

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do Pará



Calina Grazielli Dias Barros

Contribuição à Regionalização de Vazão Mínima de Referência na Amazônia Legal

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.
coorientada pelo Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa

Belém – Pará – Brasil

2016

CALINA GRAZIELLI DIAS BARROS

**CONTRIBUIÇÃO À REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO MÍNIMA DE
REFERÊNCIA NA AMAZÔNIA LEGAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Concentração em Engenharia Hídrica, linha de pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientador: Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D. Coorientador: Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa.

BELÉM/PA
2016



CONTRIBUIÇÃO À REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO MÍNIMA DE
REFERÊNCIA NA AMAZÔNIA LEGAL

AUTORA:

CALINA GRAZIELLI DIAS BARROS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL.

APROVADO EM: 25 / 10 / 2016.

BANCA EXAMINADORA:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Claudio Blanco', written over a horizontal line.

Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.
Orientador (UFPA)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Francisco Carlos Lira Pessoa', written over a horizontal line.

Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa
Co-Orientador (UFPA)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lindemberg Lima Fernandes', written over a horizontal line.

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Membro Interno (UFPA)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Michel Moreira', written over a horizontal line.

Prof. Dr. Michel Castro Moreira
Membro Externo (UFOB)

Visto:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dênio Ramam Carvalho de Oliveira', written over a horizontal line.

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barros, Calina Grazielli Dias, 1988-

Contribuição à regionalização de vazão mínima de referência na Amazônia Legal /Calina Grazielli Dias Barros.- 2016.

Orientador: Claudio José Cavalcante Blanco

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2016

1.Hidrologia 2. Bacias hidrográficas- Amazônia 3. Recursos hídricos- Amazônia 4. Medidores de fluxo- Modelos matemáticos I. Título

CDD 22.ed.551.48

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser a base espiritual fundamental e indispensável para guiar-me na direção certa.

Aos meus pais Carlos Antonio Barros e Rosalina de Lourdes Dias Barros, pelo amor, carinho, dedicação e apoio a mim dedicados.

Às minhas irmãs, Carla e Camila, por serem meu esteio quando mais precisei.

À minha sobrinha Náthalye Mariany, que em muitas noites me alegrou com seu lindo sorriso.

À Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Professor Claudio José Cavalcante Blanco, pela atenção, orientação e confiança demonstradas durante a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo incentivo financeiro através da bolsa de estudos.

Ao Professor Francisco Carlos Lira Pessoa, pela atenção e orientação demonstrados.

Aos professores do mestrado, pela transmissão de conhecimento.

Ao Grupo de Pesquisa em Água, Energia e Sustentabilidade da Amazônia – GAES.

Aos amigos Bruna Silva, Laila Rover, Sâmia Ribeiro, Roberto Correa, Eduardo Aguiar, Pablo Oliveira, Raphael Sampaio pelo apoio, atenção e, principalmente, pela amizade e pelos bons momentos que passamos juntos.

Aos colegas do mestrado, pelo apoio e atenção.

A todos os amigos, tios, primos, cunhados, colegas e professores que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

Agradeço, especialmente, a minha querida Ana Lúcia Denardin da Rosa, pelo apoio, companheirismo, atenção e dedicação... A Ana foi fundamental para esta conquista. Muito obrigada.

RESUMO

Estudos em recursos hídricos, que visam o conhecimento de vazões em bacias hidrográficas, são de grande importância em hidrologia, pois quase sempre a rede hidrométrica não cobre todas as regiões de interesse. Sendo assim, faz-se necessário o uso de técnicas que possibilitem a transferência de informações de locais monitorados para locais sem monitoramento. Neste contexto, foram propostos modelos matemáticos para determinação de vazão mínima de referência na Amazônia Legal, através do método de regionalização de vazões. A metodologia empregada teve como base a vazão mínima de referência $Q_{95\%}$, obtida a partir das curvas de permanência plotadas com base na equação de Weibull, além das características morfoclimáticas das bacias hidrográficas, como a área de drenagem (A), precipitação anual média (P) e comprimento do rio (L). Os dados utilizados para a regionalização pertencem a seis grupos hidrologicamente homogêneos analisados no estudo. De posse dessas informações, e a fim de definir quais variáveis explicativas (A , P e L) fariam parte dos modelos a serem aplicados, foi realizado o teste de multi-colinearidade. Assim, tomando-se o resultado do teste anterior, foram construídos os modelos matemáticos de regionalização da vazão mínima de referência $Q_{95\%}$, por meio de modelos de regressão múltipla (linear, potencial, exponencial e logarítmico). Em primeira análise, os valores de desempenho (erros percentual absoluto médio, coeficientes de determinação, coeficiente de determinação ajustados) foram insatisfatórios. Por essa razão, optou-se em dividir os grupos hidrologicamente homogêneos em função do intervalo com mesma ordem de grandeza de áreas e vazões. Dessa forma, os resultados obtidos no ajuste dos modelos apresentaram um melhor desempenho, que pode ser verificado pelo erro percentual absoluto médio abaixo de 13,78% em todos os grupos. Os modelos que obtiveram melhor desempenho foram selecionados para a validação, observando-se dessa maneira, que o modelo linear foi o que apresentou os melhores resultados para nove dos grupos e subgrupos testados, destacando-se também os modelos potencial e logarítmico, em que cada um simulou seis dos subgrupos. Assim, a partir das equações regionais que apresentaram bons resultados, tanto no ajuste quanto na validação, pode-se obter a vazão $Q_{95\%}$ em uma bacia sem dados de vazão em função das regiões homogêneas ou grupos determinados no estudo, tendo como dados de entrada as características físicas e climáticas dessa bacia.

Palavras-chave: Regionalização; Amazônia Legal; Vazão $Q_{95\%}$; Ajuste de modelos.

ABSTRACT

Studies aimed at knowledge flows in ungauged sites, are of great importance in hydrology, because almost always the hydrometric network does not cover all areas of interest. Therefore, it is necessary to use techniques that allow the transfer of local information monitored for ungauged sites. In this context, this paper proposes mathematical models to determine the remaining flow in the Amazon, using the regionalization method of flow. The methodology was based on the minimum flow $Q_{95\%}$ obtained from the flow duration curve plotted based on the Weibull equation, in addition to morphoclimatic characteristics of river basins, such as the drainage area (A), average annual precipitation (P) and the river length (L). The data used for regionalization belong to six hydrologically homogeneous groups analyzed in the study. With this information, and in order to define which explanatory variables (A, P and L) would be part of the models to be applied, the multi-collinearity test was performed. Thus, taking the result of the previous test, the mathematical models of regionalization of the minimum reference flow $Q_{95\%}$ were constructed through multiple regression models (linear, potential, exponential and logarithmic). In the first analysis, the performance values (mean absolute percentage errors, determination coefficients, adjusted coefficient of determination) were unsatisfactory. For this reason, it was chosen to divide the hydrologically homogeneous groups according to the interval with the same order of magnitude of areas and flows. In this way, the results obtained in the adjustment of the models presented a better performance, which can be verified by the average absolute error below 13.78% in all groups. The models that obtained the best performance were selected for the validation, observing in this way, that the linear model was the one that presented the best results for nine of the groups and subgroups tested, standing out also the potential and logarithmic models, that simulated six of the subgroups each. Thus, from the regional equations that presented good results, both in the adjustment and in the validation, we can obtain the flow rate $Q_{95\%}$, in a basin without flow data according to the homogeneous regions or groups determined in the study, having as data of The physical and climatic characteristics of this basin.

Keywords: Regionalization; Amazon; Flow $Q_{95\%}$; Adjustment models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de permanência da estação Base do Cachimbo, Pará.	26
Figura 2. Características da Amazônia Legal.	34
Figura 3. Distribuição espacial das estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas no estudo.	36
Figura 4. Representação esquemática para determinação das equações de regionalização.	37
Figura 5. Regiões Hidrologicamente Homogêneas de vazão da Amazônia Legal.	39
Figura 6. Representação esquemática do método de validação cruzada <i>Jack-Knife</i>	44
Figura 7. Representação esquemática da divisão dos Subgrupos para determinação das equações de regionalização.	50
Figura 8. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 1.	61
Figura 9. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 2.	63
Figura 10. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 3.	64
Figura 11. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 4.	64
Figura 12. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 5.	64
Figura 13. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 8.	65
Figura 14. Equações de regionalização da vazão mínima de referência e localização espacial do local de possível uso.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição das vazões de retirada e de consumo para diferentes usos nos anos 2006 e 2010.	17
Tabela 2. Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais no Brasil.	20
Tabela 3. Equações para estimativa da frequência observada.	25
Tabela 4. Grupos homogêneos utilizados na regionalização.	36
Tabela 5. Regiões Hidrológicamente Homogêneas e distribuição dos dados.	38
Tabela 6. Modelos de regressão múltipla.	40
Tabela 7. Tabela ANOVA da regressão múltipla.	42
Tabela 8. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 1.	47
Tabela 9. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 2.	48
Tabela 10. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 3.	48
Tabela 11. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 4.	48
Tabela 12. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 5.	49
Tabela 13. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 8.	49
Tabela 14. Ajuste preliminar dos modelos de regressão – vazão $Q_{95\%}$	49
Tabela 15. Intervalos de vazões ($m^3.s^{-1}$) para formação dos Subgrupos.	51
Tabela 16. Estações retiradas do Grupo Homogêneo 1 por apresentaram ε (%) acima de 20%.	51
Tabela 17. Desempenho dos modelos ajustados para a vazão $Q_{95\%}$ do Grupo Homogêneo 1.	52
Tabela 18. Intervalos de vazões ($m^3.s^{-1}$) para formação dos Subgrupos.	53
Tabela 19. Estações retiradas do Grupo Homogêneo 2 por apresentaram ε (%) acima de 20%.	54
Tabela 20. Desempenho dos modelos ajustados para a vazão $Q_{95\%}$ do Grupo Homogêneo 2.	54
Tabela 21. Intervalos de vazões ($m^3.s^{-1}$) para formação dos Subgrupos.	55
Tabela 22. Estações retiradas do Grupo Homogêneo 3 por apresentaram ε (%) acima de 20%.	55
Tabela 23. Desempenho dos modelos ajustados para a vazão $Q_{95\%}$ do Grupo Homogêneo 3.	55
Tabela 24. Estações retiradas do Grupo Homogêneo 4 e 5 por apresentaram ε (%) acima de 20%.	56
Tabela 25. Desempenho dos modelos ajustados para a vazão $Q_{95\%}$ do Grupo Homogêneo 4, 5 e 8.	56
Tabela 26. Equações de regionalização.	57
Tabela 27. Coeficientes de NASH, RMSE e EAM dos modelos de regionalização de vazão mínima de referência $Q_{95\%}$	59
Tabela 28. Percentual dos critérios de qualidade dos grupos homogêneos estudados.	60

LISTA DE SIGLAS

AAGISA-PB	Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
BBM	<i>Building Block Methodology</i>
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DAEE-SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São de Paulo
DRIFT	<i>Downstream Response to Imposed Flow Transformations</i>
EAM	Erro Absoluto Médio
FEMARH-RR	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Roraima
FCM	<i>Fuzzy C-Means</i>
HIDROWEB	Sistema de Informações Hidrológicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFIM	<i>Instream Flow Incremental Methodology</i>
IGAM-MG	Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Minas Gerais
NASH	Coefficiente de Nash-Sutcliffe
NATURATINS-TO	Instituto Natureza do Tocantins
QMREG	Quadrado Médio da Regressão
QMRES	Quadrado Médio dos Resíduos
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
SECTMA-PE	Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco
SEMA-PA	Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Pará
SEMA-RS	Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul
SEMAR-PI	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí
SEMARH-GO	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás

SEPLANTEC-SE	Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia do Estado do Estado de Sergipe
SERHID-RN	Secretaria Estadual de Recursos Hídricos e Projetos Especiais do Estado do Rio Grande do Norte
SRH-BA	Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia
SRH-CE	Superintendência de Recursos Hídricos do Estado do Ceará
SQREG	Somatório dos Quadrados da Regressão
SQRES	Somatório dos Quadrados da Resíduos
SQT	Somatório dos Quadrados Totais
SUDERHSA-PR	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Estado do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

A [km ²]	área de drenagem da bacia
β_i [-]	coeficiente de regressão
ε [%]	erro absoluto médio percentual
L [km]	comprimento do talvegue principal
n [-]	tamanho da amostra
P [-]	número de variáveis independentes
P [mm]	precipitação anual média
$Q_{95\%}$ [m ³ s ⁻¹]	vazão mínima de referência com 95% de permanência no tempo
r [-]	coeficiente de correlação
R^2 [-]	coeficiente de determinação
R^2_a [-]	coeficiente de determinação ajustado
H_0 [-]	Hipótese Nula
H_1 [-]	Hipótese Alternativa
μ [-]	Média
\ln [-]	Logaritmo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Geral.....	16
1.1.2	Específicos.....	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	USOS DAS ÁGUAS E OS CONFLITOS GERADOS	17
2.2	ASPECTOS LEGAIS DAS VAZÕES REMANESCENTES	19
2.3	CONCEITOS E MÉTODOS DE VAZÕES MÍNIMAS	21
2.3.1	Métodos de Determinação de Vazão Mínima.....	23
2.4	MÉTODO HIDROLÓGICO: CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES	25
2.5	REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES	27
2.5.1	Regiões Hidrologicamente Homogêneas	28
2.5.1.1	Índice de validação PMB	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	ÁREA DE ESTUDO	33
3.2	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	35
3.2.1	Dados Utilizados no Estudo	35
3.2.2	Regiões Hidrologicamente Homogêneas	38
3.2.4	Regionalização.....	39
3.2.4.1	Método dos Mínimos Quadrados.....	40
3.2.4.2	Multi-colinearidade.....	42
3.2.4.3	Critérios de desempenho dos modelos.....	43
3.2.4.4	Validação dos modelos de Regionalização	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	ANÁLISE DE MULTICOLINEARIDADE	47
4.3	AJUSTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO	49
4.4	VALIDAÇÃO	58
4.5	REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO $Q_{95\%}$	61
5	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	68
	ANEXO A - DADOS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-CLIMÁTICAS UTILIZADAS NO ESTUDO.....	75
	ANEXO B - DADOS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO ESTUDO.....	84
	APÊNDICE A – RELAÇÃO DA $Q_{95\%}$ COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E O PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS, DESTACANDO ESTAÇÕES RETIRADAS DO GRUPO HOMOGÊNEO 1.	89
	APÊNDICE B – RELAÇÃO DA $Q_{95\%}$ COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E O PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS, DESTACANDO ESTAÇÕES RETIRADAS DO GRUPO HOMOGÊNEO 2.	91
	APÊNDICE C – RELAÇÃO DA $Q_{95\%}$ COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E O PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS, DESTACANDO ESTAÇÕES RETIRADAS DO GRUPO HOMOGÊNEO 3.	93

APÊNDICE D – RELAÇÃO DA $Q_{95\%}$ COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E O PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS, DESTACANDO ESTAÇÕES RETIRADAS DO GRUPO HOMOGÊNEO 4. 95

APÊNDICE E– RELAÇÃO DA $Q_{95\%}$ COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E O PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS, DESTACANDO ESTAÇÕES RETIRADAS DO GRUPO HOMOGÊNEO 5. 97

APÊNDICE F– RELAÇÃO DA $Q_{95\%}$ COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E O PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS, DESTACANDO ESTAÇÕES RETIRADAS DO GRUPO HOMOGÊNEO 8. 99

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e industrial tem ampliado os usos múltiplos da água e, ao redor do mundo, muitos conflitos são gerados pela disputa do domínio dos recursos hídricos, que em sua maioria são impulsionados pelo desenvolvimento econômico. Além disso, a maneira como estão distribuídos os recursos hídricos dificulta o equilíbrio entre demanda e oferta.

No Brasil, a maior disponibilidade hídrica concentra-se na região norte do país, porém os maiores conglomerados populacionais e industriais encontram-se na região sudeste. Desse modo, é preciso realizar a gestão dos recursos hídricos, adotando critérios, que minimizem os inevitáveis conflitos pelo uso da água, utilizando-se da bacia hidrográfica como unidade de gestão.

A outorga de direito de usos das águas e autorizações de intervenções hidráulicas, são instrumentos utilizados para a gestão das águas, e a fim de aplicá-los é imprescindível conhecer a disponibilidade hídrica da bacia. Sendo assim, é necessário conhecer os registros das principais variáveis hidrológicas, destacando-se a precipitação e a vazão, uma vez que de posse desses registros podem ser construídas as chamadas séries históricas de chuvas e vazões, as quais permitem a análise das frequências de ocorrências das mesmas ao longo do tempo.

A Resolução nº 542/2004 da Agência Nacional de Águas (ANA), adota um valor fixo para as vazões possíveis de serem outorgadas, sendo expressa pelo percentual da vazão mínima de referência ($Q_{95\%}$), o qual pode variar em função das peculiaridades de cada região. Contudo, alguns estados brasileiros possuem vazões mínimas de referência de $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e até mesmo a porcentagem das vazões, como por exemplo 30% da $Q_{7,10}$ e de 90% da $Q_{90\%}$. Entretanto, estados que ainda não possuem normativas definidas de tal valor, utilizam a $Q_{95\%}$ como vazão outorgável.

Dessa forma, para quantificar a vazão mínima de referência é necessário que haja o monitoramento da vazão através de estações fluviométricas, porém o Brasil apresenta uma deficiência na rede hidrométrica, pois não cobre todos os locais de interesse, existindo assim, regiões desprovidas de dados hidrológicos. Além disso, em alguns locais onde a rede hidrométrica está presente, existem lacunas temporais devido às dificuldades de monitoramento. Desse modo, faz-se necessário buscar metodologias que possam suprir essas deficiências, preenchendo tais lacunas, de modo que se tenha a melhor estimativa dos dados de interesse em seções nas quais não haja medições.

Uma possível solução para tais problemas é a utilização de técnicas de transferência de dados de outros locais hidrológicamente semelhantes para a bacia hidrográfica de interesse. Tal técnica é conhecida como regionalização hidrológica (TUCCI, 2009). De acordo com Li *et al.* (2010), a regionalização hidrológica é uma ferramenta que permite estimar valores de variáveis, como por exemplo vazão e precipitação, sendo necessário conhecer os processos hidrológicos e compreender a heterogeneidade espaço-temporal de propriedades morfoclimáticas das bacias hidrográficas e, dessa forma, pode-se realizar transferências de dados, para locais com inexistência e/ou insuficiência de dados, não sendo necessário estar em uma mesma região geográfica.

A estimativa das variáveis hidrológicas é realizada com base em modelos de cálculo das vazões estatisticamente ajustadas, que se demonstram aplicáveis a qualquer seção fluvial da bacia considerada (BARBOSA, 2004). Dessa forma, os modelos consideram as características morfoclimáticas da bacia que exercem maior importância em seu comportamento hidrológico. A partir disso, podem ser definidas equações regionais para serem aplicadas em regiões com inexistência de dados.

Nesse sentido, a regionalização hidrológica constitui-se em um instrumento eficaz em estudos de planejamento, projeto, operação e administração de recursos hídricos, pois viabiliza a obtenção de variáveis hidrológicas, como vazões mínimas de referência. Assim, pretende-se aplicar a metodologia de regionalização para estimar a vazão de permanência de 95% do tempo ($Q_{95\%}$), considerando diferentes variáveis explicativas como: área de drenagem, precipitação, comprimento do rio principal, tendo como área de estudo a Amazônia Legal, servindo de subsídio para a gestão dos usos múltiplos e racional dos recursos hídricos desta região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Determinar modelos regionais de vazão mínima de referência $Q_{95\%}$ para Amazônia Legal, através do método de regionalização de vazões.

1.1.2 Específicos

- Coletar dados de vazão e das variáveis explicativas da vazão;
- Estabelecer modelos regionais de vazão $Q_{95\%}$, a partir dos modelos de regressão linear, potencial, exponencial e logarítmico;
- Avaliar o desempenho dos modelos ajustados através do erro percentual absoluto médio, coeficiente de determinação e coeficiente de determinação ajustado;
- Validar os modelos através do método *Jack-Knife* e avaliar o desempenho por meio do coeficiente de *Nash-Sutcliffe* e da Raiz do Erro Quadrático Médio e Erro Absoluto Médio.
- Propor modelos regionais para determinação de vazão $Q_{95\%}$ em função das regiões homogêneas de vazão da Amazônia Legal.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 USOS DAS ÁGUAS E OS CONFLITOS GERADOS

As características quantitativas e qualitativas dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica podem mudar drasticamente, sejam pelas variações sazonais ou pelo crescimento populacional, urbanização e industrialização. As intensas atividades realizadas pelo homem consomem grandes parcelas das águas, além de gerarem poluentes, que em sua grande maioria são lançados nos rios sem tratamento ou com tratamento ineficiente (CHANG *et al.*, 2015).

Dessa forma, é importante definir os possíveis usos das águas, a fim de se observar a quantidade e qualidade necessária para cada uso. Nesse sentido, existem duas maneiras de se classificar os tipos de usos, são eles, o consuntivo e o não consuntivo.

- **Consuntivo:** quando a água é extraída de sua fonte natural e não retorna a ela, podendo ser utilizada parcelas ou todo o recurso disponível;

- **Não Consuntivo:** quando a água captada retorna à fonte de suprimento, praticamente sem perdas, isso quando utilizada, pois também pode ser caracterizado pela não retirada de água do corpo hídrico.

Como exemplos de usos consuntivos têm-se o abastecimento para consumo humano (urbano e rural), industrial, dessedentação de animais e irrigação. Já, entre os principais usos não consuntivos, destacam-se a geração hidrelétrica, navegação, pesca/aquicultura, turismo/recreação e proteção do ecossistema.

Na Tabela 1 estão expostos os valores de vazão retirada dos cursos d'água e vazão consumida pelas atividades de uso consuntivo no Brasil nos anos 2006 e 2010.

Tabela 1. Distribuição das vazões de retirada e de consumo para diferentes usos nos anos 2006 e 2010.

Demandas Consuntivas	Ano de referência 2006		Ano de referência 2010	
	Retirada do Brasil ($m^3.s^{-1}$)	Consumo do Brasil ($m^3.s^{-1}$)	Retirada do Brasil ($m^3.s^{-1}$)	Consumo do Brasil ($m^3.s^{-1}$)
Animal	147,0	118,4	151,5	125,0
Industrial	313,0	69,0	395,0	78,0
Irrigação	865,5	680,5	1.270,0	836,0
Rural	37,0	19,8	34,5	18,0
Urbano	479,0	98,7	522,0	104,0
Total	1.841,5	986,4	2.373,0	1.161,0

Fonte: Adaptado. ANA, 2013.

Comparando os valores totais de retirada de água do Brasil de $1.841,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e $2.373,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (Tabela 1) para os anos de 2006 e 2010, respectivamente, nota-se um aumento de aproximadamente 30% das vazões de retirada, esse aumento pode ser explicado pela alta demanda de água para uso na irrigação, que passou de $865,5$ para $1.270,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, fato que coincide com o desenvolvimento do agronegócio no país. Outro fator importante, é que nem toda água retirada dos cursos d'água é consumida pelas atividades consuntivas, o que pode ser notado quando comparado os valores das vazões retiradas e das vazões de consumo, como por exemplo, o abastecimento urbano, que apresentou um aumento de aproximadamente 10% no desperdício de água.

A disputa pelo uso da água envolve diferentes usuários de um mesmo manancial, independente se é pela qualidade ou pela quantidade disponível, o que acaba causando um estresse hídrico intensificando os conflitos. Em virtude desta disputa, é possível observar que várias localidades sofrem problemas relacionados ao uso das águas (CAMPOS e FRACALANZA, 2010).

É preciso ressaltar, que o crescimento populacional desordenado, a expansão agrícola e o aumento significativo da industrialização são fatores que contribuem fortemente para conflitos gerados pelos usos consuntivos, além da emigração de famílias de lugares onde a água já está escassa para lugares em que possam suprir suas necessidades básicas (CASTRO, 2012).

Estudos ressaltando a importância de uma gestão adequada para os mananciais, com o intuito de minimizar a disputa pela água, intensificaram-se nos últimos anos. Ye *et al.* (2014), realizaram uma investigação da atual exploração dos recursos hídricos e os diferentes tipos de usos da água nas três cabeceiras do rio Tarim na China. A situação encontrada foi de deficiência hídrica na bacia, gerando inevitavelmente conflito entre oferta e demanda de água.

Selby e Hoffmann (2014) realizaram uma análise histórica qualitativa das ligações entre a água e os conflitos nos estados do Sudão e do Sudão do Sul, propondo um modelo alternativo de relações ambiente-conflito, considerando três diferentes conjuntos de ligações possíveis entre a mudança ambiental e os conflitos. Concluíram, que os analistas e legisladores, o poder do Estado militarizado e as forças globais políticas-econômicas devem atentar em suas avaliações aos impactos dos recursos hídricos abundantes e potencial conflito ambiental, especialmente as mudanças climáticas.

No Brasil, estudos feitos por MOREIRA *et al.* (2014), analisaram os valores do índice de conflito pelo uso da água na gestão e no planejamento dos recursos hídricos, os quais foram aplicados à bacia do Ribeirão entre Ribeiros, os resultados apresentam seções com

potenciais conflitos pelo uso da água, devido às outorgas de vazões serem superiores as permitidas pela legislação.

Silva *et al.* (2015) analisaram os conflitos ambientais por água nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, que estão diretamente envolvidos no Projeto de Integração do Rio São Francisco e verificaram a existência de conflitos em todos os estados investigados, principalmente no Ceará e Pernambuco, concluindo que o projeto de transposição das águas do São Francisco intensifica conflitos ambientais entre as populações envolvidas.

Segundo Brasil (2006), na Região Hidrográfica Amazônica a questão da água como objeto de conflito ocorre de maneira indireta, visto que pelos dados de disponibilidade hídrica o balanço de demanda/oferta (<1%), situa a região numa posição excelente. Os conflitos indiretos observados são devido à falta de infraestrutura urbana de abastecimento de água e de esgotamento de águas servidas, nos grande centro urbanos.

Já no contexto das discussões sobre a construção de usinas hidrelétricas, nessa região hidrográfica, os conflitos são gerados pela inundação de grandes áreas e a indisponibilidade dessas para usos tradicionais, ou pela diminuição de vazões em determinados trechos do Rio, como no caso do trecho de vazão reduzida criado pela construção da Usina de Belo Monte no estado do Pará (OLIVEIRA e COHN, 2014).

Nesse contexto, percebe-se, que muitos estudos ainda precisam ser realizados para se identificar as causas de disputas por águas, bem como estudos para tentar evitá-las ou mitigá-las. Além disso, esses estudos devem ser colocados em práticas pelos órgãos responsáveis pelas outorgas e dessa forma unificar as informações para que sejam disponibilizadas, facilitando o acesso por parte dos gestores e da comunidade acadêmica.

2.2 ASPECTOS LEGAIS DAS VAZÕES REMANESCENTES

No Brasil, segundo ANA (2005) cada estado regulamenta a outorga do uso da água de forma individual, utilizando metodologias com critérios hidrológico-estatísticos, a própria ANA regulamenta como vazão máxima outorgável 70% da $Q_{95\%}$, podendo variar de acordo com as peculiaridades de cada região. No entanto, há uma significativa disparidade entre os estados no que se refere à gestão dos recursos hídricos (Tabela 2).

Tabela 2. Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais no Brasil.

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável	Limites máximos de vazões consideradas insignificantes	Legislação referente à definição das vazões insignificantes
ANA	70% da $Q_{95\%}$ podendo variar em função das peculiaridades de cada região. 20% da $Q_{95\%}$ para cada usuário individual.	Não existe, em função das peculiaridades do País, podendo variar o critério.	1,0 L.s ⁻¹	Resolução ANA 542/2004
SRH-BA	80% da $Q_{90\%}$ 20% para cada usuário individual.	Decreto Estadual nº 6.296/97	0,5 L.s ⁻¹	Decreto Estadual 6.296/97
SRH-CE	90% da $Q_{90\%reg}$	Decreto Estadual nº 23.067/94	2,0 m ³ .h ⁻¹ (0,56 L.s ⁻¹ – para águas superficiais e subterrâneas).	Decreto Estadual nº 23.067/94
SEMARH-GO	70% da $Q_{95\%}$	Não possui legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo.	Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99.	1,0 L.s ⁻¹ para a maior parte do Estado e 0,5 L.s ⁻¹ para as regiões de escassez (águas superficiais) 10 m ³ .dia ⁻¹ (águas subterrâneas)	Deliberação CERH-MG nº 09/2004
SEMA-PA	70% da $Q_{95\%}$	Resolução CERH nº 3/2008	-	-
AAGISA-PB	90% da $Q_{90\%reg}$. Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.	Decreto Estadual nº 19.260/1997	2,0 m ³ .h ⁻¹ (0,56 L.s ⁻¹ para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual 19.260/1997
SUDERHSA-PR	50% da $Q_{95\%}$	Decreto Estadual nº 4646/2001	1,0 m ³ .h ⁻¹ (0,3 L.s ⁻¹)	-
SECTMA-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir.	Não existe legislação específica.	0,5 L.s ⁻¹ ou 43 m ³ .dia ⁻¹ (águas superficiais) 5,0 m ³ .dia ⁻¹ (águas subterrâneas para abastecimento humano).	Decreto Estadual 20.423/98
SEMAR-PI	80% da $Q_{95\%}$ (Rios) e 80% da $Q_{90\%}$ (Açudes).	Não existe legislação específica.	Não estão ainda definidos.	-

SERHID-RN	90% da $Q_{90\%reg}$	Decreto Estadual N° 13.283/97	1,0 m ³ .h ⁻¹ (0,3 L.s ⁻¹)	Decreto Estadual n° 13.283/97
FEMARH-RR	$Q_{7,10}$ ou $Q_{90\%}$ ou Q_L	Decreto N° 8.121/2007	1,0 Ls ⁻¹	Decreto N° 8.121/2007
SEMA-RS	Não está definido.	-	Média mensal até 2,0 m ³ dia ⁻¹ (águas subterrâneas).	Decreto Estadual 42047/2002
DAEE-SP	50% da $Q_{7,10}$ por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{7,10}$.	Não existe legislação específica.	5,0 m ³ dia ⁻¹ (águas subterrâneas).	Decreto Estadual 32.955/91
SEPLANTEC-SE	100% da $Q_{90\%}$ 30% da $Q_{90\%}$ para cada usuário individual.	Não existe legislação específica.	2,5 m ³ h ⁻¹ Ls ⁻¹ (0,69 Ls ⁻¹)	Resolução n° 01/2001
NATURATINS-TO	$Q_{90\%}$	Decreto N° 2432/2005	1,0 Ls ⁻¹	Decreto N° 2432/2005

Fonte: ANA, 2005.

