão ordenada Q_m a sua respectiva ordem de classificação m; (iii) associação para cada vazão ordenada Q_m a sua respectiva probabilidade de ocorrência, que é estimada pela relação (m/N) , onde N é o tamanho da amostra; (iv) apresentação das vazões ordenadas com suas respectivas porcentagens de probabilidade.

Foram elaboradas curvas de permanência para as estações de Campos – Ponte Municipal e Cardoso Moreira, as quais possuíam séries completas. Para a estação de Dois Rios também foi gerada a curva de permanência, uma vez que as falhas encontradas são de 2 meses do período de cheia, o que não compromete a obtenção da Q_{95} . Para a estação de Aperibé, não foi possível

gerar a curva de permanência, sendo a Q_{95} , regionalizada dos postos próximos. Também foi gerada curva de permanência para a estação da Ilha dos Pombos, para compor modelo de regionalização.

2.3.3 Cálculo das vazões mínimas $Q_{7,10}$ por meio de distribuições teóricas

Na engenharia de recursos hídricos é comum a necessidade de se produzir análises de variáveis hidrológicas que leve em consideração tempos de retornos para além da quantidade de anos que normalmente se tem dados disponíveis, sendo utilizadas nestas análises, distribuições teóricas de probabilidades para valores extremos.

No que se refere a valores mínimos os estudos buscam avaliar a disponibilidade hídrica nas regiões, a fim de garantir abastecimento e também a continuidade dos ecossistemas aquáticos, e, ainda, a capacidade de depuração dos corpos hídricos. Normalmente as vazões mínimas são realizadas sobre as vazões mínimas médias de 7 dias de duração com tempo de retorno de 10 anos, a chamada $Q_{7,10}$. Para sua estimativa, as distribuições teóricas mais utilizadas e que melhor se adequam a esta finalidade são a de Weibull e Gumbel para mínimos (TUCCI, 2001; COLLISCHONN e DORNELLES, 2013; NAGHETTINI e PINTO, 2007).

A distribuição de Weibull, que constitui uma distribuição contínua de extremos do Tipo III, possui diversas aplicações em diferentes áreas das ciências e engenharia, sendo na hidrologia amplamente utilizada para o cálculo das vazões mínimas. Conforme Naghettini e Pinto (2007), sua função de probabilidade acumulada é dada por:

$$F_x(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\varepsilon}{\beta-\varepsilon}\right)^\lambda} \quad (1)$$

E a função de quantis é:

$$x(F) = \varepsilon + \left\{ (\beta - \varepsilon) \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{\frac{1}{\lambda}} \right\} \quad (2)$$

Onde: T é o tempo de retorno

A constante λ pode ser estimada por:

$$\lambda = \frac{1}{H_0 + H_1 \cdot G + H_2 \cdot G^2 + H_3 \cdot G^3 + H_4 \cdot G^4} \quad (3)$$

Onde: $H_0 = 0.2777757913$, $H_1 = 0.3132617714$, $H_2 = 0.057567091$, $H_3 = -0.0013038566$, $H_4 = -0.0081523408$ e G é o coeficiente de assimetria.

Os parâmetros β e ε são estimados por:

$$\beta = \bar{x} + A(\lambda) \cdot S_x \quad (4)$$

$$\varepsilon = \beta - B(\lambda) \cdot S_x \quad (5)$$

Onde: $\bar{x}$ é a média amostral e S_x é o desvio padrão amostral.

Finalmente, os parâmetros $A(\lambda)$ e $B(\lambda)$ são estimados por:

$$A(\lambda) = \left[1 - \Gamma\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \right] \cdot B(\lambda) \quad (6)$$

$$B(\lambda) = \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\lambda}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Onde: Γ é a função gama.

A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel para mínimos, extremos Tipo I, é dada por:

$$F_x(x) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (8)$$

Os parâmetros α e β são estimados por:

$$\alpha = 1.2826/S_x \quad (9)$$

$$\beta = \bar{x} + 0,45 \cdot S_x \quad (10)$$

Conforme Collischonn e Dornelles (2013) a função de quantis é dada por:

$$x = \bar{x} + S_x \cdot \left\{ 0,45 + 0,7797 \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (11)$$

Com o objetivo de se verificar se a distribuição teórica em análise se ajusta aos dados empíricos, é comum a realização de testes de aderência, sendo o mais amplamente utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. A estatística do teste é obtida pela máxima diferença absoluta entre as séries empíricas e a distribuição teórica sob análise. Em seguida se compara o valor obtido na estatística do teste com o valor crítico obtido em tabela, em função do nível de significância (aqui considerado como 0,05) e do tamanho da amostra (para o período de estudo, n=11). Para o caso de a estatística do teste ser inferior ao valor crítico, então não se rejeita a hipótese nula H_0 , ou seja, o pressuposto que o modelo distributivo teórico se ajusta bem aos pontos daquela amostra. Por último é verificado o desempenho do ajuste entre as series obtidas pelas distribuições teóricas e empíricas por meio das métricas RMSE e R^2 .

2.3.4 Regionalização de vazões mínimas

Uma vez que a estação de Aperibé não possui série de vazão diária para o período de análise, optou-se pela regionalização das vazões Q_{95} e $Q_{7,10}$ a partir dos dados dos postos próximos.

A transferência de vazões para pontos medidos a partir de pontos sem dados de medição, pode ser tarefa complexa e que exige cuidados. Conforme aponta Tucci (2001) a transposição de uma vazão (Q) é necessária uma equação de regressão que leve em consideração características físicas e climáticas da bacia, dentre elas: área de drenagem (A), precipitação média anual (P), declividade do rio (D), densidade de drenagem (DD) e comprimento do rio (L), sendo a equação utilizada do tipo potência, conforme Equação 12:

$$Q = a \cdot A^b \cdot P^c \cdot D^d \cdot DD^e \cdot L^f \quad (12)$$

Onde: a , b , c , d , e , f são obtidos pelo método dos mínimos quadrados.

Os parâmetros são utilizados conforme sua disponibilidade, no entanto, conforme sugere Collischonn e Dornelles (2013), dentre os parâmetros presentes na Equação 12, a área é o parâmetro mais comumente utilizado para a transferência de vazões, devido a simplicidade de aplicação/obtenção, seguido da precipitação. O trabalho do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) que buscou identificar regiões homogêneas na BRPS, utilizou área de drenagem e precipitação para a maioria das regiões homogêneas identificadas e, em alguns casos, apenas a área de drenagem como parâmetros atribuídos a equação de regionalização do tipo potência (MELO e VILLAS BOAS, 2017). Neste trabalho, utilizou-se a área como parâmetro a fim de estimar a vazão mínima em Aperibé.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CÁLCULO DAS VAZÕES MÍNIMAS Q_{95} e $Q_{7,10}$

Com o objetivo de estabelecer uma comparação entre as vazões residuais calculadas pela COHIDRO (2014) e as vazões do período entre 2012 e 2022, (metodologia do INEA de outorga) foram geradas curvas de permanência para as estações de Cardoso Moreira, Campos – Ponte Municipal, Ilha dos Pombos e Dois Rios, a partir das séries diárias de vazões. As curvas de permanência podem ser visualizadas na Figura 2.

