

Universidade Federal do Pará

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA  
REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE  
VAZÕES NA AMAZÔNIA LEGAL**

Francisco Carlos Lira Pessoa

2015



Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
de Recursos Naturais da Amazônia

## **DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES NA AMAZÔNIA LEGAL**

Francisco Carlos Lira Pessoa

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.

Belém

Março / 2015

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA  
REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE  
VAZÕES NA AMAZÔNIA LEGAL**

Francisco Carlos Lira Pessoa

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS.

Aprovada por:

---

Prof. Cláudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.  
(FAESA/UFPA-Orientador)

---

Prof. Dr. Emanuel Negrão Macêdo  
(PRODERNA/UFPA-Membro Interno)

---

Prof. Dr. Adilson Pinheiro  
(PPGEA/FURB-Membro Externo)

---

Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha  
(PPGBio/UNIFAP-Membro Externo)

---

Prof. Dr. Ádamo Lima de Santana  
(PPGEE/ITEC/UFPA-Membro Externo)

BELÉM, PA - BRASIL

MARÇO DE 2015

Aos meus pais e meus irmãos,  
ao meu filho,  
à minha esposa,  
dedico esta conquista com todo amor.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que nunca me deixou só, pelas graças recebidas de suas divinas mãos em todos os momentos e a vida que tenho.

As meus pais, Francisco Carlos Dantas Pessoa e Maria Nazaré Lira Pessoa, pelo amor incondicional, pela dedicação e sacrifício para proporcionar a mim uma educação de qualidade, mesmo com escassos recursos.

À minha esposa Meliza (Sra. Ellie), pela paciência, compreensão, motivação, amizade, pelo o amor, carinho e apoio irrestrito, em todos os momentos. Sem você na minha vida, teria sido mais árduo atingir este objetivo. Eu amo amar você.

Ao meu filho, Ruan José, pelo carinho e toda a alegria que me proporciona, e principalmente pela compreensão da importância de minha dedicação a este trabalho e da minha ausência em alguns momentos especiais de sua vida.

Aos meus irmãos, Jaciara e Jacifábio, cada um ao seu modo, por me prestigiarem com amor e me apoiarem nessa caminhada.

A família da minha esposa, minha segunda família, em especial a minha sogra, An Maire, pela preocupação e predisposição em sempre ajudar, e ter me acolhido como um filho.

Ao meu professor e orientador, Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D., pela orientação, confiança, pelo exemplo de profissionalismo e seriedade, pelo incentivo e ajuda na elaboração e composição do trabalho.

Ao CNPq pelo apoio à pesquisa por meio da bolsa (nº do processo: 142368/2010-5) a mim concedida durante todo o período em que estive cursando o Doutorado.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Água, Energia e Sustentabilidade da Amazônia – GAES, Igor, Patrícia, Mariane, Luciana, Danielle, Raimunda, Bruno, Brenda, Liliane e Erika, pelo agradável convívio e divertidos almoços ao longo dos últimos anos. Em especial a Evanice, pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia – PRODERNA e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, que colaboraram de forma expressiva para meu desenvolvimento científico e pessoal.

Afinal, a todos que eu não citei, mas que direta ou indiretamente contribuíram para realização desta Tese.

“Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano, ele treme de medo. Olha para trás, para toda a jornada: os cumes, as montanhas, o longo caminho sinuoso através das florestas, através dos povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto que entrar nele nada mais é que desaparecer para sempre.

Mas não há outra maneira.

O rio não pode voltar.

Ninguém pode voltar.

Você pode apenas ir em frente.

O rio precisa se arriscar e entrar no oceano.

E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece. Porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano, mas tornar-se oceano.

Assim somos nós.

Voltar é impossível na existência.

Você pode ir em frente e se arriscar:

Torne-se um oceano!”

Albert Einstein

Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais (D.Eng.)

## **DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES NA AMAZÔNIA LEGAL**

**Francisco Carlos Lira Pessoa**

Março/2015

Orientador: Claudio José Cavalcante Blanco

Área de Concentração: Uso e Transformação de Recursos Naturais

A ausência ou a insuficiência de dados fluviométricos de séries longas e confiáveis, devido a fatores físicos e/ou econômicos, é um dos principais desafios enfrentados em estudos hidrológicos. Com o intuito de contornar esse problema, na presente Tese, foi proposto a aplicação do método de regionalização de curvas de permanência de vazões. Nesse contexto, a hipótese principal foi dividir a região da Amazônia Legal em regiões homogêneas, definidas pelos métodos de análise de agrupamento hierárquico de *Ward* e difuso *Fuzzy C-Means*, e para cada uma, formular modelos regionais de curvas de permanência de vazões. Para os dois métodos de análise de agrupamento, a distância euclidiana foi usada como medida de similaridade, e as variáveis explicativas da vazão (área de drenagem, precipitação anual média, comprimento e desnível do rio), foram usadas como dados de entrada. Foram obtidas 4 regiões homogêneas por intermédio do método de *Ward* e 14 regiões por *Fuzzy C-Means*. Curvas de permanência foram construídas para cada uma das 214 estações fluviométricas distribuídas em suas respectivas regiões, e calibradas em função de 6 modelos matemáticos (linear, potência, exponencial, logarítmico, quadrático e cúbico). Para cada região homogênea formada pelos métodos de análise de agrupamento, foi formulado um modelo regional de curvas de permanência de vazões, utilizando-se análise de regressão múltipla, relacionando os parâmetros do melhor modelo matemático calibrado com as características físicas (área de drenagem, comprimento e

desnível do rio) e climática (precipitação anual média) das bacias. Os modelos regionais obtidos foram validados por meio do método “*Jack-Knife cross validation*”. Os índices de desempenho encontrados - valores de NASH  $\geq 0,75$  em mais 62% dos casos, situando-se na faixa de desempenho de aceitável a bom - permitiram concluir que o método *Fuzzy C-Means* foi o mais indicado para a formação de regiões hidrologicamente homogêneas de vazão. Os modelos regionais desenvolvidos para cada uma das regiões formadas, apresentam-se como uma boa alternativa na modelagem de curvas de permanência de vazão para médias e pequenas bacias sem dados de vazão na região da Amazônia Legal.

Palavras chave: Regiões homogêneas. Análise de agrupamentos. Regressão múltipla. Amazônia Legal.

Abstract of Thesis presented to PRODERNA/UFGA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Natural Resources Engineering (D.Eng.)

## **DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR REGIONALIZATION OF FLOW DURATION CURVES IN THE AMAZON**

**Francisco Carlos Lira Pessoa**

March/2015

Advisor: Claudio José Cavalcante Blanco

Research Area: Use and Transformation of Natural Resources

The absence or failure of hydrometric data with long and reliable series, by factors of physical and / or economic order, is one of the main challenges faced in hydrological studies. In order to work around this problem, in this thesis, the application of regionalization method of flow duration curve was proposed. In this context, the main idea was to divide the region of the Amazon in homogeneous regions defined by the methods of hierarchical cluster analysis of Ward and diffuse Fuzzy C-Means, and for each, formulate regional models of flow duration curves. For both methods of the Euclidean distance cluster analysis was used as a similarity measure, and the explanatory variables the flow (drainage area, mean annual precipitation, length and slope of the river), as input data. We obtained four homogeneous regions through the Ward method and 14 regions by Fuzzy C-Means. Duration curves were constructed for each of the 214 gauged stations distributed in their respective regions, and calibrated according to 6 mathematical models (linear, power, exponential, logarithmic, quadratic and cubic). For each homogeneous region formed by cluster analysis methods, a regional model of flow rates of duration curves using multiple regression analysis was formulated, relating the parameters of the best model calibrated with the physical characteristics (drainage area, length and slope of the river) and climate (average annual precipitation) basins. The obtained regional models were validated by the method Jack-Knife cross validation. The performance indices found – values of NASH  $\geq 0,75$  in over 62% of cases, standing in the performance range from acceptable to good – showed that the Fuzzy C-Means method was the most suitable for the formation of homogeneous regions of flow. The regional models developed for each of the regions formed, are

presented as a good option for modeling of flow duration curve for medium and small basins without flow data in the Amazon region.

Keywords: Homogeneous regions. Cluster analysis. Multiple regression. Amazon.

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
1.1. JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO .....	24
1.2. PROBLEMA E HIPÓTESE DE PESQUISA .....	26
1.3. OBJETIVOS .....	27
1.3.1. Objetivo geral .....	27
1.3.2. Objetivos específicos.....	27
<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>28</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	28
2.2. REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA .....	28
2.2.1. Regressão múltipla .....	30
2.2.2. Método dos mínimos quadrados .....	31
2.2.3. Teste de multicolinearidade .....	33
2.2.4. Teste $F_{parcial}$ .....	35
2.3. CURVA DE PERMANÊNCIA .....	36
2.3.1. Histórico da utilização da curva de permanência.....	37
2.3.2. Regionalização de curvas de permanência.....	41
2.4. REGIÕES HOMOGÊNEAS.....	44
2.5. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO .....	45
2.5.1 Medidas de similaridade (dissimilaridade) .....	47
2.5.2. Distância Euclidiana.....	48
3.4.3. Padronização das Variáveis.....	49
2.6. MÉTODOS DE AGRUPAMENTOS HIERÁRQUICOS E NÃO HIERÁRQUICOS.....	51
2.5.1. Método de Agrupamento Hierárquico de <i>Ward (Ward's method)</i> .....	53
2.6.2. Métodos Não Hierárquicos.....	58
2.6.3. Método de Agrupamento <i>Fuzzy C-Means</i> .....	59
<b>CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>67</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	67
3.2. ÁREA DE ESTUDO .....	67
3.2.1. Hidrografia .....	68
3.2.2. Vegetação e clima .....	69

3.2.3. Solos.....	72
3.3. DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO .....	74
3.3.1. Estações fluviométricas e pluviométricas .....	74
3.4. MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS.....	76
3.5. MÉTODO TRADICIONAL DE REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES .....	78
3.5.1. Construção das curvas de permanência de vazões.....	78
3.5.2. Calibração das curvas de permanência de vazões.....	79
3.5.3. Critérios de desempenho dos modelos calibrados .....	80
3.6. MODELOS DE REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES.....	80
3.6.1. Construção dos modelos de regionalização .....	81
3.7.2. Teste de significância da equação de regressão múltipla (teste do $F_{total}$ ).....	82
3.7. VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE REGIONALIZAÇÃO .....	82
3.7.1. Método <i>Jack-Knife cross validation</i> .....	82
3.7.2. Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NASH).....	83
3.7.3. Índices de desempenho RMSE e BIAS.....	84
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>86</b>
4.1. INTRODUÇÃO .....	86
4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS .....	86
4.2.1. Análise de agrupamento – método de <i>Ward</i> .....	86
4.2.2. Seleção e formação do número de grupos (dendograma) .....	86
4.2.3. Análise de agrupamento – método difuso <i>Fuzzy C-Means</i> .....	91
4.2.4. Comparação dos resultados obtidos pelos métodos <i>Ward</i> e <i>Fuzzy C-Means</i> .....	101
4.3. CALIBRAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES.....	103
4.3.1. Critério de desempenho dos modelos de regressão.....	108
4.4. MODELOS DE REGRESSÃO UTILIZADOS PARA A REGIONALIZAÇÃO .....	111
4.4.1. Análise de multicolinearidade .....	123
4.4.2. Modelos regionais de curvas de permanência de vazões .....	124
4.5. VALIDAÇÃO.....	135

4.5.1. Validação dos modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões para das regiões homogêneas I, II e III definidas por meio do método de <i>Ward</i> .....	136
4.5.2. Validação dos modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões para as regiões homogêneas definidas por meio do método <i>Fuzzy C-Means</i> .....	145
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>160</b>
5.1. CONCLUSÕES .....	160
5.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	161
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>163</b>
<b>APÊNDICE I – DADOS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-CLIMÁTICAS UTILIZADAS NO ESTUDO ...</b>	<b>173</b>
<b>APÊNDICE II – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO ESTUDO .....</b>	<b>180</b>
<b>APÊNDICE III – ALGORITMO <i>FUZZY C-MEANS</i>- ROTINA MATLAB 7.1..</b>	<b>186</b>
<b>APÊNDICE IV – GRAUS DE PERTINÊNCIA DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS PARA OS 14 GRUPOS FORMADOS.....</b>	<b>189</b>
<b>APÊNDICE V – CALIBRAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DE CADA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA POR REGIÃO HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEA.....</b>	<b>198</b>
<b>APÊNDICE VI – PERFORMANCES DO AJUSTE ENTRE AS CURVAS DE PERMANÊNCIA SIMULADAS ÀS CURVAS DE PERMANÊNCIA OBSERVADAS DE VAZÃO (VALIDAÇÃO) – REGIÕES HOMÔGENEAS I, II E III – <i>FUZZY C-MEANS</i> .....</b>	<b>215</b>
<b>ANEXO I – TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DE F DE SNEDECOR PARA UMA SIGNIFICÂNCIA DE 5%. .....</b>	<b>236</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Distribuição espacial das estações fluviométricas no Brasil.....	25
Figura 2.1 - Ilustração dos métodos aglomerativos (azul) e divisivos (verde).....	52
Figura 2.2 – Representação gráfica do método de <i>Ward</i> .....	54
Figura 2.3 – Exemplos de dendograma (horizontal e vertical).....	55
Figura 2.4 – Algoritmo do método hierárquico de <i>Ward</i> .....	56
Figura 2.5 – Algoritmo do método <i>fuzzy c-means</i> .....	63
Figura 3.1 - Limite territorial da Amazônia Legal.....	67
Figura 3.2 - Principais bacias da Amazônia Legal.....	69
Figura 3.3 - Mapa de distribuição espacial da vegetação da Amazônia Legal.....	70
Figura 3.4 – Mapa de isoietas da precipitação anual média para a Amazônia Legal.....	71
Figura 3.5 - Mapa de tipos de solo da região da Amazônia Legal.....	73
Figura 3.6 – Distribuição espacial das estações fluviométricas utilizadas no estudo.....	75
Figura 3.7 – Distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas no estudo.....	76
Figura 3.8 – Fluxograma das metodologias de análise de agrupamento.....	78
Figura 3.9 – Curva de permanência de vazões da Estação Arapari – Cód. ANA 18200000 (01/jun/72 – 01/dez/05).....	79
Figura 3.10 – Resumo da metodologia do estudo.....	85
Figura 4.1– Dendograma e corte.....	87
Figura 4.2 – Plotagem da distância de ligação através dos passos.....	87
Figura 4.3 – Variabilidade das variáveis explicativas da vazão.....	88
Figura 4.4– Mapa das regiões hidrologicamente homogêneas via método de <i>Ward</i> .....	90
Figura 4.5– Função objetivo.....	92
Figura 4.6 – Convergência da função objetivo para 14 agrupamentos.....	92
Figura 4.7 – Distribuição das estações referentes ao grau de pertinência.....	95
Figura 4.8 – Distribuição das variáveis área de drenagem e precipitação anual média.....	98
Figura 4.9 – Mapa das regiões hidrologicamente homogêneas de vazão definidas no estudo (método <i>Fuzzy c-means</i> ).....	101
Figura 4.10 – Curvas calibradas com os modelos matemáticos (método de <i>Ward</i> ).....	104
Figura 4.11 – Região homogênea I – Curva calibrada com o modelo cúbico.....	105
Figura 4.12 – Regiões homogêneas II e III – Curvas calibradas com o modelo.....	105

Figura 4.13 – Regiões homogêneas IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI e XII – Curvas calibradas com o modelo cúbico.....	106
Figura 4.14 – Regiões homogêneas XIII e XIV – Curvas calibradas com o modelo linear.....	107
Figura 4.15 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea I - <i>Ward</i> ).....	136
Figura 4.16 – Coeficientes de NASH (região homogênea I - <i>Ward</i> ).....	137
Figura 4.17 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea I).....	141
Figura 4.18 – comparação gráfica dos coeficientes NASH (região homogênea II).....	142
Figura 4.19 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea III).....	143
Figura 4.20 – Coeficientes NASH (região homogênea III).....	143
Figura 4.21 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea I – fuzzy c-means).....	145
Figura 4.22 – Coeficientes de NASH (região homogênea I – fuzzy c-means).....	146
Figura 4.23 – Ajuste das curvas de permanência de vazões simuladas às observadas a partir de 50% de permanência.....	149
Figura 4.24 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea II – <i>fuzzy c-means</i> ).....	150
Figura 4.25 – Coeficientes de NASH (região homogênea II – <i>fuzzy c-means</i> ).....	151
Figura 4.26 – Erros quadráticos relativos médios percentuais (região homogênea III).....	153
Figura 4.27 – Coeficientes de NASH (região homogênea III).....	154
Figura 4.28 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea IV).....	156
Figura 4.29 – Coeficientes de NASH (região homogênea IV).....	156
Figura 4.30 – Ajuste das curvas de permanência de vazões simuladas às vazões observadas das regiões homogêneas V e VI.....	158
Figura 4.31 – Mapa das regiões homogêneas de vazão e seus modelos regiões de curvas de permanência de vazões.....	159

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela ANOVA da regressão múltipla.....	33
Tabela 2.2 – Matriz de correlação Pearson.....	35
Tabela 2.3 – Exemplo de matriz de distância.....	48
Tabela 2.4 – Matriz de dados $n$ objetos e $p$ variáveis.....	50
Tabela 4.1 – Características de cada região formada por meio do método de <i>Ward</i> .....	88
Tabela 4.2 – Graus de pertinência das estações fluviométricas para os 14 grupos formados.....	93
Tabela 4.3 – Agrupamento x Distribuição dos dados.....	94
Tabela 4.4 – Características de cada região formada por meio do método de <i>fuzzy c-means</i> .....	99
Tabela 4.5 – Comparação entre os métodos <i>Ward</i> e <i>fuzzy c-means</i> .....	102
Tabela 4.6 – Médias do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e do erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) de cada modelo na calibração para cada uma das 4 regiões homogêneas – método <i>Ward</i> .....	108
Tabela 4.7 – Médias do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e do erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) de cada modelo na calibração para cada uma das 14 regiões homogêneas – método <i>fuzzy c-means</i> .....	109
Tabela 4.8 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea I (método de <i>Ward</i> ).....	112
Tabela 4.9 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea II (método de <i>Ward</i> ).....	116
Tabela 4.10 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea III (método de <i>Ward</i> ).....	117
Tabela 4.11 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea I (método <i>Fuzzy c-means</i> ).....	117

Tabela 4.12 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo exponencial ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea II (método <i>Fuzzy c-means</i> ).....	119
Tabela 4.13 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo exponencial ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea III (método <i>Fuzzy c-means</i> ).....	121
Tabela 4.14 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea IV (método <i>Fuzzy c-means</i> ).....	122
Tabela 4.15 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea V (método <i>Fuzzy c-means</i> ).....	122
Tabela 4.16 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea VI (método <i>Fuzzy c-means</i> ).....	122
Tabela 4.17 – Matriz de correlação entre as variáveis explicativas das regiões homogêneas definidas por meio do método de <i>Ward</i> .....	123
Tabela 4.18 – Matriz de correlação entre as variáveis explicativas das regiões homogêneas definidas por meio do método <i>fuzzy c-means</i> .....	123
Tabela 4.19 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea I – método de <i>Ward</i> .....	125
Tabela 4.20 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea II – método de <i>Ward</i> .....	126
Tabela 4.21 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea III – método de <i>Ward</i> .....	127
Tabela 4.22 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea I – método de <i>fuzzy c-means</i> .....	128
Tabela 4.23 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea II – método de <i>fuzzy c-means</i> .....	129
Tabela 4.24 – Resultados da aplicadas das equações de regressão para a região homogênea III – método de <i>fuzzy c-means</i> .....	130
Tabela 4.25 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea IV – método de <i>fuzzy c-means</i> .....	131

Tabela 4.26 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea V – método de <i>fuzzy c-means</i> .....	132
Tabela 4.27 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea VI – método de <i>fuzzy c-means</i> .....	133
Tabela 4.28 – Modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões por região homogênea (método de <i>Ward</i> ).....	134
Tabela 4.29 – Modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões por região homogênea (método <i>fuzzy c-means</i> ).....	135
Tabela 4.30 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea I.....	137
Tabela 4.31 – Percentual dos critérios de qualidade (região homogênea I - <i>Ward</i> ).....	141
Tabela 4.32 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea II.....	142
Tabela 4.33 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea II).....	143
Tabela 4.34 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea III.....	144
Tabela 4.35 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea III).....	144
Tabela 4.36 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea I (método <i>fuzzy c-means</i> ).....	146
Tabela 4.37 – Percentual dos critérios de qualidade (região homogênea I – <i>fuzzy c-means</i> ).....	148
Tabela 4.38 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea II ( <i>fuzzy c-means</i> ).....	151
Tabela 4.39 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea II).....	152
Tabela 4.40 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea III.....	154
Tabela 4.41 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea III).....	155
Tabela 4.42 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea IV.....	157

Tabela 4.43 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea IV).....	157
--	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Y – variável dependente

$X_i$  – variáveis independentes

$\beta_i$  – coeficiente de regressão

$\varepsilon$  – resíduos da regressão

n – número de observações

[ $\beta$ ] – vetor dos coeficientes de regressão

SQReg – soma dos quadrados da regressão

SQRes – soma dos quadrados dos resíduos

SQT – soma dos quadrados total

QMRes – quadrado médio dos resíduos

$R^2$  – coeficiente de determinação múltipla

r – coeficiente de correlação

$H_0$  – hipótese nula

FDC – *flow duration curve*

$Q_{90\%}$  ( $m^3/s$ ) – vazão com noventa por cento de permanência

$Q_{95\%}$  ( $m^3/s$ ) – vazão com noventa e cinco por cento de permanência

$Q_{méd.}$  ( $m^3/s$ ) – vazão diária média

$Q_{7,20}$  ( $m^3/s$ ) – vazão mínima de sete dias de duração e 20 anos de período de retorno

D (%) – permanência da vazão excedida ou igualada

$Q_{50\%}$  ( $m^3/s$ ) – vazão com cinquenta por cento de permanência

A ( $km^2$ ) – área de drenagem

P (mm) – precipitação anual média

L (km) – comprimento do rio

H (m) – desnível do rio

Q ( $m^3/s$ ) – vazão observada

ID – número de identificação das estações fluviométricas

a, b, c e d – parâmetros da curva de permanência

$d_{ij}$  – distância euclidiana

$Z_{ij}$  – valor padronizado

$\bar{X}_j$  – valor médio da variável

$S_j$  – desvio padrão

$\mu_i$  – centróide do conglomerado

$SS_i$  – soma de quadrados para cada um dos possíveis pares de conglomerados

$C_i$  – conglomerados

$SSR$  – soma de quadrados total dentro dos grupos

$c$  – número de grupos

$U$  – matriz de partição fuzzy

$m$  – índice de fuzzificação

$\mu_{ik}^{(t)}$  - grau de pertinência *fuzzy* na iteração  $t$

$J_m$  – função objetivo

$v_i^{(t)}$  – centróide *fuzzy* na iteração  $t$

$\delta$  – tolerância

FCM – *fuzzy c-means*

$P$  – variáveis explicativas

$\epsilon$  (%) – erro quadrático relativo médio percentual

$R^2_a$  – coeficiente de determinação ajustado

$\hat{Q}_i$  ( $m^3/s$ ) – vazão estimada

$\alpha$  – grau de significância da distribuição F de Snedecor

RMSE – root mean square error

BIAS – erro médio absoluto

ANA – Agencia Nacional das Águas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

---

Conhecer o comportamento hidrológico e as vazões de uma bacia hidrográfica é de relevante importância para o adequado planejamento de recursos hídricos. Para tanto, torna-se necessário quantificar as vazões, o que é feito a partir das séries temporais obtidas nas estações fluviométricas localizadas em seções específicas da bacia hidrográfica. Entretanto, nem sempre as informações hidrológicas necessárias para esse planejamento existem ou estão disponíveis, seja pelo escasso número de estações hidrométricas ou pelo curto período de observações. Tais observações são válidas somente nos locais de medição, enquanto a implantação dos empreendimentos hídricos dificilmente coincide com a posição das estações fluviométricas.

Segundo TUCCI (2009) a rede hidrométrica dificilmente cobrirá todos os locais de interesse de uma região, de forma que sempre existirão lacunas temporais e espaciais que necessitarão ser preenchidas com base em metodologias que busquem uma melhor estimativa dos dados de interesse em seções nas quais não haja medições. Considerando as restrições econômicas e logísticas da rede hidrométrica do Brasil cobrir toda a hidrografia, e em especial, a Amazônia, modelos de regionalização de vazões são opções interessantes para solução do problema.

Em sentido amplo, entende-se por regionalização hidrológica qualquer processo de transferência de informações das estações fluviométricas e pluviométricas para outros locais, buscando explorar ao máximo os dados disponíveis numa determinada área geográfica considerada semelhante (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Às técnicas de regionalização podem ser aplicadas às variáveis como chuva e vazão, parâmetros de distribuição de probabilidade, indicadores hidrológicos em geral, parâmetros de modelo chuva-vazão e funções hidrológicas, como curvas de permanência de vazões.

Para FRANCHINI e SUPPO (1996) a regionalização deve ser feita com base nas características físicas e climáticas e, portanto, independentemente da continuidade geográfica. Duas regiões distintas podem ser consideradas homogêneas quanto a uma variável, mas não serem em relação a outras, o que, associado à escassez de dados observados, inviabiliza, muitas vezes, a análise direta sobre a variável em estudo, implicando na necessidade de se encontrar relações físicas entre a variável a regionalizar e outras mais facilmente determinadas.

Em Hidrologia, o termo regiões homogêneas está associado a regiões que possuem similaridade hidrológica. Para LANNA (2004) essa similaridade inclui fatores físicos, climáticos, biológicos, geológicos e efeitos antrópicos. Muitos autores consideram a identificação de regiões homogêneas como a etapa da regionalização que possui maior grau de dificuldade, por requerer, muitas vezes, julgamento subjetivo (VALVERDE, 2001).

Uma das formas de obtenção de resultados quando se deseja dividir uma área de estudo em regiões homogêneas é por meio da análise de agrupamento (*cluster analysis*), cuja finalidade primária é agregar objetos com base em uma medida de similaridade e nas características que eles possuem.

Os métodos de análise de agrupamento têm sido amplamente empregados para reconhecimento de padrões nas mais diversas áreas da ciência como em Medicina (MEZER *et al.*, 2008; JOHAN; SAVAGE, 2013), Socioeconomia (CABRERA *et al.*, 2008), Geomorfologia (GÜLER *et al.*, 2012), Educação Física (MARTINENT *et al.*, 2013), Psicologia (FRENCH; COX, 2009), Nutrição (GOLLEY; HENDRIE, 2012), Agronomia (MÉNDEZ *et al.*, 2012), incluindo inúmeras aplicações na Engenharia e, mais especificamente, em Hidrologia e Meteorologia, para obtenção de regiões homogêneas de vazões (SRINIVAS *et al.*, 2008; RAO; SRINIVAS, 2006) e de precipitação (LIN; CHEN, 2006; LYRA *et al.*, 2006, GONÇALVES, 2014).

Dos métodos de análise de agrupamento utilizados na Hidrologia para obtenção de regiões homogêneas, destacam-se o método aglomerativo hierárquico de *Ward* (FARSADNIA *et al.*, 2014; RIANNA *et al.*, 2011; YANG *et al.*, 2010) e o método de agrupamento difuso *Fuzzy C-Means* (DIKBAS *et al.*, 2012; SADRI; BURN, 2011).

As curvas de permanência de vazões são ferramentas de grande utilidade quando diante de problemas hidrológicos e ambientais relacionados com o uso da água de uma bacia para diversos fins, como projetos de hidrelétricas, sistemas de irrigação e de abastecimento de água; avaliação da qualidade da água, sistemas de navegação, entre outros (BLANCO *et al.*, 2013; CASTELLARIN *et al.*, 2004). Com a aplicação das curvas de permanência de vazões é possível ilustrar a porcentagem de tempo em que a vazão especificada é igualada ou excedida (VOGEL; FENNESSEY, 1995).

Na presente tese, propõe-se a aplicação do método de regionalização de curvas de permanência de vazões. Nesse contexto, a hipótese principal é dividir a região da Amazônia Legal em regiões homogêneas, definidas pelos métodos de análise de agrupamento, e para cada uma, formular modelos regionais de curvas de permanência

de vazões com a finalidade de simular curvas de permanência de vazões em locais onde não há dados disponíveis, e que com isso possa contribuir na minimização do problema da carência de estações fluviométricas instaladas e a limitada quantidade de informações hidrológicas em toda a região da Amazônia Legal.

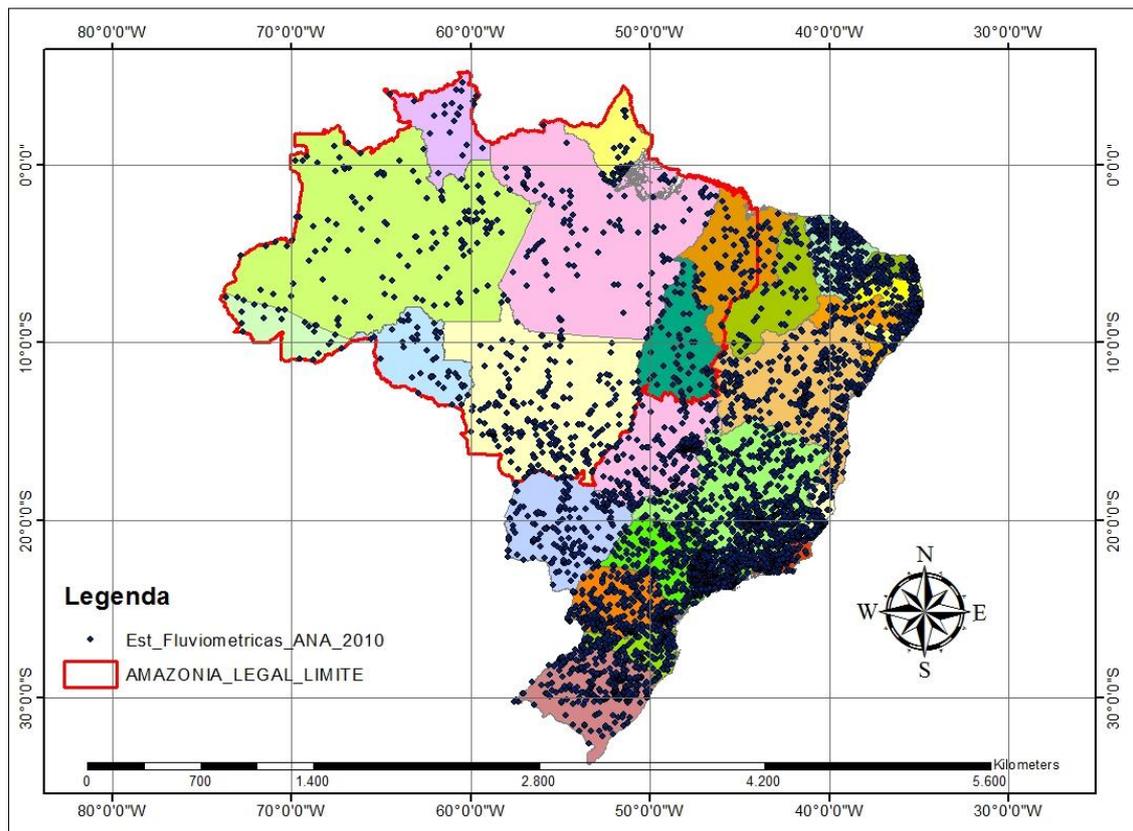
Na literatura existem inúmeros exemplos de modelos regionais para estimar curvas de permanência de vazões em que são relacionados os parâmetros das curvas em função das características físicas e climáticas de uma bacia hidrográfica, como na Itália (MEDICINO *et al.*, 2013; CASTELLARIN *et al.*, 2007), Austrália (MING LI *et al.*, 2010), Grécia (NIADAS, 2005), Taiwan (YU *et al.*, 2002), Estados Unidos (YASAR; BAYKAN, 2013), e Canadá (SHU; OUARDA, 2012). No entanto, não foi encontrado na literatura consultada nenhum trabalho de regionalização de curvas de permanência de vazões considerando a região Amazônica, tão somente os estudos de SILVA R. *et al.* (2013), SILVA, R. (2014), COSTA *et al.* (2012) e PESSOA *et al.* (2011) no estado do Pará, Amazônia, Brasil.

## 1.1. JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Um dos pré-requisitos para o aproveitamento adequado dos recursos hídricos é conhecer o comportamento dos rios e seus regimes de variação de vazões de uma bacia hidrográfica. Esse conhecimento exige um trabalho permanente de coleta e interpretação de dados obtidos nos postos fluviométricos, uma vez que a confiabilidade torna-se maior à medida que as séries históricas ficam mais extensas.

Um dos principais problemas enfrentados em estudos hidrológicos é a carência de dados fluviométricos com séries longas e confiáveis, já que a rede hidrométrica atual não cobre todos os locais de interesse necessários a gestão dos recursos hídricos brasileiros, apesar dos esforços da Agência Nacional de Águas (ANA) em ampliar a rede hidrometeorológica de um país com dimensões continentais como o Brasil (Figura 1.1), de forma que sempre existirão lacunas temporais e espaciais a serem preenchidas com base em metodologias que busquem uma melhor estimativa dos dados de interesse em seções carentes de medições.

Figura 1.1 – Distribuição espacial das estações fluviométricas no Brasil.



Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA (2013)

A inserção de novas estações implica em aumento de custos - com implantação, operação e manutenção - e não solucionaria o problema da ausência de informações nos locais, uma vez que seriam necessários longos tempos para a obtenção de uma série de dados de vazão que representasse bem o regime hidrológico do rio, que passou a ser monitorado. Isso não significa dizer que não há a necessidade de implantar novas estações fluviométricas, pois os dados de vazões simuladas em seções que não possuem medições fluviométricas não substituem as informações obtidas com medições em campo.

Observando a Figura 1.1, é possível visualizar a distribuição das estações fluviométricas no país e a grande carência de informações de vazões, principalmente dentro do limite da região da Amazônia Legal, que faz parte de nosso objeto de estudo.

Diante disso, a regionalização de curvas de permanência de vazões mostra-se uma boa solução para esse problema, porquanto é um método utilizado para suprir a ausência ou a insuficiência de dados fluviométricos, pois permite a obtenção indireta

das vazões em locais onde os dados inexistem ou onde, por fatores de ordem física e/ou econômica, não seja possível a instalação de estações hidrométricas.

Todavia, para que se tenha uma boa regionalização é necessário haver definição de regiões com comportamentos hidrológicamente homogêneos, ou seja, que apresentem similaridade hidrológica entre as características físicas e climáticas da região.

Assim, estudos de regionalização que englobem a curva de permanência nas bacias hidrográficas assumem um papel importante de atualização na disponibilidade das informações de vazão em bacias não monitoradas hidrológicamente, isso porque, abordam de forma espacializada, um dos elementos básicos para a determinação da disponibilidade de recursos hídricos, ou seja, a vazão.

## 1.2. PROBLEMA E HIPÓTESE DE PESQUISA

A escassez ou quase inexistência de dados fluviométricos de séries longas e confiáveis sobre os cursos d'água da região da Amazônia Legal apresenta-se como principal problema de pesquisa. Este fato provavelmente é decorrente do elevado custo que envolve a implantação, operação e manutenção de uma rede de monitoramento, e do difícil acesso às margens dos rios, uma vez que grande parte da região é coberta por uma vegetação densa. Observa-se que boa parte das estações fluviométricas está localizada nas grandes bacias hidrográficas, nos cursos d'água de médio a grande pontencial hidrelétrico, nas quais as vazões são regularizadas.

Sendo assim, com o objetivo de suprir esta problemática, o presente trabalho se baseia na hipótese de que é possível simular curvas de permanência de vazões para bacias não monitoradas na região da Amazônia Legal com a aplicação de modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões propostos para cada uma das regiões hidrológicamente homogêneas definidas por intermédio de métodos de análise de agrupamento.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo geral

Desenvolver metodologia de regionalização para estimar curvas de permanência de vazão para a Amazônia Legal.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Aplicar e comparar os métodos de análise de agrupamento de *Ward* e *Fuzzy C-Means*, a fim de identificar regiões homogêneas de vazões;
- Definir o método de análise de agrupamento mais adequado ao estudo em questão;
- Calibrar e validar as curvas de permanência de vazões para todas as estações fluviométricas consideradas no estudo;
- Estabelecer, por meio de regressões múltiplas, o melhor modelo de regionalização para cada região homogênea.

Nesse capítulo, buscou-se citar as aplicações dos métodos *Ward* e *Fuzzy C-Means* na identificação de regiões homogêneas e suas contribuições no uso do método de regionalização hidrológica, principalmente, a regionalização de curvas de permanência de vazões para posteriormente aplicar os modelos de regionalização dentro dos limites da região da Amazônia Legal.

O capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica a respeito da regionalização hidrológica, bem como da regionalização de curvas de permanência de vazões e dos métodos de regionalização estudados. Enfatiza-se ainda, uma abordagem sobre as técnicas de análise de agrupamento aplicadas à hidrologia.

O capítulo 3 trata do material e dos métodos utilizados para a identificação de regiões homogêneas, assim como da metodologia aplicada para a obtenção dos modelos de regionalização.

Os resultados e discussões são apresentados no capítulo 4.

As conclusões são apresentadas no capítulo 5.

## CAPÍTULO 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

---

### 2.1. INTRODUÇÃO

Nesse capítulo, será dada ênfase a análise da literatura considerada pertinente ao cumprimento dos objetivos da pesquisa. Assim, o capítulo foi dividido com informações referentes à determinação de regiões homogêneas, via análise de agrupamento e modelos regionais que possibilitam estimar curvas de permanência de vazões por meio de regressão múltipla.

### 2.2. REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

De acordo com TUCCI (2009), regionalização hidrológica é um método utilizado para transferir informações das estações hidrométricas para outros locais sem informações dentro de uma região considerada hidrológicamente homogênea.

A regionalização tem sido utilizada em hidrologia como uma técnica de espacialização de dados hidrológicos pontuais, visando suprir a carência de informações hidrológicas em locais que apresentam comportamento hidrológicamente similares, com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, sendo considerada uma ferramenta de grande importância na gestão dos recursos hídricos (SILVA JUNIOR *et al.*, 2003). Para isso, faz-se uso de um conjunto de ferramentas capaz de extrair, ao máximo, as informações necessárias de uma região, para preenchimento das lacunas ou suprimento de dados em determinados locais da bacia, porventura deficitários, estimando as variáveis hidrológicas desejáveis para regiões hidrológicamente similares à estudada. A regionalização pode também ser usada para verificar a consistência da série hidrológica e identificar a necessidade de instalação de um posto fluviométrico em um determinado local, dentro da bacia hidrográfica (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

O principal objetivo de uma análise regional é a obtenção de informações a respeito do comportamento hidrológico em um local desprovido de monitoramento sistemático ou com pouca disponibilidade de dados. Para tanto, procura-se relacionar estatisticamente a variável hidrológica de interesse a características físicas, climáticas e morfológicas de bacias hidrográficas. Segundo TUCCI (2009), a regionalização, dentre outras finalidades, pode ser empregada nas seguintes situações:

- quando uma variável, como a vazão e/ou precipitação máxima, média ou mínima, entre outras, é determinada numa região com base em relações estabelecidas a partir de dados pontuais existentes;
- quando uma função hidrológica, como a curva de permanência ou de duração, a curva de regularização, a curva de intensidade-duração-frequência, entre outras, é determinada numa região com base em dados hidrológicos existentes;
- e
- quando os parâmetros de uma função ou modelo matemático são determinados pela sua relação com características físicas da bacia, a partir do ajuste de um modelo com base em dados observados em algumas bacias representativas.

Independentemente do tipo de dado hidrológico a ser regionalizado, é conveniente que a construção do modelo regional obedeça às seguintes etapas: (1) definição dos limites da área a ser estudada; (2) determinação da variável dependente e possíveis variáveis explicativas; (3) seleção dos dados e cálculo de variáveis; e (4) definição das áreas com comportamento hidrológico semelhante e estimação das relações regionais (TUCCI, 2009).

Nos estudos de regionalização de vazão, procedimentos matemáticos e estatísticos são aplicados às séries de dados históricos e às características físicas e climáticas das bacias hidrográficas que mais interferem na sua distribuição espacial e que sejam facilmente mensuráveis e, portanto, independentemente da continuidade geográfica (FRANCHINI; SUPPO, 1996).

Uma das etapas importantes no processo é a seleção das variáveis explicativas da variável a regionalizar (ANDRADE; HAWKINS, 2000). De acordo com PAIVA (2003), podem ser usados como características físicas a área de drenagem da bacia, o comprimento do curso d'água principal e a densidade de drenagem. Além dessas variáveis, podem ser incluídas, também, o tempo de concentração, a altitude média da bacia e a precipitação.

A qualidade dos dados hidrológicos é essencial para o processo de regionalização, pois nenhum estudo gera novas informações, apenas explora as informações existentes. Dessa forma, se os dados não possuem qualidade ou não foram identificados e sanados os seus erros, a regionalização será tendenciosa, com resultados inadequados.

Os modelos de regionalização de vazões buscam uma melhor estimativa das vazões em seções que não possuem medições fluviométricas, não sendo recomendada a utilização destes modelos em seções que possuem medições, pois os mesmos não substituem as informações reais (SILVA JÚNIOR *et. al.*, 2003).

É evidente que os resultados decorrentes de uma regionalização nunca irão substituir a observação feita em campo, podendo distanciar-se dos valores reais, mas as decisões feitas com bases nesses resultados serão sempre superiores àquelas normalmente praticadas no meio técnico, que se baseiam em perigosas extrapolações apoiadas apenas em sentimentos individuais.

Um dos métodos mais difundidos para a regionalização de vazões é o método tradicional, o qual consiste na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea (NOVAES, 2005).

Dentre as informações essenciais para a quantificação de vazões utilizando metodologia de regionalização estão as curvas de permanência. Essas curvas estão diretamente relacionadas ao conhecimento da disponibilidade hídrica, que é fundamental na gestão dos recursos hídricos para adequar a demanda à disponibilidade.

### **2.2.1. Regressão múltipla**

A regressão múltipla é uma ferramenta de grande importância nos estudos de regionalização hidrológica. É a partir dela que as variáveis dependentes, como parâmetros de distribuição teórica de probabilidades, *quantis* de curvas de permanência e de curvas de frequência de vazões mínimas e máximas, dentre outros, são relacionadas a características físicas, climáticas e morfológicas das bacias hidrográficas.

A análise de regressão múltipla é uma técnica estatística que pode ser usada para verificar a relação entre uma única variável dependente e várias independentes. O objetivo da análise da regressão múltipla é usar as variáveis independentes cujos valores são conhecidos para prever os valores da variável dependente selecionada pelo pesquisador (HAIR *et.al.*, 2005).

A relação entre a variável dependente e as demais variáveis independentes pode, segundo HAIR *et.al.* (2005), ser formulada de acordo com um modelo linear dado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_i \cdot X_i + \varepsilon \quad (2.1)$$

em que  $Y$  é a variável dependente ou prevista,  $X_1, X_2, \dots, X_i$  são as variáveis independentes ou explicativas,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$  são os coeficientes de regressão e  $\varepsilon$  denota os resíduos da regressão.

Um modelo análogo ao anterior, porém em forma não linear, é aquele expresso pela Eq.(2.2). Esse modelo pode ser linearizado aplicando-se o logaritmo aos dois lados da equação, fazendo-se, então, a regressão linear múltipla entre os logaritmos das variáveis envolvidas.

$$Y = \beta_0 \cdot X_1^{\beta_1} \cdot X_2^{\beta_2} \dots X_i^{\beta_i} + \varepsilon \quad (2.2)$$

Analogamente ao caso anterior, os coeficientes  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$  podem ser calculados pelo método dos mínimos quadrados e representados em notação matricial.

### 2.2.2. Método dos mínimos quadrados

Um dos objetivos da análise de regressão múltipla é desenvolver um modelo que possibilite prever a variável dependente, sendo conhecidos os valores das variáveis explicativas (independentes). Dessa forma, faz-se necessário ajustar um modelo para a variável dependente  $Y$  e os correspondentes valores conhecidos de  $X_i$ , ou seja, é preciso determinar os valores dos coeficientes de regressão  $\beta$ . Os modelos de regressão (Eqs.(2.1) e (2.2)) são representados em notação matricial por:

$$[Y] = [X] \cdot [\beta] \quad (2.3)$$

em que  $[Y]$  é um vetor ( $n \times 1$ ) das observações da variável dependente;  $[X]$  é uma matriz ( $n \times P$ ) com as  $n$  observações de cada uma das  $P$  variáveis independentes, e  $[\beta]$  é um vetor ( $P \times 1$ ) com os parâmetros desconhecidos (HAIR *et. al.*, 2005).

Pode-se escrever em forma matricial:

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & X_{1,1} & X_{1,2} & \cdots & X_{1,P} \\ 1 & X_{2,1} & X_{2,2} & \cdots & X_{2,P} \\ 1 & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n,1} & X_{n,2} & \cdots & X_{n,P} \end{pmatrix}, \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

As equações normais de regressão são representadas pelo seguinte sistema:

$$[X]^T \cdot [Y] = [X]^T \cdot [X \cdot \hat{\beta}] \quad (2.5)$$

As equações normais (Eq.(2.6)) podem ser obtidas, formalmente, mediante multiplicação de ambos os membros da Eq.(2.1) por 1,  $X_1$ ,  $X_2, \dots$ ,  $X_i$ , sucessivamente, e a soma membro a membro das expressões resultantes.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum Y = \beta_0 \cdot N + \beta_1 \cdot \sum X_1 + \beta_2 \cdot \sum X_2 + \cdots + \beta_i \cdot \sum X_i \\ \sum Y \cdot X_1 = \beta_0 \cdot \sum X_1 + \beta_1 \cdot \sum X_1^2 + \beta_2 \cdot \sum X_2 \cdot X_1 + \cdots + \beta_i \cdot \sum X_i \cdot X_1 \\ \sum Y \cdot X_2 = \beta_0 \cdot \sum X_2 + \beta_1 \cdot \sum X_1 \cdot X_2 + \beta_2 \cdot \sum X_2^2 + \cdots + \beta_i \cdot \sum X_i \cdot X_2 \\ \sum Y \cdot X_i = \beta_0 \cdot \sum X_i + \beta_1 \cdot \sum X_1 \cdot X_i + \beta_2 \cdot \sum X_2 \cdot X_i + \cdots + \beta_i \cdot \sum X_i^2 \end{array} \right. \quad (2.6)$$

em que  $Y$  é a variável dependente,  $X_i$  são as variáveis independentes,  $N$  o tamanho da amostra e os  $\beta_i$  são os coeficientes de regressão.

As soluções da Eq.(2.5) são encontradas pela multiplicação dos termos da equação por  $([X]^T \cdot [X])^{-1}$ .

Desse modo, a solução do vetor  $[\hat{\beta}]$  corresponde ao estimador de mínimos quadrados de  $\beta$  dado por:

$$[\hat{\beta}] = ([X]^T \cdot [X])^{-1} \cdot [X]^T \cdot [Y] \quad (2.7)$$

O somatório total dos quadrados pode ser representado por:

$$[Y]^T [Y] = n \cdot \bar{Y}^2 + ([\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] - n \cdot \bar{Y}^2) + ([Y]^T [Y] - [\hat{\beta}]^T [X]^T [Y]) \quad (2.8)$$

Na equação 2.8, o termo  $([\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] - n \cdot \bar{Y}^2)$  representa a soma dos quadrados da regressão (SQReg);  $([Y]^T [Y] - [\hat{\beta}]^T [X]^T [Y])$  denota a soma do quadrado dos resíduos (SQRes), e  $[Y]^T [Y] - n \cdot \bar{Y}^2$  é a soma dos quadrados totais (SQT). O tamanho da amostra é dado por  $n$ .

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 2.1.

Tabela 2.1 – Tabela ANOVA da regressão múltipla.

Fonte	Graus de liberdade	Somatório dos quadrados	Quadrado médio
Regressão	P	$SQReg = ([\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] - n \cdot \bar{Y}^2)$	$QMReg = \frac{SQReg}{P}$
Resíduos	n-P-1	$SQRes = ([Y]^T [Y] - [\hat{\beta}]^T [X]^T [Y])$	$QMRes = \frac{SQRes}{n - P - 1}$
Total	n-1	$SQT = [Y]^T [Y] - n \cdot \bar{Y}^2$	

Fonte: (HAIR *et. al.*, 2005).

em que  $P$  é número de variáveis independentes,  $QMReg$  é o quadrado médio da regressão e  $QMRes$  é o quadrado médio dos resíduos.

O coeficiente de determinação múltipla é então dado por:

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQT} = \frac{([\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] - n \cdot \bar{Y}^2)}{[Y]^T [Y] - n \cdot \bar{Y}^2} \quad (2.9)$$

O coeficiente  $R^2$  é uma explicabilidade efetiva entre as variáveis. Varia entre zero e 1, deve ser próximo de 1, de forma que uma parcela maior da variância seja explicada pelo modelo de regressão.

### 2.2.3. Teste de multicolinearidade

Em situações onde as variáveis explicativas são fortemente correlacionadas, podem ocorrer problemas na regressão, uma vez que variáveis colineares não

introduzem informações novas no modelo, dificultando a interpretação dos coeficientes de regressão obtidos. Para verificar a existência de colinearidade entre variáveis explicativas é conveniente que se construa uma matriz de correlação linear simples entre elas. Recomenda-se eliminar uma, em cada conjunto de duas variáveis explicativas, quando o coeficiente de correlação for superior a 0,85 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

HELSEL e HIRSCH (1992) advertiram sobre os cuidados que devem ser tomados para se evitar a multicolinearidade entre as variáveis explicativas em uma regressão múltipla. A multicolinearidade é a situação em que uma certa variável explicativa possui alta correlação com uma ou mais variáveis explicativas, implicando superparametrização do modelo de regressão. Algumas das consequências da multicolinearidade são:

- equações aceitáveis em termo do teste de  $F_{total}$  cujos coeficientes possuem escalas não realistas;
- coeficientes podem ter sinais não realistas; e
- coeficientes instáveis: uma pequena mudança em um ou poucos dados de entrada pode provocar grandes mudanças nos coeficientes.

Em geral, as etapas e os critérios de seleção dos melhores modelos de regressão e do melhor conjunto de variáveis explicativas são:

- (a) definição da matriz de correlação simples entre as variáveis;
- (b) cálculo do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ); e
- (c) testes de estatísticas  $F_{total}$ , para a verificação da significância do modelo de regressão como um todo.

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 regressão simples  $r$ , definido por:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{1,i} \cdot X_{2,i} - \sum_{i=1}^n X_{1,i} \cdot \sum_{i=1}^n X_{2,i}}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n X_{1,i}^2 - \left( \sum_{i=1}^n X_{1,i} \right)^2 \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n X_{2,i}^2 - \left( \sum_{i=1}^n X_{2,i} \right)^2 \right]}} \quad (2.10)$$

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 a correlação entre  $X_1$  e  $X_2$ .

Considerando  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  as variáveis explicativas e  $r$  o coeficiente simples entre as variáveis, pode-se descrever a matriz de correlação como:

Tabela 2.2 – Matriz de correlação Pearson

	$X_1$	$X_2$	$X_3$
$X_1$	1		
$X_2$	$r_{X_1X_2}$	1	
$X_3$	$r_{X_1X_3}$	$r_{X_2X_3}$	1

Se porventura ocorrer algum caso de multicolinearidade entre duas variáveis explicativas e existir a necessidade de excluir uma delas, precisa-se verificar a significância daquelas perante o modelo de regressão por meio do teste  $F_{parcial}$ .

#### 2.2.4. Teste $F_{parcial}$

O teste  $F_{parcial}$  utiliza a distribuição  $F$  de Snedecor, determinando os níveis de significância desejáveis para avaliar a contribuição de uma variável explicativa ao modelo de regressão múltipla (NAGHETTI; PINTO, 2007). De acordo com esse critério, avalia-se a contribuição de uma variável explicativa para a soma dos quadrados na regressão depois que todas as outras variáveis independentes forem incluídas no modelo. Sendo assim, a contribuição de uma variável  $X_k$  para a soma dos quadrados da regressão (SQReg), considerando que as outras variáveis estão incluídas, é estimada pela diferença dada por:

$$SQReg(X_k) = SQReg_{(todas\ as\ variáveis\ com\ X_k)} - SQReg_{(todas\ sem\ X_k)} \quad (2.11)$$

A verificação, se a inclusão de uma variável  $X_k$  melhora significativamente o modelo de regressão, é realizada por meio de um teste com as seguintes hipóteses nula e alternativa:

$H_0$  = a variável  $X_k$  não melhora significativamente o modelo

$H_1$  = a variável  $X_k$  melhora significativamente o modelo

O  $F_{parcial}$  é calculado pela Eq.(2.12).

$$F_{parcial} = \frac{SQReg(X_k)}{QMRes} \quad (2.12)$$

na qual  $SQReg(X_k)$  é a soma dos quadrados na regressão acrescida da variável  $X_k$  e  $QMRes$  é o quadrado médio dos resíduos dado por:

$$QMReg = \frac{SQRes}{n - p - 1} \quad (2.13)$$

A hipótese nula deve ser rejeitada se a estatística  $F_{parcial}$  for maior que o valor crítico da distribuição  $F$  de Snedecor (ANEXO I), considerando 1 e  $n - p - 1$  graus de liberdade, e nível de significância  $\alpha$ , onde  $n$  é o tamanho da amostra e  $p$  é o número de variáveis explicativas incluindo  $X_k$ , ou seja, rejeita-se  $H_0$  se:

$$F_{parcial} > F(\alpha, 1, n - p - 1) \quad (2.14)$$

### 2.3. CURVA DE PERMANÊNCIA

A curva de permanência (FDC – *flow duration curve*) de um curso d'água é uma função hidrológica que possui ampla variedade de utilizações na engenharia de recursos hídricos, dentre as quais podem ser citados estudos de disponibilidade hídrica para abastecimento público, irrigação, navegabilidade, análise de qualidade de águas, estudos hidrelétricos, análise de frequência de vazões ecológicas como  $Q_{90\%}$  ou  $Q_{95\%}$ , entre outros.

Segundo VOGEL e FENNESSEY (1995), esta curva representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões diárias, semanais, mensais, anuais (ou de qualquer outro intervalo de tempo) de uma determinada área de drenagem, fornecendo a porcentagem de tempo em que um determinado valor é igualado ou excedido para um determinado período de tempo. Alternativamente, pode-se entender a curva de

permanência como o complemento da função acumulada de probabilidade das vazões (CASTELLARIN *et al.*, 2004). Essa interpretação introduz uma abordagem estatística formal do problema.

### **2.3.1. Histórico da utilização da curva de permanência**

Inicialmente, o grande interesse na curva de permanência estava relacionado ao estudo das características de uma bacia hidrográfica, com o objetivo de compará-las a outras bacias, por meio de estudo das formas das suas respectivas curvas de permanência. FOSTER (1934) atribuiu o uso mais antigo da curva de permanência a Clemens Herschel, por volta de 1880. VOGEL e FENNESSEY (1995) forneceram um breve histórico sobre o uso da curva de permanência e discorreram sobre o amplo uso das mesmas durante as primeiras décadas do século XX em território americano. Dentre eles podem ser citados os trabalhos de SAVILLE *et al.* (1933), relativos à construção de FDC no estado da Carolina do Norte; CROSS e BERNHAGEN (1949), na construção de FDC em Ohio; e MITCHELL (1957), que apresentou procedimentos para a estimação de curvas de permanência em locais monitorados, parcialmente monitorados e desprovidos de monitoramento em Illinois.

Em seu abrangente trabalho, SEARCY (1963) apresentou diretrizes para a construção, interpretação e aplicação de curvas de permanência de vazões na engenharia de recursos hídricos, em que as curvas poderiam ser utilizadas como ferramenta para análise do regime hidrológico de bacias hidrográficas e comparação do comportamento entre bacias distintas. De acordo com o autor, a presença de declividades fortes nas curvas de permanência denota o fluxo altamente variável, com predominância de escoamento direto, enquanto declividades mais planas revelam presença de armazenamento de água na superfície ou no aquífero da bacia, que tende equalizar as vazões. A declividade da parte inferior da curva de permanência fornece informações quanto às características hidrogeológicas do aquífero da bacia, em relação a sua capacidade de armazenamento. Uma declividade mais plana indica maior capacidade de armazenamento e uma declividade íngreme indica menor capacidade de armazenamento da bacia.

Segundo VOGEL e FENNESSEY (1995), a maior parte dos trabalhos relacionados à construção, análise e interpretação de curvas de permanência foi publicada antes do advento dos computadores. Dos poucos trabalhos recentes nesse

contexto, os autores recomendam os livros de WARNICK (1984) e GORDON *et al.* (1992). Entretanto, a utilização da curva de permanência para outras análises hidrológicas continuou sendo objeto de pesquisas. CHOW(1964) sugeriu sua utilização em estudos para operação de usinas hidrelétricas, disponibilidade hídrica e irrigação. MITCHEL (1957) e SEARCY (1963) empregaram a FDC em problemas relacionados ao gerenciamento da qualidade de águas e lançamento de efluentes. STRAND e PEMBERTON (1982) utilizaram as curvas de permanência de longo termo em estudos de sedimentação em rios e reservatórios.

Outra vertente de estudos é a regionalização de curvas de permanência. Os primeiros trabalhos nesse sentido são atribuídos a LANE e LEI (1949). No entanto, esse tipo de trabalho somente ganhou impulso a partir da década de 1970.

SINGH (1971) coordenou um trabalho sobre curvas de permanência de vazões para o Meio Oeste dos Estados Unidos e desenvolveu um modelo adequado a pequenas vazões (vazão observada dividida pela vazão média), correspondendo a uma certa porcentagem de tempo. Nesse caso, o modelo é uma simples função de potência da área de drenagem.

RIGGS (1973), preocupado com a questão, mostrou a relação entre as durações das vazões e as vazões mínimas de sete dias com período de retorno de 2 e 20 anos, obtidos para os rios de seis Estados americanos utilizados no estudo e encontrou que  $Q_{7,20}$  (vazão mínima de sete dias de duração e 20 anos de período de retorno), corresponde aproximadamente a vazões de permanência que variam de 99,58 a 99,92% e para  $Q_{7,20}$  correspondem a vazões que variam de 87,8% de permanência para o Estado de Kansas até 95,2% para o Estado de Illinois.

O estudo de DINGMAN (1978) para New Hampshire (EUA), com dados diários de 24 estações fluviométricas com mais de 10 anos de observação (bacias de 7 a 8.000 km<sup>2</sup>), é tipicamente do tipo interpolado, definindo as vazões nas permanências de 2, 5, 30 e 95%. As três primeiras, como uma proporção constante da vazão média, cujo valor por unidade de área é função linear da altitude média da bacia e a última, também tomada por unidade de área, é uma função polinomial de segunda ordem da altitude média da bacia. O autor apresentou intervalos de 95% de confiança empíricos com base na variabilidade das vazões adimensionais (para as permanências de 2, 5 e 30%) e na variabilidade da altitude média das bacias (considerada em todas as quatro vazões). Para as variabilidades citadas, foram assumidas distribuições normais.

QUIMPO *et. al.* (1983) pesquisaram a regionalização de curvas de permanência de vazão em diversas bacias hidrográficas das Filipinas. O trabalho foi voltado para o aproveitamento hidroenergético, com o objetivo de obter as curvas de permanência nos locais não avaliados, que são locais propostos por mapas em pequena escala. Os autores basearam-se em 35 (trinta e cinco) estações com dados de vazões diárias e séries de 8 (oito) a 21 (vinte e um) anos (bacias de 29 a 4.150 km<sup>2</sup>). De cada curva de permanência observada foram retirados 13 pares vazão-permanência (vazão por unidade de área) correspondentes aos percentis 1, 5, 95, 99 e de 10 a 90, de 10 em 10. Os autores propuseram um modelo exponencial, dado pela equação:

$$Q = Q_A \cdot e^{(-cp)} \quad (2.15)$$

na qual,  $Q$  é a vazão simulada pelo modelo exponencial,  $Q_A$  e  $c$  são coeficientes de ajuste e  $p$  é a permanência.

MIMIKOU e KAEMAKI (1985) sugeriram o ajuste de dados de vazões diárias à equação polinomial de 3º grau (cúbica) apresentada na equação 2.16:

$$Q = a - bD + cD^2 - dD^3 \quad (2.16)$$

na qual,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são parâmetros de ajuste não negativos e  $D$  é a permanência.

Os autores aplicaram a metodologia proposta na elaboração do modelo regional de curvas de permanência em bacias da região noroeste da Grécia, utilizando como variáveis explicativas a área de drenagem, precipitação média anual, declividade da bacia e comprimento do rio principal.

Outros trabalhos de regionalização de curvas de permanência de vazões que merecem destaque são:

TUCCI (1993) propôs o ajuste da curva de permanência de vazão a partir de um modelo exponencial que expressa o quantil relacionado à permanência  $p$  como uma função das vazões  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$ .

$$Q_p = e^{(pa+b)} \quad (2.17)$$

em que:

$$a = \frac{-\ln(Q_{50}/Q_{95})}{0,45} \quad (2.18)$$

$$b = \ln(Q_{50}) - 0,5a \quad (2.19)$$

O modelo regional é construído a partir da regressão dos valores de  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$  com características físicas e climáticas das bacias.

FRANCHINI e SUPPO (1996) sugeriram que o ajuste da porção da curva de permanência de vazão correspondente às menores vazões ( $D \geq 0,30$ ) fosse realizado com a seguinte equação:

$$Q_D = c + a(1 - D)^b \quad (2.20)$$

na qual  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros de ajuste não negativos calculados por meio do método dos mínimos quadrados.

O parâmetro  $b$  é relacionado a características da bacia e controla a concavidade da curva de permanência de vazão. Os autores propuseram que os parâmetros da equação fossem estimados a partir da solução de um sistema composto por 3 permanências  $D_i$  e os 3 quantis  $Q(D_i)$  a elas associados. A elaboração do modelo regional consiste na aplicação de técnicas de regressão para relacionar cada um desses 3 quantis  $Q(D_i)$  a características da bacia e, a partir deles, estimar os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  em locais desprovidos de monitoramento.

SILVEIRA *et. al.* (1998) apresentaram metodologias para a obtenção de dados de vazão em pequenas bacias hidrográficas onde há ausência de rede hidrométrica. Entre os processos destaca-se a regionalização da curva de permanência, na qual poderiam ser adotados dois procedimentos: (a) parametrização da curva, relacionando os parâmetros com características fisiográficas e climatológicas da bacia e (b) interpolação gráfica ou analítica de uma curva, passando por vazões com permanências pré-definidas e estimadas a partir das referidas características da bacia. A última é mais recomendada, por minimizar os erros em virtude de estimativa ponto a ponto da curva.

De forma geral, a regionalização de curvas de permanência pode ser desenvolvida considerando três abordagens:

- a estatística para a construção de modelos regionais de curvas de permanência – corresponde à construção de curvas de permanência com auxílio de distribuições teóricas de probabilidade. Neste caso, a curva representa o complemento da função acumulada de probabilidades das vazões observadas e os quantis podem ser estimados diretamente a partir da função inversa da função acumulada de probabilidades;
- a gráfica para construção de modelos regionais de curvas de permanência – consiste basicamente de dois procedimentos: (1) obtenção das curvas de permanência de vazões adimensionais, por meio da divisão de quantis da curva empírica por um índice de vazão, como, por exemplo, a média de longo tempo; e (2) dedução da curva de permanência de vazão regional adimensional com base na ponderação das curvas normalizadas de todas as estações utilizadas no estudo; e
- a paramétrica para a construção de modelos regionais de curvas de permanência – esta abordagem relaciona à construção de curvas de permanência com auxílio de funções matemáticas sem significado estatístico, tais como logarítmicos, exponenciais e polinomiais. Embora tais funções não constituam distribuições de probabilidades, as vazões podem ser facilmente estimadas, uma vez que a permanência é a variável independente do modelo.

### **2.3.2. Regionalização de curvas de permanência**

Diversas metodologias têm sido desenvolvidas com o objetivo de superar as limitações existentes na base de dados de grande parte das bacias hidrográficas do Brasil e do mundo. A construção de um modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões, por meio da análise regional entre os parâmetros provenientes de funções matemáticas ajustadas ou calibradas às curvas de permanência e características das bacias, aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas da Amazônia Legal, constitui o principal objetivo do presente trabalho. Para tanto, foi compilada uma série de estudos nesse contexto. A seguir é feito o resumo de alguns deles.

MEDICINO *et. al.* (2013) analisaram o desempenho de sete modelos de regionalização de curvas de permanência (dois estatísticos e cinco paramétricos), para 19 bacias calibradas, em uma região do sul da Itália conhecida como Calábria. Para a

definição dos modelos regionais, utilizaram análise de regressão múltipla. Os modelos estatísticos mostraram boa confiabilidade.

YASAR e BAYKAN (2013) estudaram 72 estações fluviométricas em Kansas – EUA. Os autores propuseram um modelo para estimar curvas de permanência de vazões chamado EREFDC - *Estimation of Regionalized Flow Duration Curve*. O modelo consiste em vários tipos de equações matemáticas lineares e não-lineares capazes de prever parâmetros das curvas com base em variáveis como: área de drenagem, precipitação anual média, permeabilidade do solo, latitude e longitude.

BOOKER e SNELDER (2012) construíram curvas de permanência de vazões para 379 estações fluviométricas localizadas em toda Nova Zelândia, com o objetivo de investigar como os métodos de parametrização e generalização se combinam para regionalização de curvas de permanência em locais sem informações de vazão. Equações de regressão foram aplicadas e o modelo regional de distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos foi o que melhor estimou curvas de permanência.

SHU e OUARDA (2012) aplicaram a interpolação logarítmica com base em regressão (*regression-based logarithmic interpolation – RBLI*), método utilizado para simular curvas de permanência de vazões em locais sem informações, para 109 estações fluviométricas na província de Quebec, Canadá.

HOPE e BART (2012) testaram um método de regionalização para curvas de permanência de vazões de rios perenes e efêmeros, já desenvolvido por CROKER *et al.* (2003) em Portugal, para 41 bacias hidrográficas da Califórnia Central e do Sul. Equações de regressão foram aplicadas em um conjunto de variáveis independentes.

COSTA *et al.* (2012) realizaram um estudo de regionalização de curvas de permanência de vazões para os rios das regiões hidrográficas da Calha Norte e do Xingu no Estado do Pará. Os autores testaram o ajuste de 5 modelos matemáticos de regressão (potência, exponencial, logarítmico, quadrático e cúbico), similar ao método de MIMIKOU e KAEMAKI (1985), e concluíram que para as bacias da Calha Norte, o modelo cúbico foi o que se ajustou melhor. Já para a região do Xingu, foi o modelo exponencial que se ajustou melhor.

VIOLA *et al.* (2011) desenvolveram um modelo regional para estimar curvas de permanência em bacias na Sicília, Itália. Foi analisado um grande número de dados de vazões representativas de aproximadamente 50 estações fluviométricas. Equações de

regressão regionais foram desenvolvidas para obter curvas de duração de fluxo a partir de características morfológicas das bacias.

MING LI *et al.* (2010) propuseram um novo método de regionalização, chamado modelo de índice, para a previsão de curvas de permanência de vazões para 227 micro-bacias no sudeste da Austrália.

CASTELLARIN *et al.* (2007) aplicaram a regionalização de curvas de permanência de vazões por meio de um modelo estocástico de índice de vazão proposto por CASTELLARIN *et al.* (2004), que analisaram e compararam procedimentos estatísticos, paramétricos e gráficos, com o objetivo de identificar o melhor procedimento para simular curvas de permanência de vazões, no leste central da Itália.

NIADAS (2005) desenvolveu uma curva de permanência de vazões adimensional regional, para pequenas bacias (área de drenagem  $< 50 \text{ km}^2$ ), combinando características da área de estudo com dados instantâneos de vazão real. A curva regional foi desenvolvida para uma região hidrologicamente homogênea no oeste da Grécia.

CROKER *et al.* (2003) construíram um conjunto de curvas de permanência normalizadas pela vazão média de longo termo para os valores não nulos de vazão. Tais curvas foram agrupadas de acordo com o valor do quantis  $Q_{80\%}$  e esse quantis foi objeto de regionalização. O modelo proposto foi empregado na regionalização de curvas de permanência de vazões em bacias portuguesas com rios perenes, intermitentes e efêmeros.

CATALUNHA (2004) destaca em seu trabalho, que dentre as variáveis empregadas em estudos de regionalização, a área de drenagem é a mais utilizada, a qual possui forte correlação com as outras características da bacia.

SILVA JUNIOR *et al.* (2003) empregaram um estudo de regionalização de vazões mínimas, máximas e médias e de curva de permanência na bacia do rio Grande, situada no Estado do Paraná, e constataram que a área de drenagem foi a variável mais correlacionada com a vazão, ou seja, a variável que melhor explica seu comportamento.

YU *et al.* (2002) realizaram uma comparação de desempenho entre dois métodos paramétricos de regionalização de curvas de permanência de vazões para dezenove bacias em Taiwan. O primeiro método utiliza uma equação cúbica, de modo similar ao método de MIMIKOU e KAEMAKI (1985), em que os parâmetros de distribuição são relacionados a características físicas e climáticas das bacias por meio de regressão múltipla. O segundo consiste na regionalização de quantis relacionados a permanências específicas, tais como  $Q_{5\%}$ ,  $Q_{50\%}$  ou  $Q_{95\%}$ . Neste caso, utilizam-se técnicas

de regressão para estabelecer relações entre os quantis correspondentes a cada permanência considerada e características das bacias.

É fácil constatar que, em todos os métodos existentes de regionalização de curvas de permanência de vazões, cujo objetivo é estimar vazões, há importância em se conhecer o comportamento das variáveis físicas e/ou climáticas das bacias em estudo, como forma de acrescentar significativa melhoria a essas estimativas.

Segundo BAENA (2002), um dos pontos cruciais num estudo de regionalização é a delimitação das regiões hidrológicas ou estatisticamente homogêneas, cujas estações tenham séries oriundas de populações regidas pela mesma distribuição de probabilidades e apenas seus parâmetros variando entre as estações. Observa-se, entretanto, que a premissa de base da regionalização hidrológica é que as variáveis sob análise devem ter distribuições de probabilidades idênticas, a menos de um fator de adimensionalização, o qual é função das características locais. Esta premissa de base pode ser sintetizada pelo conceito de “região homogênea”.

#### 2.4. REGIÕES HOMOGÊNEAS

O termo regiões homogêneas está associado a regiões que possuem similaridade hidrológica. Essa similaridade inclui fatores físicos, climáticos, biológicos, geológicos e efeitos antrópicos, como há grande complexidade na consideração de todos esses fatores, LANNA (2004) conceituou região homogênea como uma região na qual diversas características climáticas e fisiográficas teriam variabilidade mínima. A similaridade, nesse caso, seria observada com respeito aos fenômenos de maior interesse no processo hidrológico em estudo.

Muitos autores consideram a identificação de regiões homogêneas como a etapa da regionalização que possui maior grau de dificuldade, por requerer muitas vezes julgamento subjetivo (HOSKING; WALLIS, 1997). 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.

Regiões geograficamente contíguas com base em fronteiras geográficas, políticas, administrativas ou fisiográficas foram usadas por um longo tempo em hidrologia para análise de frequência regional. No entanto, esta prática não garante a homogeneidade hidrológica. Consequentemente, foram desenvolvidos para a regionalização diversos métodos que consideram a semelhança entre locais, em um

espaço multidimensional dos atributos relacionados às bacias hidrográficas, tais como características fisiográficas, localização geográfica e estatísticas locais da variável hidrológica (RAO; SRINIVAS, 2006a).

Uma das formas de se obter resultados, quando se deseja dividir uma área de estudo em regiões homogêneas, é por meio da análise de agrupamento (*cluster analysis*) cuja finalidade primária é agregar objetos com base em uma medida de similaridade e nas características que eles possuem.

## 2.5. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

Análise de agrupamento (*cluster analysis*), também conhecida como análise de conglomerado, é o nome para um grupo de técnicas multivariadas cuja finalidade primária é agregar objetos em grupos similares, baseando-se nas características que esses objetos possuem (HAIR *et al.*, 2005).

Para MALHOTRA (2006), a análise de agrupamento é uma técnica usada para classificar objetos (indivíduos, populações, amostras, etc.) ou casos em grupos relativamente homogêneos chamados de agrupamentos ou conglomerados. Assim, os objetos em cada agrupamento tendem a ser semelhante entre si, mas diferentes de objetos em outros agrupamentos.

É uma técnica que visa segregar elementos ou variáveis em grupos homogêneos internamente, heterogêneos entre si e mutuamente exclusivos. Neste sentido, tem por objetivo principal dividir um conjunto de objetos em dois ou mais grupos com base na similaridade dos objetos em relação a um conjunto de características específicas (REGAZZI, 2001; FÁVERO *et al.*, 2009).

Os agrupamentos resultantes de objetos devem então exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos). Assim, se a classificação for bem sucedida, os elementos de um determinado conjunto deverão ser mutuamente similares e, preferencialmente, muito diferentes dos elementos de outros conjuntos (HAIR *et al.*, 2005).

De acordo com REIS (1997), de modo sintético, a técnica pode ser descrita como segue: dado um conjunto de  $n$  indivíduos para os quais existe informação sobre a forma  $p$  variáveis, o método de análise de agrupamentos procede ao agrupamento dos indivíduos em função da informação existente, de tal modo que os indivíduos pertencentes a um mesmo grupo sejam tão semelhante quanto possível e sempre mais

semelhante aos elementos do mesmo grupo do que aos elementos dos grupos restantes. Ou seja, se  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$  é um conjunto de variáveis e  $e = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  é o conjunto de elementos que se deseja agrupar. Com base no conjunto  $x$ , pode-se determinar uma participação de  $e$  em grupos  $g_i$ , tal que se  $e_1, e_2 \in g_i \Rightarrow e_1, e_2$  são semelhantes e formam um subgrupo de  $g_i$ .

A análise de agrupamentos estuda todo um conjunto de relações interdependentes. Ela permite extrair informações a respeito da independência entre as variáveis que caracterizam cada elemento, ou seja, nesta análise não deverá existir dependência entre as variáveis. Diferente da análise de regressão multivariada que permite extrair informações a respeito da dependência entre uma ou mais variáveis ou uma em relação à outra (FÁVERO *et al.*, 2009).

Geralmente, a análise de agrupamento compreende cinco etapas (AAKER *et al.*, 2001; FÁVERO *et al.*, 2009):

1. Análise de variáveis e dos objetos a serem agrupados (seleção de variáveis e padronização);
2. Seleção da medida de distância ou semelhança entre cada par de objetos;
3. Seleção do algoritmo de agrupamento: método hierárquico ou não-hierárquico;
4. Escolha da quantidade de agrupamentos formados;
5. Interpretação e validação dos agrupamentos.

A análise de agrupamento (*cluster analysis*) consiste numa ferramenta exploratória dos dados com o intuito de classificar grupos homogêneos (WILKS, 2006). Várias técnicas de análise de agrupamento têm sido amplamente empregadas na Engenharia, e mais especificamente em Hidrologia (FARSADNIA *et al.*, 2014; DIKBAS *et al.*, 2012; RIANNA *et al.*, 2011; HATVANI *et al.*, 2011; SADRI; BURN, 2011; YANG *et al.*, 2010), tendo o pesquisador que tomar a decisão de qual é a mais adequada ao seu propósito, uma vez que, as diferentes técnicas podem levar a diferentes resultados.

A maioria dos métodos de análise de agrupamento está programado para operar com o conceito de distância (dissimilaridade). A seguir, estão apresentados alguns tipos de medidas de similaridade usadas para estabelecer o conceito de distância entre os objetos.

### 2.5.1 Medidas de similaridade (dissimilaridade)

Em análise de agrupamentos, para se construir um simples grupo a partir de um conjunto de elementos é necessário a definição de uma medida de similaridade, também chamada de coeficiente de similaridade, que possibilite a comparação entre os componentes desse conjunto, tornando possível verificar se um elemento *A* é mais parecido com *B* do que com *C*. Com base nessa medida, os indivíduos similares são agrupados e os demais são colocados em grupos separados (AAKER *et al.*, 2001).

Segundo BARROSO e ARTES (2003), esse coeficiente pode ser dividido em duas categorias, que dizem respeito à estimação de uma medida de similaridade, ou dissimilaridade, entre os indivíduos, ou populações, a serem agrupados. Na medida de similaridade, quanto maior for o valor observado, mais parecido serão os objetos. Já na medida de dissimilaridade, quanto maior for o valor observado, menos parecido serão os objetos.

De modo geral, a similaridade entre objetos pode ser medida de diversas maneiras, mas três categorias dominam as aplicações de análise de agrupamentos (HAIR *et al.*, 2005; FÁVERO *et al.*, 2009):

- **medidas de distância** – medem a distância, ou a separação angular, entre pares de pontos;
- **medidas correlacionais** – medem a correlação entre pares de valores; e
- **medidas de associação** – medem a associação entre pares de caracteres qualitativos.