Nos estados de Goiás e Piauí, que não possui legislação específica, a vazão outorgável é de 70% da $Q_{95\%}$ e 80% da $Q_{95\%}$, respectivamente, já o estado do Paraná que possui o decreto estadual n° 4646/2001, outorga 50% da $Q_{95\%}$. Outros, porém, possuem uma experiência intermediária (PE, RN, PB e GO), enquanto os demais possuem pouco ou nenhum grau de estruturação, especialmente na Amazônia (ANA, 2005).

No que diz respeito à Amazônia Legal, apenas os estados do Pará, Roraima e Tocantins possuem legislação referente a vazão máxima outorgável, sendo determinado 70% da $Q_{95\%}$, para o Pará e $Q_{90\%}$ para o Tocantins, já o estado de Roraima determina que a vazão de referência para fins de concessão de outorga deve ser a $Q_{7,10}$ ou $Q_{90\%}$ ou Q_L .

Segundo Mendes (2007), o ideal seria utilizar métodos que tivessem como base o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, considerando critérios sociais, econômicos e políticos da região. Fazendo da bacia, a unidade de planejamento e gestão, como estabelecido na Lei 9.433/97.

2.3 CONCEITOS E MÉTODOS DE VAZÕES MÍNIMAS

Impactos causados a jusante e a montante de barragens, e a retirada de água dos rios para a irrigação, começaram a ser notados no século XX e em resposta a esses impactos verificou-se que era necessário limitar a quantidade de água que deveria ser retirada de um rio, introduzindo o conceito de vazão mínima (COLLISCHONN, 2001).

Assim, segundo Medeiros, Souza e Ribeiro (2011), a vazão mínima é uma característica hidrológica que tem sido muito utilizada para manter a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, ela é a vazão que deve permanecer no rio para suprir as necessidades ecológicas, tais como: a manutenção e conservação dos ecossistemas associados ao sistema aquático, preservação das condições de pulso hidrológico, transporte de sedimentos e nutrientes, após atender as atividades que fazem uso do curso d'água.

Na literatura são encontrados vários termos relacionados a esse tipo de vazão e segundo Benetti *et al.* (2003), podem ser chamadas de vazão residual, remanescente, ecológica e ambiental. Segundo a nota técnica do *The World Bank* (2003), vazão ambiental é um termo abrangente, que engloba todos os componentes do rio, onde a água que é deixada ou liberada para ele, tem como objetivo específico gerir as condições do ecossistema fluvial. Kumar *et al.* (2007) definiram vazão ambiental como sendo a água, que dever ser deixada no ecossistema para manter as características do rio.

Para Collischonn *et al.* (2006), as vazões ecológicas, residuais e remanescentes, referem-se à vazão que permanece no rio depois de retiradas de água para o exercício de atividades humanas (irrigação, abastecimento público e industrial e a geração de energia), evitando que os rios sequem no período de estiagem. Dessa forma, a vazão remanescente não pode ser tão baixa, pois afetaria a vida aquática, podendo extinguir algumas espécies.

Zhang (2006) diz que vazão ecológica, é um valor que se refere à quantidade de água necessária para proteger a estrutura e função dos ecossistemas aquáticos em algum nível acordado. Segundo Resolução 129/11 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a vazão mínima remanescente pode ser definida como “a menor vazão a ser mantida no curso de água em seção de controle”. Tucci (2004) definiu vazão remanescente como um valor que deve ser mantido no rio para garantir a vida aquática e atender a qualidade da água, pois o rio não manterá sua biota caso toda a vazão seja utilizada, mesmo garantindo um valor mínimo de vazão em tempo integral. Nesse sentido, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de determinar a vazão remanescente de uma região, porém, dependendo do objetivo a ser atingido, a complexidade dos estudos de vazão remanescente pode variar.

Silva *et al.* (2006) determinaram as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$ e $Q_{90\%}$) para a outorga na região do Alto Rio Grande no estado de Minas Gerais, por meio de modelos de probabilidade de séries históricas de vazões mínimas diárias anuais; e mínimas anuais das médias de 7 dias consecutivos, sendo $Q_{7,10}$ e $Q_{90\%}$ determinadas pelos métodos de média móvel e curva de permanência, respectivamente. Vestena *et al.* (2012) tiveram como objetivo determinar a vazão ecológica ($Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{90\%}$) e avaliar preliminarmente a disponibilidade

hídrica na bacia hidrográfica do Rio das Pedras, localizado no estado do Paraná, através dos métodos da média mínima de sete dias com período de retorno de dez anos, vazões associadas às permanências de 95% e 90% do tempo, vazões mínimas anuais de sete dias e vazão aquática de base.

A comunidade científica internacional tem realizado estudos, utilizando a vazão remanescente como um parâmetro para a realização de suas atividades. Fang *et al.* (2010) com dados de 207 usinas hidrelétricas estabelecidas nos principais rios no Sudoeste da China, calcularam a capacidade instalada dos recursos hidrelétricos e a descarga a partir de diferentes níveis de garantia da vazão remanescente.

Os autores concluíram que o conhecimento científico e a determinação da taxa, e da escala de exploração hidrelétrica é muito importante e necessária para manter a saúde dos rios na China. Além de concluírem que a avaliação dos requisitos de vazão mínima, o nível de energia hidrelétrica explorável e o limite de exploração dos recursos de energia em diferentes rios, merecem uma atenção especial.

Liu *et al.* (2005) utilizaram um modelo numérico hidrodinâmico de qualidade de água para simular a condição de qualidade da água do rio Danshuei em Taiwan, com atenção especial para a parte de maré do Córrego Hsintien, estimaram a vazão mínima remanescente para a sobrevivência dos peixes, e propuseram alternativas para melhorar a qualidade da água.

Segundo Longhi *et al.* (2011) metodologias que determinam a vazão mínima remanescente surgiram nas décadas de 1970 e 1980, e existem aproximadamente 207 metodologias distribuídas em 44 países e segundo Sarmiento (2007) são classificados em: hidrológicas, hidráulicas, habitats e holísticas.

2.3.1 Métodos de Determinação de Vazão Mínima

Os métodos de determinação de vazão mínima podem ser classificados em grupos, cujas metodologias irão se diferenciar pelo objeto de estudos e informações disponibilizadas.

Métodos Hidrológicos: neste método os aspectos ambientais não são levados em consideração, utilizando apenas dados hidrológicos (séries temporais de vazão diárias, mensais ou anuais) para prever uma vazão de referência a ser mantida no curso d'água (COLLISCHONN *et al.*, 2006; LONGHI *et al.*, 2011). A vantagem de se utilizar o método hidrológico é a necessidade de poucas informações para sua aplicação, geralmente apenas dados de vazão. Os métodos hidrológicos são:

- Método da vazão média mínima de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$);

- Método da curva de permanência de vazões;
- Método da vazão mínima anual de 7 dias consecutivos;
- Método Tennant / Montana;
- Método da vazão aquática de base;
- Método da mediana das vazões mensais;
- Método da área de drenagem.

Método Hidráulico: a nota técnica do *The World Bank* (2003) define o método como a relação do fluxo do rio (descarga) e as características hidráulicas simples, tais como a profundidade da água, a velocidade ou perímetro molhado para calcular um fluxo aceitável. Este método é uma melhoria do método hidrológico, no entanto, o julgamento de um fluxo aceitável ainda se baseia nas características físicas do rio, quando deveria se basear no fluxo necessário da biota aquática. São métodos hidráulicos:

- Método do Perímetro Molhado;
- Método Raio Hidráulico Ecológico.

Método de Classificação de Habitats: esse método concilia as características hidráulicas com a preferência de habitat para uma determinada espécie, com o intuito de proteger a vida aquática, visto que os métodos anteriores não levavam em consideração tal proteção (BENETTI *et al.*, 2003). Métodos de classificação de habitats são:

- Método do *Instream Flow Incremental Methodology* (IFIM);
- Método Idaho;
- Método do Departamento de Pesca de Washington.

Método Holístico: para utilizar modelos de previsões holísticos é necessário realizar pesquisa socioeconômica, análise hidráulica e hidrológica do rio, para que sejam feitas ligações/relações entre as vazões características do rio e as vazões para manter os grupos biológicos, considerando todas as espécies que são sensíveis à vazão, como invertebrados, plantas e animais, contemplando ainda os aspectos das cheias, secas e qualidade da água. Porém, essas análises requerem tempo (LONGHI *et al.*, 2011). São métodos holísticos:

- *Building Block Methodology* (BBM);
- Método de *Downstream Response to Imposed Flow Transformations* (DRIFT).

Os métodos de classificação de habitats e holístico são mais completos quando se diz respeito aos aspectos ambientais. Porém, no Brasil as metodologias enquadradas no grupo hidrológico, são mais utilizadas para a determinação da vazão máxima, média e mínima, que são balizadoras no que se refere a licenças ambientais, avaliação de impacto ambiental de

obras hidráulicas, além de ser um parâmetro ambiental de disponibilidade hídrica para a análise de concessão de outorga (LONGHI *et al.* 2011).

2.4 MÉTODO HIDROLÓGICO: CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

O método da curva de permanência de vazões é uma ferramenta muito útil em estudos hidrológicos, pois fornecem informações claras, concisas e detalhadas sobre a variabilidade temporal dos rios, podendo ser usada em campos múltiplos, como, por exemplo, na determinação da vazão mínima para abastecimento, irrigação, ou ainda, para determinação de vazão de referência para gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

Em termos de comportamento, vale ressaltar que determinado evento hidrológico pode ser superior ou inferior a um valor histórico já registrado, fazendo-se necessário o estudo da frequência de ocorrência de tais eventos, portanto, através da curva de permanência pode-se obter a porcentagem de tempo (permanência), no qual a vazão de estudo foi superada ou igualada (MELLO e SILVA, 2013).

Para determinar a frequência de ocorrência (f_{obs}), podem ser utilizados diversos métodos empíricos (Tabela 3), que levam em consideração os dados plotados (i) e o tamanho da amostra (N).

Tabela 3. Equações para estimativa da frequência observada.

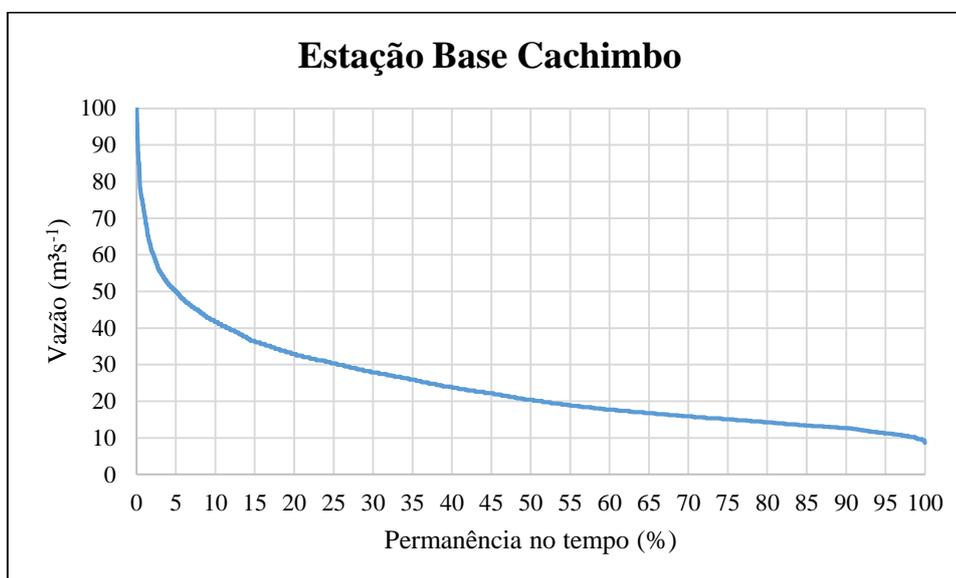
Fórmula	Autor
$f_{obs} = \frac{i}{N+1}$	Weibull
$f_{obs} = \frac{i-0,44}{N+0,12}$	Gringorten
$f_{obs} = \frac{i-0,375}{N+0,25}$	Blom
$f_{obs} = \frac{i-0,50}{N}$	Hazen
$f_{obs} = \frac{i-0,40}{N+0,20}$	Cunnane

Fonte: MELLO e SILVA, 2013.

Em estudos hidrológicos, nos quais há necessidade de estimar valores de vazão de referência, por exemplo, $Q_{95\%}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{50\%}$, as curvas de permanência tornam-se ferramenta de grande importância. Na Figura 1, está representada a curva de permanência da Estação Base do Cachimbo, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Tapajós, inserida no estado do

Pará. Nessa figura é possível perceber que a vazão com 95% de permanência no tempo é de aproximadamente $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Figura 1. Curva de permanência da estação Base do Cachimbo, Pará.



O estudo desenvolvido por Martins *et al.* (2011) utilizou a curva de permanência de cotas e vazões, como ferramenta, para analisar alterações no regime de vazões do baixo curso do Rio São Francisco provocadas pela construção do reservatório de Sobradinho. Já o estudo realizado por Soares *et al.* (2010) determinou a disponibilidade hídrica, para condições de vazões mínimas e médias, em pequenas bacias hidrográficas localizadas no estado de Santa Catarina, por meio da determinação das curvas de permanência.

Vergara *et al.* (2013) compararam a vazão de referência $Q_{90\%}$ mensal, bimestral e trimestral com a $Q_{90\%}$ sazonal feita pelo órgão ambiental do estado do Tocantins, considerando o ano hidrológico de outubro a setembro, concluindo que a vazão de referência $Q_{90\%}$ mensal é mais apropriada por apresentar as características intrínsecas de cada mês.

Apesar da utilização da curva de permanência para diversos estudos, a limitação pela falta ou a não disponibilidade de dados de vazão em muitas bacias brasileiras, acabam por sua vez, dificultando estudos relacionados a esse tipo de variável hidrológica. Porém, este problema vem sendo resolvido através da adoção de procedimentos de regionalização, que visam à transferência de informações hidrológicas de um local para o outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

2.5 REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

Em estudos hidrológicos, o termo regionalização vem sendo utilizado para denominar a transferência de informações de um local para o outro (TUCCI, 2002) desde que baseado no princípio do glossário hidrológico internacional (WMO, 2012), em que a regionalização é a identificação de áreas distintas, dentro de uma grande região que possua características hidrológicas semelhantes.

Ao longo dos anos, a regionalização tem recebido grande atenção, pois é uma importante ferramenta de previsão hidrológica que requer compreensão e conhecimentos sólidos dos processos hidrológicos. Segundo Li *et al.* (2010) existem vários métodos para determinar a regionalização, como por exemplo, regressão paramétrica, o método do vizinho mais próximo e o método de similaridade hidrológica.

O método mais antigo e mais utilizado é o de regressão paramétrica, podendo ser regressão simples ou múltipla (linear, exponencial, potencial, logarítmica, cúbico, recíproco). Em que os valores dos parâmetros são determinados por uma equação de regressão entre dados de vazão obtidos nas estações fluviométricas e as características físicas e climáticas da bacia, gerando modelos que podem ser utilizados para prever a vazão em locais sem dados hidrológicos (ALEXANDRE, 2007).

Neste contexto, estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de transferir informações dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante, como os trabalhos realizados por ASSANI *et al.* (2011); MWALE *et al.* (2010). Samuel *et al.* (2011) regionalizaram vazões em 93 bacias localizadas na província de Ontario no Canadá por meio dos métodos de regressão múltipla, similaridade física, proximidade espacial baseada na inversão da distância ponderada (IDP), krigagem e parâmetros médios, além da combinação dos métodos IDP e similaridade física. Os autores concluíram que a metodologia que alia o emprego de técnicas de interpolação e extrapolação às semelhanças físicas entre bacias é a mais apropriada para a região.

Mamun *et al.* (2010), selecionaram 82 estações fluviométricas localizadas na Península da Malásia com período de dados entre 10 e 37 anos, utilizando regressão multivariada para desenvolver equações de regionalização de vazões mínimas, concluindo que os modelos desenvolvidos apresentaram um ótimo desempenho, com o coeficiente de determinação acima de 0,90. Novaes *et al.* (2009), desenvolveram um modelo de regionalização de vazões mínimas, utilizando dados de 21 estações fluviométricas e 30 estações pluviométricas localizadas na Bacia do Rio Paracatu.

Esses autores concluíram que, a precipitação total nos meses anteriores à ocorrência da vazão correspondente ao início do período de recessão, permitiu uma boa estimativa do comportamento desta vazão e os maiores desvios obtidos para os valores do coeficiente de recessão do escoamento subterrâneo, ocorreram nas estações fluviométricas situadas em regiões de cabeceira. Nesse sentido, a utilização da regionalização de vazões torna-se importante em regiões como a Amazônia Legal, que apresenta poucos dados disponíveis para realização de estudos, podendo ser utilizada para estimar vazões mínimas em locais não monitorados.

2.5.1 Regiões Hidrologicamente Homogêneas

O conceito de regionalização está conectado ao de regiões homogêneas, ou seja, regiões com características similares. A identificação da similaridade regional, leva em consideração fatores físicos e climáticos, sendo sua determinação custosa e sujeita a subjetividades (NAGHETTINI e PINTO, 2007). De fato, Bobée e Rasmussen (1995) reconheceram que, a delimitação de regiões homogêneas é construída com base em premissas difíceis de serem tratadas com rigor matemático.

As primeiras tentativas para classificar e delimitar regiões homogêneas, foram baseados em coincidir os limites das regiões com os contornos da divisão política, administrativa e fisiográfica, os resultados obtidos não eram os desejados, principalmente, porque esta forma de divisão não garante, necessariamente, que a região seja homogênea em termos de respostas hidrológicas (NERC, 1975; BURN e GOEL, 2000). Dessa forma, cresceu o interesse por metodologias que representassem melhor as regiões homogêneas, sendo criados então, critérios baseados nas características da bacia hidrográfica. Conforme Hosking e Wallis (1997), os métodos para a definição de regiões homogêneas podem ser:

- Conveniência Geográfica;
- Análise de Agrupamento (*Clusters analysis*).

O método de Análise de Agrupamentos é a técnica de agrupamento multivariado mais aplicada na delimitação de regiões homogêneas, pois permite identificar grupos de bacias cujas características, dentro do agrupamento, são similares. Existem diversos métodos de agrupamento que podem resultar em diferentes padrões de agrupamento, sendo os métodos hierárquicos e particionais os mais utilizados. Porém, segundo Pessoa (2015), existem outras técnicas que podem ser empregadas para formação de agrupamentos como, por exemplo, algoritmos evolutivos, agrupamento difuso (*fuzzy c-means*), redes neurais, entre outras.

O algoritmo *Fuzzy C-Means* (FCM) proposto por Dunn (1973) e, mais tarde, generalizado por Bezdek (1981) é uma técnica multivariada de análise de dados, que permite substituir a configuração binária, teoria clássica dos conjuntos, por intervalos de pertinência, de forma que um elemento passa a pertencer a um ou mais conjuntos com um determinado grau de pertinência entre 0 e 1. Com essa propriedade de aglomerado distorcido, pode-se supor que os resultados fornecem mais informações para explicar os processos hidrológicos quando comparados aos métodos convencionais.

Para formalizar o algoritmo é necessário supor uma base de dados $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, na qual cada ponto x_k ($k = 1, \dots, n$) é um vetor de características em \mathfrak{R}^p , onde n é o total de objetos que compõem a base X , p é o número de variáveis e \mathfrak{R}^p representa um espaço p -dimensional dos números reais. A matriz pode ser escrita de acordo com a Eq. 1.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Assim, existe um conjunto U_{nc} que representa um grupo de matrizes reais $n \times c$, onde c é um inteiro e obedece a relação $2 \leq c < n$. A variável c denota o número de grupos que deverão ser encontrados. A matriz U (Eq. 3) pertencente a U_{nc} , é chamada de partição *fuzzy* para o domínio X . Essa matriz contém os graus de pertinência dos objetos em cada agrupamento obedecendo a seguinte relação (Eq. 2).

$$M_{fnc} = \left\{ U \in U_{nc} : u_{ik} \in [0,1], \sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, 0 < \sum_{k=1}^n u_{ik} < n \right\} \quad (2)$$

Em que u_{ik} é o grau de pertinência de x_k em um agrupamento i .

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1c} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & \cdots & u_{nc} \end{bmatrix}_{n \times c} \quad (3)$$

O algoritmo FCM é também um algoritmo iterativo. A cada iteração, novos centróides e graus de pertinência são calculados. O particionamento de dados em agrupamentos fuzzy é

alcançado, minimizando a função objetivo J_m (Eq. 4), que tem a tarefa de auxiliar na verificação da convergência do algoritmo FCM. Essa função depende do valor de m (parâmetro de fuzificação), que obedece a seguinte restrição: $1 < m < \infty$.

$$J_m(U, V : X) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (4)$$

A cada iteração t do algoritmo FCM é calculado um valor $J_m^{(t)}$ por meio de J_m . Subtraindo $J_m^{(t)}$ de $J_m^{(t-1)}$, obtendo-se ΔJ_m . Se ΔJ_m estiver próximo de zero, é um indicador que o algoritmo está convergindo. Na Eq. 4, $V = (v_1, \dots, v_c)$ é um vetor que contém os centróides dos agrupamentos, onde todo v_i ($i=1, \dots, c$) $\in \mathfrak{R}^p$. Assim, cada dado x_k será avaliado segundo sua proximidade a cada centróide v_i . Essa comparação é efetuada por meio da distância euclidiana entre x_k e v_i . O resultado é elevado à segunda potência e multiplicado pelo grau de pertinência u_{ik} à potência m . Todos esses resultados são acumulados, fornecendo um valor de referência, que deverá ser minimizado a cada iteração do algoritmo.

Segundo Hall e Mins (1999), o parâmetro de fuzificação é um parâmetro que controla o nível de difusividade no processo de classificação. Desta forma, para $m = 1$ os agrupamentos apresentam limites rígidos equivalentes aos do *K-means* e, à medida que o valor cresce, os limites se tornam mais difusos, sendo indicado por Ross (1995) valores entre $1,25 \leq m \leq 2$. Outras duas variáveis do algoritmo FCM são afetadas pelo valor de m : os centróides dos agrupamentos (Eq. 5) e os graus de pertinência (Eq. 6).

$$v_i^{(t)} = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^{(t)})^m x_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^{(t)})^m} \quad (5)$$

$$u_{ik}^{(t+1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{\|x_k - v_i^{(t)}\|^2}{\|x_k - v_j^{(t)}\|^2} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (6)$$

Na Eq. 5, $v_i^{(t)}$ representa o centróide de um agrupamento i ($i = 1, \dots, c$) em uma iteração t . Uma vez calculados os centróides $v_i^{(t)}$, os graus de pertinência são obtidos por meio da Eq. 6.

O algoritmo FCM pode ser resumido nos seguintes passos (Nascimento *et al.*, 2000; Farsadnia *et al.*, 2014):

1. Escolher valores para c (número de grupos), m (parâmetro de fuzificação) e critério de parada ε (erro).
2. Gerar aleatoriamente a matriz $U^{(0)}$, obedecendo às restrições impostas ($1 < m < \infty$).
3. Atribuir ao contador de iterações o valor 0.
4. Calcular os centróides (Eq. 5), a função objetivo J_m (Eq. 4) e os graus de pertinência (Eq. 6).
5. Comparar as matrizes de partição $U^{(t)}$ e $U^{(t+1)}$. Se $|U^{(t+1)} - U^{(t)}| < \varepsilon$, finalizar o algoritmo, caso contrário retornar ao passo 3, incrementando o contador de iterações $t = 1, 2, \dots, n$.

2.5.1.1 Índice de validação PMB

O índice PBM, cujo nome é formado pelas iniciais dos sobrenomes dos autores (Pakhira, Bandyopadhyay e Maulik), serve para validar os agrupamentos formados por meio da aplicação do método FCM descrito na seção anterior (PAKHIRA *et al.*, 2004). Esse índice (Eq. 7) é definido como o produto de três fatores (Eq. 8 a 10), dos quais a maximização assegura que a partição tem um pequeno número de grupos compactados com grande separação em pelo menos dois deles.

$$PBM(K) = \left(\frac{1}{K} \times \frac{E_1}{E_k} \times D_k \right)^2 \quad (7)$$

Sendo K o número de agrupamentos e:

$$E_k = \sum_{k=1}^k E_k \quad (8)$$

tal que

$$E_k = \sum_{j=1}^n u_{kj} \|X_j - Z_k\| \quad (9)$$

e

$$D_k = \max_{i,j=1}^k \|Z_i - Z_j\| \quad (10)$$

n é o número total de pontos em um conjunto de dados, $U(X) = [u_{kj}]_{k \times n}$ é uma matriz de partição para os dados; e Z_k é o centro do k -ésimo agrupamento. O objetivo é maximizar este índice a fim de se obter o número real de agrupamentos (PAKHIRA *et al.*, 2004), ou seja, quanto maior o índice PBM, melhor a partição. Assim como outros índices, o índice PBM é um índice de otimização, de forma que para se obter a melhor partição, deve-se executar o algoritmo para diversos valores de K e escolher aquele que resultar no maior valor de índice PBM.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

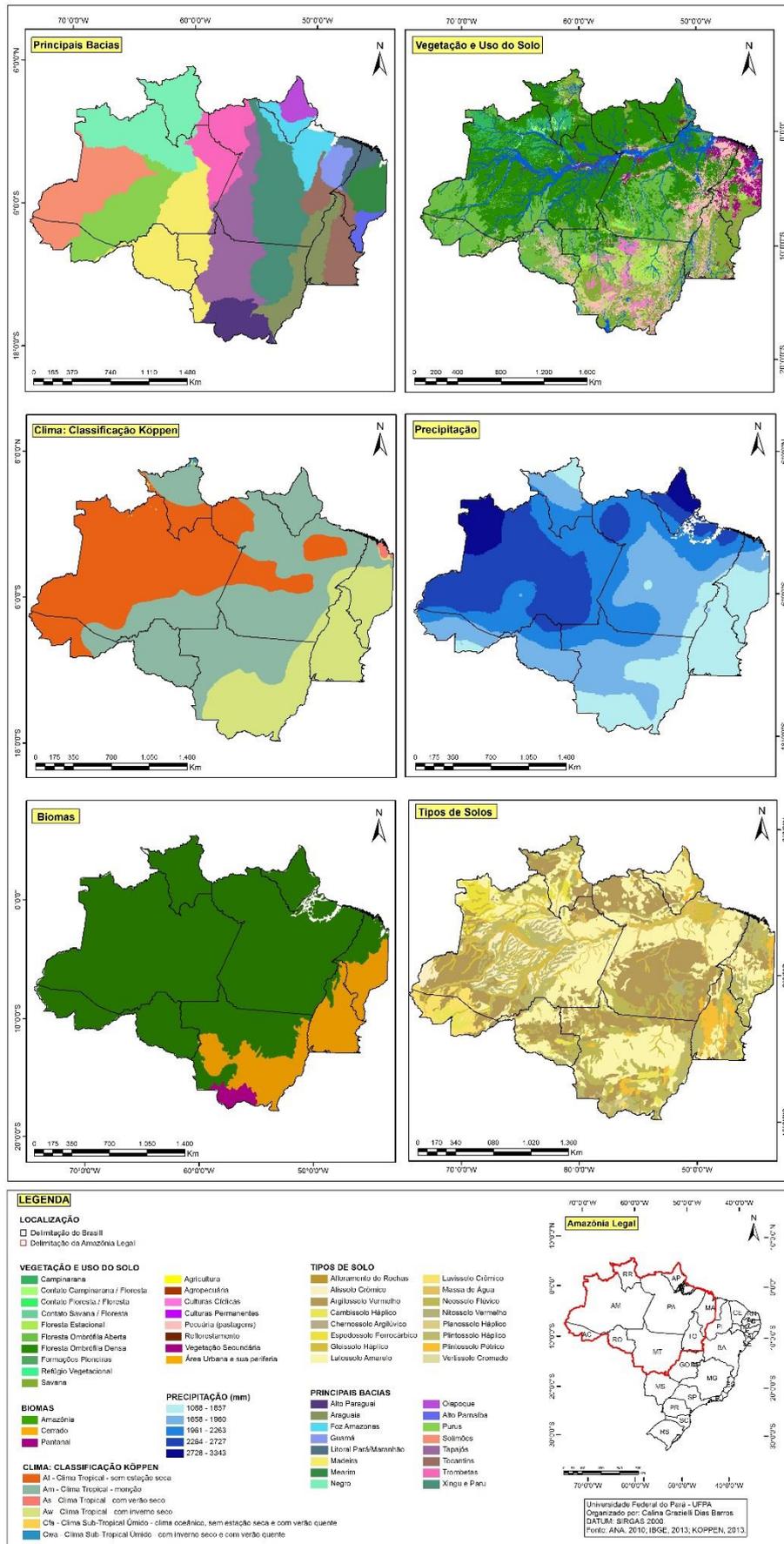
A área da Amazônia Legal foi instituída pela Lei nº 1.806/1953 e contém um patrimônio natural de imenso valor econômico e ambiental. Abrangendo os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parcialmente o estado do Maranhão, compreendendo aproximadamente 5,0 milhões de km² e a 60% do território brasileiro (IBGE, 2011).

Na Figura 2 encontra-se a delimitação da Amazônia Legal pertencente ao território brasileiro, bem como a vegetação, o uso do solo, o clima, a precipitação, biomas, tipo de solos e as principais bacias hidrográficas Alto Paraguai, Tapajós, Madeira, Purus, Solimões, Negro, Trombetas, Xingu, Paru, Oiapoque, Foz do Amazonas, Litoral Pará/Maranhão, Guamá, Mearim, Alto Parnaíba, Tocantins e Araguaia, que são formadoras da bacia hidrográfica do rio Amazonas.

Conhecida por sua grande disponibilidade hídrica, devido à vasta rede de drenagem composta por rios, lagos e igarapés. A bacia do rio Amazonas é a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, subdividindo-se por todos os países do norte da América Latina, desde os Andes até o Oceano Atlântico (EVA e HUBER, 2005), com 25.000 km de rios navegáveis, em cerca de 7,0 milhões de km², sendo que desses 3,8 milhões estão no Brasil (SILVA e DANTAS, 2012). O rio Amazonas descarrega no oceano Atlântico cerca de 200 mil m³ de água doce a cada segundo, sendo 134.119 m³.s⁻¹ de contribuições brasileiras (ANA, 2002).