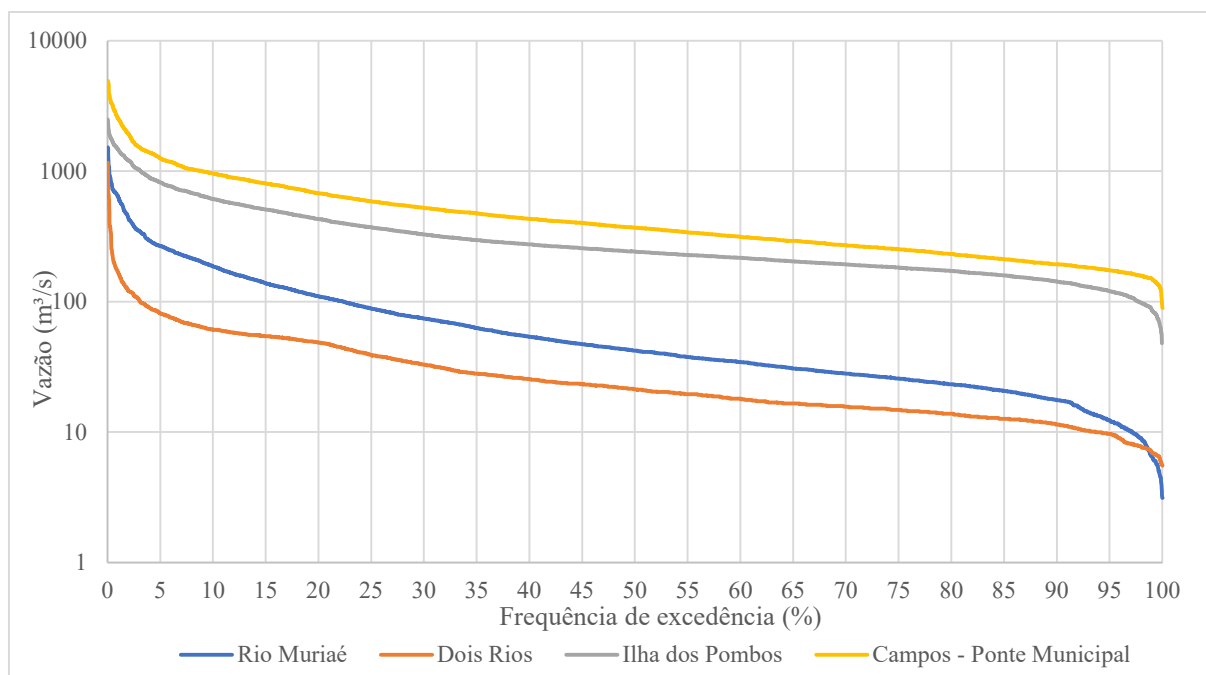


Figura 2 – Curvas de permanência das estações com vazão diária entre 2012 e 2022.

Tal como o gráfico das hidrógrafas (Figura 2), o formato semelhante das curvas de permanência, sugerem que o comportamento da bacia tende a ser homogêneo. A partir das curvas, foram estabelecidas as vazões de 95% de permanência para todas as estações, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Vazão Q_{95} calculada para o período de 2012 e 2022 nas estações de interesse.

Rio	Estação	Q_{95} (m³/s)
Paraíba do Sul	Campos – Ponte Municipal	174,22
Paraíba do Sul	Ilha dos Pombos	120,23
Muriaé	Cardoso Moreira	12,22
Dois Rios	Dois Rios	9,70

A fim compor arcabouço teórico para análise de disponibilidade hídrica na bacia e considerando a metodologia do IGAM de outorga, foram calculadas as vazões $Q_{7,10}$, a partir das distribuições teóricas de Weibull e Gumbel para mínimos. Conforme Naghettini e Pinto (2007), a escolha se uma distribuição teórica que represente de forma satisfatória o comportamento hidrológico de um dado ponto de monitoramento é uma tarefa sensível e que demanda além de experiência do hidrólogo, testes estatísticos. Neste sentido, foram geradas as curvas empíricas para as estações de Campos - Ponte Municipal, Cardoso Moreira, Dois Rios e Ilha dos Pombos, e em seguida foram aplicadas para os dados empíricos, as distribuições

teóricas de Gumbel e Weibull. As duas distribuições teóricas foram submetidas ao teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a uma significância de 0,05 (95% de confiança), para uma amostra de 11 elementos (anos de 2012 a 2022), tendo a estatística do teste, demonstrado que ambas as distribuições, apresentaram aderência a distribuição empírica, para todas as estações.

Uma vez que ambas as distribuições passaram no teste de aderência, as distribuições teóricas foram submetidas aos testes estatísticos de desempenho RMSE e R^2 , onde o RMSE é medido na unidade do parâmetro em análise (no caso m^3/s), sendo o valor mais próximo de zero a indicação do ajuste perfeito, e o R^2 é um valor percentual de ajuste onde o mais próximo de 1 indica o melhor ajuste. Para todas as estações foi verificado menores valores de RMSE e maiores valores de R^2 para a distribuição de Weibull, indicando que esta é a distribuição que mais se ajusta para a distribuição empírica, para todas as estações em análise.

Na Tabela 5 é apresentado o resultado das estatísticas dos testes, avaliação de desempenho das curvas e a vazão $Q_{7,10}$ calculadas para ambas as distribuições teóricas.

Tabela 5 – Teste de aderência e avaliação de desempenho para as distribuições Weibull e Gumbel, e cálculo da vazão $Q_{7,10}$

Estação	Distribuição Teórica	Kolmogorov-Smirnov				RMSE	R^2	$Q_{7,10}$ m^3/s
		n	Estatística do Teste	Valor Crítico $\alpha=0.05$	H0			
Campos – Ponte Municipal	Gumbel	11	0,261	0.391	Aceita	20,82	0,84	113,11
	Weibull		0,152		Aceita	14,73	0,92	117,50*
Ilha dos Pombos	Gumbel	11	0,189	0.391	Aceita	12,13	0,94	83,96
	Weibull		0,155		Aceita	9,18	0,96	83,39*
Cardoso Moreira	Gumbel	11	0,232	0.391	Aceita	2,81	0,90	4,28
	Weibull		0,152		Aceita	2,02	0,94	4,39*
Dois Rios	Gumbel	11	0,178	0.391	Aceita	0,72	0,97	6,62
	Weibull		0,143		Aceita	0,50	0,98	6,56*

*Vazão $Q_{7,10}$ conforme distribuição de melhor ajuste com a distribuição empírica (Weibull).

Nota: As curvas de melhor desempenho, para todas estações da tabela 5, podem ser consultadas nos anexos.

3.1.1 Regionalização das vazões mínimas Q_{95} e $Q_{7,10}$

Tendo em vista que a estação de Aperibé (bacia do rio Pomba) não dispunha de dados de vazão diários o período de jan/2012 e mar/2016, as vazões mínimas calculadas (Q_{95} e $Q_{7,10}$) para as estações de Campos – Ponte Municipal, Cardoso Moreira, Dois Rios e Ilha dos Pombos, foram utilizadas para transferência para Aperibé, por meio de modelo de regionalização. Os parâmetros utilizados na regionalização podem ser observados na Tabela 6 e as vazões mínimas

calculadas, bem como, a equação de região homogênea e ajuste podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 6 – Parâmetros utilizados para composição do modelo de regionalização.

Estações	Parâmetros de Regionalização		
	Área (km ²)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q _{7,10} (m ³ /s)
DOIS RIOS	3120	9,70	6,56
ILHA DOS POMBOS	34400	120,23	83,39
CAMPOS – PONTE MUNICIPAL	55700	174,22	117,50
CARDOSO MOREIRA	7210	12,22	4,39

Tabela 7 – Vazões mínimas regionalizadas para a estação de Aperibé.

Transferência de vazões para estação de APERIBÉ		
Equação da vazão mínima	Ajuste	Vazão (m ³ /s)
$Q_{95} = 0,0011 * A^{1,098}$	$R^2 = 0,9859$	22,78
$Q_{7,10} = 0,0003 * A^{1,1822}$	$R^2 = 0,9723$	13,31

3.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO NORTE E NOROESTE FLUMINENSE

3.2.1 Análise da frequência das vazões médias mensais

Uma vez que das estações escolhidas como ponto de controle de Aperibé e Dois Rios não possuíam séries completas de vazão média mensais, buscou-se a realização de preenchimento de falhas por meio de regressão linear entre a estação mais próxima e que apresente o comportamento semelhante da estação com dados faltantes.

Dessa forma buscou-se um período em que todas as estações de controle possuíssem valores médios mensais disponível, tendo sido identificado o período de março de 2016 a setembro de 2022. As séries temporais para todas as estações no período proposto, demonstrou comportamento consideravelmente homogêneo na análise visual das curvas. Dessa forma, a fim de se verificar a colinearidade entre estas estações, foi construída uma matriz de correlação para todas as estações (Tabela 8), onde foi possível observar que todas as estações possuem alto grau de correlação entre si (NAGHETTINI e PINTO, 2007), sendo todos valores superiores 0,85. Para o preenchimento das falhas tanto da estação de Aperibé, quanto a estação de Dois Rios, foi utilizada a estação de Campos – Ponte Municipal, devido ao alto grau de correlação linear entre as estações (coeficiente de correlação de 0,968 e 0,953, respectivamente). A Tabela 9 apresenta o período preenchido para cada estação com falha e as respectivas equações de regressão.