Determinados coeficientes se adaptam melhor a determinados tipos de variáveis e situações e em geral, os coeficientes de dissimilaridade são mais adequados para as variáveis quantitativas, e os de similaridade para as variáveis qualitativas.

As medidas correlacionais têm um apelo intuitivo e são usadas em muitas outras técnicas multivariadas, mas não são o coeficiente de similaridade mais comumente empregado em análise de agrupamentos. As medidas baseadas em distância são os métodos mais frequentemente usados (HAIR, *et al.*, 2005).

Segundo FÁVERO *et al.* (2009), as medidas de distância são consideradas coeficientes de dissimilaridades, pois, quanto maiores os valores, menor é a semelhança entre os objetos, e vice-versa. Essa distância, normalmente, é representada na forma de matriz, ou seja, em uma matriz de dissimilaridade.

A matriz de distância apresenta em cada célula o valor da distância calculada para os elementos posicionados nas respectivas linha e coluna. Ou seja, cada entrada  $X_{ij}$  na matriz consiste em um valor numérico que demonstra quão próximos os objetos  $i$  e  $j$  são.

A Tabela 2.3 exibe uma matriz de distâncias construída a partir das observações de cinco elementos.

Tabela 2.3 – Exemplo de matriz de distância.

	A	B	C	D	E
A	0				
B	d(2,1)	0			
C	d(3,1)	d(3,2)	0		
D	d(4,1)	d(4,2)	d(4,3)	0	
E	d(5,1)	d(5,2)	d(5,3)	d(5,4)	0

Existem várias medidas que podem ser utilizadas como medidas de distâncias ou dissimilaridade entre elementos de uma matriz de dados. HAIR *et al.* (2005) e FÁVERO *et al.* (2009), descrevem uma série de medidas possíveis: Distância Euclidiana, Distância Quadrática Euclidiana, Distância de Minkowski, Distância Absoluta (Bloco, City-Block ou Manhattan), Mahalanobis e Chebychev. A medida de dissimilaridade utilizada neste estudo foi a distância euclidiana.

### 2.5.2. Distância Euclidiana

A distância euclidiana é, sem dúvida, a medida de distância mais utilizada para a análise de agrupamentos. Considerando o caso mais simples, no qual existem  $n$  indivíduos, onde cada um dos quais possuem valores para  $p$  variáveis, a distância euclidiana entre eles é obtida mediante o teorema de Pitágoras, para um espaço multidimensional.

A distância euclidiana entre duas observações ( $i$  e  $j$ ) corresponde à raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre os pares de observações ( $i$  e  $j$ ) para todas as  $p$  variáveis.

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (2.21)$$

em que,  $d_{ij}$  é a distância entre os elementos  $i$  e  $j$  e  $X_{ik}$  é o valor assumido pela variável  $k$  para o elemento  $i$ .

A escolha de um particular método de agrupamento depende do conhecimento de suas propriedades, do objetivo da pesquisa e das características do objeto (BUSSAB *et al.*, 1990; HAIR *et al.*, 2005).

O pesquisador deve considerar um aspecto importante ao realizar uma análise de agrupamentos, ou seja, é que a utilização de variáveis com medidas/escalas diferentes pode distorcer a estrutura do agrupamento. A maior parte das medidas de distância sofre influência das diferentes escalas ou magnitudes das variáveis, sendo esse problema contornado com a padronização das variáveis (HAIR, *et al.*, 2005; FÁVARO *et al.*, 2009).

### 3.4.3. Padronização das Variáveis

Devido ao uso da distância euclidiana como medida de similaridade, algumas variáveis podem influenciar mais diretamente o resultado do agrupamento, a depender da escala de valores utilizadas. Em detrimento disso, a orientação de alguns autores (JINGYI; HALL, 2004; HALL; MINNS, 1999) é de que se adote a padronização das variáveis, uniformizando seus efeitos em termos de distância.

A forma mais utilizada para padronização dos dados consiste em transformar cada variável em escore padrão (também conhecidos como escores  $Z$ ), permitindo que seja eliminado o viés decorrente das diferenças de escalas.

Para a padronização das variáveis explicativas, foi organizada uma matriz de dados  $X_{(n \times p)} = X_{ij}$ , cujas linhas correspondem a “ $n$ ” objetos - estações fluviométricas ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), com “ $p$ ” características - variáveis explicativas ( $j = 1, 2, \dots, p$ ) como mostrado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Matriz de dados  $n$  objetos e  $p$  variáveis.

Objetos	Variáveis						
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	...	$X_j$	...	$X_p$
1	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	...	$X_{1j}$	...	$X_{1p}$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	...	$X_{2j}$	...	$X_{2p}$
...	...	...	...	...	...	...	...
I	$X_{i1}$	$X_{i2}$	$X_{i3}$	...	$X_{ij}$	...	$X_{ip}$
...	...	...	...	...	...	...	...
N	$X_{n1}$	$X_{n2}$	$X_{n3}$	...	$X_{nj}$	...	$X_{np}$

Fonte: REGAZZI (2001).

Sendo que, na matriz de dados, o valor do  $i$ -ésimo objeto e  $j$ -ésima variável será denotado por  $X_{ij}$ , no qual o valor padronizado será representado por  $Z_{ij}$ . Nesse caso, as variáveis padronizadas terão média zero e desvio padrão 1, sendo esta a mais utilizada na prática, e definida da seguinte forma (HAIR *et al.*, 2005; FÁVARO *et al.*, 2009):

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j} \quad (2.22)$$

em que  $\bar{X}_j$ , valor médio da variável, e  $S_j$ , desvio padrão, são dados por:

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij} \quad (2.23)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_{ij} - \bar{X}_j|^2 \quad (2.24)$$

Em que  $n$  é o tamanho da população (objetos).

A padronização das variáveis tem sido recomendada para minimizar o efeito das diferentes escalas de medidas, fazendo com que todas as variáveis exerçam a mesma importância na definição dos grupos (HAIR *et al.*, 2005).

A escolha de um particular método de agrupamento depende do conhecimento de suas propriedades, do objeto da pesquisa e das características do objeto (BUSSAB *et.*

*al.*, 1990; HAIR *et al.*, 2005). Os métodos mais utilizados podem ser classificados em duas categorias: hierárquicos e não hierárquicos, os quais são descritos a seguir.

## 2.6. MÉTODOS DE AGRUPAMENTOS HIERÁRQUICOS E NÃO HIERÁRQUICOS

Em análise de agrupamento existem duas grandes categorias que são utilizadas para a formação dos grupos, cada uma delas compreendendo diferentes tipos de algoritmos: os métodos hierárquicos e os não hierárquicos (métodos por partição). Essas técnicas se distinguem, principalmente, pela metodologia utilizada na construção desses grupos. A escolha de um determinado método dessas técnicas exige o conhecimento das propriedades desse particular algoritmo aliado aos objetos da pesquisa (MUÑOZ DIAS; RODRIGO, 2004).

- Métodos Hierárquicos:
  - Algoritmos Aglomerativos
  - Algoritmos Divisivos
- Métodos Não-Hierárquicos
  - Algoritmos *K-means*

Os métodos hierárquicos consistem em uma série de sucessivos agrupamentos ou sucessivas divisões de elementos, onde os elementos são agregados ou desagregados. Segundo REIS (1997), as técnicas de hierarquização conduzem a uma hierarquia de partições  $P_1, P_2, \dots, P_n$  do conjunto total dos  $n$  objetos em 1, 2, ...,  $n$  grupos. A denominação de hierárquicos advém do fato de, que, para cada par de partições  $P_i$  e  $P_{i+1}$  cada grupo da partição  $P_{i+1}$  está sempre incluído num grupo da partição  $P_i$ . Ou seja, cada um dos objetos que participarão do processo de análise de agrupamento são considerados como um grupo, que estarão juntando-se a um outro elemento ou a um outro grupo, de acordo com os valores existentes na matriz de dissimilaridade ou distâncias (que é atualizada a cada agrupamento que surge). Ao fim desse processo, todos os elementos estarão reunidos em um único grupo.

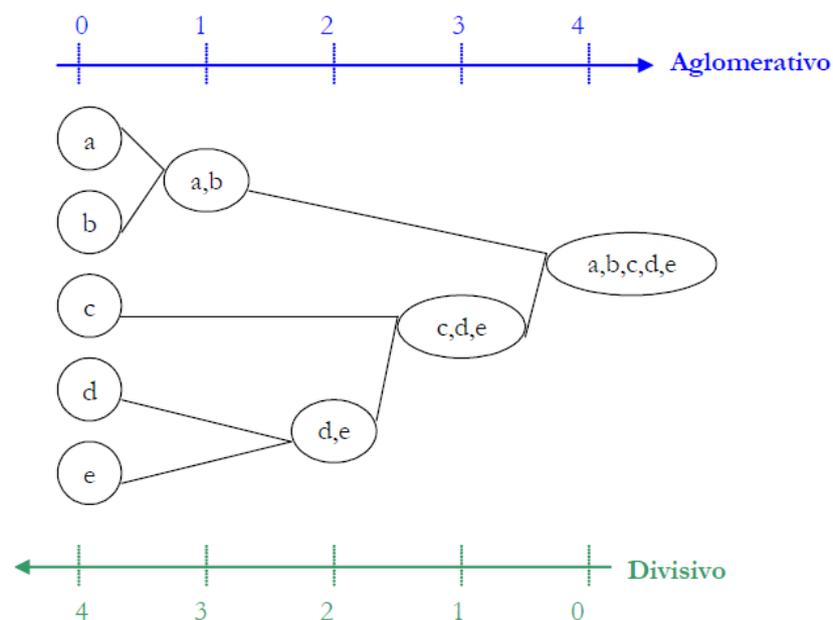
De acordo com CORTÉS *et al.* (2007), os grupos, nos métodos hierárquicos, são geralmente representados por um diagrama bi-dimensional chamado de dendograma ou diagrama de árvore. Neste diagrama, cada ramo representa um elemento, enquanto a raiz representa o agrupamento de todos os elementos.

Os métodos hierárquicos são subdivididos em métodos aglomerativos, indicando a fusão de grupos, e divisivos, indicando a separação dos grupos em cada etapa (FÁVERO *et. al.*, 2009).

Nos métodos aglomerativos, o processo de agrupamento inicia-se com  $n$  grupos unitários formados por cada um dos elementos  $e$ , a cada iteração, os dois grupos mais próximos se unem até que todos os indivíduos constituam um único grupo (HAIR *et al.*, 2005).

Para MALHOTRA (2006), nos métodos divisivos, o processo prossegue na direção oposta dos métodos aglomerativos (Figura 2.1). Considera-se que todos os casos partem de um grupo numa primeira fase e, nas iterações seguintes, os casos mais distantes vão sendo separados até ficarmos com tantos grupos quantos casos na última iteração.

Figura 2.1 - Ilustração dos métodos aglomerativos (azul) e divisivos (verde).



Os métodos divisivos são considerados bastante ineficientes e por esta razão são menos expressivos que as técnicas aglomerativas. Além disso, os pacotes computacionais mais comumente usados empregam métodos aglomerativos e, pelo fato de os métodos divisivos atuarem quase como métodos aglomerativos ao contrário, concentrar-se aqui nos métodos hierárquicos aglomerativos.

O procedimento básico, de todos os métodos aglomerativos de agrupamento, é similar. Cada elemento inicia-se representando um grupo, e a cada passo um grupo ou elemento é ligado a outro de acordo com sua similaridade, até o último passo, onde é formado um grupo único com todos os elementos e finaliza-se com um dendograma (REGAZZI, 2001).

Os métodos aglomerativos são de uso comum, devido à maior simplicidade de programação. Neste tipo de agrupamento podem ser utilizados três tipos de algoritmos (ANDRADE, 2004):

- métodos de ligação (*single linkage, complete linkage, average linkage*);
- métodos do centróide – distância entre os centróides de cada grupo; e
- método de *Ward* – baseado na menor variância entre os grupos.

Destes, o método de *Ward* tem sido mais largamente utilizado para a aplicação em Hidrologia.

### 2.5.1. Método de Agrupamento Hierárquico de *Ward* (*Ward's method*)

O método proposto por *WARD* (1963), consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade, usada para juntar agrupamentos, é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos e aplicada para todas as variáveis (HAIR *et al.*, 2005). Segundo *OURDA et al.* (2008), o método de *Ward* usa a soma incremental de quadrados, ou seja, o aumento no total da soma quadrada interna devido à junção de dois grupos. A soma quadrada interna de um grupo é definida como a soma das distâncias entre todos os objetos no grupo e seus centróides. O procedimento fundamenta-se nos seguintes princípios:

- a) inicialmente, cada elemento é considerado como um único conglomerado;
- b) em cada passo do algoritmo de agrupamento calcula-se a soma dos quadrados dentro de cada conglomerado. Esta soma é o quadrado da distância euclidiana de cada elemento amostral pertencente ao conglomerado em relação ao correspondente vetor de médias do conglomerado, isto é,

$$SS_i = \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \mu_i)'(X_{ij} - \mu_i) \quad (2.25)$$

onde  $n_i$  é o número de elementos no conglomerado  $C_i$ , quando se está no passo  $k$  do processo de agrupamento;  $X_{ij}$  é o vetor de observações do  $j$ -ésimo elemento amostral que pertence ao  $i$ -ésimo conglomerado;  $\mu_i$  é o centróide do conglomerado  $C_i$  e  $SS_i$  representa a soma de quadrados correspondente ao conglomerado  $C_i$ . No passo  $k$ , a soma de quadrados total dentro dos grupos é definida como:

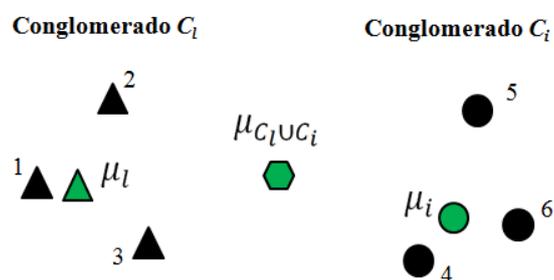
$$SSR = \sum_{i=1}^{g_k} SS_i \quad (2.26)$$

em que  $g_k$  é o número de grupos existentes quando se está no passo  $k$ . A distância entre os conglomerados  $C_l$  e  $C_i$  é definida como:

$$d(C_l, C_i) = \left[ \frac{n_l n_i}{n_l + n_i} \right] (\mu_l - \mu_i)' (\mu_l - \mu_i) \quad (2.27)$$

Em cada passo do algoritmo de agrupamento, os dois conglomerados que minimizam a distância são combinados. As comparações de conglomerados, que tem tamanhos diferentes, sofrem uma penalização representada pelo fator de ponderação  $\left[ \frac{n_l n_i}{n_l + n_i} \right]$ . Quanto maiores forem os valores de  $n_l$  e  $n_i$  e a discrepância entre eles, maior será o valor do fator de penalização, aumentando, assim, a distância entre os centróides dos conglomerados comparados. A figura 2.2 apresenta uma representação gráfica do método de Ward.

Figura 2.2 – Representação gráfica do método de Ward.



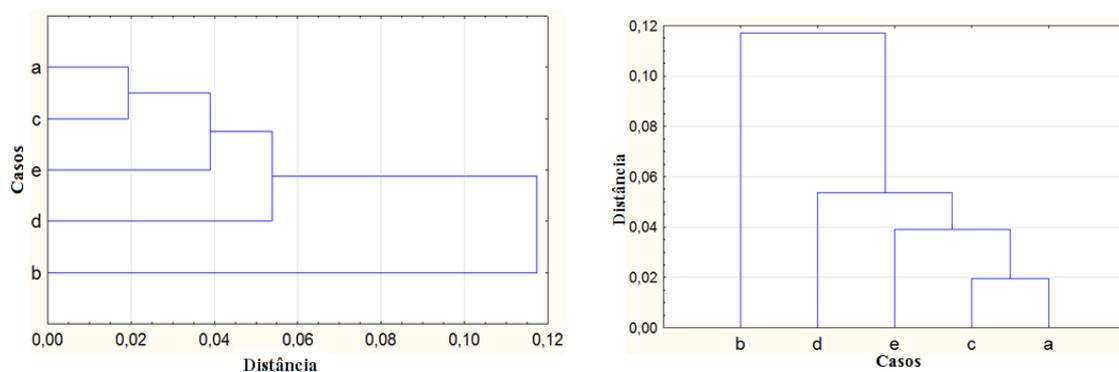
Essa técnica interliga as amostras por associações, produzindo um dendograma, também denominado gráfico em árvore, no qual as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, são agrupadas entre si. Esse procedimento também é

denominado de “mínima variância”, pois em cada passo do algoritmo os dois conglomerados que apresentam a menor distância entre eles são combinados, formando um único grupo.

O dendograma (diagrama que mostra a hierarquia e a relação dos agrupamentos em uma estrutura) representa a sequência e as distâncias métricas em que as observações são agrupadas. As distâncias entre os grupos antes de se agregarem também são indicadas nesses diagramas (MUÑIZ DIAZ; RODRIGO, 2004).

Há duas formas de representar um dendograma: horizontal e vertical (Figura 2.3).

Figura 2.3 – Exemplos de dendograma (horizontal e vertical).



Por meio do dendograma e do conhecimento prévio sobre a estrutura dos dados, deve-se determinar uma distância de corte para definir quais serão os grupos formados. Essa decisão é subjetiva, e deve ser feita de acordo o objetivo da análise e o número de grupos desejados (DONI, 2004).

O dendograma representa uma síntese gráfica do trabalho desenvolvido, sendo muito útil para a classificação, comparação e discussão de agrupamentos. A suposição básica de sua interpretação é: quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras.

Na Figura 2.4 são apresentadas as etapas do algoritmo do método aglomerativo hierárquico de *Ward* na delimitação de regiões hidrologicamente homogêneas de vazão.

Figura 2.4 – Algoritmo do método hierárquico de *Ward*.**Algoritmo do método aglomerativo hierárquico de *Ward***

- Iniciar operando a matriz de similaridade, considerando cada elemento como um único conglomerado;
- Calcular o valor da soma dos quadrados  $SS_i$  para cada um dos possíveis pares de conglomerados segundo a equação (3.5);
- Calcular a soma de quadrados total dentro dos grupos (Eq.(3.6));
- Calcular a distância entre os conglomerados por meio da equação (3.7);
- Repetir os passos anteriores  $n - 1$  vezes, de maneira que todos os  $n$  elementos pertençam a um grupo ao fim do algoritmo.

Em Hidrologia, a metodologia hierárquica de *Ward* vem sendo utilizada com frequência na determinação de regiões homogêneas, já que é considerada eficiente na formação de grupos (PEREIRA, 2005).

FARSADNIA *et al.* (2014) buscaram identificar regiões hidrologicamente homogêneas em Mazandaran, norte do Irã, aplicando diferentes técnicas de agrupamento em conjunto com um modelo heurístico conhecido por SOM (*Self-Organization feature Map*). O modelo SOM foi utilizado para formar um mapa de características bi-dimensional, e os dados de saída do modelo foram agrupados por meio dos métodos de *Ward*, *k-means* e *fuzzy c-means*. Os autores concluíram que a combinação do método de *Ward* com o modelo SOM é muito melhor que as outras combinações.

TSAKIRIS *et al.* (2011), em um estudo realizado em Massachusetts – EUA, relacionaram variáveis fisiográficas a vazões mínimas ( $Q_{7,2}$  e  $Q_{7,10}$ ), por meio da regressão múltipla, com a finalidade de regionalizar vazões mínimas. Os autores usaram o método de análise de agrupamento hierárquico de *Ward* para identificar sub-regiões homogêneas, e como medida de similaridade a distância euclidiana. Concluíram que com base nas duas sub-regiões homogêneas definidas a estimativa das vazões mínimas foi mais precisa.

O estudo desenvolvido por RIANNA *et al.* (2011) teve como objetivo criar um modelo para estimar curvas de permanência de vazões diárias que pudessem ser aplicados em bacias com clima seco e vazões intermitentes. Este modelo foi

regionalizado por meio da análise de regressão múltipla e aplicado numa das quatro regiões homogêneas definidas pelo método hierárquico de *Ward*.

ÁLVAREZ *et al.* (2011) utilizaram vinte variáveis climáticas e fisiográficas, potencialmente úteis na estimativa de vazões, de 17 bacias localizadas na região da Mixteca, México. Os autores identificaram três grupos de regiões hidrologicamente homogêneas mediante a aplicação do método de agrupamento *Ward*. Obtiveram um modelo regional para a estimativa da vazão anual média e concluíram que a área de drenagem e precipitação anual média são as variáveis que tem maior significância para o modelo.

YANG *et al.* (2010) estudaram a bacia hidrográfica do rio Pérola, na China, e definiram seis regiões homogêneas por meio de algoritmos hierárquicos de ligação média e *Ward*, usando características topográficas e padrões espaciais de precipitação média da bacia em estudo.

CANNARAZZO *et al.* (2009) selecionaram 57 estações hidrométricas, de 105 estações instaladas na Sicília - Itália, usando a medida de discordância proposta por HISKING e WALLIS (1997). Os autores aplicaram uma abordagem de matriz de distâncias para descobrir quais parâmetros físicos e morfológicos se correlacionavam melhor com a vazão. Estes parâmetros foram usados na identificação de grupos de regiões homogêneas por meio da metodologia hierárquica de *Ward*. Usando a distribuição log-normal de três parâmetros estimaram quantis adimensionais e, por meio de regressão múltipla, obtiveram expressões que relacionam a vazão anual média para algumas características climáticas e morfológicas da bacia.

GANORA *et al.* (2009) propuseram um modelo de regionalização, com base na distância (*distance-based method*), para estimar curvas de permanência de vazões adimensionais. O procedimento foi aplicado para 95 bacias localizadas no noroeste da Itália (36 bacias) e da Suíça (59 bacias). Os autores aplicaram o método hierárquico *Ward* com a finalidade de identificar grupos de bacias com características similares.

KAHYA *et al.* (2008) propuseram um estudo de identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, na Turquia, utilizando dados de vazões mensais de 80 estações fluviométricas localizadas em 26 bacias. Os autores analisaram o dendograma, gerado pelo uso do método hierárquico de *Ward*, e definiram seis regiões homogêneas de vazões mensais. Concluíram que os mapas de regiões homogêneas de vazões não se sobrepõem muito bem aos mapas de zonas climáticas convencionais da Turquia, no

entanto, eles são coerentes aos mapas de regiões de clima redefinidos por meio de análise de agrupamento para dados totais de precipitação.

RAHNAMA e ROSTAMI (2007) estudaram a regionalização de vazão na bacia hidrográfica do rio Halil no Irã. Para identificar as regiões homogêneas, utilizaram-se da metodologia de agrupamento hierárquico de *Ward*. Os grupos obtidos foram então submetidos ao teste de heterogeneidade e à medida de discordância. Selecionaram a distribuição mais apropriada e estimaram a raiz quadrática do erro médio entre a regionalização e os dados observados, bem como, na estimativa local. Os resultados demonstraram bom ajuste entre os dados estimados e os dados observados.

No estudo desenvolvido por KAHYA e DEMIREL (2007), três métodos de agrupamento hierárquico (ligação simples, ligação completa e *Ward*) foram usados para identificar grupos de bacias semelhantes, com base nos dados de vazões mensais mínimas de 23 bacias hidrográficas na Turquia. Os autores concluíram que o método de *Ward* é mais apropriado para a formação de grupos hidrológicamente similares de vazão mensal mínima.

RAO e SRINIVAS (2006a) usaram três algoritmos híbridos, nos quais aplicaram um processo de agrupamento particional para refinar os resultados obtidos das técnicas de agrupamento hierárquicas. Foram usados os algoritmos hierárquicos de ligação simples, ligação completa e *Ward*, enquanto o algoritmo particional utilizado foi o *k-means*. O método híbrido entre *k-means* e *Ward* apresentou melhores resultados e foi recomendado por oferecer perspectivas de melhoria em estudos de regionalização em bacias hidrográficas de Indiana, EUA.

### **2.6.2. Métodos Não Hierárquicos**

Os métodos não hierárquicos, também chamados de método de partição, são métodos que têm como objetivo encontrar diretamente uma partição de  $n$  elementos em  $K$  grupos (quantidade de grupos definida previamente), de modo que a partição satisfaça dois requisitos básicos: “coesão” interna (ou “semelhança” interna) e isolamento (ou separação) dos grupos formados (MINGOTI, 2005).

Segundo BUSSAB *et. al.* (1990), nem todos os valores de  $k$  apresentam grupos satisfatórios, sendo assim, aplica-se o método várias vezes para diferentes valores de  $k$ , escolhendo os resultados que apresentem melhor interpretação dos grupos.

Diferentemente dos métodos hierárquicos, os procedimentos não-hierárquicos não envolvem o processo de construção em árvore (HAIR *et al.*, 2005).

As principais desvantagens dos métodos não hierárquicos estão no fato do número de agrupamento ter que ser escolhido a priori, o que poderá sugerir interpretações erradas sobre a estrutura dos dados caso o número de agrupamentos não seja o ideal e no fato de que o algoritmo é em geral sensível às condições iniciais, podendo gerar resultados diferentes a cada rodada (FUNG, 2001).

O algoritmo *k-means* é um dos mais antigos e mais utilizados entre os métodos não hierárquicos (FUNG, 2001). Inicialmente, é necessário que o pesquisador determine o número  $k$  de agrupamentos que pretende formar. Essa decisão é subjetiva e deve ser baseada em conhecimento teórico que possa sugerir um número natural de agrupamentos. Infelizmente, não existe qualquer procedimento de seleção padrão ou objetivo (HAIR *et al.*, 2005).

Inicialmente, são escolhidos arbitrariamente  $k$  elementos, os quais serão os centros iniciais (provisórios) dos grupos. A partir dessa escolha, os  $k$  primeiros elementos já foram designados. Cada um dos demais elementos amostrais será, então, colocado no grupo mais próximo, iterativamente, baseando-se na distância euclidiana (BUSSAB *et al.*, 1990). Assim, serão formados os  $k$  grupos iniciais, nos quais cada elemento possui menor distância em relação ao centro do grupo ao qual foi alocado. O algoritmo procura, dentro do possível, a partição em que os padrões de cada agrupamento estão mais próximos entre si e mais distante dos padrões dos outros agrupamentos.

Além das técnicas multivariadas de análise de agrupamentos hierárquicas e não-hierárquicas, outras técnicas podem ser empregadas para formação de agrupamentos como: algoritmos evolutivos, agrupamento difuso (*fuzzy c-means*), redes neurais, entre outras.

### **2.6.3. Método de Agrupamento *Fuzzy C-Means***

Os métodos de agrupamento multivariado possuem a capacidade de classificar uma série de dados de uma característica particular, considerando a influência de diversas outras características ou variáveis ao mesmo tempo. No entanto, nos métodos tradicionais os grupos formados possuem fronteiras rígidas ou bem definidas, desprezando a possibilidade de compartilhamento das informações entre os grupos na

região de fronteira. Para inserir estes aspectos de ambiguidade e compartilhamento de informações entre grupos, BEZDECK (1981) implementou um método de agrupamento difuso, o chamado método “*fuzzy c-means*”.

A teoria dos conjuntos difusos parte de uma generalização da teoria clássica dos conjuntos, substituindo a configuração binária por um intervalo de pertinência, de forma que um elemento passa a pertencer a um ou mais conjuntos com um determinado grau de pertinência no intervalo  $[0, 1]$ , de tal forma que a soma das pertinências a conjuntos adjacentes equivale a uma unidade.

O algoritmo *fuzzy c-means* foi proposto por DUNN (1973) e, mais tarde, generalizado por BEZDEK (1981). Cada dado é avaliado segundo sua proximidade dos centróides de cada agrupamento e quanto mais próximo de um agrupamento, maior o grau de pertinência do dado àquele agrupamento. Segundo NASCIMENTO *et al.* (2000), a proximidade entre um dado e os centróides pode ser medida por meio da distância euclidiana.

Para formalizar o algoritmo é necessário supor uma base de dados  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , na qual cada ponto  $x_k$  ( $k = 1, \dots, n$ ) é um vetor em  $\mathfrak{R}^p$ , onde  $n$  é o total de dados que compõem a base  $X$  e  $\mathfrak{R}^p$  representa um espaço  $p$ -dimensional dos números reais. Em termos práticos, se o conjunto de dados trabalhados utilizasse uma dimensão ( $p = 1$ ), então o conjunto dos reais seria  $\mathfrak{R}^1$ . Caso fosse um conjunto bidimensional ( $p = 2$ ), então o conjunto utilizado seria  $\mathfrak{R}^2$  e os dados seriam representados em um plano. Se este conceito for estendido para imagens então uma imagem 2D seria representada em  $\mathfrak{R}^2$  e uma imagem 3D em  $\mathfrak{R}^3$  (BLOCH, 2005).

Existe um conjunto  $U_{cn}$  que representa um grupo de matrizes reais  $c \times n$ , 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. Existe uma matriz  $U$  pertencente a  $U_{cn}$  que conterá os graus de pertinência para cada elemento em cada agrupamento. A matriz  $U$  é chamada de partição *fuzzy* para o domínio  $X$  e obedece a seguinte relação:

$$M_{fnc} = \left\{ U \in U_{cn} : u_{ik} \in [0,1], \sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, 0 < \sum_{k=1}^n u_{ik} < n \right\} \quad (2.28)$$

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

Deve-se observar que, de acordo com a equação (2.28), a soma de todos os graus de pertinência  $u_{ik}$  para um dado  $k$  será sempre 1. A soma de todos os graus de pertinência para um agrupamento  $c$  estará no intervalo estabelecido entre zero e  $n$ .

A restrição de  $c$  estar entre 1 e  $n$  é necessária porque se houver apenas um agrupamento ( $c = 1$ ) então toda a base de dados  $X$  pertencerá a esse grupo, mantendo o problema inalterado. Se  $c = n$ , cada dado da base de dados  $X$  compõe um agrupamento. É incoerente afirmar que um agrupamento é composto por somente um indivíduo.

O *fuzzy c-means* é também um algoritmo iterativo. A cada iteração, novos centróides e graus de pertinência são calculados, o que torna necessário uma medida para indicar quando o algoritmo está convergindo para um resultado ou está gerando resultados incoerentes. A tarefa de gerar um indicador que auxilie na verificação da convergência do *fuzzy c-means* é atribuída à função  $J_m$  chamada de função objetivo.

$$J_m(U, V; X) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (2.29)$$

A cada iteração  $t$  do algoritmo *fuzzy c-means* é calculado um valor  $J_m^{(t)}$  por meio de  $J_m$ . Subtraindo  $J_m^{(t)}$  de  $J_m^{(t-1)}$ , obtém-se  $\Delta J_m$ . Se  $\Delta J_m$  estiver próximo de zero, é um indicador que o *fuzzy c-means* está convergindo.

Na equação (2.29),  $V = (v_1, \dots, v_c)$ , é um vetor que contém os centróides dos agrupamentos, também chamados de protótipos (PEDRYCZ; VUKOVICH, 2004), onde todo  $v_i$  ( $i=1, \dots, c$ )  $\in \mathfrak{R}^p$  e  $m$  é um peso constante entre  $[1, \infty)$ .

Em (2.29) 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 assim um valor de referência, que deverá ser minimizado a cada iteração do algoritmo *fuzzy c-means*.

A função objetivo  $J_m$  depende do valor de  $m$  que obedece a seguinte restrição:  $1 < m < \infty$ .

Segundo HALL e MINS (1999), o índice de fuzificação ( $m$ ) 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  $1,25 \leq m \leq 2$ .

RAO e SRINIVAS (2006b) observam que, nas aplicações do algoritmo *fuzzy c-means*, é comum o uso indiscriminado de  $m = 2$ , como se pode constatar nos trabalhos de ÖZEKAN *et al.* (1998) e HALL e MINS (1999).

Outras duas variáveis do algoritmo *fuzzy c-means* são afetadas pelo valor de  $m$ : os centróides dos agrupamentos e os graus de pertinência. O cálculo dos centróides é efetuado segundo a equação (2.30) e os graus de pertinência por meio da equação (2.31).

$$v_i^{(t)} = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^{(t)})^m x_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^{(t)})^m} \quad (2.30)$$

$$u_{ik}^{(t+1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left( \frac{\|x_k - v_i^{(t)}\|^2}{\|x_k - v_j^{(t)}\|^2} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (2.31)$$

Na equação (3.30),  $v_i^{(t)}$  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 equação (2.31).

O denominador da equação (2.31) é composto pela somatória de uma razão elevada à potência  $\frac{2}{m-1}$ . O numerador dessa razão é o quadrado da distância euclidiana entre o dado  $x_k$  e o centróide do agrupamento  $i$  na iteração  $t$  ( $v_i^{(t)}$ ) e o denominador é o quadrado da distância euclidiana entre o dado  $x_k$  e o centróide do agrupamento  $j$  na iteração  $t$  ( $v_j^{(t)}$ ), com  $j$  variando de 1 até  $c$ .

O algoritmo a seguir tem por objetivo descrever as etapas do funcionamento do *fuzzy c-means* (NASCIMENTO *et al.*, 2000):

Figura 2.5 – Algoritmo do método *fuzzy c-means*.

**Algoritmo do método *fuzzy c-means***

- Escolher um valor para  $c$  (número de grupos),  $m$  (índice de fuzzificação) e  $\varepsilon$  (erro);
- Gerar aleatoriamente a matriz  $U^{(0)}$  obedecendo às restrições impostas ( $1 < m < \infty$ );
- Atribuir ao contador de iterações o valor 0;
- Calcular os centróides segundo a equação (2.30);
- Calcular a função objetivo  $J_m$  por meio da equação (2.29);
- Calcular os graus de pertinência segundo a equação (2.31);
- Calcular  $\delta$  (tolerância);
- Incrementar o contador de iterações  $t$ ;
- Se *condição de parada* = *falso* então repetir os passos anteriores, senão, finalizar o algoritmo.

Como o algoritmo *fuzzy c-means* é um algoritmo iterativo, faz-se necessário estabelecer uma condição de término para a iteração. Segundo NASCIMENTO *et al.* (2000) a condição de parada pode ser atingida quando um número máximo de iterações ( $t_{max}$ ) for alcançada ou quando a tolerância ( $\delta$ ) for menor ou igual ao erro ( $\varepsilon$ ) estipulado, sendo  $\delta = |U^{(t+1)} - U^{(t)}|$ .

Após o processamento dos dados pelo *fuzzy c-means* é necessário processar a matriz  $U$  resultante de forma a decidir a qual agrupamento cada dado pertence. Para esse estudo foi utilizado o método de decisão pelo maior grau de pertinência.

O método de decisão pelo maior grau de pertinência define que, para um dado  $x_k$ , o maior grau de pertinência  $u_{ik}$  determina a qual agrupamento  $x_k$  pertencerá. Isso garante que todos os dados pertencerão a um agrupamento, permitindo assim que dados confusos sejam incluídos em um agrupamento.

Esta característica peculiar, de atribuir graus de pertinência dos pontos a cada grupo, permite considerar ambiguidade e sobreposição dos grupos formados, aproveitando-se mais eficientemente as informações disponíveis. Por conta deste fator, o método vem sendo utilizado na determinação de regiões homogêneas para estudo de vazões e de precipitações.

NOURANI e KOMASI (2013) utilizaram um modelo chamado IGANFIS (*Integrated Geomorphological Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) para modelagem chuva-vazão em várias estações da bacia do Rio Enguia, Califórnia. Com o propósito de melhorar a eficiência do modelo, os dados de entrada foram classificados em aglomerados (grupos homogêneos) por meio do método *fuzzy c-means*.

Em um estudo de classificação de series de precipitação de 188 estações pluviométricas instaladas na Turquia, DIKBAS *et al.* (2012) aplicaram o método de agrupamento *fuzzy c-means* a uma série de dados de chuvas, e identificaram que seis regiões hidrologicamente homogêneas seria a quantidade ideal de grupos, com base nas variáveis precipitação anual total, coeficiente de variação da precipitação anual total, latitude e longitude.

SAHIN e CIGIZOGLU (2012) aplicaram os métodos de análise de agrupamento, incluindo o método de *Ward* e uma combinação dos métodos de redes neurais e *fuzzy c-means*, na identificação de sub-regiões homogêneas de clima e sub-regiões homogêneas de precipitação na Turquia. Com um desempenho de 95,33%, o método neuro-*fuzzy* mostrou-se aplicável a problemas de análise de agrupamento.

SADRI e BURN (2011) utilizaram o procedimento *Fuzzy C-Means* (FCM) na delimitação de regiões homogêneas nas províncias canadenses de Alberta, Saskatchewan e Manitoba. A metodologia foi aplicada aos registros hidrológicos de 36 locais de monitoramento de vazão, com base em critério bivariado (gravidade e duração). Os autores comprovaram a importância desta metodologia no auxílio à delimitação de regiões homogêneas.

SATYANARAYANA e SRINIVAS (2011) empregaram um estudo de regionalização de precipitação em áreas esparsas de dados, usando variáveis atmosféricas de larga escala, atributos de localização e sazonalidade de chuvas. Apresentaram uma abordagem baseada na análise de agrupamento *fuzzy c-means* em que foi possível identificar regiões homogêneas de chuva.

SRINIVAS *et al.* (2008) propuseram uma abordagem de análise de agrupamento, dividida em duas etapas, com o objetivo de formar regiões homogêneas para a regionalização de análise de frequência de cheias em Indiana, EUA. Na primeira etapa, o método SOFM (*Self-Organizing Feature Map*) foi usado para gerar um mapa de características bidimensionais. Na segunda etapa, os dados de saídas do SOFM foram agrupados por meio do método difuso *fuzzy c-means*. Os autores constataram que a formação de regiões hidrologicamente homogêneas, por meio de técnicas de

agrupamento, melhorou o desempenho da regionalização na estimativa de quantis de cheias.

RAO e SRINIVAS (2006b) realizaram uso do algoritmo de agrupamento difuso *fuzzy c-means* na obtenção de regiões estatisticamente homogêneas para análise de frequência regional de vazão. Os autores em questão usaram o teste de homogeneidade e a medida de discordância para validar os resultados obtidos pelo algoritmo classificatório para bacias hidrográficas de Indiana, EUA.

No presente estudo, um dos objetivos é a aplicação e comparação dos métodos de análise de agrupamento (método hierárquico de *Ward* e o método *fuzzy c-means*), a fim de identificar regiões homogêneas de vazões para toda a região da Amazônia Legal. Alguns estudos foram desenvolvidos na região da Amazônia, em que foram aplicados métodos de análise de agrupamento, e são apresentados oportunamente.

GOMES *et al.* (2013) aplicaram a técnica de análise de agrupamento hierárquico *Ward* para classificar estações fluviométricas em grupos homogêneos, utilizando variáveis explicativas de vazão. Por meio do método, foi possível definir quatro regiões consideradas hidrologicamente homogêneas de vazão no Estado do Pará.

CALDAS e GUERRA (2010), com o objetivo de discriminar objetos do tipo savanas na região de Santarém – PA, utilizaram uma metodologia de classificação não supervisionada, que utiliza o algoritmo *fuzzy c-means*, para seleção automática de intervalos de classes, aliado a um sistema *fuzzy* de classificação. Segundo os autores, este sistema pode ser utilizado para discriminar outros objetos, tais como lagos, florestas e zonas urbanas, podendo também ser útil no estudo de mudanças na cobertura vegetal devido à ocupação humana, desmatamentos, dentre outras.

ALBERNAZ *et al.* (2012) utilizaram mudanças de composição em espécies de árvores ao longo da várzea do Rio Amazonas para identificar e caracterizar regiões biogeográficas similares por meio da análise de agrupamento hierárquica. Os autores identificaram 3 principais regiões biogeográficas: a região ocidental entre Tabatinga e a confluência do Rio Negro; uma região central da confluência do Rio Negro à confluência do Xingu; e uma região estuarina da confluência do Xingu à Santana no Amapá.

A análise da bibliografia sobre métodos de agrupamento revela que tanto o método de *Ward*, quanto o método *fuzzy c-means* são formadores atuais do estado da arte para a determinação de regiões homogêneas de vazão, objetivando, inclusive, a

regionalização de curvas de permanência. Assim, acredita-se que o presente trabalho contribuirá para as metodologias de regionalização de curvas de permanência.



Com esse dispositivo, a Amazônia Brasileira passou a ser chamada de Amazônia Legal, fruto de um conceito político e não de um imperativo geográfico. A definição não levou em consideração se as áreas pertenciam à bacia hidrográfica ou se seus ecossistemas seriam de floresta úmida tropical ou qualquer outro critério semelhante. O Governo Federal entendeu, naquela ocasião, que essa nova divisão seria importante para a promoção do desenvolvimento da região.

A região da Amazônia Legal ocupa uma superfície pouco maior que 5,0 milhões de km<sup>2</sup>, correspondente a cerca de 60% do território brasileiro, sendo 4,0 milhões de km<sup>2</sup> de área de floresta (FEARNSIDE, 2001). A região abrange, em sua totalidade, nove estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia, Tocantins e parte do Estado do Maranhão - a oeste do meridiano 44°). Sua população, entretanto, corresponde a 12,32% do total de habitantes do Brasil (IBGE, 2010).

### **3.2.1. Hidrografia**

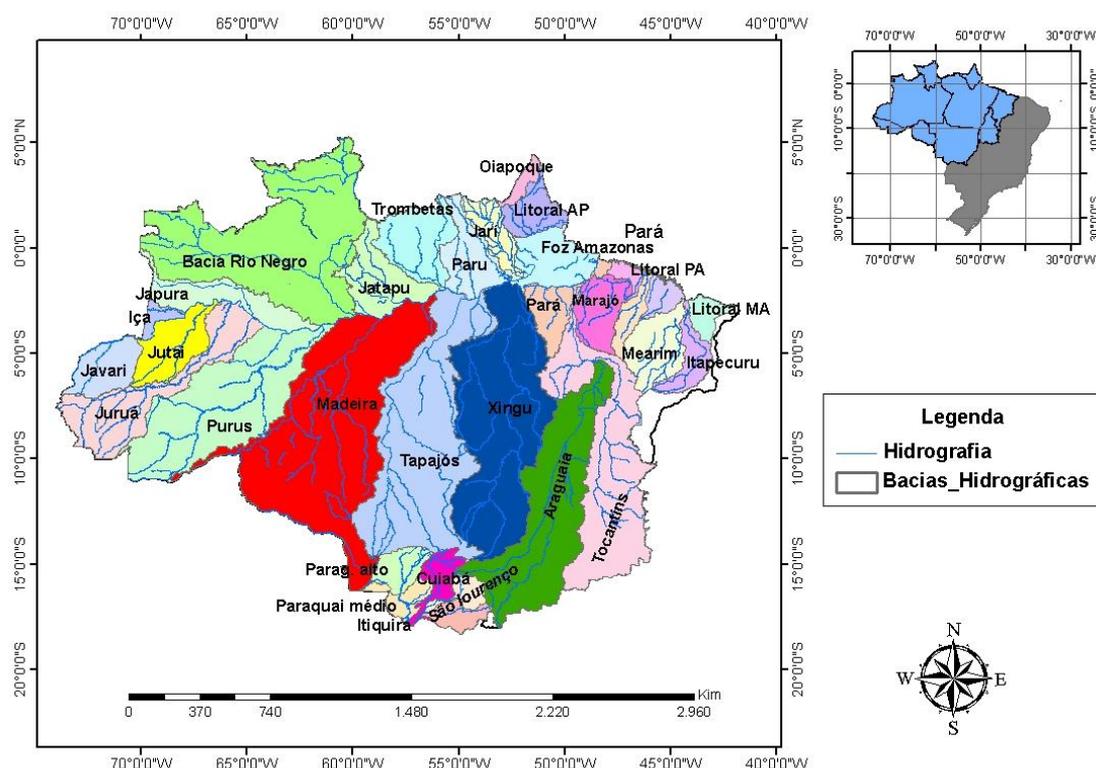
O regime fluvial dos rios amazônicos apresenta como regra comum uma interminável sequência estiagem / enchente / cheia / vazante, com uma significativa amplitude entre suas vazões máximas e mínimas determinada pela climatologia da abundante precipitação, uma característica típica da região.

Os rios das bacias que compõem a Amazônia Legal possuem como característica o regime pluvial, ou seja, têm o comportamento dos seus níveis associado à precipitação. A única exceção é o rio Amazonas, que possui regime misto (pluvial e nival), recebendo uma pequena contribuição proveniente do derretimento parcial das neves andinas. Por conta disso, os rios amazônicos inundam sazonalmente extensas áreas junto às suas margens, dando origem às matas de igapó, como são conhecidas as extensões de floresta que ficam inundadas entre 5 e 7 meses por ano. Tal como os demais rios brasileiros, são exorréicos (deságuam no oceano Atlântico), perenes (nunca secam) e distribuem-se entre rios de planície e de planalto.

Na Figura 3.2 é possível visualizar os limites das principais bacias pertencentes à Amazônia Legal. A bacia do rio Amazonas destaca-se por ser o maior rio do mundo em volume de água e extensão, com 6.400 km. Destes, cerca de 3.220 km estão dentro do Brasil. Nasce nas cordilheiras dos Andes, no Peru, e recebe o nome de Solimões, na fronteira do Brasil, no município de Tabatinga – AM, onde segue seu curso até

encontrar o Rio Negro, próximo a cidade de Manaus, onde recebe o nome de Rio Amazonas. Assim, o Rio Amazonas atravessa os estados do Amazonas e do Pará até sua foz no oceano Atlântico, na costa brasileira, sua descarga média total na foz é estimada em 209.000 m<sup>3</sup>/s (MARINHO; MELO, 2009).

Figura 3.2 - Principais bacias da Amazônia Legal.



Fonte: AUTOR (2014)

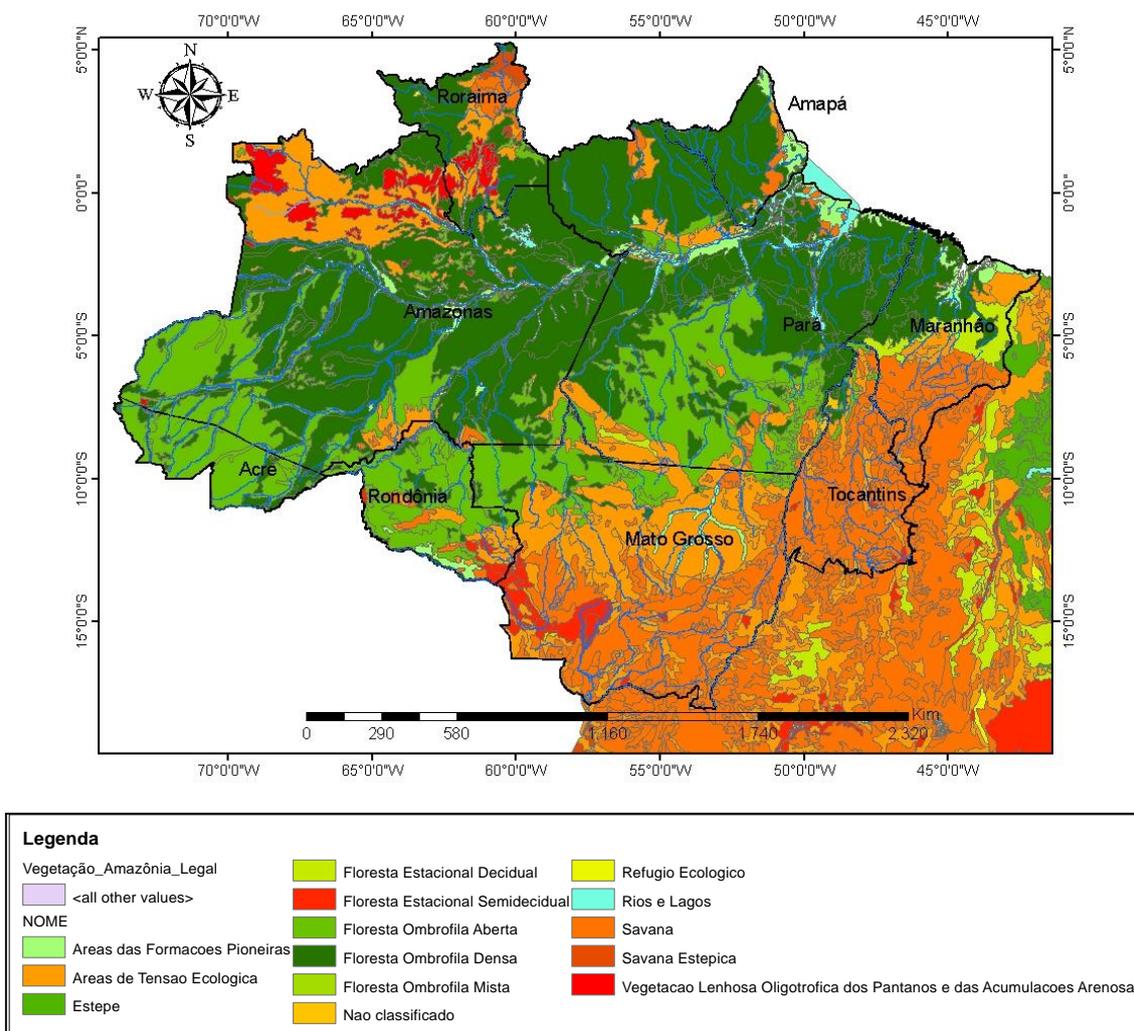
Na região da Amazônia Legal estão ainda as maiores bacias hidrográficas contíguas, como as dos Rios Xingu, Tapajós, Madeira, Purus, Javari, Iça, Negro, Trombetas e Jari, todos afluentes do Rio Amazonas e a dos rios Tocantins e Araguaia.

### 3.2.2. Vegetação e clima

Dadas as suas dimensões continentais, apresenta uma grande diversidade de ecossistemas, traduzidos por diferentes condições de vegetação, clima e solos. Analisando a Figura 3.3, que apresenta o mapa da distribuição espacial da vegetação na região da Amazônia Legal, observa-se que as porções sul da Amazônia Legal e o nordeste de Roraima são cobertos, principalmente, por vegetação savânica. Nessa faixa

de vegetação savânica ao sul da Amazônia Legal, localiza-se o chamado “coração da Amazônia”, cuja vegetação é de floresta ombrófila densa (altas temperaturas, alto índice de precipitação, bem distribuído durante o ano; as folhas das árvores são geralmente largas e estão sempre verdes) e se estende por uma longa faixa de floresta ombrófila aberta (maior espaçamento entre as árvores e um período de mais de 60 dias sem chuvas por ano). Ela representa a transição entre os biomas Cerrado e Amazônia. Principalmente as porções de Cerrado, mas também partes da floresta ombrófila aberta, abrigam a quase totalidade da atividade agropecuária da região.

Figura 3.3 –Mapa da distribuição espacial da vegetação da Amazônia Legal.



Fonte: IBGE (2015)

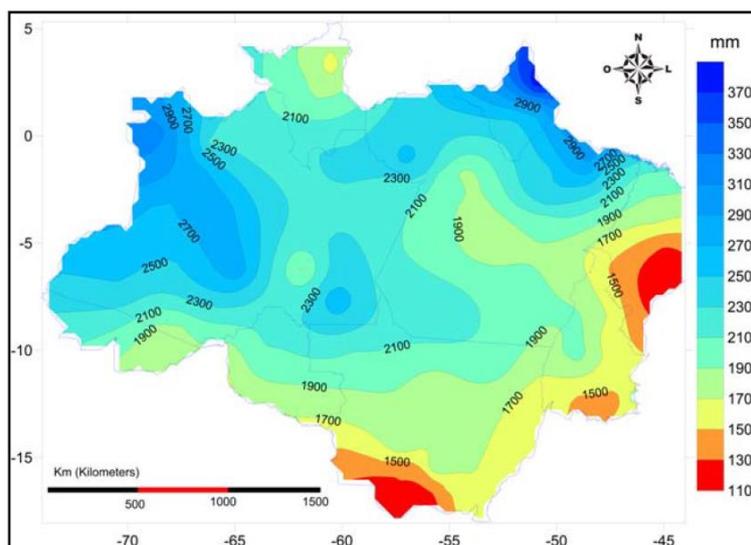
De acordo com a classificação climática de WLADIMIR KÖPPEN (1948), o trópico úmido brasileiro está submetido ao grupo de clima chuvoso A (clima tropical),

englobando os tipos climáticos Af (clima úmido, ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e inexistência de estação seca definida), Am (clima de monção e precipitação total anual média superior a 1.500 mm) e Aw (chuvas de verão). A estação seca bem definida abrange 52% da área, mas 20% da região Amazônica apresenta clima tropical chuvoso sem estação seca definida, enquanto o restante da área (28%) tem clima tropical chuvoso com período seco de até 90 dias (EMBRAPA, 2011).

As chuvas, principalmente nas áreas abrangidas pelos climas Am e Aw, distribuem-se em duas épocas distintas. Salvo poucas variações, o período chuvoso tem início em novembro/dezembro e se prolonga até maio-junho, enquanto o período de menor precipitação ocorre durante os demais meses do ano. Os índices pluviométricos situam-se na faixa de 1.300 a 3.500 mm, havendo, em geral, um superávit hídrico de janeiro a junho, e um déficit hídrico entre agosto e dezembro (EMBRAPA, 2011).

ISHIHARA *et. al.* (2014) realizaram uma avaliação quantitativa e espacial da precipitação ocorrida na Amazônia Legal nos últimos 30 anos (1978 a 2007). O trabalho apresentou por meio de mapa de isoietas (Figura 3.4) o comportamento da precipitação na região. Os autores concluíram que em termos de precipitação na Amazônia Legal, ao longo do período de 30 anos houve uma tendência para a diminuição das chuvas nos quadrantes sudoeste da região onde o arco do desmatamento é encontrado, enquanto que nos quadrantes do norte houve um ligeiro aumento que não foi significativo.

Figura 3.4 – Mapa de isoietas da precipitação anual média para a Amazônia Legal.



Fonte: ISHIHARA *et. al.*(2013)

### 3.2.3. Solos

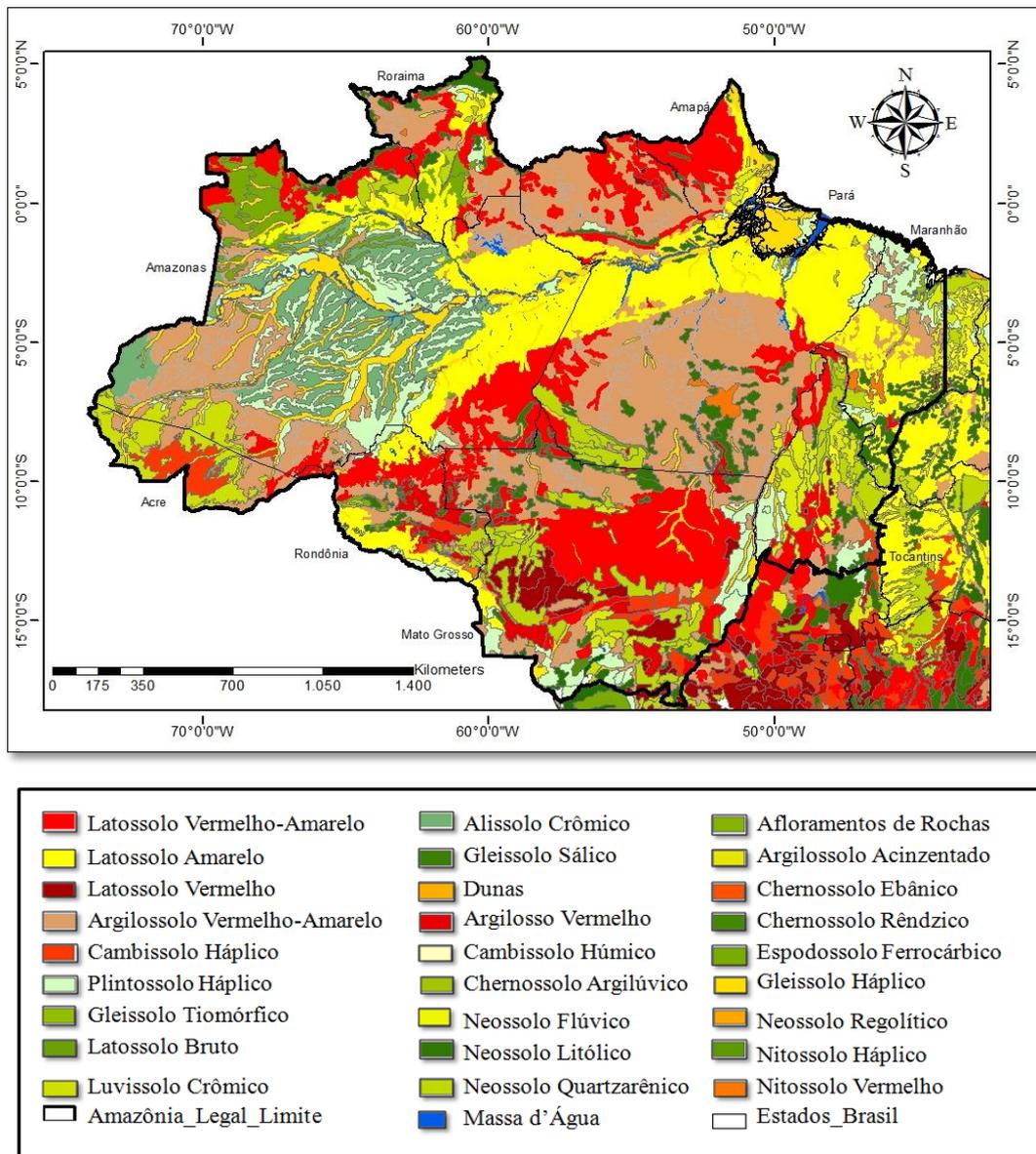
De acordo com CAMARGOS (2005), a formação dos solos está diretamente relacionada a uma série de fatores, quais sejam, clima, biota, material parental, topografia e tempo. A energia dos agentes formadores do solo sobre o material primitivo dá-se com maior ou menor intensidade em um curto ou longo espaço de tempo. Todos os solos têm sua origem na intemperização das rochas superficiais ou localizadas a pequenas profundidades. Sua natureza está intimamente relacionada, além do clima e da topografia, à influência da rocha matriz. As características das rochas que mais influenciam na formação dos solos são a composição mineralógica, a resistência mecânica e a textura.

Observando a Figura 3.5, percebe-se que ocorre a predominância de duas classes de solo nas bacias da Amazônia Legal:

- Os Latossolos - são bem drenados, profundos, porosos e permeáveis, com coloração que varia do amarelo ao vermelho escuro. Ocorrem em áreas de topografia suave e de relevo mais acidentado. São geralmente acidificados e considerados como sendo os solos cujos materiais são os mais decompostos, salvo algumas exceções. São formados em ambiente com intensa umidade e calor, daí serem encontrados nas regiões de clima úmido. Os Latossolos são diferenciados pela cor, que lhes é atribuída pelo teor de óxido de ferro.
- Os Argilossolos- são solos medianamente profundos, moderadamente drenados, com horizonte B textural (diagnóstico que caracteriza a classe de solo), de cores vermelhas a amarelas e textura argilosa, com baixos teores de matéria orgânica. São muito propícios à erosão não só pelo conteúdo de argila, que dificulta a penetração de água no perfil do solo, mas também por ocorrer em área de relevo acidentado.

Geologicamente, toda a extensão do rio Amazonas, que passa pelo estado do Pará e por uma parte significativa do estado do Amazonas, considerando as bacias do rio Negro e do rio Madeira, é formada por Latossolo Amarelo (Figura 3.5). Esse tipo de solo tem como características baixos teores de  $Fe_2O_3$ , cor amarela e é tipicamente caulínico e goethítico, apresentando torrões com grande coerência e que não se desmancham como pó de café. É quase sempre álico (elevada saturação por alumínio).

Figura 3.5 - Mapa de tipos de solo da região da Amazônia Legal.



Fonte: IBGE (2015)

Os Latossolos Vermelho – Amarelos são geralmente álicos ou distróficos, mas podem ser eutróficos em regiões mais secas. Este tipo de solo é predominante em grande parte do estado do Mato Grosso, nos trechos dos rios Xingu e Teles Pires, e nos estados do Amapá e Rondônia.

Numa grande área do estado Pará, mais precisamente nas bacias dos rios Xingu, Iriri, Curuá, Trombetas e Paru do Este, e do estado do Amazonas (bacia do rio Juruá), predomina o Argilossolo Vermelho – Amarelo. Este tipo de solo é predominante em regiões florestais de clima úmido, com perfis bem desenvolvidos, profundidade mediana (1,5 e 2 m), mostrando claramente a acumulação de argila.

Nas bacias dos rios Purus, Japura e Içá, no estado do Amazonas, há predominância de dois tipos de solo: o Plintossolo Háplico e o Alissolo Crômico.

No estado do Maranhão, há a formação de três tipos de solo: o Plintossolo Háplico, o Neossolo Quartzarênico e o Latossolo Amarelo.

### 3.3. DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO

#### 3.3.1. Estações fluviométricas e pluviométricas

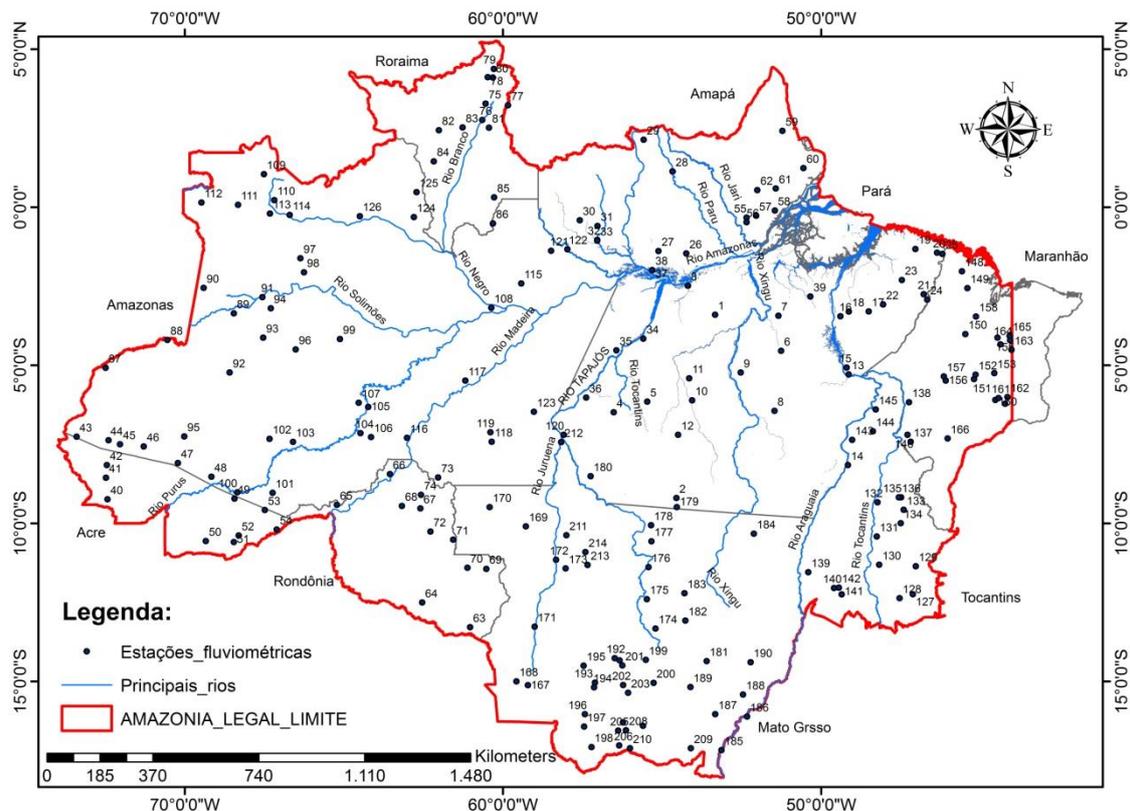
Os dados fluviométricos e pluviométricos são indispensáveis para os estudos de aproveitamento hidroenergético, planejamento de uso dos recursos hídricos, gerenciamento de bacias hidrográficas, abastecimento público e outros estudos de importância científica e socioeconômica.

É essencial para a regionalização de curvas de permanência de vazões a qualidade dos dados. Se eles não possuem qualidade ou não forem identificados e sanados seus erros, a própria regionalização será tendenciosa, com resultados inadequados (TUCCI, 2009). Quanto ao período e ao tamanho das observações, sugere-se utilizar séries históricas de vazão as mais longas possíveis. O ideal é utilizar dados com o mesmo período-base, mas isso nem sempre é possível. Por essa razão, foram utilizados todos os dados de vazão disponíveis nos postos, não levando em consideração se os mesmos eram ou não contemporâneos.

No presente estudo, foram analisados os dados atuais consistidos de 214 estações fluviométricas (APÊNDICE I) e de 214 estações pluviométricas (APÊNDICE II), ambos pertencentes à rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) da Agência Nacional das Águas - ANA. Os dados obtidos foram todos armazenados em formato Access por meio do software HIDRO versão 1.09.

Nas Figuras 3.6 e 3.7 são apresentados, respectivamente, a distribuição espacial das estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas no estudo, associadas a um número de identificação (ID) presente no APÊNDICE I, que contém também o código da estação, o nome da estação, localização de cada posto e sub-bacia a qual pertence.

Figura 3.6 – Distribuição espacial das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

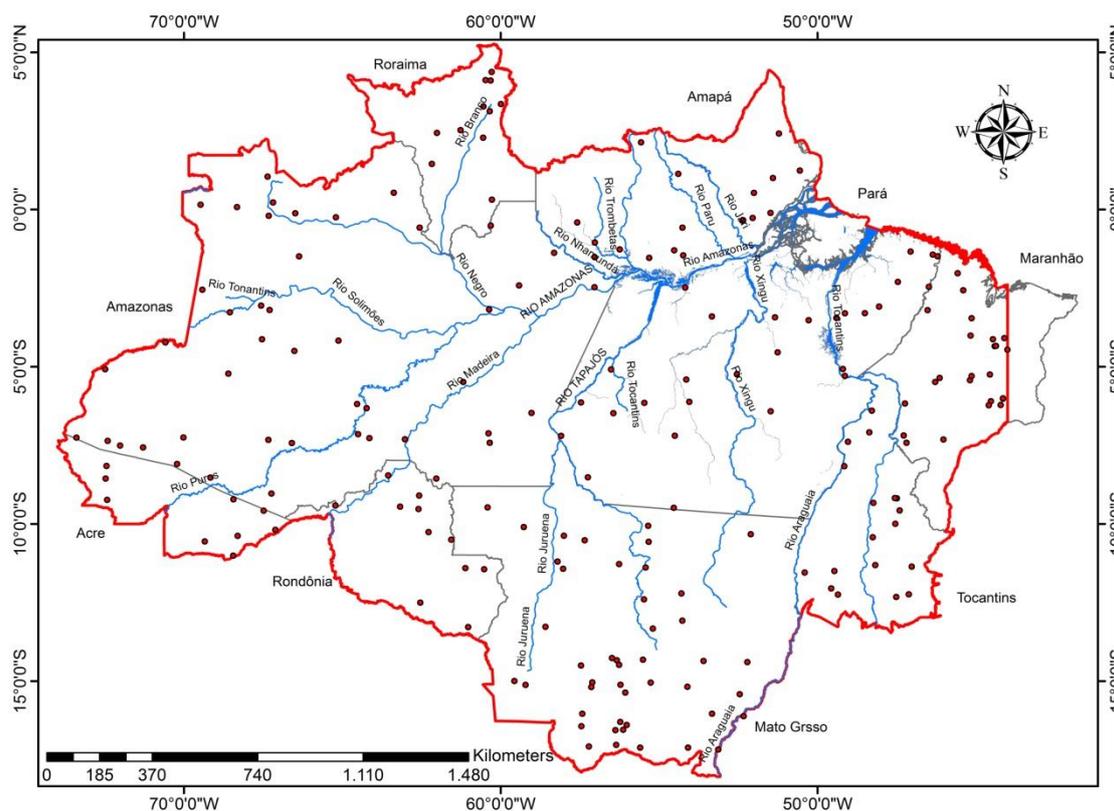


Fonte: AUTOR (2015)

As estações fluviométricas foram selecionadas, considerando aquelas com 10 anos ou mais de registros de vazões. Adotaram-se as vazões diárias de cada estação fluviométrica e a cada estação foi atribuído um valor de precipitação anual média, correspondente a uma estação pluviométrica, levando-se em consideração a posição geográfica (latitude e longitude). Ou seja, para cada estação fluviométrica escolheu-se uma estação pluviométrica mais próximo possível, com a finalidade de obter a precipitação anual média (método da média aritmética).

Além dos dados de precipitações anuais médias (P), também foram usadas características fisiográficas, tais como: área de drenagem (A), desnível (H) e comprimento (L) dos rios, estas características são apresentadas no APÊNDICE I.

Figura 3.7 – Distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas no estudo.



Fonte: AUTOR (2015)

As áreas de drenagem, correspondentes às estações pluviométricas, foram obtidas na rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas ([HTTP://hidroweb.ana.gov.br/](http://hidroweb.ana.gov.br/)); já as informações do comprimento e desnível dos rios, por meio de softwares do tipo SIG.

#### 3.4. MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS

Em Hidrologia a análise de agrupamento é uma técnica frequentemente utilizada para classificar objetos ou casos (ex: regime de vazões), baseada em suas características explicativas, em grupos homogêneos chamados de agrupamentos ou conglomerados. Assim, os objetos em cada agrupamento tendem a ser semelhantes entre si, mas diferentes de objetos em outros agrupamentos (MALHOTRA, 2006). O processo de agrupamento, em suma, baseia-se em duas etapas: estimar uma medida de similaridade entre os indivíduos a serem agrupados e adotar uma técnica de agrupamento para a formação de grupos.

Na primeira etapa, para determinação de regiões hidrologicamente homogêneas, foram usadas como variáveis explicativas da vazão (APÊNDICE I): a área de drenagem, a precipitação anual média, o comprimento e o desnível do rio, simbolizados, respectivamente, por  $A$  ( $\text{km}^2$ ),  $P$  (mm),  $L$  (km) e  $H$  (m). Tendo em vista que o estudo de análise de agrupamentos permite extrair informações a respeito da independência entre as variáveis que caracterizam cada elemento (ex: estações fluviométricas), esta não deverá existir dependência entre as variáveis.

Para avaliar a similaridade entre as estações fluviométricas a serem agrupadas, organizou-se uma matriz de dados  $X_{(n \times p)}$ , cujas linhas correspondem a “ $n$ ” unidades (estações), fornecendo “ $p$ ” características (variáveis explicativas) cada. Os dados da matriz foram padronizados conforme equações (2.22), (2.23) e (2.24).

Na presente tese, propõem-se duas metodologias de análise de agrupamento (segunda etapa), o método hierárquico de *Ward* e o método difuso *fuzzy c-means*, para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas de vazão na região da Amazônia Legal. O objetivo é comparar os resultados obtidos pelos dois métodos, a fim de apontar a metodologia mais adequada para ser usada como ferramenta de auxílio na regionalização de curvas de permanência de vazões.

Na Figura 3.8 é apresentado o fluxograma dos métodos de análise de agrupamento utilizados no desenvolvimento desta Tese.

Figura 3.8 – Fluxograma das metodologias de análise de agrupamento.



### 3.5. MÉTODO TRADICIONAL DE REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

Após proceder à identificação das regiões hidrologicamente homogêneas, realizou-se os cálculos necessários para a regionalização das curvas de permanência de vazões para cada região homogênea definida.

#### 3.5.1. Construção das curvas de permanência de vazões

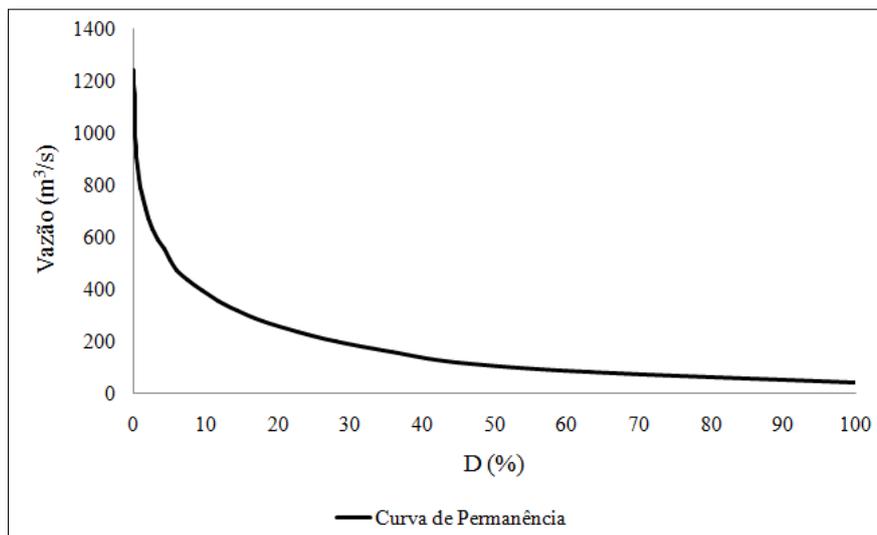
Na construção das curvas de permanência de vazões foram utilizados dados de séries históricas de vazões diárias de cada estação fluviométrica, presente no APÊNDICE I. As curvas de permanência são ferramentas úteis para análises hidrológicas diversas (CASTELLARIN *et al.*, 2004; IACOBELLIS, 2008; BLANCO *et al.*, 2013).

A fim de construir curvas de permanência de vazões, alguns autores (VIOLA *et al.*, 2011; GANORA *et al.*, 2009; CASTELLARIN *et al.*, 2007) recomendam o uso de um procedimento não paramétrico que consiste em duas etapas: (a) as vazões observadas  $q_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , são classificadas em ordem decrescente para produzir um conjunto de vazões  $q_{(i)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , onde  $N$  é o comprimento da amostra, e  $q_{(1)}$  e  $q_{(N)}$  são os maiores e os menores eventos de vazões observadas, respectivamente; (b) cada observação ordenada  $q_{(i)}$  é então traçada em função da sua correspondente duração  $D_i$ , que é geralmente adimensional e coincide com uma estimativa,  $p_i$ , da probabilidade de excedência de  $q_{(i)}$ . Na estimativa de  $p_i$  é usado a *Weibull plotting position* (WPP) conforme equação (3.13).

$$p_i = P(Q > q_{(i)}) = \frac{i}{N + 1} \quad (3.1)$$

Na Figura 3.9 é apresentada uma curva de permanência típica, obtida a partir dos registros de vazões da estação fluviométrica Arapari (cód. ANA\_18200000), estação localizada na bacia hidrográfica da Calha Norte no estado do Pará.

Figura 3.9 – Curva de permanência de vazões diária da Estação Arapari – Cód. ANA 18200000 (01/jun/72 – 01/dez/05)



Fonte: AUTOR (2015)

### 3.5.2. Calibração das curvas de permanência de vazões

Após traçar todas as curvas de permanência de vazões das 214 estações fluviométricas, foi ajustada uma função matemática. Foram testados 6 modelos matemáticos (Eqs. 3.2 – 3.7). As funções são as seguintes:

$$\text{Modelo linear} \quad Q = a - b.D \quad (3.2)$$

$$\text{Modelo de potência} \quad Q = a.D^{-b} \quad (3.3)$$

$$\text{Modelo exponencial} \quad Q = a.e^{(-b.D)} \quad (3.4)$$

$$\text{Modelo logarítmico} \quad Q = a - b.\ln.D \quad (3.5)$$

$$\text{Modelo quadrático} \quad Q = a - b.D + c.D^2 \quad (3.6)$$

$$\text{Modelo cúbico} \quad Q = a - b.D + c.D^2 - d.D^3 \quad (3.7)$$

onde  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) é a vazão observada;  $D$  (%) é a frequência igualada ou excedida e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são os parâmetros positivos da curva de permanência.

Os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  foram calculados por intermédio do método dos mínimos quadrados, mas determinados automaticamente por planilha eletrônica. Nesse caso, a vazão  $Q$  é a variável dependente e a permanência  $D$  é a variável independente.

### 3.5.3. Critérios de desempenho dos modelos calibrados

Para analisar a qualidade e o desempenho no ajuste dos modelos matemáticos aos dados das curvas de permanência de vazões, existem avaliações objetivas que podem ser utilizadas. Dentre estas avaliações, os critérios adotados na calibração foram: o erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ), o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{a}$ ) e o melhor ajuste entre as curvas de permanência de vazões observadas e simuladas.

O erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) prioriza o ajuste dos valores relativos, retirando o peso de vazões maiores ou menores. Pode ser calculado, utilizando a equação (3.8).

$$\epsilon = N^{-1} \left[ \sum_{i=1}^N \left( \frac{Q_i - \hat{Q}_i}{Q_i} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

na qual  $Q_i$  é a vazão observada ( $m^3/s$ ),  $\hat{Q}_i$  é a vazão estimada pelo modelo ( $m^3/s$ ) e  $N$  corresponde ao número total de vazões observadas.

O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{a}$ ) também foi utilizado na avaliação da calibração dos modelos. É calculado considerando o número de variáveis independentes da equação de regressão (GANORA *et. al.*, 2009).

$$R^2_{ajustado} = 1 - \frac{n-1}{n-p-1} (1 - R^2) \quad (3.9)$$

onde  $n$  é o número de valores observados,  $p$  é o número de variáveis independentes e  $R^2$  é o coeficiente de determinação múltipla (Eq. (2.9)).