A Amazônia é conhecida como a região que abriga a maior biodiversidade do planeta e a vegetação encontrada na Amazônia Legal apresenta-se “entre a faixa de vegetação savânica ao sul e a floresta ombrófila densa, com uma longa faixa de floresta ombrófila aberta, a qual representa a transição entre os biomas Cerrado e Amazônia” (EMBRAPA, 2011). Segundo a classificação de Köppen, a Amazônia Legal apresenta clima tropical e uma pequena parcela de clima subtropical úmido, em relação às temperaturas, as médias situam-se entre 24°C e 26°C, enquanto as precipitações médias anuais variam de 1.500 até 3.800 mm (ALVARES, 2013).

Figura 2. Características da Amazônia Legal.



Na Amazônia Legal (Figura 2), há predominância dos solos: Latossolo Amarelo, Argilossolo e Plintossolo Háplico. Segundo a EMBRAPA (2009), possuem as seguintes características:

- Latossolos: solos em avançado estágio de intemperização, variando de fortemente a bem drenados, normalmente muito profundos, em geral, são solos fortemente ácidos, típicos das regiões equatoriais e tropicais, podendo ocorrer também em zonas subtropicais.

- Argilossolo: solos medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados e constituídos por material mineral que têm como características diferenciais a presença de horizonte *B* textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico.

- Plíntossolo Háplico: típicos de zonas quentes e úmidas, compreendem solos minerais, formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, sua ocorrência está relacionada a terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado e menos frequentemente ondulado, em zonas geomórficas de depressão.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.2.1 Dados Utilizados no Estudo

Para a realização do estudo, foram utilizados os dados referentes às estações fluviométricas (Anexo A) e pluviométricas (Anexo B) pertencentes às regiões homogêneas determinadas por Pessoa (2015). Com relação à seleção dos grupos homogêneos, optou-se por aqueles que apresentavam estações fluviométricas suficientes para realizar a regionalização, definindo assim, seis grupos aptos, os grupos homogêneos 6, 7, 9 e 10 não foram utilizados devido ao número muito pequeno de estações (inferior a cinco estações).

Na Figura 3 estão expostas as estações fluviométricas e pluviométricas selecionadas no estudo, bem como na Tabela 4 encontram-se os grupos homogêneos utilizados.

Figura 3. Distribuição espacial das estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas no estudo.

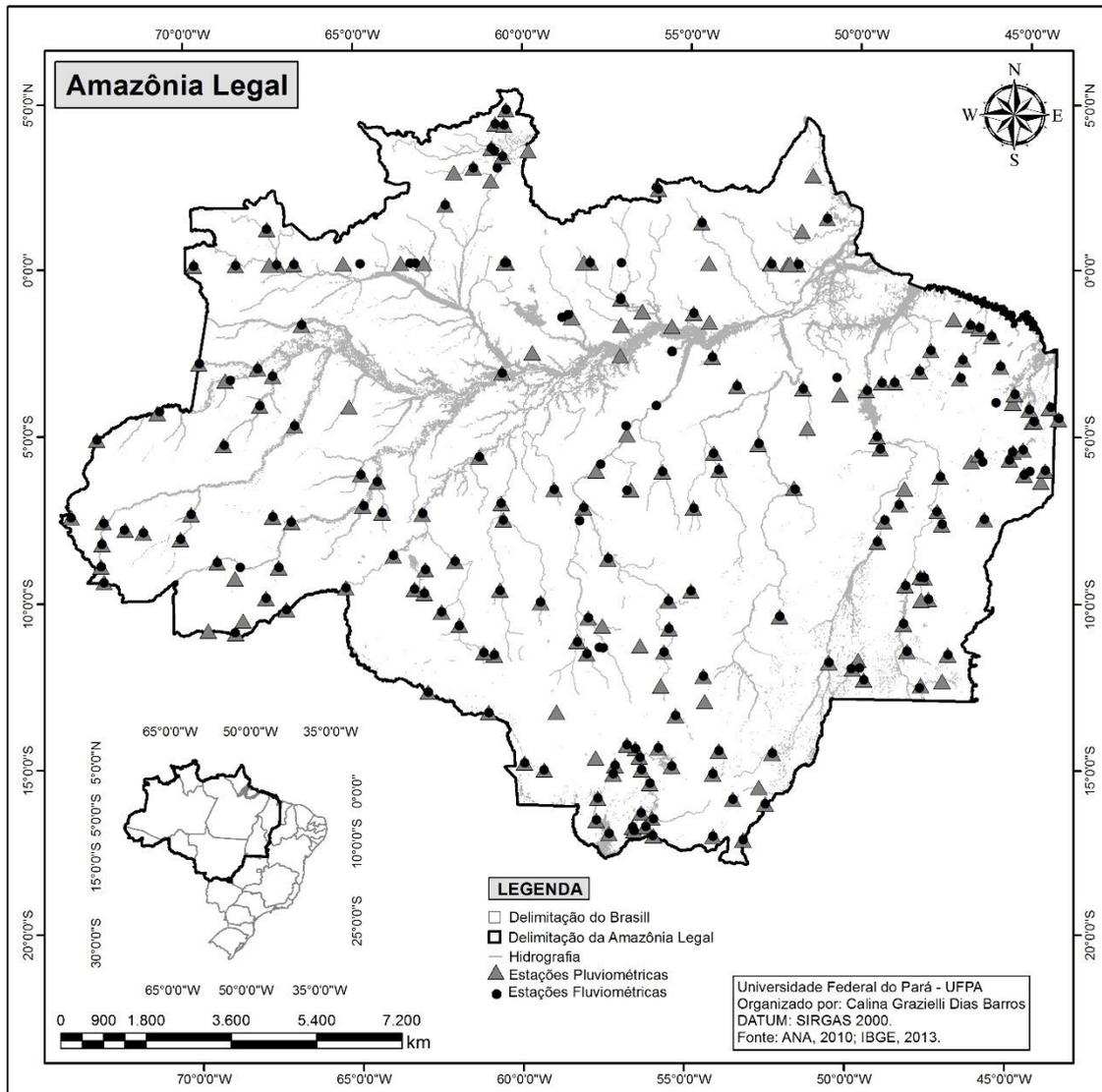


Tabela 4. Grupos homogêneos utilizados na regionalização.

Grupo	Quantidade de estações	(%) de estações pertencente à Amazônia Legal
1	101	48,56
2	55	26,44
3	21	10,10
4	10	4,81
5	6	2,88
8	6	2,88
Total	199	95,67

Fonte: Adaptado Pessoa, 2015.

Como variáveis explicativas foram selecionadas a precipitação anual média (P), em (mm), correspondente a cada estação; a área de drenagem (A), em (km^2); e o comprimento do rio principal (L), em (km).

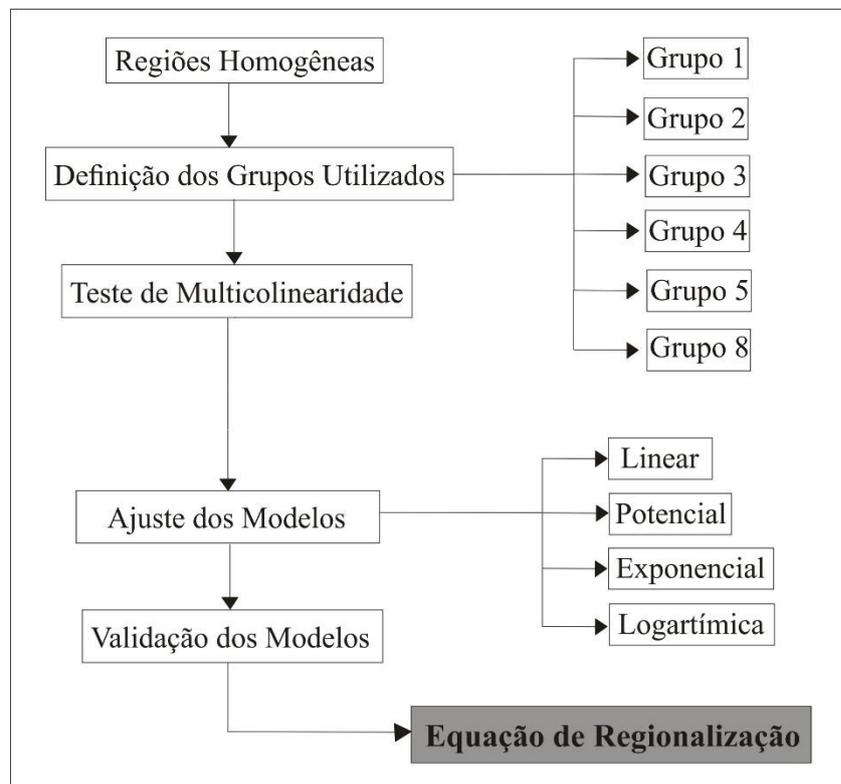
A vazão mínima de referência $Q_{95\%}$ foi obtida através das curvas de permanência baseada na série histórica diária de cada estação, no qual foi utilizada metodologia empírica de *Weibull plotting position* (WPP), onde a posição de plotagem é baseada na Eq. 11.

$$P_i(\%) = \frac{i}{(n+1)} * 100 \quad (11)$$

Sendo i o número de ordem do i -ésimo valor ordenado da vazão $Q(i)$, n o número de dados ordenado, e P_i a probabilidade de excedência (%), que por sua vez, é amplamente descrita nos livros de hidrologia (TUCCI, 2004).

De posse da vazão $Q_{95\%}$ (variável dependente) e das variáveis explicativas A (km^2), P (mm) e L (km), foi realizada a regionalização das vazões com a construção de modelos matemáticos baseados em regressão múltipla. Os procedimentos adotados no estudo seguem a ordem descrita na representação esquemática exposta na Figura 4.

Figura 4. Representação esquemática para determinação das equações de regionalização.



3.2.2 Regiões Hidrológicamente Homogêneas

As regiões hidrológicamente homogêneas utilizadas no estudo foram identificadas por Pessoa (2015), através do método de agrupamento *Fuzzy c-means* (FCM), a partir dos dados de 208 estações fluviométricas e pluviométricas pertencentes ao Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB, 2015) da Agência Nacional de Águas (ANA), determinando assim, 10 regiões homogêneas para a Amazônia Legal (Tabela 5).

Tabela 5. Regiões Hidrológicamente Homogêneas e distribuição dos dados.

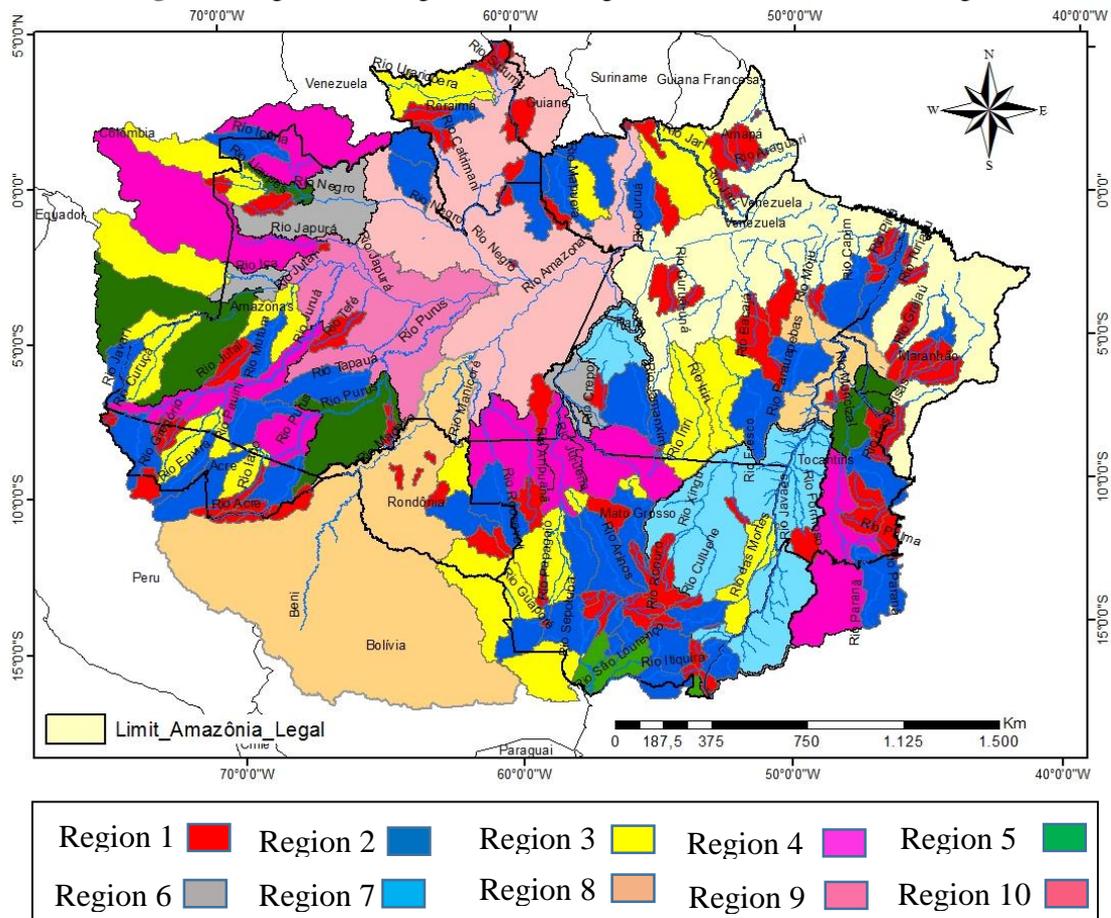
Grupos	NE	%	Área de drenagem (km²)	Vazão média (m³.s⁻¹)	Precipitação anual média (mm)
1	101	48,56	491-17.990	150	1837
2	55	26,44	18.394 - 47.038	925	1883
3	21	10,10	51.147 - 112.186	1824	2027
4	10	4,81	133.571 - 193.372	4646	2343
5	6	2,88	225.424 - 293.084	13014	2178
6	4	1,92	317.967 - 367.791	22882	2342
7	3	1,44	456.347 - 508.733	9083	1829
8	6	2,88	889.201 - 1.082.709	17661	2162
9	1	0,48	1.402.097	101158	2250
10	1	0,48	3.911.283	170013	1778
Total	208	100			

NE: Número de Estações

Fonte: PESSOA, 2015.

Segundo Pessoa (2015), a variável explicativa área de drenagem foi a que apresentou maior significância na formação dos agrupamentos, de modo que, as áreas na Tabela 5 foram apresentadas de forma crescente e a precipitação anual média, expressa com um único valor correspondente a média de cada grupo. Na Figura 5, está exposto a distribuição espacial das regiões hidrológicamente homogêneas de vazões encontradas na região da Amazônia Legal por meio do algoritmo *Fuzzy c-means*.

Figura 5. Regiões Hidrológicamente Homogêneas de vazão da Amazônia Legal.



Fonte: PESSOA, 2015.

A definição dos grupos homogêneos que foram utilizados no estudo, levou em consideração o número de estações pertencentes a cada região homogênea. Assim, apenas os grupos 1, 2, 3, 4, 5 e 8 foram utilizados, pois possuem número maior que quatro estações, podendo-se, dessa forma, aplicar as metodologias descritas. Vale ressaltar que os grupos selecionados para o estudo representam 95,67% das estações fluviométricas da Amazônia Legal.

3.2.4 Regionalização

O estudo de regionalização de vazões mínima de referência na Amazônia Legal foi realizado, utilizando a vazão $Q_{95\%}$ dos grupos homogêneos já definidos anteriormente. No que diz respeito às características morfoclimáticas, foram utilizadas a área de drenagem, a precipitação média anual e o comprimento do rio principal.

Deste modo, foram definidas, como variável dependente a vazão $Q_{95\%}$ e variáveis independentes A (km^2), P (mm) e L (km), sendo aplicados os modelos de regressão múltipla, cuja função matemática que relaciona as variáveis dependentes e independentes é a Eq. 12.

$$Q = f(A, P, L) \quad (12)$$

De posse dos valores das variáveis dependentes e independentes foram aplicadas as técnicas de regressão múltipla com base nos modelos: linear, potencial, exponencial e logarítmico. Esses modelos já foram utilizados no estudo de regionalização desenvolvido por Mimikou e Kaemaki (1985), nas regiões hidrologicamente homogêneas do oeste e noroeste da Grécia. Quando necessário foi aplicado à transformação logarítmica na variável dependente, nas variáveis independentes ou em ambas, com o intuito de utilizar modelos não lineares, como se pode observar na Tabela 6.

Tabela 6. Modelos de regressão múltipla.

Modelos	Equações
Linear	$Q = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot L$
Potencial	$Q = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot L^{\beta_3}$
Transformação Potencial	$\ln Q = \ln \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln A + \beta_2 \cdot \ln P + \beta_3 \cdot \ln L$
Exponencial	$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot L)}$
Transformação Exponencial	$\ln Q = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot L$
Logarítmico	$Q = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln A + \beta_2 \cdot \ln P + \beta_3 \cdot \ln L$

Os coeficientes de regressão β_0 , β_1 , β_2 , β_3 foram estimados pelo método dos mínimos quadrados.

3.2.4.1 Método dos Mínimos Quadrados

Os modelos de regressão da Tabela 5 são representados em notação matricial (Eq. 13).

$$[Y] = [X] * [\beta] \quad (13)$$

Sendo $[Y]$ um vetor ($n \times 1$) das observações da variável dependente, $[X]$ uma matriz ($n \times P$) com as n observações de cada uma das P variáveis independentes, e $[\beta]$ um vetor ($P \times 1$) com os parâmetros desconhecidos.

Sua forma matricial é exposta na Eq. 14.

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_3 \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} 1 & X_{1,1} & X_{1,2} & \cdots & X_{1,P} \\ 1 & X_{2,1} & X_{2,2} & \cdots & X_{2,P} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n,1} & X_{n,2} & \cdots & X_{n,P} \end{pmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_3 \end{pmatrix} \quad (14)$$

As equações normais de regressão são representadas pelo seguinte sistema (Eq. 15).

$$[X]^T * [Y] = [X]^T * [X * \hat{\beta}] \quad (15)$$

As equações normais (Eq. 16) podem ser obtidas mediante multiplicação de ambos os membros do modelo linear exposto na Tabela 5, por 1, X_2, \dots, X_i , sucessivamente, e a soma membro a membro das expressões resultantes.

$$\begin{cases} \sum Y = \beta_1 * N + \beta_2 * \sum X_2 + \cdots + \beta_i * \sum X_i \\ \sum Y * X = \beta_1 * \sum X_2 + \beta_2 * \sum X_2^2 + \cdots + \beta_i * \sum X_i * X_2 \\ \sum Y * X_i = \beta_1 * \sum X_i + \beta_2 * \sum X_2 * X_i + \cdots + \beta_i * \sum X_i^2 \end{cases} \quad (16)$$

Em que Y é a variável dependente, X_i são as variáveis independentes, N o tamanho da amostra e os β_i são os coeficientes de regressão.

As soluções da Eq. 15 são encontradas pela multiplicação dos termos da equação por $([X]^T * [X])^{-1}$.

Desse modo, a solução do vetor corresponde ao estimador de mínimos quadrados de $[\hat{\beta}]$ (Eq. 17).

$$[\hat{\beta}] = \left([X]^T * [X] \right)^{-1} * [X]^T * [Y] \quad (17)$$

O somatório total dos quadrados pode ser representado pela Eq. 18.

$$[X]^T * [Y] = n * \bar{Y}^2 + \left([\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] - n * \bar{Y}^2 \right) + \left([X]^T * [Y] - [\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] \right) \quad (18)$$

Essas parcelas dos somatórios dos quadrados são calculadas por planilhas eletrônicas na forma de uma tabela de análise de variância (ANOVA), tal como ilustra a Tabela 7.

Tabela 7. Tabela ANOVA da regressão múltipla.

Fonte	Grau de liberdade	Somatório dos quadrados	Quadrado médio
Regressão	P	$SQ \text{ Reg} = [\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] - n\bar{Y}^2$	$QM \text{ Reg} = \frac{SQ \text{ Reg}}{P}$
Resíduos	$n - P - 1$	$SQ \text{ Res} = [Y]^T [Y] - [\hat{\beta}]^T [X][Y]$	$QM \text{ Res} = \frac{SQ \text{ Res}}{n - P - 1}$
Total	$n - 1$	$SQT = [Y]^T [Y] - n\bar{Y}^2$	-

Na Tabela 7, n é o tamanho da amostra, P o número de variáveis independentes, $SQ \text{ Reg}$ o somatório dos quadrados da regressão, $QM \text{ Reg}$ o quadrado médio da regressão, $QM \text{ Res}$ o quadrado médio dos resíduos e SQT o somatório dos quadrados totais.

3.2.4.2 Multi-colinearidade

Análise da multi-colinearidade tem por objetivo avaliar a relação que as variáveis independentes apresentam entre si, quando estas são selecionadas para a construção dos modelos matemáticos (MILOCA, 2008). Assim a multi-colinearidade é definida por Frisch (1934) como a situação em que as variáveis explicativas são altamente correlacionadas, ou seja, existe uma forte correlação entre uma ou mais variáveis independentes.

Dessa forma, quando há a presença de multi-colinearidade é preciso ter cuidado, pois a mesma pode afetar a intensidade com que uma variável independente é capaz de explicar a variável dependente. Um ponto de partida para verificar a existência ou não de multi-colinearidade pode ser analisar as correlações simples entre as variáveis independentes. Se o coeficiente de correlação apresentar valores superiores a 0,85, é necessário eliminar uma, em cada conjunto de duas variáveis explicativas para eliminar a existência de colinearidade entre variáveis explicativas (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

A matriz de correlação é construída a partir do cálculo dos coeficientes de correlação simples entre as variáveis do modelo. A correlação entre duas variáveis X_1 e X_2 é determinada pelo coeficiente de correlação simples r , definido pela Eq. 19.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{1,i} X_{2,i} - \sum_{i=1}^n X_{1,i} * \sum_{i=1}^n X_{2,i}}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_{1,i}^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_{1,i} \right)^2 \right] * \left[n \sum_{i=1}^n X_{2,i}^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_{2,i} \right)^2 \right]}} \quad (19)$$

O coeficiente r varia de -1 a 1. Quando r é positivo, indica uma tendência de crescimento conjunto de X_1 e X_2 . Quando r é negativo, maiores valores de X_1 são associados a menores valores de X_2 . Quanto mais próximo da unidade, melhor é a correlação entre X_1 e X_2 .

Considerando Y a variável dependente, e X_1 e X_2 as variáveis explicativas e r o coeficiente simples entre as variáveis, pode-se escrever a matriz de correlação como (Quadro1):

Quadro 1. Matriz de Correlação.

	Y	X_1	X_2
Y	1		
X_1	r_{YX1}	1	
X_2	r_{YX2}	r_{X1X2}	1

3.2.4.3 Critérios de desempenho dos modelos

Para fins de verificação do ajuste dos modelos aos dados observados, foram adotados o coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o erro percentual absoluto médio (ϵ). O coeficiente de determinação é uma medida adimensional de proporção da variabilidade da variável dependente em torno de sua média, que é explicada pelas variáveis independentes, sendo definido pela Eq. 20 (NAGHETTINI e PINTO, 2007):

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQT} = \frac{[\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] - n * \bar{Y}^2}{[Y]^T [Y] - n * \bar{Y}^2} \quad (20)$$

O R^2 pode variar entre 0 e 1, sendo o desempenho do modelo considerado adequado e bom se o valor de R^2 supera 0,75, e aceitável se o valor de R^2 fica entre 0,36 e 0,75 (COLLISCHONN, 2001). Portanto, quanto maior o valor de R^2 , maior o poder de explicação da equação de regressão e, portanto, melhor a previsão da variável dependente.

Segundo Hair *et al.* (2009), quando se pretende comparar equações de regressão que envolvem amostras de diferentes tamanhos e com diversas variáveis independentes o coeficiente de determinação ajustado é um coeficiente útil, pois compara o desempenho dos modelos levando em consideração a quantidade de variáveis, além de dar um desconto para os graus de liberdade de cada modelo, dessa forma penalizando as variáveis pouco explicativas, sendo sua fórmula expressa pela Eq. 21.

$$R^2_{ajustado} = 1 - \frac{n-1}{n-p-1} (1 - R^2) \quad (21)$$

Em que n é o número de valores observados, p é o número de variáveis independentes e R^2 é o coeficiente de determinação múltipla.

Para avaliar o erro das estimativas, foi calculado o erro percentual absoluto médio (ε) (Eq. 22).

$$\varepsilon = \frac{1}{n} * \left(\frac{\sum |Q_o - Q_s|}{Q_o} \right) * 100 \quad (22)$$

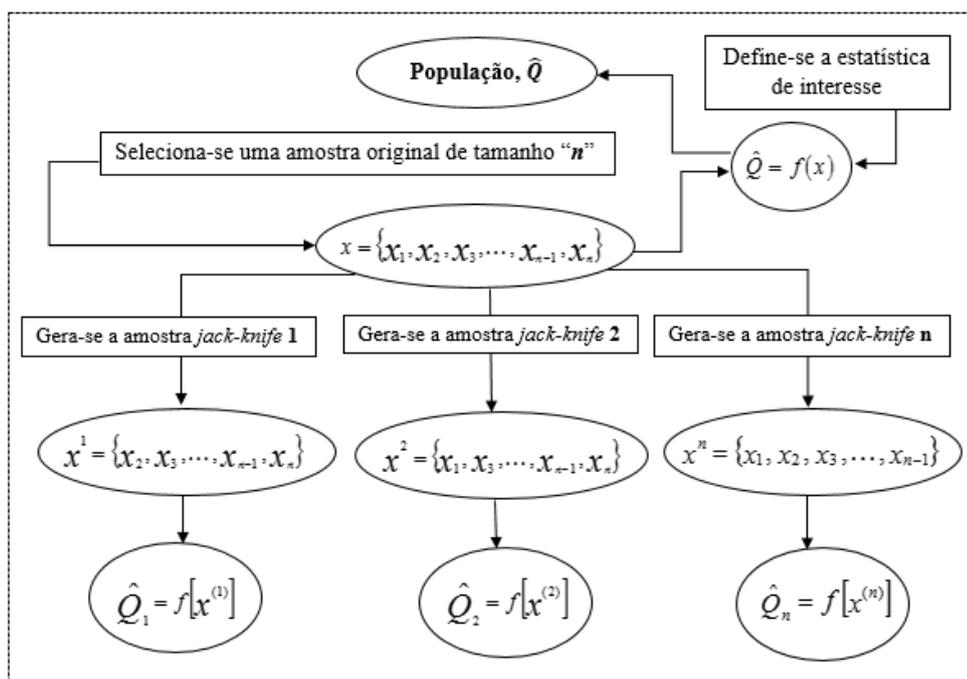
Sendo Q_o a vazão observada, Q_s a vazão simulada e n o número de estações analisadas.

Os melhores modelos resultantes da aplicação da regressão múltipla foram selecionados, observando-se os maiores valores do coeficiente de determinação, coeficiente de determinação ajustado e menores valores de erro percentual absoluto médio. Após essa seleção, os modelos que apresentaram melhor desempenho foram validados pelo método *Jack-Knife*.

3.2.4.4 Validação dos modelos de Regionalização

Neste estudo a validação dos modelos de regionalização que apresentaram bom desempenho foi realizada através do procedimento de validação cruzada denominado *Jack-knife* (CASTELLARIN *et al.*, 2004) e pode ser observado na Figura 6.

Figura 6. Representação esquemática do método de validação cruzada *Jack-Knife*.



Na Figura 6, x representa as estações fluviométricas utilizadas no estudo e \hat{Q} o modelo testado. Vale salientar, que em nenhum momento os dados da estação retirada foram utilizados na obtenção dos modelos de regressão, por tanto a validação cruzada *Jack-Knife*, torna-se válida para a validação dos modelos regionais obtidos para cada grupo homogêneo.

Para medir a qualidade do ajuste das equações, foi utilizado o coeficiente de NASH, indicando o quão bem as simulações correspondem às observações. A fim de avaliar e comparar o desempenho dos modelos com base no coeficiente de NASH (NASH e SUTCLIFFE, 1970) foi utilizada a Eq. 23.

$$NASH = 1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{cal})^2}{\sum(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (23)$$

Em que Q_{obs} é a vazão observada, Q_{cal} é a vazão calculada pelo modelo e \bar{Q}_{obs} é a média das vazões observadas. O coeficiente de NASH pode variar entre $-\infty$ e 1, sendo 1 indicativo de um perfeito ajuste (ASCE, 1993).

Segundo Machado *et al.* (2003), o coeficiente de NASH é um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar a precisão de modelos hidrológicos. Os valores de NASH estão associados ao método de validação *Jack-Knife* e servem para calcular a qualidade dos modelos, sendo considerado $NASH > 0,75$ (ajuste muito bom); $0,75 \geq NASH > 0,50$ (ajuste bom para satisfatório); e $NASH \leq 0,50$, (ajuste insatisfatório) (MORIASI *et al.*, 2007).

Além do coeficiente de NASH, foram utilizados os parâmetros Raiz do Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square Error* - RMSE) e o Erro Absoluto Médio (EAM) para verificar o desempenho dos modelos validados. O RMSE é um índice que leva em consideração a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores observados.

Essa diferença individual é chamada de resíduos e o RMSE serve para agregá-los em uma única medida de qualidade da previsão. O índice RMSE fornece informações quanto ao desempenho do modelo e tem valor sempre positivo, quanto mais próximo de zero maior a qualidade dos valores previstos (HYNDMAN e KOEHLER, 2006). A Eq. 24 expressa o RMSE.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Q_{obs} - Q_{cal})^2}{n}} \quad (24)$$

Sendo que Q_{obs} representa o valor da vazão observada, Q_{cal} o valor da vazão calculada e n o tamanho da amostra.

Já o erro absoluto médio é a soma dos desvios absolutos dos valores simulados e observados dividido pelo tamanho da amostra, sendo representado pela Eq. 25:

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{obs} - Q_{cal}|}{n} \quad (25)$$

Se EAM for pequeno, os dados reais seguem estreitamente as previsões da variável dependente e o modelo fornece previsões acuradas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DE MULTICOLINEARIDADE

Verificou-se a relação que as variáveis independentes (área, precipitação e comprimento do rio) apresentaram entre si, quando estas foram utilizadas para prever a vazão $Q_{95\%}$ (variável dependente). Nas Tabelas de 8 a 13 pode ser visto a correlação encontrada entre as variáveis explicativas selecionadas para o estudo.

Tabela 8. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 1.