Uma vez estabelecida as equações de regressão, estas foram aplicadas na série temporal de Campos – Ponte Municipal, para obtenção dos valores ausentes para as estações de Aperibé e Dois Rios. O gráfico com as séries temporais de médias mensais de todas as estações para o período de interesse (2012 a 2022), já com o preenchimento para estações de Aperibé e Dois Rios, podem ser observadas na Figura 3.

Tabela 8 – Matriz de correlação entre as estações de controle, com dados mensais médios completos entre mar/2016 e dez/2022.

	CARDOSO MOREIRA	CAMPOS - PONTE MUNICIPAL	ILHA POMBOS	DOIS RIOS	APERIBÉ
CARDOSO MOREIRA	1,000	0,950	0,866	0,903	0,966
CAMPOS - PONTE MUNICIPAL		1,000	0,966	0,953*	0,968*
ILHA POMBOS			1,000	0,912	0,898
DOIS RIOS				1,000	0,911
APERIBÉ					1,000

**Estação com maior colinearidade por preenchimento de falhas para as estações Dois Rios e Aperibé

Tabela 9 – Período preenchido nas estações de Aperibé e Dois Rios e equação de preenchimento.

Estação a Preencher	Estação de Preenchimento	Período Preenchido	Equação de regressão	R ²
APERIBÉ	CAMPOS – PONTE MUNICIPAL	jan/2012 a fev/2016	$y = 0,2321x - 18,934$	R ² = 0,9366
DOIS RIOS	CAMPOS – PONTE MUNICIPAL	out/2022 e dez/2022	$y = 0,0609x + 0,6994$	R ² = 0,9083

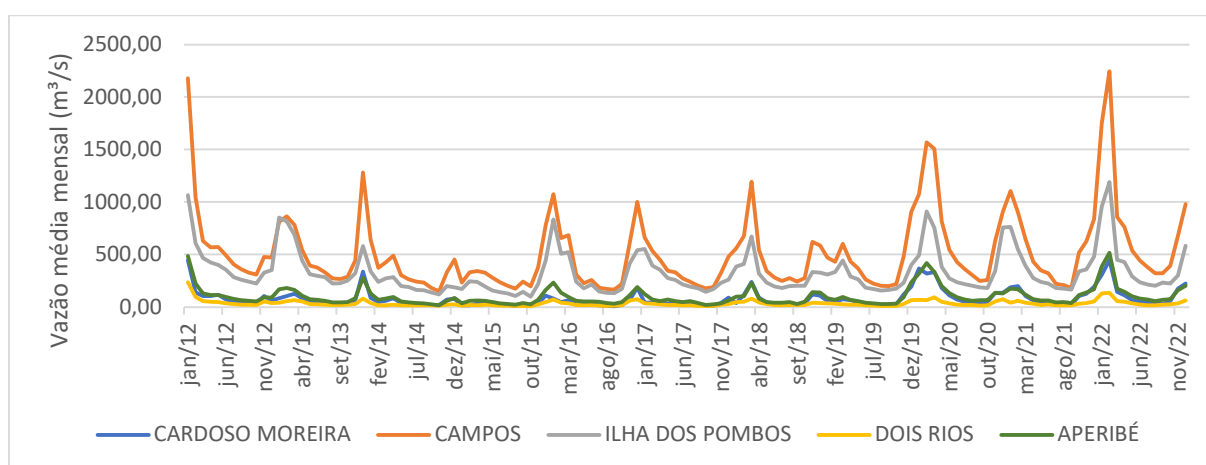


Figura 3 – Séries de vazões médias mensais, entre 2012 e 2022, para todas as estações da ANA, com preenchimento de série de vazão média mensal na estação de Aperibé e Dois Rios

A análise visual das séries temporais das estações objetivo, bem como, da UHE da Ilha dos Pombos demonstra que o comportamento hidrológico no Norte e Noroeste Fluminense tende a ser semelhante. Embora a vazão da estação de Campos – Ponte Municipal tenha como maior influência a vazão oriunda da UHE Ilha dos Pombos, se observa uma grande correlação entre os afluentes (Pomba, Muriaé e Dois Rios) e as estações da calha principal (UHE Ilha dos Pombos e Campos – Ponte Municipal), sugerindo que o manejo das comportas da barragem tendeu a acompanhar o comportamento hidrológico dos afluentes, para o período de análise, e em termos médios.

A partir das séries de vazão médias mensais foi realizada a distribuição dos valores por ano e classe de frequência, para as estações de Campos – Ponte Municipal, Aperibé, Cardoso Moreira e Dois Rios, onde foi possível avaliar a frequência de tempo em que cada vazão esteve em determinada classe para todo o período de análise. É importante destacar, que a análise mensal não representa o total de dias em que o evento ocorreu, e, sim, que em termos médios a vazão esteve em determinada classe de frequência para cada mês. Neste sentido serve como parâmetro de análise para o comportamento hidrológico habitual, durante o tempo de análise proposto. A distribuição de frequência pode ser observada da Tabela 10 e Figura 4.

No que se refere a classe das vazões críticas, foi possível observar que a estação de Campos – Ponte Municipal foi a que permaneceu a maior parte do tempo com vazões abaixo da vazão residual de 252,02 m³/s (22% do tempo ou 29 meses). Neste sentido, a calha principal do rio Paraíba do Sul esteve 22% do tempo, entre 2012 e 2022, com vazões médias mensais abaixo da vazão residual, o que contribui para: diminuição da capacidade de depuração do corpo hídrico (VON SPERLING, 2014); na intensificação do processo de assoreamento e diminuição do espelho d'água do baixo curso do Paraíba (SALES *et al.*, 2020); bem como, no aumento da intrusão salina, com consequências ambientais (DE OLIVEIRA NUNES *et al.*, 2022) e de abastecimento da foz (VASCONCELOS, FORMIGA-JOHNSSON e RIBEIRO, 2019).

Considerando uma análise anual, verifica-se que a partir de 2014 todos os anos ocorreram pelo menos 1 mês, onde em média a vazão da calha principal, esteve abaixo da vazão residual, excetuando-se o ano de 2022. O destaque ocorre no ano de 2015, onde 6 meses a vazão esteve abaixo da vazão residual. Esse resultado demonstra que a partir de 2014 tem se intensificado o estresse hídrico na bacia.

Tabela 10 – Distribuição de frequência das vazões médias mensais para cada ano e estação, em função da classe de criticidade.

Ano	CAMPOS – PONTE MUNICIPAL (Calha principal do Paraíba)			CARDOSO MOREIRA (Bacia do Muriaé)			DOIS RIOS (Bacia do Dois Rios)			APERIBÉ (Bacia do Pomba)		
	Normal	Alerta	Crítico	Normal	Alerta	Crítico	Normal	Alerta	Crítico	Normal	Alerta	Crítico
2012	11	1	0	12	0	0	11	1	0	11	1	0
2013	9	3	0	11	1	0	12	0	0	9	3	0
2014	6	2	4	9	1	2	4	5	3	6	1	5
2015	5	1	6	7	0	5	3	3	6	5	1	6
2016	5	2	5	5	3	4	7	2	3	6	4	2
2017	7	1	4	9	1	2	7	2	3	7	1	4
2018	7	3	2	11	1	0	9	3	0	6	3	3
2019	7	1	4	8	3	1	7	1	4	7	0	5
2020	9	2	1	12	0	0	8	2	2	12	0	0
2021	9	0	3	9	2	1	8	2	2	9	2	1
2022	12	0	0	12	0	0	8	2	2	12	0	0
Total	87 65,9%	16 12,1%	29 22,0%	105 79,5%	12 9,1%	15 11,4%	84 63,6%	23 17,4%	25 18,9%	90 68,2%	16 12,1%	26 19,7%