## 3.6. MODELOS DE REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

A etapa seguinte da metodologia trata da construção de modelos regionais de curvas de permanência de vazões para locais desprovidos de dados fluviométricos. Para

tanto, são desenvolvidas equações que relacionam estatisticamente os parâmetros das curvas de permanência, definidos na etapa de calibração, a características físico-climáticas das bacias, por meio da técnica de regressão múltipla.

### 3.6.1. Construção dos modelos de regionalização

Os modelos de regionalização foram construídos por meio de regressão múltipla entre os parâmetros ( $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ ) das curvas de permanência de vazões, definidos na etapa de calibração pelo melhor ajuste da função matemática às curvas, em relação às características morfoclimáticas das bacias calibradas, já que, fisicamente, tais parâmetros explicam a variação espacial das vazões. Foram consideradas como características morfoclimáticas: a área de drenagem, o comprimento e o desnível do rio e a precipitação anual média, simbolizados respectivamente por  $\mathbf{A}$  ( $\text{Km}^2$ ),  $\mathbf{L}$  ( $\text{Km}$ ),  $\mathbf{H}$  ( $\text{m}$ ) e  $\mathbf{P}$  ( $\text{mm}$ ).

Como a regressão procura inferir a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, pode-se dizer então que os parâmetros representam a variável dependente em função das variáveis explicativas (que são as características morfoclimáticas), conforme equação:

$$V = f(A, P, L, H) \quad (3.10)$$

A regressão múltipla, entre os parâmetros e as variáveis explicativas, foi aplicada por meio das seguintes equações de regressão:

$$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot L + \beta_4 \cdot H \quad (3.11)$$

$$V = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot L^{\beta_3} \cdot H^{\beta_4} \quad (3.12)$$

$$V = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot \left(\frac{H}{L}\right)^{\beta_3} \quad (3.13)$$

$$V = \beta_0 \cdot P^{\beta_1} \cdot \left(\frac{A}{L}\right)^{\beta_2} \cdot H^{\beta_3} \quad (3.14)$$

na qual  $V$  é a variável dependente que representa os parâmetros das curvas de permanência de vazões, e  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$  são os coeficientes de regressão. Os valores de  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$  foram determinados pelo método dos mínimos quadrados.

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi necessário avaliar qual o melhor modelo a ser utilizado para cada região hidrologicamente homogênea. Para cada equação de regressão obtida, foi calculado o coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ), dado pela equação (2.9), e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ), pela equação (3.9). Na sequência, foi procedida a análise do teste  $F_{total}$ .

### 3.7.2. Teste de significância da equação de regressão múltipla (teste do $F_{total}$ )

Além dos coeficientes  $R^2$  e  $R^2_{ajustado}$ , de acordo com NAGHETTINI e PINTO (2007), é necessário verificar a existência de uma relação significativa entre a variável dependente e as variáveis independentes ou explicativas. Tal relação pode ser avaliada pelo ‘teste  $F_{total}$ ’, o qual é utilizado para avaliar a razão entre a variância decorrente da regressão e a variância dos resíduos, com um valor crítico obtido por meio da distribuição  $F$  de Snedecor (ANEXO I). O  $F_{total}$  pode ser calculado utilizando a seguinte equação:

$$F_{total} = \frac{QMReg}{QMRes} = \frac{\frac{[\hat{\beta}]^T X^T [Y] - n\bar{Y}^2}{P}}{\frac{[Y]^T [Y] - [\hat{\beta}]^T [X]^T [Y]}{n-P-1}} \quad (3.15)$$

Na presente tese considerou-se  $\alpha=0,05$ . Ou seja, quando o valor calculado de  $F_{total} > F(\alpha, P, n - P - 1)$  para uma significância de 5%, o modelo será considerado estatisticamente significativo. Após a construção dos modelos de regionalização, realizou-se uma verificação do desempenho dos modelos.

## 3.7. VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE REGIONALIZAÇÃO

### 3.7.1. Método *Jack-Knife cross validation*

O procedimento utilizado para a validação dos modelos de regionalização na estimativa de curvas de permanência de vazões foi o método *Jack-Knife cross validation* (CASTELLARIN *et al.*, 2004, 2007; CASTIGLIONI *et al.*, 2009; RIANNA *et al.*, 2011; TSAKIRIS *et al.*, 2011). O método consiste em uma repetida análise espacial dos resultados, excluindo-se uma das estações fluviométricas da regressão com

a finalidade de validar o modelo por meio de sua utilização. Esse procedimento deve ser feito para todas as estações utilizadas na regionalização, visando verificar se os erros contidos no modelo são aceitáveis.

SHU e OUARDA (2012) utilizaram um procedimento resumido por CASTELLARIN *et al.* (2007) para avaliar o desempenho do método de estimativas de vazões diárias aplicadas à rede de estações fluviométricas de Quebec, Canadá, e nesta tese, o procedimento foi adaptado para as seguintes etapas:

- (1) localizar  $N$  estações fluviométricas utilizadas no estudo, dentro de suas respectivas regiões homogêneas, com as características morfoclimáticas e os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  obtidos na calibração;
- (2) uma dessas estações, indexada por “ $s$ ”, é retirada do conjunto;
- (3) definir o modelo regional por meio de regressão múltipla entre os parâmetros e as características morfoclimáticas das  $N-1$  estações restantes;
- (4) usar o modelo regional, identificado na etapa anterior, para simular a curva de permanência de vazão para a estação “ $s$ ”;
- (5) a curva de permanência de vazão simulada na etapa (4) é comparada com a curva de permanência de vazão observada da estação “ $s$ ”, calculando-se o erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) e o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NASH), que são utilizados para avaliar o método;
- (6) as etapas (2) a (5) são repetidas  $N-1$  vezes, até que todas estações sejam testadas.

### 3.7.2. Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NASH)

A essa técnica de reamostragem (*Jack-Knife*) associou-se o cálculo do coeficiente de NASH para avaliar o desempenho na simulação do modelo regional. A estatística desse coeficiente compara a redução do desvio quadrático do erro do modelo com o desvio quadrático do modelo alternativo de prever sempre a média dos valores. Podemos dizer, então, que para cada estação “ $s$ ”=1, 2, 3, ...,  $n$ , o coeficiente NASH é dado por:

$$NASH = 1 - \frac{\sum(Y_{obs}(t) - Y_{cal}(t))^2}{\sum(Y_{obs}(t) - \bar{Y}_{obs}(t))^2} \quad (3.16)$$

onde  $Y_{obs}$  é a vazão observada,  $Y_{cal}$  é a vazão simulada pelo modelo e  $\bar{Y}_{obs}$  é a média das vazões observadas.

O coeficiente de NASH pode variar de  $-\infty$  a 1, sendo o valor de 1 indicativo de um perfeito ajuste, enquanto valores inferiores a 0,36 fazem com que o modelo seja julgado como inaceitável (COLLISCHONN, 2001; SILVA, P.*et. al.*, 2008).

Os valores de NASH encontrados para cada estação retirada do modelo foram utilizados para calcular três termos adicionais de qualidade geral das curvas de permanência de vazões simuladas. Esses são  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , definidos como percentagens de casos, sobre  $N$  possibilidades, em que  $NASH > 0,75$ , ( $P_1$  = ajuste de aceitável para bom),  $0,75 \geq NASH > 0,50$ , ( $P_2$  = ajuste de aceitável para pobre) e  $NASH \leq 0,50$ , ( $P_3$  = ajuste pobre).

A escolha desse procedimento deve-se à possibilidade de se fazer um número de regionalizações igual ao número de estações disponíveis em uma região homogênea, de forma que, para cada curva estimada, exista uma curva observada para comparação e análise, visando verificar se os erros contidos no modelo são aceitáveis.

### 3.7.3. Índices de desempenho RMSE e BIAS

Outros critérios utilizados para avaliação do desempenho do método são: a raiz quadrada da média dos erros quadráticos (*The Root Mean Square Error* – RMSE) e o erro médio absoluto (BIAS), respectivamente dados pelas equações (3.17) e (3.18).

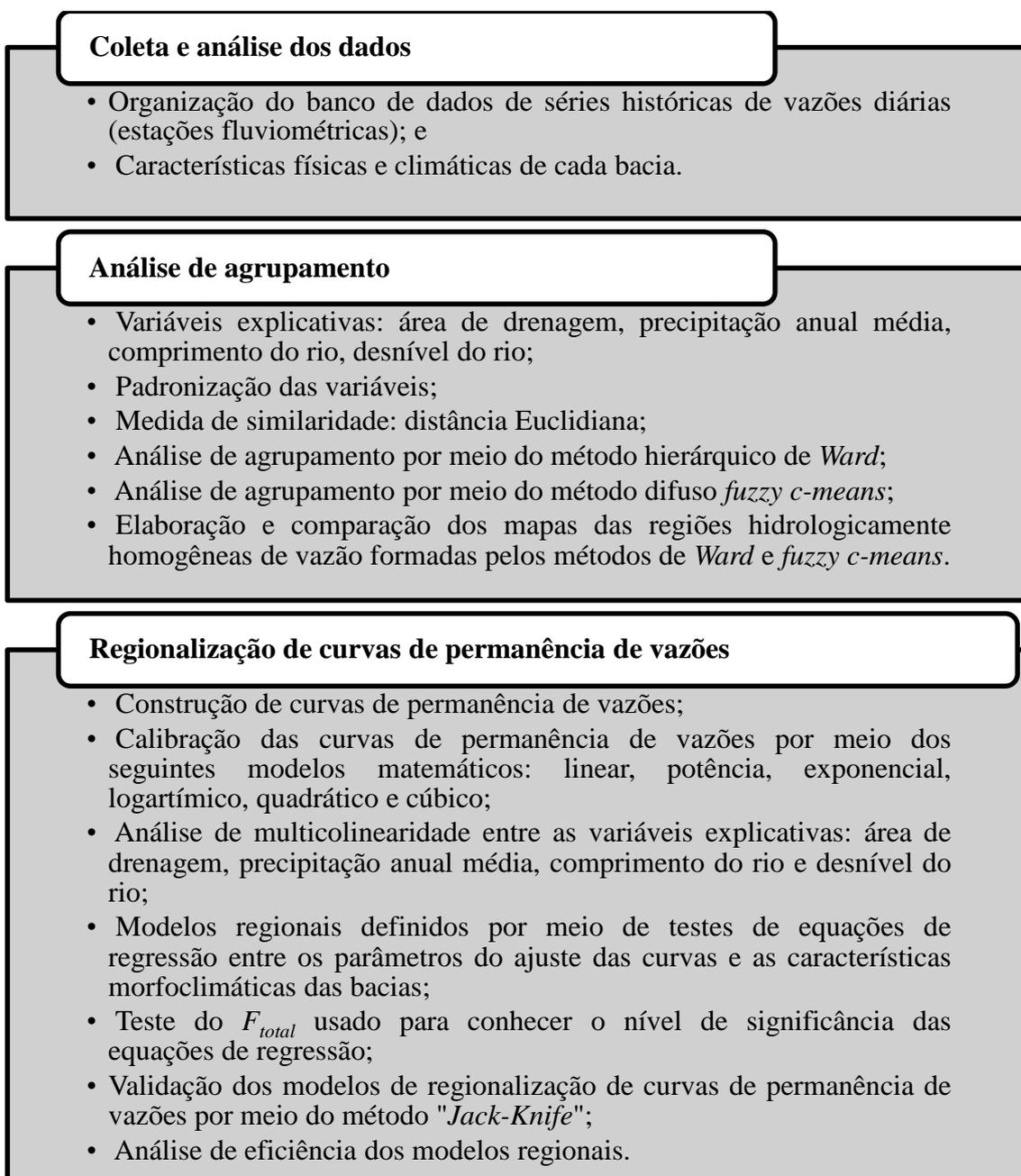
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - \hat{q}_i)^2} \quad (3.17)$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - \hat{q}_i) \quad (3.18)$$

nas quais  $n$  é o número de observações,  $q_i$  e  $\hat{q}_i$  são, respectivamente, as vazões observadas e as vazões simuladas.

A raiz quadrada da média dos erros quadráticos (RMSE), Equação 3.17, é utilizada para estimar a qualidade de um modelo. O uso do RMSE tem grande vantagem em relação ao coeficiente múltiplo ( $R^2$ ); contudo, não estabelece um percentual ou tipo de erro como critério de comparação. Já o erro médio absoluto (BIAS) é uma medida que indica a média do afastamento entre todos os valores simulados e os observados. Menores valores nesses índices evidenciam melhor qualidade de ajuste e menores erros. Na Figura 3.10 é apresentado o resumo da metodologia aplicada nesse estudo.

Figura 3.10 – Resumo da metodologia do estudo.



## CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

### 4.1. INTRODUÇÃO

Com o propósito de identificar regiões hidrologicamente homogêneas de vazão para toda a região da Amazônia Legal foram utilizados os métodos de *Ward* e *Fuzzy c-means* e a distância Euclidiana como medida de similaridade. Esse trabalho tem por objetivo comparar os resultados obtidos pelos métodos no agrupamento de estações fluviométricas instaladas na área de estudo. Esses métodos foram escolhidos por serem os mais usados em estudos de identificação de regiões homogêneas na Hidrologia e apresentarem bons resultados.

### 4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS

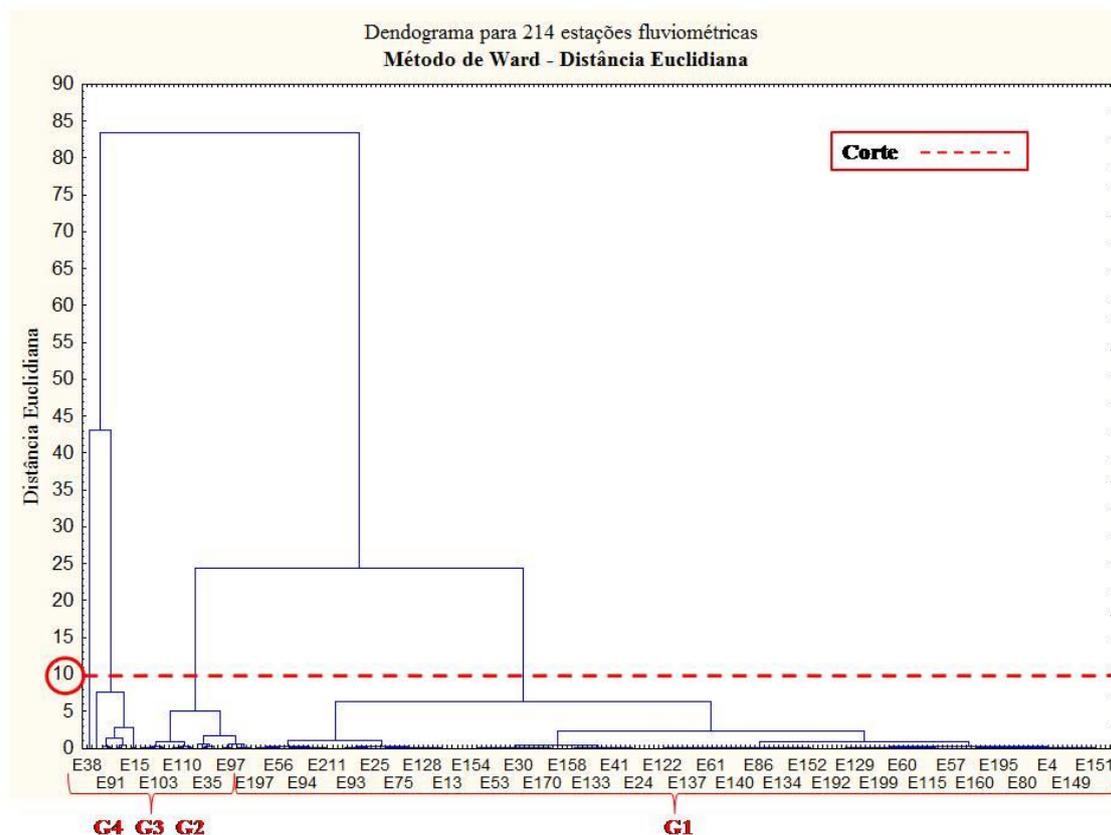
#### 4.2.1. Análise de agrupamento – método de *Ward*

Inicialmente, o método de *Ward* foi utilizado considerando-se como observação todas as 214 estações fluviométricas na região da Amazônia Legal, com a finalidade de delimitar regiões consideradas homogêneas. A distância euclidiana foi usada como medida de similaridade. As variáveis explicativas utilizadas como dados de entrada são: área de drenagem (A), precipitação anual média (P), comprimento do rio (L) e desnível do rio (H). Usou-se o software Statistic 7.0<sup>®</sup> para a aplicação do método.

#### 4.2.2. Seleção e formação do número de grupos (dendograma)

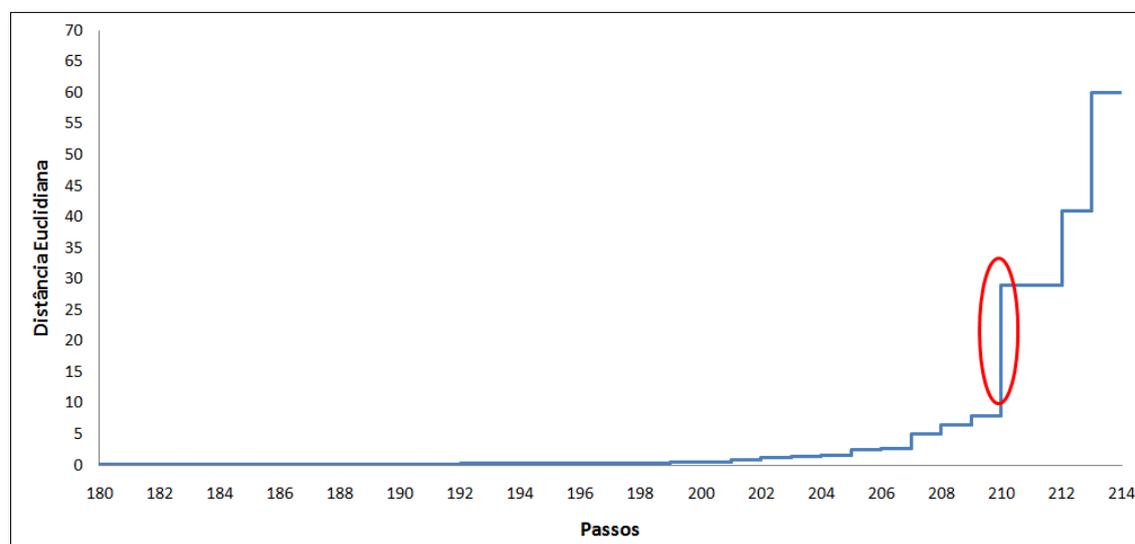
Os grupos foram determinados por um corte transversal no dendograma (Figura 4.1), baseado no critério matemático de inércia (distância entre os grupos). Ou seja, quanto menor o valor da distância euclidiana, haverá maior similaridade entre o conjunto de estações dentro de um grupo e menor similaridade entre os grupos formados. A linha horizontal do dendograma representa os conglomerados e a linha vertical a distância euclidiana entre as estações.

Figura 4.1– Dendograma e corte.



O critério de corte adotado foi aquele em que o número  $n$  de grupos formados resulta no maior salto de inércia com relação ao precedente  $n+1$ . Assim, analisando a Figura 4.2, verifica-se que o maior salto ocorre entre as distâncias euclidianas 8 – 28.

Figura 4.2 – Distância de ligação através dos passos.



Determinou-se, então, uma distância de corte igual a dez da qual resultou a formação de quatro grupos (G) distintos, da direita para a esquerda (Figura 4.1). Lembrando que essa decisão é subjetiva e deve ser feita de acordo com o objetivo da análise e o número de grupos desejados (DONI, 2004).

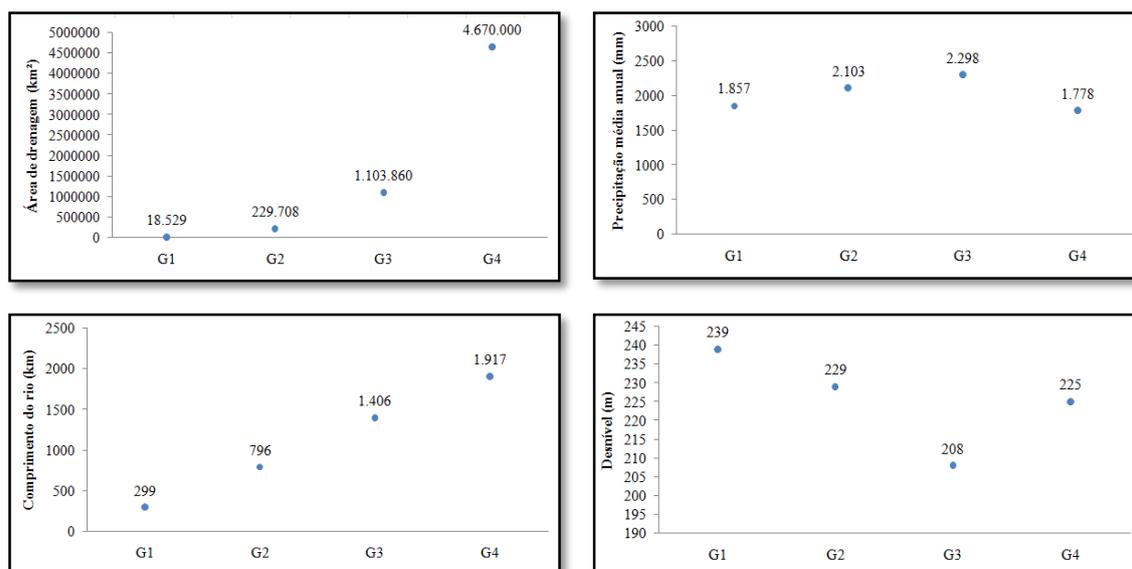
Cada grupo representa uma região hidrologicamente homogênea e estas foram agrupadas da seguinte forma:

Tabela 4.1 – Características de cada região formada por meio do método de *Ward*.

Região Homogênea	Número de estações	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Precipitação anual média (mm)	Média Comprimento do rio (km)	Média Desnível (m)
I	179	296-70.000	813-3.539	299	239
II	24	106.000-458.000	1.286-2.871	796	229
III	9	746.000-2.147.736	1.678-2.799	1406	208
IV	2	4.670.000	1.778	1917	225

A variabilidade das variáveis explicativas da vazão de cada região hidrologicamente homogênea supramencionada, podem ser observadas e comparadas por meio dos gráficos apresentados na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Variabilidade das variáveis explicativas da vazão.



Analisando a Figura 4.3 e a Tabela 4.1, observa-se que a Região homogênea I destaca-se por apresentar menores valores de comprimento do rio e área de drenagem, conseqüentemente, menores valores de vazões diárias médias não ultrapassando 840 m<sup>3</sup>/s. Entretanto, à medida que as bacias foram agrupadas em função das áreas de drenagem e essas foram aumentando, as vazões também aumentaram. Salienta-se que dentre as características explicativas da vazão, a área de drenagem é aquela que tem sido mais utilizada em estudos de regionalização e/ou identificação de regiões homogêneas, sendo a variável que apresenta maior contribuição para a ocorrência da vazão em uma bacia, pois quanto maior for a área de drenagem de uma bacia, maior será a vazão. É importante perceber que a área de drenagem e o comprimento do rio foram as variáveis que apresentaram limites bem definidos entre as quatro regiões homogêneas formadas.

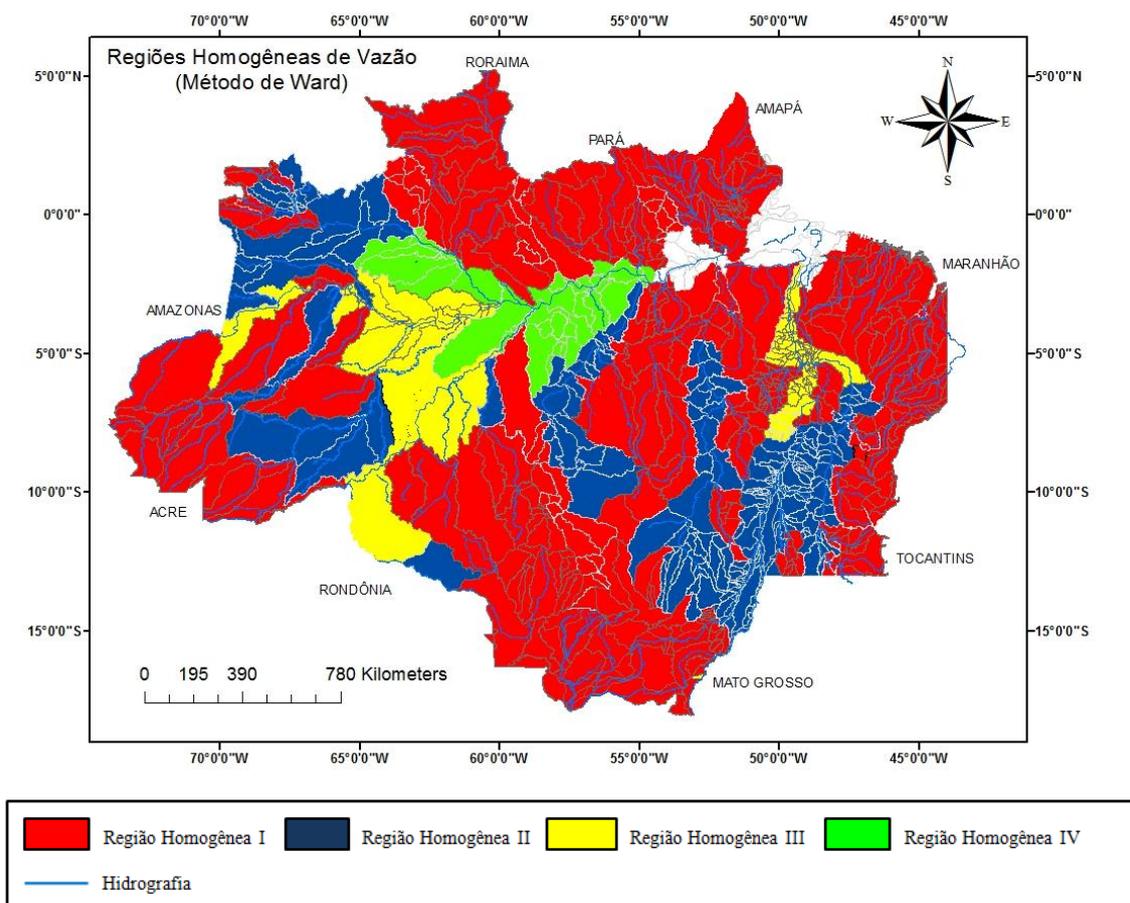
A precipitação anual média (Figura 4.1) foi a característica que menos variou entre as regiões, apresentando valores médios próximo a 2.000 mm, isso ocorre devido à característica do clima tropical amazônico com altos índices pluviométricos. O alto índice de precipitação tem importância no controle do fluxo dos rios regulando as temporadas de cheia e estiagem.

A variável desnível do rio (Figura 4.1) apresenta-se de forma desordenada entre as regiões. Ou seja, não foi possível identificar intervalos superiores e inferiores representativos para cada região. Pode ser que essa variável, quando comparadas à área de drenagem e à precipitação anual média, seja pouco significativa para a ocorrência da vazão, o que será analisado por intermédio da multi-colinearidade e do teste  $F_{parcial}$ .

Devido à falta de dados de vazão na região do Marajó, estado do Pará, não foi possível definir todas as regiões homogêneas no limite da região da amazônia legal e por isso adotaram-se essas áreas como regiões não agrupadas ou sem informações hidrológicas.

As Regiões Hidrologicamente Homogêneas obtidas por meio do método de Ward estão demonstradas espacialmente no mapa da Figura 4.4.

Figura 4.4– Mapa das regiões hidrologicamente homogêneas viamétodo de *Ward*.



Fonte: AUTOR (2015)

Analisando a Figura 4.4, verifica-se que a região homogênea IV, região que apresenta a maior área de drenagem igual a 4.670.000 km<sup>2</sup>, corresponde a toda bacia do Rio Amazonas e seus afluentes Rio Solimões e Rio Negro. Essa bacia extrapola os limites da Amazônia Legal estendendo-se ao Peru e Colômbia, países que fazem fronteira ao estado do Amazonas, onde encontra-se a cabeceira dos rios. Conseqüentemente, o Rio Solimões recebe contribuições de rios afluentes pertencentes ao Peru e o Rio Negro, dos afluentes pertencentes a Colômbia. Deve-se observar também, que por ser uma área muito extensa outras regiões homogêneas foram formadas dentro dos limites da região homogênea IV, como as bacias do Rio Purus, Rio Tocantins e Rio Madeira que fazem parte da região homogênea III e a bacia do Rio Tapaua (afluente do rio Purus), região homogênea II. Dessa forma, a contigüidade geográfica não é requisito necessário para que se defina uma região hidrologicamente homogênea (RAO e SRINIVAS, 2006a; ELESBON *et al.*, 2011).

#### 4.2.3. Análise de agrupamento – método difuso *Fuzzy C-Means*.

O método de agrupamento difuso *fuzzy c-means* foi utilizado com o auxílio de ferramenta específica, implementada no *software* MATLAB 7.1 por intermédio do “*Fuzzy Logic Toolbox*”. Esta ferramenta permite utilizar uma função conhecida como *fcm*, que funciona como um algoritmo. Em função disso, gera-se uma rotina a ser executada denominada *fcm\_fcm6.m* (APÊNDICE III). A função *fcm* é construída juntamente com outras três funções: a *initfcm*, que inicializa o problema; a *distfcm*, que é usada para medir as distância entre os clusters, e a função *stepfcm*, que percorre uma iteração.

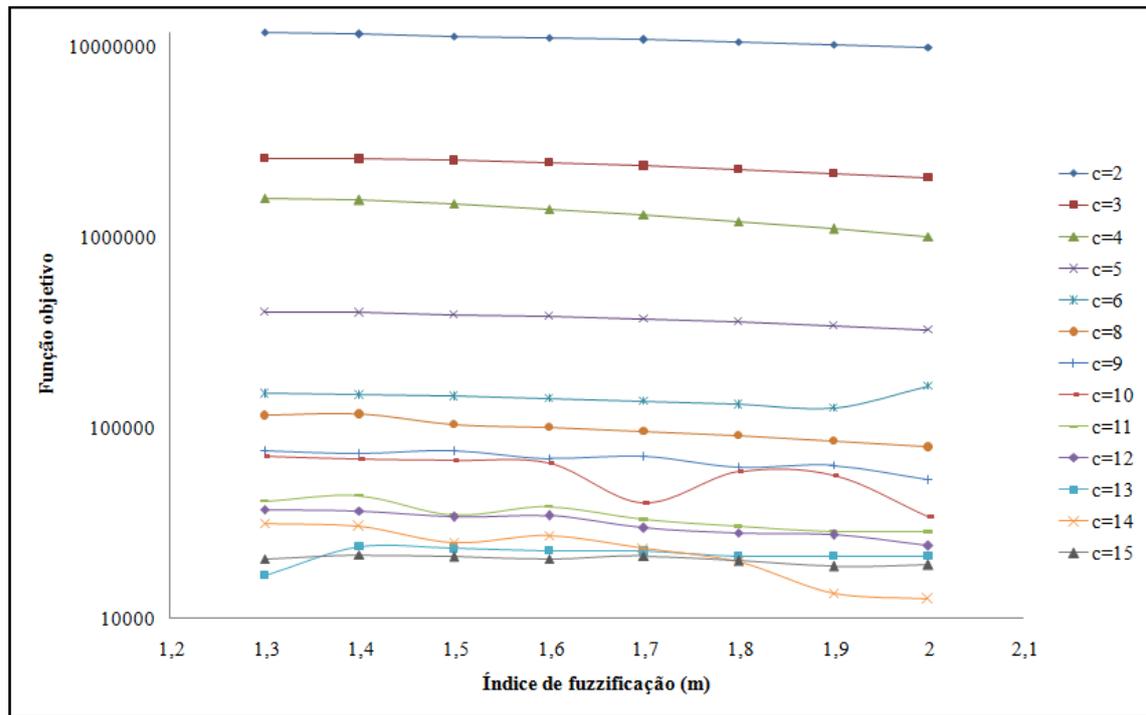
Na a aplicação do método *fuzzy c-means* uma matriz de dados foi gerada em um arquivo de texto (*matriz.txt*), composta pelos valores das variáveis explicativas da vazão (área de drenagem –  $A$  (km<sup>2</sup>), precipitação anual média–  $P$  (mm), comprimento do rio –  $L$  (km) e desnível –  $H$  (m)) das 214 estações fluviométricas, seguindo-se da primeira coluna com número de identificação dos postos e as demais colunas com os valores de cada variável. O arquivo de texto foi usado como dados de entrada para executar o algoritmo.

Além da matriz de dados, testou-se valores de índice de fuzzyficação ( $m$ ) variando entre 1,3 e 2,0, indicado por ROSS (1995), sendo esta uma restrição a otimização da função objetivo (Figura 4.5); número máximo de iterações ( $t_{max}$ ) = 200 e como critério de parada um erro mínimo de  $\varepsilon = 0,0001$ . O número de grupos ( $c$ ) variou entre 2 a 15, em razão de não saber quantos grupos homogêneos podem existir em toda a Amazônia Legal, já que não existe um intervalo de classificação das bacias indicando, por exemplo, até que valor de área de drenagem uma bacia pode ser considerada pequena, média ou grande, o qual poderia ser usado como uma condição para o agrupamento.

Aplicando a metodologia *fuzzy c-means*, obteve-se como resposta do processamento do algoritmo os graus de pertinência de cada elemento, o número de interações e o valor da função objetivo.

Realizou-se 104 simulações para encontrar a melhor formação do agrupamento. O número de grupos foi definido por meio da minimização da função objetivo de cada simulação conforme a Figura 4.5.

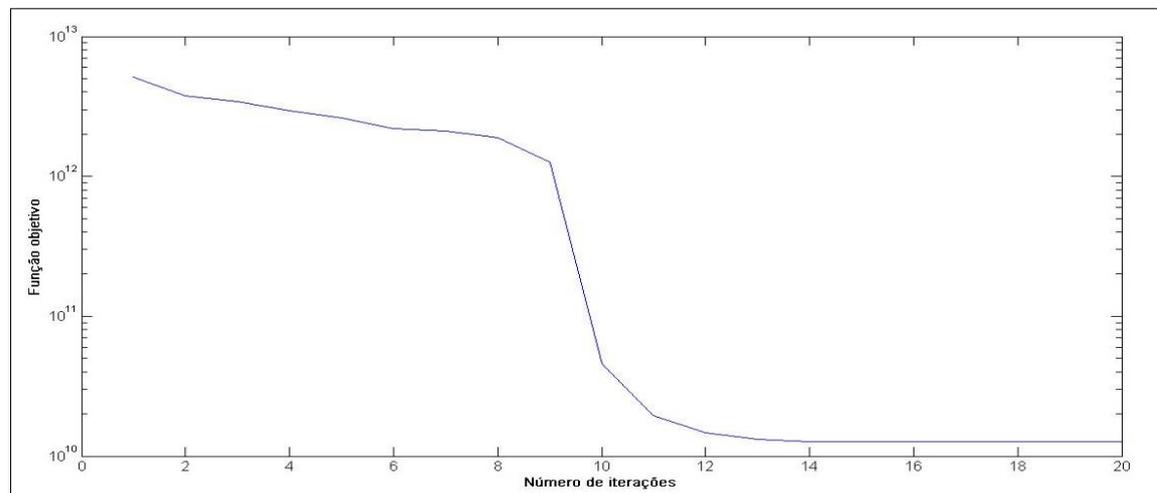
Figura 4.5–Função objetivo



Mediante os resultados obtidos na Figura 4.5 definiu-se que o melhor resultado da função objetivo foi encontrado para  $m = 2,0$  e  $c = 14$ . Isto é, a formação mais adequada é com 14 grupos.

O algoritmo *fuzzy c-means* atingiu a condição de parada em 14 iterações. Para a primeira iteração do algoritmo a função objetivo  $J_m$  forneceu o valor  $5,119 \times 10^{12}$  e para a última iteração o valor calculado foi  $1,264 \times 10^{10}$ . A Figura 4.6 ilustra a convergência da função objetivo em função do número de iteração.

Figura 4.6 – Convergência da função objetivo para 14 agrupamentos.



Na Tabela 4.2 é apresentado um resumo dos valores dos graus de pertinência para cada uma das 214 estações fluviométricas estudadas. A Tabela completa pode ser consultado no APÊNDICE IV.

Tabela 4.2 – Graus de pertinência das estações fluviométricas para os 14 grupos formados.

ID	código	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14
E1	18250000	0,98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E2	17345000	0,95	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E3	18121006	0,35	0,62	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E4	17610000	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E5	17675000	0,08	0,48	0,42	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
E214	17121000	0,91	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Para a formação dos grupos, foi utilizado o método de decisão pelo maior grau de pertinência, ou seja, para um dado objeto o maior grau de pertinência determina a qual agrupamento o objeto pertencerá. Todavia, deve-se tomar alguns cuidados ao analisar os resultados, pois se um objeto possui seu maior grau de pertinência no intervalo  $[0,7, 1,0]$ , então é considerado não confuso, mas se esse valor for menor que 0,7 e maior 0,2, então este objeto poderá pertencer a um outro grupo. A Tabela 4.3 apresenta a distribuição dos dados referentes a cada agrupamento.

Tabela 4.3 – Agrupamento x Distribuição dos dados.

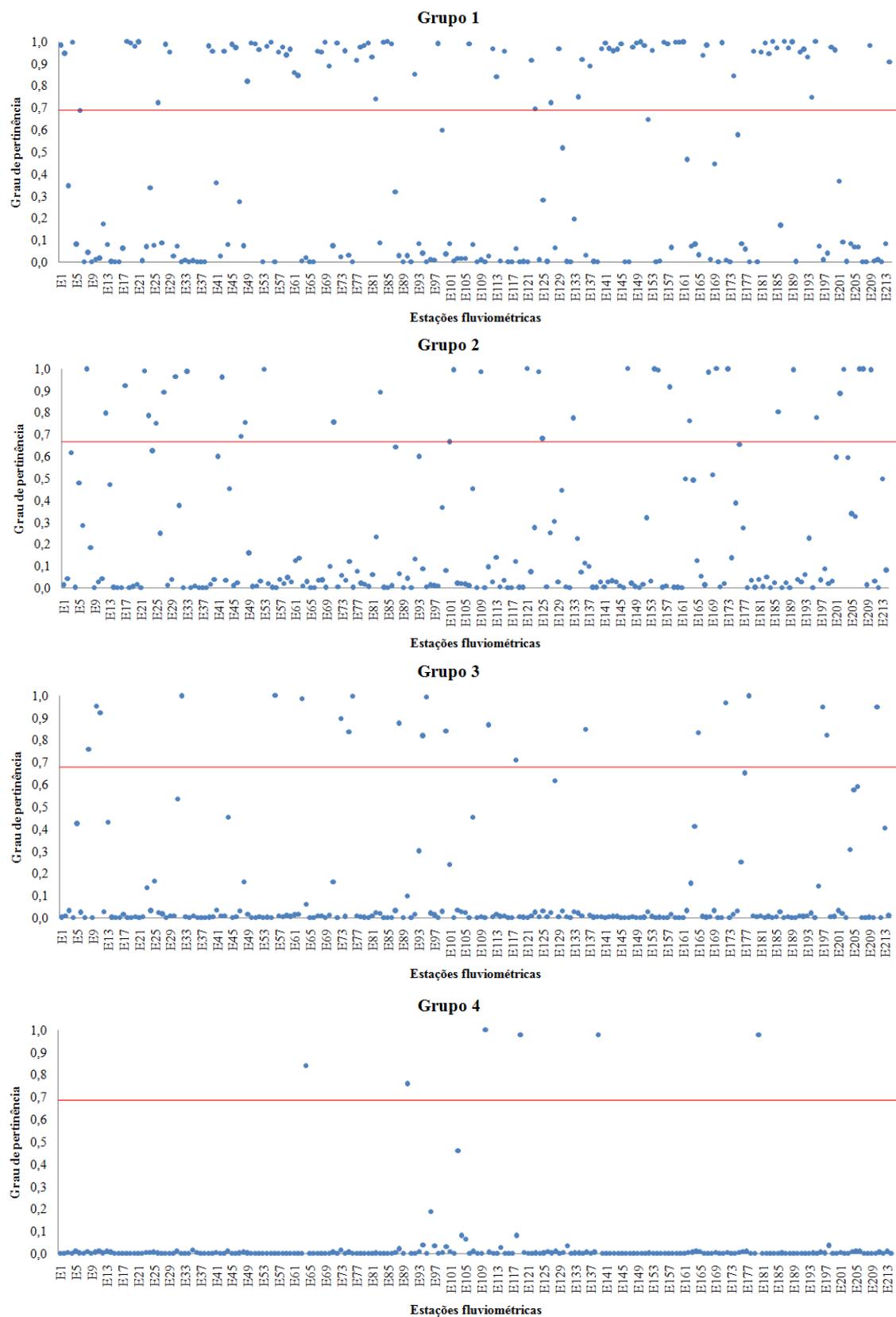
<b>Agrupamentos</b>	<b>Número de estações</b>	<b>%</b>
Grupo 1	98	45,79
Grupo 2	52	24,30
Grupo 3	29	13,55
Grupo 4	7	3,27
Grupo 5	6	2,81
Grupo 6	6	2,81
Grupo 7	4	1,87
Grupo 8	1	0,47
Grupo 9	2	0,93
Grupo 10	1	0,47
Grupo 11	2	0,93
Grupo 12	3	1,40
Grupo 13	1	0,47
Grupo 14	2	0,93
Total	214	100
Confuso / Nebuloso	33	15,42

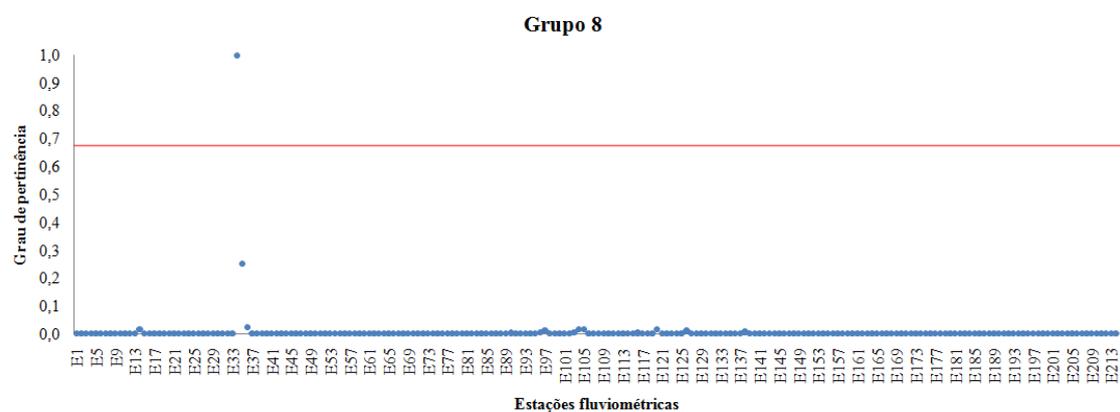
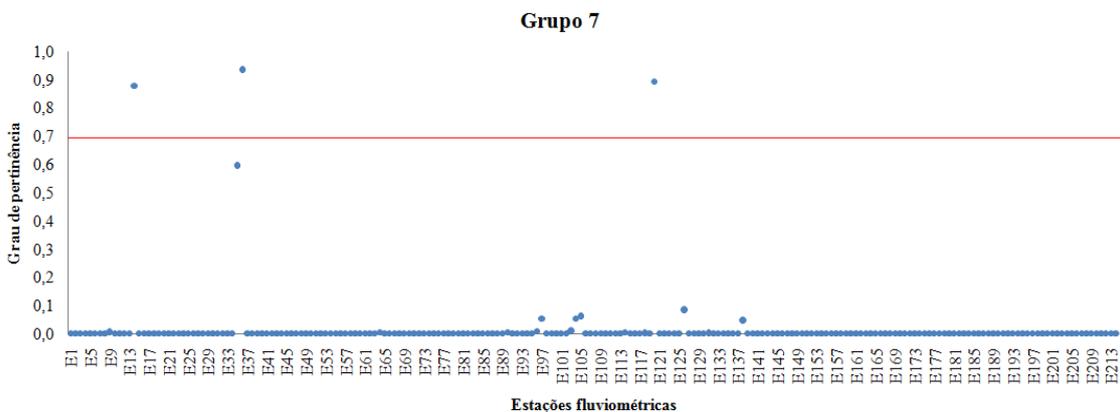
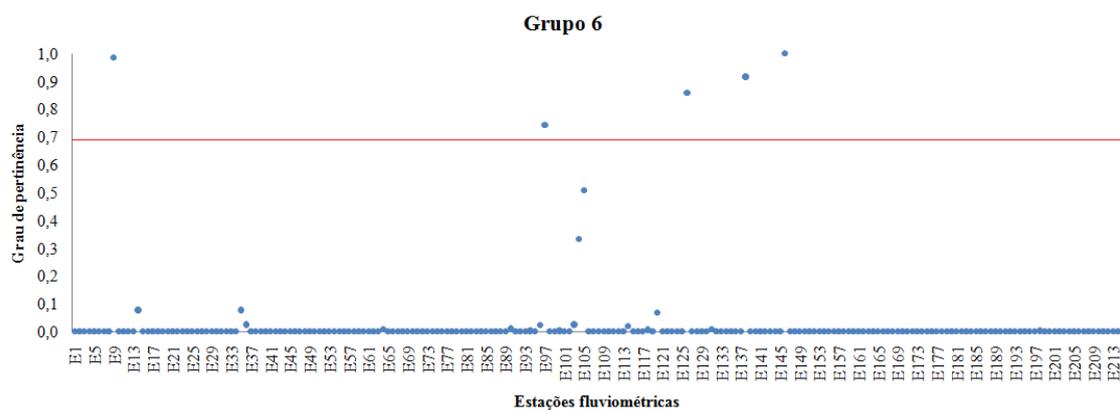
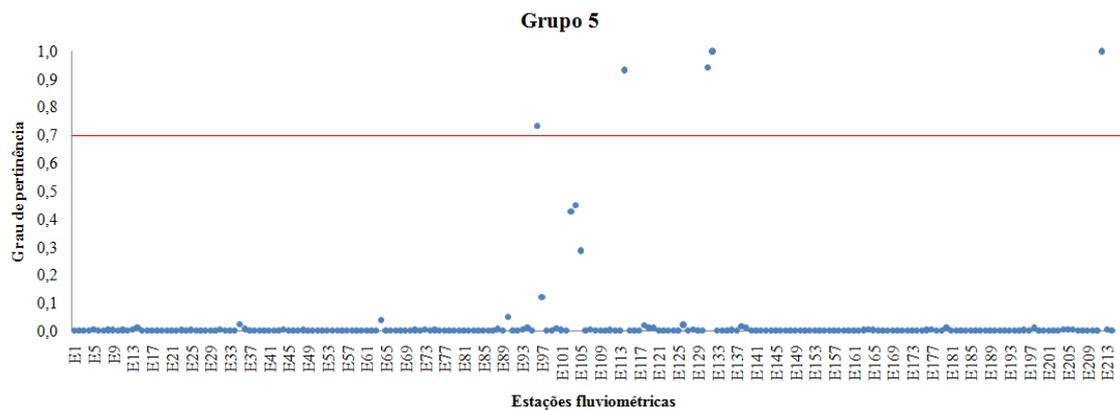
Na Tabela 4.3 observa-se que das 214 estações fluviométricas 33, ou seja 15,42%, foram consideradas confusas ou nebulosas, pois possuem seu maior grau de pertinência menor que 0,7. A maioria dos dados (84,58%) não são confusos, porque seu maior grau de pertinência está no intervalo  $[0,7, 1,0]$ .

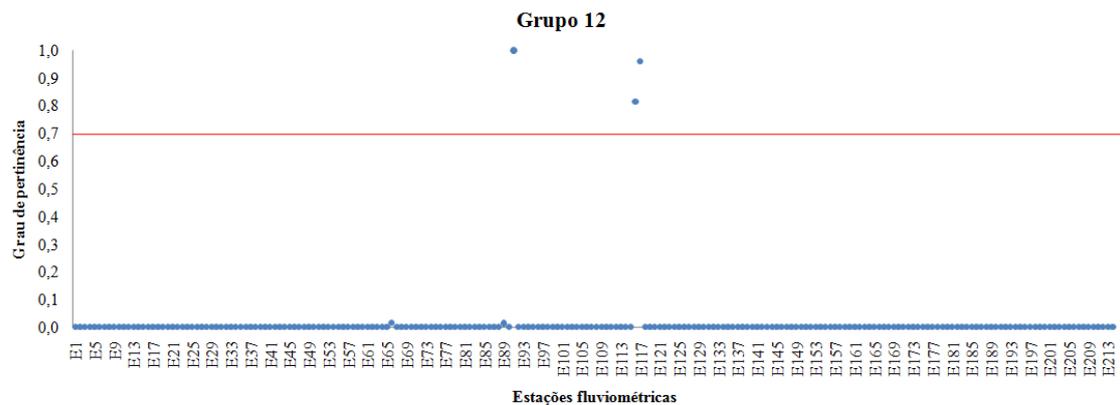
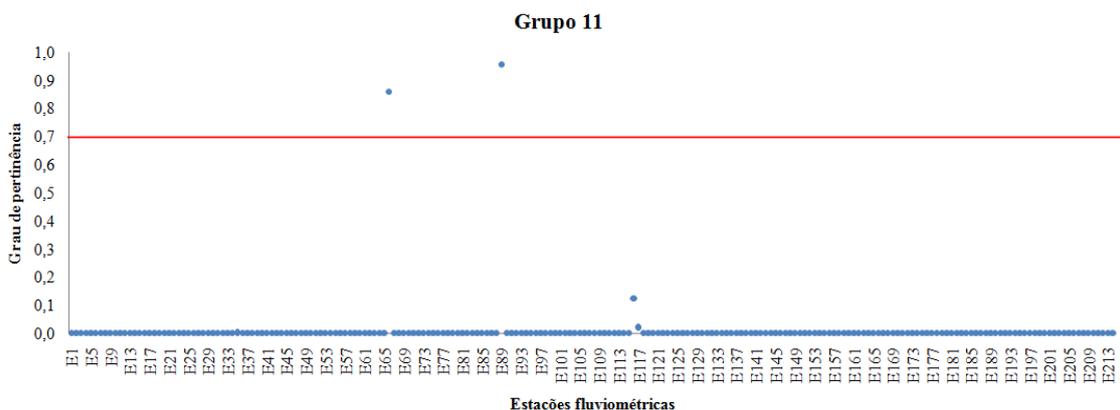
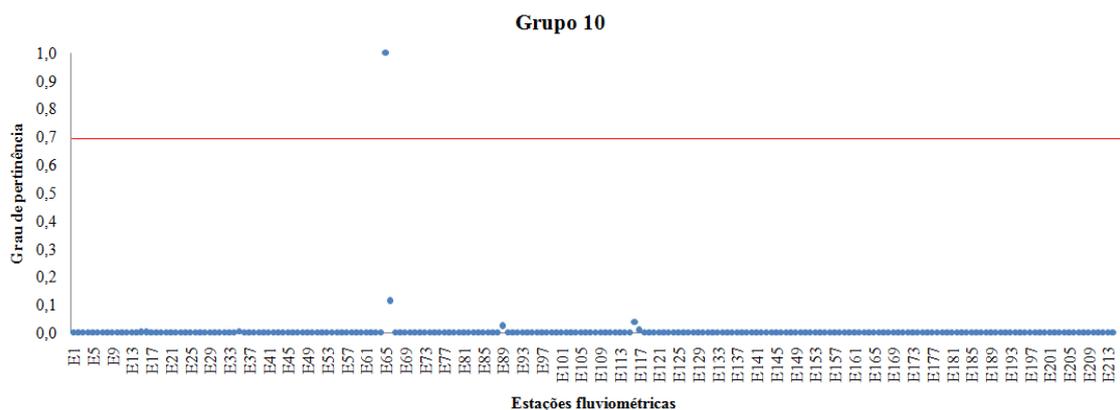
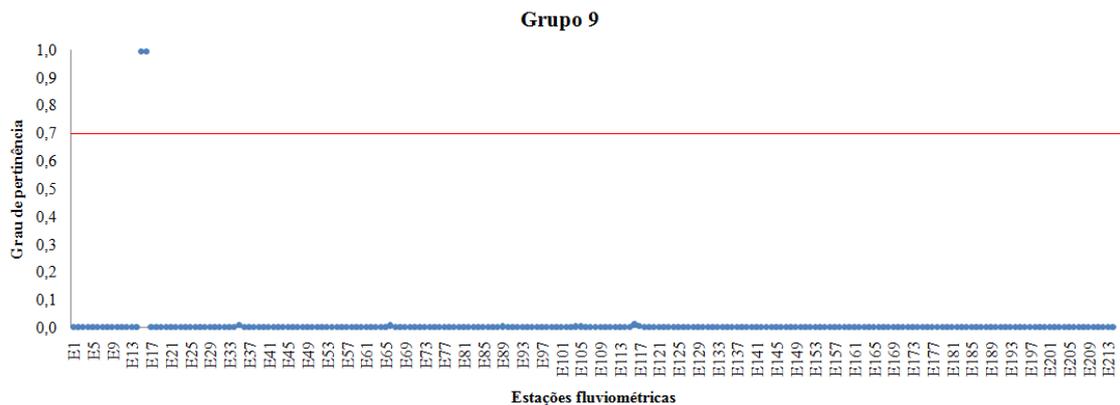
Um exemplo que representa muito bem um agrupamento difuso ou nebuloso, no qual um objeto pode não pertencer exclusivamente a um grupo, é o caso da estação fluviométrica Jardim do Ouro E5 - Cód. ANA 17675000, localizada na bacia do Rio Jamanxim (estado do Pará) e que apresenta uma área de drenagem 37.400 km<sup>2</sup>. Na Tabela 4.2 observa-se que a estação E5 tem 48% de chance de pertencer ao grupo 2 e 42% ao grupo 3. Mesmo apresentando uma grande chance de pertencer ao grupo 3, a estação E5 foi alocada no grupo 2, já que apresentou a maior probabilidade neste grupo.

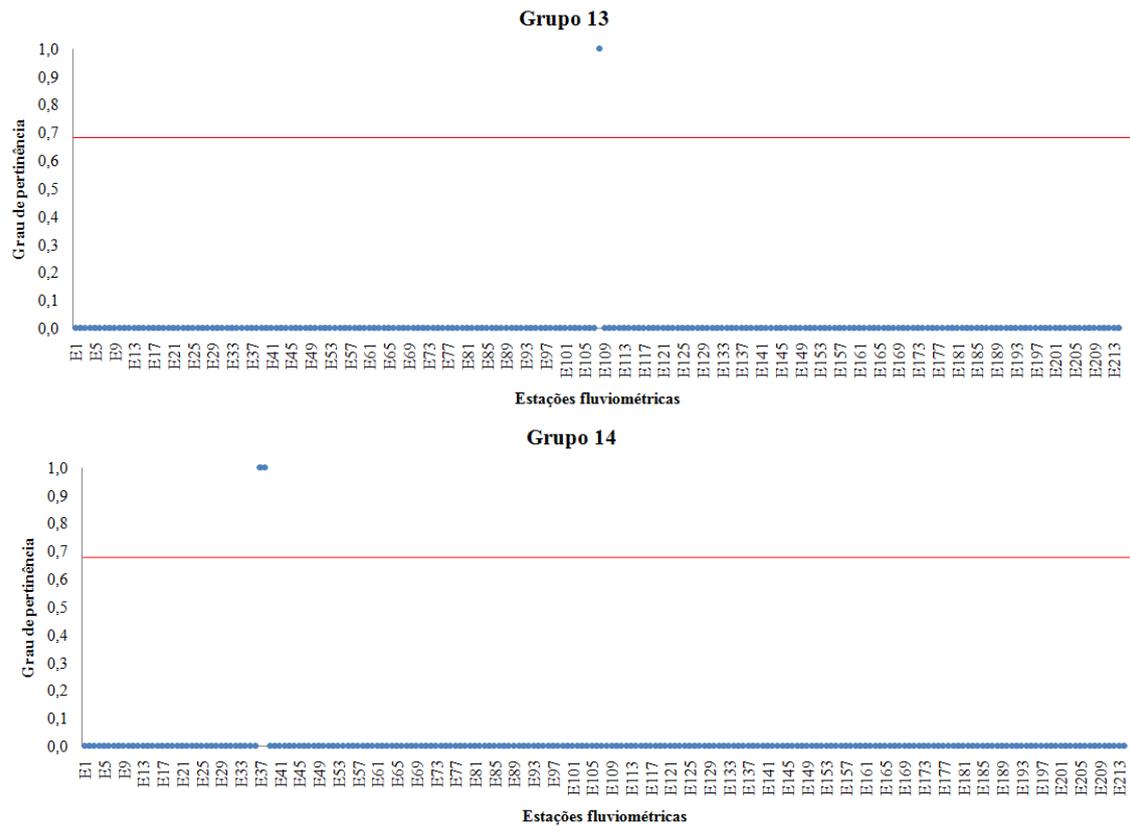
A Figura 4.7 apresenta os gráficos de cada agrupamento referente à distribuição das estações de acordo com seus graus de pertinência.

Figura 4.7 – Distribuição das estações referentes ao grau de pertinência.



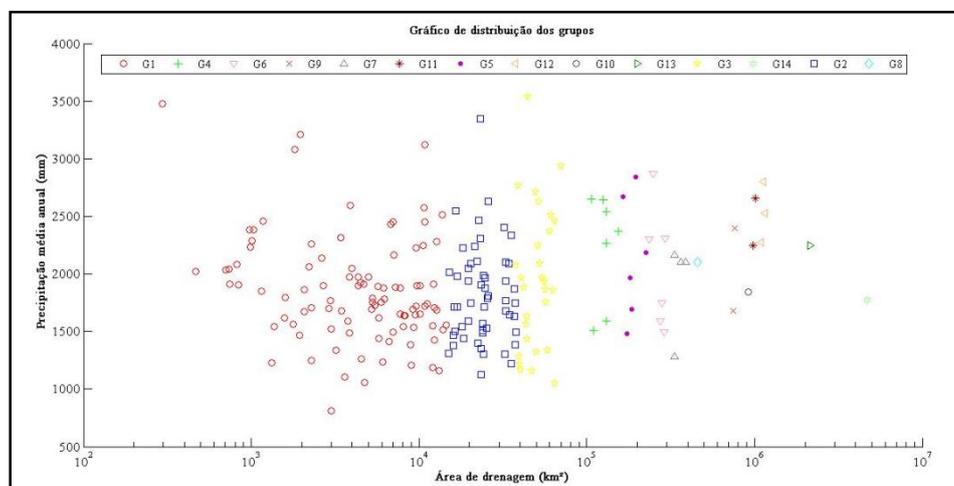






Na Figura 4.7 as estações que se encontram acima da linha vermelha apresentam mais de 70% de chance de pertencer a seus agrupamentos. Não diferindo do método de *Ward*, o método *fuzzy c-means* apresenta a área de drenagem como a variável com maior significância no agrupamento e a precipitação anual média bem distribuída entre os agrupamentos. Os grupos foram determinados praticamente pela distribuição das variáveis área de drenagem e precipitação anual média no plano cartesiano, onde no eixo  $x$  estão dispostas as áreas de drenagem e no eixo  $y$ , as precipitações anual média. A Figura 4.8 ilustra essa distribuição.

Figura 4.8 – Distribuição das variáveis área de drenagem e precipitação anual média.



O gráfico de distribuição dos grupos (Figura 4.8) pode ser considerado como uma das mais importantes contribuições do método *fuzzy c-means*, pois se os grupos formados apresentarem alta similaridade interna e dissimilaridade entre eles, pode-se então utilizá-lo para identificar a qual região homogênea uma determinada bacia, carente de informações de vazões, pertenceria, somente com as informações de área de drenagem e precipitação anual média do local escolhido para o empreendimento.

As estações foram agrupadas de acordo com os maiores graus de pertinência e formaram 14 regiões homogêneas com as seguintes características:

Tabela 4.4 – Características de cada região formada por meio do método de *fuzzy c-means*.

Região Homogênea	Número de estações	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Precipitação média anual (mm)	Média Comprimento do rio (km)	Média Desnível (m)
I	98	296-14.500	813-3.479	214	224
II	52	15.000-37.500	1.127-3.349	370	266
III	29	37.800-70.100	1.052-3.539	460	243
IV	7	106.000-154.000	1.511-2.649	447	173
V	6	164.000-226.000	1.478-2.841	921	270
VI	6	236.000-293.000	1.495-2.871	841	223
VII	4	332.000-390.000	1.286-2.163	1005	265
VIII	1	458.000	2.100	1392	280
IX	2	746.000-764.000	1.678-2.400	1640	225
X	1	921.000	1.841	1136	220
XI	2	976.000-1.010.000	2.245-2.660	1317	218
XII	3	1.090.000-1.150.000	2.276-2.799	1456	197
XIII	1	2.147.736	2.250	1233	175
XIV	2	4.670.000	1.778	1917	225

Analisando a Tabela 4.4 observa-se que uma grande parte das estações fluviométricas consideradas no estudo, um pouco mais de 80% do total, foram agrupadas e bem distribuídas nas regiões homogêneas I, II e III. Levando em

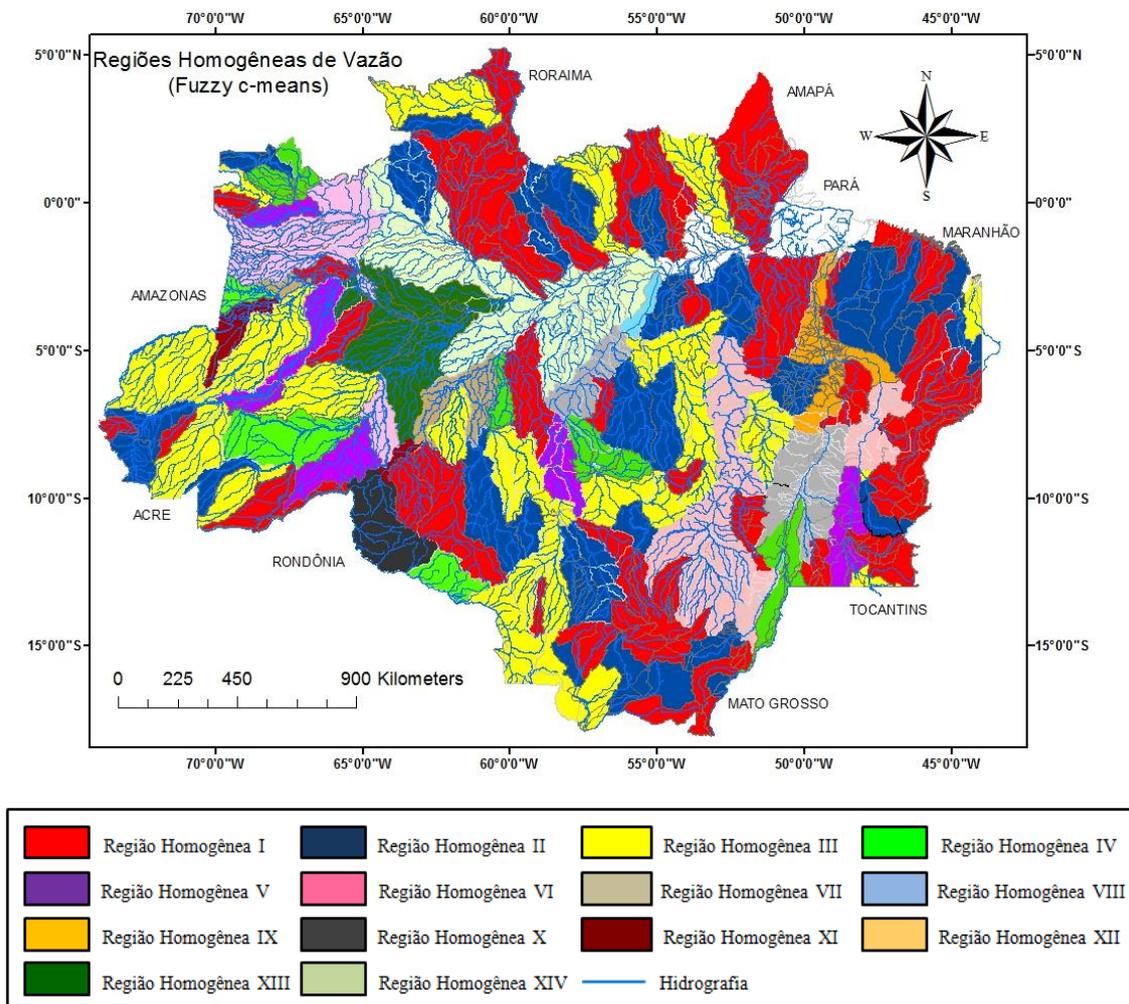
consideração as três regiões, o posto fluviométrico com a menor área de drenagem (Estação Cunani – Cód. ANA 30070000) encontra-se instalado no Rio Cunani, no estado do Amapá, com área de drenagem de 296 km<sup>2</sup> e  $Q_{\text{méd.}} = 63 \text{ m}^3/\text{s}$ . Já o posto com a maior (Estação Boca do Guariba – Cód. ANA 15800000) encontra-se no Rio Aripuanã, no estado do Amazonas, com área igual a 70.100 Km<sup>2</sup> e  $Q_{\text{méd.}} = 1.450 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ou seja, pouco menos de 20% das estações fluviométricas possuem área de drenagem maiores que 70.100 km<sup>2</sup>.

Nota-se a ausência, na região da Amazônia Legal, de estações fluviométricas com área de drenagem superior a 70.100 km<sup>2</sup> e inferior a 106.000 km<sup>2</sup>.

As 35 estações fluviométricas possuidoras das maiores áreas de drenagem, dentro de um intervalo de 106.000 a 4.670.000 km<sup>2</sup>, foram distribuídas e agrupadas nas regiões homogêneas IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII e XIV. Cada uma dessas regiões detem um número muito pequeno de estações fluviométricas, dificultando a aplicação do método de regionalização de curvas de permanência de vazões.

Na Figura 4.9 é apresentada a distribuição espacial das regiões hidrologicamente homogêneas de vazão encontradas na região da Amazônia Legal por meio do método *fuzzy c-means*.

Figura 4.9 – Mapa das regiões hidrologicamente homogêneas de vazão definidas no estudo (método *Fuzzy c-means*).



Fonte: AUTOR (2015)

#### 4.2.4. Comparação dos resultados obtidos pelos métodos *Ward* e *Fuzzy C-Means*

Para cada um dos dois métodos utilizados nesse estudo, o agrupamento é realizado de forma bem particular. No método de *Ward*, inicialmente, cada elemento (estação fluviométrica) representa um grupo, e a cada passo um grupo ou elemento foi ligado a outro de acordo com sua similaridade, até o último passo, onde foi formado um grupo único com todos os elementos e finalizado com um dendograma. Por meio de uma análise subjetiva do dendograma optou-se pela formação de 4 grupos.

No método *fuzzy c-means* é necessário indicar o número inicial de grupos. Com a inserção da lógica difusa, os elementos da base de dados passam a pertencer

concomitantemente a todos os grupos, embora com graus diferentes de pertinência, que são proporcionais a sua distância em relação ao centro de cada grupo.

A principal vantagem do algoritmo *fuzzy c-means* é que ele fornece informações mais detalhadas a respeito da estrutura dos dados, pois são apresentados os graus de associação de cada elemento a cada grupo, não tendo, portanto, a formação de agrupamentos rígidos.

Na Tabela 4.5 é apresentada uma comparação entre os resultados obtidos pelos métodos *Ward* e *fuzzy c-means*.

Tabela 4.5 – Comparação entre os métodos *Ward* e *fuzzy c-means*.

Regiões	Número de estações		Percentual (%)		Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	
	Ward	Fuzzy	Ward	Fuzzy	Ward	Fuzzy
I	179	98	83,65	45,79	296-70.100	296-14.500
II	24	52	11,22	24,30	106.000-458.000	15.000-37.500
III	9	29	4,20	13,55	746.000-2.147.736	37.800-70.100
IV	2	7	0,93	3,27	4.670.000	106.000-154.000
V	-	6	-	2,81	-	164.000-226.000
VI	-	6	-	2,81	-	236.000-293.000
VII	-	4	-	1,87	-	332.000-390.000
VIII	-	1	-	0,47	-	458.000
IX	-	2	-	0,93	-	746.000-764.000
X	-	1	-	0,47	-	921.000
XI	-	2	-	0,93	-	976.000-1.010.000
XII	-	3	-	1,40	-	1.090.000-1.150.000
XIII	-	1	-	0,47	-	2.147.736
XIV	-	2	-	0,93	-	4.670.000

Analisando a Tabela 4.5, observa-se que a variável explicativa área de drenagem foi a que apresentou maior significância na formação das regiões homogêneas de vazão para ambos os métodos. Assim, foi possível obter regiões em que as áreas de drenagem foram apresentadas de forma crescente, isto é, a região I < região II < região III < região IV (método de *Ward*) e, a região I < região II < região III < região IV < região V < região VI < região VII < região VIII < região IX < região X < região XI < região XII < região XIII < XIV (método *fuzzy c-means*).

No método *Ward* houve um aumento nos intervalos da área de drenagem, por exemplo: as estações fluviométricas pertencentes às regiões I, II e III formadas pelo

método *fuzzy c-means* praticamente passaram a fazer parte da região I para o método *Ward* representando 83,65% do total de número de estações.

Observa-se que os resultados para os dois métodos foram considerados satisfatórios, cada um com suas particularidades, na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas de vazão. O método *fuzzy c-means* apresenta como vantagem a flexibilidade de testar outros parâmetros de entrada no algoritmo, como, por exemplo, variar o número de grupos ( $c$ ) e/ou o valor do índice de fuzzificação ( $m$ ). Outras vantagens é a possibilidade de minimizar o valor da função objetivo e analisar os graus de permanência para cada um dos elementos agrupados.

Como a proposta de Tese é definir modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões para cada uma das regiões hidrologicamente homogêneas de vazão identificadas por intermédio dos métodos de análise de agrupamento, então os modelos regionais servirão de validação para as regiões homogêneas encontradas, de forma que os modelos possam apresentar resultados satisfatórios na estimativa das vazões observadas, ou seja, altos valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{\text{ajustado}}$ ) e coeficiente de Nash Sutcliffe (NASH), valores dos erros relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) aceitáveis, e passar nos testes do  $F_{\text{total}}$  e do método *Jack-Knife*.

Outra contribuição bastante significativa é o aumento da confiabilidade dos resultados, eliminando a subjetividade da seleção das estações fluviométricas que compõem as regiões hidrologicamente homogêneas.

#### 4.3. CALIBRAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

Curvas de permanência de vazões foram contruídas com as séries históricas de vazões diárias de cada estação fluviométrica (APÊNDICE V). Após a construção das curvas, foram testados os modelos matemáticos – linear, potência, exponencial, logarítmico, quadrático e cúbico (Eq. 3.2 – 3.7), para a calibração dos parâmetros das curvas de permanência de vazões das regiões hidrologicamente homogêneas definidas anteriormente pelos métodos *Ward* e *fuzzy c-means* para a Amazônia Legal.

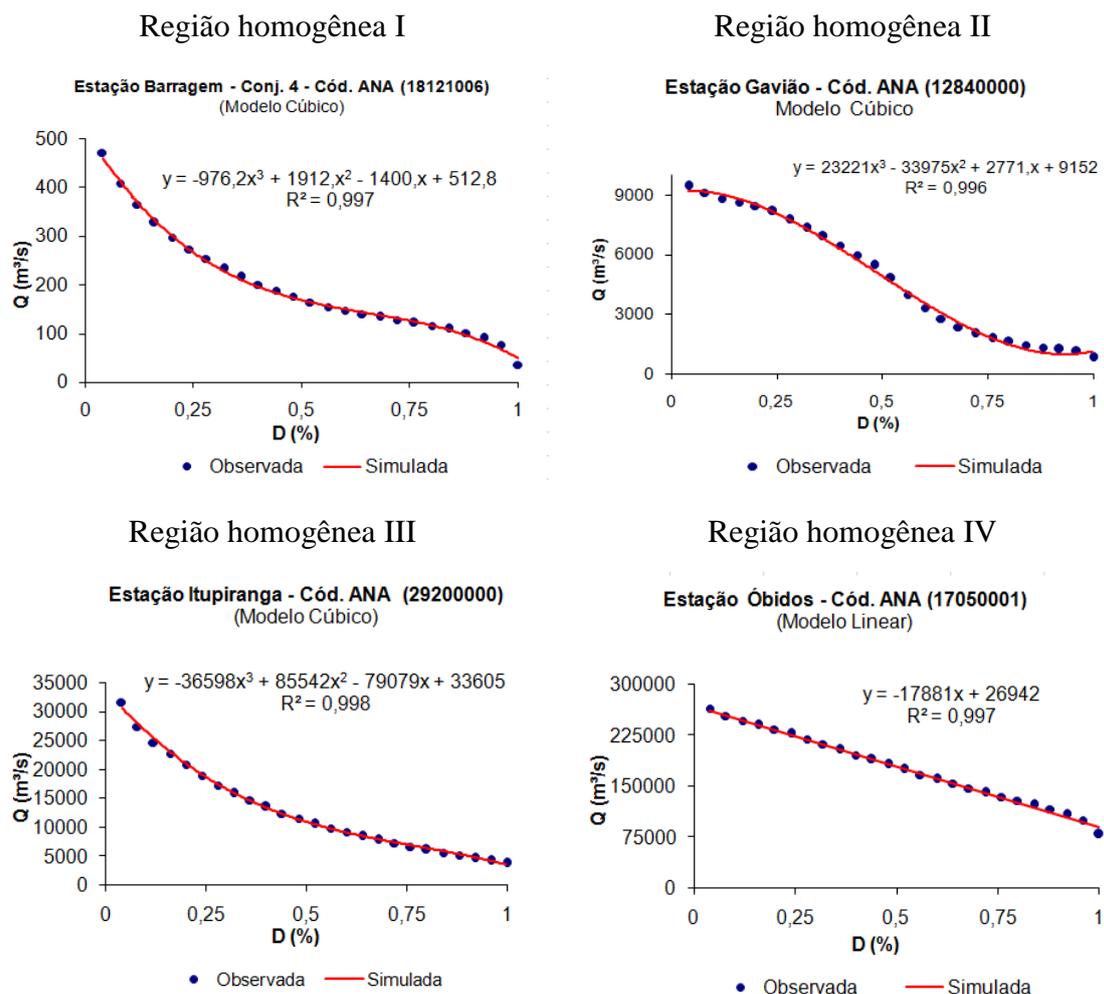
Para verificar o ajuste dos modelos às curvas de permanencia de vazões, usou-se uma planilha eletrônica capaz de ajustar aos dados observados funções correspondentes aos seis modelos supracitados. Os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  foram

calculados por intermédio do método dos mínimos quadrados, mas determinados automaticamente pela planilha eletrônica.

Para uma melhor visualização gráfica do ajuste dos modelos, foram selecionados 25 pares –  $Q$  ( $m^3/s$ ) x  $D$  (permanência %) – para cada estação fluviométrica pertencente às regiões hidrologicamente homogêneas definidas anteriormente. Nesse caso, a vazão ( $Q$ ) é a variável independente que está em função da permanência % ( $D$ ), a qual é a variável explicativa da ocorrência da vazão. Esses 25 pares foram divididos em intervalos de 4% até alcançar os 100%, ou seja, 4, 8, 12 ... 100%.

Na Figura 4.10 é apresentado um exemplo do ajuste do modelo matemático que melhor se adequou às curvas de permanência de vazões para cada uma das quatro região hidrologicamente homogênea definidas por meio do método de *Ward*.

Figura 4.10 – Curvas calibradas com os modelos matemáticos (método de *Ward*).



Analisando a Figura 4.10, observa-se que para as regiões I, II e III, o modelo cúbico foi o que melhor ajustou-se as curvas de permanência de vazões, já para a região IV, que apresenta os maiores valores de área de drenagem, foi o modelo linear.

Nas Figuras 4.11 – 4.14 são apresentados exemplos do ajuste do modelo matemático que melhor se adequou às curvas de permanência de vazões para cada uma das regiões hidrologicamente homogêneas formadas por *fuzzy c-means*. Todas as outras curvas calibradas podem ser observadas com mais detalhes no APÊNDICE V.

Figura 4.11 – Região homogênea I – Curva calibrada com o modelo cúbico.