Subgrupo 1.1				Subgrupo 1.2.5			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$		$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00			$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	0,13	1,00		$P(mm)$	0,13	1,00	
$L(km)$	0,20	-0,51	1,00	$L(km)$	0,75	0,17	1,00

Subgrupo 1.2.1				Subgrupo 1.2.6			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$		$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00			$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,36	1,00		$P(mm)$	-0,20	1,00	
$L(km)$	0,81	-0,35	1,00	$L(km)$	0,83	-0,10	1,00

Subgrupo 1.2.2				Subgrupo 1.2.7			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$		$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00			$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,51	1,00		$P(mm)$	-0,15	1,00	
$L(km)$	0,30	0,56	1,00	$L(km)$	-0,11	0,84	1,00

Subgrupo 1.2.3				Subgrupo 1.2.8			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$		$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00			$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	0,18	1,00		$P(mm)$	-0,82	1,00	
$L(km)$	0,84	0,23	1,00	$L(km)$	0,84	-0,80	1,00

Subgrupo 1.2.4				Subgrupo 1.3.1			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$		$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00			$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,57	1,00		$P(mm)$	0,35	1,00	
$L(km)$	0,79	-0,26	1,00	$L(km)$	0,27	-0,42	1,00

Subgrupo 1.3.2			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	0,10	1,00	
$L(km)$	0,73	0,01	1,00

Subgrupo 1.3.3			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	0,40	1,00	
$L(km)$	0,44	-0,38	1,00

Subgrupo 1.3.4			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,27	1,00	
$L(km)$	0,77	-0,55	1,00

Tabela 9. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 2

Subgrupo 2.1			
	$A(Km^2)$	$P(mm)$	$L(Km)$
$A(Km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,01	1,00	
$L(Km)$	0,64	0,14	1,00

Subgrupo 2.3			
	$A(Km^2)$	$P(mm)$	$L(Km)$
$A(Km^2)$	1,00		
$P(mm)$	0,20	1,00	
$L(Km)$	0,67	0,03	1,00

Subgrupo 2.2			
	$A(Km^2)$	$P(mm)$	$L(Km)$
$A(Km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,22	1,00	
$L(Km)$	0,74	-0,25	1,00

Subgrupo 2.4			
	$A(Km^2)$	$P(mm)$	$L(Km)$
$A(Km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,42	1,00	
$L(Km)$	0,72	-0,58	1,00

Tabela 10. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 3.

Subgrupo 3.1			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,50	1,00	
$L(km)$	0,83	-0,33	1,00

Subgrupo 3.2			
	$A(km^2)$	$P(mm)$	$L(km)$
$A(km^2)$	1,00		
$P(mm)$	0,25	1,00	
$L(km)$	-0,71	-0,60	1,00

Tabela 11. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 4.

Grupo 4			
	$A(Km^2)$	$P(mm)$	$L(Km)$
$A(Km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,17	1,00	
$L(Km)$	-0,17	-0,84	1,00

Tabela 12. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 5.

Grupo 5			
	$A(Km^2)$	$P(mm)$	$L(Km)$
$A(Km^2)$	1,00		
$P(mm)$	-0,80	1,00	
$L(Km)$	0,83	-0,81	1,00

Tabela 13. Matriz de correlação entre as variáveis explicativas do grupo homogêneo 8.

Grupo 8			
	$A(Km^2)$	$P(mm)$	$L(Km)$
$A(Km^2)$	1,00		
$P(mm)$	0,73	1,00	
$L(Km)$	0,22	0,22	1,00

Portanto, analisando as Tabelas 8 a 13 observa-se que não houve correlação superior a 0,85 entre as variáveis explicativas em nenhum dos grupos homogêneos. Sendo assim, não houve a necessidade de se aplicar testes que determinam a significância de cada variável explicativa na regressão, e todas as três variáveis foram utilizadas na regionalização.

4.3 AJUSTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO

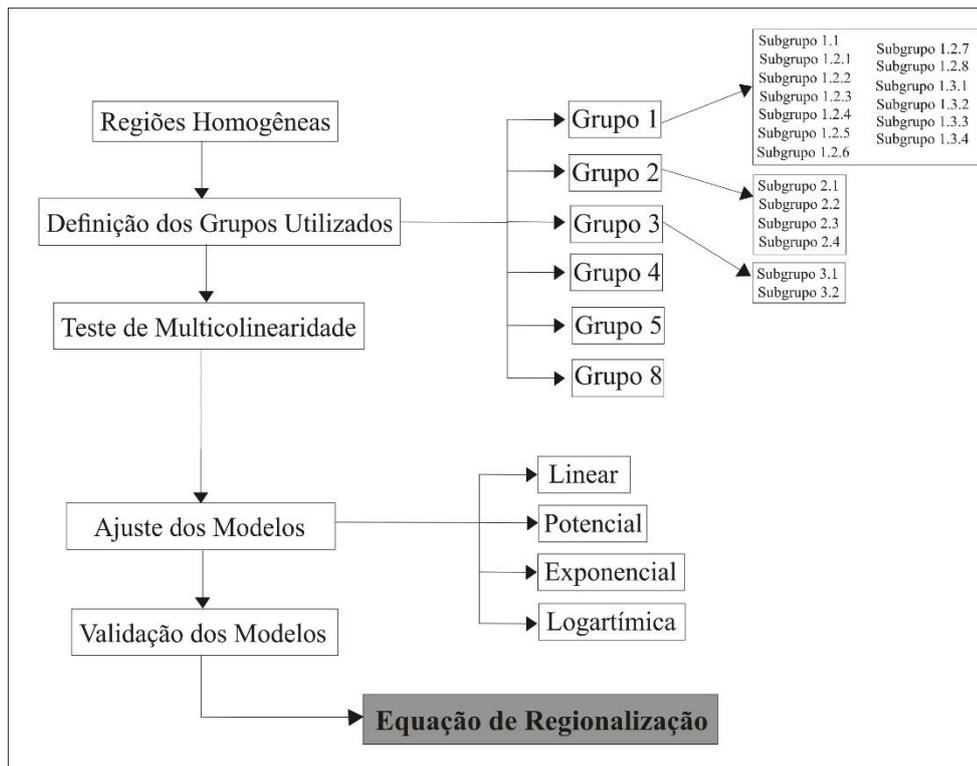
Foi realizado o ajuste dos dados dos grupos homogêneos 1, 2, 3, 4, 5 e 8, porém os valores dos coeficientes de avaliação do desempenho dos modelos gerados, foram insatisfatórios com ε (%) acima de 20% e valores abaixo de 0,36 para os coeficientes de determinação (R^2) e coeficientes de determinação ajustados (R^2_a), com exceção do grupo homogêneo 8 que apresentou desempenho satisfatório, na Tabela 14 é possível observar o desempenho dos modelos ajustados para cada grupo homogêneo.

Tabela 14. Ajuste preliminar dos modelos de regressão – vazão $Q_{95\%}$.

Grupo	R^2	R^2_a	ε (%)
1	0,17	0,14	8.296,81
2	0,21	0,16	915,64
3	0,26	0,13	699,66
4	0,3	-0,05	258,49
5	0,5	-0,26	122,59
8	0,97	0,92	10,28

Nesse contexto, foi realizada a divisão dos grupos 1, 2 e 3, adaptando-se representação esquemática da metodologia exposta na Figura 4 para a representação esquemática da Figura 7.

Figura 7. Representação esquemática da divisão dos Subgrupos para determinação das equações de regionalização.



Deste modo, a fim de ajustar os modelos de regressão da vazão $Q_{95\%}$, o grupo homogêneo 1 teve suas estações separadas em três subgrupos, a partir da variável explicativa área (km^2), obtendo-se os seguintes subgrupos:

- Subgrupo 1.1: Área entre 491,36 a 813,63 km^2 ;
- Subgrupo 1.2: Área entre 1.119,73 a 9.801,62 km^2 ;
- Subgrupo 1.3: Área entre 10.050,13 a 17.990,27 km^2 .

No que diz respeito aos subgrupos 1.2 e 1.3, as vazões obtidas apresentaram grande variação, oscilando entre 0,33 a 84,89 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e 1,50 a 343,25 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. A princípio foi realizado o ajuste dos subgrupos 1.2 e 1.3 da mesma forma que no subgrupo 1.1, porém como a variação da vazão foi ampla, os valores dos critérios de avaliação dos modelos foram insatisfatórios. Dessa maneira, foi necessário realizar outra subdivisão levando em

consideração as vazões de mesma ordem de grandeza, gerando oito subgrupos para o subgrupo 1.2 e quatro subgrupos para o subgrupo 1.3, os quais podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15. Intervalos de vazões ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para formação dos Subgrupos.

Subgrupos	Vazão $Q_{95\%}$ ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	Subgrupos	Vazão $Q_{95\%}$ ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
1.2.1	0,33 - 0,79	1.3.1	1,50 - 6,92
1.2.2	1,44 - 2,60	1.3.2	14,64 - 38,78
1.2.3	4,56 - 6,83	1.3.3	46,77 - 79,52
1.2.4	8,52 - 13,00	1.3.4	81,41 - 343,25
1.2.5	14,98 - 17,86		
1.2.6	22,81 - 28,40		
1.2.7	31,31 - 39,60		
1.2.8	53,50 - 84,89		

Entretanto, quando foi realizado o ajuste dos modelos de regressão (linear, potencial, exponencial e logarítmico) para cada subgrupo, percebeu-se que os modelos ainda não apresentavam desempenho satisfatório. Dessa forma, na tentativa de se obter melhores resultados foi necessário a retirada de algumas estações, cujo critério de avaliação utilizado foi o erro percentual absoluto médio, pois mede o afastamento médio das previsões em relação aos valores observados, dessa maneira estações com ε (%) superior a 20% foram retiradas dos modelos (Tabela 16).

Tabela 16. Estações retiradas do Grupo Homogêneo 1 por apresentarem ε (%) acima de 20%.

Código ANA	Estação	$Q_{95\%}$	$A(\text{km}^2)$	$P(\text{mm})$	$L(\text{km})$
12880000	Estirão da Santa Cruz	134,00	1.5754	2.510	1.647
13550000	Xapuri	21,34	5.241	1.636	562
15042000	Rio Preto da Eva	15,58	746	2.383	263
15050000	Pontes e Lacerda	34,60	782	1.521	179
16368000	Mineração Caima	43,91	7.932	2.225	1.733
17091000	Fazenda Tucunaré	127,61	4.903	1.974	615
17200000	Porto Roncador	48,29	12.325	1.719	2.417
17345000	Base do Cachimbo	11,17	552	2.019	230
18420000	Fazenda Itaguaçu	43,02	4.374	1.485	685
18870000	Aldeia Bacajá	2,08	12.000	1.684	1.298
27550000	Arapoema	4,02	1.120	1.851	164

32450002	Tararua Ponte	3,00	5.009	2.140	863
33170000	Esperantina	1,01	8.522	1.755	1.428
66171500	Faz. Riacho Doce	29,09	545	1.540	61

Após a retirada das estações, os modelos foram novamente ajustados, tal procedimento mostrou-se eficaz, pois os critérios de desempenho R^2 , R^2_a e ε (%), apresentaram valores satisfatórios. Os modelos selecionados para a validação são os que apresentaram maiores valores de R^2 , R^2_a e valores e menores valores de ε (%) e estão em destaque na Tabela 17.

Tabela 17. Desempenho dos modelos ajustados para a vazão $Q_{95\%}$ do Grupo Homogêneo 1.

Subgrupo 1.1			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	1,00	0,99	7,96
Potencial	0,97	0,89	13,61
Exponencial	0,97	0,87	14,89
Logarítmico	1,00	1,00	1,81

Subgrupo 1.2.4			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,95	0,88	2,19
Potencial	0,98	0,94	1,65
Exponencial	0,97	0,92	2,02
Logarítmico	0,97	0,92	1,68

Subgrupo 1.2.1			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,93	0,70	8,39
Potencial	0,89	0,55	8,61
Exponencial	0,91	0,63	9,02
Logarítmico	0,88	0,51	8,83

Subgrupo 1.2.5			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,67	0,18	2,83
Potencial	0,58	-0,05	3,00
Exponencial	0,67	0,17	2,80
Logarítmico	0,58	-0,04	3,03

Subgrupo 1.2.2			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,70	0,54	9,27
Potencial	0,78	0,67	9,27
Exponencial	0,71	0,57	9,40
Logarítmico	0,75	0,63	9,48

Subgrupo 1.2.6			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,27	-0,17	4,75
Potencial	0,40	0,05	4,26
Exponencial	0,28	-0,15	4,75
Logarítmico	0,39	0,02	4,28

Subgrupo 1.2.3			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,78	0,62	4,80
Potencial	0,76	0,58	5,03
Exponencial	0,76	0,58	4,70
Logarítmico	0,78	0,61	5,05

Subgrupo 1.2.7			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,87	0,47	2,64
Potencial	0,84	0,36	2,69
Exponencial	0,87	0,47	2,52
Logarítmico	0,84	0,37	0,95

Subgrupo 1.2.8			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,46	-0,34	9,87
Potencial	0,69	0,22	6,56
Exponencial	0,43	-0,43	9,46
Logarítmico	0,68	0,20	6,91

Subgrupo 1.3.2			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,88	0,80	9,50
Potencial	0,93	0,88	8,54
Exponencial	0,88	0,79	11,65
Logarítmico	0,92	0,86	6,98

Subgrupo 1.3.1			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,88	0,69	13,48
Potencial	0,89	0,73	15,88
Exponencial	0,92	0,79	13,48
Logarítmico	0,87	0,68	14,49

Subgrupo 1.3.3			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,75	0,57	6,33
Potencial	0,76	0,57	6,14
Exponencial	0,76	0,58	6,41
Logarítmico	0,73	0,52	6,18

Subgrupo 1.3.4			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	1,00	0,98	6,00
Potencial	0,99	0,97	4,15
Exponencial	0,98	0,92	6,70
Logarítmico	1,00	1,00	1,81

Para os subgrupos 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.5, 1.2.7 e 1.3.1, o modelo linear foi o que apresentou melhor desempenho. Já para os subgrupos 1.2.4, 1.2.6 e 1.3.3, o modelo potencial foi o que melhor simulou a vazão $Q_{95\%}$. O logarítmico apresentou melhor desempenho nos subgrupos 1.1, 1.2.8, 1.3.2 e 1.3.4.

Para o ajuste do grupo homogêneo 2, foi realizada uma subdivisão que levou em consideração apenas as vazões, pois apresentaram uma grande variação de 1,64 a 636,9 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, já as áreas encontradas neste grupo possuem a mesma ordem de grandeza, dessa forma, foram formados os subgrupos dispostos na Tabela 18.

Tabela 18. Intervalos de vazões ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para formação dos Subgrupos.

Subgrupo	Vazão $Q_{95\%}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
2.1	19,95 - 39,77
2.2	46,60 - 69,57
2.3	80,20 - 119,50
2.4	212,63 - 636,90

Apesar da subdivisão ter sido realizada no intuito de melhorar desempenho dos modelos, foi necessário retirar estações que contribuíssem negativamente, pois apresentaram valores de erro percentual absoluto médio acima de 20% (Tabela 19).

Tabela 19. Estações retiradas do Grupo Homogêneo 2 por apresentarem ε (%) acima de 20%.

Código ANA	Estação	$Q_{95\%}$	A(km ²)	P(mm)	L(km)
15560000	Ji-Paraná	165,92	38.159	1.941	4.131
16430000	Garganta	141,00	31.153	2.768	6.789
17090000	Boca do Inferno	2,25	24.274	2.050	2.636
18500000	Boa Esperança	16,00	42.605	1.882	7.394
18880000	Faz. Cipaubá	1,64	25.962	1.964	2.851
22700000	Novo Acordo	153,26	20.171	1.545	2.898
31680000	Faz. Maringá	10,20	25.568	1.810	4.175
31700000	Badajós	217,90	33.012	2.403	5.606
33280000	Pedreiras	42,60	25.691	1.572	4.137
66070004	Cáceres (PNPVN)	185,70	32.677	1.300	5.923
66370000	Ilha Camargo	129,88	35.493	1.217	6.136

Na Tabela 20, encontram-se os valores de ε (%), R^2 e R^2_a para a avaliação do ajuste da vazão $Q_{95\%}$ do grupo homogêneo 2, para todos os modelos de regressão testados (linear, potencial, exponencial e logarítmico), após realizadas todas as subdivisões e retiradas de estações.

Tabela 20. Desempenho dos modelos ajustados para a vazão $Q_{95\%}$ do Grupo Homogêneo 2.

Subgrupo 2.1				Subgrupo 2.3			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)	Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,72	0,55	9,53	Linear	0,64	0,53	6,28
Potencial	0,78	0,65	8,69	Potencial	0,70	0,61	6,45
Exponencial	0,72	0,55	9,82	Exponencial	0,64	0,54	6,44
Logarítmico	0,77	0,64	8,41	Logarítmico	0,68	0,58	6,45

Subgrupo 2.2				Subgrupo 2.4			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)	Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,45	0,18	8,61	Linear	0,94	0,91	7,10
Potencial	0,64	0,46	6,45	Potencial	0,91	0,88	7,45
Exponencial	0,47	0,20	8,55	Exponencial	0,88	0,83	9,92
Logarítmico	0,63	0,44	6,56	Logarítmico	0,91	0,87	9,18

Conforme a Tabela 20, para a validação do subgrupo 2.1 foi selecionado o modelo logarítmico, já para os subgrupos 2.2 e 2.3 o modelo potencial foi o que apresentou melhor desempenho. O modelo linear foi o que melhor simulou o subgrupo 2.4.

Para o ajuste do grupo homogêneo 3, foi necessária a partição do grupo em dois subgrupos 3.1 e 3.2 (Tabela 21). Nesse caso, a vazão foi o fator principal da divisão, com variação de 13,08 a 2.946,95 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Já na Tabela 22, encontram-se as estações que foram retiradas, pois obtiveram ε maior que 20%.

Tabela 21. Intervalos de vazões ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para formação dos Subgrupos.

Subgrupo	Vazão $Q_{95\%}$ ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
3.1	121,37 – 226,00
3.2	245,20 – 600,00

Tabela 22. Estações retiradas do Grupo Homogêneo 3 por apresentaram ε (%) acima de 20%.

Código ANA	Estação	$Q_{95\%}$	$A(\text{km}^2)$	$P(\text{mm})$	$L(\text{km})$
11444900	Ipiranga Novo	2.946,95	82.229	2.649	8.612
12240000	Porto Seguro	824,49	74.086	2.457	7.577
13410000	Seringal da caridade	90,96	71.744	1.856	7.750
14500000	Mocidade	15,29	51.147	1.436	5.658
17093000	Fontanilhas	1.104,50	59.501	1.935	9.943
18520000	Belo Horizonte	1.190,00	104.653	1.748	17.391
18590000	Manoel Jorge (TP)	13,08	57.086	1.861	10.937
18600000	Laranjeiras	37,20	65.377	1.334	12.498

Na Tabela 23, estão dispostos os modelos ajustados após a retirada das estações e em destaque estão os modelos selecionadas.

Tabela 23. Desempenho dos modelos ajustados para a vazão $Q_{95\%}$ do Grupo Homogêneo 3.

Subgrupo 3.1				Subgrupo 3.2			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)	Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,97	0,95	2,61	Linear	0,94	0,84	6,38
Potencial	0,96	0,92	3,16	Potencial	0,87	0,68	8,69
Exponencial	0,98	0,95	2,68	Exponencial	0,94	0,84	6,20
Logarítmico	0,97	0,95	2,91	Logarítmico	0,85	0,64	9,58

Conforme é possível verificar na Tabela 23, no ajuste dos modelos para os subgrupos 3.1 e 3.2, os modelos que apresentaram o melhor desempenho foram o logarítmico e o linear, respectivamente, pois apresentaram os maiores valores do R^2 e R^2_a e menores valores de $\varepsilon(\%)$.

No ajuste dos grupos homogêneos 4, 5 e 8, não foi necessária a separação em subgrupos, isso se deve ao fato das áreas e das vazões possuírem mesma ordem de grandeza, porém foi preciso a retirada de estações dos grupos 4 e 5 (Tabela 24), pois apresentaram valores de ε acima de 20%, fato que não ocorreu para o ajuste do grupo homogêneo 8.

Tabela 24. Estações retiradas do Grupo Homogêneo 4 e 5 por apresentaram ε (%) acima de 20%.

Código ANA	Estação	$Q_{95\%}$	A(km ²)	P(mm)	L(km)
Grupo 4					
12850000	Acanaui	5.827,76	182.923	2.871	19.390
14250000	São Felipe	2.094,00	133.685	2.640	14.032
15800000	Boca do Guariba	130,80	134.249	2.935	29.749
15830000	Prainha Velha	355,90	136.576	2.543	31.887
17130000	Foz do Juruena	2.164,00	193.372	1.968	39.838
Grupo 5					
11400000	São Paulo de Olivença	22.676,00	230.515	2.660	19.850

Dessa maneira, os modelos matemáticos obtidos para os grupos homogêneos 4, 5 e 8, podem ser vistos na Tabela 25, na qual estão em destaque os modelos que melhor se ajustaram.

Tabela 25. Desempenho dos modelos ajustados para a vazão $Q_{95\%}$ do Grupo Homogêneo 4, 5 e 8.

Grupo 4				Grupo 5			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)	Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,97	0,90	5,57	Linear	0,91	0,64	26,11
Potencial	0,97	0,87	5,15	Potencial	0,89	0,54	16,00
Exponencial	0,99	0,95	3,05	Exponencial	0,92	0,66	13,78
Logarítmico	0,95	0,79	7,90	Logarítmico	0,89	0,57	29,17

Grupo 8			
Modelo	R^2	R^2_a	ε (%)
Linear	0,97	0,92	14,29
Potencial	0,99	0,97	5,94
Exponencial	0,99	0,97	5,82
Logarítmico	0,96	0,91	15,17

No ajuste dos grupos homogêneos 4, 5 e 8, os modelos que obtiveram os melhores desempenho foi o linear, exponencial e logarítmico, respectivamente. Tais modelos apresentaram os maiores valores dos coeficientes R^2 e R^2_a e menores valores do erro percentual absoluto médio.

As estações retiradas de todos os grupos homogêneos estudados, foram as que apresentaram erro percentual absoluto médio acima de 20%. Analisando os Apêndices de A a F, é possível observar que não existiu um padrão entre a variável dependente e as variáveis independentes, ou seja, não foram as maiores ou menores áreas, precipitações, comprimento do rio e a séries com maior ou menor quantidade de anos, o motivo para a exclusão das estações dos modelos propostos.

Entretanto para explicar melhor essas retiradas, foi realizado o estudo da relação entre a vazão mínima de referência $Q_{95\%}$ das estações com suas variáveis explicativas área de drenagem (A), precipitação (P) e comprimento do rio (L), também foi realizada uma análise da relação da $Q_{95\%}$ com a quantidade de anos utilizados em cada série histórica, com o propósito de verificar a influência do tamanho da série, na retirada de estações.

Assim, observaram-se que as relações de $Q_{95\%}$ com A (km^2), P (mm), L (km) e a quantidade de anos das séries históricas não foram os motivos de retirada das estações dos grupos 1 e 2. Já as estações retiradas dos grupos 3 e 4, foram as que obtiveram os valores extremos nas relações $A/Q_{95\%}$, e $L/Q_{95\%}$ (grupo 3) e $A/Q_{95\%}$, $P/Q_{95\%}$, $L/Q_{95\%}$ (grupo 4) e as estações retiradas dos grupos 5 e 8, foram as que apresentaram as menores relações entre $A/Q_{95\%}$, $P/Q_{95\%}$, $L/Q_{95\%}$ e anos/ $Q_{95\%}$.

Dessa forma, os modelos que apresentaram os melhores ajustes estão expostos na Tabela 26.

Tabela 26. Equações de regionalização.

Grupos	Modelo	ϵ (%)	R^2	NASH
1.1	$Q_{95\%} = 12,7143 - 1,7658 * \ln A - 1,8680 * \ln P + 3,2157 * \ln L$	1,81	1,00	1,00
1.2.1	$Q_{95\%} = 1,3347 - 0,0005 * A - 0,0001 * P + 0,0016 * L$	8,39	0,93	0,96
1.2.2	$Q_{95\%} = 3,5168 + 0,0001 * A - 0,0008 * P + 0,0002 * L$	9,27	0,70	0,96
1.2.3	$Q_{95\%} = 3,1253 - 0,0001 * A + 0,0014 * P + 0,0008 * L$	4,80	0,78	1,00
1.2.4	$Q_{95\%} = 3,5522 * A^{0,6162} * P^{-0,0682} * L^{-0,5586}$	1,65	0,98	1,00
1.2.5	$Q_{95\%} = 16,1235 + 0,0005 * A + 0,0002 * P - 0,0039 * L$	2,83	0,67	0,99
1.2.6	$Q_{95\%} = 3,8220 * A^{0,1532} * P^{0,1834} * L^{-0,1126}$	4,26	0,40	0,90
1.2.7	$Q_{95\%} = 15,6412 - 0,0006 * A + 0,0069 * P + 0,0084 * L$	2,64	0,87	0,98
1.2.8	$Q_{95\%} = -450,8573 - 36,9268 * \ln A + 70,2711 * \ln P + 47,2563 * \ln L$	6,91	0,68	0,99
1.3.1	$Q_{95\%} = 1,8470 - 0,0008 * A + 0,0067 * P + 0,0002 * L$	13,48	0,88	0,81
1.3.2	$Q_{95\%} = -0,3704 - 8,8836 * \ln A - 9,6716 * \ln P + 23,9596 * \ln L$	6,98	0,92	0,99
1.3.3	$Q_{95\%} = 19,5692 * A^{-0,6063} * P^{0,7310} * L^{0,1821}$	6,14	0,76	0,99

1.3.4	$Q_{95\%} = -2454,7036 + 154,1532 * \ln A + 267,5566 * \ln P - 113,6475 * \ln L$	1,81	1,00	0,99
2.1	$Q_{95\%} = -170,5736 + 5,8718 * \ln A - 0,5190 * \ln P + 17,9090 * \ln L$	8,41	0,77	0,99
2.2	$Q_{95\%} = 85,2001 * A^{0,4708} * P^{-0,2837} * L^{-0,3742}$	6,45	0,64	0,99
2.3	$Q_{95\%} = 28,6233 * A^{0,2494} * P^{-0,2294} * L^{0,0520}$	6,45	0,70	0,99
2.4	$Q_{95\%} = -93,5640 + 0,0025 * A + 0,1964 * P - 0,0022 * L$	7,10	0,94	0,99
3.1	$Q_{95\%} = 1535,8551 - 110,0959 * \ln A - 114,2926 * \ln P + 80,5363 * \ln L$	2,91	0,97	1,00
3.2	$Q_{95\%} = 1700,5443 + 0,0136 * A + 0,2129 * P + 0,0908 * L$	6,38	0,94	0,99
4	$Q_{95\%} = -1815,6764 - 0,0009 * A + 0,8190 * P + 0,00313 * L$	5,57	0,97	0,79
5	$Q_{95\%} = e^{(2334463,3070 - 4,2411 * A + P * 0,0007 * L * 1,4346)}$	13,78	0,92	0,64
8	$Q_{95\%} = 7,3343 * 10^{-49} * A^{10,0420} * P^{-0,2811} * L^{-1,4346}$	5,94	0,99	0,99

4.4 VALIDAÇÃO

Tão importante quanto à definição das variáveis explicativas nos modelos regionais é a avaliação de desempenho, confiabilidade e robustez dos mesmos. Neste trabalho, a avaliação foi realizada pelo método de validação *Jack-Knife Cross Validation*. Desta forma, para cada estação foram calculados o coeficiente de NASH (Eq. 23), a raiz quadrada da média dos erros quadráticos (RMSE) e o erro absoluto médio (EAM) dados pelas Eqs. 24 e 25, respectivamente.

Na Tabela 27 encontram-se os valores dos critérios de desempenho (NASH, EAM e RMSE) obtidos na validação dos modelos. De posse dos valores dos critérios de desempenho, foi possível verificar a quantidade de estações que se enquadraram dentro de cada faixa de NASH, desse modo, foi calculada a porcentagem de estações que apresentaram esses valores (Tabela 28).

Tabela 27. Coeficientes de NASH, RMSE e EAM dos modelos de regionalização de vazão mínima de referência $Q_{95\%}$.

GRUPO 1								
	Subgrupo 1.1	Subgrupo 1.2.1	Subgrupo 1.2.2	Subgrupo 1.2.3	Subgrupo 1.2.4	Subgrupo 1.2.5	Subgrupo 1.2.6	Subgrupo 1.2.7
	Logarítmico	Linear	Linear	Linear	Potencial	Linear	Potencial	Linear
NASH	1,00	0,96	0,96	1,00	1,00	0,99	0,90	0,98
RMSE (m ³ .s ⁻¹)	0,10	0,11	0,33	0,35	0,32	1,51	1,44	4,00
EAM (m ³ .s ⁻¹)	0,04	0,05	0,28	0,23	0,23	0,83	1,07	1,79

GRUPO 1					GRUPO 2			
	Subgrupo 1.2.8	Subgrupo 1.3.1	Subgrupo 1.3.2	Subgrupo 1.3.3	Subgrupo 1.3.4	Subgrupo 2.1	Subgrupo 2.2	Subgrupo 2.3
	Logarítmico	Linear	Logarítmico	Potencial	Logarítmico	Logarítmico	Potencial	Potencial
NASH	0,99	0,81	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
RMSE (m ³ .s ⁻¹)	8,10	0,80	2,71	4,86	11,69	3,56	5,44	7,92
EAM (m ³ .s ⁻¹)	5,70	0,54	1,76	3,29	5,23	2,77	3,99	6,76

	GRUPO 2	GRUPO 3		Grupo 4	Grupo 5	Grupo 8	
	Subgrupo 2.4	Subgrupo 3.1	Subgrupo 3.2				
	Linear	Logarítmico	Linear	Linear	Exponencial	Potencial	
NASH	0,99	1,00	0,99	0,79	0,64	0,99	
RMSE (m ³ .s ⁻¹)	30,25	8,79	37,55	489,78	2563,90	623,31	
EAM (m ³ .s ⁻¹)	23,99	6,07	27,89	219,04	1146,61	399,84	

Tabela 28. Percentual dos critérios de qualidade dos grupos homogêneos estudados.