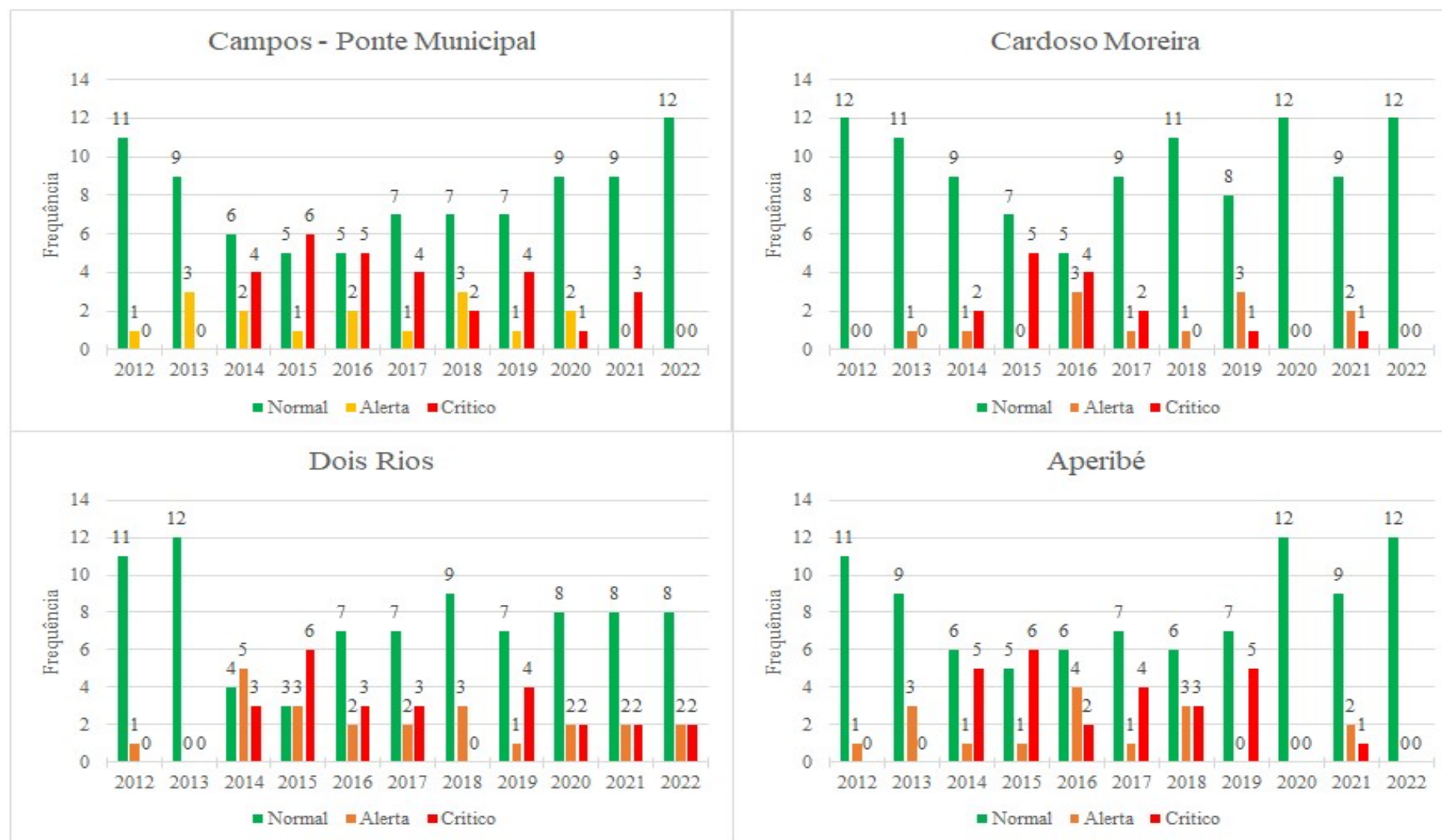


Figura 4 – Distribuição de frequência das vazões médias mensais para cada ano e estação, em função da classe de criticidade.

A bacia do rio Pomba foi a segunda mais impactada, uma vez que a estação de Aperibé ficou 19,7% do tempo abaixo da vazão ecológica de 42,43 m³/s (26 meses). É importante salientar que a série média mensal de Aperibé foi obtida por meio de preenchimento de falha a partir da regressão linear entre a estação de Campos – Ponte Municipal, com o objetivo de avaliar que a estação por meio de estimativas.

Em termos anuais, observa-se a mesma tendência da calha principal do rio Paraíba do Sul. A partir de 2014 ocorre um aumento de frequência significativo de meses com vazões abaixo da residual para a estação de Aperibé. Com destaque para o ano de 2015 onde ocorreram 6 meses de vazões abaixo da vazão residual.

A bacia do rio Dois Rios (estação de Dois Rios), foi a terceira mais impactada, uma vez que a estação de Dois Rios ficou 17,4% do tempo abaixo da vazão residual de 15,14 m³/s (25 meses). Considerando a análise por ano, observa-se a mesma tendência, de início do período de estresse hídrico iniciando-se em 2014. Em 2015 também apresentou o resultado mais significativo de decréscimo de vazão, com 6 meses abaixo da vazão residual.

Por fim a bacia do rio Muriaé, em termos médios, foi a menos afetada, ficando 11,4% do tempo abaixo da vazão residual de 21,20 m³/s (15 meses). Na análise anual, se observa a mesma tendência de início do estresse hídrico se iniciando em 2014, porém não foram observadas vazões abaixo da residual para 2018, 2020 e 2022.

Considerando o somatório das vazões de alerta e críticas, a bacia de Dois Rios, calha principal do rio Paraíba, Aperibé e Cardoso apresentaram respectivamente 36,4%, 34,1%, 31,8% e 20,5%. Apenas a bacia do Muriaé ficou próximo de 80% (79,5%) com vazões consideradas normais, em termos médios.

Os resultados aqui apresentados demonstram que todas as bacias em análises sofreram alterações em sua disponibilidade hídrica, em termos médios. Neste sentido, a partir das hidrógrafas das estações (Figura 3), associadas com uma alta correlação entre as estações (Tabela 8), e, ainda, com o comportamento semelhante de quantitativo de meses com vazões abaixo das classes críticas e de alerta (Tabela 10), é possível inferir que a bacia do Paraíba do Sul em sua porção do Norte e Noroeste Fluminense está sofrendo com diminuição de vazões, de forma quase homogênea, sugerindo uma causa regional, que poderia ser justificada pela diminuição das precipitação. É importante notar que este trabalho tem caráter diagnóstico estatístico, não sendo possível apenas pelas análises aqui apresentadas, ser taxativo quantos as causas, que conforme ampla literatura também tem forte influência das pressões antrópicas sobre os recursos hídricos.

3.2.2 Avaliação comparativa da Q₉₅

A análise da Q₉₅ gerada por meio de vazões diárias, demonstra a frequência de ocorrência em que as vazões foram igualadas ou superadas e constitui metodologia para determinação da vazão residual. Ao se confrontar a vazão residual estabelecida pela COHIDRO (2014) para o plano de bacia, que considerou uma série histórica longa, com a vazão residual calculada para os anos de 2012 a 2022, foi possível observar que para todas as estações, e, por consequência, todas as bacias afluentes do Baixo Paraíba (incluindo a calha principal do Paraíba do Sul), ocorreu decréscimo da Q₉₅. A Tabela 11 apresenta o decréscimo de vazão percentual e em m³/s, para cada estação.

Tabela 11 – Comparativo da Q₉₅ do plano de bacia e do período de 2012 a 2022.

Bacia	Ponto de controle Estação da ANA	Q ₉₅ (m ³ /s) COHIDRO	Q ₉₅ (m ³ /s) 2012 a 2022	Variação da Q ₉₅	
				m ³ /s	%
Calha principal do Paraíba do Sul	Campos – Ponte Municipal	252,02	174,22	-77,80	-30,9
Muriaé	Cardoso Moreira	21,20	12,22	-8,98	-42,4
Dois Rios	Dois Rios	15,14	9,70	-5,43	-35,9
Pomba	Aperibé	42,43	22,78	-19,65	-46,3

A avaliação da Tabela 11, demonstra a magnitude da crise hídrica vivenciada pela bacia na última década, quando comparada com a análise de frequência média mensal proposta no item 3.2.1.