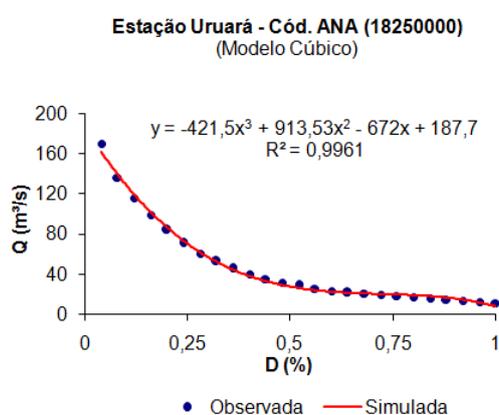
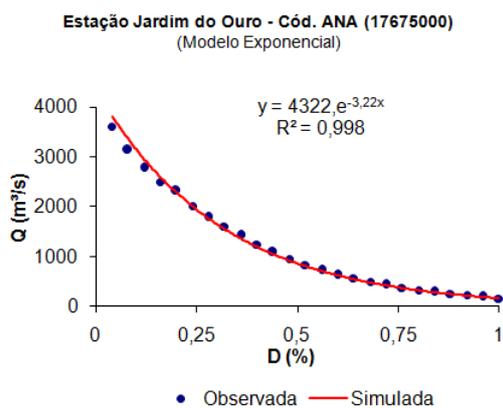


Figura 4.12 – Regiões homogêneas II e III – Curvas calibradas com o modelo exponencial.

#### Região homogênea II



#### Região homogênea III

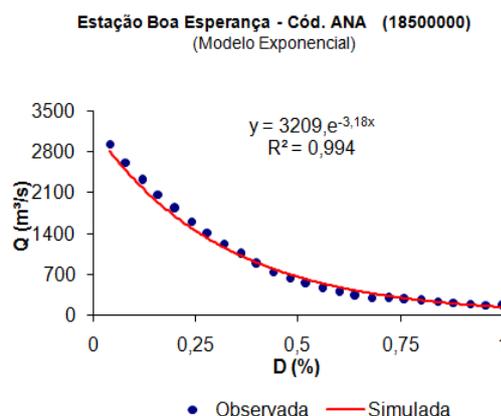
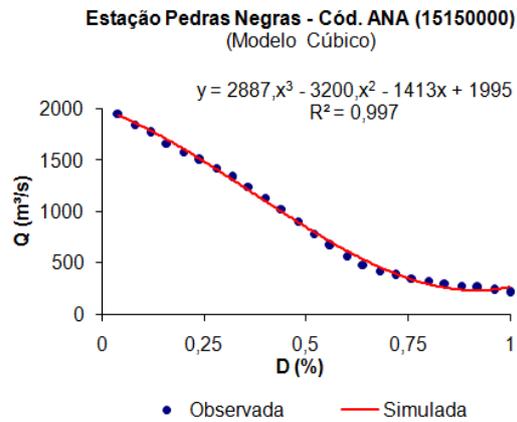
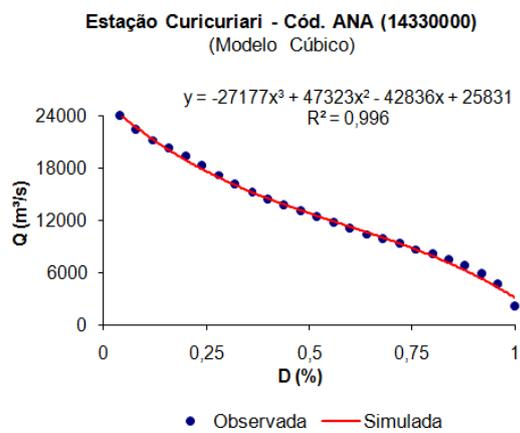


Figura 4.13 – Regiões homogêneas IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI e XII – Curvas calibradas com o modelo cúbico.

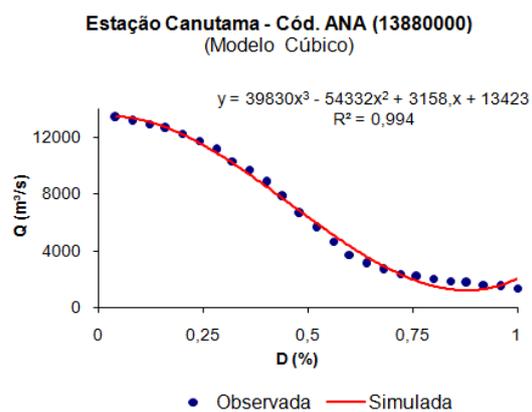
#### Região homogênea IV



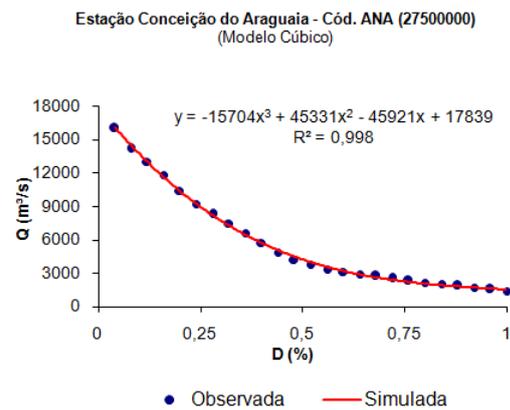
#### Região homogênea V



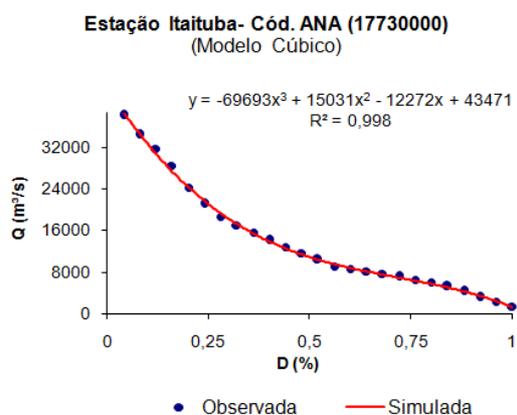
#### Região homogênea VI



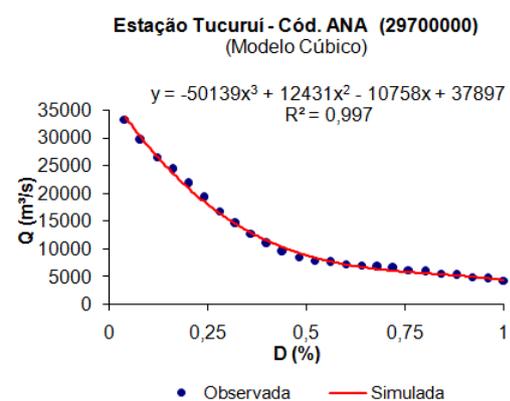
#### Região homogênea VII



#### Região homogênea VIII

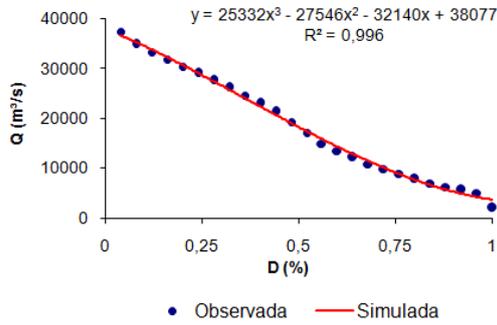


#### Região homogênea IX



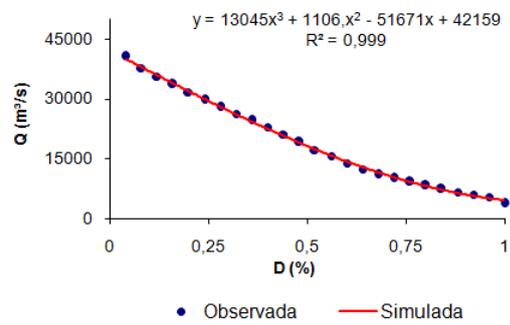
Região homogênea X

Estação Abunã - Cód. ANA (15320002)  
(Modelo Cúbico)



Região homogênea XI

Estação Porto Velho - Cód. ANA (29080000)  
(Modelo Cúbico)



Região homogênea XII

Estação Manicoré - Cód. ANA (15700000)  
(Modelo Cúbico)

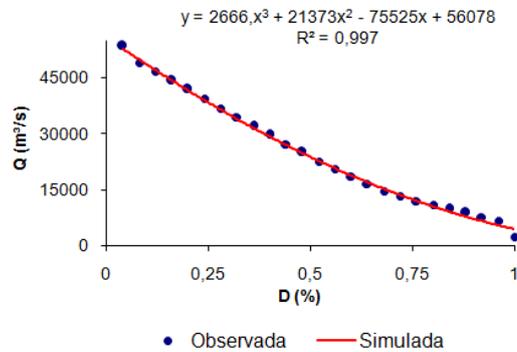
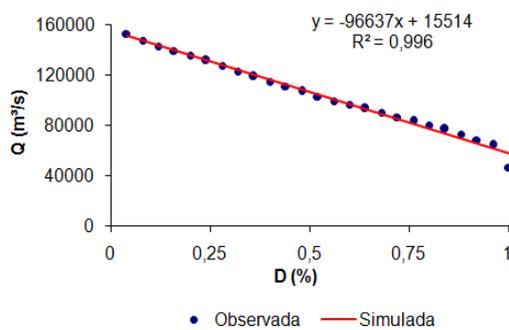


Figura 4.14 – Regiões homogêneas XIII e XIV – Curvas calibradas com o modelo linear.

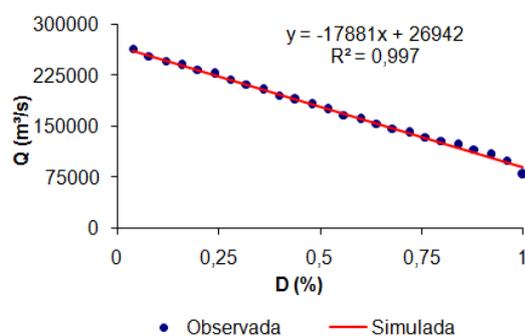
Região homogênea XIII

Estação Manacapuru - Cód. ANA (14100000)  
(Modelo Linear)



Região homogênea XIV

Estação Óbidos - Cód. ANA (17050001)  
(Modelo Linear)



### 4.3.1. Critério de desempenho dos modelos de regressão

Visando analisar o desempenho dos modelos matemáticos aos dados observados nas curvas de permanência de vazões, foram adotados critérios de avaliação como o erro quadrático relativo médio percentual -  $\epsilon\%$  (Eq.(03.8)) - e coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) dado pela equação (3.9). Lembrando que a faixa de variação do  $R^2_a$  é entre zero e 1, sendo que uma função é mais adequada quanto mais próximo de 1 for o  $R^2_a$ .

Na Tabela 4.6 é apresentado a média dos valores dos coeficientes de determinação ajustados e os erros quadráticos relativos médios percentuais, para as 4 regiões hidrologicamente homogêneas definidas por meio do método de *Ward* e a Tabela 4.7, por meio do método *fuzzy c-means*, de todos os modelos (linear, potência, exponencial, logarítmico, quadrático e cúbico) utilizados na calibração.

Tabela 4.6 – Médias do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e do erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) de cada modelo na calibração para cada uma das 4 regiões homogêneas – método *Ward*.

<b>Região Homogênea I</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
0,89	8,14	0,88	5,19	0,96	2,18	0,96	3,89	0,96	3,83	<b>0,99</b>	<b>1,66</b>
<b>Região Homogênea II</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
0,91	7,17	0,80	6,91	0,95	2,68	0,92	4,49	0,98	3,61	<b>0,99</b>	<b>1,75</b>
<b>Região Homogênea III</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
0,95	3,91	0,74	7,76	0,94	3,25	0,90	6,39	0,99	2,09	<b>0,99</b>	<b>1,65</b>
<b>Região Homogênea IV</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
0,98	1,18	0,74	3,74	0,93	1,72	0,86	3,30	0,98	1,20	<b>0,99</b>	<b>1,18</b>



0,87	6,83	0,90	4,20	0,97	1,67	0,98	2,13	0,99	2,42	<b>0,99</b>	<b>0,67</b>
<b>Região Homogênea X</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
0,98	3,61	0,67	12,48	0,93	5,15	0,88	11,04	0,99	3,86	<b>0,99</b>	<b>2,11</b>
<b>Região Homogênea XI</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
0,98	2,89	0,72	6,45	0,95	2,18	0,89	4,95	0,99	1,07	<b>0,99</b>	<b>0,90</b>
<b>Região Homogênea XII</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
0,98	3,70	0,68	9,46	0,92	3,87	0,87	7,93	0,99	2,10	<b>0,99</b>	<b>2,01</b>
<b>Região Homogênea XIII</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
<b>0,99</b>	<b>1,06</b>	0,74	7,65	0,95	4,82	0,86	8,53	0,99	3,67	0,99	2,56
<b>Região Homogênea XIV</b>											
Médias dos $R^2_a$ e $\epsilon(\%)$ para todos os modelos											
Linear		Potência		Exponencial		Logarítmico		Quadrático		Cúbico	
$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$	$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
<b>0,99</b>	<b>1,18</b>	0,74	3,74	0,93	1,72	0,86	3,30	0,98	1,28	0,99	1,20

Os ajustes encontrados foram considerados satisfatórios para a avaliação feita pelas médias do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e do erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon(\%)$ ) e pela análise gráfica do ajuste do melhor modelo às curvas de permanência de vazões observadas.

Na Tabela 4.6, nota-se que para as regiões homogêneas I, II e III o modelo cúbico foi o que melhor se ajustou às curvas de permanência. Já na região IV foi o modelo linear. Para as 14 regiões formadas por *fuzzy c-means* (Tabela 4.7), o modelo cúbico só não se ajustou bem para as regiões XIII e XIV (modelo linear), sendo que para as regiões II e III o modelo exponencial também apresentou um bom ajuste às curvas de permanência, com valores de  $R^2_a$  e  $\epsilon(\%)$  satisfatórios bem próximos dos valores encontrados pelo modelo cúbico.

Outra informação importante, observada nas Figuras 4.14 – 4.18, é que o melhor modelo de cada região homogênea ajustou-se às curvas de permanência de vazões de forma aproximada tanto nos picos como também nas estiagens. Isso indica que o conjunto de parâmetros encontrados para as bacias de cada região homogênea

pode ser utilizado, uma vez que simula de forma adequada a curva de permanência de vazões da bacia.

#### 4.4. MODELOS DE REGRESSÃO UTILIZADOS PARA A REGIONALIZAÇÃO

Por meio da calibração, pode-se entender que, para a simulação da curva de permanência de uma bacia hidrográfica sem dados de vazão e na mesma região homogênea analisada, deve-se determinar os parâmetros do ajuste de um modelo matemático à curva de permanência de vazão, conforme mostrado anteriormente. Já que as permanências  $D$  (%) são conhecidas, os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ , só podem representar as informações do regime hidrológico das bacias agrupadas. Ou seja, a transferência das informações das bacias que serviram para calibrar os modelos para as bacias sem dados de vazão é feita pela regionalização daqueles parâmetros. Assim, a regionalização é efetuada por meio da regressão dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  em relação às características morfoclimáticas das bacias calibradas. Foram consideradas como características morfoclimáticas as variáveis explicativas da vazão (APÊNDICE I): a área de drenagem, o comprimento, o desnível do rio e a precipitação média anual, simbolizados respectivamente por  $A$  (Km<sup>2</sup>),  $L$  (Km),  $H$  (m) e  $P$  (mm).

Não se aplicou o método de regionalização de curvas de permanência de vazões para as regiões homogêneas IV (método de *Ward*) e VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII e XIV (método *fuzzy c-means*) devido ao pequeno número de estações fluviométricas que as compõem. Nessas regiões, encontram-se grandes bacias, as quais geralmente são monitoradas devido à magnitude do recurso hídrico em questão, não necessitando de modelagem de vazões. Assim, algumas estações fluviométricas foram excluídas nesta etapa da regionalização por apresentarem vazões muito inferiores às vazões correspondentes ao conjunto de estações de uma determinada região homogênea, levando em consideração o tamanho da área de drenagem. Um exemplo, na região homogênea I definida por intermédio do método *fuzzy c-means*, de um conjunto de 98 estações fluviométricas, foram excluídas 13. As estações Esperança Cód. ANA 3317000 ( $A = 5930$  km<sup>2</sup>), Mirador Cód. ANA 3342000 ( $A = 6060$  km<sup>2</sup>) e Campo Largo Cód. ANA ( $A = 5750$  km<sup>2</sup>), três estações das treze excluídas, apresentam, respectivamente, vazões média diárias iguais a  $Q_{\text{méd}} = 18,41$  m<sup>3</sup>/s,  $Q_{\text{méd}} = 18,35$  m<sup>3</sup>/s e  $Q_{\text{méd}} = 33,04$  m<sup>3</sup>/s. Sendo que estações com tamanho de áreas de drenagem semelhantes, como: Missão

Catrimani Cód. ANA 14750000 ( $A = 6170 \text{ km}^2$ ) e Flor do Campo Cód. ANA 155526000 ( $A = 4360 \text{ km}^2$ ) apresentam vazões de  $Q_{\text{méd}} = 138,24 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_{\text{méd}} = 105,57 \text{ m}^3/\text{s}$ , ou seja, superiores a  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Todas as estações excluídas, de cada região homogênea, foram destacadas com a fonte na cor vermelha no APÊNDICE I.

Observa-se que a maioria das estações retiradas estão instaladas nas limitações do estados do Maranhão. Essas estações estavam contribuindo de forma negativa na etapa de aplicação do método de regionalização de curvas de permanência de vazões, pois na validação do modelo regional encontrou-se erros quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) muito elevados e coeficientes de NASH negativos, ao passo que, após a retirada das estações, houve uma melhora significativa.

As Tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 resumem os valores dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  do modelo cúbico que apresentou melhor ajuste para as regiões homogêneas I, II e III do método de *Ward*.

Tabela 4.8 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea I (método de *Ward*).

Código	Estações	Parâmetros				$R^2_a$	$\epsilon(\%)$
		$a$	$b$	$c$	$d$		
18250000	Uruará	187,7	672	913,53	421,5	0,99	2,86
17345000	Base do Cachimbo	58,378	138,57	181,57	89,696	0,99	0,46
18121006	Barragem Conj. 4	512,84	1400,5	1912,4	976,21	0,99	1,57
17610000	Creporizão	776,13	1992,8	1913,1	648,86	0,99	0,87
17675000	Jardim do ouro	3913,6	10020	9624,7	3365,5	0,99	0,30
18870000	Aldeia Bacajá	857,51	2992,5	3798,2	1631,5	0,99	0,91
18880000	Faz. Cipauba	1656,8	6301,4	8632,2	3932,1	0,99	2,02
18500000	Boa Esperança	3305,6	9090,7	8831,3	2855,1	0,99	1,25
18590000	Manoel Jorge (TP)	4536,3	14716	17923	7561,3	0,99	1,20
18600000	Laranjeiras	4473,2	10058	6567,6	615,87	0,99	2,68
18640000	Aldeia Baú	1583,6	3842,8	3117,9	731,19	0,99	1,79
29100000	Faz. Alegria	2311,8	7373,2	9114,8	3932,2	0,99	0,78
31650000	Tauri	1098,5	3312	4586,5	2269,2	0,99	0,82
31020000	Cach. Tracambeua	546,33	1844	2458,1	1128,7	0,99	0,81
31520000	Bom Jardim	469,39	1409,8	1795,7	827,13	0,99	0,55
32450002	Tararua Ponte	344,1	1167,8	1467,9	631,48	0,99	1,06
32550000	Cafezal	193,53	503,33	605,17	267,29	0,99	0,30
31680000	Faz. Maringá	1239	3209,6	4240,6	2125,5	0,99	0,41
31700000	Badajós	1433,7	3879,5	5630,4	3011,9	0,99	0,82
32540000	Faz. Rural Zebu	264,34	735,61	1151,4	639,05	0,99	0,56
32620000	Alto Bonito	1706,8	5321,5	6743,1	2999,6	0,99	0,33
18200000	Arapari	591,58	2123,1	2978,1	1422,2	0,99	2,33

17090000	Boca do Inferno	829,36	3186,7	4735,9	2333,8	0,99	2,38
18280000	Apalaí	505,16	1465,4	1771,9	792,23	0,99	1,44
16700000	Tirios	75,749	258,28	364,25	177,74	0,99	2,09
16480000	Aldeia Wai-Wai	2144	5797	6218,8	2470,6	0,99	0,28
16430000	Garganta	4993	13220	14436	5949,1	0,99	0,73
16460000	Caramujo	6773,3	20037	26356	12693	0,99	2,30
16500000	Estirão da Angélica	2498,9	7309	8822,9	3906,3	0,99	1,35
19985000	Pacajás	599,63	2058,3	2637,7	1159,5	0,99	1,47
12360000	Foz do Breu	872,25	3263,4	4842,5	2392,6	0,98	2,11
12370000	Taumaturgo	1651,3	5576,8	7297,7	3306,6	0,99	1,96
12390000	Porto Walter	2905	6311,3	7254,9	2941,8	0,99	0,88
12400000	Serra do Moa	123,96	427,91	649,98	336,88	0,97	2,20
12500000	Cruzeiro do sul	2937,5	7836,7	8560,9	3497,5	0,99	0,92
12510000	Seringal Bom Futuro	382,03	1340,3	1806,2	832,06	0,99	2,15
12530000	Fazenda Paranacre	361,34	1244,4	1658,7	758,56	0,99	1,88
12650000	Feijó	1806,5	5806,6	5450	2803,5	0,99	0,69
13180000	Manoel Urbano	3268,8	9530,3	10410	3988,5	0,99	0,78
13300000	Seringal São José	1098,2	3938,1	5417,8	2536,9	0,99	2,31
13450000	Assis Brasil	337,95	1230,3	1998,4	1061,2	0,94	2,26
13470000	Brasiléia	567,02	2083,2	3103,8	1543,4	0,98	2,01
13550000	Xapuri	868,8	2930,7	3931,9	1819,3	0,99	1,50
13600002	Rio Branco	1439,4	4620,1	5510,1	2262,7	0,99	0,55
15324000	Plácido de Castro	340,82	652,35	266,26	76,911	0,99	2,81
19100000	Iratapuru	234,04	609,83	771,35	372,92	0,99	0,91
19150000	São Francisco	3308,9	8411,1	9912,3	4648,3	0,99	1,28
19200000	São Pedro	72,215	221,96	264,94	110,6	0,99	0,56
19300000	Pancada	133,96	328,3	414,68	211,12	0,99	0,57
30070000	Cunani	64,241	177,07	208,75	91,703	0,98	1,56
30075000	Tartarugal Grande	292,72	769,24	785,53	293,31	0,99	0,83
30080000	Capivara	1085,3	2898,7	3116,7	1259,9	0,99	1,40
30300000	Serra do Navio	881,03	1902,5	2144,5	1059,3	0,99	1,50
15130000	Pimenteiras	1048,1	986,32	671,75	808,28	0,99	1,18
15431000	Fazenda Rio Branco	88,576	218,96	205,36	67,992	0,99	0,53
15432000	Ponte Massangana	74,925	187,28	175,65	58,155	0,99	0,53
15552600	Faz. Flor do campo	258,03	602,67	777,89	371,08	0,99	0,59
15558000	Pimenta Bueno	645,29	1759,6	2143,5	963,12	0,99	0,90
15560000	Jiparaná	2275,9	5740,9	5667,3	1965,3	0,99	0,76
15565000	Jaru	334,78	971,35	1087,4	430,91	0,99	0,52
15580000	Tabajara	4349,4	9737,8	7951,4	2195,4	0,99	1,05
15590000	Mineração Jacundá	112,3	277,9	262,76	87,623	0,99	0,96
14500000	Mocidade	712,48	2042,2	2601,2	1253,9	0,99	2,47
14515000	Fazenda Passarão	4466,8	11842	14855	7211,3	0,99	0,67
14526000	Bom Fim	1352,5	6182,2	9649,1	4811,2	0,99	5,86
14530000	Vila Surumu	339,19	1242,4	1876	943,78	0,97	2,11
14540000	Faz. Bandeira Branca	387,69	1312,7	1930,6	979,46	0,97	2,28
14550000	Maloca do Contão	673,65	2383,3	3537,7	1772,5	0,98	1,99
14650000	Posto Funai	738,37	1532,3	1736,2	861,11	0,99	0,89
14680001	Fé e Esperança	820,79	1983,3	2491,9	1265,5	0,99	0,76

14690000	Mucajaí	1570	3653,6	4052,6	1896,2	0,99	0,58
14750000	Missão Catrimani	400,86	889,36	878,26	366,06	0,99	0,31
14845000	Fazenda São José	769,58	2901,9	4157,7	2008	0,98	3,47
14850000	Base Alalau	712,48	2402,2	2601,2	1253,9	0,99	2,47
10200000	Palmeiras do javari	1303,6	942,19	1054,1	772,96	0,99	1,39
10500000	Estirão do reepouso	4733	1946,8	5759,9	3389,8	0,99	0,95
12100000	Colocação caxias	1145,9	871,58	1856,8	1690,6	0,99	4,12
12200000	Barreira Alta	2821,7	511,67	7268,1	4343,8	0,99	1,48
12240000	Porto Seguro	3985,1	443,3	6539,7	3775	0,99	0,60
12680000	Envira	3879,4	8652,5	6275,6	1272,3	0,99	0,82
12870000	Barreirinha	4707	9644,5	8471,3	3351,9	0,99	0,64
12880000	Estirão da Santa Cruz	1049,9	545,13	916,62	534,81	0,99	0,87
13410000	Seringal da caridade	4991,5	13468	13395	4603,4	0,99	1,00
13650000	Floriano peixoto	2252,8	6359	6631,8	2408,4	0,99	0,86
13740000	Faz. Borangaba	2032,6	1857,6	2884,9	2901	0,99	32,04
13885000	Cristo	831,87	1516,8	391,45	386,15	0,99	3,09
13886000	Bacaba	3293,5	2199,4	5057,8	4416	0,99	1,79
14230000	Missão Içana	3817,8	5927,8	5794,2	3154,7	0,99	1,69
14280001	Taraqua	5915,6	10109	11616	7011,9	0,99	1,56
14300000	Pari Cachoeira	316,77	774,15	1108,2	621,4	0,99	1,67
14325000	Tumbira	1490,4	1978,1	2431,7	1699,7	0,99	1,86
15042000	Rio Preto da Eva	79,151	183,09	248,31	129,03	0,99	0,43
15800000	Boca do Guariba	4505,6	8277	2537,8	1582,4	0,98	2,63
16200000	Base da Siderama	2312	6500,6	7664,6	3378,1	0,99	1,22
16368000	Mineração Caima	1006,2	3104,4	4023,4	1874,9	0,99	0,86
15910000	Santarém Sucunduri	1569,5	3793,1	2904,8	579,1	0,99	2,75
14450000	Jalauaca	1273,4	1477,2	382,7	661,26	0,99	1,23
14440000	Porto Ajuricaba	1684,2	4507	5016,9	2150,6	0,99	1,97
21850000	Rio da Palma	669,2	1980,7	3100	1609,2	0,96	2,26
21900000	Paraná	2883,4	9775,4	15383	7989,8	0,96	1,56
22190000	Porto Alegre	112,24	330	501,24	261,39	0,98	0,95
22250000	Fazenda Lobeira	824,98	2933,8	4218,4	2052,2	0,98	1,97
22700000	Novo Acordo	819,9	2101,3	3156,5	1711,9	0,99	0,68
22750000	Rio das Balsas	789,18	2427,1	3475,7	1730,4	0,99	1,19
22850000	Dois Irmãos	709,09	2245,7	3215,7	1597,9	0,98	1,37
22900000	Porto Real	2117	5834,3	7815,8	3801,4	0,99	1,13
23250000	Goiantins	435,21	1215	1710,2	865,15	0,99	0,78
26710000	Barreira do Pequi	939,71	2775,9	2597,9	707,13	0,98	6,87
26720000	Praia Alta	387,36	1463,1	2191,7	1086,1	0,99	1,93
26750000	Projeto Rio formoso	419	1064,2	849,23	180,51	0,99	3,87
27550000	Arapoema	99,589	277,72	319,98	134,17	0,99	0,67
28150000	Muricilandia	103,38	270,66	294,69	119,48	0,99	0,35
28240000	Piraque	275,18	825,62	1054,5	483,84	0,99	0,53
33280000	Pedreiras	296,83	995,74	1477	729,15	0,99	1,18
32740000	Maracacume	360,97	1447	2122	1020,6	0,99	2,24
32830000	Alto Turi	380,02	1314,2	1683	737,17	0,99	1,58
33170000	Esperantina	103,27	437,02	698,96	359,81	0,97	3,38
33215000	Rio Corda II	36,259	45,777	54,096	29,228	0,99	0,20

33250000	Barra do Corda	139,42	362,24	552,4	292,47	0,97	0,56
33270000	Flores	8,3771	29,717	46,395	24,57	0,95	2,70
33281000	Pedreiras II	321,59	1211	1978,2	1054,4	0,95	2,48
33290000	Bacabal	405,62	1455,1	2194,6	1091,7	0,98	1,48
33320000	Grajau	165,07	666,19	1100	582,67	0,92	2,95
33330000	Fortaleza	96,904	429,81	743,48	403,61	0,83	4,59
33380000	Aratoi Grande	574,38	2361,5	3520,6	1713,9	0,99	2,97
33420000	Mirador	42,623	109,89	161,44	83,814	0,98	0,76
33430000	Fernando Falcão	41,82	58,37	82,14	42,85	0,98	0,33
33450000	Campo Largo	50,662	70,49	94,802	50,25	0,99	0,23
33480000	Colinas	107,78	224,06	331,45	181,92	0,99	0,66
33550000	Caxias	227,04	727,01	1131,1	595,7	0,97	1,70
33590000	Codó	464,86	1803,6	2856,9	1467	0,97	1,70
33630000	Coroata	804,93	3383,5	5474,7	2834,3	0,94	3,06
34130000	Balsas	212,52	458,66	648,95	340,24	0,99	0,44
15050000	Pontes e lacerda	125,35	301,47	429,79	222	0,99	0,71
15120001	Mato Grosso	445,26	1346,1	1683	737,24	0,99	0,64
15750000	Humboldt	1080,1	2713,1	2448,5	738,65	0,99	0,75
15820000	Concisa	1594,8	3758,8	3324,3	995,85	0,99	1,84
17091000	Fazenda Tucunaré	178,7	127,9	168,61	92,956	0,99	0,13
17093000	Fontanilhas	2172,8	2346,4	2522,4	1300,4	0,99	0,64
17095000	Fazenda Tombador	914,55	1332,2	1307,2	554,27	0,99	0,23
17200000	Porto Roncador	1030,3	3193,6	3962,5	1709,3	1,00	0,71
17210000	Teles Pires	1180,2	3593,8	4672,4	2180,4	0,99	1,15
17280000	Cachoeirão	1987,8	4279,1	4417,7	1737,5	0,99	0,23
17300000	Faz. Tratex	2321,9	5249,8	5728,1	2357,5	0,99	0,15
17340000	Indeco	3002,9	6471,6	6176,6	2210,7	0,99	0,64
17350000	Cachimbo	121,35	359,37	420,22	170,08	1,00	0,55
18409000	Passagem da BR-309	35,935	71,082	86,233	47,245	0,99	0,57
18420000	Fazenda Itaguaçu	179,16	388,77	473,48	218,22	0,99	0,26
18423000	Consul	206,32	292,86	291,08	139,71	0,99	0,24
18435000	Rio Com. Fontoura	215,5	219,48	113,73	151,17	0,99	0,87
24050000	Alto Araguaia	86,287	154,64	230,49	136,19	0,99	0,37
24200000	Torixoreu	1286,9	4008,6	5541,8	2672,1	0,98	1,31
24500000	Tesouro	411,54	1300,5	1928,1	982,29	0,97	1,50
24650000	General Carneiro	180,85	599,1	843,81	409,57	0,98	1,50
26040000	Rio das Mortes	223,63	411,55	541,75	281,97	0,99	0,51
26100000	Xavantina	1258,4	3204,6	4376	2193	0,99	0,48
66005000	Alto Paraguai	49,775	167,53	253,13	130,68	0,95	2,14
66006000	Nortelândia	127,59	361,92	526,35	276,17	0,99	1,01
66010000	Barra do Bugres	575,31	1716	2224,1	1041,3	0,99	0,61
66015000	Porto Estrela	651,63	1881	2358,3	1073,8	0,99	0,66
66050000	Tapirapuã	364,6	761,12	951,36	460,94	0,99	0,26
66070004	Cáceres (PNPVN)	1456,1	3529	4183,9	1890,6	0,99	0,36
66090000	Descalvados	1070,4	1169,4	695,06	371,97	0,99	1,02
66120000	Porto Conceição	751,44	1051,7	1189,4	677,09	0,99	0,73
66140000	Marzagão	335,29	1350,3	2025,2	999,38	0,98	3,26
66171500	Faz. Riacho Doce	85,124	140,91	183,16	94,275	0,98	0,48

66250001	Rosário Oeste	1147,9	4107	6106,7	3063,7	0,97	2,80
66255000	Acorizal	1281,4	4480,3	6531	3234,8	0,99	1,76
66260001	Cuiabá	1526	5383,6	7928,6	3964,7	0,99	0,56
66340000	Porto Cercado	652,42	408,97	836,6	724,33	0,99	1,81
66360000	São João	439,12	121,39	511,53	289,63	0,99	0,95
66370000	Ilha Camargo	713,95	541,39	697,2	686,53	0,99	1,79
66465000	Colônia santa Isabel	407,6	63,099	788,94	430,03	0,99	0,53
66470000	São José do Boriréu	421,55	152,69	392,48	242,78	0,97	23,54
66520000	Itiquira	182,06	375	486,27	243,07	0,98	0,56
66600000	São Jerônimo	611,41	1547,3	2126,7	1092,5	0,99	0,11
17123000	Rio Arinos	2930,9	4002,7	1119,7	519,89	0,99	0,83
17120000	Porto dos Gaúchos	1502,3	2663,1	2750,9	1232	0,98	0,67
17121000	Caiabis (Balsa)	590,54	892,1	423,97	58,015	0,99	5,39
<b>Média =</b>						<b>0,99</b>	<b>1,66</b>

Tabela 4.9 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea II (método de Ward).

Código	Estações	Parâmetros				R <sup>2</sup> _a	ε(%)
		a	b	c	d		
18520000	Belo Horizonte	15720	33499	23681	4163,9	0,99	1,46
27500000	Conc. Araguaia	17839	45921	45331	15704	0,99	0,76
17730000	Itaituba	43471	122720	150319	69693	0,99	0,80
17650002	Acará do Tapajós	22355	41460	28014	5167,4	0,99	0,53
17500000	Fortaleza	24356	42774	23976	1335,4	0,99	0,77
15150000	Pedras Negras	1995,4	1413	3200,3	2887,2	0,99	1,63
11444900	Ipiranga Novo	13161	20478	30057	20893	0,99	2,20
12840000	gavião	9152,8	2771,1	33975	23221	0,99	2,20
12850000	Acanauí	23461	21632	22489	19900	0,99	4,05
13750000	Seringal Fortaleza	10544	16431	14,075	6937,2	0,99	2,45
13870000	Lábrea	11818	1065,9	44141	33003	0,99	4,04
13880000	Canutama	13423	3158,1	54332	39830	0,99	3,15
14250000	São Felipe	18117	32433	32341	16253	0,99	1,27
14330000	Curicuriari	25831	42836	47323	27177	0,99	2,03
15830000	Prainha Velha	10193	19616	8994,3	1218,4	0,99	3,14
17430000	Barra do São Manuel	18647	26104	4701	6221	0,99	1,19
14420000	Serrinha	34192	57456	71188	42933	0,99	2,66
22350000	Porto Nacional	8507,1	27821	39028	18979	0,98	0,56
22500000	Miracema Tocantins	8406,8	27324	37861	18222	0,98	1,55
23600000	Tocantinópolis	15399	46351	61545	29031	0,98	1,29
26030000	Fazenda Telesforo	4753,6	12263	12896	4954,8	0,99	1,04
23300000	Carolina	12277	35465	46254	21840	0,99	0,83
17410000	Santa Rosa	8315,6	14557	7516,4	174,06	0,99	1,55
17130000	Foz do Juruena	10133	13753	2837	3339,2	0,99	0,75
<b>Média =</b>						<b>0,99</b>	<b>1,75</b>

Tabela 4.10 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea III (método de *Ward*).

Código	Estações	Parâmetros				R <sup>2</sup> _a	ε(%)
		a	b	c	d		
29200000	Itupiranga	33605	79079	85542	36598	0,99	0,50
29700000	Tucuruí	37897	107587	124311	50139	0,99	0,84
15320002	Abunã	38077	32140	27546	25332	0,99	3,11
15400000	Porto Velho	42159	51671	1106,1	13045	0,99	0,94
11400000	São Paulo Olivença	79075	86214	78398	51905	0,99	0,86
11500000	Santo Antônio do Içá	87798	75769	64207	53481	0,99	1,32
14100000	Manacapuru	160714	156503	143032	93529	0,99	2,56
15630000	Humaitá	49589	43108	40420	39627	0,99	1,21
15700000	Manicoré	56078	75525	21373	2666,1	0,99	3,51
<b>Média =</b>						<b>0,99</b>	<b>1,65</b>

As Tabelas 4.11, 4.14, 4.15 e 4.16 expressam os valores dos parâmetros *a*, *b*, *c* e *d* do modelo cúbico que apresentou melhor ajuste para as regiões homogêneas I, IV, V e VI. Já as Tabelas 4.12 e 4.13 resumem os valores dos parâmetros *a* e *b* do modelo exponencial que se ajustou melhor nas regiões homogêneas II e III do método *fuzzy c-means*. Além dos parâmetros, também é possível visualizar os valores do coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>\_a) e do erro quadrático relativo médio percentual (ε%) de cada bacia pertencente às suas regiões homogêneas.

Tabela 4.11 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea I (método *Fuzzy c-means*).

Código	Estações	Parâmetros				R <sup>2</sup> _a	ε(%)
		a	b	c	d		
18250000	Uruará	187,7	672	913,53	421,5	0,99	2,86
17345000	Base do Cachimbo	58,378	138,57	181,57	89,696	0,99	0,46
17610000	Creporizão	776,13	1992,8	1913,1	648,86	0,99	0,87
18870000	Aldeia Bacajá	857,51	2992,5	3798,2	1631,5	0,99	0,91
31020000	Cach. Tracambeua	546,33	1844	2458,1	1128,7	0,99	0,81
31520000	Bom Jardim	469,39	1409,8	1795,7	827,13	0,99	0,55
32450002	Tararua Ponte	344,1	1167,8	1467,9	631,48	0,99	1,06
32550000	Cafezal	193,53	503,33	605,17	267,29	0,99	0,30
18200000	Arapari	591,58	2123,1	2978,1	1422,2	0,99	2,33
18280000	Apalaí	505,16	1465,4	1771,9	792,23	0,99	1,44
16700000	Tirios	75,749	258,28	364,25	177,74	0,99	2,09
19985000	Pacajás	599,63	2058,3	2637,7	1159,5	0,99	1,47
12360000	Foz do Breu	872,25	3263,4	4842,5	2392,6	0,98	2,11

12400000	Serra do Moa	123,96	427,91	649,98	336,88	0,97	2,20
12510000	Seringal Bom Futuro	382,03	1340,3	1806,2	832,06	0,99	2,15
12530000	Fazenda Paranacre	361,34	1244,4	1658,7	758,56	0,99	1,88
13300000	Seringal São José	1098,2	3938,1	5417,8	2536,9	0,99	2,31
13450000	Assis Brasil	337,95	1230,3	1998,4	1061,2	0,94	2,26
13470000	Brasiléia	567,02	2083,2	3103,8	1543,4	0,98	2,01
13550000	Xapuri	868,8	2930,7	3931,9	1819,3	0,99	1,50
15324000	Plácido de Castro	340,82	652,35	266,26	76,911	0,99	2,81
19100000	Iratapuru	234,04	609,83	771,35	372,92	0,99	0,91
19200000	São Pedro	72,215	221,96	264,94	110,6	0,99	0,56
19300000	Pancada	133,96	328,3	414,68	211,12	0,99	0,57
30070000	Cunani	64,241	177,07	208,75	91,703	0,98	1,56
30075000	Tartarugal Grande	292,72	769,24	785,53	293,31	0,99	0,83
30080000	Capivara	1085,3	2898,7	3116,7	1259,9	0,99	1,40
30300000	Serra do Navio	881,03	1902,5	2144,5	1059,3	0,99	1,50
15431000	Fazenda Rio Branco	88,576	218,96	205,36	67,992	0,99	0,53
15432000	Min. Ponte Massangana	74,925	187,28	175,65	58,155	0,99	0,53
15552600	Faz. Flor do campo	258,03	602,67	777,89	371,08	0,99	0,59
15558000	Pimenta Bueno	645,29	1759,6	2143,5	963,12	0,99	0,90
15565000	Jaru	334,78	971,35	1087,4	430,91	0,99	0,52
15590000	Mineração Jacundá	112,3	277,9	262,76	87,623	0,99	0,96
14526000	Bom Fim	1352,5	6182,2	9649,1	4811,2	0,99	5,86
14530000	Vila Surumu	339,19	1242,4	1876	943,78	0,97	2,11
14540000	Faz. Bandeira Branca	387,69	1312,7	1930,6	979,46	0,97	2,28
14550000	Maloca do Contão	673,65	2383,3	3537,7	1772,5	0,98	1,99
14650000	Posto Funai	738,37	1532,3	1736,2	861,11	0,99	0,89
14680001	Fé e Esperança	820,79	1983,3	2491,9	1265,5	0,99	0,76
14750000	Missão Catrimani	400,86	889,36	878,26	366,06	0,99	0,31
14845000	Fazenda São José	769,58	2901,9	4157,7	2008	0,98	3,47
14850000	Base Alalau	712,48	2402,2	2601,2	1253,9	0,99	2,47
12100000	Colocação caxias	1145,9	871,58	1856,8	1690,6	0,99	4,12
12870000	Barreirinha	4707	9644,5	8471,3	3351,9	0,99	0,64
12880000	Estirão da Santa Cruz	1049,9	545,13	916,62	534,81	0,99	0,87
13885000	Cristo	831,87	1516,8	391,45	386,15	0,99	3,09
14300000	Pari Cachoeira	316,77	774,15	1108,2	621,4	0,99	1,67
14325000	Tumbira	1490,4	1978,1	2431,7	1699,7	0,99	1,86
15042000	Rio Preto da Eva	79,151	183,09	248,31	129,03	0,99	0,43
16368000	Mineração Caima	1006,2	3104,4	4023,4	1874,9	0,99	0,86
15910000	Santarém Sucunduri	1569,5	3793,1	2904,8	579,1	0,99	2,75
21850000	Rio da Palma	669,2	1980,7	3100	1609,2	0,96	2,26
22190000	Porto Alegre	112,24	330	501,24	261,39	0,98	0,95
22250000	Fazenda Lobeira	824,98	2933,8	4218,4	2052,2	0,98	1,97
22750000	Rio das Balsas	789,18	2427,1	3475,7	1730,4	0,99	1,19
22850000	Dois Irmãos	709,09	2245,7	3215,7	1597,9	0,98	1,37
23250000	Goiantins	435,21	1215	1710,2	865,15	0,99	0,78
26710000	Barreira do Pequi	939,71	2775,9	2597,9	707,13	0,98	6,87
26720000	Praia Alta	387,36	1463,1	2191,7	1086,1	0,99	1,93
26750000	Projeto Rio formoso	419	1064,2	849,23	180,51	0,99	3,87

27550000	Arapoema	99,589	277,72	319,98	134,17	0,99	0,67
28150000	Muricilandia	103,38	270,66	294,69	119,48	0,99	0,35
28240000	Piraque	275,18	825,62	1054,5	483,84	0,99	0,53
32740000	Maracacume	360,97	1447	2122	1020,6	0,99	2,24
32830000	Alto Turi	380,02	1314,2	1683	737,17	0,99	1,58
33170000	Esperantina	103,27	437,02	698,96	359,81	0,97	3,38
33215000	Rio Corda II	36,259	45,777	54,096	29,228	0,99	0,20
33250000	Barra do Corda	139,42	362,24	552,4	292,47	0,97	0,56
33270000	Flores	8,3771	29,717	46,395	24,57	0,95	2,70
33320000	Grajau	165,07	666,19	1100	582,67	0,92	2,95
33330000	Fortaleza	96,904	429,81	743,48	403,61	0,83	4,59
33420000	Mirador	42,623	109,89	161,44	83,814	0,98	0,76
33430000	Fernando Falcão	41,82	58,37	82,14	42,85	0,98	0,33
33450000	Campo Largo	50,662	70,49	94,802	50,25	0,99	0,23
34130000	Balsas	212,52	458,66	648,95	340,24	0,99	0,44
15050000	Pontes e lacerda	125,35	301,47	429,79	222	0,99	0,71
17091000	Fazenda Tucunaré	178,7	127,9	168,61	92,956	0,99	0,13
17200000	Porto Roncador	1030,3	3193,6	3962,5	1709,3	1,00	0,71
17210000	Teles Pires	1180,2	3593,8	4672,4	2180,4	0,99	1,15
17350000	Cachimbo	121,35	359,37	420,22	170,08	1,00	0,55
18409000	Passagem da BR-309	35,935	71,082	86,233	47,245	0,99	0,57
18420000	Fazenda Itaguaçu	179,16	388,77	473,48	218,22	0,99	0,26
18423000	Consul	206,32	292,86	291,08	139,71	0,99	0,24
18435000	Rio Comandante Fontou	215,5	219,48	113,73	151,17	0,99	0,87
24050000	Alto Araguaia	86,287	154,64	230,49	136,19	0,99	0,37
24500000	Tesouro	411,54	1300,5	1928,1	982,29	0,97	1,50
24650000	General Carneiro	180,85	599,1	843,81	409,57	0,98	1,50
26040000	Rio das Mortes	223,63	411,55	541,75	281,97	0,99	0,51
66005000	Alto Paraguai	49,775	167,53	253,13	130,68	0,95	2,14
66006000	Nortelândia	127,59	361,92	526,35	276,17	0,99	1,01
66010000	Barra do Bugres	575,31	1716	2224,1	1041,3	0,99	0,61
66015000	Porto Estrela	651,63	1881	2358,3	1073,8	0,99	0,66
66050000	Tapirapuã	364,6	761,12	951,36	460,94	0,99	0,26
66140000	Marzagão	335,29	1350,3	2025,2	999,38	0,98	3,26
66171500	Faz. Riacho Doce	85,124	140,91	183,16	94,275	0,98	0,48
66520000	Itiquira	182,06	375	486,27	243,07	0,98	0,56
17121000	Caiabis (Balsa)	590,54	892,1	423,97	58,015	0,99	5,39
<b>Média =</b>						<b>0,98</b>	<b>1,51</b>

Tabela 4.12 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo exponencial ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea II (método *Fuzzy c-means*).

Código	Estações	Parâmetros		R <sup>2</sup> _a	ε(%)
		a	b		
18121006	Barragem Conj. 4	455,47	1,902	0,93	3,89
17675000	Jardim do ouro	4322,7	3,22	0,99	0,72

18880000	Faz. Cipaubá	1115,8	2,943	0,93	4,60
18640000	Aldeia Baú	1572,3	2,916	0,98	2,01
29100000	Faz. Alegria	1910,2	2,731	0,98	2,09
31650000	Tauri	878,31	1,888	0,98	1,69
31680000	Faz. Maringá	1089,4	1,769	0,97	1,81
31700000	Badajós	1228,1	1,612	0,94	2,49
32540000	Faz. Rural Zebu	214,48	1,329	0,93	2,14
32620000	Alto Bonito	1355,4	2,337	0,97	2,40
17090000	Boca do Inferno	525,45	2,171	0,93	3,36
16480000	Aldeia Wai-Wai	2180	2,942	0,99	1,17
16500000	Estirão da Angélica	2335,5	2,725	0,99	0,73
12370000	Taumaturgo	1322,6	2,765	0,98	2,10
12390000	Porto Walter	1903,9	2,98	0,99	1,18
12650000	Feijó	1754,4	3,023	0,99	0,78
13180000	Manoel Urbano	3058,7	3,056	0,99	1,51
13600002	Rio Branco	1214,3	3,029	0,98	2,73
15560000	Jiparaná	2041,7	2,348	0,98	1,83
14690000	Mucajá	1744	2,549	0,94	4,93
10200000	Palmeiras do javari	1989,5	2,625	0,90	6,67
12200000	Barreira Alta	4232,8	2,079	0,92	2,90
13650000	Floriano peixoto	2163,8	3,088	0,99	1,69
13740000	Faz. Borangaba	2939,2	3,112	0,98	2,97
14230000	Missão Içana	4233,7	1,738	0,91	4,15
16200000	Base da Siderama	2248	2,728	0,99	0,56
14450000	Jalauaca	1807,5	2,859	0,96	2,25
14440000	Porto Ajuricaba	1829,7	3,027	0,99	0,87
22700000	Novo Acordo	669,06	1,21	0,96	1,39
33280000	Pedreiras	192,09	1,376	0,86	2,80
33281000	Pedreiras II	199,12	1,418	0,88	2,83
33290000	Bacabal	251,25	1,515	0,86	3,24
33380000	Aratoi Grande	332,84	2,48	0,89	3,96
33480000	Colinas	91,489	0,904	0,96	0,79
33550000	Caxias	159,94	1,316	0,92	1,80
33590000	Codó	268,1	1,493	0,92	1,80
15120001	Mato Grosso	344,38	2,109	0,96	2,33
15750000	Humboldt	1071,8	2,883	0,99	1,36
15820000	Concisa	1510,5	2,434	0,98	1,78
17095000	Fazenda Tombador	837,22	0,937	0,99	0,64
17280000	Cachoeirão	1738,2	1,572	0,98	1,20
24200000	Torixoreu	956,37	1,778	0,96	1,93
26100000	Xavantina	1025	1,37	0,97	1,38
66070004	Cáceres (PNPVN)	1260,4	1,701	0,98	1,27
66250001	Rosário Oeste	783,6	1,934	0,95	2,30
66255000	Acorizal	894,95	1,97	0,95	2,41
66260001	Cuiabá	1070,2	1,993	0,95	2,42
66340000	Porto Cercado	786,8	1,886	0,98	1,29
66465000	Colônia santa Isabel	529,68	1,391	0,94	2,09
66470000	São José do Boriréu	499,89	1,328	0,98	9,87

66600000	São Jerônimo	517,45	1,48	0,97	1,56
17120000	Porto dos Gaúchos	1401,9	1,326	0,99	0,57
<b>Média =</b>				<b>0,97</b>	<b>2,29</b>

Tabela 4.13 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo exponencial ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea III (método *Fuzzy c-means*).

Código	Estações	Parâmetros		R <sup>2</sup> _a	ε(%)
		a	b		
18500000	Boa Esperança	3209,4	3,183	0,98	1,36
18590000	Manoel Jorge (TP)	3862,5	3,044	0,98	2,50
18600000	Laranjeiras	4707,5	3,069	0,99	1,92
16430000	Garganta	4966,4	2,717	0,99	0,42
16460000	Caramujo	5899,7	2,272	0,99	0,72
12500000	Cruzeiro do sul	2883,1	2,703	0,99	0,86
19150000	São Francisco	3386,8	2,474	0,98	0,73
15130000	Pimenteiras	1205,3	1,91	0,99	0,78
15580000	Tabajara	4470,1	2,624	1,00	0,61
14500000	Mocidade	711,62	2,695	0,98	2,19
14515000	Fazenda Passarão	4296,3	2,279	0,98	1,98
10500000	Estirão do reepouso	1165	0,676	0,63	4,42
12240000	Porto Seguro	5315,6	1,696	0,94	2,47
12680000	Envira	4406,3	3,137	0,99	0,95
13410000	Seringal da caridade	4782,7	2,94	0,99	1,78
13886000	Bacaba	4359,6	2,408	0,98	1,98
14280001	Taraqua	7182,4	2,082	0,92	4,20
15800000	Boca do Guariba	5473,3	3,212	0,99	1,51
21900000	Paraná	1870,9	1,213	0,93	1,82
22900000	Porto Real	1701,9	1,634	0,98	1,21
33630000	Coroata	424,24	1,624	0,90	3,79
17093000	Fontanilhas	2059	0,653	0,98	0,61
17300000	Faz. Tratex	1988,3	1,569	0,98	1,20
17340000	Indeco	2708	1,792	0,98	1,08
66090000	Descalvados	1192,5	1,461	0,95	2,08
66120000	Porto Conceição	747,6	1,108	0,96	1,44
66360000	São João	558,11	1,557	0,96	2,21
66370000	Ilha Camargo	813,52	1,743	0,99	0,85
17123000	Rio Arinos	3069,3	1,776	0,99	0,51
<b>Média =</b>				<b>0,97</b>	<b>1,66</b>

Tabela 4.14 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea IV (método *Fuzzy c-means*).

Código	Estações	Parâmetros				R <sup>2</sup> _a	ε(%)
		a	b	c	d		
15150000	Pedras Negras	1995,4	1413	3200,3	2887,2	0,99	1,63
11444900	Ipiranga Novo	13161	20478	30057	20893	0,99	2,20
13750000	Seringal Fortaleza	10544	16431	14,075	6937,2	0,99	2,45
14250000	São Felipe	18117	32433	32341	16253	0,99	1,27
15830000	Prainha Velha	10193	19616	8994,3	1218,4	0,99	3,14
26030000	Fazenda Telesforo	4753,6	12263	12896	4954,8	0,99	1,04
17410000	Santa Rosa	8315,6	14557	7516,4	174,06	0,99	1,55
<b>Média =</b>						<b>0,99</b>	<b>1,90</b>

Tabela 4.15 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea V (método *Fuzzy c-means*).

Código	Estações	Parâmetros				R <sup>2</sup> _a	ε(%)
		a	b	c	d		
12840000	gavião	9152,8	2771,1	33975	23221	0,99	2,20
13870000	Lábrea	11818	1065,9	44141	33003	0,99	4,04
14330000	Curicuriari	25831	42836	47323	27177	0,99	2,03
22350000	Porto nacional	8507,1	27821	39028	18979	0,98	0,56
22500000	Miracema Tocantins	8406,8	27324	37861	18222	0,98	1,55
17130000	Foz do Juruena	10133	13753	2837	3339,2	0,99	0,75
<b>Média =</b>						<b>0,99</b>	<b>1,86</b>

Tabela 4.16 – Parâmetros, coeficiente de determinação ajustado e erro quadrático relativo médio percentual do modelo cúbico ajustado às curvas de permanência de vazões da região homogênea VI (método *Fuzzy c-means*).

Código	Estações	Parâmetros				R <sup>2</sup> _a	ε(%)
		a	b	c	d		
18520000	Belo Horizonte	15720	33499	23681	4163,9	0,99	1,46
12850000	Acanauí	23461	21632	22489	19900	0,99	4,05
13880000	Canutama	13423	3158,1	54332	39830	0,99	3,15
14420000	Serrinha	34192	57456	71188	42933	0,99	2,66
23600000	Tocantinópolis	15399	46351	61545	29031	0,98	1,29
23300000	Carolina	12277	35465	46254	21840	0,99	0,83
<b>Média =</b>						<b>0,99</b>	<b>2,24</b>

#### 4.4.1. Análise de multicolinearidade

Antes de aplicar o método de regionalização, HELSEL e HIRSCH (1992) advertem sobre os cuidados que devem ser tomados para se evitar a multicolinearidade entre as variáveis explicativas em uma regressão múltipla. A multicolinearidade é a situação em que uma certa variável explicativa possui alta correlação com uma ou mais variáveis explicativas, implicando uma superparametrização do modelo de regressão.

Segundo NAGHETTINI e PINTO (2007), para se evitar a multicolinearidade elimina-se uma entre cada conjunto de duas variáveis independentes que apresentarem coeficiente de correlação (equação 2.10) superior a 0,85. A Tabela 4.17 apresenta as matrizes de correlação entre as variáveis explicativas construídas para cada uma das regiões homogêneas formadas por meio do método de *Ward*, e a Tabela 4.18, para as regiões formadas por *fuzzy c-means*.

Tabela 4.17 – Matriz de correlação entre as variáveis explicativas das regiões homogêneas definidas por meio do método de *Ward*.

<b>Região homogênea I</b>					<b>Região homogênea II</b>				
	A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)		A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)
A(Km <sup>2</sup> )	1				A(Km <sup>2</sup> )	1			
P(mm)	0,06	1			P(mm)	-0,20	1		
L(Km)	0,22	-0,04	1		L(Km)	0,52	-0,41	1	
H (m)	0,06	-0,27	-0,10	1	H (m)	0,12	-,071	0,20	1

<b>Região homogênea III</b>				
	A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)
A(Km <sup>2</sup> )	1			
P(mm)	0,18	1		
L(Km)	-0,34	-0,04	1	
H (m)	-0,40	-0,07	0,44	1

Tabela 4.18 – Matriz de correlação entre as variáveis explicativas das regiões homogêneas definidas por meio do método *fuzzy c-means*.

<b>Região homogênea I</b>					<b>Região homogênea II</b>				
	A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)		A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)
A(Km <sup>2</sup> )	1				A(Km <sup>2</sup> )	1			
P(mm)	-0,15	1			P(mm)	-0,01	1		
L(Km)	0,18	-0,10	1		L(Km)	-0,15	0,01	1	
H (m)	0,12	-0,33	-0,03	1	H (m)	-0,01	-0,09	-0,19	1

Região homogênea III					Região homogênea IV				
	A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)		A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)
A(Km <sup>2</sup> )	1				A(Km <sup>2</sup> )	1			
P(mm)	0,23	1			P(mm)	0,11	1		
L(Km)	0,07	-0,05	1		L(Km)	0,73	-0,02	1	
H (m)	0,03	-0,32	-0,28	1	H (m)	0,33	-0,28	-0,25	1

Região homogênea V					Região homogênea VI				
	A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)		A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)	H (m)
A(Km <sup>2</sup> )	1				A(Km <sup>2</sup> )	1			
P(mm)	0,10	1			P(mm)	-0,59	1		
L(Km)	0,28	-0,92	1		L(Km)	-0,21	-0,51	1	
H (m)	-0,41	-0,87	0,64	1	H (m)	0,40	-0,83	0,44	1

Portanto, analisando as Tabelas 4.17 e 4.18 observa-se que não houve correlação superior a 0,85 entre as variáveis explicativas em nenhuma das regiões homogêneas. Sendo assim, não houve a necessidade de se aplicar o teste do  $F_{parcial}$  para determinar a significância de cada variável explicativa na regressão, e todas as quatro variáveis foram utilizadas na regionalização.

#### 4.4.2. Modelos regionais de curvas de permanência de vazões

Para as regiões hidrologicamente homogêneas (I, II e III – método de *Ward* e I, II, III, IV, V e VI – método *fuzzy c-means*) definidas nesse estudo foram construídas equações regionais de curvas de permanência de vazões utilizando como variáveis explicativas as características físico-climáticas das bacias. Os modelos regionais relacionam estatisticamente cada parâmetro (*a*, *b*, *c* e *d*), definido na calibração, às características físicas (área de drenagem, comprimento e desnível do rio) e climáticas (precipitação média anual) por meio de regressão múltipla.

Conhecendo-se os valores dos parâmetros e as características físico-climáticas do conjunto de bacias de cada região homogênea, foram testadas equações de regressão, representadas pelas equações (3.11 – 3.14), entre os parâmetros e as variáveis explicativas para definir o melhor modelo regional. Sendo que os coeficientes de regressão ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$ ) foram determinados pelo método dos mínimos quadrados.

Os melhores modelos regionais resultantes da aplicação da regressão múltipla foram selecionados, observando-se: maiores valores dos coeficientes de determinação múltipla ( $R^2$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e os valores dos testes do  $F_{total}$ .

Nas regiões homogêneas I, II e III (método de *Ward*) o melhor modelo ajustado às curvas de permanência, na calibração, foi o cúbico. Portanto, nessas regiões cada um dos parâmetros *a*, *b*, *c* e *d* (Tabelas 4.8, 4.9 e 4.10) representou a variável dependente na regressão em função das características físico-climáticas das bacias (variáveis explicativas ou independentes), apresentadas no APÊNDICE I. Esse modelo regional foi utilizado para estimar os valores dos parâmetros com o objetivo de construir curvas de permanência de vazões, na forma cúbica (Eq. 3.7), para qualquer local dentro das limitações da região homogênea de vazões com dados insuficientes ou inexistentes.

As Tabelas 4.19, 4.20 e 4.21 mostram, respectivamente, os resultados obtidos na aplicação das equações de regressão e os modelos regionais sugeridos para cada uma das três regiões formadas por *Ward*.

Tabela 4.19 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea I – método de *Ward*.

Região homogênea I – método de <i>Ward</i>				
Equações de regressão	Parâmetros	$R^2$	$R^2_a$	$F_{total}$
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.L + \beta_4.H$	<i>a</i>	0,73	0,72	105,40
	<i>b</i>	0,44	0,42	29,62
	<i>c</i>	0,36	0,34	21,48
	<i>d</i>	0,32	0,30	17,78
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.L^{\beta_3}.H^{\beta_4}$	<i>a</i>	0,86	0,85	234,44
	<i>b</i>	0,51	0,50	40,21
	<i>c</i>	0,52	0,51	43,12
	<i>d</i>	0,54	0,53	46,61
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.(H/L)$	<i>a</i>	0,87	0,86	314,63
	<i>b</i>	0,51	0,50	53,82
	<i>c</i>	0,53	0,52	57,69
	<i>d</i>	0,55	0,54	62,53
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.(H/L)^{\beta_3}$	<i>a</i>	0,73	0,72	138,84
	<i>b</i>	0,43	0,41	37,97
	<i>c</i>	0,36	0,34	28,39
	<i>d</i>	0,32	0,31	24,27
$V = \beta_0.P^{\beta_1}.(A/L)^{\beta_2}.H^{\beta_3}$	<i>a</i>	0,25	0,23	16,85
	<i>b</i>	0,17	0,15	10,21
	<i>c</i>	0,18	0,16	11,10
	<i>d</i>	0,19	0,17	11,66

Observa-se na Tabela 4.19 que o modelo de regressão linear transformado ( $V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.(H/L)$ ) foi o que apresentou maiores valores dos  $R^2$  e  $R^2_{ajustado}$ . Sendo assim, foi proposto o seguinte modelo regional para a região homogênea I:

**Modelo regional – Região homogênea I (Ward)**  $R^2_a$   $F_{total}$

$$a = -1472,03 + 0,06.A + 0,830.P + 9,934.(H/L) \quad 0,86 \quad 314,63 \quad (4.1)$$

$$b = -1320,65 + 0,118.A + 1,046.P + 42,901.(H/L) \quad 0,50 \quad 53,82 \quad (4.2)$$

$$c = -569,09 + 0,127.A + 0,851.P + 58,898.(H/L) \quad 0,52 \quad 57,69 \quad (4.3)$$

$$d = -387,55 + 0,055.A + 0,486.P + 31,461.(H/L) \quad 0,54 \quad 62,53 \quad (4.4)$$

O teste do  $F_{total}$  indicou que o número de variáveis explicativas é aceitável para o modelo regional (Eq.s 4.1 – 4.4), sendo assim, o modelo é considerado significativo, pois a hipótese nula do teste foi rejeitada, uma vez que o valor encontrado na distribuição F ( $\alpha$ , p, n-p-1) de Snedecor (ANEXO I), igual a 2,70, é menor que os valores de  $F_{total}$  encontrados para os parâmetros ( $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ ) do modelo.

Tabela 4.20 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea II – método de Ward.

<b>Região homogênea II – método de Ward</b>				
Equações de regressão	Parâmetros	$R^2$	$R^2_a$	$F_{total}$
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.L\beta_4.H$	$a$	0,78	0,73	15,97
	$b$	0,56	0,47	5,84
	$c$	0,36	0,22	2,54
	$d$	0,22	0,05	1,28
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.L^{\beta_3}.H^{\beta_4}$	$a$	0,82	0,78	20,56
	$b$	0,38	0,24	2,76
	$c$	0,40	0,27	3,03
	$d$	0,19	0,08	1,05
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.(H/L)$	$a$	0,86	0,73	20,53
	$b$	0,52	0,45	6,93
	$c$	0,34	0,24	3,32
	$d$	0,24	0,12	1,94
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.(H/L)^{\beta_3}$	$a$	0,80	0,76	25,44
	$b$	0,33	0,23	3,14
	$c$	0,18	0,06	1,43
	$d$	0,23	0,10	1,87
$V = \beta_0.P^{\beta_1}.(A/L)^{\beta_2}.H^{\beta_3}$	$a$	0,21	0,08	1,68
	$b$	0,17	0,04	1,33
	$c$	0,25	0,13	2,11
	$d$	0,07	0,07	-0,08

<b>Modelo regional – Região homogênea II (Ward)</b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>	
$a = -22012,6 + 0,082 \cdot A + 9,142 \cdot P + 52,559 \cdot (H/L)$	0,73	20,53	(4.5)
$b = -23780,4 + 0,192 \cdot A + 4,033 \cdot P + 1472,6 \cdot (H/L)$	0,45	6,93	(4.6)
$c = -15046,9 + 0,190 \cdot A + 3,419 \cdot P - 2453,1 \cdot (H/L)$	0,24	3,32	(4.7)
$d = -9046,5 + 0,074 \cdot A + 5,617 \cdot P - 3220,7 \cdot (H/L)$	0,12	1,94	(4.8)

Para a região homogênea II (Ward), composta por 24 estações fluviométricas, o valor de F ( $\alpha$ , p, n-p-1) é igual a 3,01 (Tabela de distribuição F de Snedecor), sendo assim, a equação 4.8 do modelo regional não passou no teste do  $F_{total}$ , uma vez que a hipótese nula do teste não foi rejeitada ( $F_{total} > F$  de Snedecor). Mesmo assim, optou-se em verificar o comportamento do modelo na validação (método *Jack-Knife*).

Tabela 4.21 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea III – método de Ward.

<b>Região homogênea III – método de Ward</b>				
<b>Equações de regressão</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot L + \beta_4 \cdot H$	<i>a</i>	0,98	0,96	52,24
	<i>b</i>	0,92	0,83	11,09
	<i>c</i>	0,94	0,89	16,86
	<i>d</i>	0,88	0,75	7,03
$V = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot L^{\beta_3} \cdot H^{\beta_4}$	<i>a</i>	0,92	0,84	11,87
	<i>b</i>	0,65	0,31	1,89
	<i>c</i>	0,54	0,08	1,18
	<i>d</i>	0,24	-0,53	0,31
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot (H/L)$	<i>a</i>	0,91	0,86	17,76
	<i>b</i>	0,78	0,65	6,04
	<i>c</i>	0,50	0,20	1,67
	<i>d</i>	0,46	0,14	1,45
$V = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot (H/L)^{\beta_3}$	<i>a</i>	0,89	0,83	14,14
	<i>b</i>	0,48	0,18	1,57
	<i>c</i>	0,02	-0,56	0,04
	<i>d</i>	0,08	-0,47	0,15
$V = \beta_0 \cdot P^{\beta_1} \cdot (A/L)^{\beta_2} \cdot H^{\beta_3}$	<i>a</i>	0,59	0,35	2,45
	<i>b</i>	0,48	0,17	1,54
	<i>c</i>	0,08	-0,47	0,15
	<i>d</i>	0,01	-0,58	0,02

Para a região III os melhores resultados foram obtidos pelo modelo de regressão linear.

<b>Modelo regional – Região homogênea III (Ward)</b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>	
$a = -79329,1 + 0,11.A - 0,49.P + 37,58.L + 105,4.H$	0,96	52,24	(4.9)
$b = -83006,6 + 0,09.A + 2,14.P + 37,47.L + 398,9.H$	0,83	11,09	(4.10)
$c = -75356,3 + 0,12.A - 43,25.P + 99,34.L + 666,6.H$	0,89	16,86	(4.11)
$d = -31163,3 + 0,07.A - 26,64.P + 58,66.L + 248,6.H$	0,75	7,03	(4.12)

O teste do  $F_{total}$  indica que o número de variáveis explicativas é aceitável para o modelo regional (Eqs. 4.9 – 4.12), sendo assim, o modelo é considerado significativo, pois a hipótese nula do teste foi rejeitada uma vez que:

Os valores dos  $F_{total} > F(\alpha, p, n-p-1) = 3,63$  (Tabela de distribuição F de Snedecor – ANEXO I).

Na região homogênea I, definida por meio do método *fuzzy c-means*, aplicou-se a regressão múltipla entre os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  (Tabela 4.11) e as características físico-climáticas das bacias (APÊNDICE I). A Tabela 4.22 apresenta os resultados para cada uma das equações de regressão.

Tabela 4.22 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea I – método de *fuzzy c-means*.

<b>Região homogênea I – método <i>fuzzy c-means</i></b>				
<b>Equações de regressão</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.L + \beta_4.H$	$a$	0,75	0,74	61,40
	$b$	0,51	0,48	20,58
	$c$	0,44	0,41	15,42
	$d$	0,40	0,37	13,49
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.L^{\beta_3}.H^{\beta_4}$	$a$	0,84	0,83	112,32
	$b$	0,62	0,60	33,50
	$c$	0,52	0,49	21,86
	$d$	0,50	0,48	20,43
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.(H/L)$	$a$	0,75	0,74	81,32
	$b$	0,49	0,47	26,24
	$c$	0,41	0,39	18,98
	$d$	0,37	0,35	16,42
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.(H/L)^{\beta_3}$	$a$	0,85	0,84	151,46
	$b$	0,62	0,61	45,22
	$c$	0,52	0,51	29,23
	$d$	0,50	0,49	26,87
$V = \beta_0.P^{\beta_1}.(A/L)^{\beta_2}.H^{\beta_3}$	$a$	0,17	0,14	5,68
	$b$	0,15	0,12	4,93
	$c$	0,14	0,11	4,71
	$d$	0,16	0,13	5,31

<b>Modelo regional – Região homogênea I (fuzzy c-means)</b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>	
$a = 0,0003. A^{0,922}. P^{0,835}. (H/L)^{-0,029}$	0,84	151,46	(4.13)
$b = 0,234. A^{0,839}. P^{0,171}. (H/L)^{-0,032}$	0,61	45,22	(4.14)
$c = 2,118. A^{0,816}. P^{-0,070}. (H/L)^{0,015}$	0,51	29,23	(4.15)
$d = 0,385. A^{0,837}. P^{0,030}. (H/L)^{0,066}$	0,49	26,87	(4.16)

Os melhores resultados foram apresentados na aplicação da equação de regressão não linear transformada ( $V = \beta_0. A^{\beta_1}. P^{\beta_2}. (H/L)^{\beta_3}$ ), com maiores valores dos coeficientes R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup>\_ajustado e uma relação significativa entre os parâmetros do modelo (**a**, **b**, **c** e **d**) e as variáveis explicativas para 5% de significância, já que o valor encontrado na distribuição F ( $\alpha$ , p, n-p-1) de Snedecor (ANEXO I), igual a 2,70, é menor que os valores de F<sub>total</sub> encontrados para as Eq.s 4.13 – 4.16 do modelo regional.

Nas regiões homogêneas II e III (*fuzzy c-means*) o melhor modelo ajustado às curvas de permanência, na calibração, foi o exponencial. Portanto, cada um dos parâmetros **a** e **b** (Tabelas 4.12 e 4.13) representou a variável dependente na regressão em função das características físico-climáticas das bacias (variáveis explicativas ou independentes), encontradas no APÊNDICE I. Esses modelos regionais foram utilizados para estimar os valores dos parâmetros com o objetivo de construir curvas de permanência de vazões, na forma exponencial (Eq. 3.4), para qualquer local dentro das limitações das regiões homogêneas de vazões com dados insuficientes ou inexistentes.

As Tabelas 4.23 e 4.24 apresentam os resultados obtidos com a aplicação das equações de regressão nas respectivas regiões seguidas dos modelos regionais.

Tabela 4.23 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea II – método de *fuzzy c-means*.

<b>Região homogênea II – método fuzzy c-means</b>				
<b>Equações de regressão</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>
$V = \beta_0 + \beta_1. A + \beta_2. P + \beta_3. L\beta_4. H$	<b>a</b>	0,52	0,47	11,11
	<b>b</b>	0,15	0,06	1,79
$V = \beta_0. A^{\beta_1}. P^{\beta_2}. L^{\beta_3}. H^{\beta_4}$	<b>a</b>	0,51	0,47	10,78
	<b>b</b>	0,17	0,09	2,15
$V = \beta_0 + \beta_1. A + \beta_2. P + \beta_3. (H/L)$	<b>a</b>	0,52	0,49	14,65
	<b>b</b>	0,16	0,10	2,92
$V = \beta_0. A^{\beta_1}. P^{\beta_2}. (H/L)^{\beta_3}$	<b>a</b>	0,51	0,48	14,34
	<b>b</b>	0,16	0,10	2,79
$V = \beta_0. P^{\beta_1}. (A/L)^{\beta_2}. H^{\beta_3}$	<b>a</b>	0,36	0,31	7,65
	<b>b</b>	0,19	0,13	2,24

$$\begin{aligned} \text{Modelo regional – Região homogênea II (fuzzy c-means)} \quad & \mathbf{R^2\_a} \quad \mathbf{F_{total}} \\ a = -2158,04 + 0,063 \cdot A + 1,204 \cdot P - 20,52 \cdot (H/L) \quad & 0,49 \quad 14,65 \quad (4.17) \\ b = 1,64 - 7,6 \times 10^{-6} \cdot A + 0,0004 \cdot P + 0,07 \cdot (H/L) \quad & 0,10 \quad 2,92 \quad (4.18) \end{aligned}$$

O teste do  $F_{total}$  indicou que o número de variáveis explicativas é aceitável para o modelo regional (Eqs. 4.17 e 4.18), sendo assim, o modelo é considerado significativo, pois a hipótese nula do teste foi rejeitada uma vez que:

Os valores dos  $F_{total} > F(\alpha, p, n-p-1) = 2,79$  (Tabela de distribuição F de Snedecor – ANEXO I).

Na região homogênea III (*fuzzy c-means*) foi aplicada a regressão múltipla entre os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  (Tabela 4.13) e as características físico-climáticas das bacias (APÊNDICE I).

Tabela 4.24 – Resultados da aplicadas das equações de regressão para a região homogênea III – método de *fuzzy c-means*.

Região homogênea III – método <i>fuzzy c-means</i>				
Equações de regressão	Parâmetros	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> _a	F <sub>total</sub>
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot L\beta_4 \cdot H$	$a$	0,47	0,38	5,39
	$b$	0,18	0,04	1,33
$V = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot L^{\beta_3} \cdot H^{\beta_4}$	$a$	0,41	0,31	4,11
	$b$	0,08	-0,07	0,49
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot (H/L)$	$a$	0,50	0,44	8,23
	$b$	0,13	0,03	1,22
$V = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot (H/L)^{\beta_3}$	$a$	0,39	0,32	5,34
	$b$	0,08	-0,03	0,68
$V = \beta_0 \cdot P^{\beta_1} \cdot (A/L)^{\beta_2} \cdot H^{\beta_3}$	$a$	0,39	0,32	5,35
	$b$	0,06	-0,05	0,52

$$\begin{aligned} \text{Modelo regional – Região homogênea III (fuzzy c-means)} \quad & \mathbf{R^2\_a} \quad \mathbf{F_{total}} \\ a = -2376,4 + 0,025 \cdot A + 2,104 \cdot P + 38,371 \cdot (H/L) \quad & 0,44 \quad 8,23 \quad (4.19) \\ b = 1,32 - 1,6 \times 10^{-6} \cdot A + 0,0004 \cdot P + 0,02 \cdot (H/L) \quad & 0,03 \quad 1,22 \quad (4.20) \end{aligned}$$

Para a região homogênea III (*fuzzy c-means*), composta por 29 estações fluviométricas, o valor de distribuição F ( $\alpha, p, n-p-1$ ) de Snedecor (ANEXO I) é de 2,93 para uma significância de 5%. Observa-se que a equação 4.20 do modelo regional sugerido para a região não passou no teste do  $F_{total}$ , já que o valor da distribuição F ( $\alpha, p, n-p-1$ ) de Snedecor é maior que o valor de  $F_{total}$  do parâmetro  $b$ , e apresetou o valor

do coeficiente de determinação muito baixo. Isso significa que o modelo regional apresenta pouca significância. No entanto, o resultado do  $F_{total}$  não deve ser considerado de forma isolada, isso é, somente seus resultados não devem descartar totalmente uma equação de regressão, uma vez que os coeficientes de regressão podem apresentar correlação significativa. Devido a isso, o modelo regional foi considerado para a estimativa de curvas de permanência da região homogênea III.

Nas regiões homogêneas IV, V e VI o melhor modelo ajustado às curvas de permanência, na calibração, foi o cúbico (Eq.3.7), portanto, cada um dos parâmetros **a**, **b**, **c** e **d** (Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16) representou a variável dependente na regressão em função das características físico-climáticas das bacias (variáveis explicativas ou independentes), encontradas no APÊNDICE I. As Tabelas 4.25, 4.26 e 4.27 apresentam os resultados obtidos das equações de regressão (equações 3.11-3.1) e os modelos regionais sugeridos.

Tabela 4.25 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea IV – método de *fuzzy c-means*.