GRUPO 1								
	Subgrupo 1.1	Subgrupo 1.2.1	Subgrupo 1.2.2	Subgrupo 1.2.3	Subgrupo 1.2.4	Subgrupo 1.2.5	Subgrupo 1.2.6	Subgrupo 1.2.7
	Logarítmico	Linear	Linear	Linear	Potencial	Linear	Potencial	Linear
NASH > 0,75	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0,75 ≥ NASH > 0,50	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NASH ≤ 0,50	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
GRUPO 1					GRUPO 2			
	Subgrupo 1.2.8	Subgrupo 1.3.1	Subgrupo 1.3.2	Subgrupo 1.3.3	Subgrupo 1.3.4	Subgrupo 2.1	Subgrupo 2.2	Subgrupo 2.3
	Logarítmico	Linear	Logarítmico	Potencial	Logarítmico	Logarítmico	Potencial	Potencial
NASH > 0,75	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0,75 ≥ NASH > 0,50	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NASH ≤ 0,50	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
GRUPO 2	GRUPO 3		GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 8			
Subgrupo 2.4	Subgrupo 3.1	Subgrupo 3.2						
	Linear	Logarítmico	Linear	Linear	Exponencial	Potencial		
NASH > 0,75	100%	100%	100%	100%	40%	100%		
0,75 ≥ NASH > 0,50	0%	0%	0%	0%	40%	0%		
NASH ≤ 0,50	0%	0%	0%	0%	20%	0%		

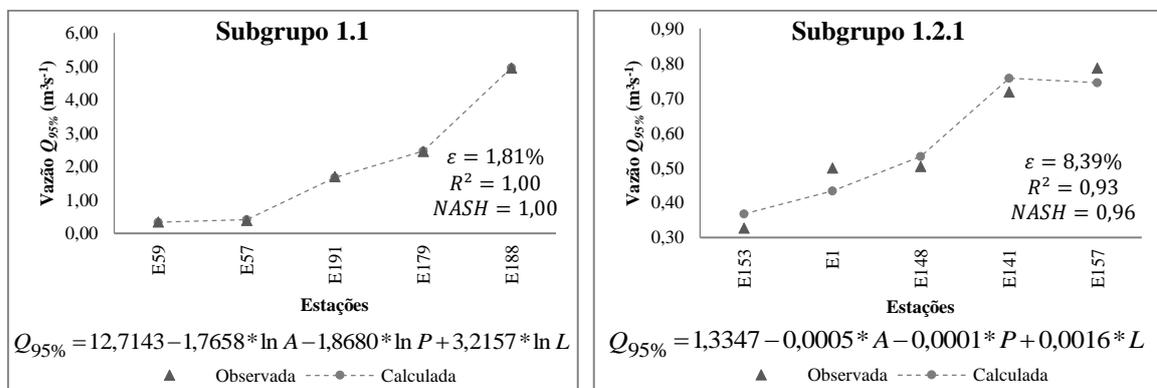
Analisando a Tabela 27, é possível observar que os coeficientes de NASH obtidos para todos os grupos homogêneos estudados, situam-se entre 0,78 e 1,00, apontando qualidade muito boa para os modelos validados, com exceção do grupo homogêneo 5, que apresentou valor de NASH entre 0,5 e 0,75 indicando um ajuste bom para satisfatório. Os valores obtidos para todos os grupos foram próximos a 1, indicando um perfeito ajuste segundo Asce (1993). No que diz respeito aos índices RMSE e EAM, apenas nos subgrupos 2.4, 3.2 e grupos 4, 5 e 8 os índices foram superiores a $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, já nos demais grupos os valores encontrados foram abaixo $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, indicando um ajuste aceitável, conforme Bristow e Campbell (1984).

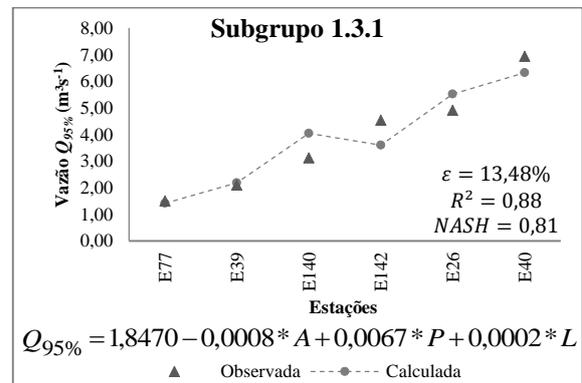
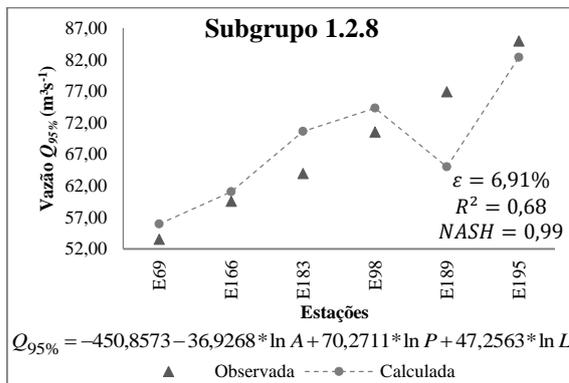
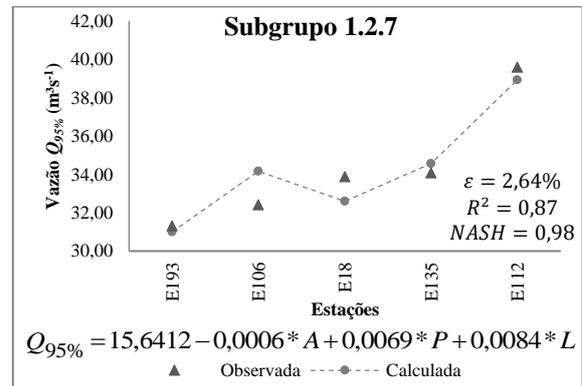
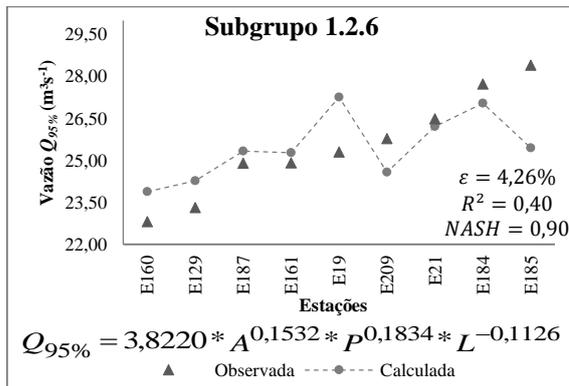
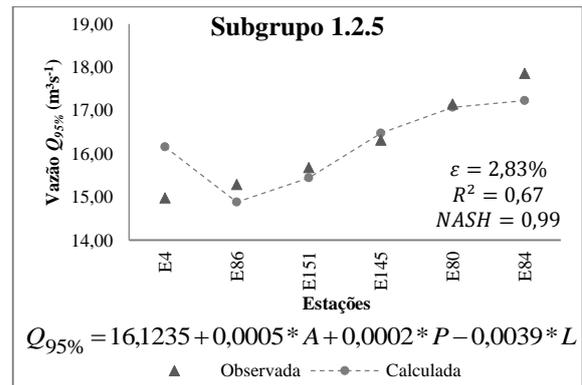
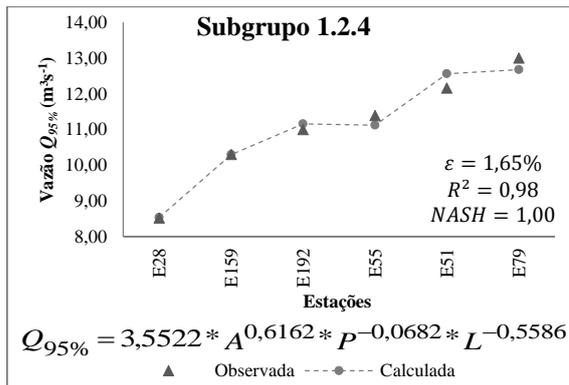
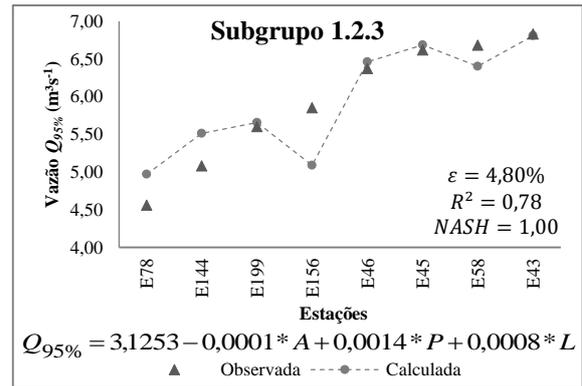
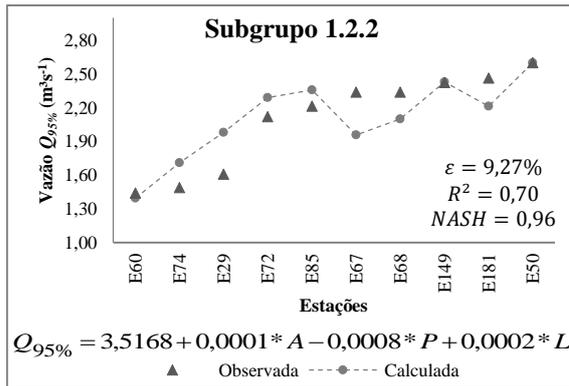
Na validação pelo método *Jack-Knife*, cada estação retirada gerou um valor de NASH e através desses valores, pode-se definir a porcentagem dos critérios de qualidade que cada estação representou dentro do modelo validado. Conforme exposto na Tabela 28, 100% das estações pertencentes os grupos 1, 2, 3, 4 e 8 apresentaram valores de NASH superiores a 0,75. Já no grupo 5, 40% das estações obtiveram ajuste muito bom, outros 40% um ajuste bom para satisfatório e 20% um ajuste insatisfatório, dessa forma 80% das estações do grupo 5 apresentaram $\text{NASH} > 0,50$, indicando uma modelagem eficiente.

4.5 REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO $Q_{95\%}$

A equação selecionada para efetuar a regionalização de vazões dentro de um determinado grupo homogêneo é aquela que apresentou maior coeficiente de determinação, menor erro e valores de NASH acima de 0,50. De posse das equações, obtiveram-se as vazões calculadas de cada grupo homogêneo, sendo possível construir os gráficos das vazões observadas e calculadas (Figuras 8 a 13), observando a contribuição de cada estação dentro dos modelos gerados.

Figura 8. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 1.





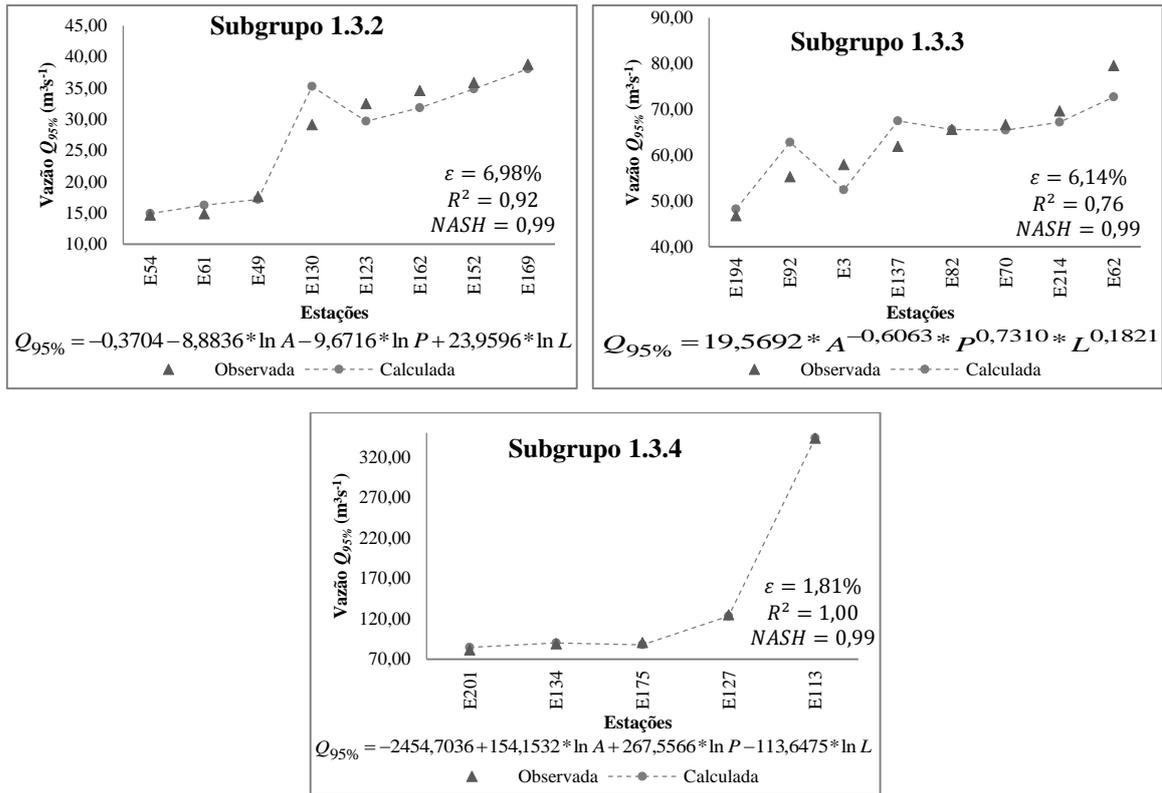


Figura 9. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 2.

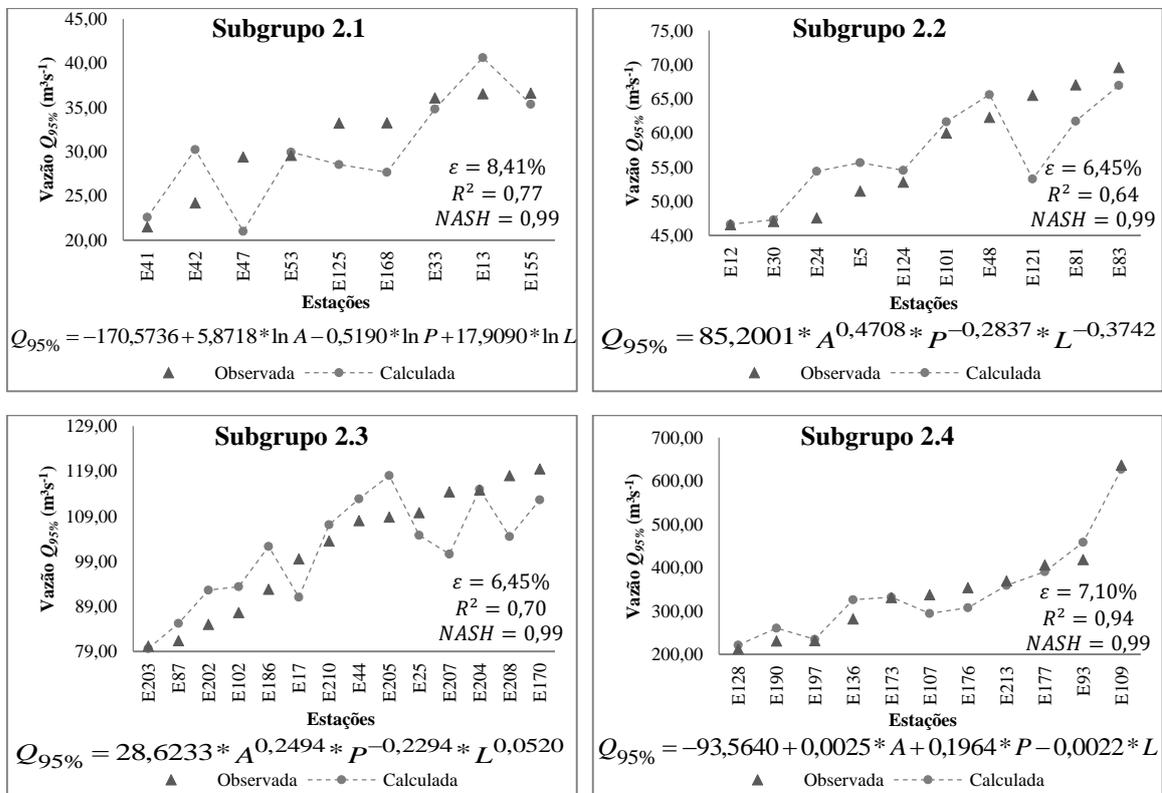


Figura 10. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 3.

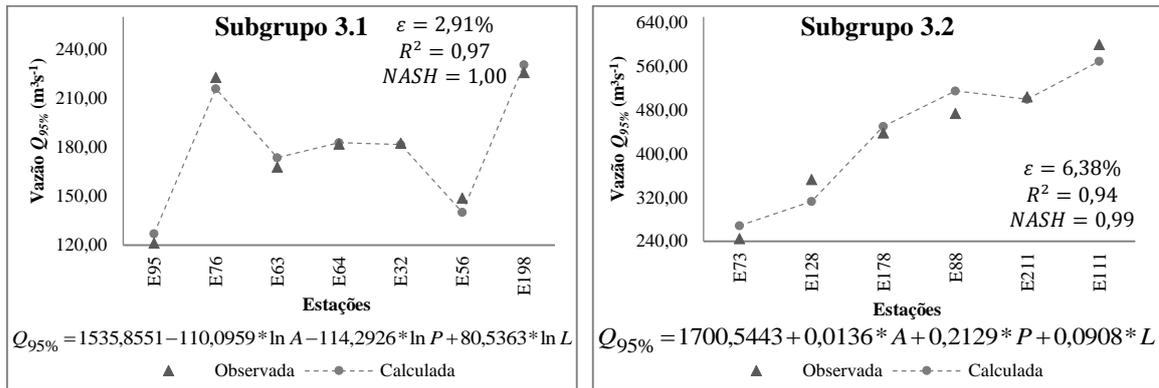


Figura 11. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 4.

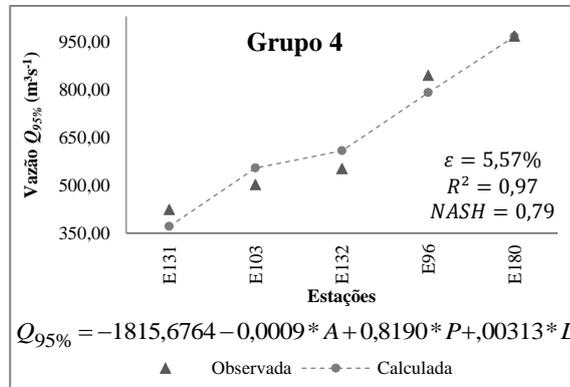


Figura 12. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 5.

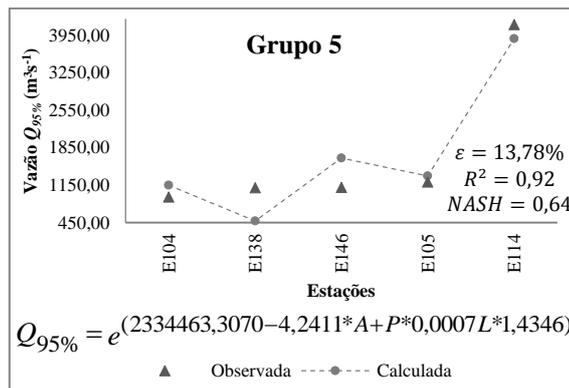
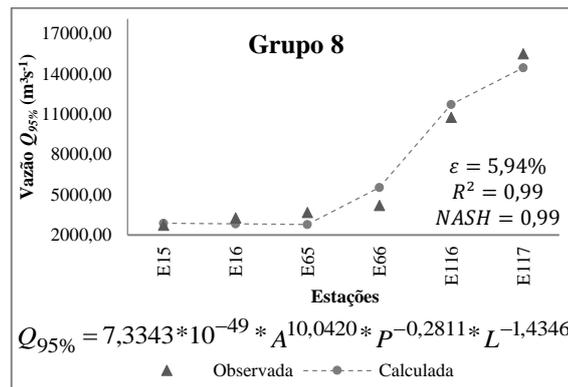


Figura 13. Ajuste da vazão $Q_{95\%}$ simulada e observada do grupo homogêneo 8.



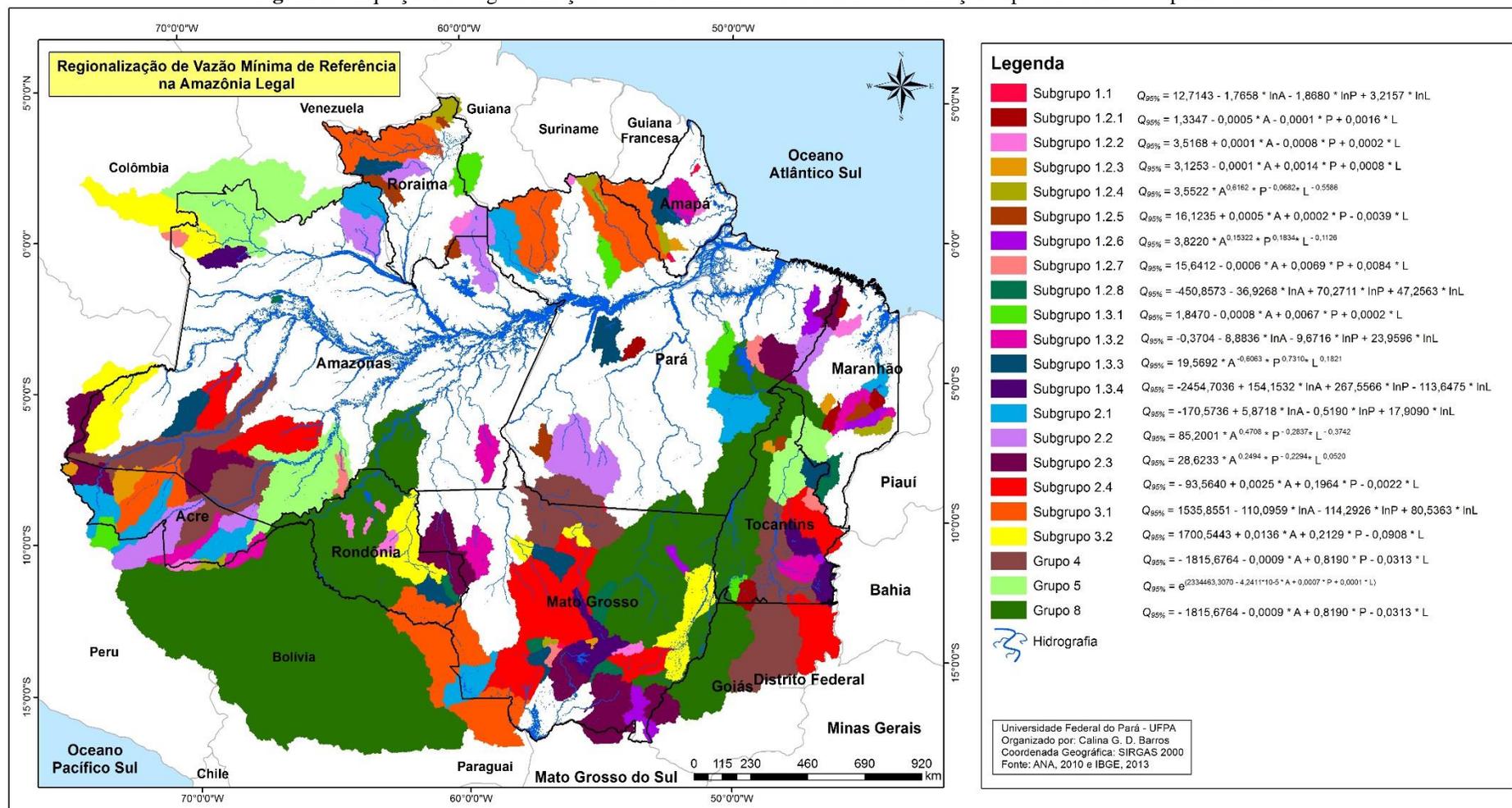
Percebe-se nas Figuras de 8 a 13, que os grupos homogêneos apresentaram bons resultados na regionalização da vazão $Q_{95\%}$, com maior valor de erro percentual absoluto médio de 13,78%. Em relação ao coeficiente de determinação, os subgrupos 1.2.2, 1.2.5, 1.2.6, 1.2.8, 2.2 e 2.3 apresentaram valores entre 0,36 e 0,75, sendo considerados aceitáveis. Os demais grupos apresentaram valores adequados e bons ($R^2 > 0,75$) segundo Collischonn (2001). Nenhum dos grupos testados apresentaram valores menores que 0,36.

As equações de regionalização da vazão mínima de referência $Q_{95\%}$ obtidas para Amazônia Legal, bem como a espacialização dos grupos e subgrupos homogêneos estudados, estão demonstradas no mapa da Figura 14.

Por meio do estudo foi possível regionalizar uma área 2.749.727,37 km², que correspondem a aproximadamente 55% da Amazônia Legal. Entretanto, notou-se que as áreas não regionalizadas, foram aquelas que ou pertenciam as regiões homogêneas determinadas por Pessoa (2015) com menos de cinco estações e, portanto não utilizadas no estudo, ou foram aquelas que encontravam-se as estações retiradas no estudo, por apresentarem ε (%) acima de 20%, e estavam contribuindo negativamente para a modelagem.

Apesar de não regionalizar 100% da Amazônia Legal, o estudo mostrou-se eficiente, pois os modelos gerados apresentaram bons resultados, visto os valores dos índices de desempenho obtidos nos testes realizados.

Figura 14. Equações de regionalização da vazão mínima de referência e localização espacial do local de possível uso.



5 CONCLUSÃO

A metodologia apresentada contribui para regionalização de vazão mínima de referência na Amazônia Legal, cobrindo uma área de 2.749.727,37 km². Sendo o modelo linear o que apresentou os melhores resultados para nove dos grupos e subgrupos testados, destacando-se também os modelos potencial e logarítmico, em que cada um simulou seis dos subgrupos. Dessa forma, dentro da região dos grupos e subgrupos testados, é possível prever a vazão $Q_{95\%}$ para uma bacia hidrográfica sem dados de vazão, em função das características físicas e climáticas dessa bacia.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se a inclusão de mais variáveis explicativas nos modelos de regressão para os grupos que apresentaram resultados insatisfatórios, tais como: diferença entre cotas (nascente e foz), tempo de concentração, densidade de drenagem, tipo e uso dos solos.

REFERÊNCIAS

- ASCE. T. **Committee on Definition of Criteria for Evaluation of Watershed Models of the Watershed Management Committee, Irrigation and Drainage Division.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 119, p. 429-442, 1993.
- ALEXANDRE, A. M. B. **Regionalização de Vazões Mínimas do Estado de Roraima.** In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's Climate Classification Map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, vol. 22, n. 6, 711-728, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. The evolution of water resources management in Brazil. Brasília: Ed. ANA, ago.2002. 45p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Resolução **RE nº 542, de 03 de novembro de 2004.** Delega competência para deferimento de pedidos de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos, e dá outras providências. Brasília, DF, 03 de novembro de 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país – Diretrizes e prioridades.** Brasília: Agência Nacional de Águas; Ministério do Meio Ambiente, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013,** Brasília, 2013.
- HIDROWEB-Sistema de informações Hidrológicas. Agência Nacional de Águas - ANA. -. Disponível: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 27 ago. 2015.
- ASSANI, A. A.; CHALIFOUR, A.; LÉGARÉ, G.; MANOUANE, C.-S.; Leroux, D. **Temporal Regionalization of 7-Day Low Flows in the St. Lawrence Watershed in Quebec (Canada).** Water Resour Manage. Vol. 25, p. 3559–3574, 2011.
- BARBOSA, S. E. da S. **Análise de Dados Hidrológicos e Regionalização de Vazões da Bacia do Rio do Carmo.** 2004. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -- Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.
- BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. **Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 8, nº 2, 149–160, 2003.
- BEZDEK, J. C. **Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms.** Plenum Press, New York, 1981.
- BOBÉE, B.; RASMUSSEN, P. F. **Recent advances in flood frequency analysis.** Reviews of Geophysics, v.33 (S2), p. 1111-1116, 1995.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. **Lei nº 1.806, de 6 de janeiro de 1953**. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências. Brasília, DF, 6 de janeiro de 1953.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica Amazônica**. Brasília, 124 p, 2006.

BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. **On the relationship between incoming solar radiation and daily minimum and maximum temperature**. Agricultural and Forest Meteorology, Philadelphia, v. 31, p. 159–166, 1984.

BURN, D. H; GOEL, N. K. **The Formation of groups for regional flood frequency analyses**. Hydrological Sciences Journal. v. 45, n. 1, p. 97-112, 2000.

CAMPOS, V. N. De O.; FRACALANZA, A. P, **Governanças das Águas no Brasil: Conflitos pela Apropriação da Água e a Busca da Integração como Consenso**. Revista Ambiente & Sociedade. V. 13, nº 2, p. 365-382. Campinas, 2010.

CASTRO, C. N. de. **Gestão das Águas: Experiências Internacional e Brasileira**. Texto para Discussão. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2012.

CASTELLARIN, A.; GALEATI, G.; BRANDIMARTE, L.; MONTANARI, A.; BRATH, A. **Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins**. Advances in Water Resources. Vol. 27, p. 953–965, 2004.

CHANG, F.J.; TSAI, Y. H.; CHEN, P. A; COYNEL, A.; VACHAUD, G. **Modeling water quality in an urban river using hydrological factors e Data driven approaches**. Journal of Environmental Management, Vol.151, 87-96. 2015.

COLLISCHONN, W.; ANGRA, S. G; FREITAS, G. K; PRIANTE, G. R. **Da Vazão Ecológica ao Hidrograma Ecológico**. 8º Congresso da Água: água, sede de sustentabilidade: resumos de comunicações, Figueira da Foz, 2006. Ed. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos – APRH. P. 207-208. Lisboa, 2006.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. 2001. 182 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. Resolução **RE nº 129, de 29 de junho de 2011**. Estabelece diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes. Brasília, DF, 29 de junho de 2011.

DUNN, J. C. A. **A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters.** *Cybernetics and Systems*, v. 3, p. 32-57, 1973.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Caracterização da Amazônia Legal e Macrotendências do Ambiente Externo.** 50 p. Brasília, DF, 2011.

EVA, H.D.; HUBER, O. **Proposta para definição dos limites geográficos da Amazônia.** Síntese dos resultados de um seminário de consulta a peritos organizado pela Comissão Europeia em colaboração com a Organização do Tratado de Cooperação Amazônica, CCP Ispra 7-8 de junho de 2005.

FANG, Y.; WANG, M.; DENG, W.; XU, K. **Exploitation scale of hydropower based on instream flow requirements: A case from southwest China.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14. 2290–2297, 2010.

FARSADNIA, F.; KAMROOD, M. R.; MOGHADDAM NIA, A.; MODARRES, R.; BRAY, M. T.; HAN, D.; SADATINEJAD, J. **Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps.** *Journal of Hydrology*, v.509, p. 387-397, 2014.

FRISCH, R. **Statistical Confluence Analysis by Means of Complete Regression Systems, Publication 5 Oslo:** University Institute of Economics, 1934.

HALL, M. J.; MINNS, W. A. **The classification of hydrologically homogeneous regions.** *Hydrological Sciences Journal*, 44(5), October, 1999.

HAIR, J. F. BLACK, C. BABIN, B. J. ANDERSON, R. E. TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados.** Editora Bookman, ed.6, p. 688, 2009.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis: Na Approach Based on L-moments.** 1ªed. New York: Cambridge University Press, p. 224, 1997.

HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B. **Another look at measures of forecast accuracy.** *International Journal of Forecasting*. Vol. 22. P. 679–688. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Geoestatísticas de Recursos Naturais da Amazônia Legal.** Rio de Janeiro, 2011.

KUMAR, P.; CHAUBE, U. C.; MISHRA, S. K. **Environmental Flows for Hydropower Projects - A Case Study.** International Conference on Small Hydropower – Hydro Sri Lanka, 22–24 October, 2007.

LI, M.; SHAO, Q.; ZHANG, L.; CHIEW, F. H.S. **A new regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins.** *Journal of Hydrology* 389, 137–145, 2010.

LIU, W.-C., LIU, S.-Y.; HSU, M.-H.; KUO, A. Y. **Water quality modeling to determine minimum instream flow for fish survival in tidal rivers.** Journal of Environmental Management 76. 293–308, 2005.

LONGHI, E. H., FORMIGA, K. T. M. **Metodologias para Determinar Vazão Ecológica em Rios.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, N.20, 2011.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. **Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n.1, p.147-155, 2003

MAMUM, A. A.; HASHIM, A.; DAOUD, J. I. **Regionalisation of low flow frequency curves for the Peninsular Malaysia.** Journal of Hydrology, Reston, n. 381, p. 174-180, 2010.

MARTINS, D. de M. F.; CHAGAS, R. M.; MELO NETO, J. de O.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. **Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.9, p.1054–1061, 2011.

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. **Aspectos Conceituais Sobre o Regime Hidrológico para a Definição do Hidrograma Ambiental.** Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas.** 455p., UFLA, Lavras, 2013.

MENDES, L. A. **Análise dos Critérios de Outorga de Direitos de Usos Consuntivos dos Recursos Hídricos Baseados em Vazões Mínimas e em Vazões de Permanência.** 2007. 187f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2007.

MILOCA, S. A.; CONEJO, P. D. **Multicolinearidade em Modelos de Regressão.** In: XXII Semana Acadêmica da Matemática, 2008, Cascavel. XXII Semana Acadêmica da Matemática, 2008.

MIMIKOU, M. and KAEMAKI, S., **Regionalization of flow duration characteristics.** Journal of Hydrology. Vol. 82, p. 77-91. 1985.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Da; LARA, F. F. P. **Índices de Conflito pelo Uso da Água da Bacia do Ribeirão entre Ribeiros.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n° 1, p. 221-228, 2014.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. VAN; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.** Transactions of the ASABE, 50, 885- 900. 2007.

MWALE, D.; GAN, T. Y.; DEVITO, K. J.; SILINS, U.; MENDOZA, C.; PETRONE, R. **Regionalization of Runoff Variability of Alberta, Canada, by Wavelet, Independent**

Component, Empirical Orthogonal Function, and Geographical Information System Analysis. Journal of Hydrologic Engineering, Reston, v. 16. n. 2, p. 93-107, 2010.

NASCIMENTO, S.; MIRKIN, B.; MOURA-PIRES, F. **A fuzzy clustering modelo f data and fuzzy c-means.** The Nineth IEEE International Conference on Fuzzy Systems: Soft Computing in the Information Age, p. 302-307, 2000.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística.** Belo Horizonte: CPRM, p. 552, 2007.

NASH, J. E. and SUTCLIFFE, J. V.: **River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles.** Journal of Hydrology. Vol. 10, p.282–290, 1970.

NERC. National Environmental Research Council. **Flood Studies Report**, Vol. 1. London: National Environmental Research Council, 1975.

NOVAES, L.F.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; QUEIROZ, D.O.; RODRIGUEZ, R. DEL G. **Gestão de recursos hídricos: uma nova metodologia para a estimativa das vazões mínimas.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.17, n.1, p.62-74, 2009

OLIVEIRA, J. P. DE; COHN, C. (Orgs.). **Belo Monte e a questão indígena.** Brasília - DF: ABA, 2014.

PAKHIRA, M. K.; BANDYOPADHYAY, S.; MAULIK, U. **Validity index for crisp and fuzzy clusters.** Pattern Recognition, v.37, 487-501, 2004.

PESSOA, F. C. L. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Regionalização de Curvas de Permanência de Vazões da Amazônia.** 2015. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2015.

ROSS, T. J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications.** McGraw-Hill, New York, 1995.

SAMUEL, J.; COULIBALY, P.; METCALFE, R. A. **Estimation of Continuous Streamflow in Ontario Ungauged Basins: Comparison of Regionalization Methods.** Journal of Hydrologic Engineering, v. 16. n. 5, p. 447-459, 2011.

SARMENTO, R. **Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo.** Unesco / ANA / CBHSF, 38 p, 2007.

SELBY, J.; HOFFMANN, C. **Beyond scarcity: Rethinking water, climate change and conflict in the Sudans.** Global Environmental Change. Vol. 29, 360–370. 2014.

SILVA, S. T. da; DANTAS, F. A. de C. **Águas na Amazônia e Direito Ambiental Internacional.** Revista NEJ - Eletrônica, Vol. 17, nº. 1, p. 39-4, 2012.

SILVA, A. M. da; OLIVEIRA, P. M. de; MELLO, C. R. de; PIERANGELI, C. **Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.10, n.2, p.374–380, 2006.

SILVA, J. M. da; GURGEL, I. G. D.; SANTOS, M. O. dos; GURGEL, A. do M.; AUGUSTO, L. G. da S.; COSTA, A. M. **Conflitos ambientais e as águas do rio São Francisco**. Revista Saúde e Sociedade. Vol.24, n.4, p.1208-1216. São Paulo, 2015.

SOARES, P. A.; PINHEIRO, A.; SOARES, K. H.; ZUCCO, E. **Estimativa da Disponibilidade Hídrica em Pequenas Bacias Hidrográficas com Escassez de Dados Fluviométricos**. Revista de estudos ambientais (Online) v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010

THE WORLD BANK. **Environmental flows: concepts and methods**. Technical Note C.1. Washington, DC, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento dos Recursos Hídricos no Brasil**. Global Water Partnership-South America. Asociación Mundial del Agua. Comité Técnico Asesor Sud América-SAMTAC, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre, ed. ABRH/UFRGS, p. 944, 2009.

TUCCI, C. E.M. **Regionalização de vazões**. Editora UFRGS. 1ª edição. Porto Alegre, 2002.

VERGARA, F. E.; REIS, F. C. dos; MAGALHÃES FILHO, L. N. L.; REZENDE, C. Da S. A. **Proposta de vazão de referência Q₉₀ para o rio Formoso na bacia do Araguaia**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 1, p. 084-102, 2013.

VESTENA, L. R.; OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; THOMAZ, E. L. **Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR**. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 212-227, 2012.

YE, Z.; CHEN, Y.; LI, W. **Ecological water rights and water-resource exploitation in the three headwaters of the Tarim River**. Quaternary International. Vol. 336, 20-25. 2014.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. International Glossary of Hydrology. WMO –Nº 385. ISBN 978-92-63-03385-8, 2012.

ZHANG, Y.; YANG Z.; WANG, X. **Methodology to Determine Regional Water Demand for Instream Flow and its Application in the Yellow River Basin**. Journal of Environmental Sciences. Vol. 18, Nº. 5, pp. 1031-1039, 2006.

ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO A - Dados das Estações Fluviométricas e Características Físico-Climáticas Utilizadas no Estudo.

GRUPO HOMOGÊNEO - 1											
ID	Estações	Código	Rio	Período	Latitude	Longitude	A (km ²)	P (mm)	L (km)	Q _{95%} (m ³ s ⁻¹)	Q (m ³ s ⁻¹)
E1	Uruará	18250000	Uruará	39	-3,677	-53,554	5164	1770	974	0,50	39
E2	Base Cachimbo	17345000	Braço Norte	15	-9,342	-54,908	552	2019	230	11,17	26
E3	Barragem Conj. 4	18121006	Curuá-uma	29	-2,816	-54,302	17244	1712	2995	57,91	178
E4	Creporizão	17610000	Crepori	13	-6,820	-56,852	7469	1780	1025	14,98	215
E6	Aldeia Bacajá	18870000	Bacajá	18	-4,916	-51,428	12000	1684	1298	2,08	176
E18	Cach. Tracambeua	31020000	Moju	28	-3,513	-49,213	6616	1971	918	33,88	142
E19	Bom Jardim	31520000	Guamá	45	-1,541	-47,066	4716	2431	863	25,30	134
E20	Tararua Ponte	32450002	Piria	25	-1,735	-46,591	5009	2140	863	3,00	77
E21	Cafezal	32550000	Uraim	25	-2,772	-46,803	4764	1915	840	26,48	74
E26	Arapari	18200000	Maicuru	36	-1,779	-54,397	10853	1704	2567	4,90	121
E28	Apalaí	18280000	Paru de Este	28	1,221	-54,657	6876	1886	1416	8,52	132
E29	Tirios	16700000	Cuminã	27	2,224	-55,956	1281	2081	283	1,61	16
E39	Pacajás	19985000	Pacajás	32	-3,389	-50,567	16961	1900	2405	2,10	125
E40	Foz do Breu	12360000	Juruá	4	-9,410	-72,716	10884	1878	383	6,92	171
E43	Serra do Moa	12400000	Moa	4	-7,447	-73,664	2595	2381	580	6,83	33
E45	Seringal Bom Futuro	12510000	Liberdade	14	-7,849	-72,055	5610	2313	831	6,62	80
E46	Fazenda Paranacre	12530000	Gregório	17	-7,951	-71,482	6488	1865	1423	6,37	47
E49	Seringal São José	13300000	Iaco	28	-9,374	-68,724	12882	1740	1412	17,58	228
E50	Assis Brasil	13450000	Acre	30	-10,944	-69,566	4880	1593	559	2,60	59
E51	Brasiléia	13470000	Acre	37	-11,000	-68,762	9247	1496	1012	12,16	129
E52	Xapuri	13550000	Xapuri	38	-10,651	-68,506	5241	1636	562	21,34	203
E54	Plácido de Castro	15324000	Abunã	44	-10,337	-67,183	11253	1654	1196	14,64	107

E55	Iratapuru	19100000	Iratapuru	30	0,000	-52,570	3851	1925	465	11,39	69
E57	São Pedro	19200000	Cajari	13	0,000	-52,070	789	2039	71	0,39	16
E58	Pancada	19300000	Maraca Pacu	9	0,000	-51,757	2418	2262	275	6,68	48
E59	Cunani	30070000	Cunani	14	2,698	-51,361	813	3479	96	0,34	17
E60	Tartarugal Grande	30075000	Tartarugal Grande	15	1,398	-50,925	1731	3080	1329	1,44	76
E61	Capivara	30080000	Araguari	29	0,000	-51,706	15352	2250	1607	14,84	302
E62	Serra do Navio	30300000	Amapari	38	0,000	-52,010	12198	2454	1345	79,52	342
E67	Faz. Rio Branco	15431000	Branco	27	-9,887	-62,985	2935	2234	365	2,34	26
E68	Ponte Massangana	15432000	Massangana	26	-9,761	-63,288	1265	1906	175	2,34	25
E69	Flor do Campo	15552600	Comemoração	23	-11,749	-60,868	3993	1896	396	53,50	105
E70	Pimenta Bueno	15558000	Pimenta Bueno	26	-11,684	-61,192	10050	1901	1101	66,60	211
E72	Jaru	15565000	Jaru	25	-10,446	-62,466	5662	2049	628	2,12	86
E74	Mineração Jacundá	15590000	Jacundá	23	-9,179	-62,952	1389	2461	426	1,49	34
E77	Bom Fim	14526000	Tacutu	26	3,378	-60,816	16220	1717	1823	1,50	195
E78	Vila Surumu	14530000	Surumu	26	4,196	-60,794	3268	1250	377	4,56	67
E79	Bandeira Branca	14540000	Cotingo	28	4,631	-60,471	7723	1340	828	13,00	85
E80	Maloca do Contão	14550000	Cotingo	35	4,168	-60,529	9270	1617	1011	17,15	147
E82	Fé e Esperança	14680001	Mucajaí	36	2,732	-62,017	10202	1909	1149	65,60	296
E84	Missão Catrimani	14750000	Catrimani	21	1,750	-62,283	8910	1877	937	17,86	146
E85	Fazenda São José	14845000	Jauaperi	27	0,000	-60,466	4899	1894	535	2,21	156
E86	Base Alalau	14850000	Alalaú	29	0,000	-60,520	4377	2164	978	15,29	202
E92	Colocação Caxias	12100000	Jutaí	28	-5,386	-68,981	17990	2574	1812	55,28	477
E98	Barreirinha	12870000	Auati-Paraná	28	-2,100	-66,417	1380	2598	159	70,50	1815
E99	Estirão Santa Cruz	12880000	Tefé	31	-4,292	-65,202	15754	2510	1647	134,00	540
E106	Cristo	13885000	Mucuíim	35	-7,465	-64,243	6198	2454	678	32,42	257
E112	Pari Cachoeira	14300000	Tiquié	30	0,000	-69,785	4991	3213	534	39,60	125
E113	Tumbira	14325000	Curicuriari	10	0,000	-67,536	13182	3122	1325	343,25	798

E115	Rio Preto da Eva	15042000	Preto da Eva	16	-2,699	-59,704	746	2383	263	15,58	33
E122	Mineração Caima	16368000	Nhamundá	29	-1,558	-58,619	7932	2225	1733	43,91	221
E123	Santarém Sucunduri	15910000	Sucunduri	37	-6,796	-59,042	14313	2280	2761	32,50	441
E127	Rio da Palma	21850000	Palma	33	-12,417	-47,196	12539	1428	1364	124,64	233
E129	Porto Alegre	22190000	Manuel Alves	30	-11,611	-47,045	1172	1563	177	23,31	43
E130	Fazenda Lobeira	22250000	Manuel Alves	37	-11,533	-48,289	14793	1553	3019	29,10	195
E134	Rio das Balsas	22750000	Das Balsas	20	-10,000	-47,828	12312	1551	2169	88,72	237
E135	Dois Irmãos	22850000	Perdida	29	-9,311	-47,813	5138	1643	1304	34,08	173
E137	Goiantins	23250000	Manuel Alves	35	-7,708	-47,312	10221	1651	2429	61,91	160
E140	Barreira do Pequi	26710000	Javaés	21	-12,089	-49,988	11961	1640	1295	3,12	211
E141	Praia Alta	26720000	Formoso	21	-12,418	-49,589	7887	1411	1926	0,72	69
E142	Proj. Rio Formoso	26750000	Formoso	14	-12,067	-49,733	12003	1544	2770	4,53	104
E143	Arapoema	27550000	Jenipapo	19	-7,614	-49,045	1120	1851	164	4,02	28
E144	Muricilandia	28150000	Muricizal	33	-7,154	-48,620	1893	1618	264	5,08	31
E145	Piraque	28240000	Lontra	33	-6,672	-48,470	2320	1679	280	16,31	78
E148	Maracacume	32740000	Maracacume	38	-2,054	-45,956	2516	2060	300	0,50	61
E149	Alto Turi	32830000	Turiação	38	-2,944	-45,667	5960	1972	996	2,43	85
E150	Esperantina	33170000	Zutiua	35	-4,032	-45,777	8522	1755	1428	1,01	20
E151	Rio Corda II	33215000	Corda ou Capim	25	-5,736	-45,324	4780	813	823	15,68	22
E152	Barra do Corda	33250000	Mearim	43	-5,500	-45,243	14887	1162	2646	35,89	60
E153	Flores	33270000	Flores	33	-5,419	-44,928	3801	1226	528	0,33	2
E156	Grajau	33320000	Santana	16	-5,817	-46,133	3251	1262	497	5,85	33
E157	Fortaleza	33330000	Grajau	28	-5,594	-46,240	4647	1102	992	0,79	15
E159	Mirador	33420000	Itapecuru	39	-6,369	-44,356	6682	1237	1033	10,30	18
E160	Fernando Falcão	33430000	Alpercatas	8	-6,170	-44,869	6399	1058	1091	22,81	28
E161	Campo Largo	33450000	Alpercatas	35	-6,067	-44,708	6672	1437	1149	24,91	33

E162	Colinas	33480000	Itapecuru	39	-6,019	-44,243	15202	1307	2465	34,58	55
E166	Balsas	34130000	Das Balsas	41	-7,534	-46,036	8886	1210	1605	59,50	102
E167	Pontes e Lacerda	15050000	Guaporé	36	-15,215	-59,354	782	1521	179	34,60	58
E169	Humboldt	15750000	Aripuanã	28	-10,169	-59,466	15942	2013	3881	38,78	331
E171	Fazenda Tucunaré	17091000	Juruena	12	-13,457	-59,002	4903	1974	615	127,61	145
E174	Porto Roncador	17200000	Teles Pires	34	-13,558	-55,335	12325	1719	2417	48,29	269
E175	Teles Pires	17210000	Teles Pires	31	-12,674	-55,793	15963	1515	2978	90,36	349
E179	Cachimbo	17350000	Braco Sul	26	-9,817	-54,886	491	2290	111	2,45	30
E181	Pas. da BR-309	18409000	Culuene	14	-14,611	-53,999	4020	2032	598	2,46	14
E182	Fazenda Itaguaçu	18420000	Ronuro	32	-13,141	-54,445	4374	1485	685	43,02	81
E183	Consul	18423000	Atelchu	10	-12,366	-54,489	9802	1388	1732	63,95	112
E184	Comte. Fontoura	18435000	Comte. Fontoura	10	-10,555	-52,183	3995	1724	422	27,73	95
E185	Alto Araguaia	24050000	Araguaia	42	-17,302	-53,221	4442	1674	800	28,40	50
E187	Tesouro	24500000	Das Garças	41	-16,078	-53,548	5662	1787	1284	24,90	102
E188	General Carneiro	24650000	Barreiro	39	-15,711	-52,754	796	1469	242	4,95	40
E189	Rio das Mortes	26040000	Das Mortes	31	-15,315	-54,176	5446	1690	725	76,87	122
E191	Alto Paraguai	66005000	Paraguai	14	-14,567	-56,550	657	1910	91	1,70	12
E192	Nortelândia	66006000	Santana	37	-14,452	-56,814	1663	1798	184	11,00	38
E193	Barra do Bugres	66010000	Paraguai	40	-15,076	-57,182	5383	1538	985	31,31	157
E194	Porto Estrela	66015000	Paraguai	35	-15,326	-57,226	11485	1187	2123	46,77	198
E195	Tapirapuã	66050000	Sepotuba	34	-14,851	-57,768	3288	1752	668	84,89	168
E199	Marzagão	66140000	Cuiabá	25	-14,542	-55,849	1203	1709	215	5,60	63
E200	Faz. Riacho Doce	66171500	Roncador	10	-15,092	-55,442	545	1540	61	29,09	41
E201	Rosário Oeste	66250001	Cuiabá	42	-56,414	-14,834	15859	1379	2434	81,41	304
E209	Itiquira	66520000	Itiquira	35	-17,208	-54,151	2881	1702	620	25,78	61
E214	Caiabis (Balsa)	17121000	Rio dos Peixes	11	-11,528	-57,668	12748	1897	2831	69,60	255

GRUPO HOMOGÊNIO - 2											
ID	Estações	Código	Rio	Período	Latitude	Longitude	A (km²)	P (mm)	L (km)	Q_{95%} (m³ s⁻¹)	Q (m³ s⁻¹)
E5	Jardim do Ouro	17675000	Jamansim	20	-6,258	-55,773	38668	1745	6412	51,53	1153
E7	Faz. Cipauba	18880000	Bacajá	32	-3,731	-51,568	25962	1964,28	2851,22	1,64	341,28
E8	Boa Esperança	18500000	Fresco	30	-6,745	-51,774	42605,3	1881,58	7393,6	15,79	828,15
E12	Aldeia Baú	18640000	Curuá	29	-7,346	-54,824	18591	2226	3406	46,60	455
E13	Faz. Alegria	29100000	Itacaiunas	40	-5,487	-49,221	31719	1383	5457	36,62	538
E17	Tauri	31650000	Capim	11	-3,500	-48,833	21267	2091	3537	99,50	365
E22	Faz. Maringá	31680000	Capim	28	-3,137	-48,085	25568,5	1809,57	4175,44	10,20	472,75
E23	Badajós	31700000	Capim	29	-2,513	-47,768	33012,6	2403,27	5605,73	217,90	582,00
E24	Faz. Rural Zebu	32540000	Gurupi	29	-3,320	-46,846	19167	1500	3168	47,60	120
E25	Alto Bonito	32620000	Gurupi	28	-1,801	-46,316	34109	2101	5631	109,80	482
E27	Boca do Inferno	17090000	Curuá	31	-1,503	-54,873	24274	2050	2636,22	2,25	141
E30	Aldeia Wai-Wai	16480000	Mapuera	17	0,000	-57,975	19754	2241	3526	47,09	564
E31	Garganta	16430000	Trombetas	16	0,000	-57,043	31153	2768	6789,2	141,00	1357
E33	Estirão Angélica	16500000	Mapuera	27	-1,101	-57,057	24704	2632	4360	36,53	680
E41	Taumaturgo	12370000	Juruá	4	-8,934	-72,789	21864	1468	2254	21,50	397
E42	Porto Walter	12390000	Juruá	4	-8,267	-72,741	29635	2109	3163	29,58	569
E44	Cruzeiro do Sul	12500000	Juruá	14	-7,633	-72,662	46716	2075	4924	108,00	926
E47	Feijó	12650000	Envira	27	-8,164	-70,356	20192	1713	2126	19,95	438
E48	Manoel Urbano	13180000	Purus	28	-8,884	-69,268	37331	1768	3917	62,30	806
E53	Rio Branco	13600002	Acre	43	-9,975	-67,801	28599	1907	3139	29,40	366
E71	Ji-Paraná	15560000	Jiparaná	28	-10,874	-61,936	38160	1941	4131	165,92	699
E81	Posto Funai	14650000	Mucajaí	20	2,861	-60,732	20617	1691	2260	67,08	294
E83	Mucajaí	14690000	Mucajaí	15	2,871	-61,441	19277	1942	1504	69,57	519
E87	Palmeiras Javari	10200000	Javari	28	-5,139	-72,814	21604	2550	2233	81,40	625

E93	Barreira Alta	12200000	Jutaí	30	-4,221	-67,893	40081	2337	4017	418,99	1642
E101	Floriano Peixoto	13650000	Acre	43	-9,067	-67,397	38494	2086	4243	60,00	635
E102	Faz. Borangaba	13740000	Pauini	25	-7,550	-67,550	27081	2311	2824	87,60	833
E107	Bacaba	13886000	Tapaua	29	-6,319	-64,886	40904	1493	4241	338,00	1504
E109	Missão Içana	14230000	Içana	30	1,074	-67,595	27328	3349	2949	636,90	1876
E121	Base da Siderama	16200000	Jatapu	29	-1,641	-58,814	32271	1714	5820	65,52	616
E124	Jalauaca	14450000	Demeni	16	0,000	-63,336	22935	2462	2709	52,80	522
E125	Posto Ajuricaba	14440000	Demeni	30	0,000	-63,186	19677	1982	3279	24,20	467
E128	Paraná	21900000	Paraná	37	-12,622	-47,886	41125	1167	8294	212,63	722
E133	Novo Acordo	22700000	Do Sono	35	-9,963	-47,675	20171	1545	2898	153,26	314
E136	Porto Real	22900000	Do Sono	38	-9,307	-47,929	46364	1629	8066	281,77	745
E147	Pedreiras	32280000	Mearim	13	-4,570	-44,605	25691	1572	4137	42,60	92
E155	Bacabal	33290000	Mearim	32	-4,219	-44,765	26108	1789	4369	39,77	107
E168	Mato Grosso	15120001	Guaporé	31	-15,009	-59,958	23142	1399	2937	33,24	130
E170	Concisa	15820000	Roosevelt	20	-9,817	-60,692	39438	1985	8836	119,50	536
E173	Fazenda Tombador	17095000	Do Sangue	22	-11,718	-58,048	26904	1877	5097	331,29	527
E176	Cachoeirão	17280000	Teles Pires	32	-11,652	-55,703	36891	1643	6889	354,00	836
E177	Faz. Tratex	17300000	Teles Pires	12	-10,956	-55,551	47038	1964	9501	406,34	960
E186	Torixoreu	24200000	Araguaia	36	-16,201	-52,550	22290	1441	5135	92,76	353
E190	Xavantina	26100000	Das Mortes	38	-14,673	-52,355	25122	1530	4618	231,47	501
E196	Cáceres (PNPVN)	66070004	Paraguai	42	-16,076	-57,702	32677	1300	5923	185,70	555
E197	Descalvados	66090000	Paraguai	39	-16,733	-57,749	46893	1160	8203	232,04	596
E202	Acorizal	66255000	Cuiabá	42	-15,204	-56,367	18394	1593	2993	84,96	334
E203	Cuiabá	66260001	Cuiabá	46	-15,616	-56,109	21725	1354	36	80,20	398
E204	Porto Cercado	66340000	Cuiabá	35	-16,512	-56,376	30831	1224	5030	114,80	346
E205	São João	66360000	Cuiabá	33	-16,944	-56,633	34784	1285	5771	108,81	258

E206	Ilha Camargo	66370000	Cuiabá	14	-17,056	-56,581	35493	1217	6136	129,88	344
E207	Colônia Santa Isabel	66465000	São Lourenço	10	-16,690	-55,996	23545	1507	3496	114,40	273
E208	São José do Boriréu	66470000	São Lourenço	31	-16,925	-56,224	23855	1303	3592	118,00	263
E210	São Jerônimo	66600000	Piquiri	37	-17,202	-56,009	23069	1127	3589	103,46	256
E213	Porto dos Gaúchos	17120000	Arinos	33	-11,537	-57,552	39364	1874	7055	369,80	722
GRUPO HOMOGÊNEO - 3											
ID	Estações	Código	Rio	Período	Latitude	Longitude	A (km²)	P (mm)	L (km)	Q_{95%} (m³ s⁻¹)	Q (m³ s⁻¹)
E9	Belo Horizonte	18520000	Xingu	29	-5,393	-52,877	104653	1748	17391	1190	5069
E10	Manoel Jorge(TP)	18590000	Iriri	9	-6,187	-54,084	57086	1861	10937	13,08	996
E11	Laranjeiras	18600000	Iriri	30	-5,697	-54,246	65377	1334	12498	37,20	1184
E32	Caramujo	16460000	Trombetas	17	-1,065	-57,061	51551	2631	9838	182,66	1912
E56	São Francisco	19150000	Jari	38	0,000	-52,569	85488	2250	9395	149,00	1054
E63	Pimenteiras	15130000	Guaporé	23	-13,486	-61,050	56038	1968	6614	167,88	500
E64	Pedras Negras	15150000	Guaporé	25	-12,851	-62,899	112186	1511	13162	182,00	871
E73	Tabajara	15580000	Jiparaná	28	-8,932	-62,056	61994	2368	6815	245,20	1402
E75	Mocidade	14500000	Uraricoera	25	3,464	-60,910	51147	1436	5658	15,29	1242
E76	Fazenda Passarão	14515000	Uraricoera	46	3,208	-60,571	52321	1324	5794	223,00	1445
E88	Estirão do Repouso	10500000	Javari	30	-4,341	-70,906	73118	2512	7517	474,00	2556
E90	Ipiranga Novo	11444900	Putumayo/Içá	14	-2,927	-69,680	82229	2649	8612	2946,95	6559
E94	Porto Seguro	12240000	Jutaí	4	-3,337	-67,492	74086	2457	7577	824,49	2414
E95	Envira	12680000	Tarauacá	32	-7,428	-70,023	56830	2712	5952	121,37	1195
E100	Seringal Caridade	13410000	Purus	43	-9,044	-68,577	71744	1856	7750	90,96	1356
E111	Taraqua	14280001	Vaupés/Uaupés	35	0,000	-68,539	65521	3539	6847	600,00	2738
E139	Fazenda Telesforo	26030000	Araguaia	26	-11,917	-50,667	68234	1592	8184	353,00	1496
E172	Fontanilhas	17093000	Juruena	29	-11,358	-58,343	59501	1935	9943	1104,50	1470
E178	Indeco	17340000	Teles Pires	32	-10,113	-55,571	52751	2089	10854	437,98	1178

E198	Porto Conceição	66120000	Paraguai	31	-17,143	-57,359	95131	1052	11373	226,00	423
E211	Rio Arinos	17123000	Arinos	13	-10,639	-58,004	58195	1752	11373	504,00	1242
GRUPO HOMOGÊNEO - 4											
ID	Estações	Código	Rio	Período	Latitude	Longitude	A (km²)	P (mm)	L (km)	Q_{95%} (m³ s⁻¹)	Q (m³ s⁻¹)
E96	Gavião	12840000	Juruá	38	-4,839	-66,851	187182	2667	19888	844,45	4718
E97	Acanai	12850000	Caquetá/Japurá	13	-1,821	-66,600	182923	2871	19390	5828	14454
E103	Seringal Fortaleza	13750000	Purus	43	-7,716	-67,000	175293	2368	18552	502,40	3878
E110	São Felipe	14250000	Negro	32	0,000	-67,313	133685	2640	14032	2094,00	8009
E118	Boca do Guariba	15800000	Aripuanã	32	-7,707	-60,587	134249	2935	29749	130,80	1450
E119	Prainha Velha	15830000	Aripuanã	36	-7,208	-60,650	136576	2543	31887	355,90	3351
E131	Porto Nacional	22350000	Tocantins	62	-10,704	-48,418	178103	1478	37018	424,39	195
E132	Miracema do TO	22500000	Tocantins	39	-9,568	-48,379	189268	1692	38440	552,01	2321
E180	Santa Rosa	17410000	Teles Pires	25	-8,858	-57,402	133571	2268	33696	967,72	3430
E212	Foz do Juruena	17130000	Juruena	10	-7,731	-58,281	193372	1968	39838	2164,00	4655
GRUPO HOMOGÊNEO - 5											
ID	Estações	Código	Rio	Período	Latitude	Longitude	A (km²)	P (mm)	L (km)	Q_{95%} (m³ s⁻¹)	Q (m³ s⁻¹)
E89	São Paulo de Olivença	11400000	Solimões/Amazonas	37	-3,440	-68,763	230515	2660	19850	22676,00	46045
E104	Lábrea	13870000	Purus	43	-7,258	-64,798	250252	2183	22172	928	5180
E105	Canutama	13880000	Purus	37	-6,539	-64,386	271386	2301	40724	1205	6434
E114	Curicuriari	14330000	Negro	32	0	-66,802	225424	2841	20044	4145,00	12502
E138	Tocantinópolis	23600000	Tocantins	34	-6,289	-47,392	293084	1495	57168	1101	4168
E146	Carolina	23300000	Tocantins	45	-7,338	-47,473	280206	1591	54660	1104	3758
GRUPO HOMOGÊNEO - 8											
ID	Estações	Código	Rio	Período	Latitude	Longitude	A (km²)	P (mm)	L (km)	Q_{95%} (m³ s⁻¹)	Q (m³ s⁻¹)
E15	Itupiranga	29200000	Tocantins	33	-49,324	-5,128	915567	1678	138240	2741	11479
E16	Tucuruí	29700000	Tocantins	29	-49,653	-3,758	936376	2400	141465	3287	11399

E65	Abunã	15320002	Madeira	28	-65,365	-9,703	889201	1841	96970	3691	18075
E66	Porto Velho	15400000	Madeira	40	-64	-8,748	945520	2245	112072	4213	18671
E116	Humaitá	15630000	Madeira	36	-63,018	-7,503	1033963	2276	121961	10773	21510
E117	Manicoré	15700000	Madeira	41	-61,302	-5,817	1082709	2530	127497	15504	24833

Observação: As estações em destaque são as que foram retiradas dos modelos por apresentarem ε acima de 20%.