A bacia o rio Pomba, que é o afluente com maior volume de água de contribuição para a foz no Norte e Noroeste Fluminense, apresentou variação negativa de 19,65 m³/s na Q₉₅, o que implica em um déficit percentual de 46,3%.

A bacia do Muriaé, afluente com a segunda maior contribuição para a foz, apresentou variação negativa de 8,98 m³/s na Q₉₅, que resulta em um déficit percentual de 42,4%. É importante notar que esta bacia, em termos médios mensais (item 3.2.1), foi a que menos sofreu com vazões abaixo da vazão residual estabelecida pela COHIDRO, fato este associado com a premissa da avaliação média tender a evidenciar o comportamento habitual e não diário. A média mensal, neste sentido, devido a sua característica de amortecimento de extremos, não é suficiente para determinar intervalos de regime crítico (RIBEIRO *et al.*, 2017).

A bacia do Dois Rios, por sua vez, apresentou variação negativa de 5,43 m³/s na Q₉₅, que resulta em um déficit percentual de 35,9%. Apesar de ser a bacia com menor área de

drenagem, observa-se que é um afluente de contribuição para a foz com contribuição próxima a bacia do Muriaé.

A calha principal do Rio Paraíba do Sul, mensurada na estação de Campos – Ponte Municipal, apresentou um decréscimo na Q_{95} de 77,80 m³/s, que resulta em um déficit percentual de 30,9%. É importante notar, que apesar da menor variação percentual, a variação em m³/s foi consideravelmente alta, sendo em 2 vezes o déficit dos três afluentes principais somados. O movimento para baixo nessa magnitude, na última estação de monitoramento, nas proximidades da foz, pressupõe afirmar que a bacia sofreu como um todo com déficit hídrico acentuado no período de avaliação, ocasionando em grande perda de volume de água.

Neste sentido, a análise da Q_{95} , por meio da avaliação percentual demonstra que os três afluentes da foz do Paraíba do Sul, apresentaram elevada variação negativa, indicando que as três bacias afluentes estão sofrendo com o estresse hídrico na última década, de forma independente das captações significativas da calha principal, como por exemplo, de Santa Cecília. Esse comportamento, já identificado na avaliação das médias mensais (Item 3.2.1), corrobora com a tese, que esta diminuição global da disponibilidade hídrica na região do Baixo Paraíba, pode estar associada a um fenômeno regional, como a diminuição das precipitações.

3.2.3 Análise comparativa a partir dos critérios de outorga do INEA e IGAM

Outro fato relevante concernente a estas diminuições das vazões de 95% de permanência dizem respeito a diminuição da capacidade de outorga para todos os rios em análise, isto é, a calha principal do rio Paraíba do Sul e seus afluentes. Acerca desse fato a Tabela 12 apresenta a capacidade de outorga de forma comparativa entre a calculada pela COHIDRO (até jul/2013) e a calculada entre os anos de 2012 e 2022.

Tabela 12 – Comparativo da vazão de outorga do plano de bacia e do período de 2012 a 2022.

Bacia	Ponto de controle Estação da ANA	COHIDRO		2012 a 2022		Variação da capacidade de outorga	
		Q_{95} (m ³ /s)	Outorga 40% Q_{95} (m ³ /s)	Q_{95} (m ³ /s)	Outorga 40% Q_{95} (m ³ /s)	m ³ /s	%
Paraíba do Sul	Campos – Ponte Municipal	252,02	100,81	174,22	69,69	-31,12	-69,13
Muriaé	Cardoso Moreira	21,20	8,48	12,22	4,89	-3,59	-57,63
Dois Rios	Dois Rios	15,14	6,05	9,70	3,88	-2,17	-64,11
Pomba	Aperibé	42,43	16,97	22,78	9,11	-7,86	-53,69

Ao analisar o quesito capacidade de outorga, a calha principal o rio Paraíba do Sul, conforme legislação do INEA, tinha disponível no plano de bacia a vazão de 100,81 m³/s. Ao considerar o período de 2012 a 2022 esse valor decresceu para apenas 69,69 m³/s, o que ocasiona em uma variação negativa de 69,13% (31,12 m³/s), sendo a mais impactada.

A bacia Dois Rios, apresentou uma variação negativa da capacidade de outorga de 64,11% (2,17 m³/s), sendo a segunda mais impactada. A bacia do Muriaé por sua vez, apresentou uma variação negativa da capacidade de outorga de 57,63% (3,59 m³/s), sendo a terceira mais impactada. Por último a bacia do rio Pomba, apresentou uma variação negativa da capacidade de outorga de 53,69% (7,86 m³/s), sendo a menos impactada.

É importante notar, que normalmente, ao se analisar disponibilidade hídrica, se utilizam séries extensas, para evitar contextos sazonais de estiagens. Todavia, a análise de 11 anos aqui proposta, em um período de extremo de seca, permite não só avaliar o impacto da pior estiagem dos últimos 85 anos em termos ambientais, como também, permite avaliar como a disponibilidade hídrica para empreendimentos de grande porte foi afetada, o que em última análise também representa riscos de operação setores produtivos que demandam grande quantidade de água em seus processos. Dessa forma, a análise de 2012 a 2022, demonstra que todos os pontos de controle sofreram perda da capacidade de outorga acima de 50%, implicando na redução de disponibilidade hídrica.

Neste contexto de avaliação da disponibilidade hídrica por meio do critério de outorga, também foi calculada a vazão $Q_{7,10}$, para a calha principal do Paraíba do Sul, bem como, seus afluentes. O resultado da vazão residual calculada pela $Q_{7,10}$ (metodologia IGAM) e sua comparação com a Q_{95} (metodologia INEA), para todas as estações de controle, pode ser observada na Tabela 13.

O cálculo da vazão $Q_{7,10}$ para toda as estações revela uma situação ainda mais crítica de disponibilidade hídrica, uma vez que o seu método de obtenção, que pressupõe a avaliação do comportamento médio de 7 dias, tende a evidenciar os valores mínimos extremos que duram 7 dias. Neste sentido, períodos intensos de estiagem, conduzem a vazão $Q_{7,10}$ para valores com magnitude significativamente menores que a vazão Q_{95} (RIBEIRO *et al.*, 2017). A decorrência desse fato é que valores menores de $Q_{7,10}$, implicam em vazão outorgável, também menores, alterando a disponibilidade hídrica.

Tabela 13 – Variação da capacidade de outorga calculada pela $Q_{7,10}$ e Q_{95} para o período de 2012 a 2022.

Bacia	Ponto de controle Estação da ANA	2012 a 2022				Variação da capacidade de outorga $Q_{7,10} - Q_{95}$	
		Q_{95} (m ³ /s)	Outorga 40% Q_{95} (m ³ /s)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Outorga 50% $Q_{7,10}$ (m ³ /s)	m ³ /s	%
Paraíba do Sul	Campos – Ponte Municipal	174,22	69,69	117,50	58,75	-10,94	-15,70
Muriaé	Cardoso Moreira	12,22	4,89	4,39	2,20	-2,69	-55,04
Dois Rios	Dois Rios	9,70	3,88	6,56	3,28	-0,60	-15,47
Pomba	Aperibé	22,78	9,11	13,31	6,66	-2,46	-26,95

Distâncias grandes entre Q_{95} e $Q_{7,10}$, (onde a $Q_{7,10}$ é consideravelmente menor que a Q_{95}) pressupõe afirmar que uma bacia teve um decréscimo de vazão significativamente elevado em um determinado período, porém na análise de frequência para o período em análise, vazão esteve 95% do tempo em melhores condições. Neste sentido a Q_{95} tende a desprezar os 5% do tempo em que a bacia esteve com um extremo de seca.