Região homogênea IV – método <i>fuzzy c-means</i>				
Equações de regressão	Parâmetros	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	F <sub>total</sub>
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot L + \beta_4 \cdot H$	<b>a</b>	0,95	0,86	10,45
	<b>b</b>	0,90	0,72	4,98
	<b>c</b>	0,91	0,73	5,14
	<b>d</b>	0,47	-0,57	0,45
$V = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot L^{\beta_3} \cdot H^{\beta_4}$	<b>a</b>	0,89	0,67	4,14
	<b>b</b>	0,82	0,46	2,30
	<b>c</b>	0,69	0,07	1,11
	<b>d</b>	0,58	-0,24	0,70
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot A + \beta_2 \cdot P + \beta_3 \cdot (H/L)$	<b>a</b>	0,83	0,66	4,88
	<b>b</b>	0,75	0,50	3,03
	<b>c</b>	0,64	0,28	1,75
	<b>d</b>	0,66	0,32	1,91
$V = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2} \cdot (H/L)^{\beta_3}$	<b>a</b>	0,91	0,82	10,58
	<b>b</b>	0,85	0,70	5,78
	<b>c</b>	0,91	0,82	10,61
	<b>d</b>	0,44	-0,10	0,80
$V = \beta_0 \cdot P^{\beta_1} \cdot (A/L)^{\beta_2} \cdot H^{\beta_3}$	<b>a</b>	0,89	0,79	8,54
	<b>b</b>	0,79	0,58	3,84
	<b>c</b>	0,85	0,71	6,07
	<b>d</b>	0,42	-0,14	0,74

<b>Modelo regional – Região homogênea IV (fuzzy c-means)</b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>	
$a = -12153,4 + 0,0009.A + 9,91.P - 43,81.(H/L)$	0,66	4,18	(4.21)
$b = -24501,7 + 0,01.A + 17,50.P + 2108,2.(H/L)$	0,50	3,03	(4.22)
$c = 35795,9 - 0,48.A + 17,06.P + 2142,1.(H/L)$	0,28	1,75	(4.23)
$d = 14765,8 - 0,18.A + 8,35.P - 3252,6.(H/L)$	0,32	1,91	(4.24)

Para a região IV (fuzzy c-means), composta por 7 estações fluviométricas, o valor da distribuição F ( $\alpha$ , p, n-p-1) de Snedecor (ANEXO I) é igual a 5,41, por consequência, o modelo regional (equações 4.21 – 4.24) proposto evidencia pouca significância, já que não passou no teste do  $F_{total}$ , uma vez que, as equações dos parâmetros apresentaram valores dos  $F_{total}$  menores que o da distribuição F de Snedecor. Apesar de não atender o teste  $F_{total}$ , o modelo regional foi considerado para a estimativa de curvas de permanência da região homogênea IV.

Tabela 4.26 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea V – método de fuzzy c-means.

<b>Região homogênea V – método fuzzy c-means</b>				
<b>Equações de regressão</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.L\beta_4.H$	<i>a</i>	0,94	0,72	4,24
	<i>b</i>	0,98	0,96	33,45
	<i>c</i>	0,88	0,41	1,90
	<i>d</i>	0,92	0,64	3,28
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.L^{\beta_3}.H^{\beta_4}$	<i>a</i>	0,94	0,72	4,31
	<i>b</i>	0,98	0,97	48,26
	<i>c</i>	0,74	-0,29	0,71
	<i>d</i>	0,79	-0,04	0,95
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.(H/L)$	<i>a</i>	0,54	-0,15	0,78
	<i>b</i>	0,02	-1,44	0,02
	<i>c</i>	0,69	0,23	1,49
	<i>d</i>	0,91	0,78	6,95
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.(H/L)^{\beta_3}$	<i>a</i>	0,61	0,04	1,07
	<i>b</i>	0,44	-0,38	0,54
	<i>c</i>	0,46	-0,34	0,57
	<i>d</i>	0,62	0,06	1,12
$V = \beta_0.P^{\beta_1}.(A/L)^{\beta_2}.H^{\beta_3}$	<i>a</i>	0,67	0,18	1,38
	<i>b</i>	0,80	0,50	2,69
	<i>c</i>	0,69	0,23	1,51
	<i>d</i>	0,73	0,34	1,86

<b>Modelo regional – Região homogênea V (fuzzy c-means)</b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>	
$a = 119369,5 + 0,61.A - 65,24.P - 80,25.L - 30,39.H$	0,72	4,24	(4.25)
$b = 573909,9 + 1,87.A - 278,9.P - 301,7.L - 119,9.H$	0,96	33,45	(4.26)
$c = 582777,5 + 0,94.A - 225,4.P - 190,1.L - 250,6.H$	0,41	1,90	(4.27)
$d = 208388,7 + 0,27.A - 73,48.P - 52,60.L - 121,2.H$	0,64	3,28	(4.28)

Tabela 4.27 – Resultados das equações de regressão para a região homogênea VI – método de *fuzzy c-means*.

Região homogênea VI – método <i>fuzzy c-means</i>				
Equações de regressão	Parâmetros	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> _a	F <sub>total</sub>
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.L + \beta_4.H$	<i>a</i>	0,99	0,99	132,81
	<i>b</i>	0,99	0,99	249,81
	<i>c</i>	0,86	0,31	1,57
	<i>d</i>	0,86	0,33	1,62
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.L^{\beta_3}.H^{\beta_4}$	<i>a</i>	0,98	0,92	16,45
	<i>b</i>	0,98	0,90	13,34
	<i>c</i>	0,87	0,39	1,69
	<i>d</i>	0,88	0,39	1,80
$V = \beta_0 + \beta_1.A + \beta_2.P + \beta_3.(H/L)$	<i>a</i>	0,95	0,87	12,52
	<i>b</i>	0,98	0,96	44,09
	<i>c</i>	0,14	-1,16	0,10
	<i>d</i>	0,07	-1,32	0,05
$V = \beta_0.A^{\beta_1}.P^{\beta_2}.(H/L)^{\beta_3}$	<i>a</i>	0,97	0,94	31,67
	<i>b</i>	0,97	0,93	26,01
	<i>c</i>	0,18	-0,94	0,15
	<i>d</i>	0,07	-0,97	0,05
$V = \beta_0.P^{\beta_1}.(A/L)^{\beta_2}.H^{\beta_3}$	<i>a</i>	0,72	0,29	1,68
	<i>b</i>	0,81	0,53	2,87
	<i>c</i>	0,26	-0,86	0,23
	<i>d</i>	0,37	-0,57	0,39

<b>Modelo regional – Região homogênea VI (fuzzy c-means)</b>	<b>R<sup>2</sup>_a</b>	<b>F<sub>total</sub></b>	
$a = -167038 + 048.A + 23,60.P + 13,39.L - 1,19.H$	0,99	132,81	(4.29)
$b = -319153 + 1,06.A + 24,79.P + 11,49.L + 24,13.H$	0,99	249,81	(4.30)
$c = -548550 + 1,35.A + 68,65.P + 114,7.L + 44,20.H$	0,31	1,57	(4.31)
$d = -393339 + 0,84.A + 61,46.P + 85,36.L + 36,03.H$	0,33	1,62	(4.32)

Nas regiões homogêneas V e VI (método *fuzzy c-means*), o valor usado para F ( $\alpha$ , p, n-p-1) de Snedecor (ANEXO I) é igual a 6,39, uma vez que cada uma das duas regiões são compostos por um número total de 6 estações fluviométricas. Observa-se

que os parâmetros  $a$ ,  $c$  e  $d$  do modelo regional (equações 4.25 – 4.28) e os parâmetros  $c$  e  $d$  do modelo regional (equações 4.29 – 4.34) apresentaram valores de  $F_{total}$  menores que na distribuição F de Snedecor, sendo assim, não passaram no teste do  $F_{total}$ . Mas, como nos outros casos, o modelo foi testado para a as regiões em questão.

Valores inferiores dos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e  $F_{total}$  menores que o F ( $\alpha$ , p, n-p-1) de distribuição de Snedecor (ANEXO I) encontrados para as regiões IV, V e VI, pode ser consequência da aplicação da regressão múltipla em grupos de estações fluviométricas muito pequenos. Ainda que, os modelos regionais das mesmas apresentem resultados pouco satisfatórios, optou-se em aplicar e verificar o método de regionalização de curvas de permanência de vazões.

Assim sendo, em função dos testes estatísticos aplicados, as Tabelas 4.28 e 4.29 apresentam, respectivamente, os melhores modelos regionais para se estimar as curvas de permanência de vazões para cada uma das regiões homogêneas formadas por meio dos métodos *Ward* e *fuzzy c-means*.

Tabela 4.28 – Modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões por região homogênea (método de *Ward*).

Região	Modelo de regionalização	$R^2_a$	$F_{total}$
I	$a = -1472,03 + 0,06.A + 0,830.P + 9,934.(H/L)$	0,86	314,63
	$b = -1320,65 + 0,118.A + 1,046.P + 42,901.(H/L)$	0,50	53,82
	$c = -569,09 + 0,127.A + 0,851.P + 58,898.(H/L)$	0,52	57,69
	$d = -387,55 + 0,055.A + 0,486.P + 31,461.(H/L)$	0,54	62,53
II	$a = -22012,6 + 0,082.A + 9,142.P + 52,559.(H/L)$	0,73	20,53
	$b = -23780,4 + 0,192.A + 4,033.P + 1472,6.(H/L)$	0,45	6,93
	$c = -15046,9 + 0,190.A + 3,419.P - 2453,1.(H/L)$	0,24	3,32
	$d = -9046,5 + 0,074.A + 5,617.P - 3220,7.(H/L)$	0,12	1,94
III	$a = -79329,1 + 0,11.A - 0,49.P + 37,58.L + 105,4.H$	0,96	52,24
	$b = -83006,6 + 0,09.A + 2,14.P + 37,47.L + 398,9.H$	0,83	11,09
	$c = -75356,3 + 0,12.A - 43,25.P + 99,34.L + 666,6.H$	0,89	16,86
	$d = -31163,3 + 0,07.A - 26,64.P + 58,66.L + 248,6.H$	0,75	7,03

Tabela 4.29 – Modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões por região homogênea (método *fuzzy c-means*).

Região	Modelo de regionalização	R <sup>2</sup> _a	F <sub>total</sub>
I	$a = 0,0003. A^{0,922}. P^{0,835}. (H/L)^{-0,029}$	0,84	151,46
	$b = 0,234. A^{0,839}. P^{0,171}. (H/L)^{-0,032}$	0,61	45,22
	$c = 2,118. A^{0,816}. P^{-0,070}. (H/L)^{0,015}$	0,51	29,23
	$d = 0,385. A^{0,837}. P^{0,030}. (H/L)^{0,066}$	0,49	26,87
II	$a = -2158,04 + 0,063. A + 1,204. P - 20,52. (H/L)$	0,49	14,65
	$b = 1,64 - 7,6 \times 10^{-6}. A + 0,0004. P + 0,07. (H/L)$	0,10	2,92
III	$a = -2376,4 + 0,025. A + 2,104. P + 38,371. (H/L)$	0,44	8,23
	$b = 1,32 - 1,6 \times 10^{-6}. A + 0,0004. P + 0,02. (H/L)$	0,03	1,22
IV	$a = -12153,4 + 0,0009. A + 9,91. P - 43,81. (H/L)$	0,66	4,88
	$b = -24501,7 + 0,01. A + 17,50. P + 2108,2. (H/L)$	0,50	3,03
	$c = 35795,9 - 0,48. A + 17,06. P + 2142,1. (H/L)$	0,28	1,75
	$d = 14765,8 - 0,18. A + 8,35. P - 3252,6. (H/L)$	0,32	1,91
V	$a = 119369,5 + 0,61. A - 65,24. P - 80,25. L - 30,39. H$	0,72	4,24
	$b = 573909,9 + 1,87. A - 278,9. P - 301,7. L - 119,9. H$	0,96	33,45
	$c = 582777,5 + 0,94. A - 225,4. P - 190,1. L - 250,6. H$	0,41	1,90
	$d = 208388,7 + 0,27. A - 73,48. P - 52,60. L - 121,2. H$	0,64	3,28
VI	$a = -167038 + 048. A + 23,60. P + 13,39. L - 1,19. H$	0,99	132,81
	$b = -319153 + 1,06. A + 24,79. P + 11,49. L + 24,13. H$	0,99	249,81
	$c = -548550 + 1,35. A + 68,65. P + 114,7. L + 44,20. H$	0,31	1,57
	$d = -393339 + 0,84. A + 61,46. P + 85,36. L + 36,03. H$	0,33	1,62

#### 4.5. VALIDAÇÃO

A validação, dos modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões, foi realizada por intermédio do método *Jack-Knife*. Tal como descrito no capítulo 3, esse método visa verificar se o modelo é robusto, retirando-se estação por estação verificando os resíduos de regressão múltipla. Por conseguinte, os modelos definidos nas Tabelas 4.28 e 4.29 foram ajustados novamente com uma estação a menos. Para cada estação retirada foram calculados o erro quadrático relativo médio

percentual (Eq.3.8), o coeficiente de NASH (Eq.3.16), a raiz quadrada da média dos erros quadráticos (*The Root Mean Square Error – RMSE*) e o erro médio absoluto (BIAS) dado pelas equações (3.17) e (3.18).

Salienta-se que na simulação da curva de permanência de determinada estação fluviométrica retirada, os dados das mesmas não foram utilizados em momento algum para a obtenção das equações de regressão. Essa premissa torna o método válido para a validação dos modelos regionais.

#### 4.5.1. Validação dos modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões para das regiões homogêneas I, II e III definidas por meio do método de Ward.

- Região Homogênea I (método de Ward)

Na Tabela 4.30 é apresentado os valores de cada critério utilizado na validação do modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões para a região homogênea I. Os  $\epsilon\%$  e o NASH, determinados para cada estação retirada da regressão, podem ser observados e analisados com mais detalhe quando comparados por meio de gráficos de barra, Figuras 4.15 e 4.16.

Figura 4.15 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea I - Ward)

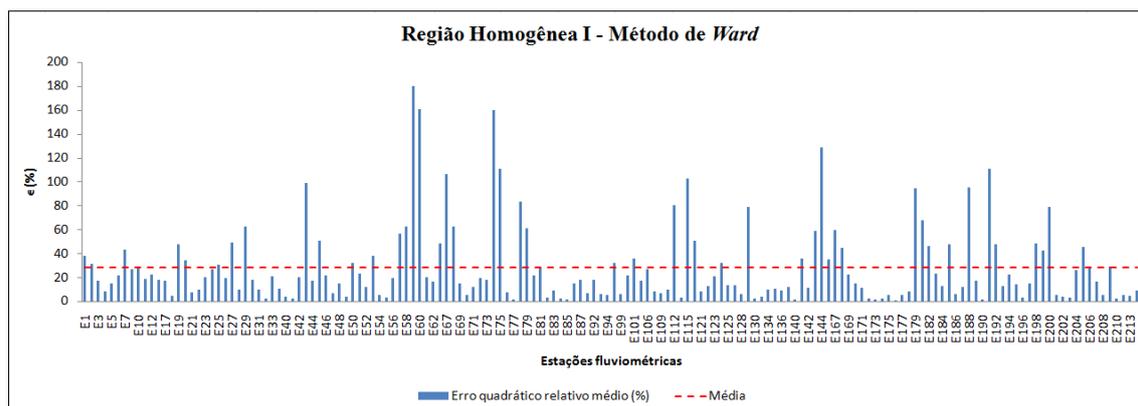
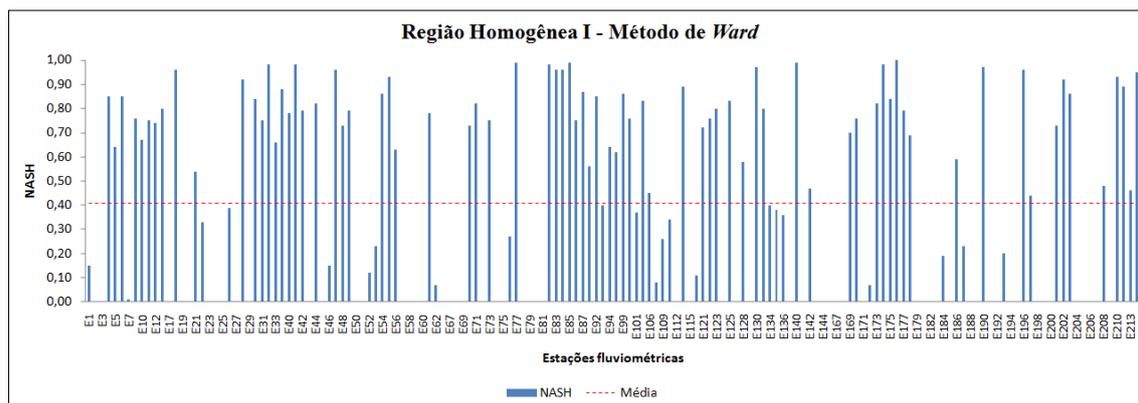


Figura 4.16 – Coeficientes de NASH (região homogênea I - Ward)



A linha tracejada em vermelho é um valor médio representativo da aplicação do método *Jack-Knife* para todas as estações fluviométricas da região mencionada. Analisando as Figuras 4.15 e 4.16, observam-se valores de erro quadrático médio percentual ( $\epsilon\%$ ) superiores a 20% para grande maioria das estações, com média próximo de 30%, e valores de coeficiente NASH muito baixos. Boa parte das estações apresentaram valores de NASH negativos, por esse motivo, percebe-se espaços vazios ao longo dos gráficos.

Tabela 4.30 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea I.

ID	Código	Estação Retirada	$\epsilon(\%)$	NASH	RMSE	BIAS
E1	18250000	Uruará	37,56	0,15	7,77	37,51
E2	17345000	Base do Cachimbo	31,29	0,00	11,11	25,78
E3	18121006	Barragem Conj. 4	16,83	0,00	43,12	173,75
E4	17610000	Creporizão	8,35	0,85	7,91	26,31
E5	17675000	Jardim do ouro	14,85	0,64	118,47	205,82
E6	18870000	Aldeia Bacajá	21,35	0,85	15,73	52,66
E7	18880000	Faz. Cipauba	43,49	0,01	74,95	360,51
E8	18500000	Boa Esperança	26,78	0,76	81,89	277,08
E10	18590000	Manoel Jorge (TP)	28,54	0,67	123,60	448,04
E11	18600000	Laranjeiras	18,30	0,75	119,16	22,81
E12	18640000	Aldeia Baú	21,99	0,74	41,29	172,81
E13	29100000	Faz. Alegria	17,85	0,80	48,18	199,68
E17	31650000	Tauri	16,99	0,00	58,20	278,14
E18	31020000	Cach. Tracambeua	4,43	0,96	4,96	9,69
E19	31520000	Bom Jardim	47,69	0,00	59,61	278,92
E20	32450002	Tararua Ponte	33,91	0,00	18,52	85,36
E21	32550000	Cafezal	7,45	0,54	2,85	0,02
E22	31680000	Faz. Maringá	9,65	0,33	41,74	197,83
E23	31700000	Badajós	20,17	0,00	121,04	559,93

E24	32540000	Faz. Rural Zebu	26,51	0,00	38,55	158,43
E25	32620000	Alto Bonito	30,28	0,00	105,84	518,63
E26	18200000	Arapari	19,22	0,39	20,33	97,61
E27	17090000	Boca do Inferno	49,36	0,00	86,89	411,32
E28	18280000	Apalaí	9,49	0,92	6,53	31,55
E29	16700000	Tirios	62,15	0,00	18,68	69,13
E30	16480000	Aldeia Wai-Wai	17,55	0,84	42,03	103,81
E31	16430000	Garganta	10,02	0,75	118,79	112,88
E32	16460000	Caramujo	2,56	0,98	23,80	33,04
E33	16500000	Estirão da Angélica	20,52	0,66	68,15	307,72
E39	19985000	Pacajás	10,07	0,88	4,80	16,31
E40	12360000	Foz do Breu	3,47	0,78	16,86	44,72
E41	12370000	Taumaturgo	2,45	0,98	5,74	11,02
E42	12390000	Porto Walter	19,94	0,79	45,73	131,57
E43	12400000	Serra do Moa	98,58	0,00	45,30	197,03
E44	12500000	Cruzeiro do sul	17,40	0,82	59,61	214,76
E45	12510000	Seringal Bom Futuro	50,33	0,00	37,72	174,56
E46	12530000	Fazenda Paranacre	21,43	0,15	14,99	68,54
E47	12650000	Feijó	6,72	0,96	9,45	27,98
E48	13180000	Manoel Urbano	14,73	0,73	83,63	44,79
E49	13300000	Seringal São José	3,73	0,79	22,55	46,10
E50	13450000	Assis Brasil	31,84	0,00	34,23	167,27
E51	13470000	Brasiléia	22,99	0,00	35,68	163,94
E52	13550000	Xapuri	11,78	0,12	35,92	142,34
E53	13600002	Rio Branco	38,06	0,23	60,13	294,55
E54	15324000	Plácido de Castro	5,02	0,86	6,92	20,75
E55	19100000	Iratapuru	2,65	0,93	1,46	3,95
E56	19150000	São Francisco	19,12	0,63	93,85	461,49
E57	19200000	São Pedro	56,49	0,00	14,80	48,94
E58	19300000	Pancada	62,33	0,00	38,03	165,48
E59	30070000	Cunani	180,00	0,00	165,64	756,82
E60	30075000	Tartarugal Grande	160,89	0,00	110,37	510,37
E61	30080000	Capivara	19,82	0,78	24,95	111,85
E62	30300000	Serra do Navio	16,41	0,07	39,26	187,97
E63	15130000	Pimenteiras	48,57	0,00	236,17	1098,07
E67	15431000	Fazenda Rio Branco	106,18	0,00	32,92	138,43
E68	15432000	Min. Ponte Massangana	62,19	0,00	6,02	12,59
E69	15552600	Faz. Flor do campo	14,51	0,00	15,07	12,06
E70	15558000	Pimenta Bueno	5,20	0,73	14,54	49,31
E71	15560000	Jiparaná	12,19	0,82	45,49	188,86
E72	15565000	Jaru	19,01	0,00	16,26	69,85
E73	15580000	Tabajara	17,90	0,75	107,73	455,41
E74	15590000	Mineração Jacundá	159,56	0,00	54,30	242,18
E75	14500000	Mocidade	110,70	0,00	205,91	930,48
E76	14515000	Fazenda Passarão	7,74	0,27	171,33	668,15
E77	14526000	Bom Fim	1,58	0,99	1,49	4,75
E78	14530000	Vila Surumu	82,92	0,00	74,67	356,28
E79	14540000	Fazenda Bandeira Branca	60,61	0,00	64,42	308,16

E80	14550000	Maloca do Contão	21,38	0,00	39,85	186,56
E81	14650000	Posto Funai	28,07	0,00	51,45	237,65
E82	14680001	Fé e Esperança	3,20	0,98	5,02	12,24
E83	14690000	Mucajaí	8,65	0,96	15,42	16,20
E84	14750000	Missão Catrimani	2,04	0,96	3,78	1,72
E85	14845000	Fazenda São José	1,18	0,99	0,87	0,04
E86	14850000	Base Alalau	14,94	0,75	16,60	81,19
E87	10200000	Palmeiras do javari	17,55	0,87	26,92	102,44
E88	10500000	Estirão do reepouso	6,74	0,56	180,34	718,44
E92	12100000	Colocação caxias	17,89	0,85	27,06	100,79
E93	12200000	Barreira Alta	6,31	0,40	129,35	532,19
E94	12240000	Porto Seguro	4,99	0,64	126,52	538,53
E95	12680000	Envira	32,03	0,62	125,57	558,25
E99	12880000	Estirão da Santa Cruz	5,60	0,86	21,26	65,90
E100	13410000	Seringal da caridade	21,81	0,76	120,51	321,76
E101	13650000	Floriano peixoto	35,44	0,37	88,08	428,85
E102	13740000	Faz. Borangaba	17,24	0,83	50,40	7,75
E106	13885000	Cristo	26,86	0,45	33,59	160,57
E107	13886000	Bacaba	8,21	0,08	180,39	704,55
E109	14230000	Missão Içana	6,84	0,26	146,98	661,12
E111	14280001	Taraqua	9,93	0,34	225,04	938,12
E112	14300000	Pari Cachoeira	80,40	0,00	117,50	535,13
E113	14325000	Tumbira	3,34	0,89	20,82	9,69
E115	15042000	Rio Preto da Eva	102,80	0,00	46,96	199,49
E118	15800000	Boca do Guariba	50,66	0,11	234,95	1126,30
E121	16200000	Base da Siderama	8,53	0,72	57,42	119,91
E122	16368000	Mineração Caima	12,98	0,76	21,96	102,44
E123	15910000	Santarém Sucunduri	20,96	0,80	36,57	57,12
E124	14450000	Jalauaca	31,84	0,00	72,50	353,82
E125	14440000	Porto Ajuricaba	13,52	0,83	33,53	23,72
E127	21850000	Rio da Palma	13,31	0,00	35,55	176,06
E128	21900000	Paraná	5,63	0,58	65,46	277,42
E129	22190000	Porto Alegre	78,66	0,00	34,19	168,16
E130	22250000	Fazenda Lobeira	2,14	0,97	6,21	8,29
E133	22700000	Novo Acordo	4,00	0,80	12,86	38,86
E134	22750000	Rio das Balsas	9,53	0,40	23,76	115,16
E135	22850000	Dois Irmãos	10,12	0,38	22,28	105,84
E136	22900000	Porto Real	8,79	0,36	67,89	321,77
E137	23250000	Goiantins	12,24	0,00	16,97	13,23
E140	26710000	Barreira do Pequi	1,80	0,99	1,02	0,36
E141	26720000	Praia Alta	35,70	0,00	33,61	158,63
E142	26750000	Projeto Rio formoso	11,36	0,47	16,20	62,24
E143	27550000	Arapoema	59,05	0,00	8,80	37,59
E144	28150000	Muricilandia	128,77	0,00	27,43	135,26
E145	28240000	Piraque	34,83	0,00	21,56	105,56
E167	15050000	Pontes e lacerda	59,60	0,00	33,63	165,62
E168	15120001	Mato Grosso	44,71	0,00	58,79	268,34
E169	15750000	Humboldt	22,09	0,70	29,64	140,33

E170	15820000	Concisa	14,64	0,76	38,28	179,72
E171	17091000	Fazenda Tucunaré	11,12	0,00	17,07	2,72
E172	17093000	Fontanilhas	2,47	0,07	29,90	92,54
E173	17095000	Fazenda Tombador	1,52	0,82	6,97	15,97
E174	17200000	Porto Roncador	1,98	0,98	3,19	9,89
E175	17210000	Teles Pires	4,96	0,84	10,55	33,69
E176	17280000	Cachoeirão	0,93	1,00	5,80	11,43
E177	17300000	Faz. Trutex	4,91	0,79	43,69	211,90
E178	17340000	Indeco	8,06	0,69	73,65	364,57
E179	17350000	Cachimbo	94,10	0,00	36,66	156,63
E181	18409000	Passagem da BR-309	67,50	0,00	15,37	48,94
E182	18420000	Fazenda Itaguaçu	46,41	0,00	37,27	182,66
E183	18423000	Consul	22,90	0,00	24,15	113,26
E184	18435000	Rio Comandante Fontou	12,63	0,19	10,17	41,60
E185	24050000	Alto Araguaia	47,75	0,00	22,56	110,78
E186	24200000	Torixoreu	5,93	0,59	33,57	135,37
E187	24500000	Tesouro	12,15	0,23	13,78	67,23
E188	24650000	General Carneiro	95,04	0,00	44,83	216,92
E189	26040000	Rio das Mortes	16,89	0,00	18,29	86,65
E190	26100000	Xavantina	1,39	0,97	8,21	0,39
E191	66005000	Alto Paraguai	111,02	0,00	13,87	7,25
E192	66006000	Nortelândia	47,32	0,00	15,41	68,71
E193	66010000	Barra do Bugres	12,41	0,20	22,60	102,95
E194	66015000	Porto Estrela	22,03	0,00	46,73	213,23
E195	66050000	Tapirapuã	14,42	0,00	22,66	112,29
E196	66070004	Cáceres (PNPVN)	3,26	0,96	12,61	58,36
E197	66090000	Descalvados	15,00	0,44	97,43	413,40
E198	66120000	Porto Conceição	48,31	0,00	243,70	1088,18
E199	66140000	Marzagão	42,56	0,00	25,07	117,37
E200	66171500	Faz. Riacho Doce	78,72	0,00	39,47	194,73
E201	66250001	Rosário Oeste	5,26	0,73	11,12	35,85
E202	66255000	Acorizal	4,08	0,92	14,45	27,00
E203	66260001	Cuiabá	2,85	0,86	23,36	44,85
E204	66340000	Porto Cercado	25,68	0,00	82,70	368,75
E205	66360000	São João	45,32	0,00	132,06	584,82
E206	66370000	Ilha Camargo	27,32	0,00	102,59	461,52
E207	66465000	Colônia santa Isabel	16,37	0,00	55,88	216,77
E208	66470000	São José do Boriréu	4,96	0,48	8,39	28,71
E209	66520000	Itiquira	28,83	0,00	23,66	116,77
E210	66600000	São jerônimo	2,42	0,93	3,28	4,09
E211	17123000	Rio Arinos	5,30	0,89	45,06	197,26
E213	17120000	Porto dos Gaúchos	4,20	0,46	23,49	79,28
E214	17121000	Caiabis (Balsa)	8,70	0,95	6,45	3,54
<b>Média</b>			<b>28,32</b>	<b>0,41</b>	<b>50,14</b>	<b>200,22</b>

Sabendo-se que o coeficiente de NASH pode variar a partir de  $-\infty$  a 1, sendo que 1 é um ajuste perfeito, optou-se em chamar de zero para todos os valores de NASH negativos. Isso facilitou a visualização gráfica.

De posse dos valores de NASH para cada estação retirada, os três termos de critério de qualidade geral de curvas de permanência de vazões simuladas,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , foram definidos e se encontram na Tabela 4.31.

Tabela 4.31 – Percentual dos critérios de qualidade (região homogênea I - *Ward*)

Validação	%
$P_1 > 0,75$	30,38
$0,50 < P_2 \leq 0,75$	13,92
$P_3 \leq 0,50$	55,70
Total	100

- Região Homogênea II (método de *Ward*)

Na Tabela 5.32 é apresentado os valores de cada critério utilizado na validação do modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões para as bacias da região homogênea II. Os  $\epsilon\%$  e o NASH, determinados para cada estação retirada da regressão, podem ser observados e analisados nas Figuras 4.17 e 4.18.

Figura 4.17 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea II)

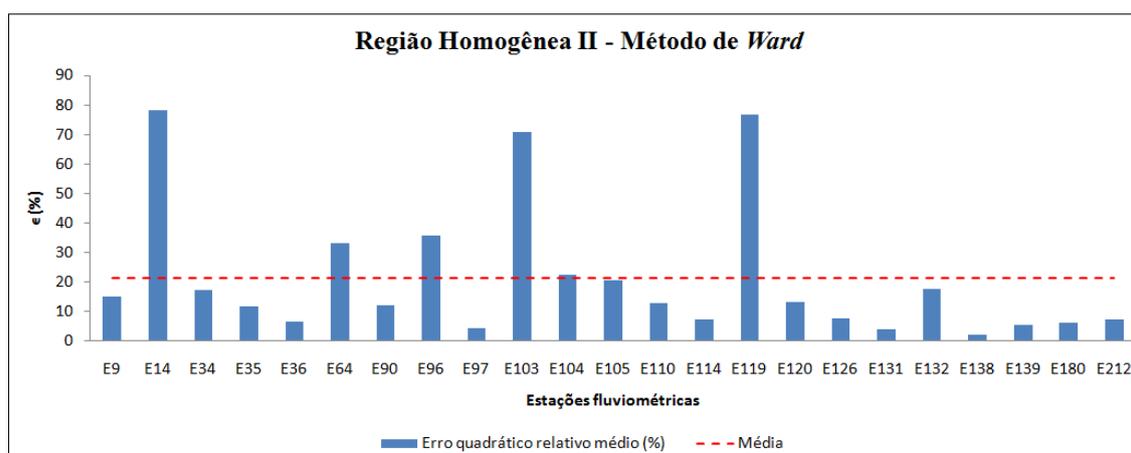


Figura 4.18 – comparação gráfica dos coeficientes NASH (região homogênea II)

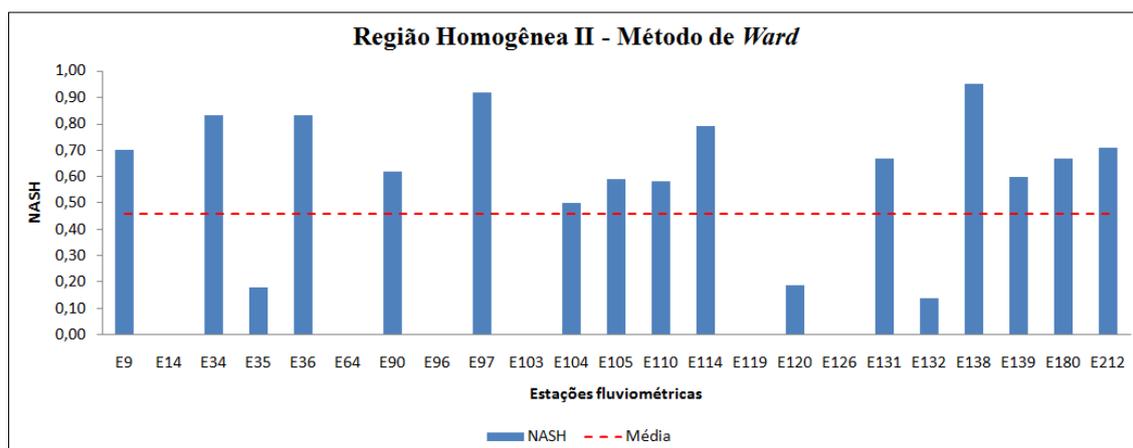


Tabela 4.32 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea II.

ID	Código	Estação Retirada	$\epsilon$ (%)	NASH	RMSE	BIAS
E9	18520000	Belo Horizonte	15,18	0,70	428,21	2018,08
E14	27500000	Conc. Araguaia	78,63	0,00	2050,79	9844,90
E34	17730000	Itaituba	17,36	0,83	847,69	1450,62
E35	17650002	Acará do Tapajós	11,83	0,18	941,48	4485,07
E36	17500000	Fortaleza	6,73	0,83	470,74	2201,28
E64	15150000	Pedras Negras	33,18	0,00	220,79	388,02
E90	11444900	Ipiranga Novo	12,24	0,62	336,79	1053,93
E96	12840000	Gavião	35,89	0,00	973,86	4760,91
E97	12850000	Acanauí	4,45	0,92	294,41	877,61
E103	13750000	Seringal Fortaleza	71,09	0,00	1006,59	4784,30
E104	13870000	Lábrea	22,57	0,50	550,05	2527,63
E105	13880000	Canutama	20,90	0,59	574,04	2588,29
E110	14250000	São Felipe	12,78	0,58	547,28	564,85
E114	14330000	Curicuriari	7,33	0,79	525,87	849,97
E119	15830000	Prainha Velha	76,93	0,00	1048,64	5092,71
E120	17430000	Barra do São Manuel	13,37	0,19	816,81	3999,72
E126	14420000	Serrinha	7,84	0,00	1489,96	6869,62
E131	22350000	Porto nacional	3,92	0,67	204,32	500,23
E132	22500000	Miracema do Tocantins	17,80	0,14	327,24	1572,00
E138	23600000	Tocantinópolis	2,16	0,95	144,69	380,27
E139	26030000	Fazenda Telesforo	5,64	0,60	140,42	419,45
E180	17410000	Santa Rosa	6,35	0,67	238,85	920,15
E212	17130000	Foz do Juruena	7,47	0,71	243,65	1068,14
<b>Média</b>			<b>21,38</b>	<b>0,46</b>	<b>627,09</b>	<b>2574,68</b>

De posse dos valores de NASH para cada estação retirada, os três termos de critério de qualidade geral de curvas de permanência de vazões simuladas,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , foram definidos e encontram-se na Tabela 4.33.

Tabela 4.33 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea II)

Validação	%
$P1 > 0,75$	21,74
$0,50 < P2 \leq 0,75$	34,78
$P3 \leq 0,50$	43,48
Total	100

- Região Homogênea III (método de *Ward*)

As Figuras 4.19 e 4.20 apresentam respectivamente, os  $\epsilon\%$  e os coeficientes NASH determinados para cada estação fluviométrica retirada da regressão.

Figura 4.19 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea III)

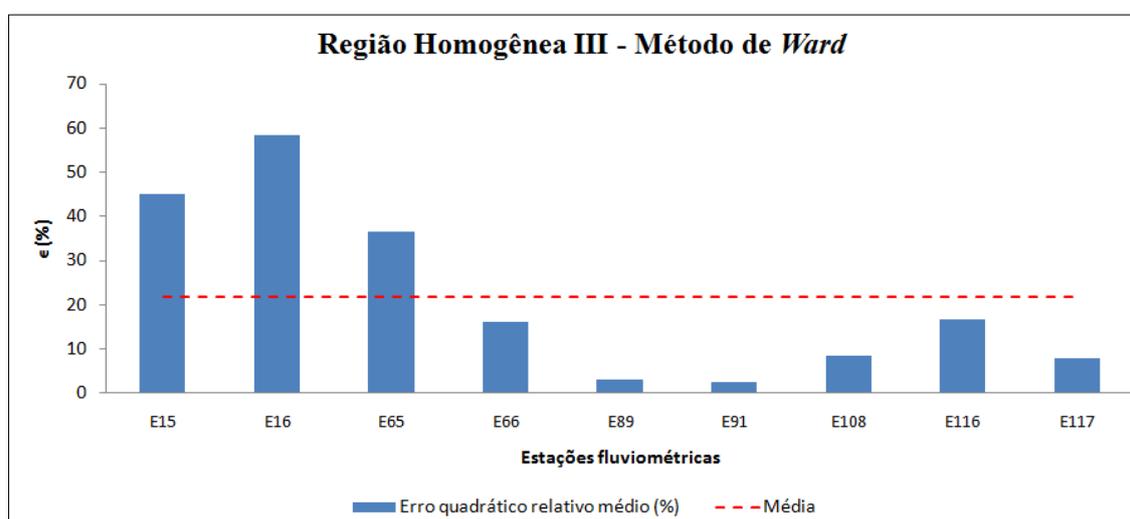
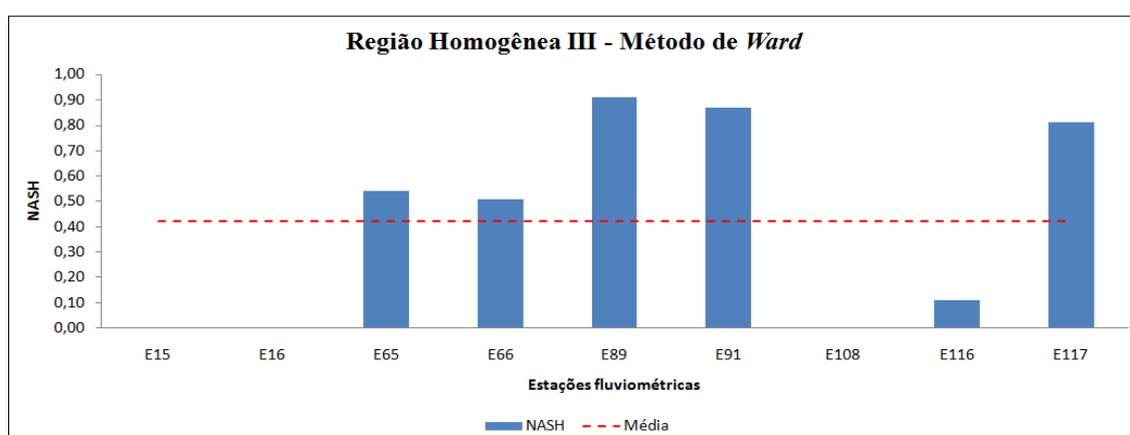


Figura 4.20 – Coeficientes NASH (região homogênea III)



Na Tabela 4.34 são apresentados os valores de cada critério utilizado na validação do modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões para as bacias da região homogênea III (método de *Ward*).

Tabela 4.34 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea III.

ID	Código	Estação Retirada	$\epsilon$ (%)	NASH	RMSE	BIAS
E15	29200000	Itupiranga	45,08	0,00	2555,54	10466,47
E16	29700000	Tucuruí	58,44	0,00	3581,29	16617,17
E65	15320002	Abunã	36,55	0,54	1429,90	5572,92
E66	15400000	Porto Velho	16,23	0,51	1570,67	7658,49
E89	11400000	São Paulo de Olivença	3,05	0,91	940,34	3587,74
E91	11500000	Santo Antônio do Içá	2,52	0,87	1277,76	6092,61
E108	14100000	Manacapuru	8,62	0,00	10150,59	46473,24
E116	15630000	Humaitá	16,67	0,11	2587,73	12654,63
E117	15700000	Manicoré	7,84	0,81	1290,20	4935,02
<b>Média</b>			<b>21,67</b>	<b>0,42</b>	<b>2820,45</b>	<b>12673,14</b>

De posse dos valores de NASH para cada estação retirada, os três termos de critério de qualidade geral de curvas de permanência de vazões simuladas,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , foram definidos e encontram-se na Tabela 4.35.

Tabela 4.35 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea III)

Validação	%
$P_1 > 0,75$	33,33
$0,50 < P_2 \leq 0,75$	22,22
$P_3 \leq 0,50$	44,44
Total	100

De posse dos resultados obtidos na avaliação e desempenho (validação – método *Jack-Knife*) dos modelos regionais das regiões homogêneas I (Eq.s 4.1 – 4.4), II (Eq.s 4.5 – 4.8) e III (Eq.s 4.9 – 4.12), formadas por intermédio do método hierárquico de *Ward*, nota-se que tais modelos não são robustos. Uma vez que, em mais de 40% dos casos para as 3 regiões homogêneas, o coeficiente NASH foi inferior a 0,50, situando-se na faixa de desempenho de ajuste pobre. Além disso, foram encontrados valores de erro quadrático médio percentual ( $\epsilon$ %) superiores a 20%, e valores muito elevados de RMSE e BIAS.

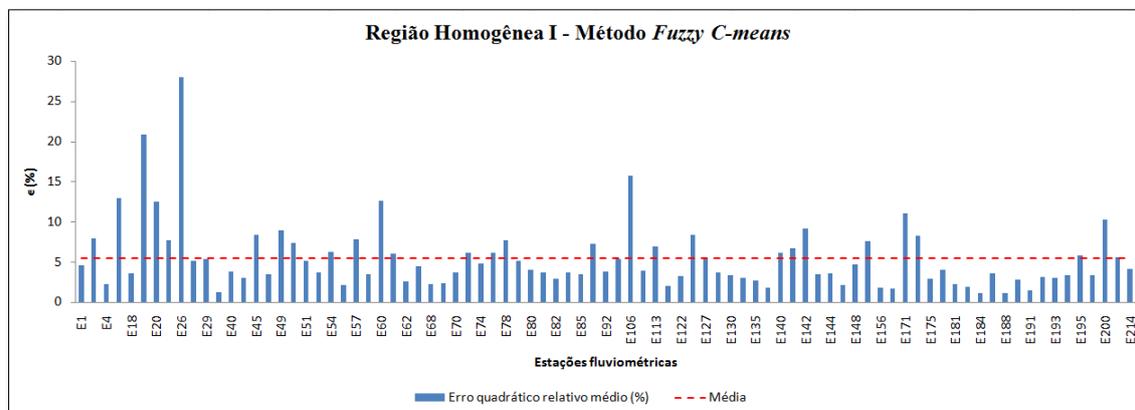
#### 4.5.2. Validação dos modelos de regionalização de curvas de permanência de vazões para as regiões homogêneas definidas por meio do método *Fuzzy C-Means*

O procedimento do método *Jack-Knife* (validação) também foi usado para avaliar o desempenho dos modelos regionais encontrados para as regiões homogêneas I (Eq.s 4.13 – 4.16), II (Eq.s 4.17 – 4.18), III (Eq.s 4.19 – 4.20), IV (Eq.s 4.21 – 4.24), V (Eq.s 4.25 – 4.28) e VI (4.29 – 4.32), definidas por meio do método difuso *Fuzzy C-Means*.

##### - Região Homogênea I (método de *fuzzy c-means*)

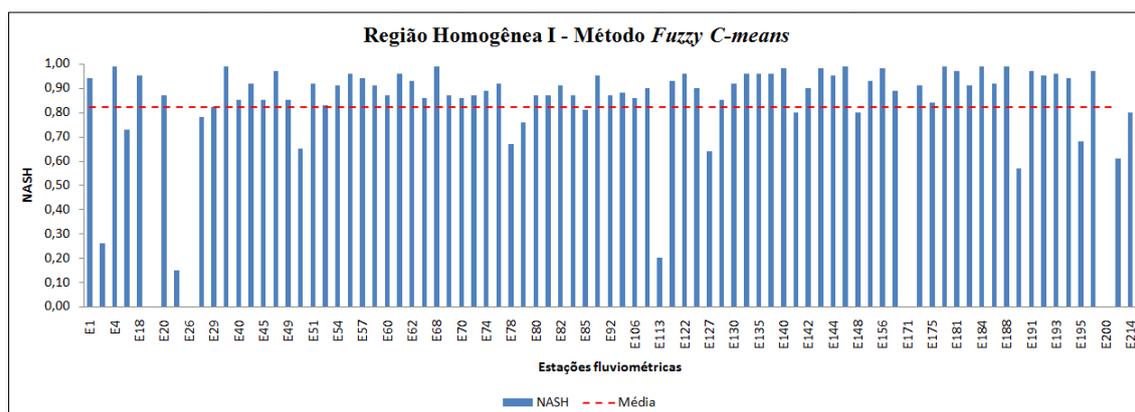
Nas Figuras 4.21 e 4.22 são apresentados gráficos que comparam os valores dos erros quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) e os coeficientes de NASH para cada estação fluviométrica retirada da regressão.

Figura 4.21 –Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea I – fuzzy c-means)



Analisando a Figura 4.21, verifica-se que somente 8 estações fluviométricas apresentaram erros quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) superiores a 10%, sendo que, apenas duas apresentaram valores superiores a 20%. O valor médio do ( $\epsilon\%$ ) correspondente a região foi igual a 5,42%, valor considerado satisfatório no desempenho do modelo regional.

Figura 4.22 – Coeficientes de NASH (região homogênea I – fuzzy c-means)



Na Figura 4.22, nota-se um valor médio do coeficiente NASH superior a 0,80, e que grande parte das estações fluviométricas apresentaram valores de NASH superiores a essa média.

Observa-se também através das Figuras 4.25 e 4.26, e da Tabela 4.36, que as estações Bom Jardim (E19) Cód. ANA 31520000, Alto Bonito (E26) Cód. ANA 1820000, Fazenda Tucunaré (E171) Cód. ANA 17091000 e Fazenda Riacho Doce (E200) Cód. ANA 66171500 foram as únicas que apresentaram coeficientes de NASH negativos, consequentemente, maiores erros quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ).

A Tabela 4.36 apresenta os valores de cada critério utilizado na validação do modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões para as bacias da região homogênea I.

Tabela 4.36 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea I (método fuzzy c-means).

ID	Código	Estação Retirada	$\epsilon(\%)$	NASH	RMSE	BIAS
E1	18250000	Uruará	4,56	0,94	0,94	1,01
E2	17345000	Base do Cachimbo	7,99	0,26	1,89	9,29
E4	17610000	Creporizão	2,20	0,99	1,81	4,86
E6	18870000	Aldeia Bacajá	12,99	0,73	20,78	84,66
E18	31020000	Cach. Tracambeua	3,56	0,95	5,55	2,68
E19	31520000	Bom Jardim	20,98	0,00	30,68	137,00
E20	32450002	Tararua Ponte	12,53	0,87	5,88	8,58
E21	32550000	Cafezal	7,74	0,15	3,87	11,62
E26	18200000	Arapari	27,98	0,00	37,53	171,00
E28	18280000	Apalaí	5,20	0,78	11,05	39,09
E29	16700000	Tirios	5,36	0,82	1,38	5,61
E39	19985000	Pacajás	1,19	0,99	0,78	0,89
E40	12360000	Foz do Breu	3,79	0,85	13,99	6,27

E43	12400000	Serra do Moa	3,06	0,92	1,37	2,37
E45	12510000	Seringal Bom Futuro	8,35	0,85	6,78	25,90
E46	12530000	Fazenda Paranacre	3,44	0,97	1,33	4,46
E49	13300000	Seringal São José	8,91	0,85	18,82	24,40
E50	13450000	Assis Brasil	7,39	0,65	7,20	30,14
E51	13470000	Brasiléia	5,10	0,92	6,62	21,54
E52	13550000	Xapuri	3,64	0,83	15,77	46,38
E54	15324000	Plácido de Castro	6,32	0,91	3,06	9,86
E55	19100000	Iratapuru	2,09	0,96	1,13	1,29
E57	19200000	São Pedro	7,86	0,94	0,86	4,04
E59	30070000	Cunani	3,49	0,91	0,91	0,83
E60	30075000	Tartarugal Grande	12,67	0,87	5,28	15,01
E61	30080000	Capivara	6,07	0,96	10,51	41,68
E62	30300000	Serra do Navio	2,56	0,93	5,88	19,26
E67	15431000	Fazenda Rio Branco	4,45	0,86	1,62	5,43
E68	15432000	Mín. Ponte Massangana	2,28	0,99	0,41	0,08
E69	15552600	Faz. Flor do campo	2,31	0,87	1,76	0,41
E70	15558000	Pimenta Bueno	3,66	0,86	5,38	14,20
E72	15565000	Jaru	6,14	0,87	5,69	21,49
E74	15590000	Mineração Jacundá	4,84	0,89	1,81	6,31
E77	14526000	Bom Fim	6,15	0,92	6,18	18,15
E78	14530000	Vila Surumu	7,68	0,67	4,83	15,51
E79	14540000	Fazenda Bandeira Branca	5,16	0,76	3,94	12,77
E80	14550000	Maloca do Contão	4,01	0,87	4,52	15,59
E81	14650000	Posto Funai	3,67	0,87	11,88	49,40
E82	14680001	Fé e Esperança	2,95	0,91	11,00	45,67
E84	14750000	Missão Catrimani	3,75	0,87	7,12	26,21
E85	14845000	Fazenda São José	3,44	0,81	14,78	22,20
E86	14850000	Base Alalau	7,27	0,95	7,41	25,19
E92	12100000	Colocação caxias	3,82	0,87	24,95	69,92
E99	12880000	Estirão da Santa Cruz	5,41	0,88	19,66	67,32
E106	13885000	Cristo	15,78	0,86	17,04	34,32
E112	14300000	Pari Cachoeira	3,95	0,90	4,11	18,48
E113	14325000	Tumbira	6,97	0,20	56,66	172,04
E115	15042000	Rio Preto da Eva	2,02	0,93	0,42	0,88
E122	16368000	Mineração Caima	3,22	0,96	9,19	30,31
E123	15910000	Santarém Sucunduri	8,36	0,90	25,96	9,30
E127	21850000	Rio da Palma	5,49	0,64	12,54	29,70
E129	22190000	Porto Alegre	3,72	0,85	1,49	2,57
E130	22250000	Fazenda Lobeira	3,33	0,92	4,69	12,34
E134	22750000	Rio das Balsas	3,00	0,96	5,91	3,27
E135	22850000	Dois Irmãos	2,74	0,96	5,36	6,29
E137	23250000	Goiantins	1,79	0,96	1,74	2,59
E140	26710000	Barreira do Pequi	6,20	0,98	3,43	7,95
E141	26720000	Praia Alta	6,69	0,80	6,93	8,91
E142	26750000	Projeto Rio formoso	9,22	0,90	3,69	10,11
E143	27550000	Arapoema	3,52	0,98	0,57	1,92
E144	28150000	Muricilandia	3,54	0,95	1,12	2,79

E145	28240000	Piraque	2,11	0,99	1,31	2,44
E148	32740000	Maracacume	4,72	0,80	6,84	11,81
E149	32830000	Alto Turi	7,57	0,93	4,62	17,50
E156	33320000	Grajau	1,79	0,98	0,54	1,57
E167	15050000	Pontes e lacerda	1,68	0,89	0,68	1,40
E171	17091000	Fazenda Tucunaré	11,10	0,00	16,54	14,84
E174	17200000	Porto Roncador	8,25	0,91	14,02	59,40
E175	17210000	Teles Pires	2,95	0,84	20,64	60,29
E179	17350000	Cachimbo	4,03	0,99	0,72	0,47
E181	18409000	Passagem da BR-309	2,22	0,97	0,16	0,51
E182	18420000	Fazenda Itaguaçu	1,94	0,91	1,01	2,32
E184	18435000	Rio Comandante Fontou	1,11	0,99	0,54	1,74
E187	24500000	Tesouro	3,57	0,92	4,32	2,57
E188	24650000	General Carneiro	1,15	0,99	0,41	0,83
E189	26040000	Rio das Mortes	2,81	0,57	2,44	5,19
E191	66005000	Alto Paraguai	1,48	0,97	0,17	0,53
E192	66006000	Nortelândia	3,16	0,95	1,16	4,21
E193	66010000	Barra do Bugres	3,02	0,96	5,00	22,30
E194	66015000	Porto Estrela	3,31	0,94	7,06	27,28
E195	66050000	Tapirapuã	5,83	0,68	7,38	33,74
E199	66140000	Marzagão	3,31	0,97	1,09	3,75
E200	66171500	Faz. Riacho Doce	10,33	0,00	4,66	20,79
E209	66520000	Itiquira	5,65	0,61	3,90	14,41
E214	17121000	Caiabis (Balsa)	4,12	0,80	13,34	20,16
<b>Média</b>			<b>5,42</b>	<b>0,82</b>	<b>7,46</b>	<b>21,52</b>

De posse dos valores de NASH para cada estação retirada, os três termos de critério de qualidade geral de curvas de permanência de vazões simuladas,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , foram definidos e encontram-se na Tabela 4.37.

Tabela 4.37 – Percentual dos critérios de qualidade (região homogênea I – *fuzzy c-means*)

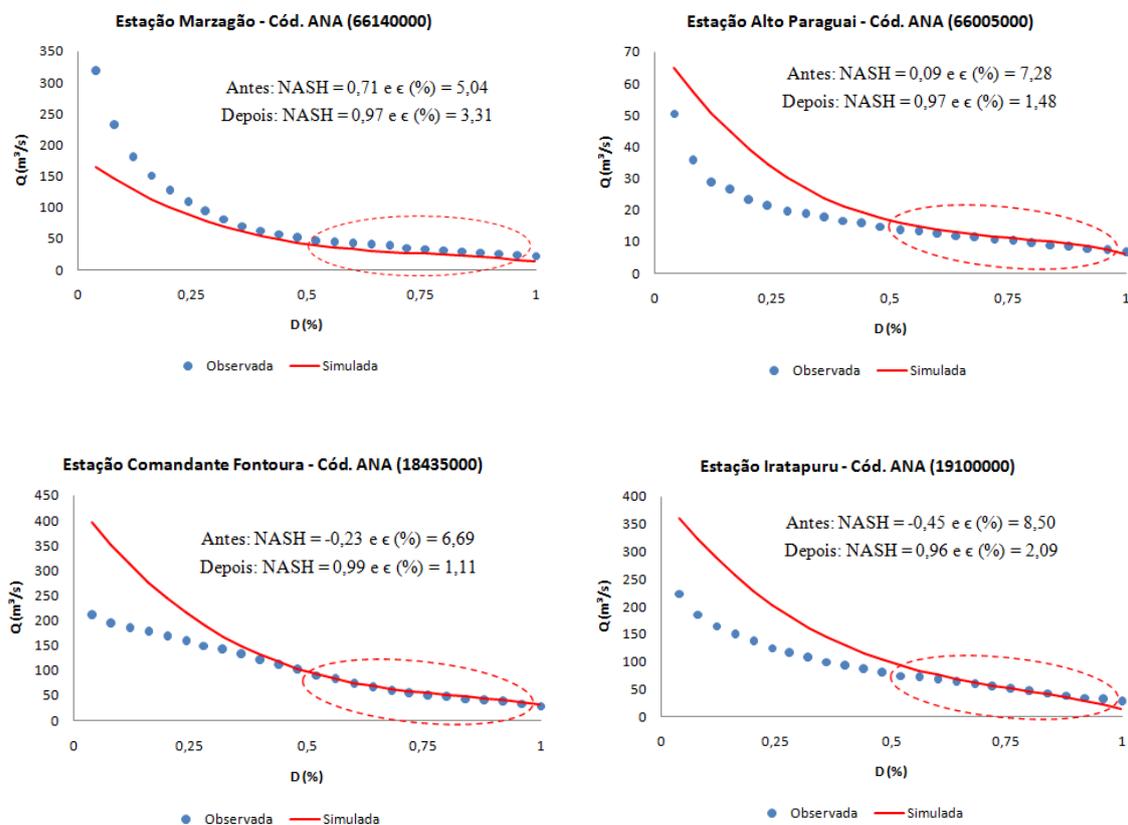
Validação	%
$P_1 > 0,75$	83,53
$0,50 < P_2 \leq 0,75$	8,24
$P_3 \leq 0,50$	8,24
Total	100

Inicialmente, na região homogênea I, verificou-se que 62,35% das estações fluviométricas apresentavam valores para os coeficientes de NASH superiores 0,75, e 15,29% superiores a 0,50. Indicando que 77,64% das estações apresentaram ajustes aceitáveis para bom e para pobre. Em 22,35% dos casos foram encontradas valores de NASH inferiores a 0,50.

Ainda no escopo da validação (método *Jack-Knife*), foi observada uma tendência de subestimação das curvas de permanência de vazões simuladas por meio do modelo regional (Eq.s 4.13-4.16) para permanências entre 4% e 48%. Devido a isso, para todas as estações que apresentaram subestimação das vazões nas permanências (4% - 48%), recalculou-se os valores de NASH considerando somente as vazões simuladas nos intervalos de permanência de 50% a 100%. Já que, em termos de importância, essa faixa de vazão caracteriza o período de estiagem de um rio, no qual os conflitos pelo uso da água são mais intensos. Ou seja, essas vazões são as mais utilizadas para se determinar a disponibilidade hídrica de um determinado manancial, com potencialidade de captação e aproveitamento.

A Figura 4.23 mostra quatro exemplos em que a curva de permanência de vazões simuladas ajusta-se bem a curva de permanência de vazões observadas a partir de 50% de permanência.

Figura 4.23 – Ajuste das curvas de permanência de vazões simuladas às observadas a partir de 50% de permanência.



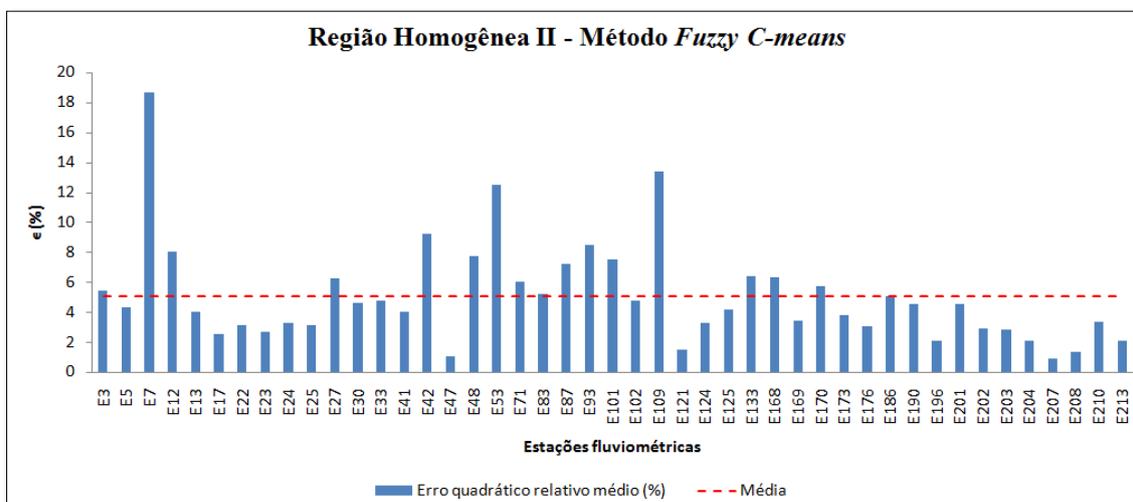
Todos os ajustes entre as curvas de permanência simuladas às curvas de permanência observadas de vazões para cada estação fluviométrica podem ser consultados no APÊNDICE VI.

Após isso, verificou-se que o modelo regional (Eq.s 4.13 – 4.16) melhorou significativamente, apresentando resultados mais satisfatórios na aplicação do método *Jack-Knife*, com uma média menor que 5,50% para os erros quadrático relativo médio percentual e baixos valores de RMSE e BIAS. Foram obtidos coeficientes de NASH > 0,75 em mais de 80% do conjunto de estações fluviométricas, o que significa que em mais de 80% dos casos houve um ajuste de aceitável para bom. Em somente 8,24% houve casos de ajuste pobre, e 8,24% de ajuste aceitável para pobre. Isso indica que a perda de informação decorrente da retirada de uma estação da análise não afetou de maneira significativa o desempenho do modelo regional.

- Região Homogênea II (método de *fuzzy c-means*)

A Tabela 4.38 apresenta os valores de cada critério utilizado na validação do modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões para as bacias da região homogênea II. Os  $\epsilon\%$  e o NASH, determinados para cada estação retirada da regressão, podem ser observados e analisados com mais detalhe quando comparados por meio de gráficos de barra (Figuras 4.24 e 4.25).

Figura 4.24 – Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea II – *fuzzy c-means*)



Analisando a Figura 4.24, verifica-se que somente 3 estações fluviométricas apresentaram erros quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) superiores a 10%. O valor médio do ( $\epsilon\%$ ) correspondente a região foi igual a 5,04%, valor considerado satisfatório no desempenho do modelo regional.

Na Figura 4.25, nota-se um valor médio do coeficiente de NASH superior a 0,80, e que grande parte das estações fluviométricas apresentaram valores de NASH superiores a essa média.

Figura 4.25 – Coeficientes de NASH (região homogênea II – *fuzzy c-means*)

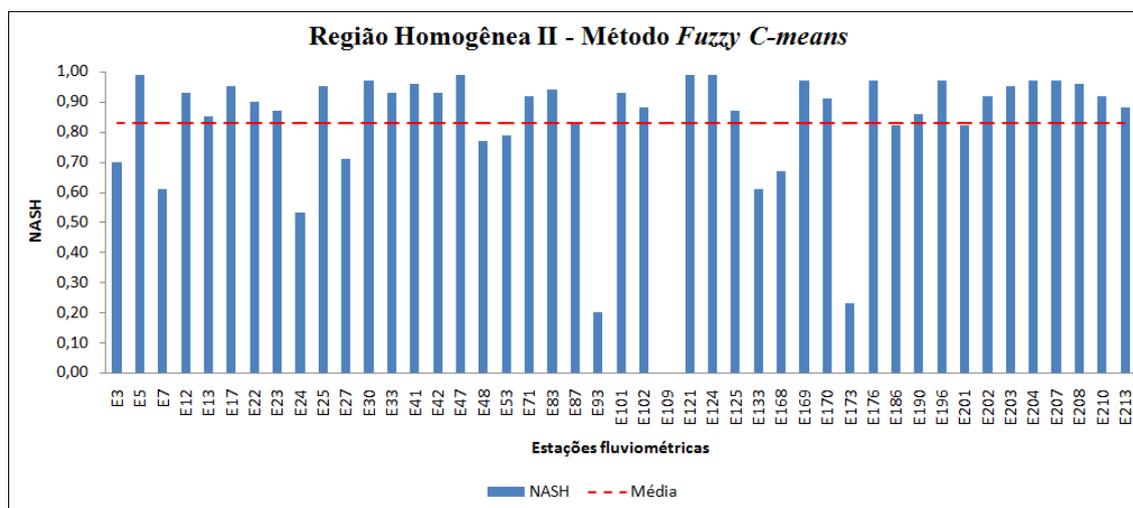


Tabela 4.38 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea II (*fuzzy c-means*).

ID	Código	Estação Retirada	$\epsilon(\%)$	NASH	RMSE	BIAS
E3	18121006	Barragem Conj. 4	5,41	0,70	5,91	19,44
E5	17675000	Jardim do ouro	4,32	0,99	11,70	22,66
E7	18880000	Faz. Cipauba	18,68	0,61	46,83	205,97
E12	18640000	Aldeia Baú	8,05	0,93	21,02	95,95
E13	29100000	Faz. Alegria	3,98	0,85	41,69	129,44
E17	31650000	Tauri	2,51	0,95	5,17	7,01
E22	31680000	Faz. Maringá	3,13	0,90	8,56	26,80
E23	31700000	Badajós	2,70	0,87	10,15	11,01
E24	32540000	Faz. Rural Zebu	3,24	0,53	3,17	3,88
E25	32620000	Alto Bonito	3,09	0,95	8,46	5,90
E27	17090000	Boca do Inferno	6,27	0,71	8,14	17,81
E30	16480000	Aldeia Wai-Wai	4,58	0,97	16,66	6,21
E33	16500000	Estirão da Angélica	4,77	0,93	31,16	136,51
E41	12370000	Taumaturgo	4,04	0,96	7,33	24,20
E42	12390000	Porto Walter	9,21	0,93	27,11	83,26
E47	12650000	Feijó	1,03	0,99	3,04	6,89
E48	13180000	Manoel Urbano	7,74	0,77	76,89	106,23

E53	13600002	Rio Branco	12,50	0,79	31,10	142,66
E71	15560000	Jiparaná	6,00	0,92	30,58	136,88
E83	14690000	Mucajaí	5,22	0,94	18,86	80,83
E87	10200000	Palmeiras do javari	7,20	0,83	30,92	22,14
E93	12200000	Barreira Alta	8,44	0,20	149,41	671,95
E101	13650000	Floriano peixoto	7,48	0,93	30,40	141,64
E102	13740000	Faz. Borangaba	4,73	0,88	42,53	129,65
E109	14230000	Missão Içana	13,39	0,00	232,50	1128,03
E121	16200000	Base da Siderama	1,45	0,99	5,22	9,90
E124	14450000	Jalauaca	3,25	0,99	5,05	13,89
E125	14440000	Porto Ajuricaba	4,13	0,87	29,52	91,12
E133	22700000	Novo Acordo	6,41	0,61	17,92	52,28
E168	15120001	Mato Grosso	6,34	0,67	5,59	13,99
E169	15750000	Humboldt	3,43	0,97	9,15	39,34
E170	15820000	Concisa	5,69	0,91	23,62	108,29
E173	17095000	Fazenda Tombador	3,78	0,23	14,60	40,78
E176	17280000	Cachoeirão	3,02	0,97	14,64	31,51
E186	24200000	Torixoreu	5,09	0,82	22,13	84,86
E190	26100000	Xavantina	4,50	0,86	17,34	30,88
E196	66070004	Cáceres (PNPVN)	2,06	0,97	10,19	14,67
E201	66250001	Rosário Oeste	4,50	0,82	19,96	57,65
E202	66255000	Acorizal	2,89	0,92	14,49	1,74
E203	66260001	Cuiabá	2,85	0,95	6,69	22,51
E204	66340000	Porto Cercado	2,05	0,97	3,32	5,88
E207	66465000	Colônia santa Isabel	0,87	0,97	2,12	2,28
E208	66470000	São José do Boriréu	1,32	0,96	2,38	3,88
E210	66600000	São jerônimo	3,31	0,92	6,58	27,45
E213	17120000	Porto dos Gaúchos	2,06	0,88	11,10	0,78
<b>Média</b>			<b>5,04</b>	<b>0,83</b>	<b>25,35</b>	<b>89,26</b>

De posse dos valores de NASH para cada estação retirada, os três termos de critério de qualidade geral de curvas de permanência de vazões simuladas,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , foram definidos e encontram-se na Tabela 4.39.

Tabela 4.39 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea II)

Validação	%
$P_1 > 0,75$	80,00
$0,50 < P_2 \leq 0,75$	13,33
$P_3 \leq 0,50$	6,67
Total	100

Assim como na Região homogênea I (método *fuzzy c-means*), na região II, também foi observada uma tendência de subestimação das curvas de permanência de vazões simuladas para permanências entre 4% e 48%. recalculou-se os valores de NASH considerando somente as vazões simuladas nos intervalos de permanência de 50% a 100%. Antes disso, 53,33% das estações apresentavam valores para os

coeficientes de NASH superiores 0,75, e 17,78% superiores a 0,50. Indicando mais de 71% das estações apresentaram ajustes aceitáveis para bom e para pobre. Em 28,89% dos casos foram encontradas valores de NASH inferiores a 0,50.

Depois de recalculer os valores de NASH, verificou-se que o modelo regional (Eq.s 4.17 e 4.18) apresentou resultados satisfatórios na aplicação do método *Jack-Knife*, pois apresentou uma média de 5,04% para os erros quadráticos relativos médios percentuais, valores baixos de RMSE e BIAS e bom ajuste gráfico entre as curvas de permanência observadas e simuladas (APÊNDICE VI), com algumas exceções, como a estação Barreira Alta (E93) Cód. ANA 12200000 e a estação Missão Içana (E109) Cód. ANA 14230000, de um total de 45 estações. Foram obtidos coeficientes NASH > 0,75 em 80% do conjunto de estações fluviométricas, ou seja,  $P_1$  = ajuste de aceitável a bom, ajuste de aceitável a pobre de 13,33% e 6,67% ajuste pobre (Tabela 4.39). Sendo que somente a estação Missão Içana (E109) Cód. ANA 14230000 apresentou NASH negativo.

#### - Região Homogênea III (método de *fuzzy c-means*)

Nas Figuras 4.26 e 4.27 são apresentados, respectivamente, os gráficos dos resultados dos erros quadráticos relativos médios percentuais ( $\epsilon\%$ ) e os coeficientes de NASH, para cada estação retirada da regressão.

Figura 4.26 – Erros quadráticos relativos médios percentuais (região homogênea III)

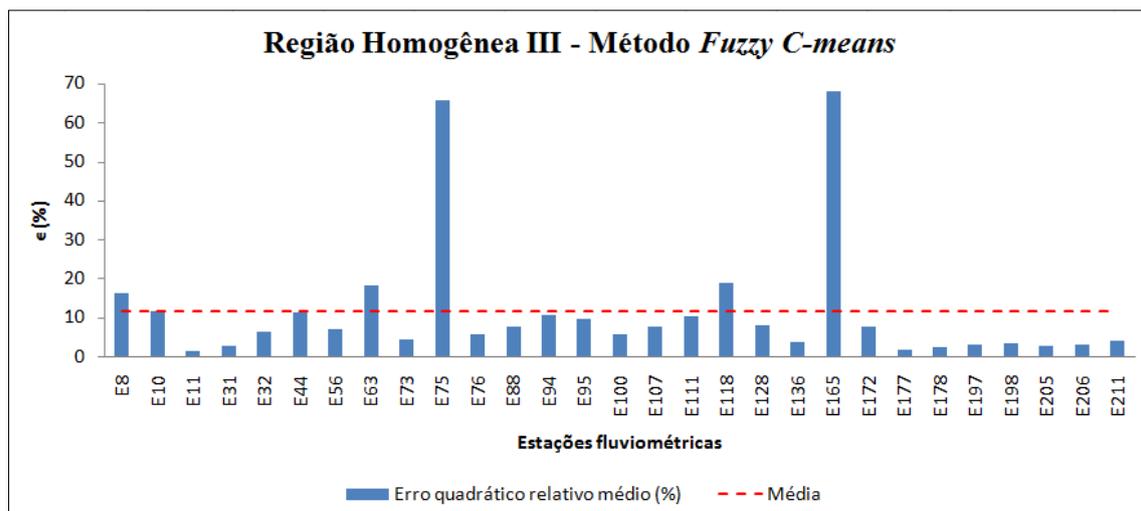
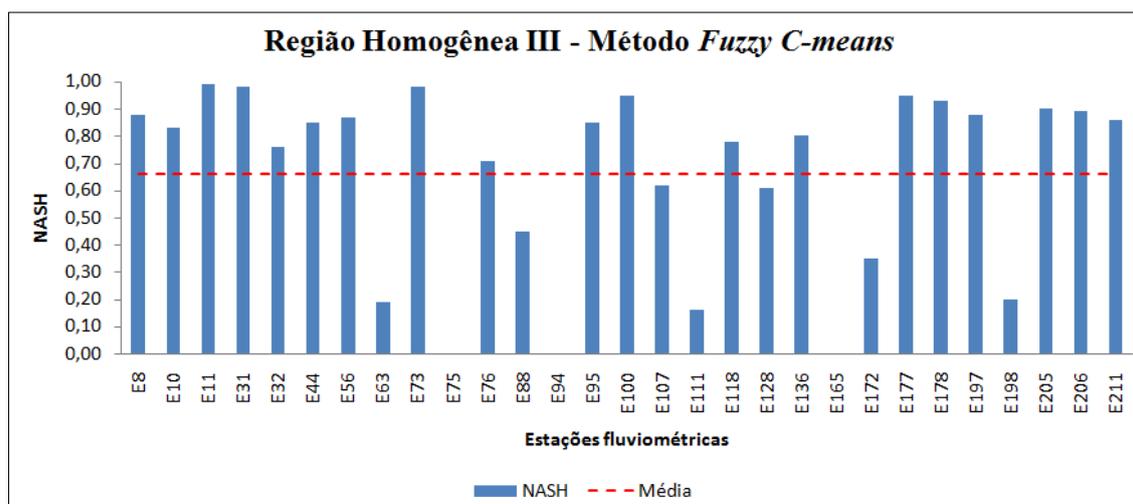


Figura 4.27 – Coeficientes de NASH (região homogênea III)



Na Tabela 4.40 é apresentado os valores de cada critério utilizado na validação do modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões para as bacias da região homogênea III.

Tabela 4.40 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea III.

ID	Código	Estação Retirada	$\epsilon$ (%)	NASH	RMSE	BIAS
E8	18500000	Boa Esperança	16,38	0,88	58,61	228,50
E10	18590000	Manoel Jorge (TP)	11,78	0,83	89,20	64,37
E11	18600000	Laranjeiras	1,34	0,99	8,68	3,84
E31	16430000	Garganta	2,65	0,98	36,22	27,29
E32	16460000	Caramujo	6,31	0,76	150,24	625,21
E44	12500000	Cruzeiro do sul	11,40	0,85	53,82	258,77
E56	19150000	São Francisco	7,15	0,87	56,22	255,40
E63	15130000	Pimenteiras	18,20	0,19	104,61	460,34
E73	15580000	Tabajara	4,39	0,98	3,66	96,08
E75	14500000	Mocidade	65,62	0,00	120,03	549,60
E76	14515000	Fazenda Passarão	5,82	0,71	57,71	184,57
E88	10500000	Estirão do reepouso	7,80	0,45	200,38	887,21
E94	12240000	Porto Seguro	10,51	0,00	209,91	833,13
E95	12680000	Envira	9,74	0,85	43,63	145,38
E100	13410000	Seringal da caridade	5,80	0,95	27,87	92,05
E107	13886000	Bacaba	7,71	0,62	115,65	513,45
E111	14280001	Taraqua	10,46	0,16	253,70	1191,21
E118	15800000	Boca do Guariba	18,89	0,78	116,77	569,61
E128	21900000	Paraná	8,08	0,61	62,68	225,61
E136	22900000	Porto Real	3,60	0,80	37,77	127,53
E165	33630000	Coroata	68,00	0,00	163,25	717,93
E172	17093000	Fontanilhas	7,77	0,35	104,09	229,01

E177	17300000	Faz. Tratex	1,89	0,95	11,52	3,33
E178	17340000	Indeco	2,51	0,93	35,79	112,16
E197	66090000	Descalvados	3,04	0,88	16,22	32,25
E198	66120000	Porto Conceição	3,46	0,20	13,59	38,00
E205	66360000	São João	2,61	0,90	4,41	15,15
E206	66370000	Ilha Camargo	2,92	0,89	11,66	47,57
E211	17123000	Rio Arinos	4,08	0,86	51,18	243,24
<b>Média</b>			<b>11,38</b>	<b>0,66</b>	<b>76,52</b>	<b>302,68</b>

De posse dos valores de NASH para cada estação retirada, os três termos de critério de qualidade geral de curvas de permanência de vazões simuladas,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , foram definidos e encontram-se na Tabela 4.41.