Fonte: Adaptado de PESSOA, 2015.

ANEXO B - Dados das Estações Pluviométricas Utilizadas no Estudo.

Estação	Código	Longitude	Latitude	Rio	Período
Uruará	353000	-53,554	-3,678	Uruará	78-2010
Barragem Conj. 4	254005	-54,298	-2,815	Curuá-uma	1978-2001
Creporizão	656003	-56,733	-6,800	Rio Crepori	2000-2007
Jardim do ouro	655004	-55,773	-6,258	Jamanxim	2000-2011
Aldeia Bacajá	451000	-51,429	-4,915	Bacajá	77-86/95-99
Faz. Cipauba	351002	-51,568	-3,723	Bacajá	82-88/94-2011
Boa Esperança	651001	-51,799	-6,703	Rio Fresco	1977-2010
Belo Horizonte	552000	-52,902	-5,408	Xingu	1977-1997
Manoel Jorge (TP)	654000	-54,073	-6,202	Iriri	2000-2011
Laranjeiras	554001	-54,233	-5,683	Iriri	1987-1989
Aldeia Baú	754000	-54,833	-7,333	Curuá	1977-1994
Faz. Alegria	549011	-49,223	-5,497	Itacaiunas	2005-2011
Conc. Araguaia	849001	-49,250	-8,283	Araguaia	1967-1984
Itupiranga	549008	-49,324	-5,129	Tocantins	1994-2011
Tucuruí	549000	-49,667	-3,760	Tocantins	1972-2011
Tauri	348000	-48,833	-3,500	Capim	1977-1988
Cach. Tracambeua	349001	-49,223	-3,514	Moju	1983-2011
Bom Jardim	147006	-47,100	-1,567	Guamá	1972-1988
Tararua Ponte	146005	-46,599	-1,733	Piria	1973-2011
Cafezal	247005	-46,803	-2,772	Uraim	1985-2011
Faz. Maringá	348001	-48,086	-3,154	Capim	1983-2011
Badajós	247000	-47,768	-2,513	Capim	1973-2011
Faz. Rural Zebu	346001	-46,877	-3,347	Gurupi	1981-2010
Alto Bonito	146008	-46,344	-1,818	Gurupi	1976-2011
Arapari	154000	-54,397	-1,774	Maicuru	1972-2011
Boca do Inferno	154001	-54,871	-1,500	Curuá	1975-2010
Apalaí	8154000	-54,656	1,220	Paru de Este	1981-2006
Tirios	8255000	-55,949	2,225	Cuminã	1975-1998
Aldeia Wai-Wai	57000	-57,974	0,000	Mapuera	87-88/93-10
Lajeiro	54000	-54,433	0,000	Trombetas	1980-1982
Caramujo	156002	-56,403	-1,456	Maicuru	1999-2006
Garganta	156002	-56,403	-1,456	Trombetas	1999-2006
Estirão da Angélica	157000	-57,047	-1,088	Mapuera	1975-2006
Esperantina	445001	-45,271	-4,031	Tapajós	1973-2013
Jatobá	556000	-56,856	-5,154	Tapajós	1973-2012
Jacareacanga	657000	-57,776	-6,236	Tapajós	1982-2013
Óbidos	155001	-55,519	-1,901	Solimões	1928-51/70-96
Óbidos	155001	-55,519	-1,901	Solimões	1928-51/70-96
Fazenda Estrela do Norte	350000	-50,463	-3,879	Pacajás	1979-1999
Foz do Breu	972000	-72,703	-9,402	Rio Juruá	1983-2011
Taumaturgo	872000	-72,785	-8,935	Rio Juruá	1981-2011
Porto Walter	872001	-72,734	-8,268	Rio Juruá	82-97/05-11

Serra do Moa	773000	-73,652	-7,436	Rio Moa	76-96/05-11
Cruzeiro do sul	772000	-72,681	-7,611	Rio Juruá	1970-1995
Seringal Bom Futuro	772003	-72,019	-7,850	Rio Liberdade	1993-2011
Fazenda Paranacre	771001	-71,482	-7,951	Rio Gregório	1983-2011
Feijó	870002	-70,356	-8,164	Rio Envira	1983-2011
Manoel Urbano	869000	-69,268	-8,884	Rio Purus	1984-2008
Seringal São José	968003	-68,724	-9,374	Rio Iaco	1983-2009
Assis Brasil	1069000	-69,568	-10,933	Rio Acre	1981-2011
Brasiléia	1168001	-68,735	-11,023	Rio Acre	1981-2011
Xapuri	1068000	-68,507	-10,650	Rio Xapuri	1978-2011
Rio Branco	967000	-67,800	-9,976	Rio Acre	1970-2012
Plácido de Castro	1067002	-67,189	-10,324	Rio Abunã	1994-2011
Iratapuru	52002	-52,600	0,000	Iratapuru	1980-1984
São Francisco	52000	-52,575	0,000	Jari	1969-2011
São Pedro	52003	-52,078	0,000	Cajari	1997-2012
Pancada	51003	-51,800	0,000	Maracapacu	1982-1991
Cunani	8251001	-51,361	2,698	Cunani	1984-2011
Tartarugal Grande	8150001	-50,924	1,398	Tartarugal grande	1998-2011
Capivara	8151002	-51,671	1,004	Araguari	2005-2009
Serra do Navio	8052000	-52,009	0,000	Amapari	1973-2011
Pimenteiras	1360002	-61,046	-13,480	Guaporé	1978-2011
Pedras Negras	1262000	-62,899	-12,851	Guaporé	1980-2012
Abunã	965001	-65,365	-9,703	Madeira	1976-2011
Porto Velho	863000	-63,917	-8,767	Madeira	1961-2007
Fazenda Rio Branco	963004	-62,988	-9,887	Rio Branco	1981-2011
Min. Ponte Massangana	1063001	-63,288	-9,761	Massangana	1981-2011
Faz. Flor do campo	1160002	-60,868	-11,749	Comemoração	1983-2011
Pimenta Bueno	1161001	-61,192	-11,684	Pimenta Bueno	1980-2011
Jiparaná	1061001	-61,931	-10,849	Jiparaná	1975-1996
Jaru	1062001	-62,466	-10,446	Jaru	1977-2011
Tabajara	862000	-62,054	-8,933	Jiparaná	1978-2011
Mineração Jacundá	962001	-62,953	-9,179	Jacundá	1981-2006
Mocidade	8360003	-60,910	3,464	Uraricoera	1976-2000
Fazenda Passarão	8360002	-60,571	3,208	Uraricoera	1977-2011
Bom Fim	8359000	-59,816	3,378	Tacutu	1984-2011
Vila Surumu	8460001	-60,794	4,196	Surumu	1984-2011
Fazenda Bandeira Branca	8560000	-60,471	4,631	Contigo	1976-1995
Maloca do Contão	8360000	-60,529	4,167	Contigo	1975-2011
Posto Funai	8262000	-62,018	2,728	Mucajaí	1984-2011
Fé e Esperança	8261000	-61,441	2,871	Mucajaí	1975-2011
Mucajaí	8260004	-60,918	2,471	Mucajaí	1995-2011
Missão Catrimani	8162000	-62,283	1,750	Catrimani	1984-2011
Fazenda São José	8060000	-60,466	0,000	Jauaperi	1983-2011
Base Alalau	60000	-60,520	0,000	Alalaú	1977-2011

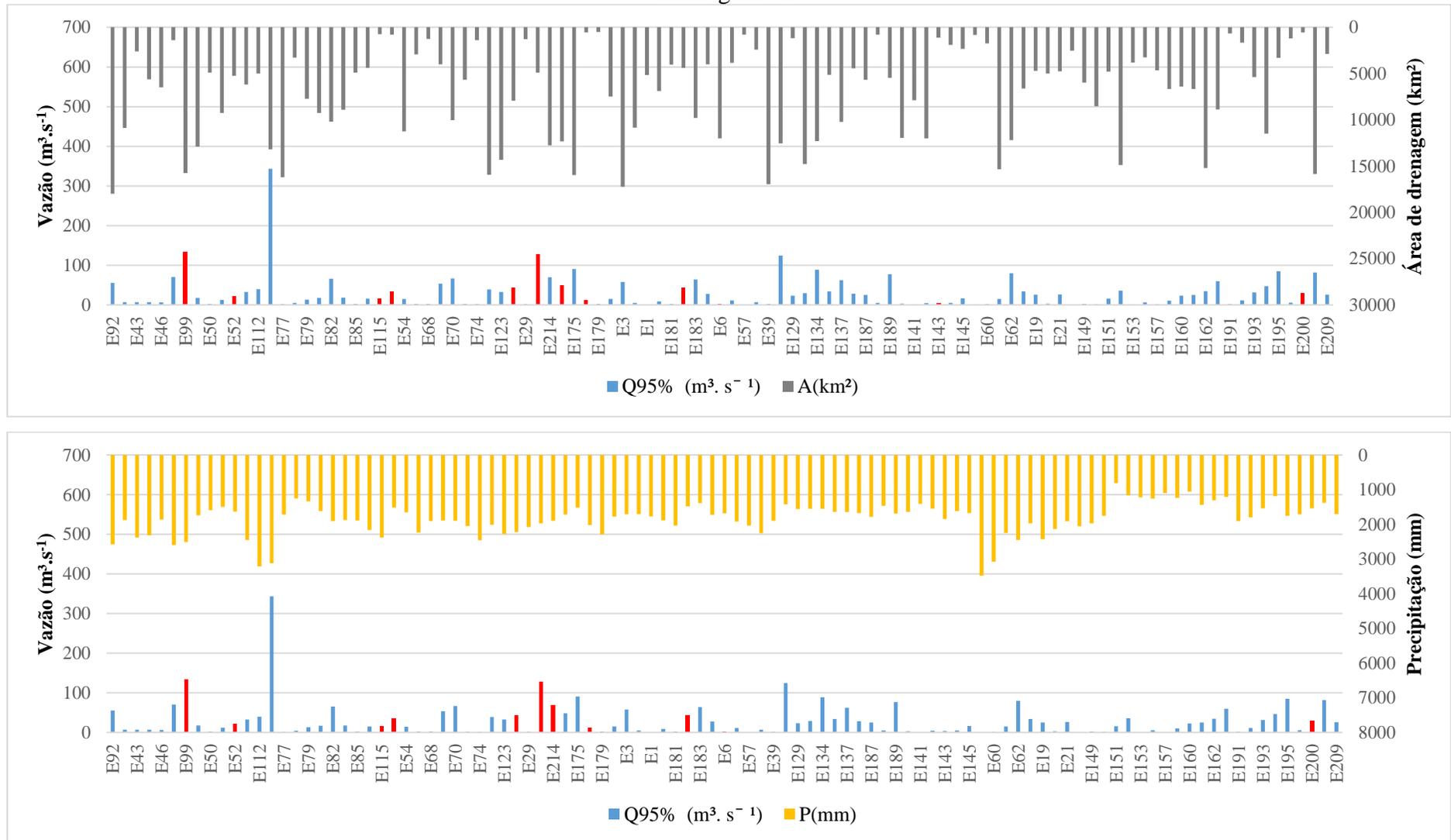
Palmeiras do Javari	572000	-72,814	-5,138	Javari	1982-2011
Estirão do Repouso	470002	-70,967	-4,383	Javari	81-82/90-2011
São Paulo de Olivença	368001	-68,912	-3,457	Solinões	1972-2011
Ipiranga Novo	269001	-69,693	-2,930	Putumaio Içá	1996-2011
Santo Antônio do Içá	367000	-67,936	-3,102	Solinões	1972-2011
Colocação Caxias	568001	-68,998	-5,381	Jutaí	1982-2011
Barreira Alta	467000	-67,893	-4,221	Jutaí	1981-2008
Porto Seguro	367001	-67,489	-3,337	Jutaí	1993-2011
Envira	770000	-70,023	-7,428	Taruacá	1978-2011
Gavião	466001	-66,851	-4,839	Juruá	1975-2011
Acanauí	166000	-66,600	-1,821	Caquetá	1973-2011
Barreirinha	257001	-57,064	-2,792	Auati-Paraná	1982-2011
Estirão da Santa Cruz	465000	-65,202	-4,292	Tefé	1981-2011
Florianópolis	967001	-67,397	-9,067	Acre	72-74/92-11
Faz. Borangaba	767002	-67,559	-7,550	Pauini	1984-2010
Seringal Fortaleza	766001	-66,985	-7,717	Purus	1975-2010
Lábrea	764001	-64,833	-7,250	Purus	1972-1990
Canutama	664001	-64,386	-6,539	Purus	1980-2011
Cristo	764003	-64,243	-7,465	Mucumim	75-89/00-11
Bacaba	664000	-64,886	-6,319	Tapaua	1988-2011
Manacapuru	360001	-60,609	-3,308	Solinões	1972-2011
Missão Içana	8167000	-67,593	1,074	Içana	1981-2011
São Felipe	8067001	-67,314	0,000	Negro	1978-2011
Taraquá	8068000	-68,541	0,000	Uaupés	1961-2011
Pari Cachoeira	8069003	-69,784	0,000	Tiqué	1980-2011
Tumbira	67002	-67,536	0,000	Curucuriari	2000-2011
Curucuriari	66002	-66,803	0,000	Negro	2006-2001
Rio Preto da Eva	259004	-59,700	-2,700	Preto da Eva	1994-2011
Humaitá	763000	-63,033	-7,517	Madeira	30-35/61-77
Manicoré	561000	-61,300	-5,817	Madeira	1975-1989
Boca do Guariba	760001	-60,578	-7,705	Aripuanã	1978-2011
Praia Velha	760000	-60,644	-7,205	Aripuanã	1974-2011
Barra do São Manuel	758000	-58,155	0,000	Tapajós	1977-1999
Base da Siderama	158000	-58,519	-1,641	Jatapu	1975-1999
Português	157002	-57,051	-1,868	Nhamundá	1990-2001
Santarém Sucunduri	658000	-59,042	-6,795	Sucunduri	1975-2006
Barcelos	62000	-62,929	0,000	Demini	1961-1990
Posto Ajuricaba	8062000	-63,622	0,000	Demini	1983-2005
Santa Isabel do Rio Negro	65000	-65,333	0,000	Negro	1965-1979
Rio da Palma	1247002	-47,200	-12,416	Palma	1973-2011
Paraná	1247003	-47,850	-12,550	Paraná	1949-1990
Porto Alegre	1147003	-47,045	-11,610	Manuel Alves	1975-2011
Fazenda Lobeira	1148000	-48,295	-11,531	Manuel Alves	1969-2011
Porto Nacional	1048002	-48,420	-10,717	Tocantins	1969-1984

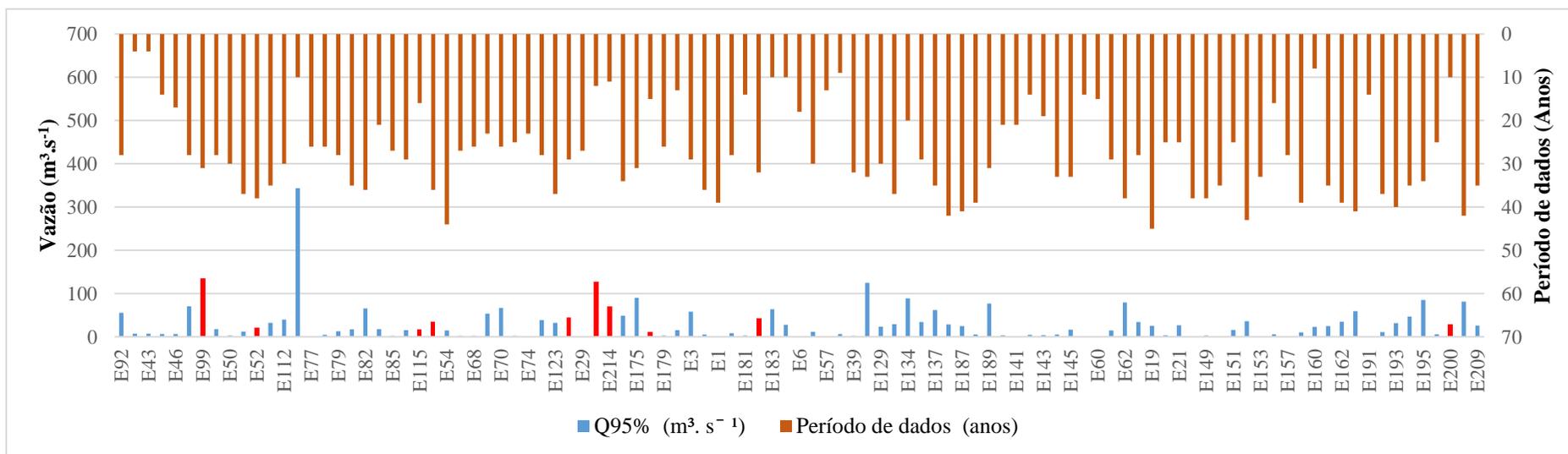
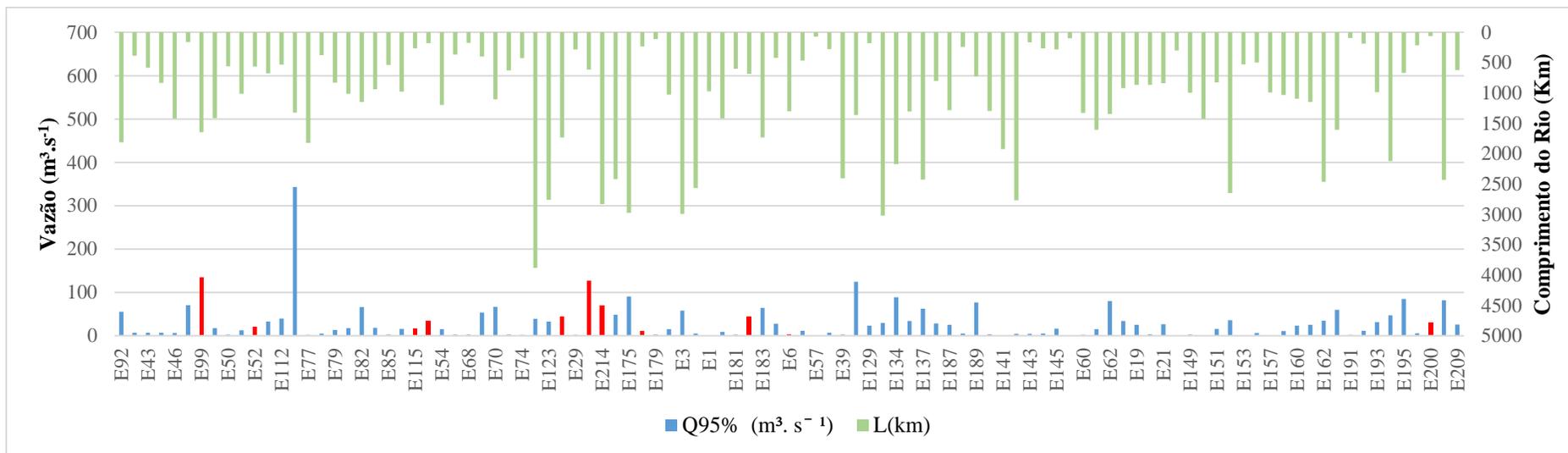
Miracema do Tocantins	948000	-48,388	-9,564	Tocantins	1969-2012
Novo Acordo	1047001	-47,675	-9,961	Rio do Sono	1972-2011
Rio das Balsas	1047003	-47,900	-10,000	Rio das Balsas	1975-1995
Dois Irmãos	947000	-47,817	-9,317	Perdida	1973-1977
Porto Real	948001	-47,929	-9,307	Rio do Sono	1969-2011
Goiantins	747001	-47,315	-7,715	Manuel Alves	1972-2012
Tocantinópolis	647000	-47,392	-6,289	Tocantins	1969-2011
Fazenda Telesforo	1150000	-50,667	-11,917	Araguaia	1969-1995
Barreira do Pequi	1249003	-49,948	-12,099	Javaés	1984-2011
Praia Alta	1249004	-49,590	-12,418	Formoso	1986-2012
Projeto Rio formoso	1249002	-49,772	-11,839	Formoso	1981-2011
Arapoema	749000	-49,065	-7,655	Jenipapo	1973-2011
Muricilandia	748003	-48,603	-7,154	Muricizal	1974-2012
Piraque	648002	-48,470	-6,672	Lontra	1974-2012
Carolina	747000	-47,464	-7,323	Tocantins	1969-2011
Pedreiras	444006	-44,667	-4,583	Mearim	1975-1988
Maracacume	245003	-45,958	-2,052	Maracacume	1972-2011
Alto Turi	245001	-45,665	-2,954	Turiaçu	1972-2011
Esperantina	445001	-45,271	-4,031	Zutia	1973-2011
Rio Corda II	545011	-45,313	-5,728	Corda	1982-2011
Barra do Corda	545003	-45,217	-5,500	Mearim	1961-1998
Flores	544006	-44,928	-5,420	Flores	1972-2011
Pedreiras II	444005	-44,605	-4,570	Mearim	1968-2011
Bacabal	444012	-44,767	-4,217	Mearim	1976-1998
Grajau	546002	-46,467	-5,817	Santana	1949-1995
Fortaleza	546006	-46,239	-5,604	Grajau	1979-2011
Aratoi Grande	345000	-45,218	-3,771	Itapecuru	1970-2011
Mirador	644007	-44,359	-6,369	Itapecuru	1970-2011
Fernando Falcão	644018	-44,869	-6,170	Alpercatas	2005-2011
Campo Largo	644000	-44,983	0,000	Alpercatas	66-88/2000-01
Colinas	644017	-44,233	-6,033	Itapecuru	1976-1998
Caxias	443001	-43,350	-4,867	Itapecuru	1961-1998
Codó	443005	-43,883	-4,483	Itapecuru	1966-1974
Coroata	444001	-44,166	-4,163	Itapecuru	1966-2011
Balsas	746005	-46,033	-7,533	Rio das Balsas	1976-1998
Pontes e lacerda	1559000	-59,354	-15,216	Guaporé	1975-2012
Mato Grosso	1559006	-59,949	-15,008	Guaporé	1966-2012
Humboldt	1059000	-59,452	-10,175	Aripuanã	1978-2011
Concisa	960001	-60,691	-9,800	Roosevelt	1976-2001
Fazenda Tucunaré	1358002	-58,975	-13,467	Juruena	1983-2012
Fontanilhas	1158001	-58,338	-11,342	Juruena	1979-2012
Fazenda Tombador	1158003	-58,047	-11,718	Rio do sangue	1984-2012
Porto Roncador	1355001	-55,332	-13,556	Teles Pires	1985-2011
Teles Pires	1255001	-55,793	-12,675	Teles Pires	1976-2012

Cachoeirão	1155000	-55,703	-11,651	Teles Pires	1975-2012
Faz. Tratex	1055003	-55,549	-10,954	Teles Pires	1995-2012
Indeco	1055001	-55,570	-10,113	Teles Pires	1975-2012
Cachimbo	954001	-54,886	-9,819	Braço Sul	1985-2012
Santa Rosa	857000	-57,416	-8,870	Teles Pires	1982-2011
Passagem da BR-309	1453000	-53,999	-14,612	Culuene	1976-2011
Fazenda Itaguaçu	1354002	-54,444	-13,138	Ronuro	2004-2011
Consul	1254002	-54,489	-12,366	Van den steine	1997-2011
Rio Comandante Fontou	1052001	-52,181	-10,553	Com. Fontoura	2000-2011
Alto Araguaia	1753000	-53,219	-17,300	Araguaia	1964-2012
Torixoreu	1652002	-52,550	-16,201	Araguaia	1975-2011
Tesouro	1653000	-53,549	-16,078	Rio das Garças	1971-2012
General Carneiro	1552001	-52,754	-15,711	Barreiro	1085-2012
Rio das Mortes	1554005	-54,176	-15,315	Rio das mortes	1977-2012
Xavantina	1452000	-52,355	-14,672	Rio das mortes	1969-2012
Alto Paraguai	1456000	-56,550	-14,567	Paraguai	1971-1980
Nortelândia	1456003	-56,814	-14,451	Santana	1971-2011
Barra do Bugres	1557001	-57,183	-15,077	Paraguai	1968-2011
Porto Estrela	1557000	-57,231	-15,326	Paraguai	1971-2009
Tapirapuã	1457000	-57,768	-14,851	Seputuba	1971-2011
Cáceres (PNPVN)	1657003	-57,702	-16,076	Paraguai	1972-2011
Descalvados	1657002	-57,750	-16,734	Paraguai	1968-2011
Porto Conceição	1757001	-57,359	-17,143	Paraguai	1968-2011
Marzagão	1455012	-55,848	-14,542	Cuiabá	2003-2011
Faz. Riacho Doce	1555011	-55,442	-15,092	Roncador	2001-2010
Rosário Oeste	1456006	-56,433	-14,817	Cuiabá	1943-1983
Acorizal	1556005	-56,366	-15,207	Cuiabá	1969-2011
Cuiabá	1556002	-56,108	-15,622	Cuiabá	1925-2012
Porto Cercado	1656001	-56,376	-16,512	Cuiabá	1968-2012
São João	1656004	-56,632	-16,944	Cuiabá	1970-2011
Ilha Camargo	1756000	-56,586	-17,057	Cuiabá	1968-2011
Colônia santa Isabel	1656000	-56,033	-16,667	São lourenço	1971-1980
São José do Boriréu	1656003	-56,224	-16,921	São lourenço	1970-2012
Itiquira	1754000	-54,140	-17,208	Itiquira	1966-2011
São jerônimo	1755003	-55,992	-17,202	Piquiri	1971-2012
Rio Arinos	1058006	-58,004	-10,640	Arinos	2000-2013
Barra do São Manuel	758000	-58,155	-7,339	Juruena	1977-2007
Fazenda Agrotep	1057000	-57,581	-10,881	Arinos	1979-2001
Fazenda Itauba	1156000	-56,433	-11,471	Dos Peixes	1983-2006

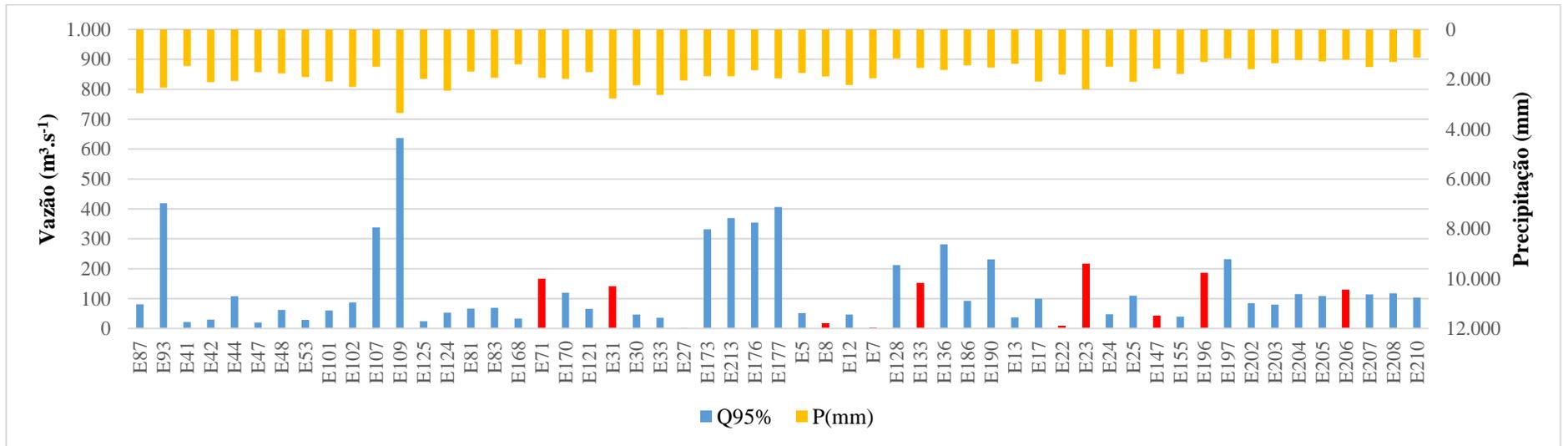
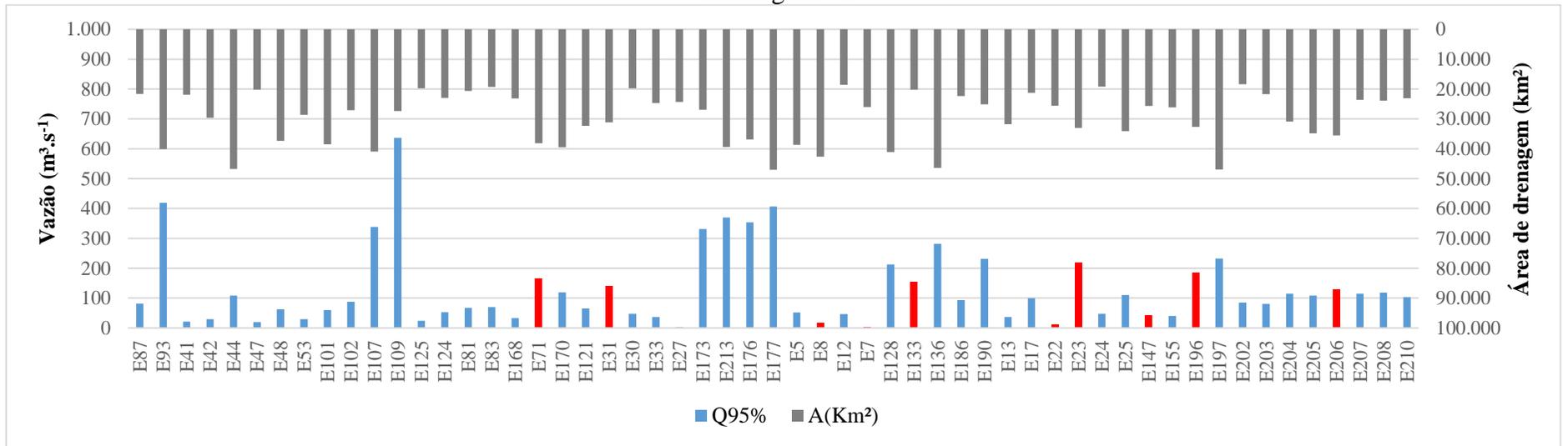
Fonte: PESSOA, 2015.