Partindo dessa premissa, ao utilizar a metodologia do IGAM para outorga, se observa que a Bacia do Muriaé foi a que apresentou a maior diferença percentual entre a Q_{95} e $Q_{7,10}$. A vazão de outorga para esta bacia, utilizando 50% da $Q_{7,10}$, foi de apenas 2,20 m³/s, que representa 55,04% a menor de capacidade de outorga utilizando 40% da Q_{95} (4,89 m³/s). Este resultado significa afirmar, que dependendo da metodologia empregada na avaliação da vazão mínima, a disponibilidade hídrica pode estar mais ou menos significativa, sendo, para o estudo em cena, a vazão $Q_{7,10}$ a que mais evidenciou a crise hídrica vivenciada por esta bacia, na última década. Neste contexto, a bacia do Muriaé foi a menos impactada na avaliação média mensal, a terceira mais impactada ao se comparar a Q_{95} estabelecida no plano de bacia em operação com a calculada para o período de 2012 a 2022, mas foi a que mais sofreu com a estiagem, uma vez que obteve a maior diferença entre a Q_{95} e a $Q_{7,10}$.

Por sua vez a bacia do rio Pomba mostrou a segunda diferença entre as vazões Q_{95} e $Q_{7,10}$. A vazão de outorga para esta bacia, utilizando 50% a $Q_{7,10}$, foi de 9,11 m³/s, que representa 26,95% a menor de capacidade de outorga utilizando 40% da Q_{95} (6,66 m³/s).

A bacia do Dois Rios e a calha principal do rio Paraíba do Sul, apresentaram as menores distancias entre a Q_{95} e $Q_{7,10}$. A vazão de outorga para a calha principal do Paraíba do Sul, utilizando 50% a $Q_{7,10}$, foi de 69,69 m³/s, que representa 15,70% a menor de capacidade de

outorga utilizando 40% da Q_{95} (58,75 m³/s). Já para a bacia do Dois Rios, a vazão de outorga utilizando 50% a $Q_{7,10}$, foi de 3,88 m³/s, que representa 15,47% a menor de capacidade de outorga utilizando 40% da Q_{95} (3,28 m³/s).

Dentro desse contexto de diminuição da disponibilidade hídrica para o Baixo Curso do Paraíba do Sul, a perda das vazões na calha principal do rio Paraíba do Sul, tem sido foco de discussões regionais e de estudos que visam estabelecer suas causas. Dentre os principais motivos para diminuição das vazões na foz do rio Paraíba do Sul, destaca-se a transposição para o sistema do Guandu, responsável pelo abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro que depende das águas oriundas da bacia do Paraíba do Sul, apesar de não estar inserida nesta bacia, assume papel preponderante. Por exemplo, sua captação no início da crise hídrica de 2014-2015 era de 190 m³/s da vazão afluente na estação elevatória de Santa Cecília, sendo reduzida para 110 m³/s, em fevereiro de 2015, no momento mais intenso da crise (FORMIGA-JOHNSON e RIBEIRO, 2020). É importante notar que mesmo a menor vazão de captação manobrada na elevatória durante a crise hídrica (110 m³/s), representa uma grande perda de vazão para a calha principal do rio Paraíba do Sul, correspondendo, por exemplo, a 43,6% da Q_{95} calculada pela COHIDRO (252,02 m³/s), ou 63,14% da Q_{95} , calculada neste relatório (174,22 m³/s).

A redução de vazão oriunda de consumo e transposições são sistemáticas, constituindo assim uma perda de volume constante. No entanto, os eventos extremos de seca constituem outro fator relevante para a perda de volume de água, uma vez que a precipitação é o principal responsáveis pelo incremento de vazão em função do escoamento superficial, além de prover a recargas de lençol freático, que em um segundo momento, contribuirá para a vazão via fluxo de base. Nessa linha, estudos de eventos extremos de seca têm sido também conduzidos para avaliação da disponibilidade hídrica nesta bacia. Assim, Nauditt et al. (2019) verificaram que na seca de 2014-2015 ocorreu um déficit permanente de vazão na estação fluviométrica de Paraíba do Sul. Por sua vez, Amancio (2020), realizou simulações de vazões na bacia do Paraíba do Sul a partir dos cenários do *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC, tendo identificado que em todos os cenários é previsto a diminuição de vazão, levando a crer que o comportamento de decréscimo de vazão identificado neste trabalho para o período compreendido entre os anos de 2012 e 2022, estão de acordo com as teses supracitadas.

Dessa forma os dados aqui apresentados evidenciam que os três afluentes de maior relevância para a foz, apresentaram redução das vazões em todas as metodologias estudadas. Esse fato corrobora com a tese de que apesar de ser significativa a redução de vazão oriunda de captações, os afluentes (que não sofrem influência das transposições, como a de Santa

Cecília) também apresentam variação negativa significativa e mais ou menos homogênea. Este fato caracteriza um fenômeno regional, provavelmente, ao aumento das temperaturas, diminuição da humidade relativa, associado com a diminuição de precipitações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da disponibilidade hídrica no Norte e Noroeste Fluminense da bacia do rio Paraíba do Sul, demonstrou que para todas as metodologias avaliadas ocorreram decréscimo das vazões mínimas, o que caracteriza uma diminuição da disponibilidade hídrica da região.

A análise de frequência de vazões médias mensais em classes de criticidade, a calha principal do Paraíba do Sul, seguido das bacias do Pomba, Dois Rios e Muriaé, ficaram respectivamente, 22%, 19,7%, 18,9 e 11,4% do tempo de análise com vazões abaixo da vazão residual calculada para o plano de bacia. Mesmo sendo a média mensal uma medida que suaviza os efeitos dos extremos, já foi possível observar que todas as bacias estudadas ficaram com tempo superior a 15 meses em termos médios na classe crítica.

A avaliação da diminuição da disponibilidade hídrica conforme metodologia de comparação da Q_{95} calculada no plano de bacia (até 2011) com a calculada para o período de 2012 a 2022, demonstra que em todas as estações de controle ocorreram diminuição das vazões mínimas superiores a 50%, sendo, calha principal do Paraíba do Sul com 59,13% de perda, a bacia Dois Rios com 64,11% de perda, Muriaé com 57,63% de perda e Pomba com 5,69% de perda. Neste sentido, mesmo sendo um recorte temporal relativamente pequeno, o comportamento hidrológico demonstra uma grande perda da disponibilidade hídrica, que sugere não ser pontual.

A comparação da vazão outorgável via Q_{95} e via $Q_{7,10}$, por sua vez, demonstrou que em todos os pontos de controle a $Q_{7,10}$ é menor que a Q_{95} , sendo 55,04% menor na bacia do rio Muriaé; 26,95% na bacia do rio Pomba; 15,70% na calha principal do rio Paraíba do Sul; e 15,47% para a bacia do Dois Rios. As distâncias consideráveis identificadas nas bacias do Muriaé e Pomba evidenciam que nestas bacias a estiagem foi bem mais intensa, na medida que as mínimas foram bem pequenas em relação a vazão de 95% de permanência. Isto sugere que os valores pequenos de vazão evidenciados pela $Q_{7,10}$ ocorreram, mas foram pouco frequentes.

Os resultados demonstraram que em todas as metodologias utilizadas para avaliação das vazões mínimas, ocorreram diminuições da disponibilidade hídrica de forma mais ou menos homogênea em todos os afluentes em comparação com calha principal do rio Paraíba do Sul. Este dado sugere que a diminuição da disponibilidade hídrica da região está associada a fenômenos regionais, provavelmente, ao aumento das temperaturas, diminuição da humidade

relativa, associado com a diminuição de precipitações, sendo sugerido estudos adicionais para corroborar a tese. Nessa linha, destaca-se o estudo que subsidiou a proposta do Projeto de Lei Nº 1.440 de 2019 que dispõe sobre a criação do Fundo de Desenvolvimento Econômico da Mesorregião Geográfica do Norte e Noroeste Fluminense como áreas de semiárido, o estudo utilizou uma série de histórica de 78 anos (1939 – 2017) e demonstrou uma transição de padrão climático para uma região com características de regiões subúmidas secas, com elevação do índice de aridez, redução dos índices de umidade e hídrico (BRASIL, 2019).