Tabela 4.41 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea III)

Validação	%
$P_1 > 0,75$	62,07
$0,50 < P_2 \leq 0,75$	10,34
$P_3 \leq 0,50$	27,59
Total	100

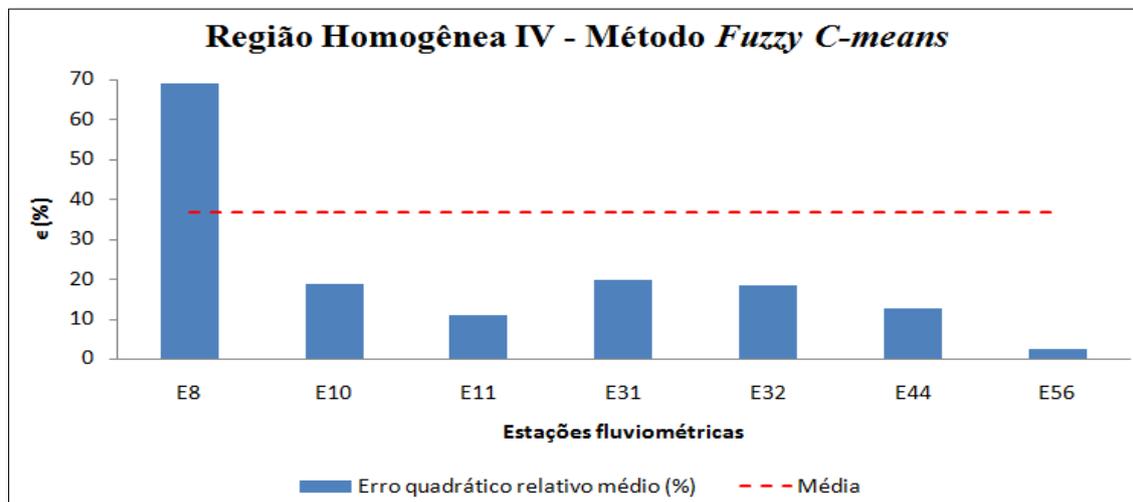
Analisando a Tabela 4.41, observa-se que o modelo regional (Eq.s 4.19 e 4.20) construído para a região homogênea III (método *fuzzy c-means*) apresentou desempenho de aceitável para bom ( $NASH > 0,75$ ) em mais de 60% dos casos e de aceitável para pobre de 10,34. Considera-se então que, em mais de 70% dos casos os ajustes encontrados foram satisfatórios. Houve casos de ajuste pobre, ou seja, quase 30% apresentaram coeficientes de NASH inferiores a 0,50. Sendo que 3 estações fluviométricas, de total de 29, apresentaram NASH negativos.

#### - Região Homogênea IV (método de *fuzzy c-means*)

Os modelos regionais obtidos para as regiões homogêneas IV (Eq.s 4.21 – 4.24), V (Eq.s 4.25 – 4.28) e VI (Eq.s 4.29 – 4.32) não se mostraram tão satisfatórios na avaliação do desempenho do coeficiente de NASH, erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) e no ajuste das curvas de permanência de vazões simuladas às curvas de permanência de vazões observadas. Percebe-se também que os índices RMSE e BIAS são, em geral, muito elevados. O mau desempenho pode ter ocorrido em função do pequeno número de estações fluviométricas que compõem cada região. Na Figura 4.28 é

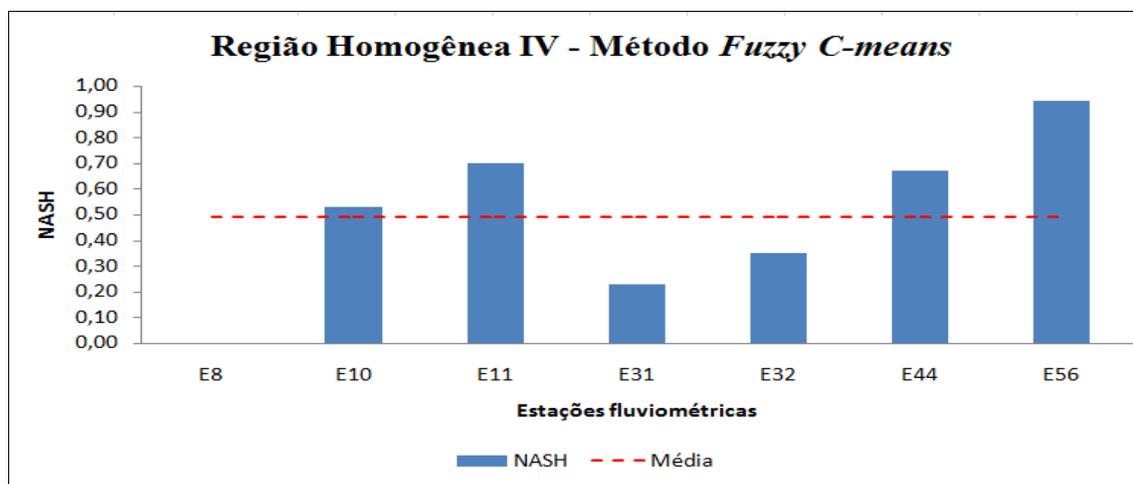
apresentado uma comparação gráfica dos erros quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) determinados para cada estação retirada da regressão.

Figura 4.28 –Erros quadrático relativo médio percentual (região homogênea IV)



Os coeficientes de NASH são comparados graficamente na Figura 4.29.

Figura 4.29 –Coeficientes de NASH (região homogênea IV)



Na Tabela 4.42 é apresentado os valores de cada critério utilizado na validação do modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões para as bacias da região homogênea IV.

Tabela 4.42 – Critérios utilizados na validação do modelo de regionalização da região homogênea IV.

<b>ID</b>	<b>Código</b>	<b>Estação Retirada</b>	<b>ε(%)</b>	<b>NASH</b>	<b>RMSE</b>	<b>BIAS</b>
E64	15150000	Pedras Negras	174,69	0,00	967,43	4709,42
E90	11444900	Ipiranga Novo	18,64	0,53	373,48	1451,33
E103	13750000	Seringal Fortaleza	11,03	0,70	186,42	261,14
E110	14250000	São Felipe	19,79	0,23	737,23	3601,97
E119	15830000	Prainha Velha	18,37	0,35	444,93	2026,16
E139	26030000	Fazenda Telesforo	12,66	0,67	128,59	6,46
E180	17410000	Santa Rosa	2,34	0,94	98,24	225,92
<b>Média</b>			<b>36,79</b>	<b>0,49</b>	<b>419,47</b>	<b>1754,63</b>

De posse dos valores de NASH para cada estação retirada, os três termos de critério de qualidade geral de curvas de permanência de vazões simuladas, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>, foram definidos e encontram-se na Tabela 4.43.

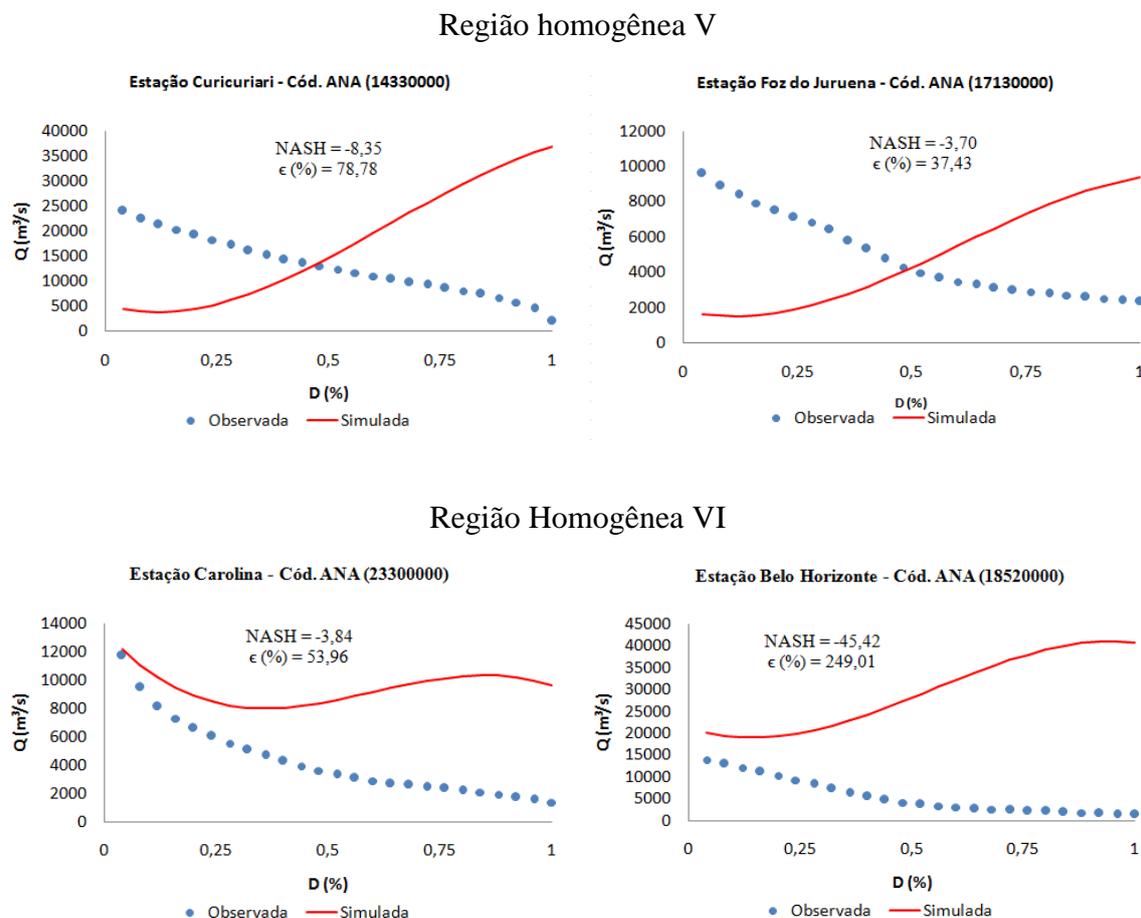
Tabela 4.43 – Porcentagem dos termos de critério de qualidade (região homogênea IV)

Validação	%
P <sub>1</sub> > 0,75	14,29
0,50 < P <sub>2</sub> ≤ 0,75	42,86
P <sub>3</sub> ≤ 0,50	42,86
Total	100

Observa-se que apenas 14,29% dos casos apresentaram ajuste de aceitável a bom, e 42,86% de aceitável a pobre. Mais de 40% dos casos o ajuste foi pobre.

Não foi possível ajustar as curvas de permanência de vazões simuladas às curvas de permanência de vazões observadas das regiões homogêneas V e VI, visto que as curvas simuladas apresentaram valores de vazões fora do comum (Figura 4.30). Em 100% das estações fluviométricas retiradas encontrou-se valores negativos de NASH, e erros quadrático relativo médio percentual (ε%) superiores a 100%. Conseqüentemente, não foi viável traçar os gráficos comparativos dos (ε%) e NASH.

Figura 4.30–Ajuste das curvas de permanência de vazões simuladas às vazões observadas das regiões homogêneas V e VI.

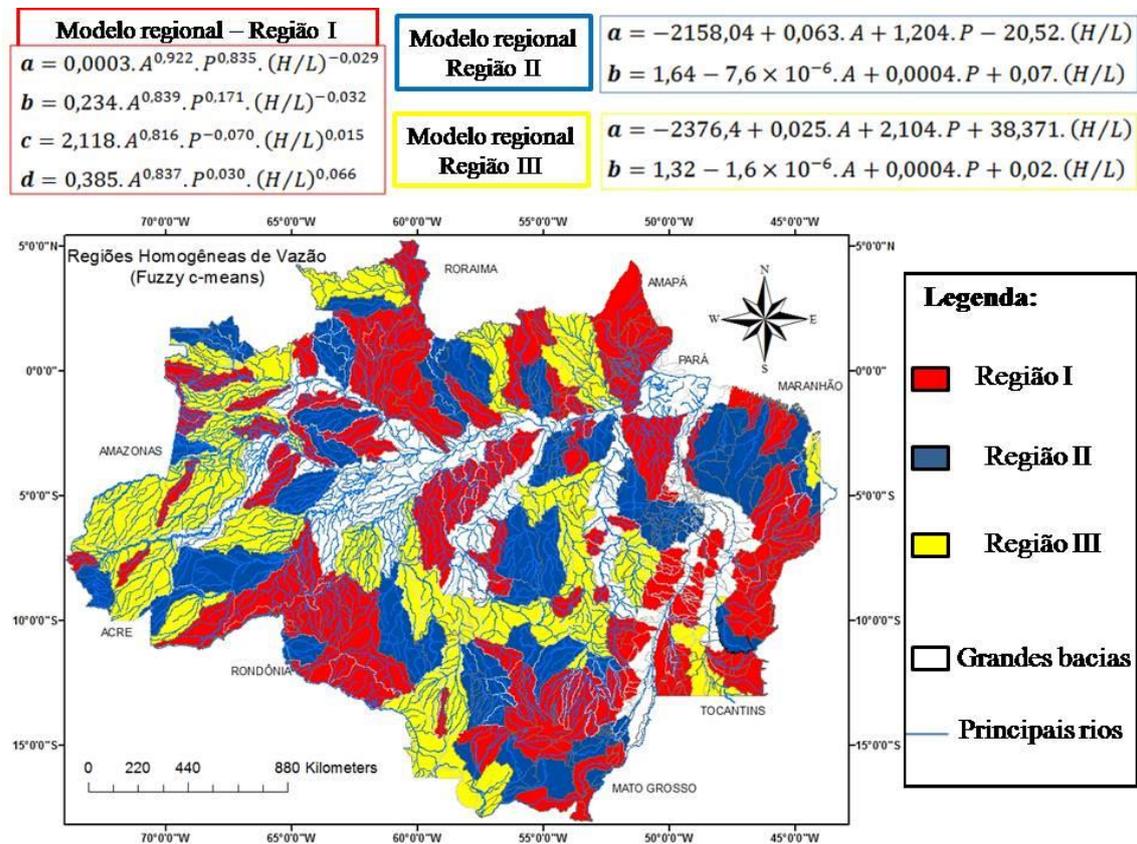


Após a avaliação de desempenho e validação dos modelos regionais propostos para cada uma das regiões homogêneas formadas por meio dos métodos hierárquico de *Ward* e o difuso *fuzzy c-means*, verificou-se que os modelos da região homogênea I (Eq.s 4.13 – 4.16), da região II (Eq.s 4.17 e 4.18) e da região III (Eq.s 4.19 e 4.20), formadas por *fuzzy c-means*, foram os únicos modelos capazes de reproduzir adequadamente as curvas de permanência de vazões nas estações fluviométricas retiradas da regressão. Portanto, esses modelos regionais propostos podem ser empregados na prática para encontrar curvas de permanência de vazões em bacias sem dados dentro de suas respectivas regiões homogêneas de vazão, respeitando os limites definidos de área de drenagem.

Na Figura 4.31 é apresentado o mapa da Amazônia Legal com as três regiões hidrologicamente homogêneas de vazão definidas por intermédio do método difuso

*Fuzzy C-Means* e seus respectivos modelos regionais de curvas de permanência de vazões.

Figura 4.31 – Mapa das regiões homogêneas de vazão e seus modelos regionais de curvas de permanência de vazões.



## CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

---

### 5.1. CONCLUSÕES

Os métodos de *Ward* e *Fuzzy C-Means*, utilizando a distância euclidiana como medida de similaridade, apresentaram bons resultados na identificação de regiões homogêneas de vazão para todas as 214 estações fluviométricas estudadas. Foram definidas 4 regiões homogêneas por meio de *Ward* e 14 regiões por meio do método *Fuzzy C-Means*.

O modelo cúbico foi o que apresentou melhor ajuste nas regiões homogêneas I, II e III (método de *Ward*) e regiões I, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII (método *Fuzzy C-Means*), com valores médios dos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) iguais a 0,99 e erros quadrático relativo médio percentual inferiores a 2,40%. O modelo linear ajustou-se melhor às curvas de permanência de vazões das regiões com áreas de drenagem consideradas muito grandes (grandes vazões), como nas regiões I (*Ward*) e XIII e XIV (*Fuzzy C-Means*).

Nas regiões homogêneas II e III (*Fuzzy C-Means*), regiões com áreas de drenagem entre 15.000 e 70.100 km<sup>2</sup>, o modelo exponencial apresentou um bom ajuste às curvas de permanência de vazões, assim como o cúbico também. No entanto, o modelo exponencial apresentou melhores resultados na validação dos modelos regionais.

Não se aplicou o método de regionalização de curvas de permanência de vazões nas regiões homogêneas compostas por um número pequeno de estações fluviométricas, como as regiões IV (método de *Ward*) e VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII e XIV (método *fuzzy C-Means*). Também não houve a necessidade em regionalizar bacias com grandes áreas de drenagem (grandes vazões) ou com vazões regularizadas, já que as últimas são monitoradas pelas empresas que administram usinas hidrelétricas, responsáveis pela regularização das vazões.

Com os resultados obtidos na valiação do desempenho dos modelos regionais das 3 regiões homogêneas formadas por intermédio do método hierárquico de *Ward*, nota-se que em mais de 43% dos casos, o índice de desempenho de NASH foi inferior a 0,50, situando-se na faixa de desempenho pobre. Tais modelos não se mostraram tão robustos quanto aqueles das regiões homogêneas I, II e III formadas por meio do método difuso *Fuzzy C-Means*, que respectivamente apresentaram valores de NASH  $\geq$

0,75 em 83,53%, 80% e 62,07% dos casos, situando-se na faixa de desempenho de aceitável a bom. Sendo assim, conclui-se que o método *Fuzzy C-Means* foi o mais indicado para a formação de regiões homogêneas de vazão para a região da Amazônia Legal.

O modelo regional de curvas de permanência de vazões da região homogênea I, poderá ser aplicado em bacias que apresentem limites de área de drenagem entre 296 e 14.500 km<sup>2</sup>. Já o modelo regional da região II, limita-se entre 15.000 – 37.500 km<sup>2</sup>. E o modelo regional da região III, limita-se a um intervalo de 37.800 – 70.100 km<sup>2</sup> de área de drenagem. As três regiões homogêneas representam 83,65% do total de estações fluviométricas consideradas no estudo.

Ainda no propósito da validação, observou-se uma tendência de subestimação das curvas de permanência de vazões simuladas pelos modelos regionais para permanências entre 4 e 48% para algumas estações fluviométricas retirada da regressão. Houve uma melhora significativa no desempenho dos modelos regionais nas três regiões homogêneas, ao considerar somente as vazões simuladas entre 50 e 95% de permanência na determinação do coeficiente de NASH. Lembrando que esse ajuste foi feito somente para as simulações que apresentaram subestimação de vazões.

Por fim, com base nos resultados e discussões, conclui-se que os modelos regionais desenvolvidos para as regiões homogêneas de vazão I, II e III, definidas por meio do método difuso *Fuzzy C-Means*, apresentam-se como uma boa opção na modelagem de curvas de permanência em bacias sem dados de vazão na região da Amazônia Legal.

## 5.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os estudos abaixo são colocados como sugestões para a continuação de pesquisa em outras etapas:

- Elaborar software para simulação de curvas de permanência de vazão de pequenas e médias bacias hidrográficas da Amazônia com base na metodologia desenvolvida.

- Aplicar Redes Neurais Artificiais como ferramenta de agrupamento, com a finalidade de identificar regiões homogêneas de vazão e comparar seus resultados aos métodos hierárquico de *Ward* e difuso *Fuzzy C-Means*.

- Identificar regiões homogêneas de chuvas na região da Amazônia Legal.

- Definir modelos de regionalização de chuvas para a região da Amazônia Legal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AAKER, D. A.; KUMAR, V.; DAY, G. S. Pesquisa de marketing, São Paulo: Atlas, 2001. 745p.

ALBERNAZ, A. L.; PRESSEY, R. L.; COSTA, L. R. F.; MOREIRA, M. P.; RAMOS, J. F.; ASSUNÇÃO, P. A.; FRANCISCON, C. H. Tree species compositional change and conservation implications in the white-water flooded forests of the Brazilian Amazon. *Journal of Biogeography*, 2012. Vol. 39 (5), p.869-883.

ÁLVAREZ, O. G.; HOTAIT, S. N.; SUSTAITA, R. F. Identificación de regions hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, v. 12, n.3, p. 277-284, 2011.

ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 2013.

ANDRADE, E. M.; HAWKINS, R. H. Aplicação da função de Andrews na avaliação da regionalização de bacias em regiões áridas e semi-áridas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 4, p. 17-24, 2000.

ANDRADE, L. P. Procedimento interativo de agrupamento de dados. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2004.

ANDRADE, L. P. Procedimento interativo de agrupamento de dados. 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2004.

BAENA, L. G. N. Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BARROSO, L.P.; ARTES, R. Análise Multivariada: minicurso do 10º Simpósio de Estatística Aplicada a Experimentação Agrônômica, Lavras: – Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras – MG. 151p., 2003

BEZDEK, J. C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Plenum Press, New York, 1981.

BLANCO, C. J. C.; SANTOS, S. S. M.; QUINTAS, M. C.; VINAGRE, M. V. A.; MESQUITA, A. L. A. Contribution to hydrological modelling of small Amazonian catchments: application of rainfall-runoff models to simulate flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (7), 2013.

BLOCH, I. Fuzzy spatial relationships for image processing and interpretation: a review. *Image and Vision Computing*, v. 23, p. 89-110, 2005.

BOBÉE, B.; RASMUSSEN, P. F. Recent advances in flood frequency analysis. *Reviews of Geophysics*, v.33 (S2), p. 1111-1116, 1995.

BOOKER, D. J.; SNELDER, T. H. Comparing methods for estimating flow duration curves at ungauged sites. *Journal of Hydrology*, 2012, v. 434-435, p. 78-94.

BUSSAB, Wilton de Oliveira; MIAZAKI, Édina Shizue; ANDRADE, Dalton Francisco de. Introdução à análise de agrupamentos. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990.

CABRERA, S. P.; MACIAS, H. M.; RAMIREZ, I. M.; SCHNAAS, L.; ROMIEU, I. Maternal dietary omega fatty acid intake and auditory brainstem-evoked potentials in Mexicans infants born at term: Cluster analysis. *Early Human Development*, v. 84, p. 51-57, 2008, doi:10.1016/j.earlhumdev.2008.03.005.

CALDAS, N. S. S.; GUERRA, C. E. Sistema de classificação fuzzy não supervisionada aplicada a detecção de savanas na região de Santarém-PA. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – Recife-PE, 2010.

CAMARGOS, L. M. M. (coord). Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas: resumo executivo dezembro 2004. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 228 p., 2005.

CANNAROZZO, M.; NOTO, L. V.; VIOLA, F.; LA LOGGIA, G. Annual runoff regional frequency analysis in Sicily. *Physics and Chemistry of the Earth*, Amsterdam, v. 34, n. 10-12, p. 679-687, 2009.

CASTELLARIN, A.; CAMORANI, G.; BRATH, A. Predicting annual and long-term flow duration curves in ungauged basins. *Advances in Water Resources*. v. 30, p. 937-953, 2007.

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

CASTIGLIONI, S.; CASTELLARIN, A.; MONTANARI, A.; SKOIEN, J. O.; LAAHA, G.; BLOSCHL, G. Smooth regional estimation of low-flow indices: physiographical space based interpolation and top-kriging. *Hydrology Earth Syst. Sci.* 15 (3), p. 715-727, 2009.

CATALUNHA, M. J. Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da Q7,10 para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa - MG, 2004

CHOW, V. T. (Ed.). *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1964.

COLLISCHONN, W. Simulação hidrológica em grandes bacias. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 194p. Tese Doutorado.

CORTÉS, J. A.; PALMA, J. L.; WILSON, M. Deciphering magma mixing: The application of cluster analysis to the mineral chemistry of crystal populations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Amsterdam, v. 165, n. 3-4, p. 163-188, 2007.

COSTA, A. S.; CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do Estado do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2012, Vol. 27, p.413.

CROCKER, K. M., YOUNG, A. R., Z Aidman, M. D., REES, H. G. Flow duration curve estimation in ephemeral catchments in Portugal. *Journal des Sciences Hydrologiques* 48, p. 427-439, 2003.

CROSS, W. P.; BERNHAGEN, R. J. Flow duration. Ohio streamflow characteristics, Bull. 10, part 1, Ohio Dept. of Natural Resour. , Div. of Water . 1949.

DIKBAS, F.; FIRAT, M.; CEM KOC, A.; GUNGOR, M. Classification of precipitation series using fuzzy cluster method. *Internacional Journal of Climatology*, v. 32, p. 1596-1603, 2012.

DINGMAN, S. L. 1978. Sintesis of flow-duration curves for unregulated streams in New Hampshire. In: *Water Resour. Bull.*, 14 (6), 1481 – 1502.

DONI, M. V. *Análise de Cluster: métodos hierárquicos e de partição*, São Paulo: Mackenzie: 2004. 93f. Monografia (Pós-graduação) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2004.

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.

ELESBON, A. A. A.; SILVA, D. D.; SEDIYAMA, G. C.; GUEDES, H. A. S.; AMARAL, R. V. *Análise estatística multivariada de agrupamento em suporte aos estudos de regionalização de vazões*. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Maceió-AL, 2011.

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. *Metodologia para regionalização de vazões*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH – UFRGS, 1985.

EMBRAPA – *Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo* – Brasília, DF: Embrapa Estudos e Capacitação, 2011.

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.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. *Análise de dados – Modelagem multivariada para tomadas de decisões*. Ed. Campus Elsevier, 2009.

FEARNSIDE, P. M. Land-Tenure Issues as Factors in Environmental Destruction in Brazilian Amazonia: The Case of Southern Pará. *World Development*, Col.29, n.8, pp. 1361-1372, 2001.

FOSTER, H. A Duration curves, *ASCE Trans*, 99, 1213-1267, 1934 apud VOGEL, R. M., FENNESSEY, N. M.. Flow duration curves I: new interpretation and confidence intervals. *J. Water Resources Planning Management*, 120 (4), p.485-504, 1994.

FRANCHINI, M.; SUPPO, M. Regional analysis of flow duration curves for a limestone region. *Water Resource Management*, Dordrecht, Netherlands, v.10, p.199-218, 1996.

FRENCH, U. S.; COX, A. Using cluster analysis to examine the combinations of motivation regulations of physical education students. *Journal of Sport e Exercise Psychology*, 2013. Vol. 31 (3), p.358-379.

FUNG, G. A comprehensive overview of basic clustering algorithms. June 22, 2001.

GANORA, D.; CLAPS, P.; LAIO, F.; VIGLIONE, A. An approach to estimate nonparametric flow duration curves in ungauged basins. *Water Resources Research*, v. 45, W104118, 2009.

GOLLEY, R. K.; HENDRIE, G. A. The impact of replacing regular – with reduced-fat dairy foods on children’s wider food intake: secondary analysis of a cluster RCT. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2012. Vol.86(10), p.1130.

GOMES, E. P.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Análise de agrupamento para identificação de regiões homogêneas na Amazônia. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Bento Gonçalves-RS (ABRH), 2013.

GONÇALVES, M. F., Regionalização e Estimativa de Chuvas do Estado do Pará. Tese de D.Sc., PRODERNA/UFPA, Belém, PA, Brasil, 2014.

GORDON, N. D.; McMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L. Stream hydrology – an introduction for ecologists. John Wiley & Sons, New York, N.Y., 373-377, 1992.

GÜLER, C.; KURT, A. M.; ALPASLAN, M.; AKBULUT, C. Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414-415, p.435-451, 2012.

HAIR, J. F.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise de regressão múltipla; trad. Schelup, A. e Chaves, A. 5. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2005.

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

HATVANI, G. I.; KOVÁCS, J.; KOVÁCS, I. S.; JAKUSCH, P.; KORPONAI, J. Analysis of long-term water quality changes in the Kis-Balaton Water Protection System with time series, cluster analysis and Wilk’s lambda distribution. *Ecological Engineering*, v. 37, p. 629-635, 2011, doi:10.1016/j.ecoleng.2010.12.028.

HELSEL, D.R.; HIRSCH, R. M. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. Capítulo A3, Statistical Methods in Water Resources 510p., 1993.

HOPE, A.; BART, R. Evaluation of a regionalization approach for daily flow duration curves in central and southern California watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*. Vol. 48, n.1, 2012.

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.

IACOBELLIS, V. Probabilistic model for the estimation of  $T$  year flow duration curves. *Water Resources Research*. Vol. 44, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://ibge/governodopara/republicafederativadoBrasil>. Acesso em: março de 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <HTTP://mapas.ibge.gov.br>. Acesso em: Janeiro de 2015.

ISHIHARA, J. H.; FERNANDES, L. L.; DUARTE, A. A. A. M.; ANA ROSA DUARTE, C. L. M., PONTE, M. X.; LOUREIRO, G. E. Quantitative and spatial assessment of precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) – (1978 to 2007). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*, Vol. 19 n.1 – Jan/Mar 2014, 29-39.

JINGYI, Z.; HALL, M. J. Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China. *Journal of Hydrology*, 296, p.98-117, 2004.

JOHAR, M.; SAVAGE, E. Discovering unhealthiness: evidence from cluster analysis. *Annals of Epidemiology*, 2013. Vol. 23 (10), p.614-619.

KAHYA, E.; DEMIREL, M. C. A comparison of low-flow clustering methods: streamflow grouping. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, v.2 (3), p. 524-530, 2007.

KAHYA, E.; DEMIREL, M. C.; BÉG, O. A. Hydrologic homogeneous regions using monthly streamflow in Turkey. *Earth Sciences Research Journal*, v. 12, n. 2, p. 181-193, 2008.

KÖPPEN, W. *Climatologia – Com um estudo de los climas de La tierra*. Trad. P. R. H Peres – Fundo de Cultura Econômica – México, 1948.

LANNA, A. E. *Elementos de Hidrologia Estatística*. In: *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3ª Ed., Porto Alegre, Editora da UFRGS / ABRH, 2004.

LIN, G.; CHEN, L. Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. *Journal of Hydrology*, 324 (2006) 1-9.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 41, n. 2, p. 205-215, fev. 2006.

MALHOTRA, N. K. *Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada*. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MARINHO, R. R.; MELO, E. Análise multitemporal da geomorfologia fluvial do rio Solimões entre dois períodos hidrológicos (cheia de 1999 e a vazante 2005). *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal/Brasil, 2009, INPE, p. 4765-4772.

MARTINENT, G.; NICOLAS, M.; GAUDREAU, P.; CAMPO, M. A cluster analysis of affective states before and during competition. *Journal of Sport e Exercise Psychology*, 2013. Vol.35, p.600-611.

MÉNDEZ, C. G. A.; DÍAZ, C. B. H; MARTÍNEZ, A. A.; OCAMPO, A. M. L; PÉREZ, B. L. A; APARICIO, J. A. R. Digital image analysis of diverse Mexican Rice cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012. Vol.92(13), p.2709-2714.

MENDICINO, G.; SENATORE, A. Evaluation of parametric and statistical approaches the regionalization of flow duration curves in intermittent regimes. *Journal of Hydrology*, 2013, v. 480, p. 19-32.

MEZER, A.; YOVEL, Y.; PASTERNAK, O.; GORFINE, T.; ASSAF, Y. Cluster Analysis of resting-state fMRI time series. *NeuroImage*, v. 45, p. 1117-1125, 2009, doi:10.1016/j.neuroimage.2008.12.015

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

MING, LI.; 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*, 2010, Vol. 389 (1), p.137-145.

MINGOTI, S. A. Análise de fados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: p. 297. UFMG, 2005.

MITCHELL, T. *Machine Learning*. MacGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1997.

MUNÔZ-DIAZ, D.; RODRIGO, F. S. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Ann. Geophys.* 22, 1435-1448, 2004.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Correlação e regressão. *Hidrologia e Estatística*. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2007. Capítulos 09 e 10, p. 381 – 468.

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

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology.*, Vol. 10, Issue 3, p. 282-290, 1970.

NATHAN, R. J. E MCMAHON, T. A. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization. *Journal of Hydrology*, 121, p.217-238, 1990.

NIADAS, I. A. Regional flow duration curve estimation in small ungauged catchments using instantaneous flow measurements and a censored data approach. *Journal of Hydrology*, v. 314, n. 1-4, p. 48-66, 2005.

NOURANI, V.; KOMASI, M. A geomorphology-based ANFIS model for multi-station modeling of rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, v. 490, p. 41-55, 2013.

NOVAES, L. F. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu, 2005. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

OUARDA, T. B. M. J., GIRARD, C., CAVADIAS, G. S., BOBÉE, B., 2001. Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *Journal of Hydrology.*, 157 -173.

OUARDA, T. B. M. J.; BA, K. M.; DIAZ-DELGADO, C.; CARSTEANU, A.; CHOKMANI, K.; GINGRAS, H.; QUENTIN, E.; TRUJILLO, E.; BOBEE, B. Intercomparison of regional flood frequency estimation methods at ungauged sites for a Mexican case study. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 248, n. 1-2, p. 40-58, 2008.

ÖZELKAN, E. C.; GALAMBOSI, A.; DUCKSTEIN, L.; BÁRDOSSY, A. A multi-objective fuzzy classification of large scale atmospheric circulation patterns for precipitation modeling. *Applied Mathematics and Computation*, 91, p.127-142, 1998.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. Regionalização Hidrológica. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH/UFSM, 2003. p.169-222.

PEDRYCZ, W.; VUKOVICH, G. Fuzzy clustering with supervision. *Pattern Recognition – The Journal of the Pattern Recognition Society*, v.37, p. 1339-1349, 2004.

PEREIRA, D. S. P.; JOHNSON, R. M. F. Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil. *REGA*, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p.53-72, jan./jun.2005.

PESSOA, F. C. L.; BLANCO, C. J. C.; MARTINS, J. R. Regionalização de curvas de permanência de vazão da região da Calha Norte no Estado do Pará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 16 (2): 65-74, 2011.

PINTO, J. A. O. Avaliação de métodos para a regionalização de curvas de permanência de vazões para a bacia do rio das Velhas, 2006. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – UFV, Viçosa, 2006.

QUIMPO, R. G., ALEJANDRINO, A. A. and McNALLY, T. A., 1983. Regionalized flow duration for Philippines. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 109 (4): 320-330.

RAHNAMA, M. B.; ROSTAMI, R. Halil-River Basin Regional Flood Frequency Analysis Based on L-moment Approach. *International Journal of Agricultural Research*, 2: 261-267, 2007.

RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. *Journal of Hydrology*, v. 318, n. 1-4, p. 57-79, 2006a.

RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*, v. 318, p. 37-56, 2006b.

REGAZZI, A. J. Análise multivariada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. Apostila de disciplina.

REGAZZI, A. J. INF 766 - Análise multivariada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. Apostila de disciplina.

REIS, E. Estatística multivariada aplicada. Lisboa, 1997.

REIS, J. A. T.; CRISTO, J. N.; ELESBON, A. A. A.; MENDONÇA, A. S. F. (2006), Regionalização de curvas de permanência de vazão para rios do Estado do Espírito Santo. *Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia*, Vitória, Nº 01, p. 28-35, 2. sem.2006.

RIANNA, M.; RUSSO, F.; NAPOLITANO, F. Stochastic index model for intermittent regimes: from preliminary analysis to regionalisation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 11, p. 1189-1203, 2011.

RIGGS, H. C. *Regional Analyses of Streamflow*. U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations. Book 4, U.S. Geological Survey, Washington, D.C. 1973.

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

SAHIN, S.; CIGIZOGLU, K. H. The sub-climate regions and the sub-precipitation regime regions in Turkey. *Journal of Hydrology*, 450-451, p. 180-189, 2012.

SANDRI, S.; BURN, D. H. A fuzzy c-means approach for regionalization using a bivariate homogeneity and discordancy approach. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 401, n. 3-4, p. 231-239, maio, 2011.

SATYANARAYANA, P.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of precipitation in data sparse areas using large scale atmospheric variables – a fuzzy clustering approach. *Journal of Hydrology*, 405, p. 462-473, 2011.

SAVILLE; THORNDIKE; WATSON, J. D. An investigation of the flow-duration characteristics of North Carolina streams. *Trans. Am. Geophys. Union*, p. 406-525, 1933.

SEARCY, J. K. *Flow duration curves-manual of hydrology: Part 2. Low flow techniques*, 1963.

SHU, C.; OUARDA, T. B. M. J. Improved methods for daily streamflow estimates at ungauged sites. *Water Resources Research*, v. 48, W02523, 2012.

SILVA JÚNIOR, O. B.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, N. M. R. Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n. 1, 2003. p. 21 – 37.

SILVA, B. C.; TIAGO FILHO, G. L.; SILVA, A. P. M.; DE PAULO, R. G. F. Regionalização de vazões na bacia do Rio Grande. In: *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Curitiba, 2003. CD-Rom.

SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. Modelagem da hidrografia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto do Rio Grande. *Revista Brasileira Engenharia Agric. Amb.*, 12:258-265, 2008.

SILVA, R. S. Proposta de otimização de modelo de regionalização de curvas de permanência de vazões. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, PA, 2014.

SILVA, R. S.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de rios do Estado do Pará. In: *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Bento Gonçalves, 2013.

- SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.3, n. 3, 1998. p. 111 - 131.
- SINGH, K. P. Model flow duration and streamflow variability. *Water Resources Research*, v. 7(4), p. 1031-1036, 1971.
- SRINIVAS, V. V.; TRIPATHI, S.; RAO, A. R.; GOVINDARAJU, R. S. Regional flood frequency analysis by combining self-organizing feature map and fuzzy clustering. *Journal of Hydrology*, 348, p. 148-166, 2008.
- STRAND, R. I.; PEMBERTON, E. L. Reservoir sedimentation. Tech. Guideline for Bureau of Reclamation, U. S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1982.
- TSAKIRIS, G.; NALBANTIS, L.; CAVADIAS, G. Regionalization of low flows based on canonical correlation analysis. *Advances in Water Resources* 34, 865-872, 2011.
- TUCCI, C. E. M. Flow regionalization in the upper Paraguay basin, Brasil., 1993. *Hydrological Sciences – Journal – des Sciences Hydrologiques*, 485 -497.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, Ed. ABRH / UFRGS, 2009. p. 944.
- UFPR. Universidade Federal do Paraná. Tabela de distribuição F de Snedecor. Disponível: <http://www.peopleufpr.br/marioluiz/exercicios/eng/tabela-dist-F>. Acesso em: janeiro de 2013.
- VALVERDE, A. E. L. Regionalização de chuvas intensas para a bacia do rio doce. 2001. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.
- VIOLA, F.; NOTO, L. V.; CANNAROZZO, M.; LA LOGGIA, G. Regional flow duration curves for ungauged sites in Sicily. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, v. 15(1), p. 323.
- VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. Flow-duration curves II. A Review of Applications in Water Resources Planning. *Water Resour Bull*, 31 (6): 1029-1039, 1995.
- VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts. *J Water Resour Plann Manage ASCE* 1990. 116 (4): 531-49.
- WANG, LI-XIN. *A course in fuzzy systems and control*. Prentice-Hall International, 1997.
- WARD, JÚNIOR H. (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, Alexandria, v.58, n.301, p.236-244, 1963.
- WARNICK, C. C. *Hydropower engineering*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, p. 59-73, 1984.
- WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, 630 pp. USA, 2006.

YANG, T.; SHAO, Q.; HAO, Z. C.; CHEN, X.; ZHANG, Z.; XU, C. Y.; SUN, L. Regional frequency analysis and spatio-temporal pattern characterization of rainfall extremes in the Pearl River Basin, China. *Journal of Hydrology*, v. 380, n. 3-4, p. 386-405, 2010.

YASAR, M.; BAYKAN, N. O. Prediction of flow duration curves for ungauged basins with Quasi-Newton Method. *Journal of Water Resource and Protection*, v.5, p. 97-110, 2013.

YU, P. S.; YANG, T. C.; WANG, Y. C. Uncertainty analysis of regional flow duration curves. *J. Water Resour. Plann. Manage*, ASCE, 128(6), p. 424-30, 2002.

## APÊNDICE I – DADOS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-CLIMÁTICAS UTILIZADAS NO ESTUDO

ID	Estações	Estado do Pará				Características físico-climáticas					
		Código	Rio	Período	Latitude	Longitude	A (Km <sup>2</sup> )	P (mm)	L (Km)	H (m)	Q <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> /s)
E1	Uruará	18250000	Uruará	39	-03°40'38"	-53°33'15"	2978	1770	191	320	40,98
E2	Base Cachimbo	17345000	Braço Norte	15	-09°20'32"	-54°54'29"	465	2019	51	30	24,16
E3	Barragem Conj. 4	18121006	Curuá-uma	29	-02°48'56"	-54°18'06"	16200	1712	33	390	182,78
E4	Creporizão	17610000	Crepori	13	-06°49'11"	-56°51'06"	6240	1780	56	270	214,00
E5	Jardim do Ouro	17675000	Jamaxim	20	-06°15'27"	-55°46'21"	37400	1745	266	320	1108,00
E6	Aldeia Bacajá	18870000	Bacajá	18	-04°54'58"	-51°25'42"	12800	1684	182	136	182,15
E7	Faz. Cipauba	18880000	Bacajá	32	-03°43'53"	-51°34'03"	24700	1964	34	180	307,11
E8	Boa Esperança	18500000	Fresco	30	-06°44'43"	-51°46'25"	42400	1882	41	315	824,55
E9	Belo Horizonte	18520000	Xingu	29	-05°23'34"	-52°52'38"	281000	1748	603	138	5167,14
E10	Manoel Jorge(TP)	18590000	Iriri	9	-06°11'14"	-54°05'01"	56900	1861	479	410	1063,16
E11	Laranjeiras	18600000	Iriri	30	-05°41'48"	-54°14'44"	58700	1334	389	414	1314,29
E12	Aldeia Baú	18640000	Curuá	29	-07°20'46"	-54°49'25"	18300	2226	302	350	448,61
E13	Faz. Alegria	29100000	Itacaiunas	40	-05°29'12"	-49°13'17"	37500	1383	49	470	516,44
E14	Conc. Araguaia	27500000	Araguaia	37	-08°16'10"	-49°15'34"	332000	1286	826	710	5150,57
E15	Itupiranga	29200000	Tocantins	33	-05°07'41"	-49°19'27"	746000	1678	1548	180	11537,40
E16	Tucuruí	29700000	Tocantins	29	-03°45'28"	-49°39'12"	764000	2400	1732	270	11319,97
E17	Tauri	31650000	Capim	11	-03°30'00"	-48°50'00"	20400	2091	448	20	361,16
E18	Cach. Tracambeua	31020000	Moju	28	-03°30'46"	-49°12'48"	5000	1971	300	190	150,44
E19	Bom Jardim	31520000	Guamá	45	-01°32'26"	-47°03'56"	6760	2431	211	55	136,04
E20	Tararua Ponte	32450002	Piria	25	-01°44'07"	-46°35'29"	2630	2140	75	128	74,32
E21	Cafezal	32550000	Uraim	25	-02°46'18"	-46°48'10"	4690	1915	17	140	71,82
E22	Faz. Maringá	31680000	Capim	28	-03°08'14"	-48°05'05"	25900	1810	321	25	477,56
E23	Badajós	31700000	Capim	29	-02°30'46"	-47°46'05"	32200	2403	92	50	572,43
E24	Faz. Rural Zebu	32540000	Gurupi	29	-03°19'11"	-46°50'44"	16300	1500	361	40	109,09
E25	Alto Bonito	32620000	Gurupi	28	-01°48'02"	-46°18'58"	32900	2101	60	108	465,44
E26	Arapari	18200000	Maicuru	36	-01°46'44"	-54°23'50"	12400	1704	299	450	120,36

E27	Boca do Inferno	17090000	Curuá	31	-01°30'11"	-54°52'22"	19800	2050	309	439	143,95
E28	Apalaí	18280000	Paru de Este	28	01°13'15"	-54°39'25"	7230	1886	223	175	138,63
E29	Tirios	16700000	Cuminã	27	02°13'26"	-55°57'23"	819	2081	41	65	17,22
E30	Aldeia Wai-Wai	16480000	Mapuera	17	-00°41'41"	-57°58'29"	21600	2241	396	417	547,58
E31	Garganta	16430000	Trombetas	16	-00°59'52"	-57°02'35"	39000	2768	506	335	1408,85
E32	Caramujo	16460000	Trombetas	17	-01°03'54"	-57°03'41"	51700	2631	291	140	2071,24
E33	Estirão Angélica	16500000	Mapuera	27	-01°06'02"	-57°03'25"	25800	2632	422	660	673,30
E34	Itaituba	17730000	Tapajós	27	-04°16'32"	-55°58'56"	458000	2100	1392	280	13263
E35	Acará do Tapajós	17650002	Tapajós	12	-04°53'11"	-56°53'11"	390000	2100	1290	150	8933
E36	Fortaleza	17500000	Tapajós	25	-06°02'43"	-57°38'34"	363000	2100	1052	150	9869
E37	Óbidos – Porto	17050000	Solimões	34	-01°99'50"	-55°30'40"	4670000	1778	1917	225	169470
E38	Óbidos	17050001	Solimões	44	-01°99'00"	-55°30'47"	4670000	1778	1917	225	173705
E39	Pacajás	19985000	Pacajás	32	-02°82'80"	-50°33'60"	2682	1900	207	160	134
Estado do Acre				Características físico-climáticas							
E40	Foz do Breu	12360000	Juruá	4	-09°24'35"	-72°42'57"	7690	1878	2694	40	170,44
E41	Taumaturgo	12370000	Juruá	4	-08°56'04"	-72°47'21"	16100	1468	2459	53	385,08
E42	Porto Walter	12390000	Juruá	4	-08°16'02"	-72°44'28"	22200	2109	2356	75	518,93
E43	Serra do Moa	12400000	Moa	4	-07°26'48"	-73°39'52"	1030	2381	60	79	31,12
E44	Cruzeiro do Sul	12500000	Juruá	14	-07°37'59"	-72°39'42"	37800	2075	2004	110	875,94
E45	Seringal Bom Futuro	12510000	Liberdade	14	-07°50'57"	-72°03'17"	3400	2313	98	139	84,90
E46	Fazenda Paranacre	12530000	Gregório	17	-07°57'04"	-71°28'56"	2070	1865	199	140	81,42
E47	Feijó	12650000	Envira	27	-08°09'49"	-70°21'23"	17000	1713	182	130	474,07
E48	Manoel Urbano	13180000	Purus	28	-08°53'03"	-69°16'05"	32800	1768	35	5	840,46
E49	Seringal São José	13300000	Iaco	28	-09°22'28"	-68°43'26"	11200	1740	42	158	242,23
E50	Assis Brasil	13450000	Acre	30	-10°56'37"	-69°33'56"	3760	1593	118	160	57,82
E51	Brasiléia	13470000	Acre	37	-10°59'59"	-68°45'42"	7020	1496	438	224	120,96
E52	Xapuri	13550000	Xapuri	38	-10°39'05"	-68°30'22"	8270	1636	412	104	207,45
E53	Rio Branco	13600002	Acre	43	-09°58'30"	-67°48'03"	23500	1907	154	260	344,58
E54	Plácido de Castro	15324000	Abunã	44	-10°20'14"	-67°10'59"	7740	1654	62	8	110,12
Estado do Amapá				Características físico-climáticas							
E55	Iratapuru	19100000	Iratapuru	30	-00°33'07"	-52°34'13"	4470	1925	189	244	70,91
E56	São Francisco	19150000	Jari	38	-00°34'04"	-52°34'09"	51500	2250	603	405	1067,33
E57	São Pedro	19200000	Cajari	13	-00°27'08"	-52°04'11"	735	2039	27	55	17,03
E58	Pancada	19300000	Maraca Pacu	9	-00°10'47"	-51°45'24"	2290	2262	154	6	47,73
E59	Cunani	30070000	Cunani	14	02°41'52"	-51°21'40"	296	3479	73	75	17,79

E60	Tartarugal Grande	30075000	Tartarugal Grande	15	01°23'52"	-50°55'30"	1810	3080	69	93	80,38
E61	Capivara	30080000	Araguari	29	00°59'10"	-51°42'23"	10600	2250	298	154	309,97
E62	Serra do Navio	30300000	Amapari	38	00°54'02"	-52°00'36"	10800	2454	245	159	343,89
<b>Estado de Rondônia</b>				<b>Características físico-climáticas</b>							
E63	Pimenteiras	15130000	Guaporé	23	-13°29'09"	-61°03'00"	54200	1968	746	13	496,19
E64	Pedras Negras	15150000	Guaporé	25	-12°51'05"	-62°53'57"	110000	1511	460	21	874,76
E65	Abunã	15320002	Madeira	28	-09°42'11"	-65°21'53"	921000	1841	1136	220	17894,65
E66	Porto Velho	15400000	Madeira	40	-08°44'54"	-63°55'01"	976000	2245	1368	265	18601,73
E67	Faz. Rio Branco	15431000	Branco	27	-09°53'13"	-62°59'05"	989	2234	68	144	25,54
E68	Ponte Massangana	15432000	Massangana	26	-09°45'39"	-63°17'15"	843	1906	110	62	24,92
E69	Flor do Campo	15552600	Comemoração	23	-11°44'56"	-60°52'04"	4360	1896	30	315	105,57
E70	Pimenta Bueno	15558000	Pimenta Bueno	26	-11°41'01"	-61°11'32"	10100	1901	33	393	212,49
E71	Jiparaná	15560000	Jiparaná	28	-10°52'25"	-61°56'08"	32800	1941	406	45	709,06
E72	Jaru	15565000	Jaru	25	-10°26'45"	-62°27'56"	3970	2049	50	215	84,14
E73	Tabajara	15580000	Jiparaná	28	-08°55'56"	-62°03'20"	60300	2368	88	129	1418,57
E74	Mineração Jacundá	15590000	Jacundá	23	-09°10'44"	-62°57'08"	1180	2461	85	59	31,27
<b>Estado de Roraima</b>				<b>Características físico-climáticas</b>							
E75	Mocidade	14500000	Uraricoera	25	03°27'49"	-60°54'35"	43900	1436	29	687	213,43
E76	Fazenda Passarão	14515000	Uraricoera	46	03°12'28"	-60°34'16"	50200	1324	19	692	1416,13
E77	Bom Fim	14526000	Tacutu	26	03°22'42"	-59°48'56"	9620	1717	238	163	206,55
E78	Vila Surumu	14530000	Surumu	26	04°11'46"	-60°47'38"	2280	1250	157	688	73,25
E79	Bandeira Branca	14540000	Cotingo	28	04°37'50"	-60°28'14"	3210	1340	269	1500	98,29
E80	Maloca do Contão	14550000	Cotingo	35	04°10'03"	-60°31'44"	5780	1617	320	1600	150,82
E81	Posto Funai	14650000	Mucajaí	20	02°51'39"	-60°43'54"	9230	1691	20	703	280,97
E82	Fé e Esperança	14680001	Mucajaí	36	02°43'54"	-62°01'02"	12200	1909	220	566	300,96
E83	Mucajaí	14690000	Mucajaí	15	02°52'15"	-61°26'26"	19800	1942	73	688	557,90
E84	Missão Catrimani	14750000	Catrimani	21	01°45'00"	-62°17'00"	6170	1877	275	718	138,24
E85	Fazenda São José	14845000	Jauaperi	27	00°31'04"	-60°27'58"	5670	1894	46	34	163,25
E86	Base Alalau	14850000	Alalau	29	-00°51'31"	-60°31'12"	7090	2164	108	104	213,43
<b>Estado do Amazonas</b>				<b>Características físico-climáticas</b>							
E87	Palmeiras Javari	10200000	Javari	28	-05°08'20"	-72°48'49"	16500	2550	810	80	629,68
E88	Estirão do Repouso	10500000	Javari	30	-04°20'27"	-70°54'20"	61400	2512	133	112	2533,68
E89	São Paulo Olivença	11400000	Solimões/Amazonas	37	-03°26'23"	-68°45'46"	101000	2660	1265	170	47024,67
E90	Ipiranga Novo	11444900	Putumayo/Içá	14	-02°55'38"	-69°40'49"	106000	2649	71	5	7285,75
E91	Sto Antônio do Içá	11500000	Solimões/Amazonas	37	-03°06'38"	-67°55'53"	1130000	2799	1142	180	55707,64

E92	Colocação Caxias	12100000	Jutaí	28	-05°23'08"	-68°58'53"	10700	2574	75	110	475,34
E93	Barreira Alta	12200000	Jutaí	30	-04°13'16"	-67°53'33"	35500	2337	340	135	1650,72
E94	Porto Seguro	12240000	Jutaí	4	-03°20'14"	-67°29'30"	64400	2457	112	142	2394,33
E95	Envira	12680000	Tarauacá	32	-07°25'41"	-70°01'21"	49700	2712	137	92	1193,24
E96	Gavião	12840000	Juruá	38	-04°50'21"	-66°51'02"	164000	2667	400	113	4728,23
E97	Acanauí	12850000	Caquetá/Japurá	13	-01°49'16"	-66°36'00"	249000	2871	401	36	14417,38
<b>E98</b>	<b>Barreirinha</b>	<b>12870000</b>	<b>Auati-Paraná</b>	<b>28</b>	<b>-02°06'01"</b>	<b>-66°25'01"</b>	<b>3880</b>	<b>2598</b>	<b>91</b>	<b>1</b>	<b>1665,88</b>
E99	Estirão Santa Cruz	12880000	Tefé	31	-04°17'32"	-65°12'06"	13700	2510	161	104	563,19
E100	Seringal Caridade	13410000	Purus	43	-09°02'38"	-68°34'38"	63100	1856	2225	10	1314,03
E101	Floriano Peixoto	13650000	Acre	43	-09°04'00"	-67°23'49"	344000	2086	47	278	600,33
E102	Faz. Borangaba	13740000	Pauini	25	-07°33'00"	-67°33'00"	23300	2311	75	140	788,37
E103	Seringal Fortaleza	13750000	Purus	43	-07°42'56"	-66°59'59"	154000	2368	1740	65	3680,84
E104	Lábrea	13870000	Purus	43	-07°15'29"	-64°47'51"	226000	2183	1252	83	5517,66
E105	Canutama	13880000	Purus	37	-06°32'20"	-64°23'09"	236000	2301	1029	95	6438,78
E106	Cristo	13885000	Mucuim	35	-07°27'53"	-64°14'36"	7030	2454	112	37	261,75
E107	Bacaba	13886000	Tapaua	29	-06°19'09"	-64°53'10"	37800	1493	112	30	1502,13
E108	Manacapuru	14100000	Solimões/Amazonas	38	-03°18'38"	-60°36'34"	2147736	2250	1233	175	103253,28
E109	Missão Içana	14230000	Içana	30	01°04'28"	-67°35'41"	23200	3349	357	76	1869,22
E110	São Felipe	14250000	Negro	32	00°22'18"	-67°18'46"	125000	2640	181	39	8002,43
E111	Taraqua	14280001	Vaupés/Uaupés	35	00°07'49"	-68°32'19"	44700	3539	174	20	2763,71
E112	Pari Cachoeira	14300000	Tiquié	30	00°14'58"	-69°47'06"	1970	3213	106	70	126,32
E113	Tumbira	14325000	Curicuriari	10	-00°20'40"	-67°32'09"	10800	3122	76	78	837,31
E114	Curicuriari	14330000	Negro	32	-00°12'02"	-66°48'08"	195000	2841	326	56	12560,26
E115	Rio Preto da Eva	15042000	Preto da Eva	16	-02°41'56"	-59°42'13"	976	2383	30	70	34,27
E116	Humaitá	15630000	Madeira	36	-07°30'10"	-63°01'06"	1090000	2276	1473	190	22855,42
E117	Manicoré	15700000	Madeira	41	-05°49'00"	-61°18'07"	1150000	2530	1753	220	24338,05
E118	Boca do Guariba	15800000	Aripuanã	32	-07°42'24"	-60°35'12"	70100	2935	320	330	1450,79
E119	Prainha Velha	15830000	Aripuanã	36	-07°12'28"	-60°39'00"	131000	2543	272	355	3317,28
E120	Barra do São Manuel	17430000	Tapajós	15	-07°20'23"	-58°09'19"	333000	2163	850	48	8092
E121	Base da Siderama	16200000	Jatapu	29	-01°38'26"	-58°48'50"	24600	1714	475	150	678
E122	Mineração Caima	16368000	Nhamundá	29	-01°33'30"	-57°97'10"	9580	2225	270	175	235
E123	Santarém Sucunduri	15910000	Sucunduri	37	-06°47'44"	-59°02'32"	12700	2280	289	160	440
E124	Jalauaca	14450000	Demeni	16	-00°31'50"	-62°79'70"	22700	2462	559	450	525
E125	Posto Ajuricaba	14440000	Demeni	30	00°47'50"	-62°71'10"	16900	1982	260	412	502
E126	Serrinha	14420000	Negro	35	-00°28'55"	-64°49'44"	293000	2306	557	50	17506

Estado do Tocantins					Características físico-climáticas						
E127	Rio da Palma	21850000	Palma	33	-12°25'00"	-47°11'46"	12400	1428	173	571	229,94
E128	Paraná	21900000	Paraná	37	-12°37'20"	-47°53'09"	40200	1167	46	160	699,18
E129	Porto Alegre	22190000	Manuel Alves	30	-11°36'41"	-47°02'41"	1780	1563	198	285	42,63
E130	Fazenda Lobeira	22250000	Manuel Alves	37	-11°31'58"	-48°17'19"	14500	1553	51	438	193,66
E131	Porto Nacional	22350000	Tocantins	62	-10°42'16"	-48°25'06"	174000	1478	1352	447	2243,90
E132	Miracema do TO	22500000	Tocantins	39	-09°34'03"	-48°22'43"	185000	1692	1203	469	2358,36
E133	Novo Acordo	22700000	Do Sono	35	-09°57'48"	-47°40'29"	18000	1545	84	65	312,54
E134	Rio das Balsas	22750000	Das Balsas	20	-10°00'01"	-47°49'39"	12100	1551	79	391	239,85
E135	Dois Irmãos	22850000	Perdida	29	-09°18'41"	-47°48'48"	9520	1643	77	275	168,50
E136	Porto Real	22900000	Do Sono	38	-09°18'25"	-47°55'45"	44100	1629	35	80	738,13
E137	Goiantins	23250000	Manuel Alves	35	-07°42'28"	-47°18'42"	10100	1651	22	352	154,64
E138	Tocantinópolis	23600000	Tocantins	34	-06°17'19"	-47°23'31"	289000	1495	1050	520	4531,26
E139	Fazenda Telesforo	26030000	Araguaia	26	-11°55'00"	-50°40'00"	13100	1592	255	453	1511,68
E140	Barreira do Pequi	26710000	Javaés	21	-12°05'19"	-49°59'16"	8150	1640	346	8	209,61
E141	Praia Alta	26720000	Formoso	21	-12°25'04"	-49°35'21"	6610	1411	334	3	69,17
E142	Proj. Rio Formoso	26750000	Formoso	14	-12°04'00"	-49°44'00"	8090	1544	285	2	110,27
E143	Arapoema	27550000	Jenipapo	19	-07°36'49"	-49°02'43"	1150	1851	61	127	27,95
E144	Muricilandia	28150000	Muricizal	33	-07°09'16"	-48°37'11"	1580	1618	78	321	31,47
E145	Piraque	28240000	Lontra	33	-06°40'18"	-48°28'11"	3470	1679	28	80	78,72
Estado do Maranhão					Características físico-climáticas						
E146	Carolina	23300000	Tocantins	45	-07°20'15"	-47°28'23"	275000	1591	902	502	3927,57
E147	Pedreiras	32280000	Mearim	13	-04°34'12"	-44°36'18"	24000	1572	225	391	92,58
E148	Maracacume	32740000	Maracacume	38	-02°03'13"	-45°57'20"	2220	2060	133	58	64,48
E149	Alto Turi	32830000	Turiaçu	38	-02°56'39"	-45°40'02"	3870	1972	126	141	84,09
E150	Esperantina	33170000	Zutiua	35	-04°01'56"	-45°46'36"	5930	1755	15	311	18,41
E151	Rio Corda II	33215000	Corda ou Capim	25	-05°44'10"	-45°19'25"	3000	813	20	344	23,02
E152	Barra do Corda	33250000	Mearim	43	-05°30'00"	-45°14'35"	13200	1162	411	345	61,44
E153	Flores	33270000	Flores	33	-05°25'10"	-44°55'40"	1320	1226	70	60	2,15
E154	Pedreiras II	33281000	Mearim	23	-04°34'12"	-44°36'18"	24000	1489	225	391	92,79
E155	Bacabal	33290000	Mearim	32	-04°13'10"	-44°45'55"	25500	1789	189	395	108,08
E156	Grajau	33320000	Santana	16	-05°49'00"	-46°08'00"	4510	1262	101	207	32,80
E157	Fortaleza	33330000	Grajau	28	-05°35'40"	-46°14'25"	3590	1102	325	24	14,49
E158	Aratoi Grande	33380000	Itapecuru	36	-03°46'11"	-45°13'04"	20300	1750	97	565	104,96
E159	Mirador	33420000	Itapecuru	39	-06°22'09"	-44°21'22"	6060	1237	318	420	18,35

E160	Fernando Falcão	33430000	Alpercatas	8	-06°10'12"	-44°52'08"	4710	1058	17	320	28,35
E161	Campo Largo	33450000	Alpercatas	35	-06°04'01"	-44°42'30"	5750	1437	91	335	33,04
E162	Colinas	33480000	Itapecuru	39	-06°01'09"	-44°14'34"	15000	1307	277	448	55,84
E163	Caxias	33550000	Itapecuru	44	-04°51'55"	-43°21'30"	32700	1682	306	534	73,96
E164	Codó	33590000	Itapecuru	39	-04°27'30"	-43°52'30"	37200	1634	245	550	112,47
E165	Coroata	33630000	Itapecuru	32	-04°07'40"	-44°07'40"	43800	1565	193	552	160,12
E166	Balsas	34130000	Das Balsas	41	-07°32'04"	-46°02'09"	9040	1210	237	330	100,97
Estado do Mato Grosso				Características físico-climáticas							
E167	Pontes e Lacerda	15050000	Guaporé	36	-15°12'55"	-59°21'14"	2990	1521	245	450	57,82
E168	Mato Grosso	15120001	Guaporé	31	-15°00'33"	-59°57'29"	22500	1399	230	449	127,31
E169	Humboldt	15750000	Aripuanã	28	-10°10'10"	-59°27'58"	15200	2013	215	260	312,85
E170	Concisa	15820000	Roosevelt	20	-09°49'01"	-60°41'31"	24300	1985	309	238	508,66
E171	Fazenda Tucunaré	17091000	Juruena	12	-13°27'24"	-59°00'07"	4360	1974	853	299	145,28
E172	Fontanilhas	17093000	Juruena	29	-11°21'30"	-58°20'34"	55900	1935	541	451	1471,14
E173	Fazenda Tombador	17095000	Do Sangue	22	-11°43'05"	-58°02'53"	24700	1877	79	44	520,46
E174	Porto Roncador	17200000	Teles Pires	34	-13°33'27"	-55°20'05"	10800	1719	1104	27	269,42
E175	Teles Pires	17210000	Teles Pires	31	-12°40'27"	-55°47'34"	13900	1515	959	54	348,73
E176	Cachoeirão	17280000	Teles Pires	32	-11°39'06"	-55°42'09"	34600	1643	785	91	815,31
E177	Faz. Tratex	17300000	Teles Pires	12	-10°57'21"	-55°33'03"	40700	1964	604	122	931,42
E178	Indeco	17340000	Teles Pires	32	-10°06'48"	-55°34'14"	52200	2089	513	134	1161,48
E179	Cachimbo	17350000	Braco Sul	26	-09°49'02"	-54°53'09"	1010	2290	33	78	29,66
E180	Santa Rosa	17410000	Teles Pires	25	-08°51'28"	-57°24'07"	131000	2268	150	272	3220,06
E181	Pas. da BR-309	18409000	Culuene	14	-14°36'40"	-53°59'55"	706	2032	255	254	13,91
E182	Fazenda Itaguaçu	18420000	Ronuro	32	-13°08'27"	-54°26'43"	3840	1485	227	251	79,91
E183	Consul	18423000	Atelchu	10	-12°21'57"	-54°29'21"	8900	1388	70	276	115,61
E184	Comte. Fontoura	18435000	Comte. Fontoura	10	-10°33'17"	-52°11'00"	5430	1724	148	125	98,25
E185	Alto Araguaia	24050000	Araguaia	42	-17°18'07"	-53°13'15"	2080	1674	1223	20	48,33
E186	Torixoreu	24200000	Araguaia	36	-16°12'02"	-52°32'59"	18400	1441	1002	335	352,18
E187	Tesouro	24500000	Das Garças	41	-16°04'40"	-53°32'51"	5280	1787	186	433	104,87
E188	General Carneiro	24650000	Barreiro	39	-15°42'40"	-52°45'16"	1950	1469	76	174	42,05
E189	Rio das Mortes	26040000	Das Mortes	31	-15°18'53"	-54°10'33"	5230	1690	862	464	121,15
E190	Xavantina	26100000	Das Mortes	38	-14°40'21"	-52°21'18"	25300	1530	530	560	505,61
E191	Alto Paraguai	66005000	Paraguai	14	-14°34'00"	-56°33'00"	745	1910	15	145	12,07
E192	Nortelândia	66006000	Santana	37	-14°27'06"	-56°48'51"	1600	1798	27	50	39,47
E193	Barra do Bugres	66010000	Paraguai	40	-15°04'34"	-57°10'55"	9250	1538	145	244	162,78

E194	Porto Estrela	66015000	Paraguai	35	-15°19'33"	-57°13'32"	12100	1187	160	255	195,05
E195	Tapirapuã	66050000	Septuba	34	-14°51'02"	-57°46'04"	5290	1752	25	16	166,15
E196	Cáceres (PNPVN)	66070004	Paraguai	42	-16°04'33"	-57°42'08"	32400	1300	382	286	540,78
E197	Descalvados	66090000	Paraguai	39	-16°43'58"	-57°44'56"	47000	1160	473	292	594,72
E198	Porto Conceição	66120000	Paraguai	31	-17°08'36"	-57°21'34"	64200	1052	621	307	431,65
E199	Marzagão	66140000	Cuiabá	25	-14°32'30"	-55°50'56"	2290	1709	20	10	65,74
E200	Faz. Riacho Doce	66171500	Roncador	10	-15°05'30"	-55°26'30"	1370	1540	122	345	41,70
E201	Rosário Oeste	66250001	Cuiabá	42	-14°50'03"	-56°24'50"	16000	1379	138	58	300,30
E202	Acorizal	66255000	Cuiabá	42	-15°12'14"	-56°22'01"	19700	1593	252	122	336,39
E203	Cuiabá	66260001	Cuiabá	46	-15°36'56"	-56°06'31"	23500	1354	284	138	388,50
E204	Porto Cercado	66340000	Cuiabá	35	-16°30'43"	-56°22'32"	35600	1224	553	168	329,64
E205	São João	66360000	Cuiabá	33	-16°56'40"	-56°37'58"	39600	1285	598	176	268,11
E206	Ilha Camargo	66370000	Cuiabá	14	-17°03'23"	-56°34'50"	39800	1217	621	183	358,31
E207	Colônia Santa Isabel	66465000	São Lourenço	10	-16°41'23"	-55°59'45"	23900	1507	173	548	271,56
E208	São José do Boriréu	66470000	São Lourenço	31	-16°55'31"	-56°13'25"	24200	1303	344	555	254,99
E209	Itiquira	66520000	Itiquira	35	-17°12'28"	-54°09'04"	2910	1702	81	160	60,77
E210	São Jerônimo	66600000	Piquiri	37	-17°12'06"	-56°00'31"	23500	1127	117	15	255,04
E211	Rio Arinos	17123000	Arinos	13	-10°38'21"	-58°00'15"	57100	1752	686	190	1332
E212	Foz do Juruena	17130000	Juruena	10	-07°43'52"	-58°16'51"	182000	1968	994	450	4705
E213	Porto dos Gaúchos	17120000	Arinos	33	-11°32'12"	-57°33'06"	37100	1874	493	200	727
E214	Caiabis (Balsa)	17121000	Rio dos Peixes	11	-10°91'40"	-57°40'04"	9750	1897	237	20	250

## APÊNDICE II – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO ESTUDO

Estado do Pará					
Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	Período
Uruará	00353000	-03°40'40"	-53°33'16"	Uruará	78-2010
Barragem Conj. 4	00254005	-02°48'54"	-54°17'52"	Curuá-uma	1978-2001
CrepORIZÃO	00656003	-06°48'00"	-56°44'00"	Rio Crepori	2000-2007
Jardim do ouro	00655004	-06°15'27"	-55°46'24"	Jamanxim	2000-2011
Aldeia Bacajá	00451000	-04°54'55"	-51°25'46"	Bacajá	77-86/95-99
Faz. Cipaubá	00351002	-03°43'23"	-51°34'05"	Bacajá	82-88/94-2011
Boa Esperança	00651001	-06°42'09"	-51°47'55"	Rio Fresco	1977-2010
Belo Horizonte	00552000	-05°24'29"	-52°54'07"	Xingu	1977-1997
Manoel Jorge (TP)	00654000	-06°12'08"	-54°04'22"	Iriri	2000-2011
Laranjeiras	00554001	-05°41'00"	-54°14'00"	Iriri	1987-1989
Aldeia Baú	00754000	-07°20'00"	-54°50'00"	Curuá	1977-1994
Faz. Alegria	00549011	-05°29'48"	-49°13'22"	Itacaiunas	2005-2011
Conc. Araguaia	00849001	-08°17'00"	-49°15'00"	Araguaia	1967-1984
Itupiranga	00549008	-05°07'44"	-49°19'27"	Tocantins	1994-2011
Tucuruí	00549000	-03°45'37"	-49°40'00"	Tocantins	1972-2011
Tauri	00348000	-03°30'00"	-48°50'00"	Capim	1977-1988
Cach. Tracambeua	00349001	-03°30'51"	-49°13'21"	Moju	1983-2011
Bom Jardim	00147006	-01°34'00"	-47°06'00"	Guamá	1972-1988
Tararua Ponte	00146005	-01°43'59"	-46°35'56"	Piria	1973-2011
Cafezal	00247005	-02°46'18"	-46°48'09"	Uraim	1985-2011
Faz. Maringá	00348001	-03°09'16"	-48°05'09"	Capim	1983-2011
Badajós	00247000	-02°30'46"	-47°46'05"	Capim	1973-2011
Faz. Rural Zebu	00346001	-03°20'49"	-46°52'38"	Gurupi	1981-2010
Alto Bonito	00146008	-01°49'03"	-46°20'38"	Gurupi	1976-2011
Arapari	00154000	-01°46'25"	-54°23'50"	Maicuru	1972-2011
Boca do Inferno	00154001	-01°30'00"	-54°52'17"	Curuá	1975-2010
Apalaí	08154000	01°13'13"	-54°39'22"	Paru de Este	1981-2006
Tirios	08255000	02°13'31"	-55°56'57"	Cuminã	1975-1998
Aldeia Wai-Wai	00057000	-00°41'43"	-57°58'27"	Mapuera	87-88/93-10
Lajeiro	00054000	-00°58'00"	-54°26'00"	Trombetas	1980-1982
Caramujo	00156002	-01°27'20"	-56°24'09"	Maicuru	1999-2006
Garganta	00156002	-01°27'20"	-56°24'09"	Trombetas	1999-2006
Estirão da Angélica	00157000	-01°05'15"	-57°02'49"	Mapuera	1975-2006
Esperantina	00445001	-04°01'52"	-45°16'16"	Tapajós	1973-2013
Jatobá	00556000	-05°09'15"	-56°51'20"	Tapajós	1973-2012
Jacareacanga	00657000	-06°14'09"	-57°46'32"	Tapajós	1982-2013
Óbidos	00155001	-01°54'05"	-55°31'07"	Solimões	1928-51/70-96
Óbidos	00155001	-01°54'05"	-55°31'07"	Solimões	1928-51/70-96
Fazenda Estrela do Norte	00350000	-03°52'46"	-50°27'46"	Pacajás	1979-1999

Estado do Acre

Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	C.S.A
Foz do Breu	00972000	-09°24'06"	-72°42'09"	Rio Juruá	1983-2011
Taumaturgo	00872000	-08°56'07"	-72°47'06"	Rio Juruá	1981-2011
Porto Walter	00872001	-08°16'03"	-72°44'04"	Rio Juruá	82-97/05-11
Serra do Moa	00773000	-07°26'08"	-73°39'08"	Rio Moa	76-96/05-11
Cruzeiro do sul	00772000	-07°36'40"	-72°40'52"	Rio Juruá	1970-1995
Seringal Bom Futuro	00772003	-07°51'01"	-72°01'09"	Rio Liberdade	1993-2011
Fazenda Paranacre	00771001	-07°57'04"	-71°28'56"	Rio Gregório	1983-2011
Feijó	00870002	-08°09'49"	-70°21'23"	Rio Envira	1983-2011
Manoel Urbano	00869000	-08°53'03"	-69°16'05"	Rio Purus	1984-2008
Seringal São José	00968003	-09°22'28"	-68°43'26"	Rio Iaco	1983-2009
Assis Brasil	01069000	-10°56'00"	-69°34'06"	Rio Acre	1981-2011
Brasiléia	01168001	-11°01'24"	-68°44'06"	Rio Acre	1981-2011
Xapuri	01068000	-10°38'59"	-68°30'24"	Rio Xapuri	1978-2011
Rio Branco	00967000	-09°58'33"	-67°48'00"	Rio Acre	1970-2012
Plácido de Castro	01067002	-10°19'27"	-67°11'19"	Rio Abunã	1994-2011
Estado do Amapá					
Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	C.S.A
Iratapuru	00052002	-00°36'00"	-52°36'00"	Iratapuru	1980-1984
São Francisco	00052000	-00°34'16"	-52°34'30"	Jari	1969-2011
São Pedro	00052003	-00°27'24"	-52°04'39"	Cajari	1997-2012
Pancada	00051003	-00°11'00"	-51°48'00"	Maracapacu	1982-1991
Cunani	08251001	02°41'54"	-51°21'41"	Cunani	1984-2011
Tartarugal Grande	08150001	01°23'52"	-50°55'25"	Tartarugal grande	1998-2011
Capivara	08151002	01°00'14"	-51°40'17"	Araguari	2005-2009
Serra do Navio	08052000	00°52'49"	-52°00'34"	Amapari	1973-2011
Estado de Rondônia					
Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	C.S.A
Pimenteiras	01360002	-13°28'47"	-61°02'47"	Guaporé	1978-2011
Pedras Negras	01262000	-12°51'05"	-62°53'57"	Guaporé	1980-2012
Abunã	00965001	-09°42'11"	-65°21'53"	Madeira	1976-2011
Porto Velho	00863000	-08°46'00"	-63°55'00"	Madeira	1961-2007
Fazenda Rio Branco	00963004	-09°53'14"	-62°59'16"	Rio Branco	1981-2011
Mín. Ponte Massangana	01063001	-09°45'39"	-63°17'15"	Massangana	1981-2011
Faz. Flor do campo	01160002	-11°44'56"	-60°52'04"	Comemoração	1983-2011
Pimenta Bueno	01161001	-11°41'01"	-61°11'32"	Pimenta Bueno	1980-2011
Jiparaná	01061001	-10°50'58"	-61°55'50"	Jiparaná	1975-1996
Jaru	01062001	-10°26'45"	-62°27'56"	Jaru	1977-2011
Tabajara	00862000	-08°56'00"	-62°03'14"	Jiparaná	1978-2011
Mineração Jacundá	00962001	-09°10'45"	-62°57'11"	Jacundá	1981-2006
Estado de Roraima					
Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	C.S.A
Mocidade	08360003	03°27'49"	-60°54'35"	Uraricoera	1976-2000
Fazenda Passarão	08360002	03°12'28"	-60°34'16"	Uraricoera	1977-2011

Bom Fim	08359000	03°22'42"	-59°48'56"	Tacutu	1984-2011
Vila Surumu	08460001	04°11'46"	-60°47'38"	Surumu	1984-2011
Fazenda Bandeira Branca	08560000	04°37'50"	-60°28'14"	Contigo	1976-1995
Maloca do Contão	08360000	04°10'00"	-60°31'44"	Contigo	1975-2011
Posto Funai	08262000	02°43'39"	-62°01'04"	Mucajaí	1984-2011
Fé e Esperança	08261000	02°52'15"	-61°26'26"	Mucajaí	1975-2011
Mucajaí	08260004	02°28'17"	-60°55'04"	Mucajaí	1995-2011
Missão Catrimani	08162000	01°45'00"	-62°17'00"	Catrimani	1984-2011
Fazenda São José	08060000	00°31'04"	-60°27'58"	Jauaperi	1983-2011
Base Alalau	00060000	-00°51'31"	-60°31'12"	Alalaú	1977-2011
Estado do Amazonas					
Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	C.S.A
Palmeiras do javari	00572000	-05°08'15"	-72°48'49"	Javari	1982-2011
Estirão do Repouso	00470002	-04°23'00"	-70°58'00"	Javari	81-82/90-2011
São Paulo de Olivença	00368001	-03°27'25"	-68°54'43"	Solinões	1972-2011
Ipiranga Novo	00269001	-02°55'47"	-69°41'35"	Putumaio Içá	1996-2011
Santo Antônio do Içá	00367000	-03°06'06"	-67°56'08"	Solinões	1972-2011
Colocação Caxias	00568001	-05°22'51"	-68°59'54"	Jutaí	1982-2011
Barreira Alta	00467000	-04°13'16"	-67°53'33"	Jutaí	1981-2008
Porto Seguro	00367001	-03°20'14"	-67°29'20"	Jutaí	1993-2011
Envira	00770000	-07°25'41"	-70°01'21"	Taruacá	1978-2011
Gavião	00466001	-04°50'21"	-66°51'02"	Juruá	1975-2011
Acanai	00166000	-01°49'16"	-66°36'00"	Caquetá	1973-2011
Barreirinha	00257001	-02°47'32"	-57°3'52"	Auati-Paraná	1982-2011
Estirão da Santa Cruz	00465000	-04°17'32"	-65°12'06"	Tefé	1981-2011
Florian Peixoto	00967001	-09°04'00"	-67°23'49"	Acre	72-74/92-11
Faz. Borangaba	00767002	-07°33'00"	-67°33'33"	Pauini	1984-2010
Seringal Fortaleza	00766001	-07°43'02"	-66°59'05"	Purus	1975-2010
Lábrea	00764001	-07°15'00"	-64°50'00"	Purus	1972-1990
Canutama	00664001	-06°32'20"	-64°23'09"	Purus	1980-2011
Cristo	00764003	-07°27'54"	-64°14'36"	Mucuí	75-89/00-11
Bacaba	00664000	-06°19'09"	-64°53'10"	Tapaua	1988-2011
Manacapuru	00360001	-03°18'30"	-60°36'34"	Solinões	1972-2011
Missão Içana	08167000	01°04'27"	-67°35'36"	Içana	1981-2011
São Felipe	08067001	00°22'16"	-67°18'49"	Negro	1978-2011
Taraqua	08068000	00°07'53"	-68°32'26"	Uaupés	1961-2011
Pari Cachoeira	08069003	00°15'06"	-69°47'04"	Tiqué	1980-2011
Tumbira	00067002	-00°20'40"	-67°32'09"	Curucuriari	2000-2011
Curucuriari	00066002	-00°12'06"	-66°48'12"	Negro	2006-2001
Rio Preto da Eva	00259004	-02°42'01"	-59°41'59"	Preto da Eva	1994-2011
Humaitá	00763000	-07°31'00"	-63°02'00"	Madeira	30-35/61-77
Manicoré	00561000	-05°49'00"	-61°18'00"	Madeira	1975-1989
Boca do Guariba	00760001	-07°42'19"	-60°34'42"	Aripuanã	1978-2011
Prainha Velha	00760000	-07°12'18"	-60°38'37"	Aripuanã	1974-2011
Barra do São Manuel	00758000	-07°20'20"	-58°09'18"	Tapajós	1977-1999