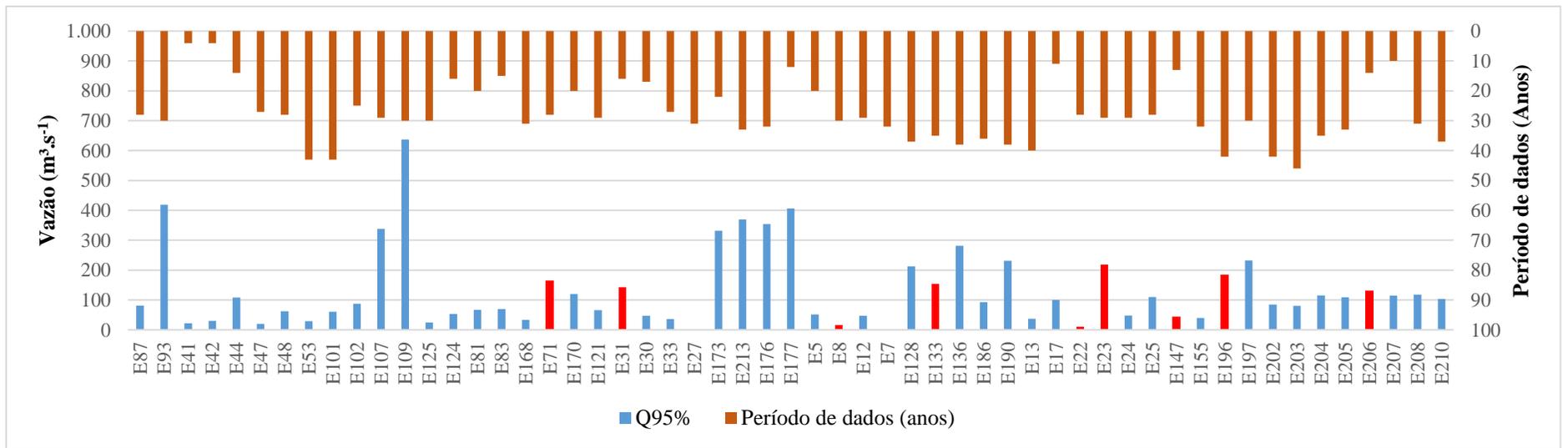
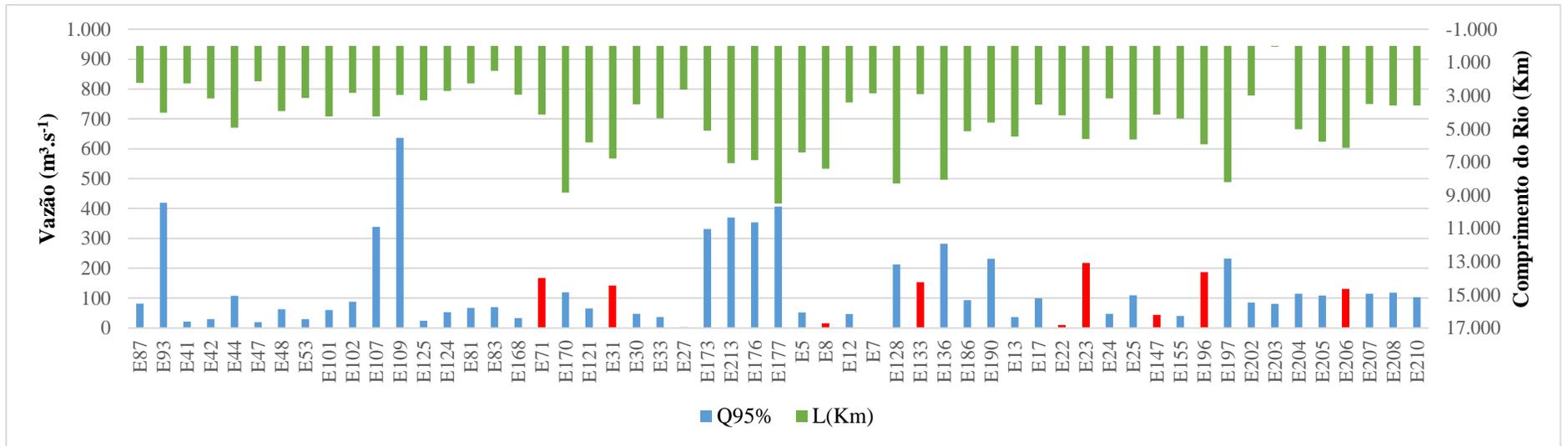
APÊNDICE A – Relação da $Q_{95\%}$ com as variáveis explicativas e o período de dados utilizados, destacando estações retiradas do Grupo Homogêneo 1.



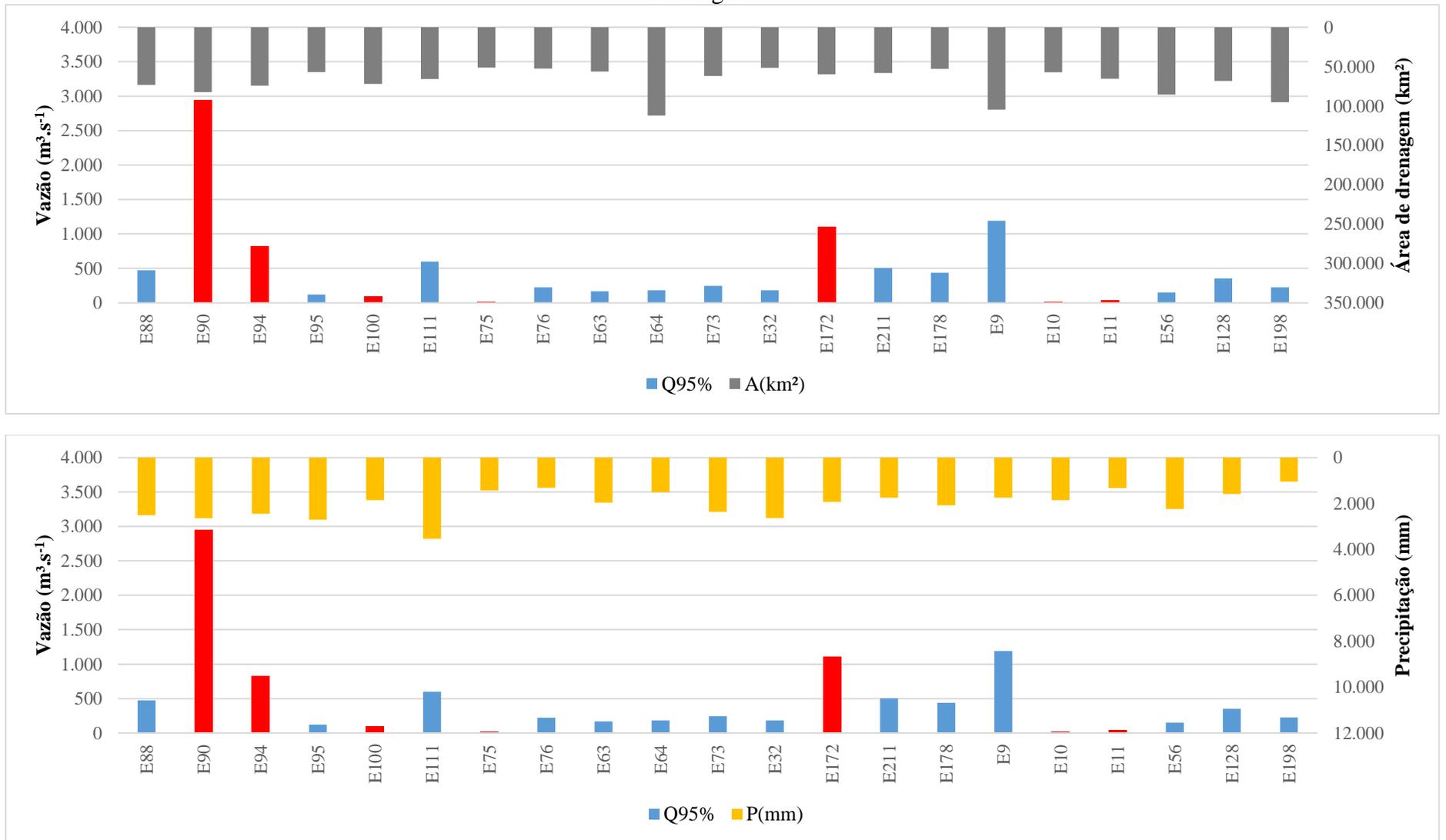


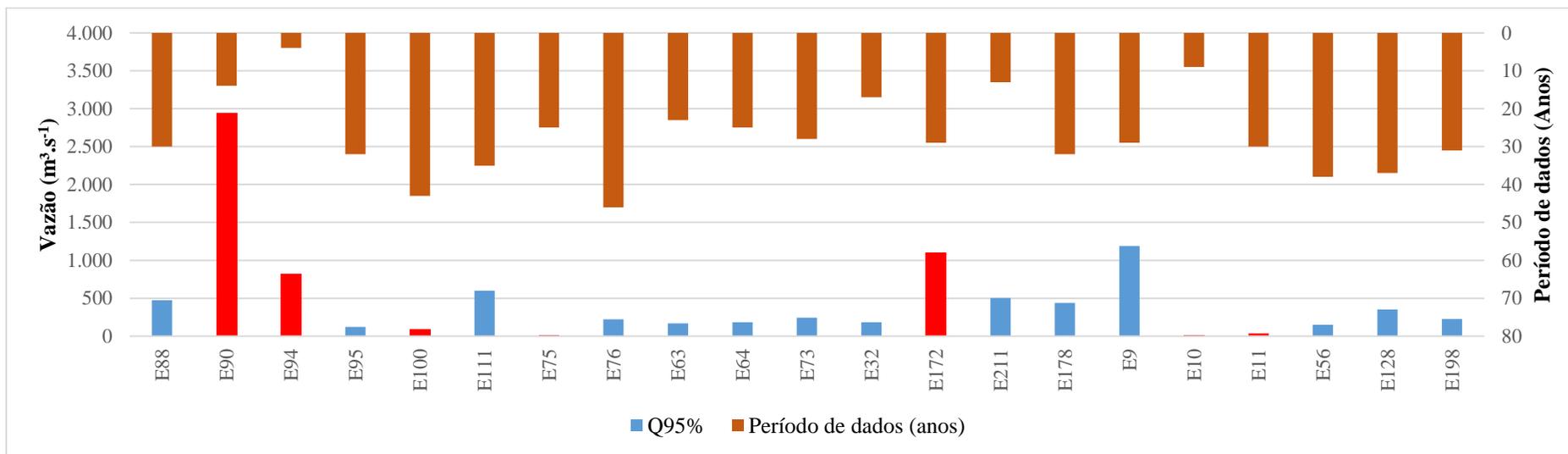
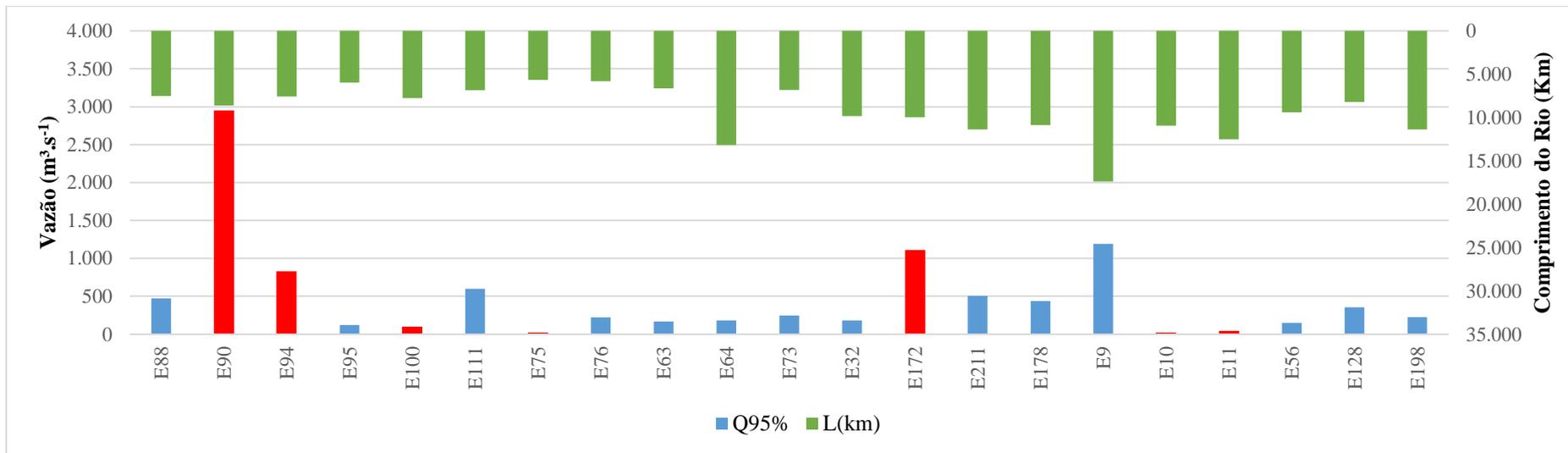
APÊNDICE B – Relação da $Q_{95\%}$ com as variáveis explicativas e o período de dados utilizados, destacando estações retiradas do Grupo Homogêneo 2.



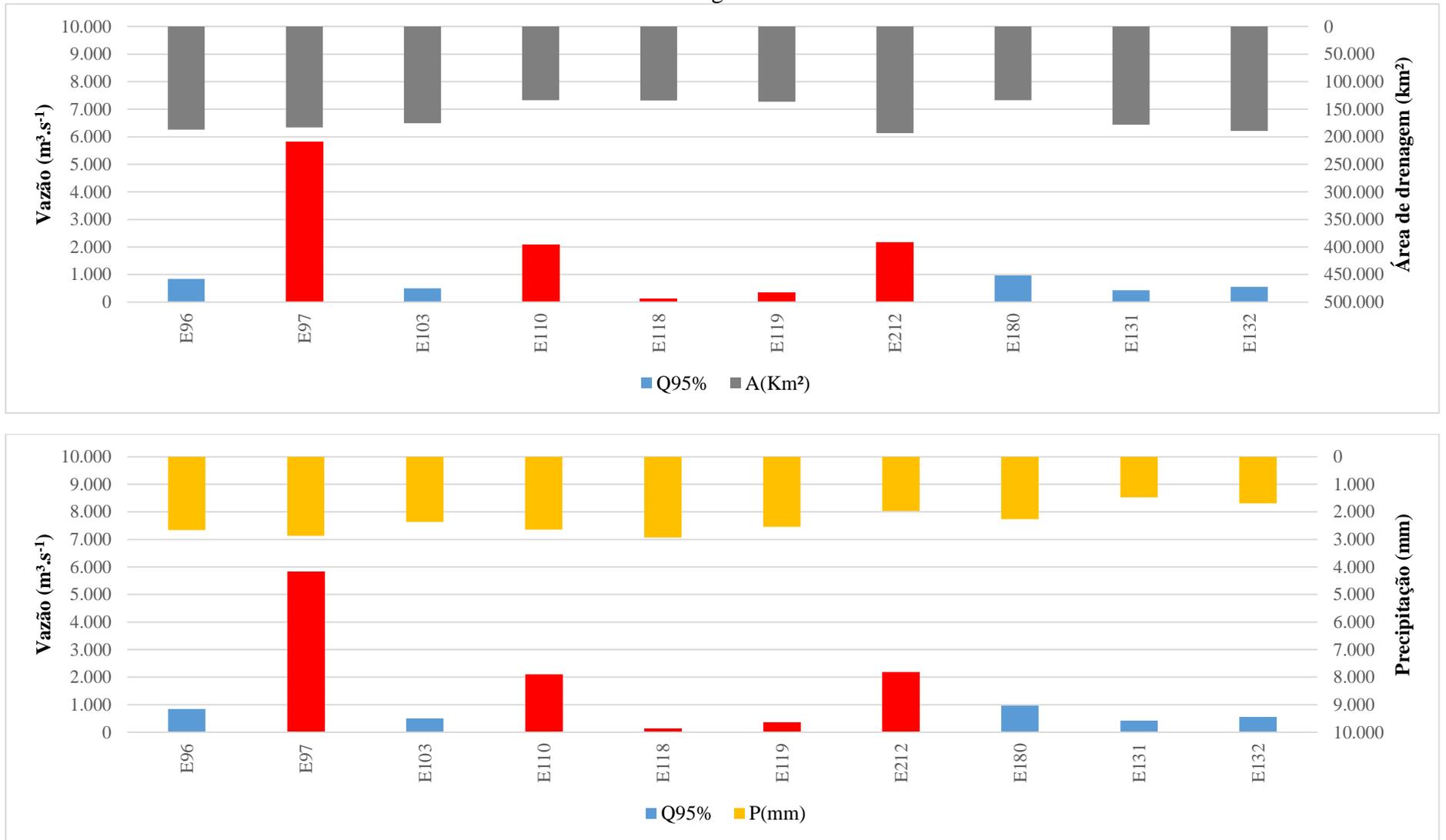


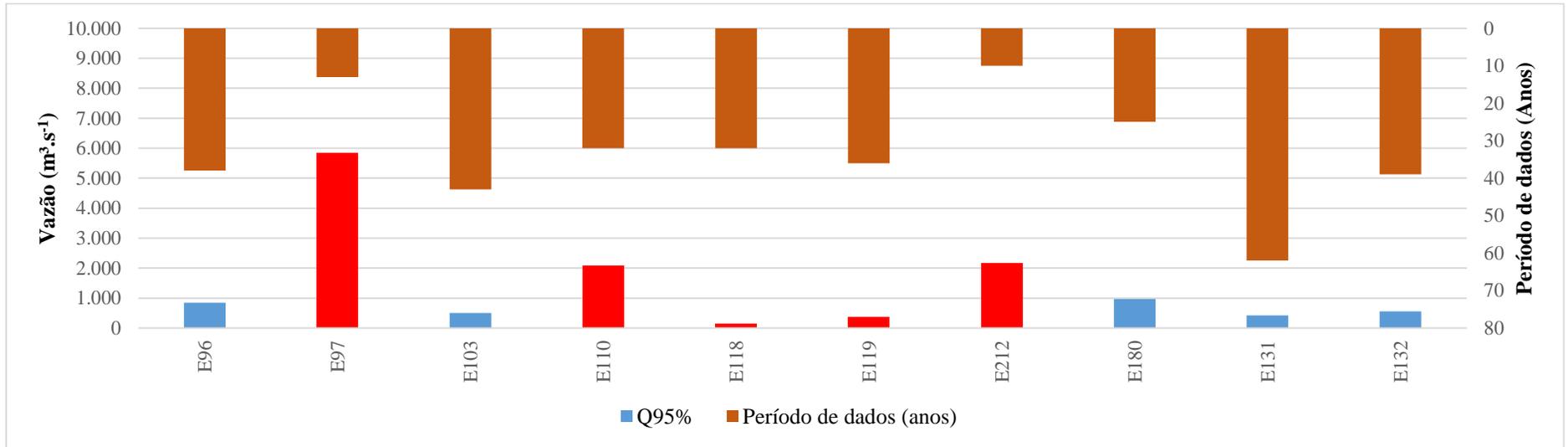
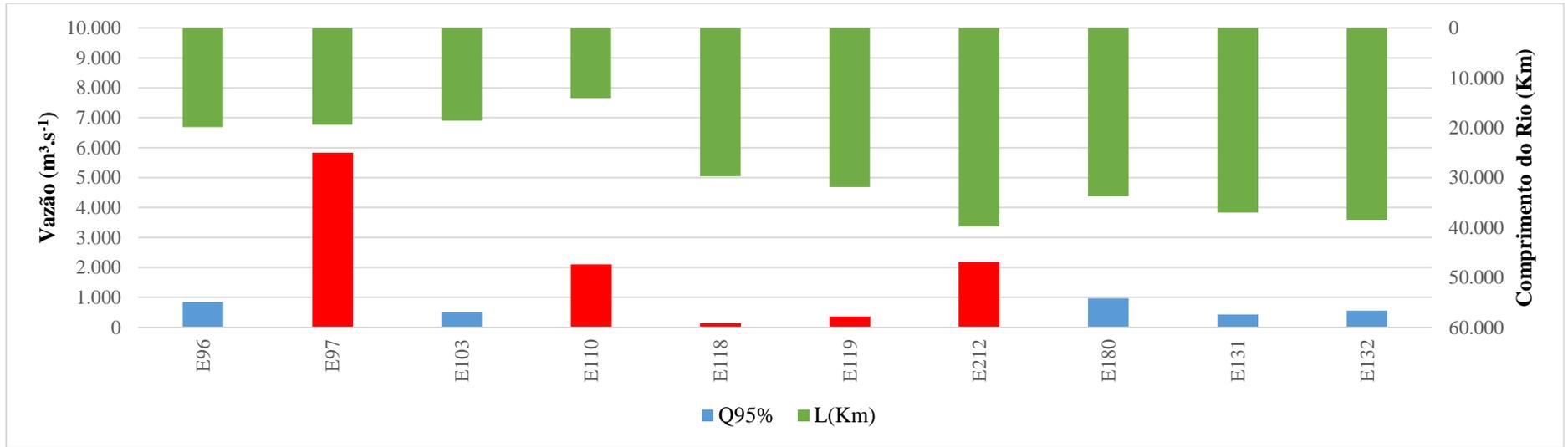
APÊNDICE C – Relação da $Q_{95\%}$ com as variáveis explicativas e o período de dados utilizados, destacando estações retiradas do Grupo Homogêneo 3.



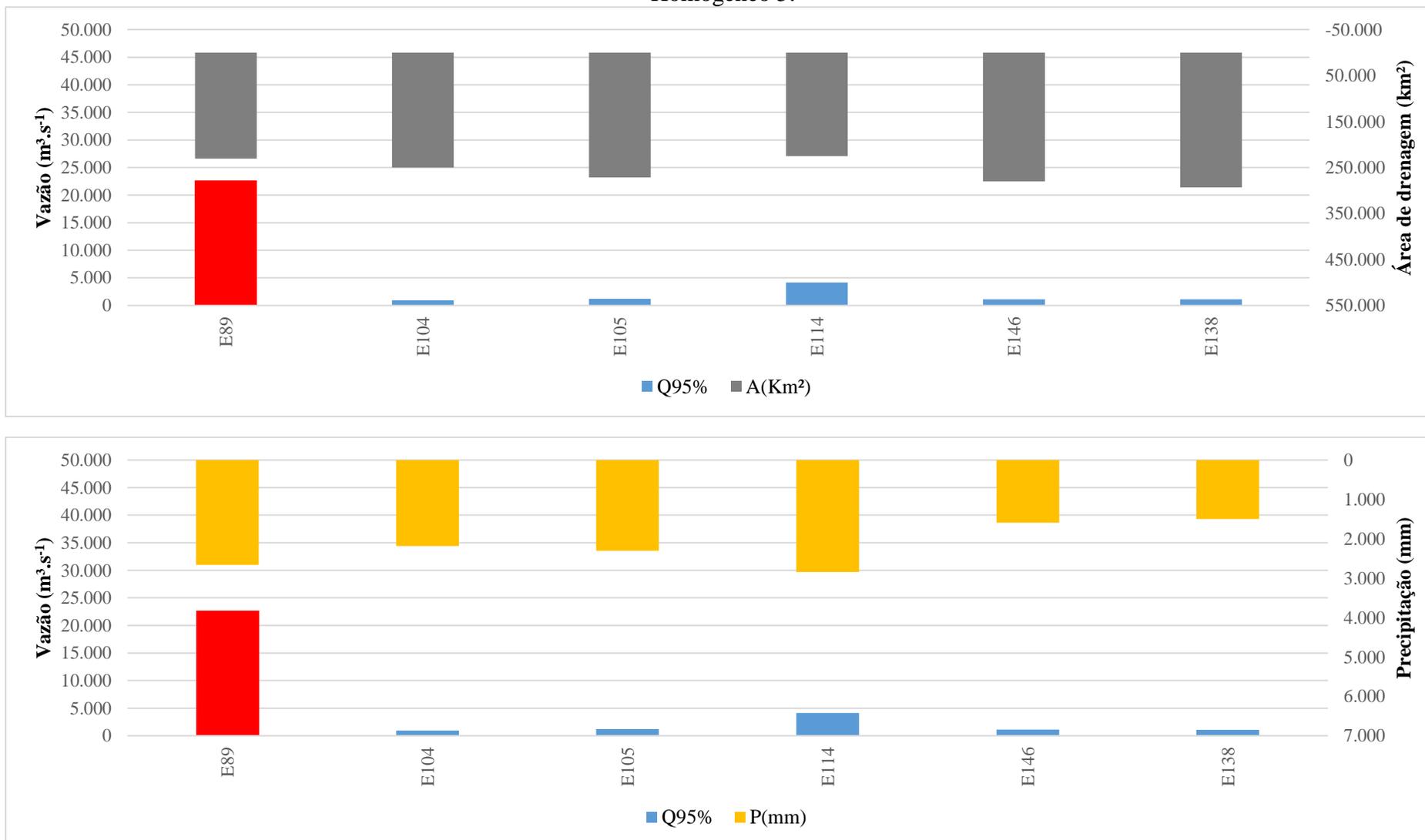


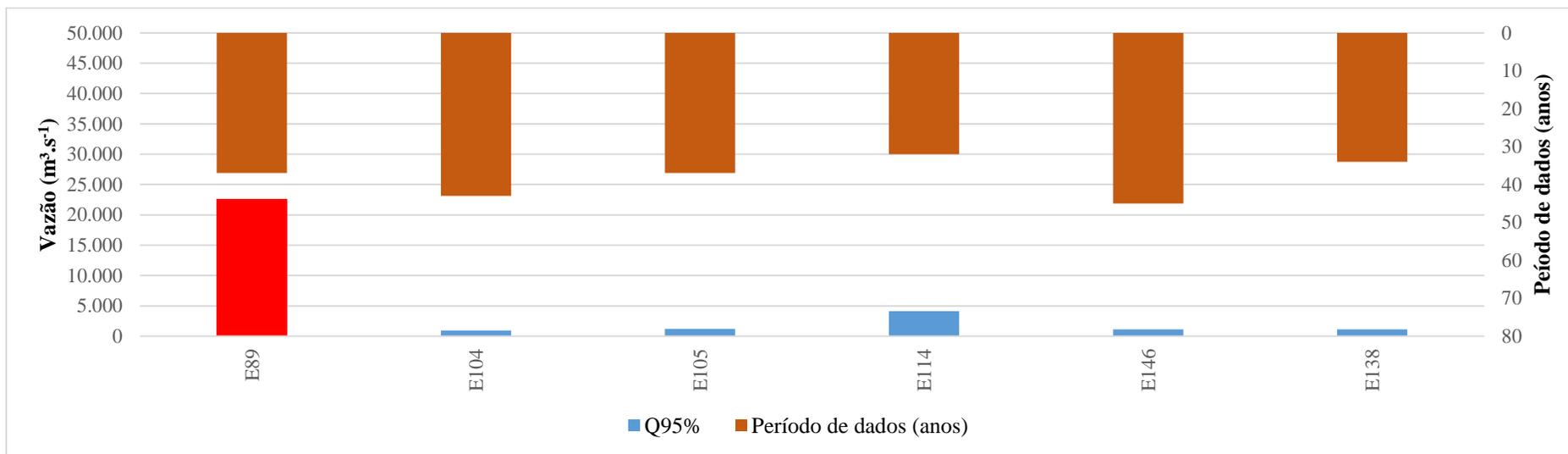
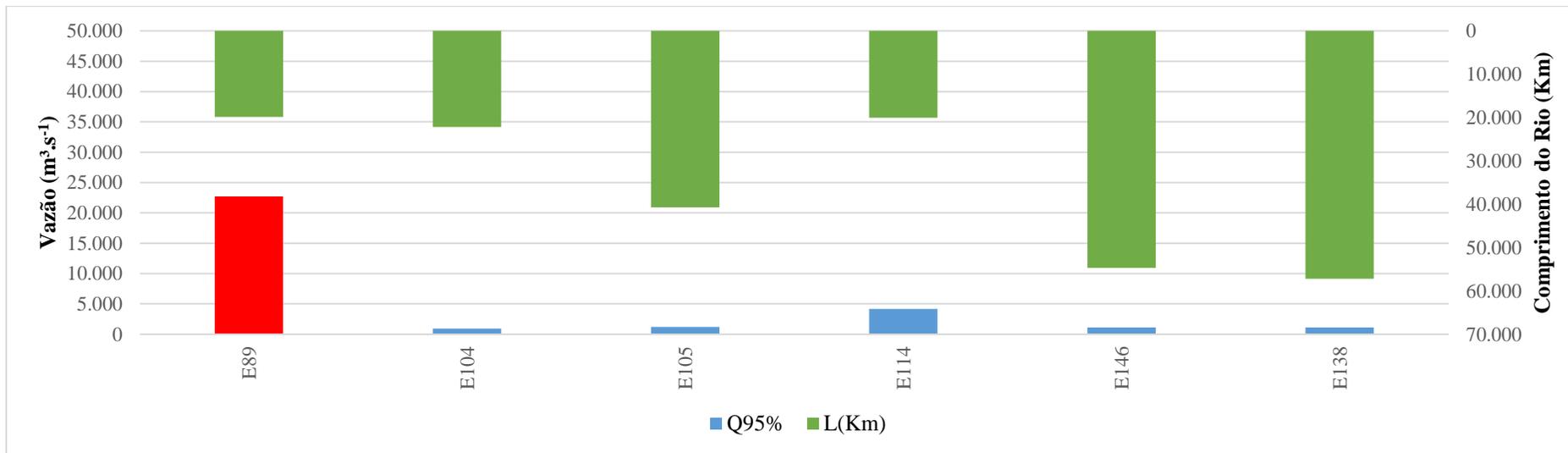
APÊNDICE D – Relação da $Q_{95\%}$ com as variáveis explicativas e o período de dados utilizados, destacando estações retiradas do Grupo Homogêneo 4.





APÊNDICE E– Relação da $Q_{95\%}$ com as variáveis explicativas e o período de dados utilizados, destacando estações retiradas do Grupo Homogêneo 5.





APÊNDICE F– Relação da $Q_{95\%}$ com as variáveis explicativas e o período de dados utilizados, destacando estações retiradas do Grupo Homogêneo 8.