Adicionalmente foi verificado que a outorga utilizando a Q_{95} é menos restritiva que a $Q_{7,10}$, demonstrando que valores extremos, porém pouco frequentes, não são captados pela curva de permanência. Estes eventos pouco frequentes, dessa forma, se enquadram nos 5% de menor frequência da curva. Em contrapartida, estes eventos extremos de mínimas poucos frequentes são captados na $Q_{7,10}$.

Finalmente, este trabalho estabeleceu uma metodologia baseada em procedimentos estatísticos consolidados na literatura, para a avaliação da disponibilidade hídrica do Baixo Paraíba do Sul. Dessa forma, pretende-se a partir desse trabalho a sugestão de monitoramento periódico e sistemático ao longo dos anos, a partir da replicação desse procedimento para: (i) avaliação da progressão da crise hídrica verificada; (ii) avaliação da disponibilidade hídrica pós crise de 2014-2015 e capacidade de outorga, com incrementos anuais; (iii) constatar se o processo identificado é contínuo com tendência de seguir com a diminuição ou constitui evento climático sazonal.

5. REFERÊNCIAS

- AMANCIO, E. S. Projeção de vazão para bacia do rio Paraíba do Sul e estudo de disponibilidade hídrica a partir de cenários do IPCC. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 14, n. 1, p. 131-151, 2020.
- BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433/1997. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. PROJETO DE LEI Nº 1.440 DE 2019. Dispõe sobre a criação do Fundo de Desenvolvimento Econômico da Mesorregião Geográfica do Norte e Noroeste Fluminense como áreas de seminário. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=2B403CEDBB6C17C1A350163D6281E620.proposicoesWebExterno1?codteor=1724861&filename=Avuls+o+-PL+1440/2019>. Acesso em: 29 de agosto de 2023.
- CEIVAP - Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Dados gerais. 2023. Disponível em: <<https://www.ceivap.org.br/dados-gerais>>. Acesso em: 24 de agosto de 2023.
- COHIDRO. Plano integrado de recursos hídricos da bacia do rio paraíba do Sul – PIRH – RP6 – Diagnóstico – TOMO III. Rio de Janeiro, 2014.

COLLISCHONN W.; DORNELLES, F. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. ABRH, 2013. 570p.

DE OLIVEIRA NUNES, C. R.; DA SILVA PRÉ, H. L.; DA SILVA, K. C.; NETO, P. B.; DE PAULO SANTOS DE OLIVEIRA, V.; DE REZENDE ARAÚJO, T. M. Ionic characterization and salinity evaluation in the Paraíba do Sul River estuary, southeast, Brazil, between 2018 and 2019. REGIONAL STUDIES IN MARINE SCIENCE, v. 55, p. 102507, 2022.

FORMIGA-JOHNSON, R. M., & BRITTO, A. L. (2020). Water security, metropolitan supply and climate change: some considerations concerning the Rio de Janeiro case. Ambiente & Sociedade, 23, e02071. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190207r1vu2020L6TD>

GASQUES, A. C. F.; MEVES, G. L.; SANTOS, J. D.; OKAWA, C. M. P.; MAUAD, F. F. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS: breve revisão teórica. Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 60-70, 6 mar. 2018. Universidade Federal de Goiás. doi: 10.5216/reec.v14i2.47105

GENEROSO, T. N. Modelagem hidrológica visando a melhoria da qualidade de dados diários de vazão em estações fluviométricas convencionais localizadas a jusante de reservatórios de regularização. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, 2021

GRANEMANN, A. R. B.; MINE, M. R. M.; KAVISKI, E. Frequency analysis of minimum flows. Brazilian Journal of Water Resources, v. 23, e17, 2018. doi: 10.1590/2318-0331.0318170080.

LONGHI, E. H.; FORMIGA, K. T. M. Metodologias para determinar vazão ecológica em rios. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 20, p. 33-48, 2011.

MELO, J. S.; VILLAS BOAS, M. D. Regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras: estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 58, Bacia do Paraíba do Sul. CPRM, 2017.

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Portaria nº 48, de 04 de outubro de 2019: Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. A. Hidrologia estatística. CPRM, 2007.

NAUDITT *et al.* A grande seca de 2014-2015 na Bacia do rio Paraíba do Sul: compreendendo as características espaciais e temporais de seca e escassez hídrica. In: SOUZA-FILHO *et al.* (Coord.). ADAPTA - Gestão adaptativa do risco climático de seca. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2019. p. 825-840.

ONU (2018). Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation, New York: United Nations (UN). Disponível em: https://www.unwater.org/publication_categories/sdg-6-synthesis-report-2018-on-water-and-sanitation/. Acesso em: 15 de maio de 2023.

RIBEIRO, T. B.; ALBUQUERQUE, C. C.; LISBOA, L.; BATISTA, I. H.; ULIANA, E. M. Estimativa Das Vazões Mínimas De Referência (Q7, 10, Q95 E Q90) Anuais E Semestrais Para A Bacia Do Rio Branco. Anais XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

RIO DE JANEIRO. Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Atlas dos mananciais de abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro: subsídios ao planejamento e

ordenamento territorial / Instituto Estadual do Ambiente; coordenação geral: Silvia Marie Ikemoto; coordenação executiva: Laís Almeida de Costa Pessanha e Renata Fernandes Teixeira. – 2. ed. (rev. e ampl.). – Rio de Janeiro, 2023.

RIO DE JANEIRO. Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Resolução INEA nº 171, de 27 de março de 2019. Aprova a NOP-INEA-37. R-0–Critérios, definições e condições para outorga de direito de uso de recursos hídricos superficiais (OUT-SUP). Rio de Janeiro, Diário Oficial, v. 29, 2019.

SALES, D. S.; OLIVEIRA, V. P. S.; LUGON JUNIOR, J. Geotecnologias como suporte ao diagnóstico da dinâmica geomorfológico-fluvial do baixo curso do rio Paraíba do Sul. MIX SUSTENTÁVEL (ONLINE), v. 6, p. 91-103, 2020.

SARMENTO, R. Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo. ANA/CBHSF, 2007.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco. Engenharia na Agricultura, v. 17, p. 392-403, 2009

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação.; 2. reimpr. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

VASCONCELOS, N. A., FORMIGA-JOHNSON, R. M., & RIBEIRO, N. B. (2019). Impactos da crise hídrica 2014-2016 sobre os usuários dos rios Paraíba do Sul e Guandu. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina, 16, e14.

VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 2. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 592p.

6. ANEXOS

6.1 DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE WEIBULL PARA A ESTAÇÃO DE CAMPOS – PONTE MUNICIPAL

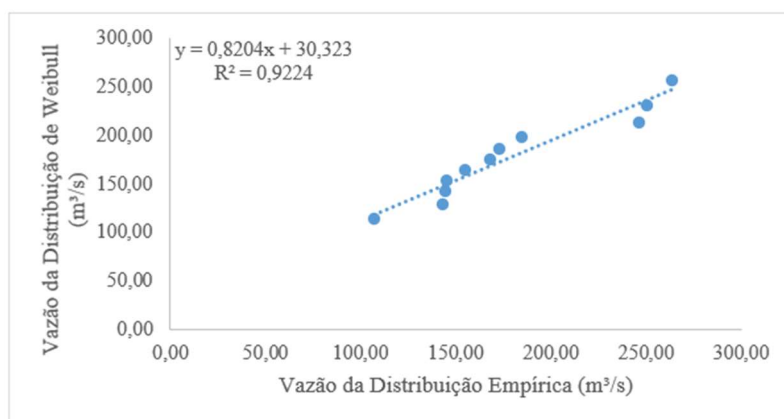


Figura 5 – Ajuste da distribuição teórica de Weibull em relação a distribuição empírica para a estação de Campos – Ponte Municipal