Base da Siderama	00158000	-01°38'26"	-58°31'08"	Jatapu	1975-1999
Português	00157002	-01°52'06"	-57°03'02"	Nhamundá	1990-2001
Santarém Sucunduri	00658000	-06°47'43"	-59°02'32"	Sucunduri	1975-2006
Barcelos	00062000	-00°58'04"	-62°55'43"	Demini	1961-1990
Posto Ajuricaba	08062000	00°53'03"	-63°37'20"	Demini	1983-2005
Santa Izabel do Rio Negro	00065000	-00°25'00"	-65°20'00"	Negro	1965-1979
Estado do Tocantins					
Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	C.S.A
Rio da Palma	01247002	-12°24'56"	-47°11'59"	Palma	1973-2011
Paraná	01247003	-12°33'00"	-47°51'00"	Paraná	1949-1990
Porto Alegre	01147003	-11°36'36"	-47°02'42"	Manuel Alves	1975-2011
Fazenda Lobeira	01148000	-11°31'53"	-48°17'41"	Manuel Alves	1969-2011
Porto nacional	01048002	-10°43'00"	-48°25'12"	Tocantins	1969-1984
Miracema do Tocantins	00948000	-09°33'51"	-48°23'15"	Tocantins	1969-2012
Novo Acordo	01047001	-09°57'38"	-47°40'29"	Rio do Sono	1972-2011
Rio das Balsas	001047003	-10°00'00"	-47°54'00"	Rio das Balsas	1975-1995
Dois Irmãos	00947000	-09°19'00"	-47°49'00"	Perdida	1973-1977
Porto Real	00948001	-09°18'25"	-47°55'45"	Rio do Sono	1969-2011
Goiantins	00747001	-07°42'53"	-47°18'54"	Manuel Alves	1972-2012
Tocantinópolis	00647000	-06°17'19"	-47°23'31"	Tocantins	1969-2011
Fazenda Telesforo	01150000	-11°55'00"	-50°40'00"	Araguaia	1969-1995
Barreira do Pequi	01249003	-12°05'55"	-49°56'51"	Javaés	1984-2011
Praia Alta	01249004	-12°25'05"	-49°35'24"	Formoso	1986-2012
Projeto Rio formoso	01249002	-11°50'22"	-49°46'18"	Formoso	1981-2011
Arapoema	00749000	-07°39'19"	-49°03'54"	Jenipapo	1973-2011
Muricilandia	00748003	-07°09'16"	-48°36'11"	Muricizal	1974-2012
Piraque	00648002	-06°40'20"	-48°28'13"	Lontra	1974-2012
Estado do Maranhão					
Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	C.S.A
Carolina	00747000	-07°19'23"	-47°27'52"	Tocantins	1969-2011
Pedreiras	00444006	-04°35'00"	-44°40'00"	Mearim	1975-1988
Maracacume	00245003	-02°03'08"	-45°57'30"	Maracacume	1972-2011
Alto Turi	00245001	-02°57'14"	-45°39'53"	Turiaçu	1972-2011
Esperantina	00445001	-04°01'52"	-45°16'16"	Zutia	1973-2011
Rio Corda II	00545011	-05°43'39"	-45°18'47"	Corda	1982-2011
Barra do Corda	00545003	-05°30'00"	-45°13'00"	Mearim	1961-1998
Flores	00544006	-05°25'11"	-44°55'42"	Flores	1972-2011
Pedreiras II	00444005	-04°34'13"	-44°36'18"	Mearim	1968-2011
Bacabal	00444012	-04°13'00"	-44°46'00"	Mearim	1976-1998
Grajau	00546002	-05°49'00"	-46°28'00"	Santana	1949-1995
Fortaleza	00546006	-05°36'16"	-46°14'19"	Grajau	1979-2011
Aratoi Grande	00345000	-03°46'15"	-45°13'06"	Itapecuru	1970-2011
Mirador	00644007	-06°22'09"	-44°21'34"	Itapecuru	1970-2011
Fernando Falcão	00644018	-06°10'12"	-44°52'08"	Alpercatas	2005-2011
Campo Largo	00644000	-06°23'00"	-44°59'00"	Alpercatas	66-88/2000-01

Colinas	00644017	-06°02'00"	-44°14'00"	Itapecuru	1976-1998
Caxias	00443001	-04°52'00"	-43°21'00"	Itapecuru	1961-1998
Codó	00443005	-04°29'00"	-43°53'00"	Itapecuru	1966-1974
Coroata	00444001	-04°09'46"	-44°09'57"	Itapecuru	1966-2011
Balsas	00746005	-07°32'00"	-46°02'00"	Rio das Balsas	1976-1998
Estado do Mato Grosso					
Estação	Código	Latitude	Longitude	Rio	C.S.A
Pontes e lacerda	01559000	-15°12'56"	-59°21'13"	Guaporé	1975-2012
Mato Grosso	01559006	-15°00'29"	-59°56'57"	Guaporé	1966-2012
Humboldt	01059000	-10°10'31"	-59°27'06"	Aripuanã	1978-2011
Concisa	00960001	-09°48'00"	-60°41'26"	Roosevelt	1976-2001
Fazenda Tucunaré	01358002	-13°28'00"	-58°58'30"	Juruena	1983-2012
Fontanilhas	01158001	-11°20'30"	-58°20'18"	Juruena	1979-2012
Fazenda Tombador	01158003	-11°43'04"	-58°02'50"	Rio do sangue	1984-2012
Porto Roncador	01355001	-13°33'23"	-55°19'54"	Teles Pires	1985-2011
Teles Pires	01255001	-12°40'30"	-55°47'35"	Teles Pires	1976-2012
Cachoeirão	01155000	-11°39'04"	-55°42'09"	Teles Pires	1975-2012
Faz. Trutex	01055003	-10°57'15"	-55°32'55"	Teles Pires	1995-2012
Indeco	01055001	-10°06'45"	-55°34'12"	Teles Pires	1975-2012
Cachimbo	00954001	-09°49'07"	-54°53'11"	Braço Sul	1985-2012
Santa Rosa	00857000	-08°52'13"	-57°24'59"	Teles Pires	1982-2011
Passagem da BR-309	01453000	-14°36'43"	-53°59'55"	Culuene	1976-2011
Fazenda Itaguaçu	01354002	-13°08'17"	-54°26'38"	Ronuro	2004-2011
Consul	01254002	-12°21'57"	-54°29'21"	Van den steine	1997-2011
Rio Comandante Fontou	01052001	-10°33'12"	-52°10'50"	Com. Fontoura	2000-2011
Alto Araguaia	01753000	-17°18'00"	-53°13'10"	Araguaia	1964-2012
Torixoreu	01652002	-16°12'05"	-52°33'00"	Araguaia	1975-2011
Tesouro	01653000	-16°04'40"	-53°32'58"	Rio das Garças	1971-2012
General Carneiro	01552001	-15°42'40"	-52°45'16"	Barreiro	1085-2012
Rio das Mortes	01554005	-15°18'53"	-54°10'33"	Rio das mortes	1977-2012
Xavantina	01452000	-14°40'20"	-52°21'17"	Rio das mortes	1969-2012
Alto Paraguai	01456000	-14°34'00"	-56°33'00"	Paraguai	1971-1980
Nortelândia	01456003	-14°27'04"	-56°48'51"	Santana	1971-2011
Barra do Bugres	01557001	-15°04'36"	-57°10'57"	Paraguai	1968-2011
Porto Estrela	01557000	-15°19'33"	-57°13'52"	Paraguai	1971-2009
Tapirapuã	01457000	-14°51'02"	-57°46'04"	Sepotuba	1971-2011
Cáceres (PNPVN)	01657003	-16°04'33"	-57°42'08"	Paraguai	1972-2011
Descalvados	01657002	-16°44'01"	-57°45'01"	Paraguai	1968-2011
Porto Conceição	01757001	-17°08'36"	-57°21'34"	Paraguai	1968-2011
Marzagão	01455012	-14°32'30"	-55°50'53"	Cuiabá	2003-2011
Faz. Riacho Doce	01555011	-15°05'31"	-55°26'30"	Roncador	2001-2010
Rosário Oeste	01456006	-14°49'00"	-56°26'00"	Cuiabá	1943-1983
Acorizal	01556005	-15°12'24"	-56°21'56"	Cuiabá	1969-2011
Cuiabá	01556002	-15°37'18"	-56°06'30"	Cuiabá	1925-2012
Porto Cercado	01656001	-16°30'43"	-56°22'32"	Cuiabá	1968-2012

São João	01656004	-16°56'39"	-56°37'55"	Cuiabá	1970-2011
Ilha Camargo	01756000	-17°03'26"	-56°35'08"	Cuiabá	1968-2011
Colônia santa Isabel	01656000	-16°40'00"	-56°02'00"	São lourenço	1971-1980
São José do Boriréu	01656003	-16°55'16"	-56°13'25"	São lourenço	1970-2012
Itiquira	01754000	-17°12'28"	-54°08'24"	Itiquira	1966-2011
São jerônimo	1755003	-17°12'06"	-55°59'31"	Piquiri	1971-2012
Rio Arinos	1058006	-10°38'23"	-58°00'14"	Arinos	2000-2013
Barra do São Manuel	758000	-07°20'20"	-58°09'18"	Juruena	1977-2007
Fazenda Agrotep	1057000	-10°52'53"	-57°34'52"	Arinos	1979-2001
Fazenda Itauba	1156000	-11°28'17"	-56°26'00"	Dos Peixes	1983-2006

### APÊNDICE III – ALGORITMO *FUZZY C-MEANS*- ROTINA MATLAB 7.1

---

```

function[center, U, obj_fcn] = fcm_6fcm (data, cluster_n, options)
%-----
%DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
%-----
%%data = matriz de dados com as características fisiográficas de cada estação
%fluviométrica.
%cluster_n = número de grupos pré-determinado para a classificação.
%options = relacionado aos valores adotados para o parâmetro de fuzzificação (m),
%número máximo de iterações, quantidade mínima de molhoramento da função
objetivo
%e a forma de exibição dos resultados durante as iterações.
%-----
data= load('Caracteristicas.Amazonia.legal.txt');
cluster_n =14.0;
max_iter =200;
expo = 2.0;
min_impro = 1e-5;
display = 1;
options=[14, 200, 1e-5, 1];
%-----
ALGORITMO
%-----
[center,U,obj_fcn] = fcm(data,14);
maxU = max(U);
%-----
PROCESSAMENTO DOS CLUSTERING
%-----
U(1,:);
U(2,:);
U(3,:);
U(4,:);
U(5,:);
U(6,:);
U(7,:);
U(8,:);
U(9,:);
U(10,:);
U(11,:);
U(12,:);
U(13,:);
U(14,:);

%-----
%INICIALIZAÇÃO DOS CLUSTERS - CÁLCULA GRAUS DE PERTINÊNCIA DOS CLUSTERS
%-----

```

```

index1 = find(U(1,:) == maxU);
index2 = find(U(2,:) == maxU);
index3 = find(U(3,:) == maxU);
index4 = find(U(4,:) == maxU);
index5 = find(U(5,:) == maxU);
index6 = find(U(6,:) == maxU);
index7 = find(U(7,:) == maxU);
index8 = find(U(8,:) == maxU);
index9 = find(U(9,:) == maxU);
index10 = find(U(10,:) == maxU);
index11 = find(U(11,:) == maxU);
index12 = find(U(12,:) == maxU);
index13 = find(U(13,:) == maxU);
index14 = find(U(14,:) == maxU);

```

```

line(data(index1,1), data(index1,2),
data(index1,3),'linestyle','none','marker','o','color','y');
line(data(index2,1), data(index2,2),
data(index2,3),'linestyle','none','marker','o','color','m');
line(data(index3,1), data(index3,2),
data(index3,3),'linestyle','none','marker','o','color','c');
line(data(index4,1), data(index4,2),
data(index4,3),'linestyle','none','marker','o','color','r');
line(data(index5,1), data(index5,2),
data(index5,3),'linestyle','none','marker','o','color','g');
line(data(index6,1), data(index6,2),
data(index6,3),'linestyle','none','marker','o','color','b');
line(data(index7,1), data(index7,2),
data(index7,3),'linestyle','none','marker','o','color','w');
line(data(index8,1), data(index8,2),
data(index8,3),'linestyle','none','marker','o','color','k');
line(data(index9,1), data(index9,2),
data(index9,3),'linestyle','none','marker','o','color','g');
line(data(index10,1), data(index10,2),
data(index10,3),'linestyle','none','marker','o','color','g');
line(data(index11,1), data(index11,2),
data(index11,3),'linestyle','none','marker','o','color','b');
line(data(index12,1), data(index12,2),
data(index12,3),'linestyle','none','marker','o','color','w');
line(data(index13,1), data(index13,2),
data(index13,3),'linestyle','none','marker','o','color','k');
line(data(index14,1), data(index14,2),
data(index14,3),'linestyle','none','marker','o','color','g');

```

```

%-----
PLOTAR FUNÇÃO OBJETIVO
%-----

```

```

plot(obj_fcn)
%-----
CONDIÇÕES DO ALGORITMO
%-----
data_n = size(data, 1);
in_n = size(data, 2);

if nargin == 2,
    options = default_options;
else
    % If "options" is not fully specified, pad it with default values.
    if length(options) < 4,
        tmp = default_options;
        tmp(1:length(options)) = options;
        options = tmp;
    end
    % If some entries of "options" are nan's, replace them with defaults.
    nan_index = find(isnan(options)==1);
    options(nan_index) = options(nan_index);
if options(1) <= 1,
    error('O exponent DEVE SER MAIOR QUE 1!');
end
end

obj_fcn = zeros(max_iter, 1); % Array for objective function

U = initfcm(cluster_n, data_n); % Initial fuzzy partition
fprintf('U = %d, U= %f\n', cluster_n');
% Main loop
for i = 1:max_iter;
    [U, center, obj_fcn(i)] = stepfcm(data, U, cluster_n, expo);
    if display,
        fprintf('Iteration count = %d, obj. fcn = %f\n', i, obj_fcn(i));
    end
    % check termination condition
    if i > 1,
        if abs(obj_fcn(i) - obj_fcn(i-1)) < min_impro, break; end,
    end
end

iter_n = i; % Actual number of iterations
obj_fcn(iter_n+1:max_iter) = [];
end

```

---



E22	31680000	0,0064	0,9890	0,0042	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E23	31700000	0,0694	0,7853	0,1356	0,0057	0,0022	0,0008	0,0005	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
E24	32540000	0,3366	0,6249	0,0324	0,0033	0,0014	0,0006	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E25	32620000	0,0742	0,7500	0,1647	0,0065	0,0025	0,0010	0,0006	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
E26	18200000	0,7225	0,2492	0,0232	0,0027	0,0012	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E27	17090000	0,0867	0,8924	0,0180	0,0016	0,0007	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E28	18280000	0,9869	0,0110	0,0016	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E29	16700000	0,9524	0,0370	0,0080	0,0013	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E30	16480000	0,0269	0,9639	0,0080	0,0007	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E31	16430000	0,0724	0,3750	0,5345	0,0109	0,0039	0,0015	0,0009	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E32	16460000	0,0003	0,0008	0,9987	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E33	16500000	0,0074	0,9874	0,0047	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E34	17730000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0006	0,0015	0,9968	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
E35	17650002	0,0069	0,0076	0,0088	0,0145	0,0237	0,0774	0,5950	0,2499	0,0076	0,0036	0,0028	0,0019	0,0003	0,0001
E36	17500000	0,0015	0,0017	0,0020	0,0034	0,0059	0,0249	0,9348	0,0232	0,0012	0,0006	0,0005	0,0003	0,0001	0,0000
E37	17050000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
E38	17050001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
E39	19985000	0,9800	0,0159	0,0031	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E40	12360000	0,9545	0,0384	0,0056	0,0008	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E41	12370000	0,3595	0,5997	0,0343	0,0036	0,0015	0,0006	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E42	12390000	0,0281	0,9611	0,0094	0,0008	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E43	12400000	0,9554	0,0348	0,0074	0,0012	0,0006	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E44	12500000	0,0797	0,4510	0,4512	0,0108	0,0040	0,0015	0,0009	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E45	12510000	0,9877	0,0099	0,0019	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E46	12530000	0,9718	0,0223	0,0045	0,0007	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E47	12650000	0,2730	0,6903	0,0310	0,0031	0,0013	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

E48	13180000	0,0735	0,7553	0,1602	0,0064	0,0024	0,0009	0,0006	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
E49	13300000	0,8195	0,1596	0,0169	0,0021	0,0009	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E50	13450000	0,9916	0,0068	0,0013	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E51	13470000	0,9893	0,0090	0,0014	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E52	13550000	0,9640	0,0307	0,0042	0,0006	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E53	13600002	0,0020	0,9971	0,0008	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E54	15324000	0,9771	0,0194	0,0028	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E55	19100000	0,9971	0,0024	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E56	19150000	0,0001	0,0002	0,9996	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E57	19200000	0,9511	0,0380	0,0082	0,0013	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E58	19300000	0,9743	0,0204	0,0041	0,0006	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E59	30070000	0,9388	0,0473	0,0105	0,0017	0,0008	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E60	30075000	0,9645	0,0280	0,0058	0,0009	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E61	30080000	0,8593	0,1235	0,0139	0,0017	0,0008	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E62	30300000	0,8458	0,1357	0,0150	0,0019	0,0008	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E63	15130000	0,0035	0,0092	0,9849	0,0016	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E64	15150000	0,0190	0,0282	0,0603	0,8396	0,0386	0,0076	0,0036	0,0018	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,0000	0,0000
E65	15320002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9997	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
E66	15400000	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0007	0,0008	0,0012	0,0068	0,1147	0,8586	0,0147	0,0002	0,0000
E67	15431000	0,9550	0,0351	0,0075	0,0012	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E68	15432000	0,9530	0,0366	0,0079	0,0013	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E69	15552600	0,9963	0,0030	0,0005	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E70	15558000	0,8892	0,0967	0,0114	0,0015	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E71	15560000	0,0734	0,7556	0,1601	0,0064	0,0024	0,0009	0,0006	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
E72	15565000	0,9934	0,0053	0,0010	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E73	15580000	0,0240	0,0556	0,8954	0,0169	0,0048	0,0016	0,0009	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000

E74	15590000	0,9575	0,0332	0,0070	0,0011	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E75	14500000	0,0316	0,1211	0,8360	0,0070	0,0024	0,0009	0,0005	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
E76	14515000	0,0010	0,0030	0,9954	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E77	14526000	0,9138	0,0747	0,0092	0,0012	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E78	14530000	0,9733	0,0211	0,0043	0,0007	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E79	14540000	0,9812	0,0151	0,0029	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E80	14550000	0,9927	0,0060	0,0010	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E81	14650000	0,9300	0,0604	0,0077	0,0010	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E82	14680001	0,7399	0,2330	0,0222	0,0026	0,0012	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E83	14690000	0,0874	0,8916	0,0182	0,0016	0,0007	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E84	14750000	0,9971	0,0024	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E85	14845000	0,9996	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E86	14850000	0,9886	0,0096	0,0014	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E87	10200000	0,3186	0,6430	0,0324	0,0033	0,0014	0,0006	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E88	10500000	0,0284	0,0646	0,8754	0,0215	0,0060	0,0019	0,0011	0,0006	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E89	11400000	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0004	0,0006	0,0030	0,0252	0,9548	0,0143	0,0002	0,0000
E90	11444900	0,0292	0,0441	0,0987	0,7592	0,0493	0,0103	0,0050	0,0024	0,0007	0,0004	0,0004	0,0003	0,0001	0,0000
E91	11500000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0006	0,9990	0,0000	0,0000
E92	12100000	0,8516	0,1304	0,0146	0,0018	0,0008	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E93	12200000	0,0837	0,5990	0,3016	0,0093	0,0035	0,0013	0,0008	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E94	12240000	0,0403	0,0870	0,8190	0,0373	0,0099	0,0031	0,0017	0,0009	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000
E95	12680000	0,0017	0,0051	0,9923	0,0006	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E96	12840000	0,0109	0,0141	0,0216	0,1871	0,7309	0,0221	0,0080	0,0033	0,0008	0,0005	0,0004	0,0003	0,0001	0,0000
E97	12850000	0,0088	0,0103	0,0134	0,0343	0,1212	0,7420	0,0525	0,0125	0,0020	0,0012	0,0009	0,0007	0,0001	0,0000
E98	12870000	0,9910	0,0072	0,0013	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E99	12880000	0,5982	0,3667	0,0290	0,0033	0,0014	0,0006	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

E100	13410000	0,0358	0,0789	0,8411	0,0304	0,0082	0,0026	0,0015	0,0008	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E101	13650000	0,0816	0,6660	0,2385	0,0082	0,0031	0,0012	0,0007	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E102	13740000	0,0039	0,9943	0,0016	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E103	13750000	0,0167	0,0219	0,0349	0,4585	0,4267	0,0249	0,0097	0,0041	0,0010	0,0006	0,0005	0,0004	0,0001	0,0000
E104	13870000	0,0167	0,0200	0,0267	0,0808	0,4472	0,3317	0,0540	0,0157	0,0029	0,0017	0,0014	0,0010	0,0002	0,0000
E105	13880000	0,0149	0,0177	0,0232	0,0651	0,2857	0,5072	0,0623	0,0167	0,0029	0,0017	0,0014	0,0010	0,0002	0,0000
E106	13885000	0,9883	0,0098	0,0015	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E107	13886000	0,0790	0,4519	0,4512	0,0107	0,0039	0,0015	0,0009	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E108	14100000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
E109	14230000	0,0107	0,9845	0,0043	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E110	14250000	0,0000	0,0001	0,0001	0,9995	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E111	14280001	0,0262	0,0963	0,8676	0,0062	0,0021	0,0008	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E112	14300000	0,9659	0,0269	0,0055	0,0009	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E113	14325000	0,8409	0,1399	0,0156	0,0019	0,0009	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E114	14330000	0,0035	0,0044	0,0062	0,0265	0,9315	0,0196	0,0054	0,0019	0,0004	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000
E115	15042000	0,9545	0,0355	0,0076	0,0012	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E116	15630000	0,0009	0,0010	0,0010	0,0012	0,0013	0,0017	0,0020	0,0027	0,0098	0,0392	0,1243	0,8137	0,0010	0,0001
E117	15700000	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,0011	0,0033	0,0099	0,0216	0,9598	0,0005	0,0000
E118	15800000	0,0598	0,1190	0,7085	0,0809	0,0195	0,0059	0,0032	0,0017	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000
E119	15830000	0,0018	0,0024	0,0043	0,9791	0,0101	0,0013	0,0006	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E120	17430000	0,0021	0,0023	0,0028	0,0051	0,0099	0,0668	0,8931	0,0152	0,0012	0,0006	0,0005	0,0004	0,0001	0,0000
E121	16200000	0,0004	0,9993	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E122	16368000	0,9152	0,0735	0,0091	0,0012	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E123	15910000	0,6951	0,2748	0,0247	0,0029	0,0013	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E124	14450000	0,0096	0,9864	0,0035	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E125	14440000	0,2816	0,6814	0,0312	0,0031	0,0013	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



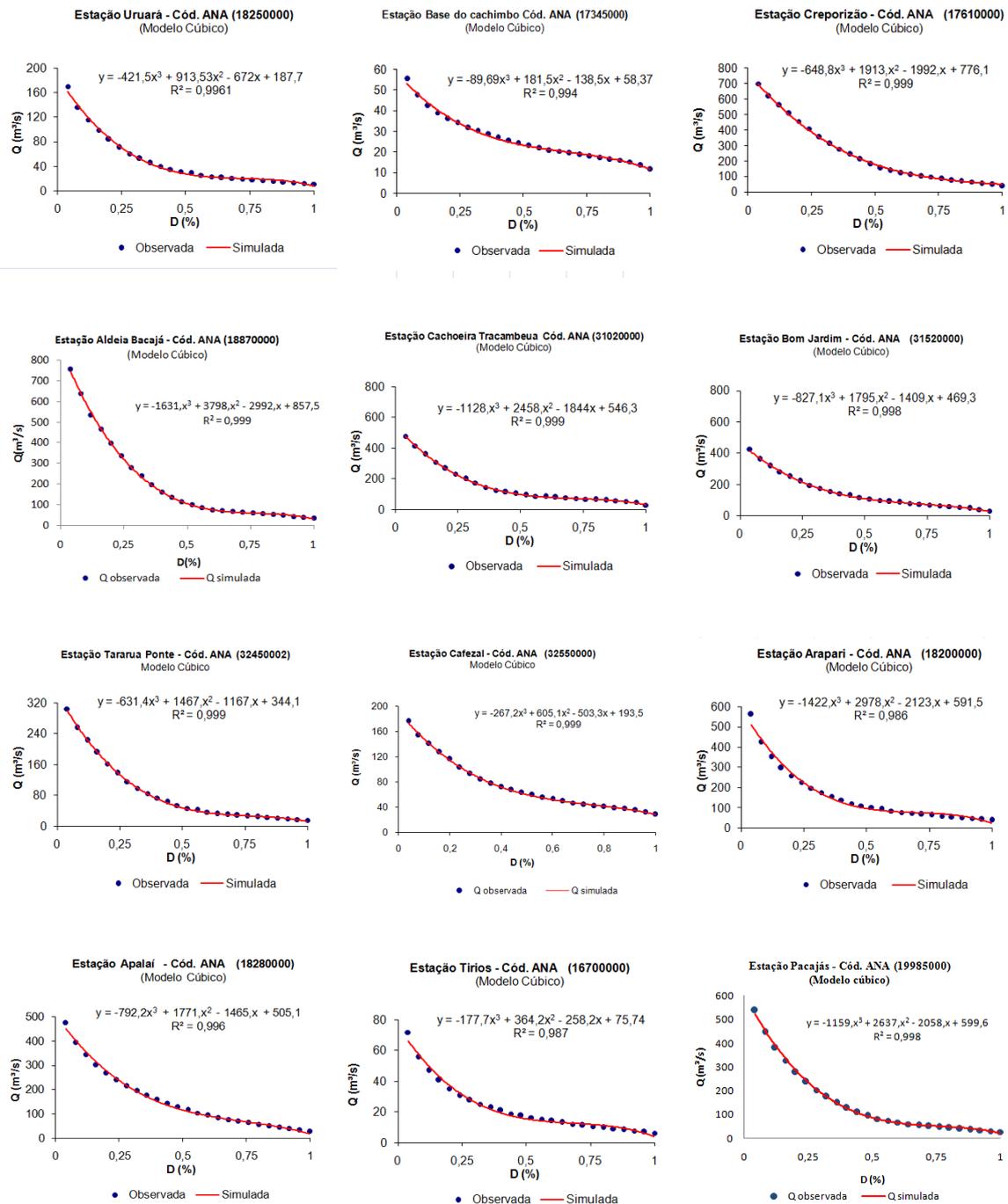
E152	33250000	0,6471	0,3201	0,0271	0,0031	0,0014	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E153	33270000	0,9597	0,0316	0,0067	0,0011	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E154	33281000	0,0007	0,9990	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E155	33290000	0,0038	0,9936	0,0023	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E156	33320000	0,9962	0,0031	0,0005	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E157	33330000	0,9885	0,0092	0,0017	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E158	33380000	0,0660	0,9164	0,0152	0,0013	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E159	33420000	0,9970	0,0025	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E160	33430000	0,9962	0,0031	0,0005	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E161	33450000	0,9990	0,0009	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E162	33480000	0,4655	0,4957	0,0324	0,0035	0,0015	0,0006	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E163	33550000	0,0728	0,7607	0,1558	0,0063	0,0024	0,0009	0,0005	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
E164	33590000	0,0813	0,4907	0,4104	0,0105	0,0038	0,0014	0,0008	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E165	33630000	0,0322	0,1244	0,8319	0,0071	0,0024	0,0009	0,0005	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
E166	34130000	0,9371	0,0542	0,0070	0,0009	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E167	15050000	0,9833	0,0133	0,0026	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E168	15120001	0,0114	0,9840	0,0040	0,0003	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E169	15750000	0,4451	0,5159	0,0325	0,0035	0,0015	0,0006	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E170	15820000	0,0001	0,9999	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E171	17091000	0,9951	0,0040	0,0007	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E172	17093000	0,0079	0,0202	0,9656	0,0041	0,0012	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E173	17095000	0,0009	0,9986	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E174	17200000	0,8438	0,1374	0,0152	0,0019	0,0008	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E175	17210000	0,5773	0,3867	0,0298	0,0033	0,0015	0,0006	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E176	17280000	0,0822	0,6540	0,2495	0,0084	0,0032	0,0012	0,0007	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E177	17300000	0,0592	0,2729	0,6511	0,0102	0,0036	0,0013	0,0008	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000

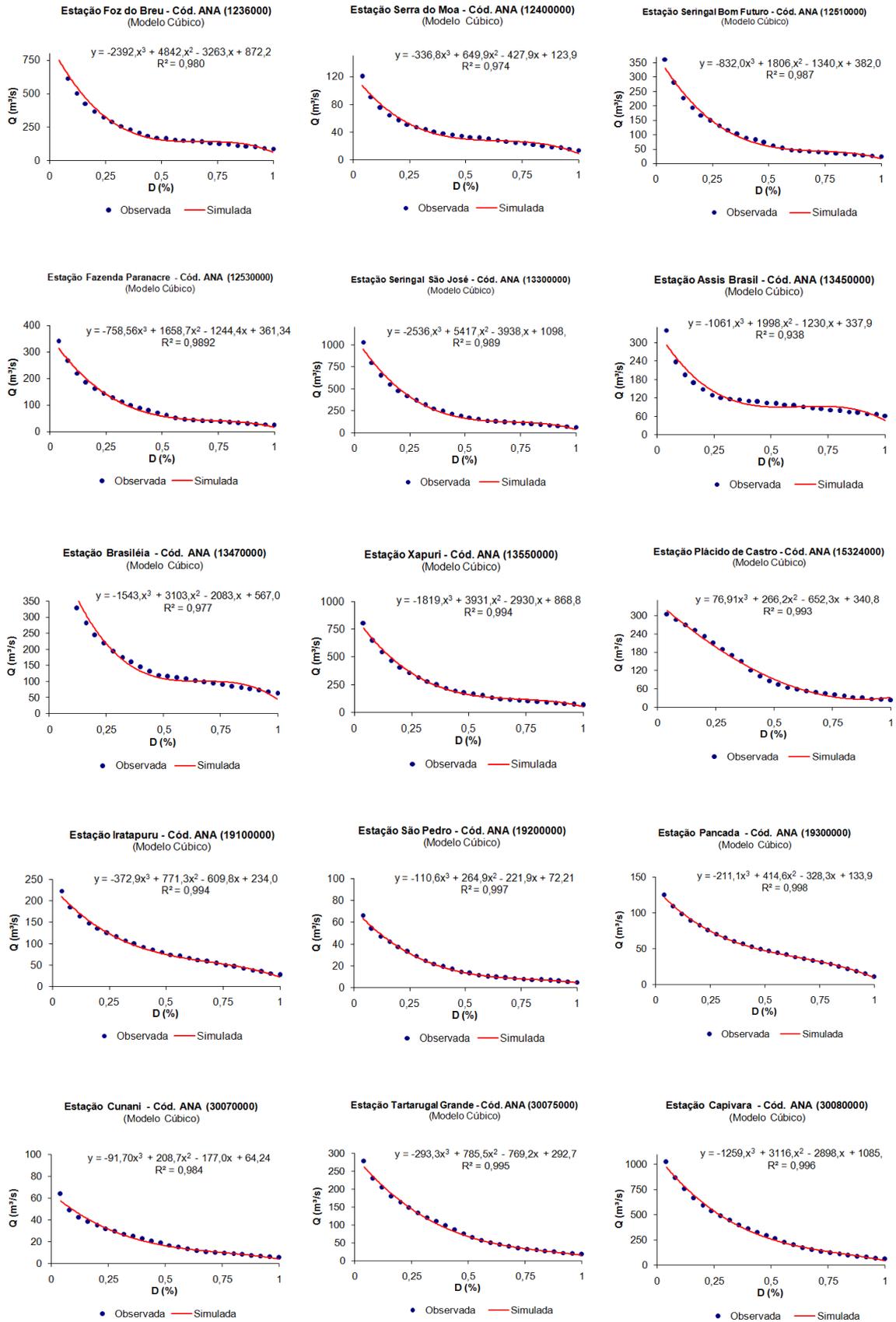


E204	66340000	0,0838	0,5927	0,3076	0,0094	0,0035	0,0013	0,0008	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E205	66360000	0,0682	0,3382	0,5759	0,0107	0,0039	0,0014	0,0008	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E206	66370000	0,0667	0,3261	0,5896	0,0107	0,0038	0,0014	0,0008	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E207	66465000	0,0011	0,9984	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E208	66470000	0,0011	0,9983	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E209	66520000	0,9827	0,0138	0,0027	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E210	66600000	0,0038	0,9944	0,0016	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E211	17123000	0,0119	0,0294	0,9487	0,0067	0,0020	0,0007	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E212	17130000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0006	0,9988	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E213	17120000	0,0816	0,4971	0,4038	0,0104	0,0038	0,0014	0,0008	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
E214	17121000	0,9074	0,0804	0,0098	0,0013	0,0006	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

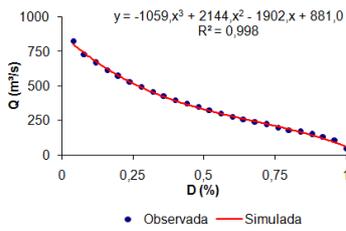
## APÊNDICE V – CALIBRAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DE CADA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA POR REGIÃO HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEA

### A.V.1 – REGIÃO HOMOGÊNEA I – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.

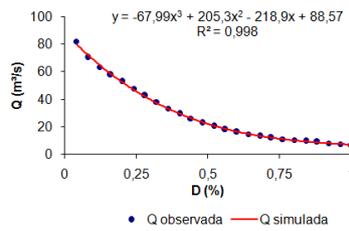




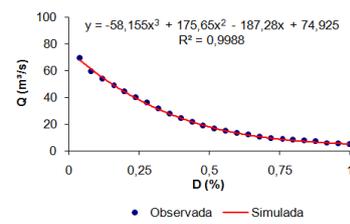
**Estação Serra do Navio - Cód. ANA (30300000)**  
(Modelo Cúbico)



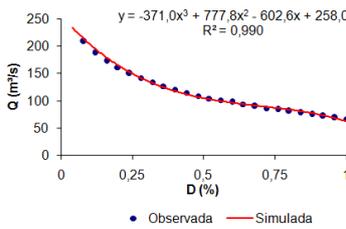
**Estação Faz. Rio Branco - Cód. ANA (15431000)**  
(Modelo Cúbico)



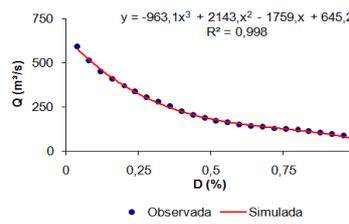
**Estação Min. Ponte Massanganã - Cód. ANA (15432000)**  
(Modelo Cúbico)



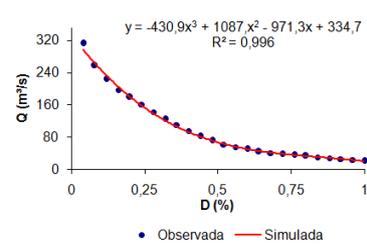
**Estação Faz. Flor do Campo - Cód. ANA (15552600)**  
(Modelo Cúbico)



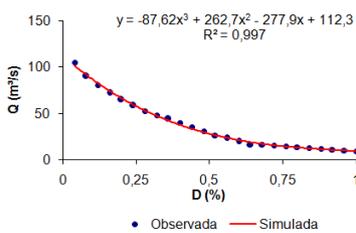
**Estação Pimenta Bueno - Cód. ANA (15558000)**  
(Modelo Cúbico)



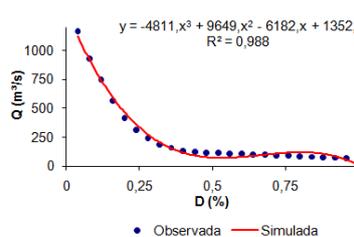
**Estação Jaru - Cód. ANA (15565000)**  
(Modelo Cúbico)



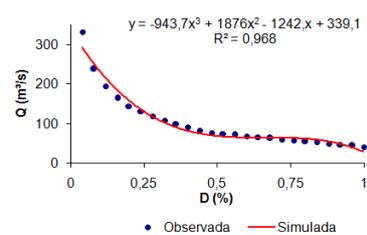
**Estação Min. Jacundá - Cód. ANA (15590000)**  
(Modelo Cúbico)



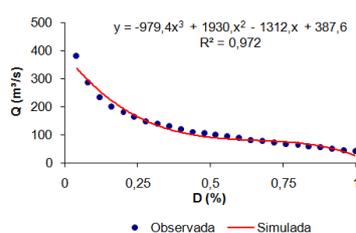
**Estação Bom Fim - Cód. ANA (14526000)**  
(Modelo Cúbico)



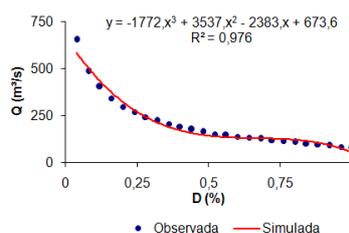
**Estação Vila Surumu - Cód. ANA (14530000)**  
(Modelo Cúbico)



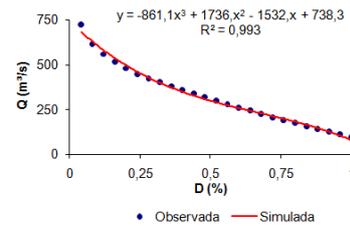
**Estação Faz. Bandeira Branca - Cód. ANA (14540000)**  
(Modelo Cúbico)



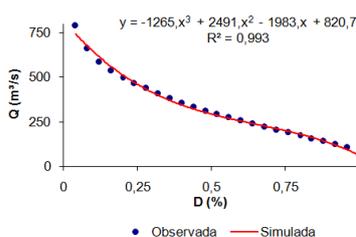
**Estação Maloca do Contão - Cód. ANA (14550000)**  
(Modelo Cúbico)



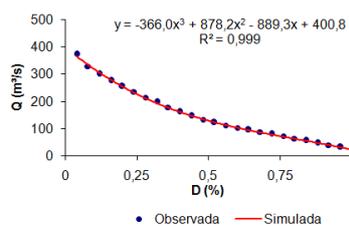
**Estação Posto Funai - Cód. ANA (14650000)**  
(Modelo Cúbico)



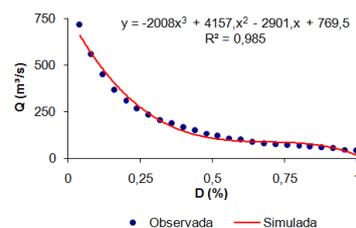
**Estação Fé e Esperança - Cód. ANA (14680001)**  
(Modelo Cúbico)



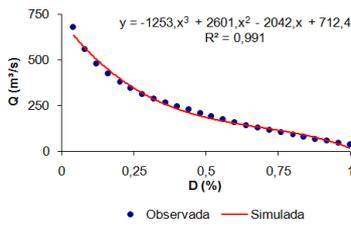
**Estação Missão Catrimani - Cód. ANA (14750000)**  
(Modelo Cúbico)



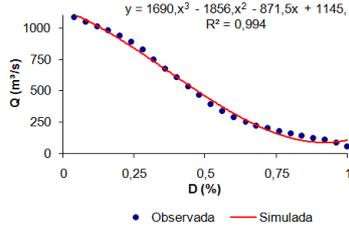
**Estação Faz. São José - Cód. ANA (14845000)**  
(Modelo Cúbico)



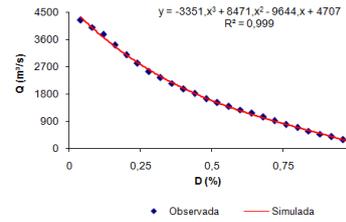
**Estação Base Alalau - Cód. ANA (14850000)**  
(Modelo Cúbico)



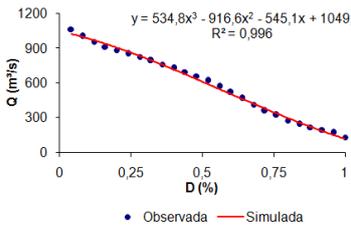
**Estação Colocação Caxias - Cód. ANA (12100000)**  
(Modelo Cúbico)



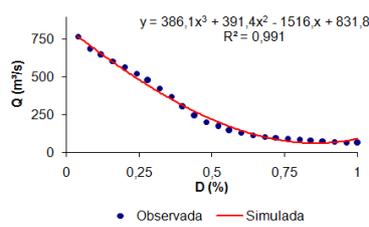
**Estação Barreirinha - Cód. ANA (12870000)**  
(Modelo Cúbico)



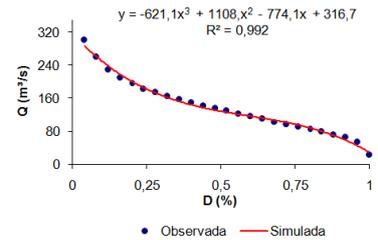
**Estação Estrirão da Sta. Cruz - Cód. ANA (12880000)**  
(Modelo Cúbico)



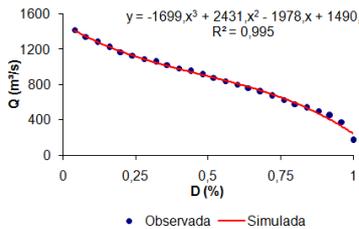
**Estação Cristo - Cód. ANA (13885000)**  
(Modelo Cúbico)



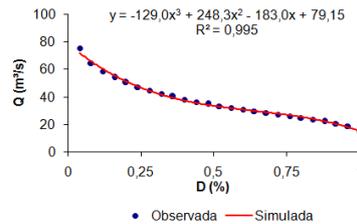
**Estação Pari Cachoeira - Cód. ANA (14300000)**  
(Modelo Cúbico)



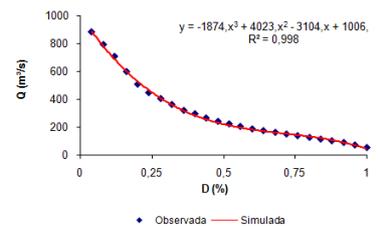
**Estação Tumbira - Cód. ANA (14325000)**  
(Modelo Cúbico)



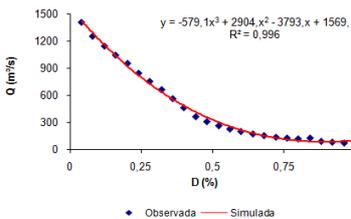
**Estação Rio Preto da Eva - Cód. ANA (15042000)**  
(Modelo Cúbico)



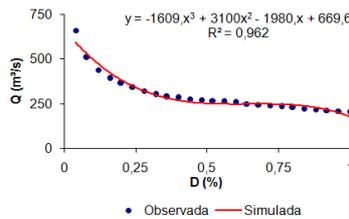
**Estação Mineração Caíma - Cód. ANA (16368000)**  
(Modelo Cúbico)



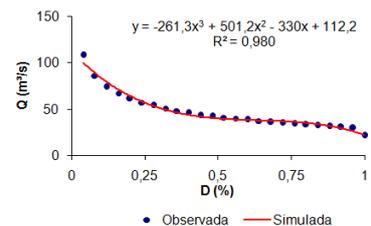
**Estação Santarém - Cód. ANA (15910000)**  
(Modelo Cúbico)



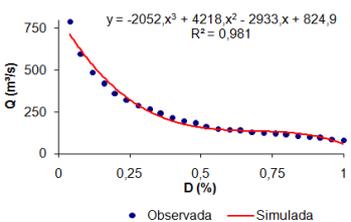
**Estação Rio da Palma - Cód. ANA (21850000)**  
(Modelo Cúbico)



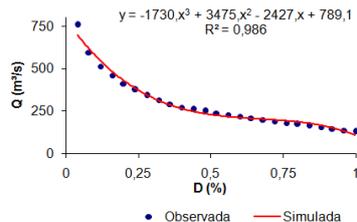
**Estação Porto Alegre - Cód. ANA (22190000)**  
(Modelo Cúbico)



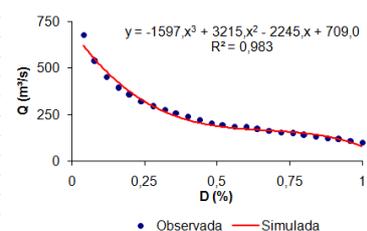
**Estação Fazenda Lobeira - Cód. ANA (22600000)**  
(Modelo Cúbico)



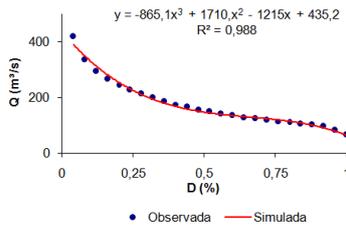
**Estação Rio das Balsas - Cód. ANA (22750000)**  
(Modelo Cúbico)



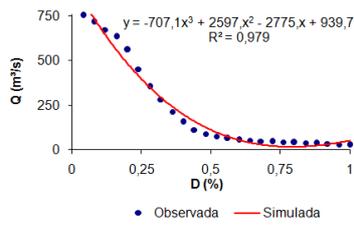
**Estação Dois Irmãos - Cód. ANA (22850000)**  
(Modelo Cúbico)



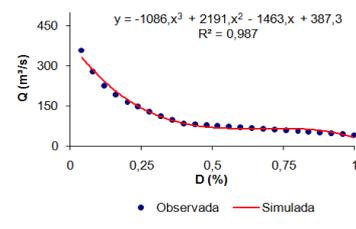
**Estação Goiantins - Cód. ANA (23250000)**  
(Modelo Cúbico)



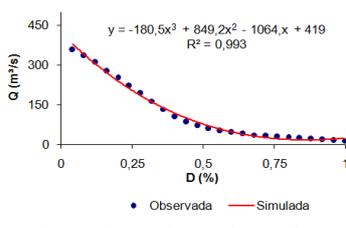
**Estação Barreira do Pequi - Cód. ANA (26710000)**  
(Modelo Cúbico)



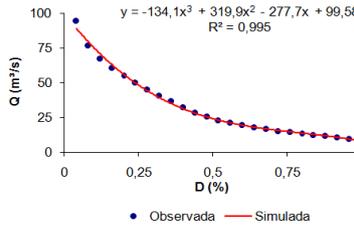
**Estação Praia Alta - Cód. ANA (26720000)**  
(Modelo Cúbico)



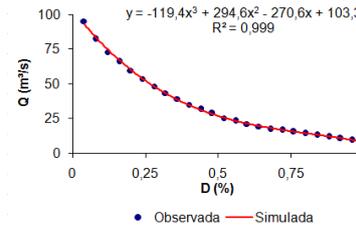
**Estação Proj. Rio Formoso - Cód. ANA (26750000)**  
(Modelo Cúbico)



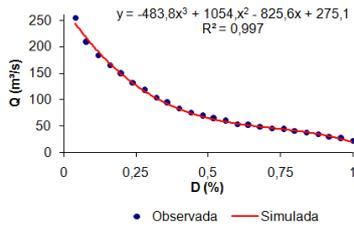
**Estação Aporema - Cód. ANA (27550000)**  
(Modelo Cúbico)



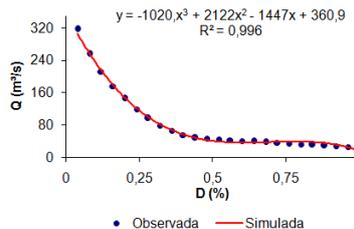
**Estação Muricilândia - Cód. ANA (28150000)**  
(Modelo Cúbico)



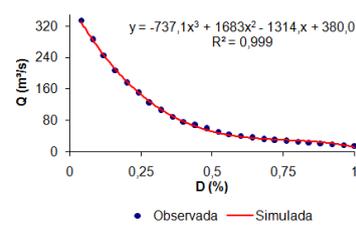
**Estação Piraquê - Cód. ANA (28240000)**  
(Modelo Cúbico)



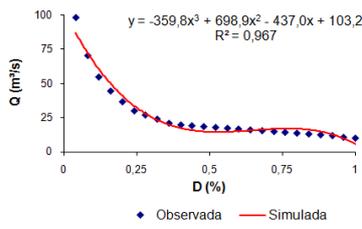
**Estação Maracumê - Cód. ANA (32740000)**  
(Modelo Cúbico)



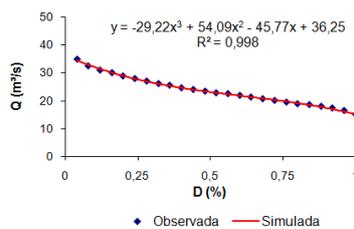
**Estação Alto Turi - Cód. ANA (32830000)**  
(Modelo Cúbico)



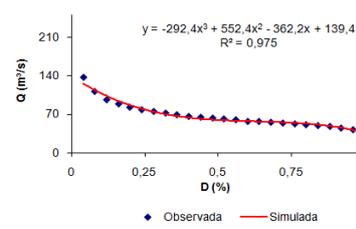
**Estação Esperantina - Cód. ANA (33170000)**  
(Modelo Cúbico)



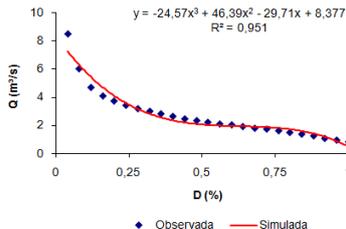
**Estação Rio Corda II - Cód. ANA (33215000)**  
(Modelo Cúbico)



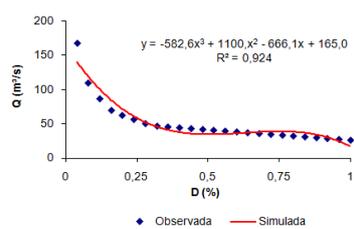
**Estação Barra do Corda - Cód. ANA (33250000)**  
(Modelo Cúbico)



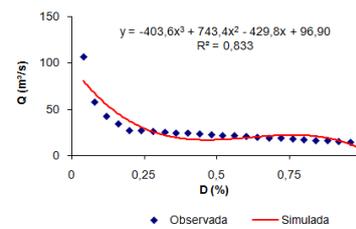
**Estação Flores - Cód. ANA (33270000)**  
(Modelo Cúbico)



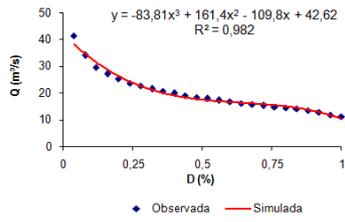
**Estação Grajaú - Cód. ANA (33320000)**  
(Modelo Cúbico)



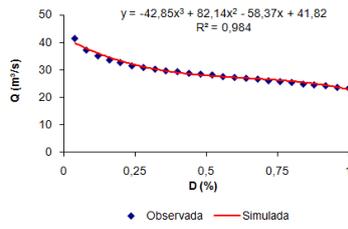
**Estação Fortaleza - Cód. ANA (33330000)**  
(Modelo Cúbico)



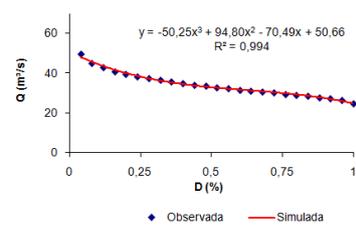
**Estação Mirador- Cód. ANA (33420000)**  
(Modelo Cúbico)



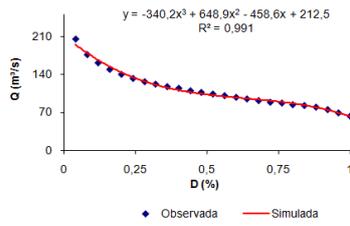
**Estação Fernando Falcão - Cód. ANA (33430000)**  
(Modelo Cúbico)



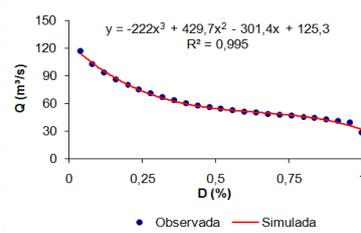
**Estação Campo Largo - Cód. ANA (33450000)**  
(Modelo Cúbico)



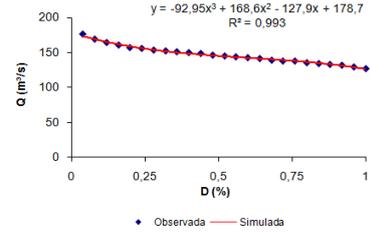
**Estação Balsas - Cód. ANA (34130000)**  
(Modelo Cúbico)



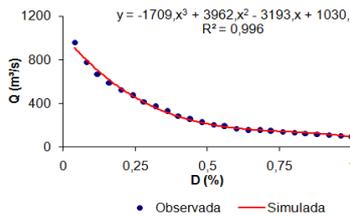
**Estação Pontes e Lacerda - Cód. ANA (15050000)**  
(Modelo Cúbico)



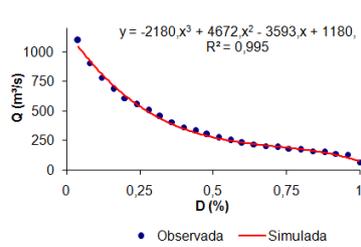
**Estação Faz. Tucunarê - Cód. ANA (17091000)**  
(Modelo Cúbico)



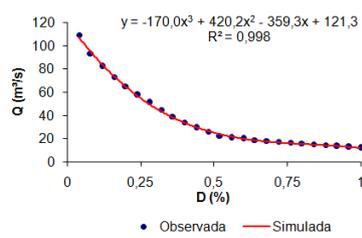
**Estação Porto Roncador - Cód. ANA (17200000)**  
(Modelo Cúbico)



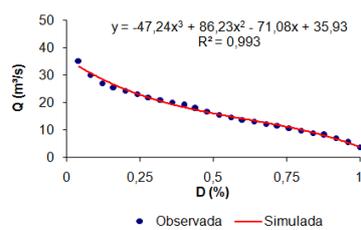
**Estação Teles Pires - Cód. ANA (17210000)**  
(Modelo Cúbico)



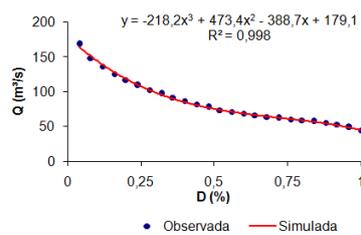
**Estação Cachimbo - Cód. ANA (17350000)**  
(Modelo Cúbico)



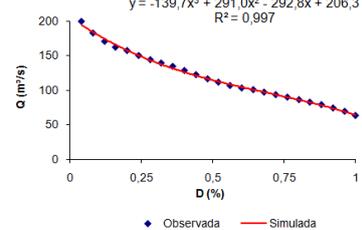
**Estação Passagem BR-309 - Cód. ANA (18409000)**  
(Modelo Cúbico)



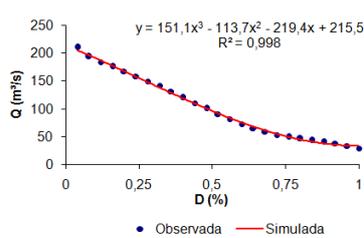
**Estação Faz. Itaguaçu - Cód. ANA (18420000)**  
(Modelo Cúbico)



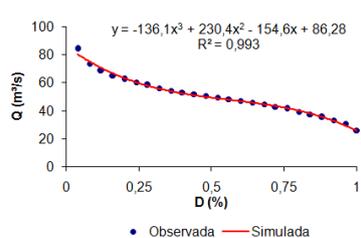
**Estação Consul - Cód. ANA (18423000)**  
(Modelo Cúbico)



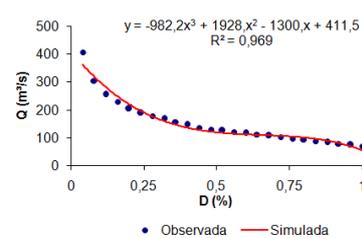
**Estação Rio Comandante Fontoura - Cód. ANA (18435000)**  
(Modelo Cúbico)

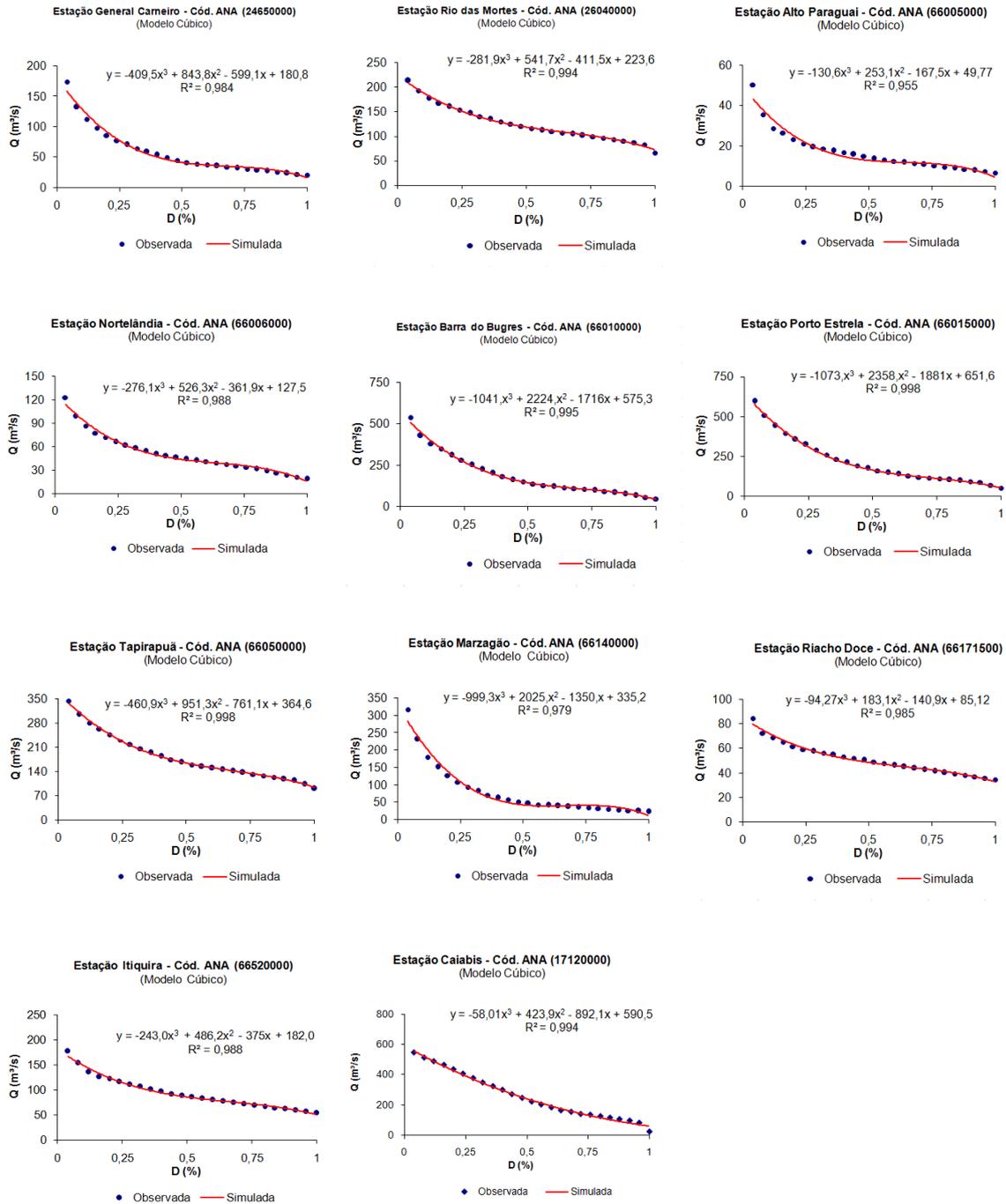


**Estação Alto Araguaia - Cód. ANA (24050000)**  
(Modelo Cúbico)

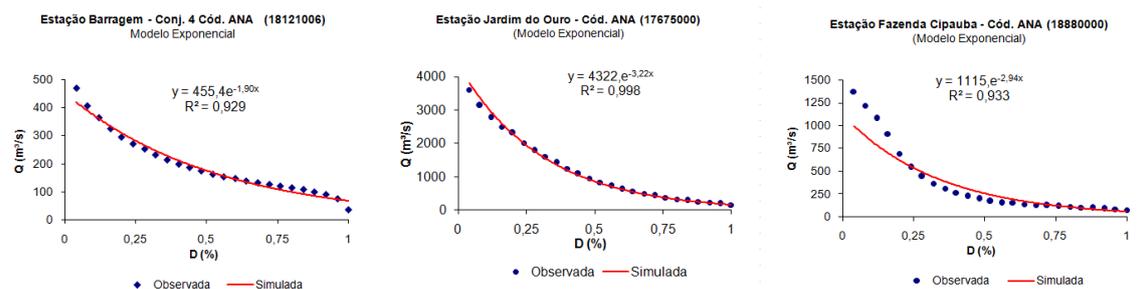


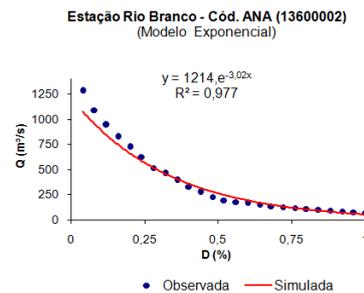
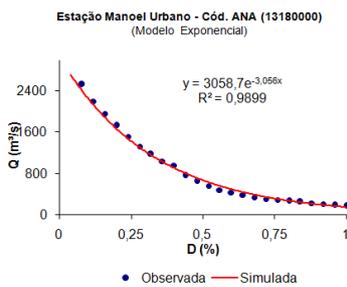
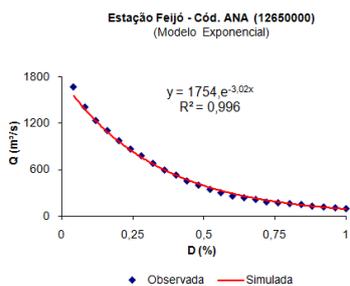
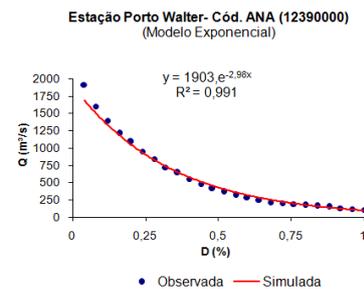
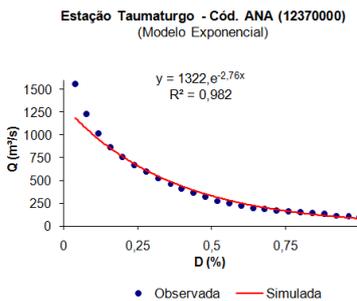
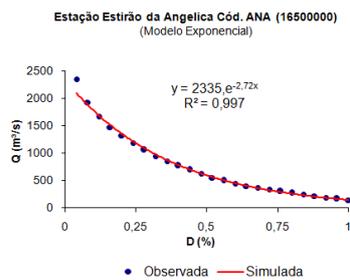
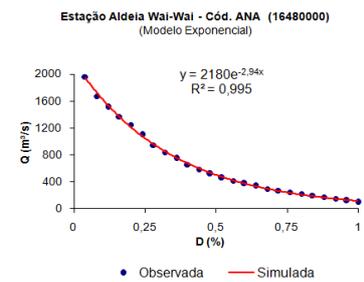
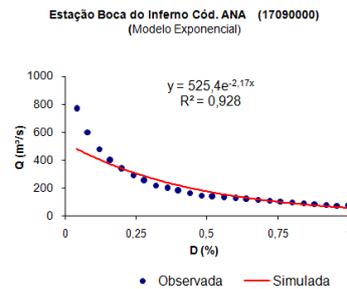
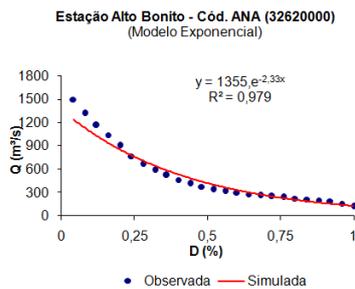
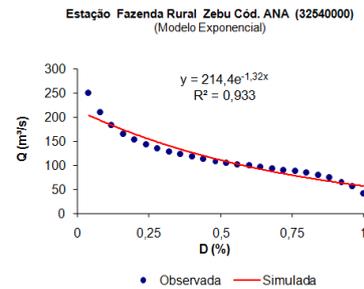
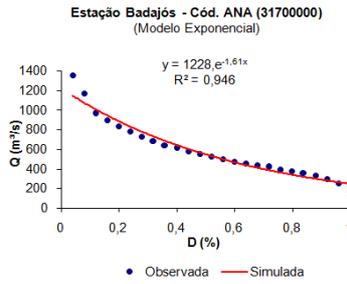
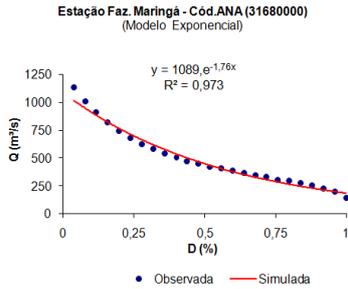
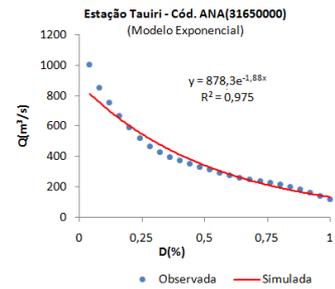
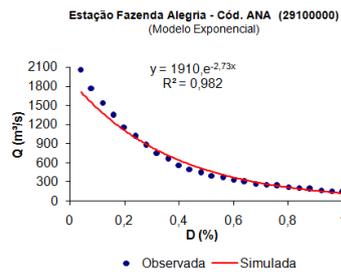
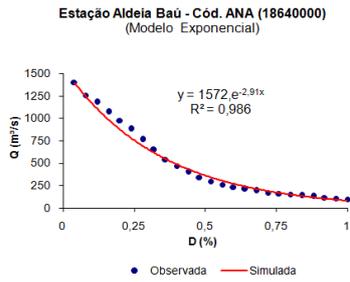
**Estação Tesouro - Cód. ANA (24500000)**  
(Modelo Cúbico)



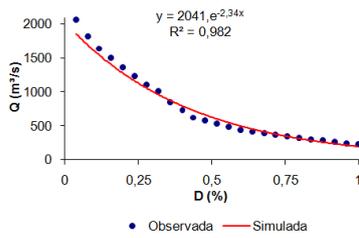


**A.V.2 – REGIÃO HOMOGÊNEA II – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO EXPONENCIAL.**

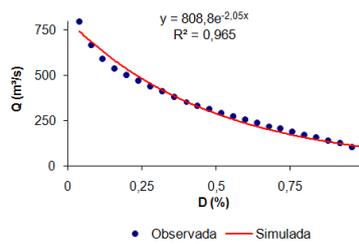




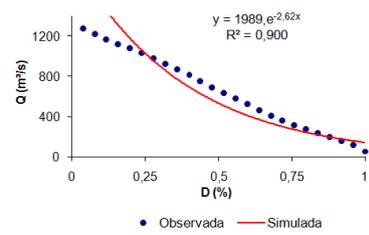
**Estação Jiparaná - Cód. ANA (15560000)**  
(Modelo Exponencial)



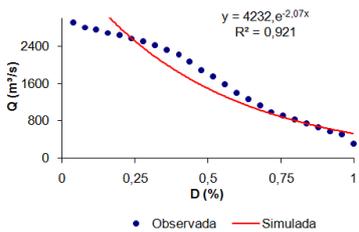
**Estação Fé e Esperança - Cód. ANA (14680001)**  
(Modelo Exponencial)



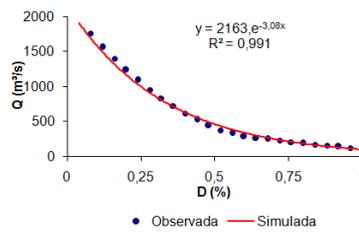
**Estação Palmeiras do Javari - Cód. ANA (10200000)**  
(Modelo Exponencial)



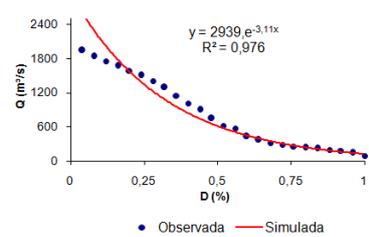
**Estação Barreira Alta - Cód. ANA (12200000)**  
(Modelo Exponencial)



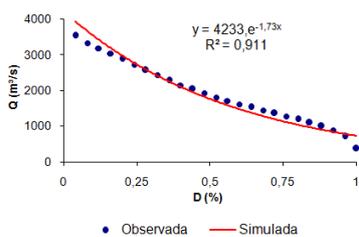
**Estação Floriano Peixoto - Cód. ANA (13650000)**  
(Modelo Exponencial)



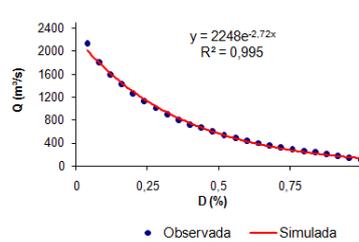
**Estação Faz. Borangaba - Cód. ANA (13740000)**  
(Modelo Exponencial)



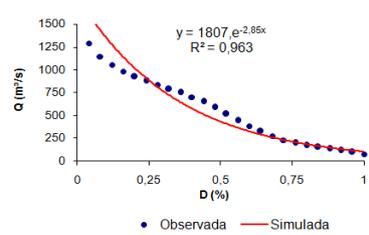
**Estação Missão Içana - Cód. ANA (14230000)**  
(Modelo Exponencial)



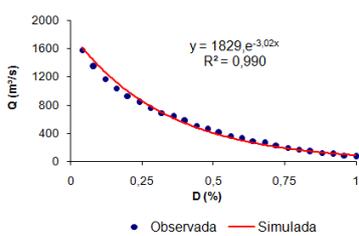
**Estação Base do Siderama - Cód. ANA (16200000)**  
(Modelo Exponencial)



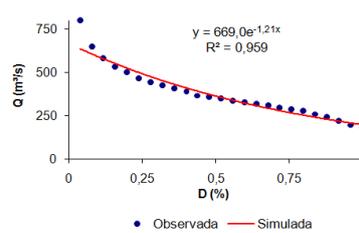
**Estação Jalauca - Cód. ANA (14450000)**  
(Modelo Exponencial)



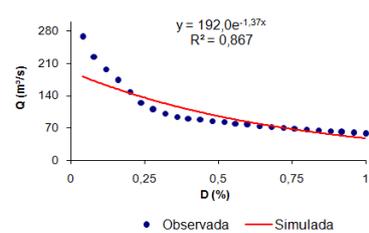
**Estação Posto Ajuricaba - Cód. ANA (14440000)**  
(Modelo Exponencial)



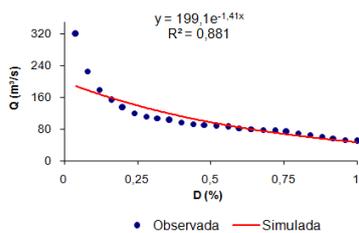
**Estação Novo Acordo - Cód. ANA (22700000)**  
(Modelo Exponencial)



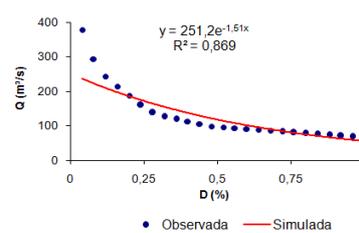
**Estação Pedreiras - Cód. ANA (33280000)**  
(Modelo Exponencial)



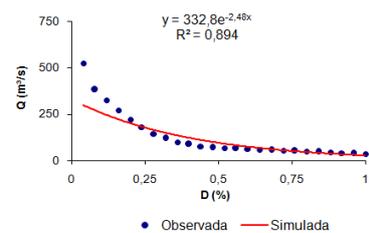
**Estação Pedreiras II - Cód. ANA (33281000)**  
(Modelo Exponencial)



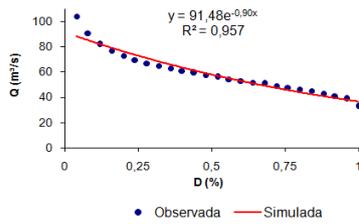
**Estação Bacabal - Cód. ANA (33290000)**  
(Modelo Exponencial)



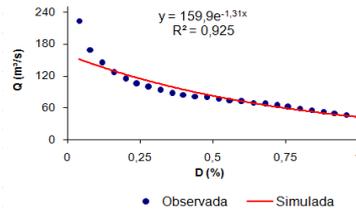
**Estação Aratoi Grande - Cód. ANA (33380000)**  
(Modelo Exponencial)



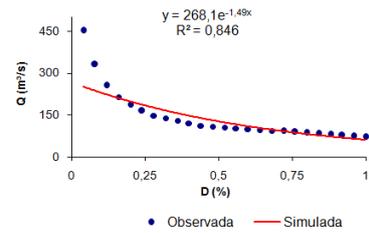
**Estação Colinas - Cód. ANA (33480000)**  
(Modelo Exponencial)



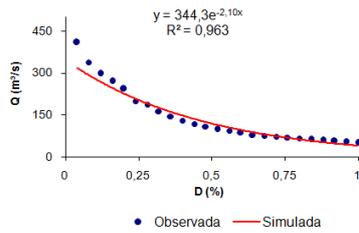
**Estação Caxias - Cód. ANA (33550000)**  
(Modelo Exponencial)



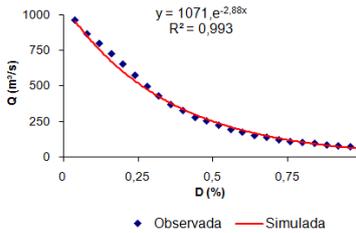
**Estação Codó - Cód. ANA (33590000)**  
(Modelo Exponencial)



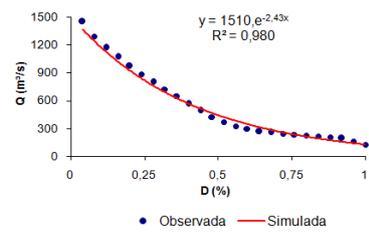
**Estação Mato Grosso - Cód. ANA (15120001)**  
(Modelo Exponencial)



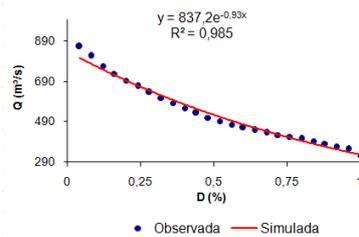
**Estação Humboldt - Cód. ANA (15750000)**  
(Modelo Exponencial)



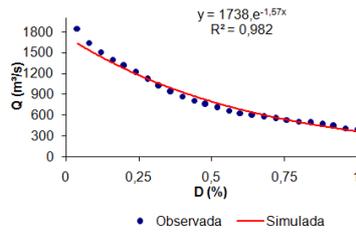
**Estação Concisa - Cód. ANA (15820000)**  
(Modelo Exponencial)



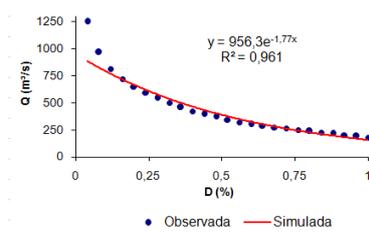
**Estação Faz. Tombador - Cód. ANA (17095000)**  
(Modelo Exponencial)



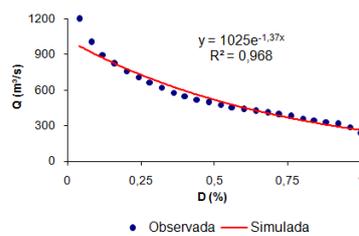
**Estação Cachoeirão - Cód. ANA (17280000)**  
(Modelo Exponencial)



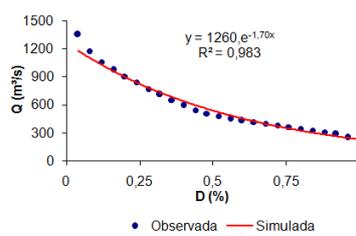
**Estação Torixoréu - Cód. ANA (24200000)**  
(Modelo Exponencial)