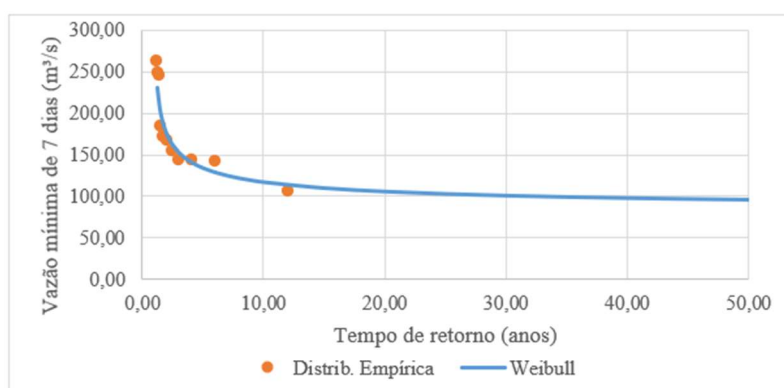


Figura 6 – Curva da distribuição teórica de Weibull para a estação de Campos – Ponte Municipal

6.2 DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE WEIBULL PARA A ESTAÇÃO DE DOIS RIOS

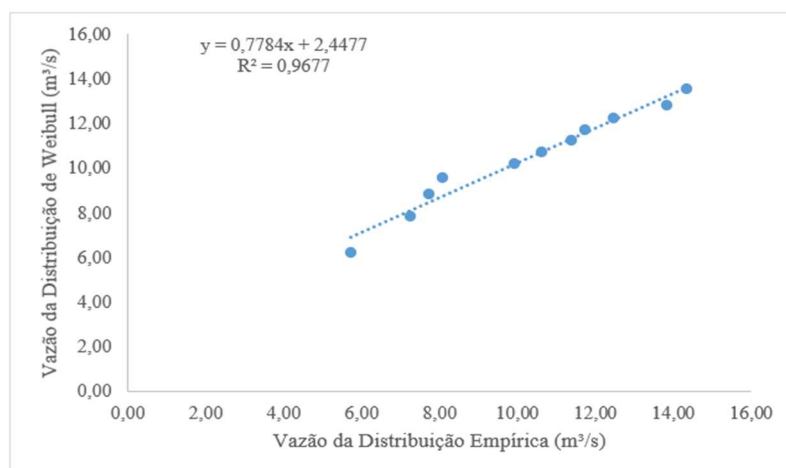


Figura 7 – Ajuste da distribuição teórica de Weibull em relação a distribuição empírica para a estação de Dois Rios

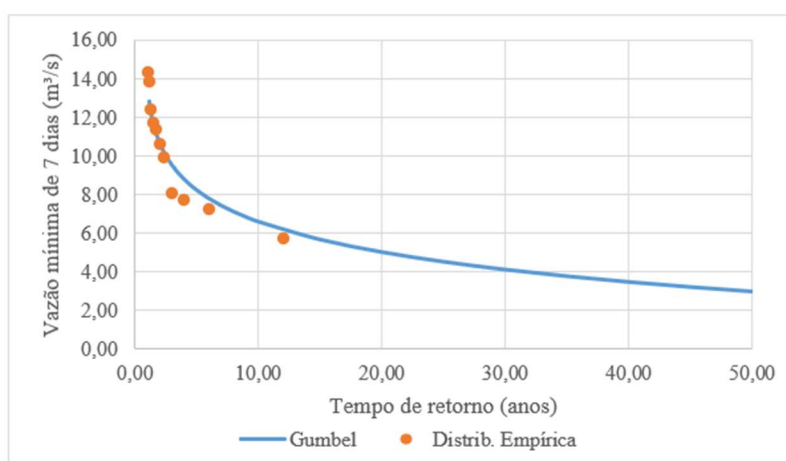


Figura 8 – Curva da distribuição teórica de Weibull para a estação de Dois Rios

6.3 DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE WEIBULL PARA A ESTAÇÃO CARDOSO MOREIRA

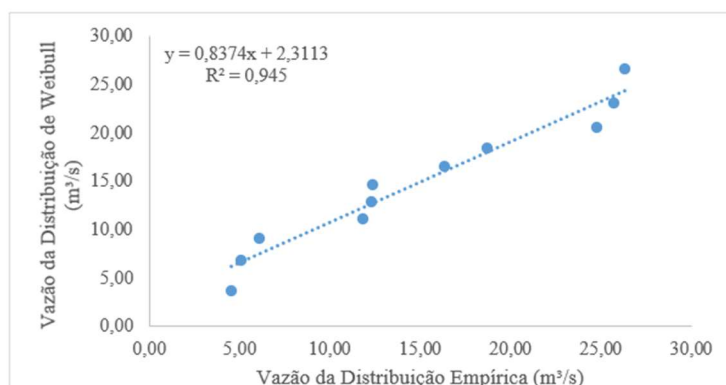


Figura 9 – Ajuste da distribuição teórica de Weibull em relação a distribuição empírica para a estação de Cardoso Moreira

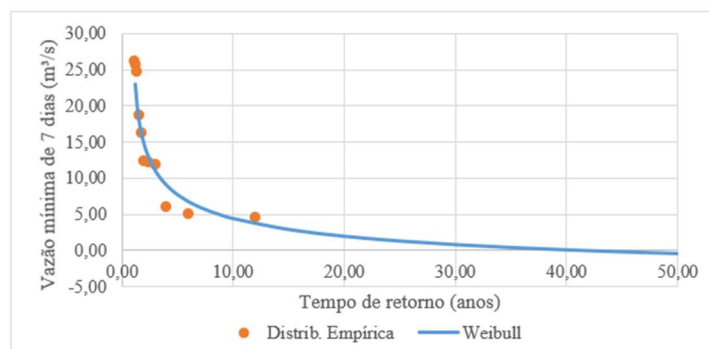


Figura 10 – Curva da distribuição teórica de Weibull para a estação de Cardoso Moreira

NOTA: Valores menores que zero não possuem significado físico

6.4 DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DE WEIBULL PARA A ESTAÇÃO ILHA DOS POMBOS

NOTA: Estação manejada por comportas. Foi utilizada devido a sua alta correlação com as demais estações de interesse a fim de compor modelo de regionalização.

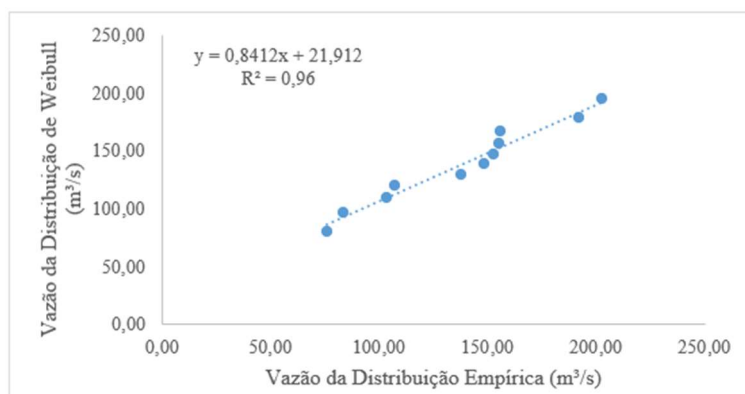


Figura 11 – Ajuste da distribuição teórica de Weibull em relação a distribuição empírica para a estação de Ilha dos Pombos

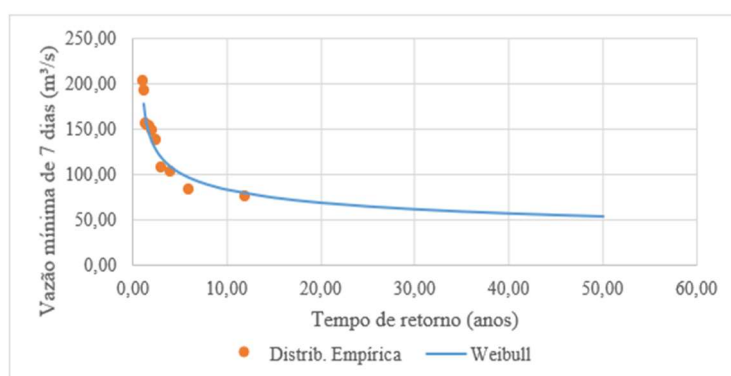


Figura 12 – Curva da distribuição teórica de Weibull para a estação de Ilha dos Pombos