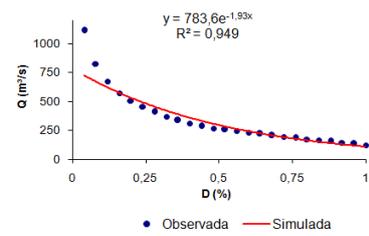
**Estação Xavantina - Cód. ANA (26100000)**  
(Modelo Exponencial)



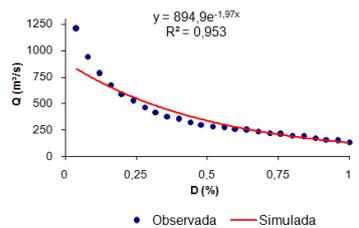
**Estação Cáceres - Cód. ANA (66070004)**  
(Modelo Exponencial)



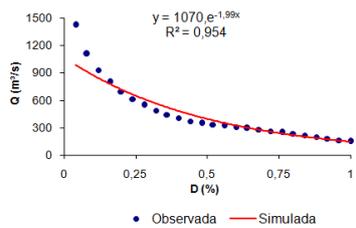
**Estação Rosário Oeste - Cód. ANA (66250001)**  
(Modelo Exponencial)



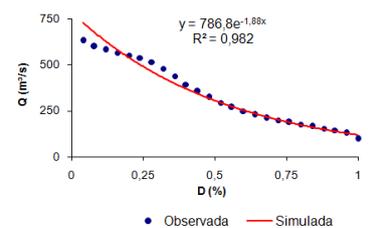
**Estação Acorizal - Cód. ANA (66255000)**  
(Modelo Exponencial)

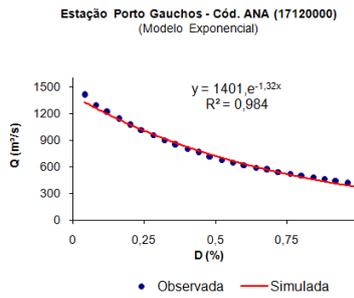
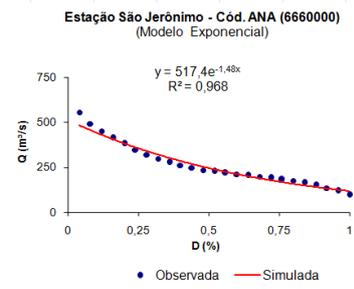
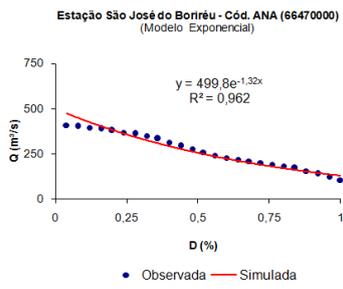
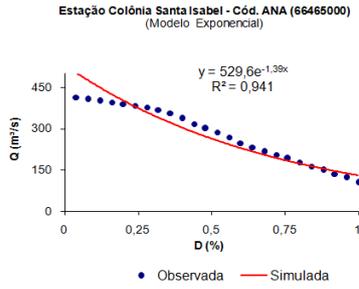


**Estação Cuiabá - Cód. ANA (66260001)**  
(Modelo Exponencial)

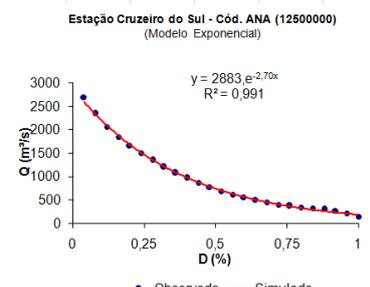
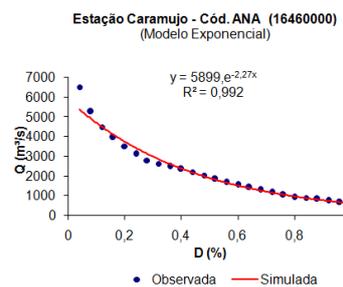
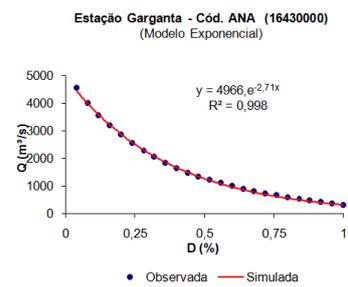
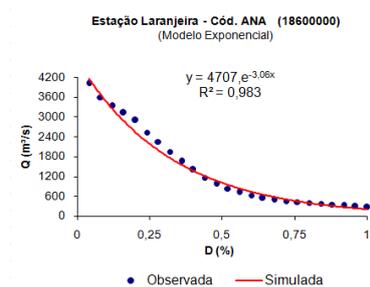
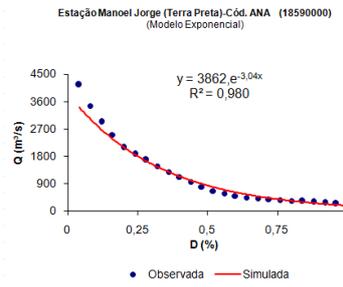
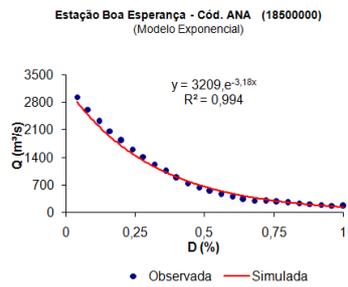


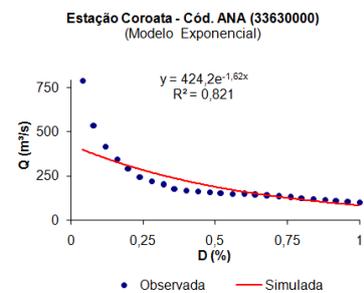
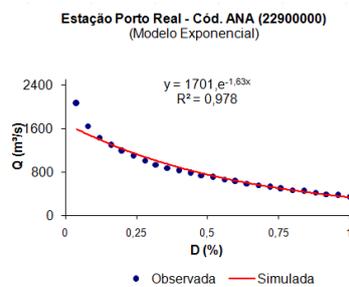
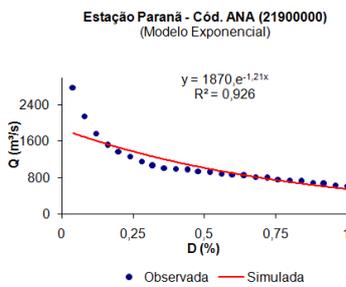
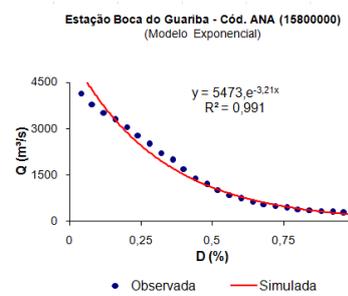
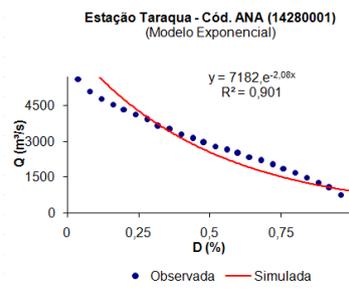
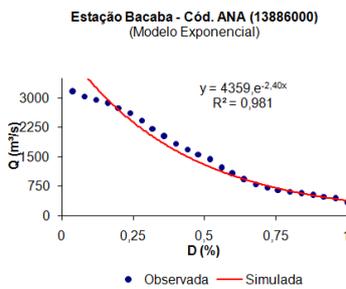
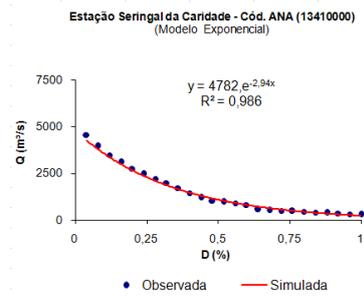
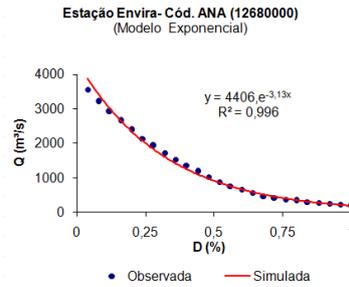
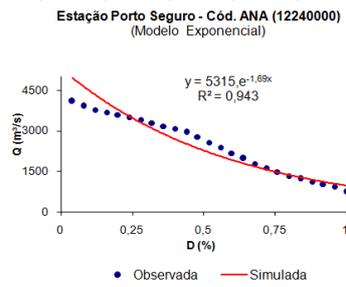
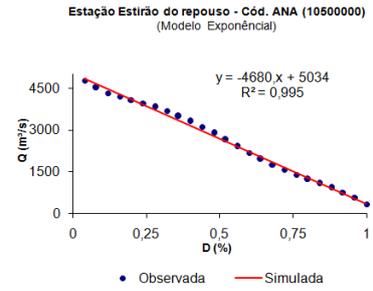
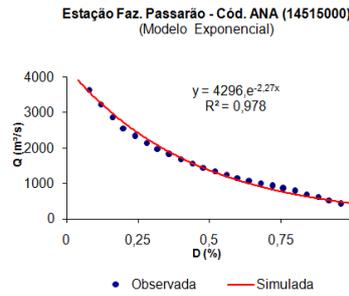
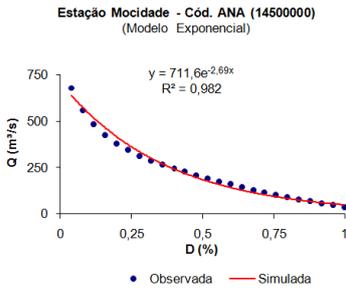
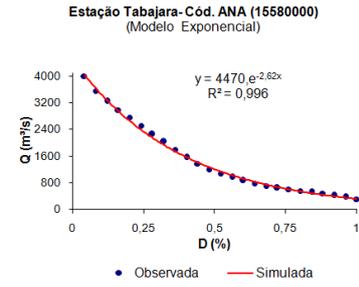
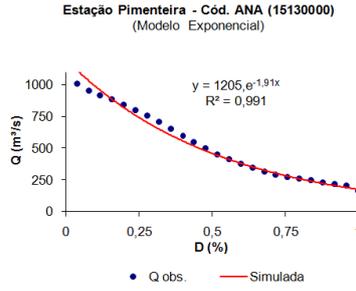
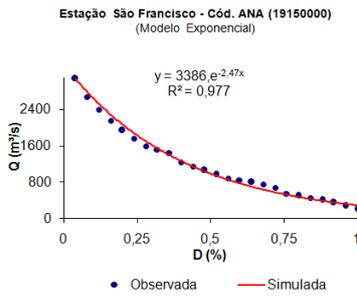
**Estação Porto Cercado - Cód. ANA (66340000)**  
(Modelo Exponencial)

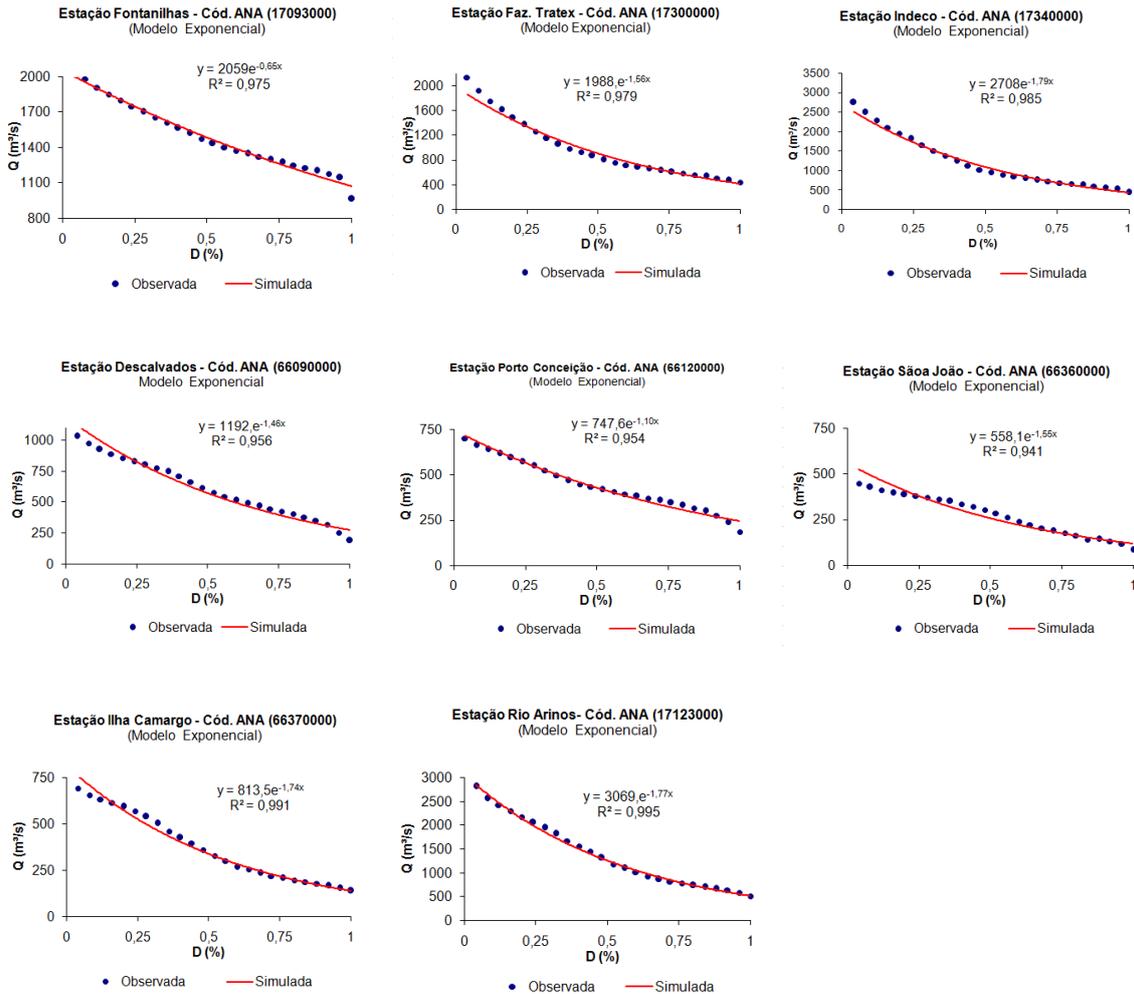




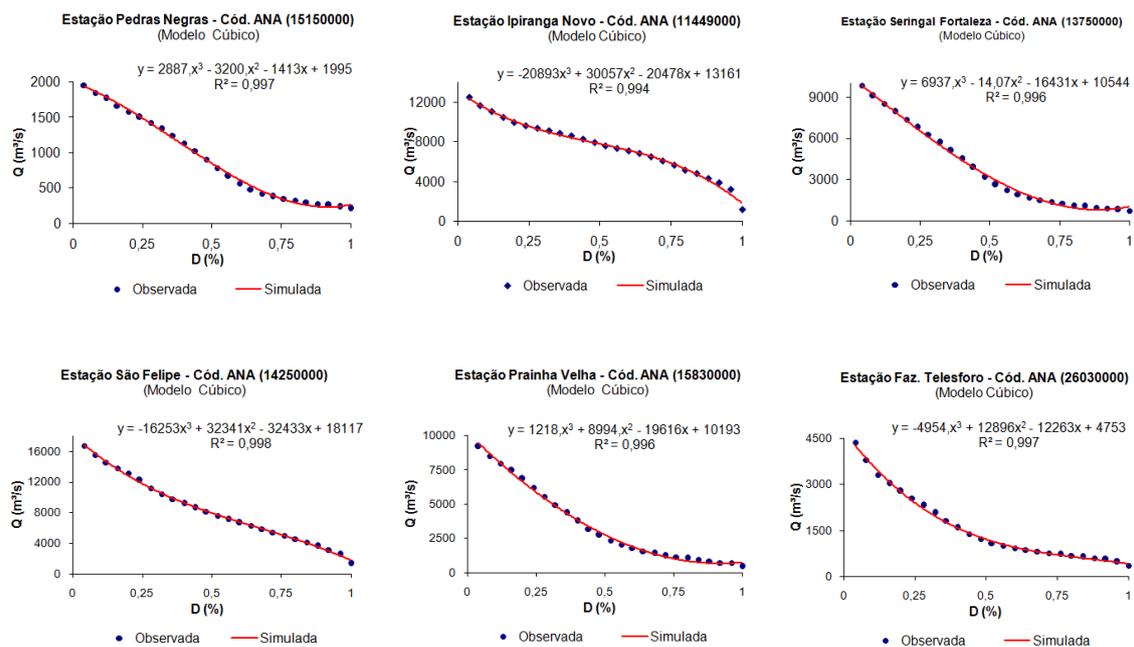
**A.V.3 – REGIÃO HOMOGÊNEA III – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO EXPONENCIAL.**

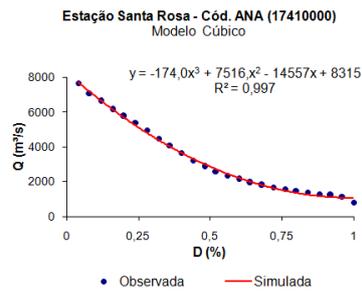




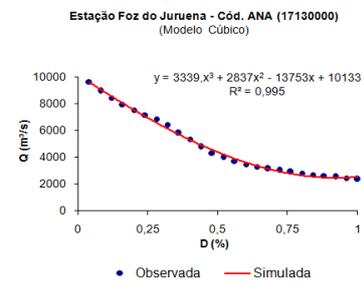
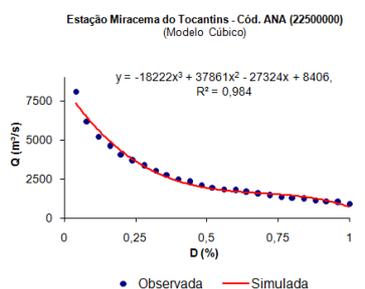
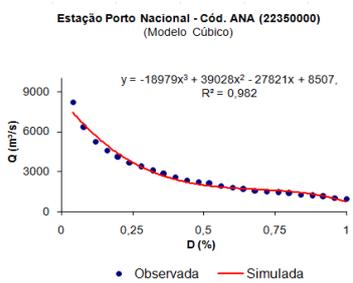
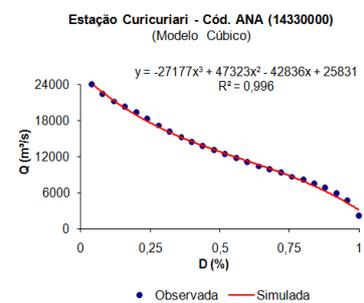
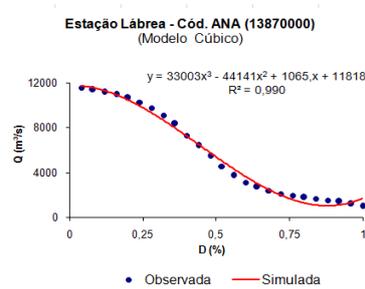
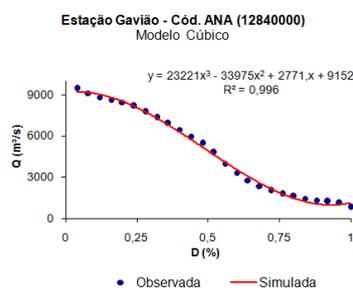


#### A.V.4 – REGIÃO HOMOGÊNEA IV – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.

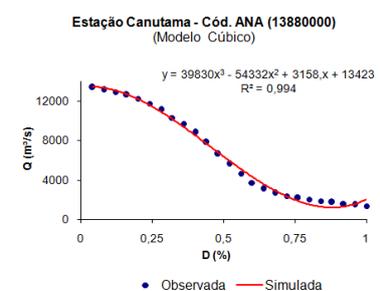
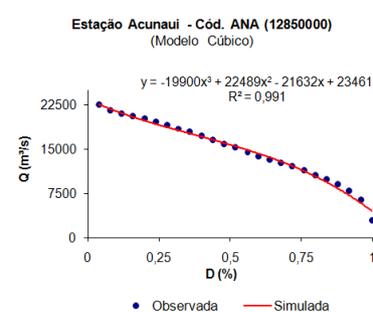
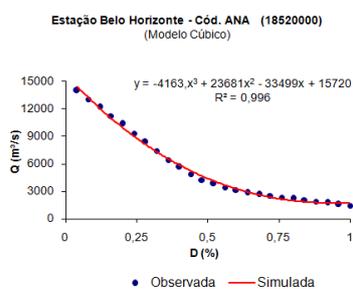


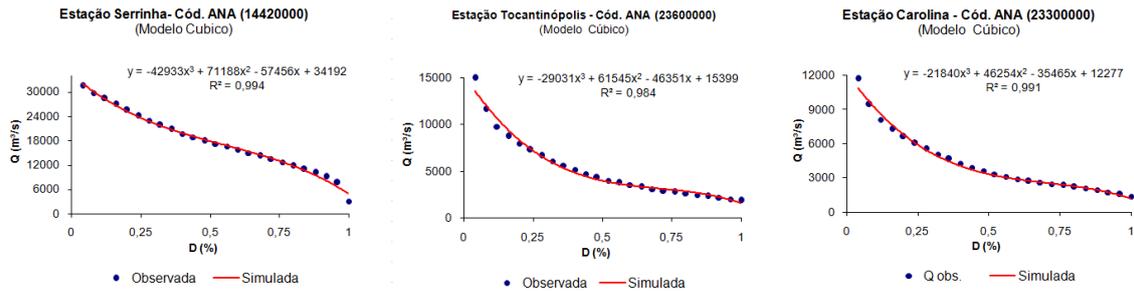


### A.V.5 – REGIÃO HOMOGÊNEA V – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.

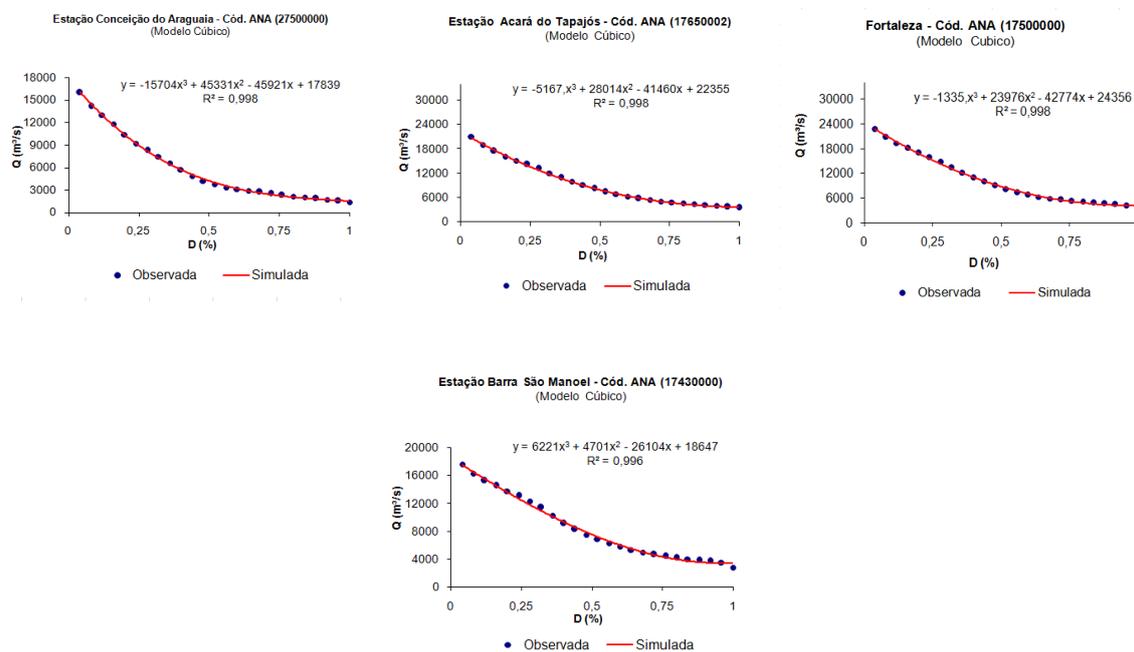


### A.V.6 – REGIÃO HOMOGÊNEA VI – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.

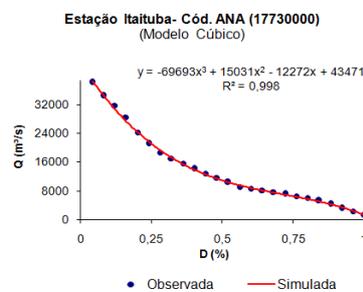




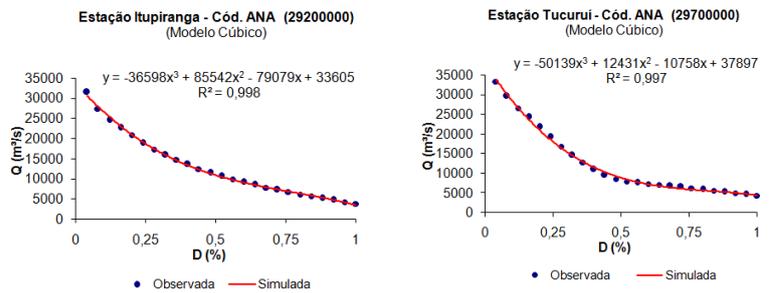
### A.V.7 – REGIÃO HOMOGÊNEA VII – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.



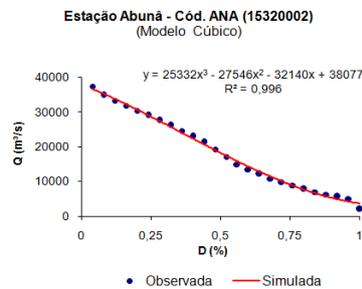
### A.V.8 – REGIÃO HOMOGÊNEA VIII – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.



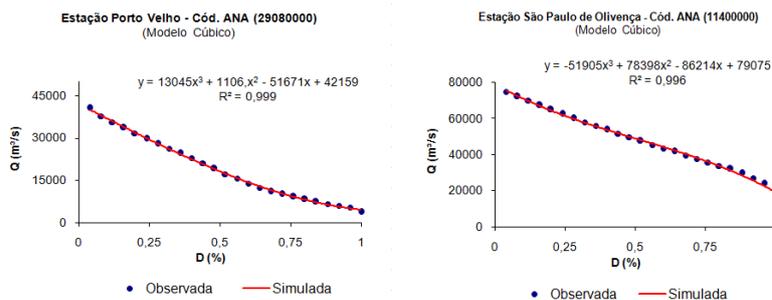
### A.V.9 – REGIÃO HOMOGÊNEA IX – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.



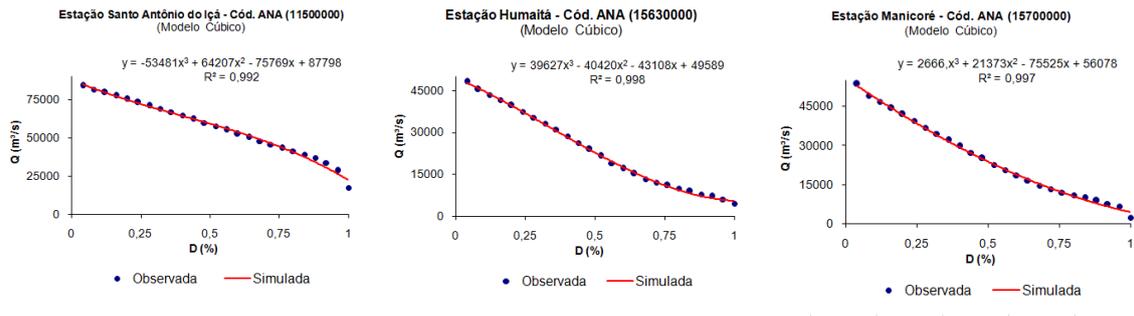
### A.V.10 – REGIÃO HOMOGÊNEA X – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.



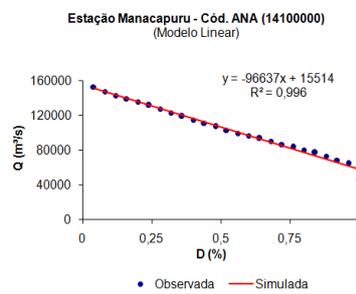
### A.V.11 – REGIÃO HOMOGÊNEA XI – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.



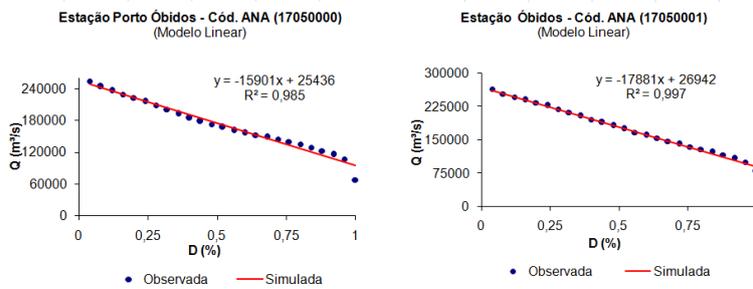
### A.V.12 – REGIÃO HOMOGÊNEA XII – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO CÚBICO.



### A.V.13 – REGIÃO HOMOGÊNEA XIII – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO LINEAR.

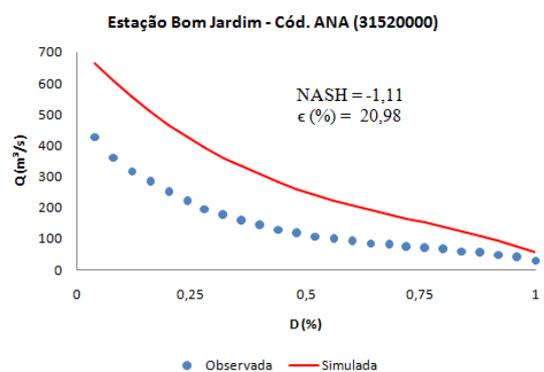
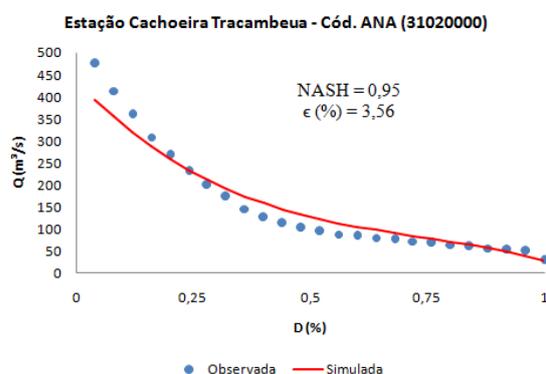
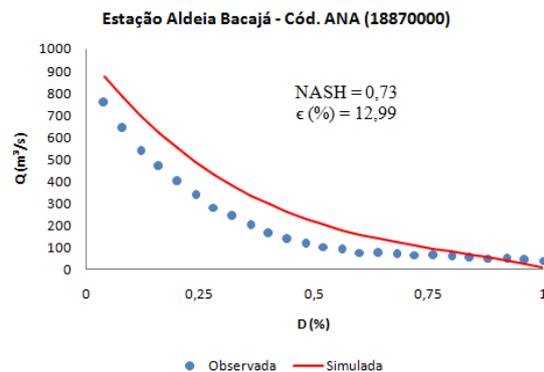
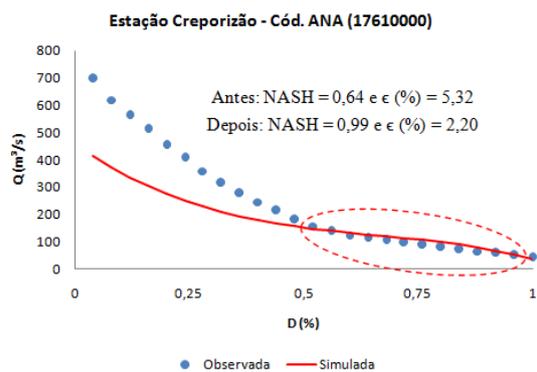
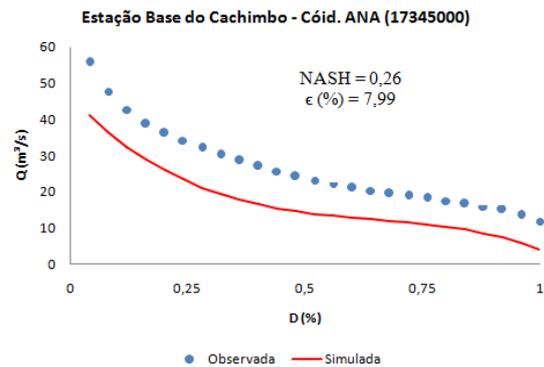
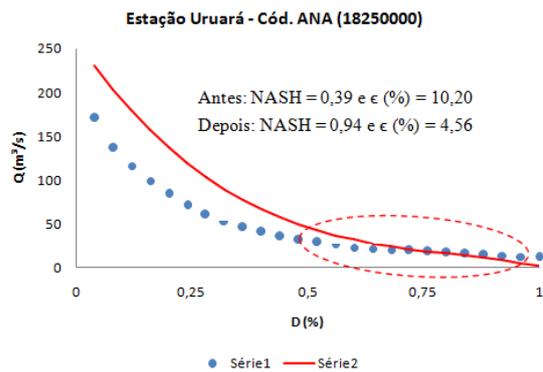


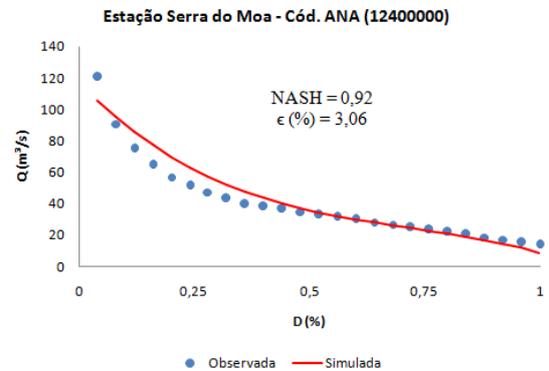
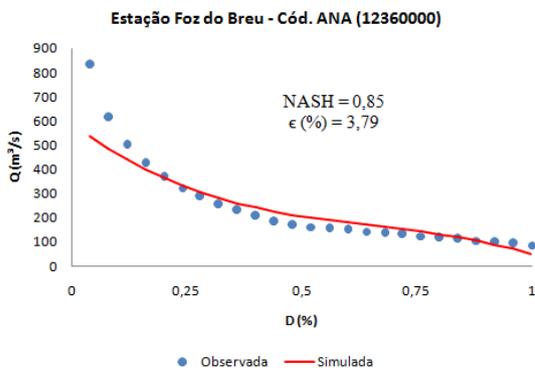
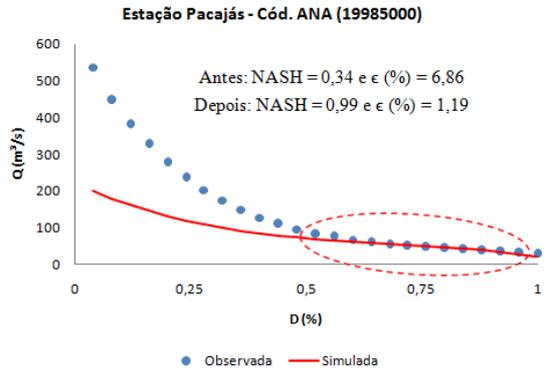
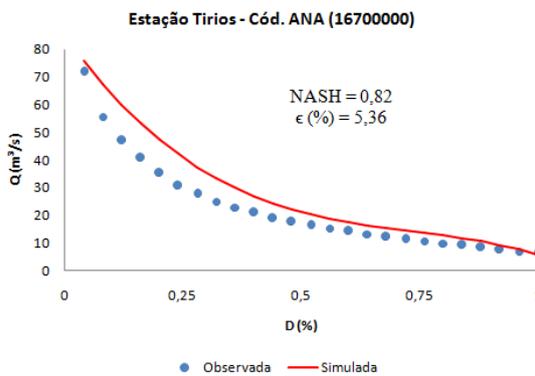
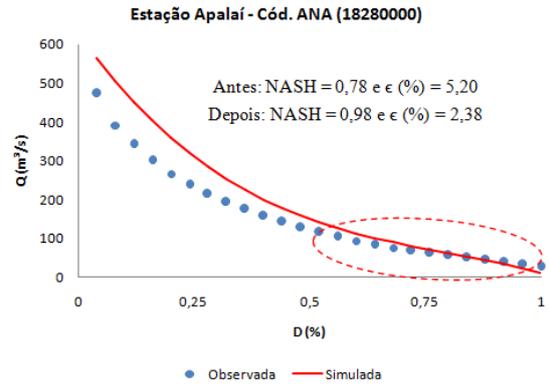
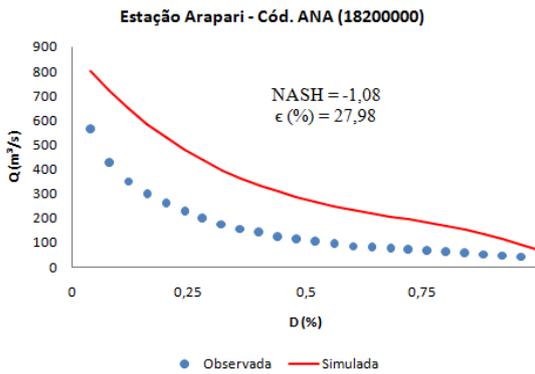
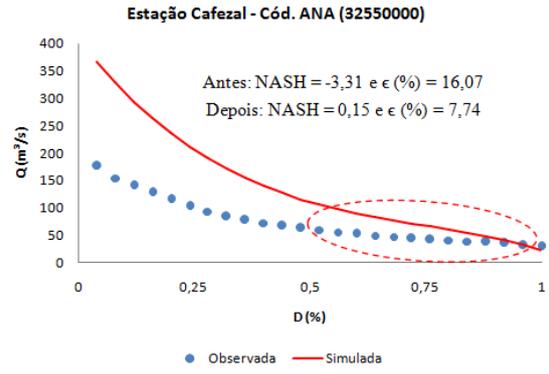
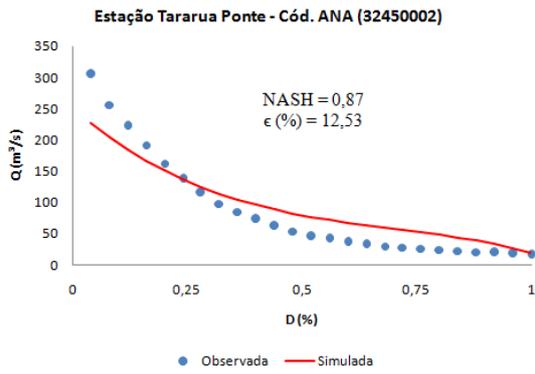
### A.V.14 – REGIÃO HOMOGÊNEA XIV – CURVAS CALIBRADAS COM O MODELO LINEAR.

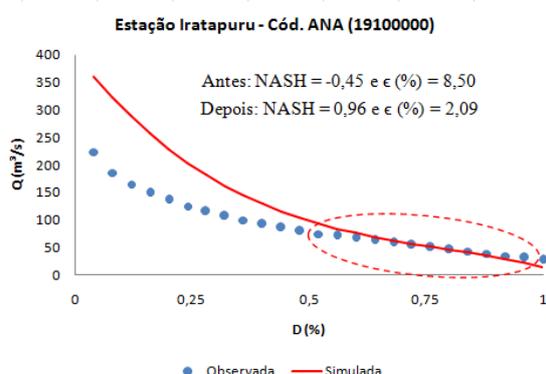
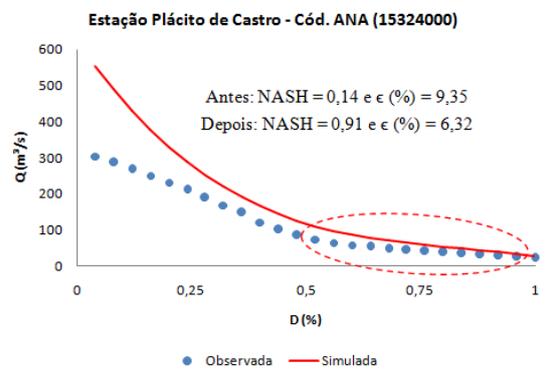
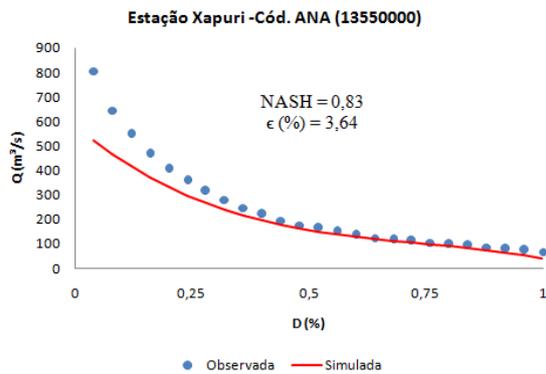
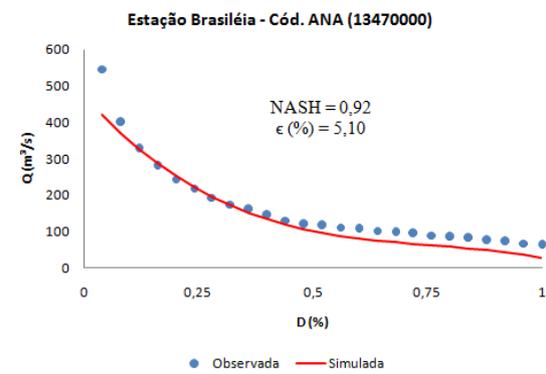
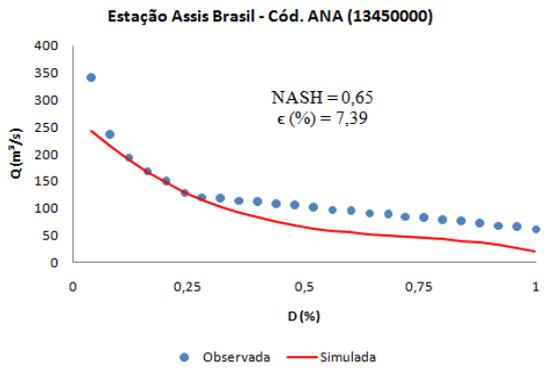
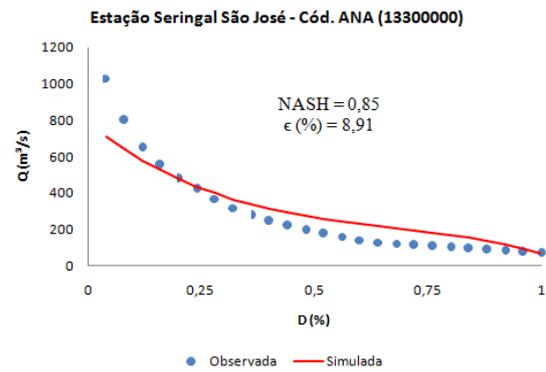
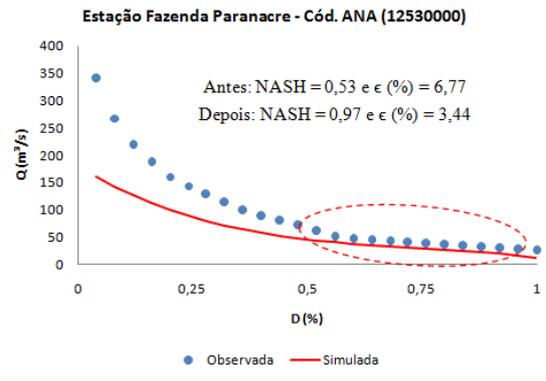
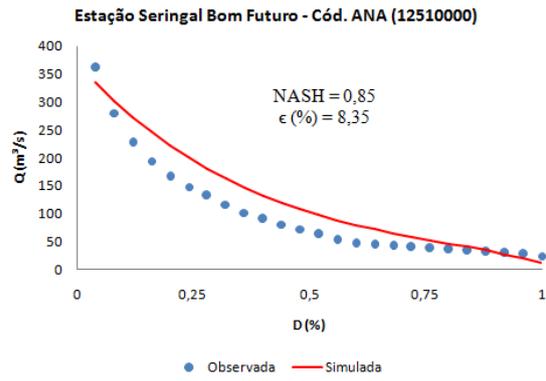


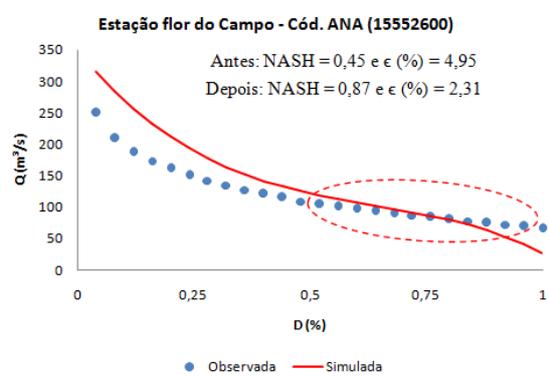
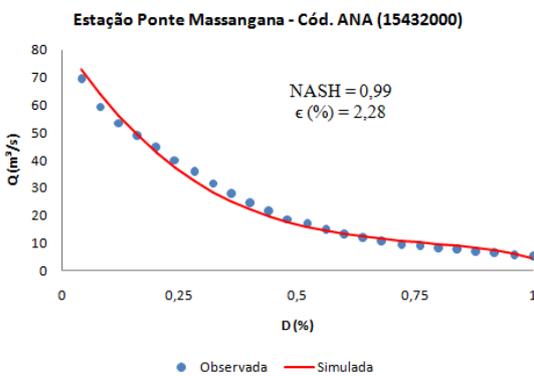
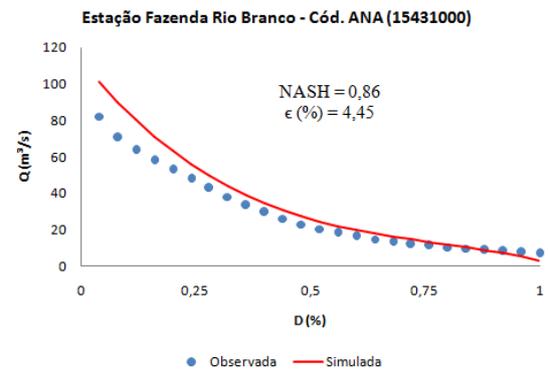
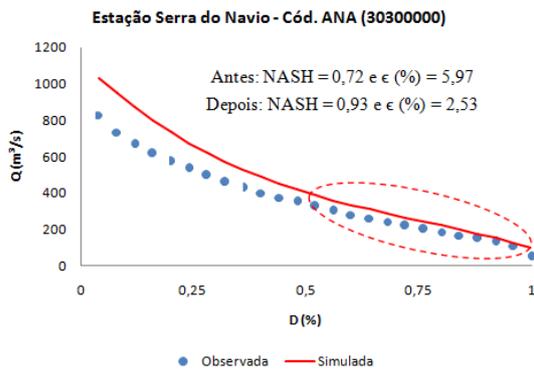
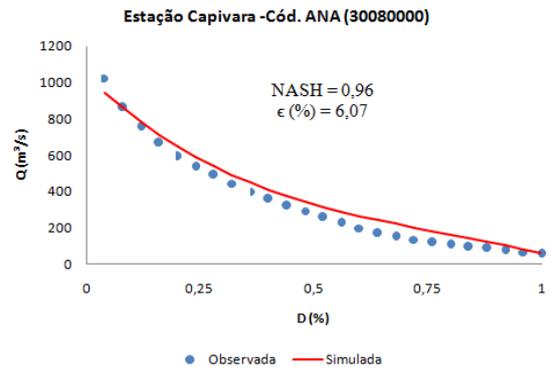
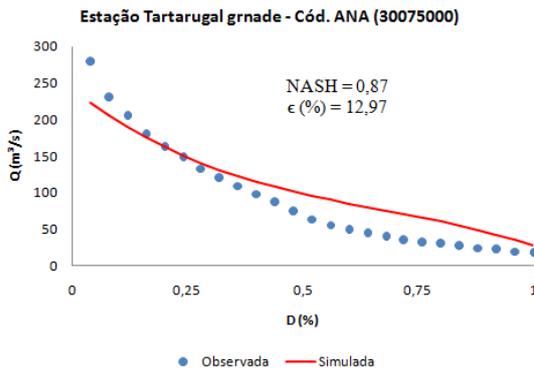
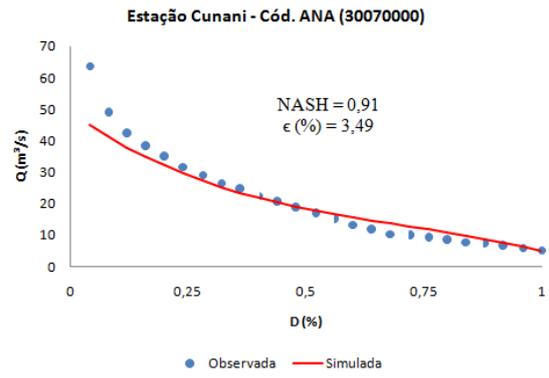
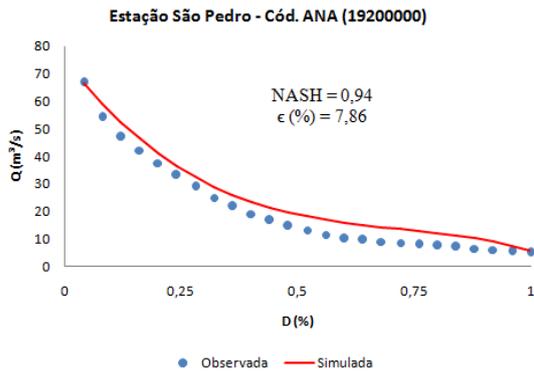
**APÊNDICE VI – PERFORMANCES DO AJUSTE ENTRE AS CURVAS DE PERMANÊNCIA SIMULADAS ÀS CURVAS DE PERMANÊNCIA OBSERVADAS DE VAZÃO (VALIDAÇÃO) – REGIÕES HOMÔGENEAS I, II E III – FUZZY C-MEANS**

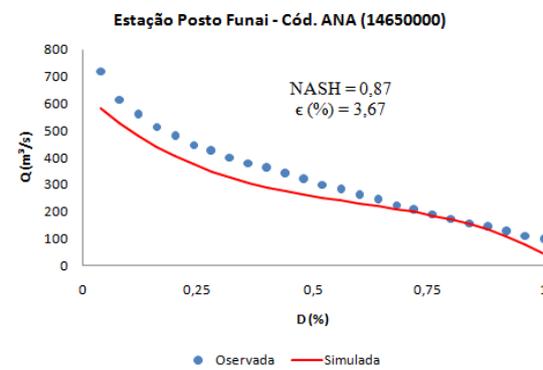
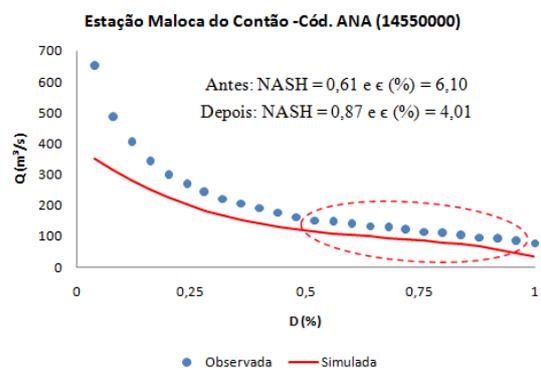
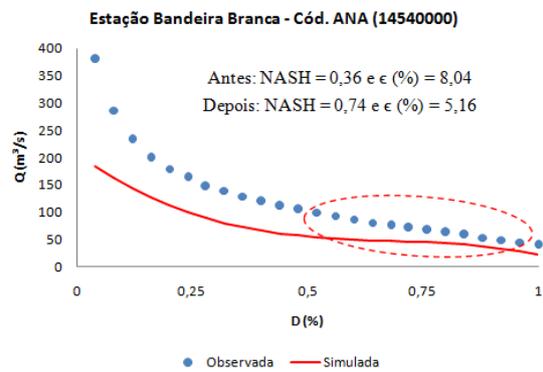
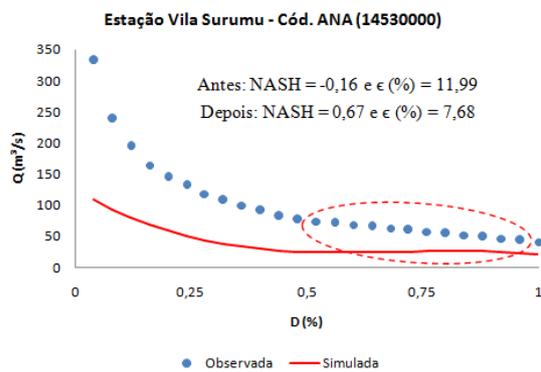
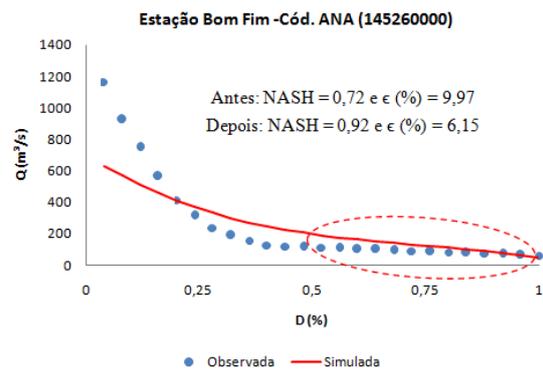
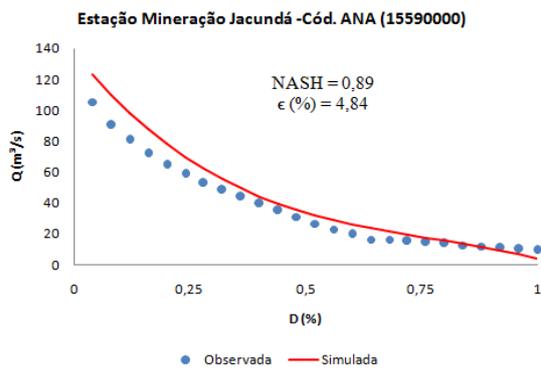
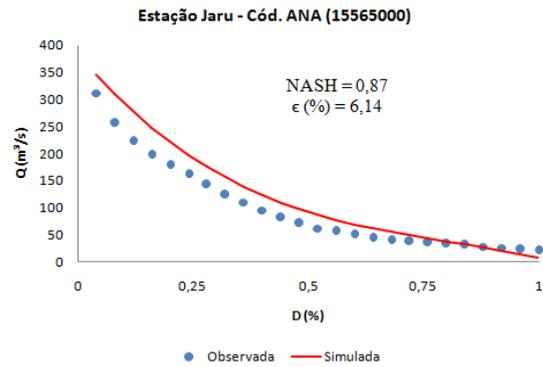
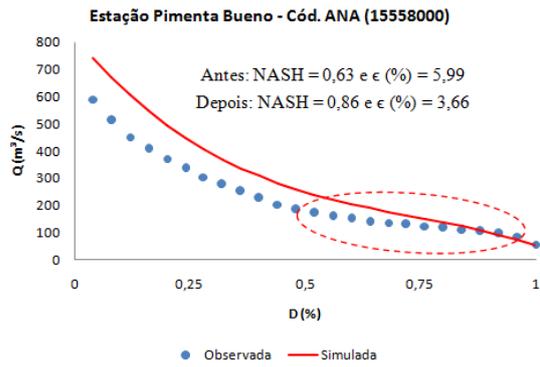
**A.VI.1 – CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES SIMULADAS PARA AS BACIAS DA REGIÃO HOMOGÊNEA I – MÉTODO FUZZY C-MEANS.**

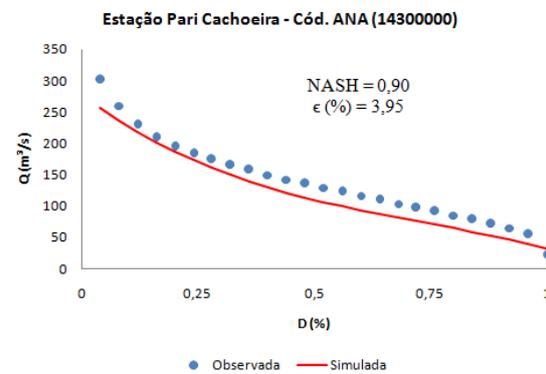
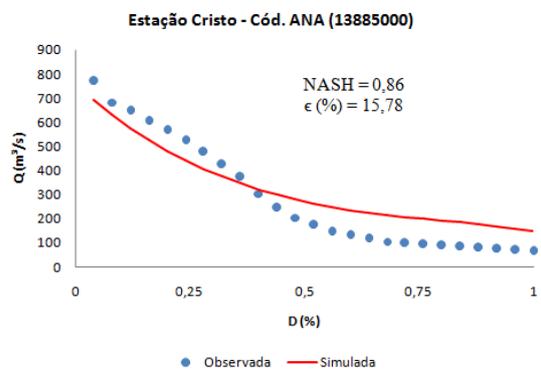
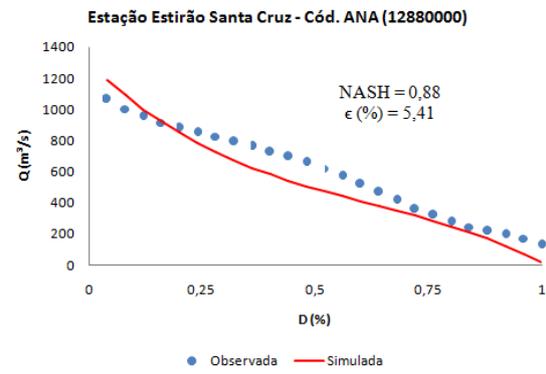
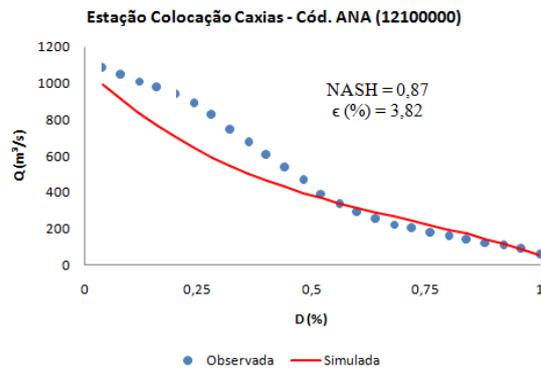
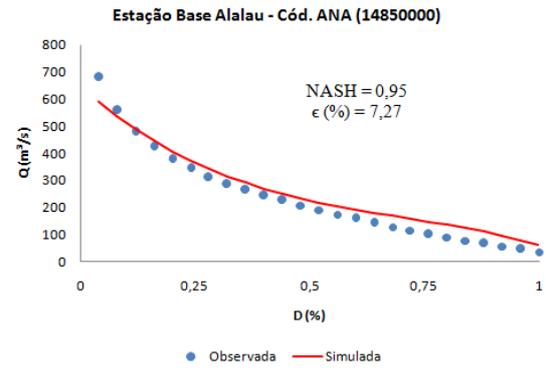
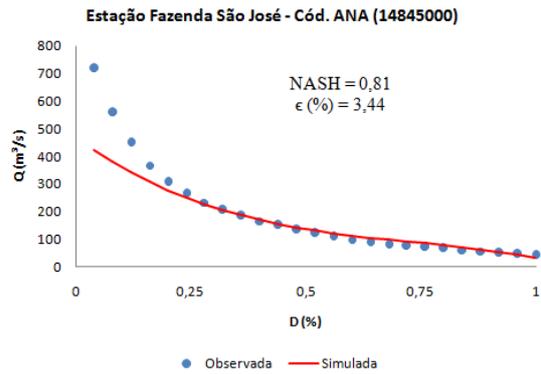
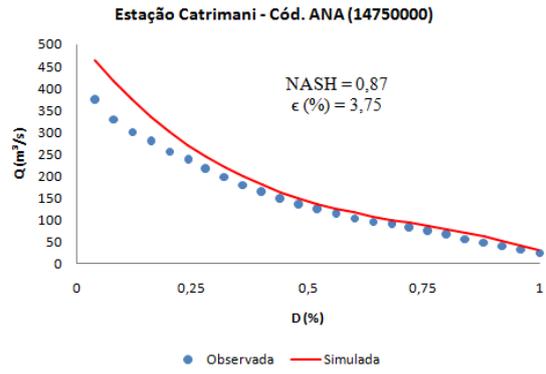
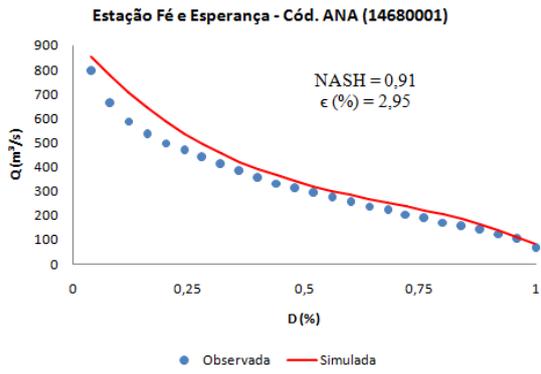


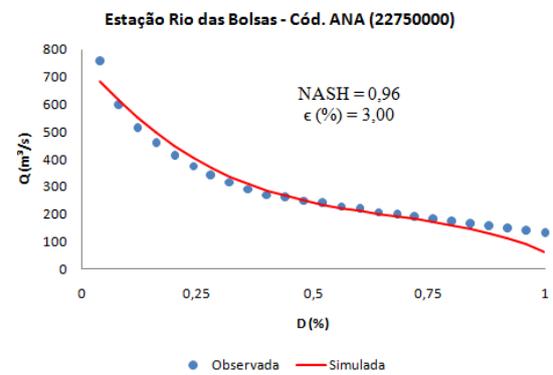
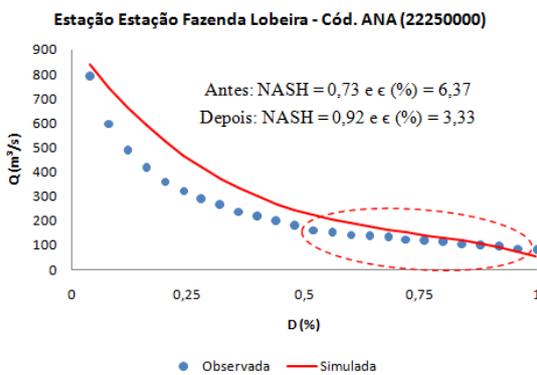
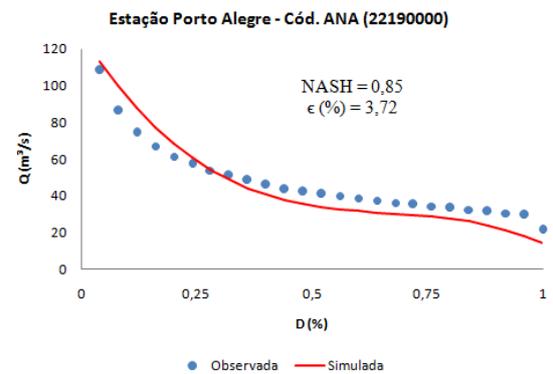
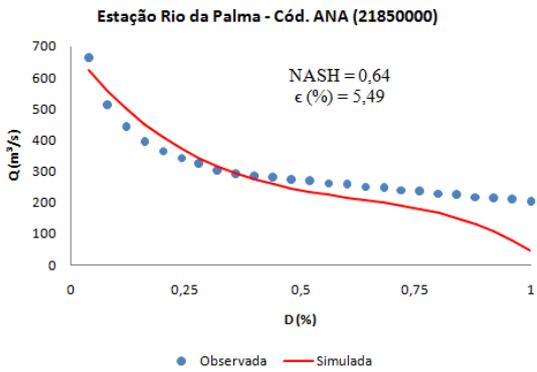
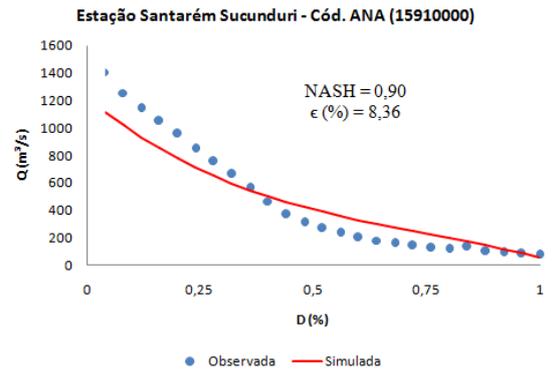
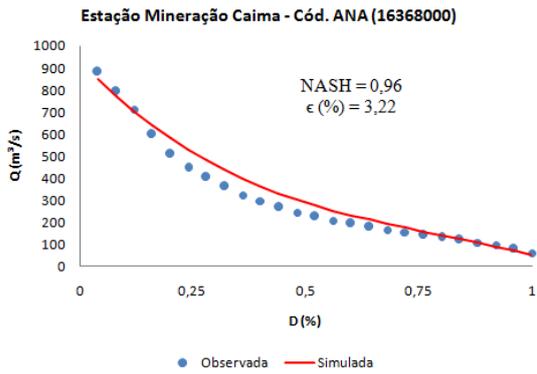
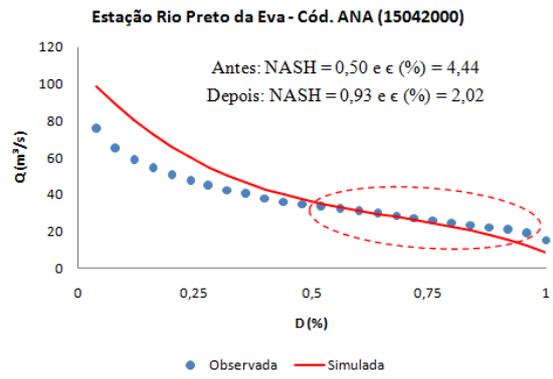
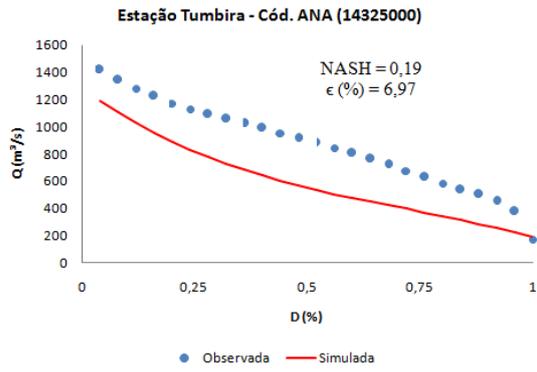


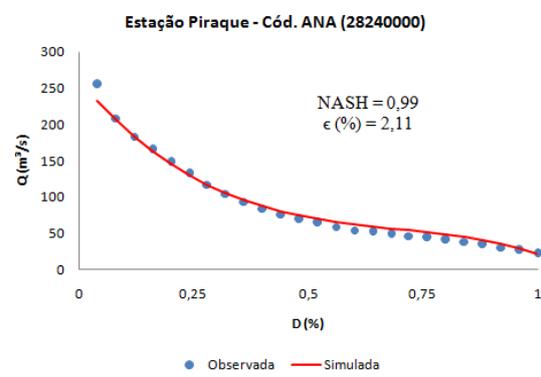
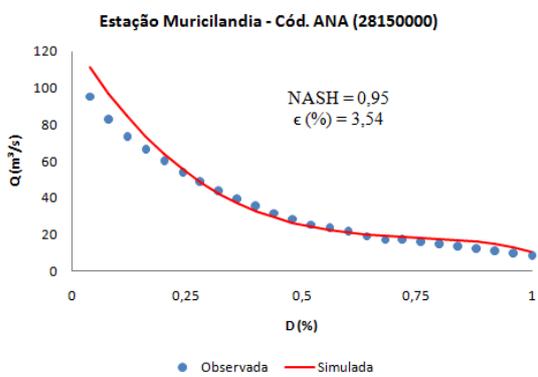
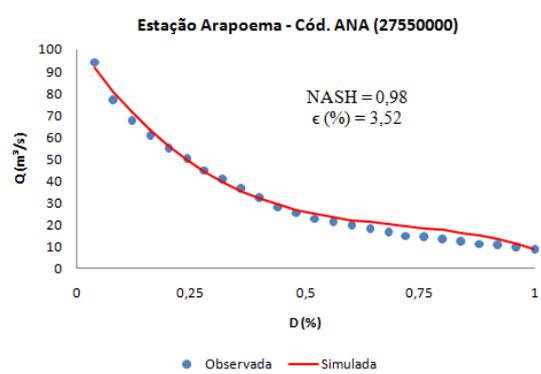
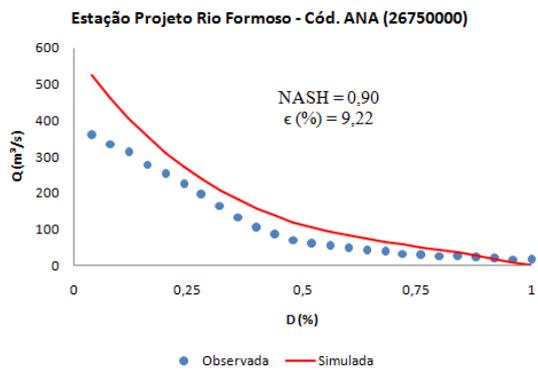
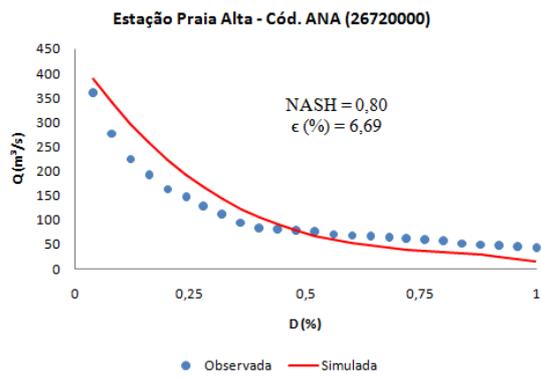
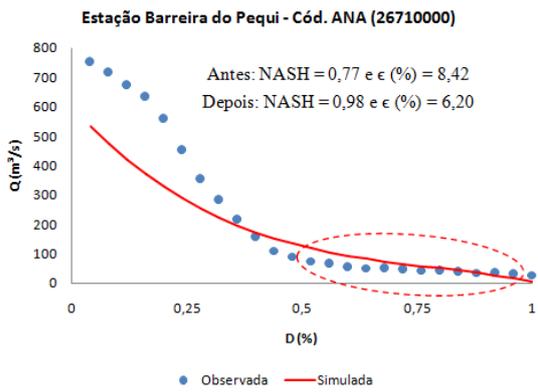
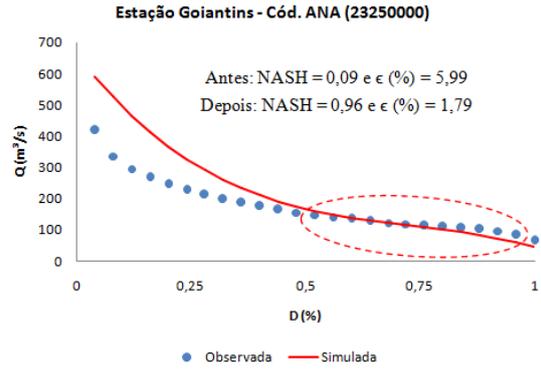
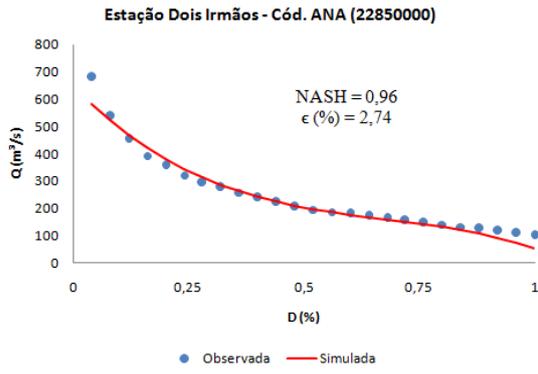


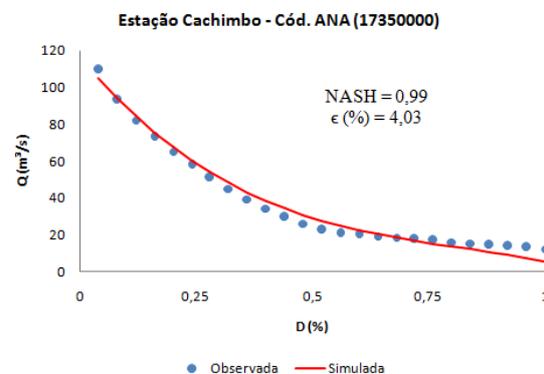
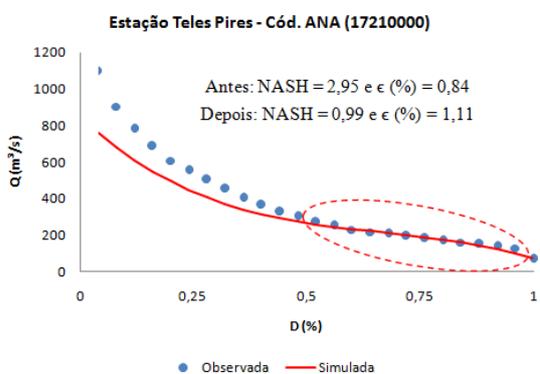
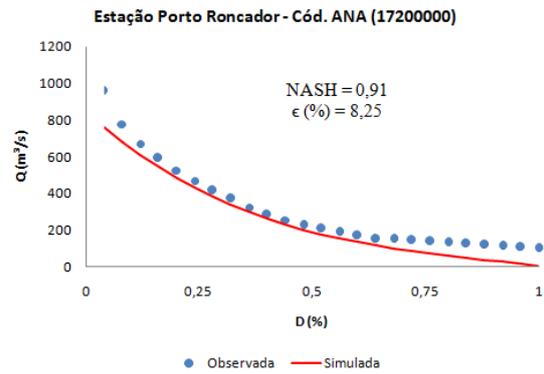
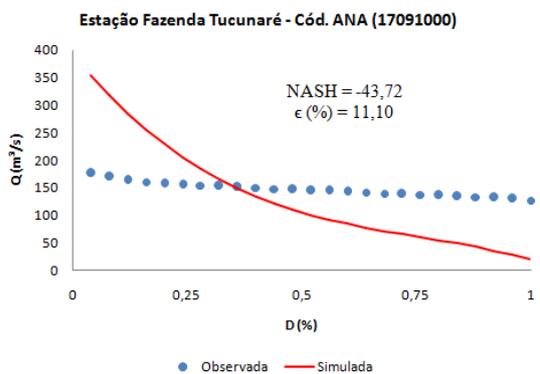
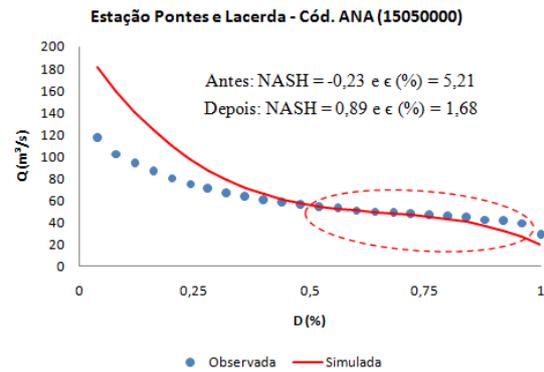
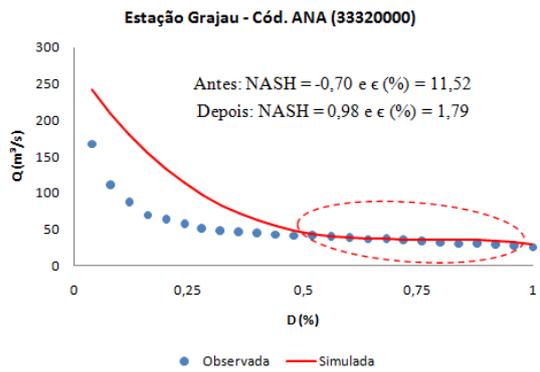
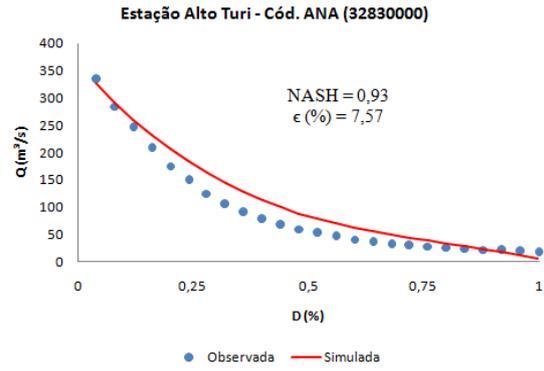
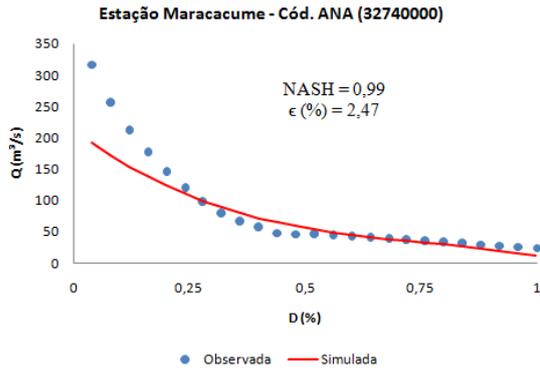


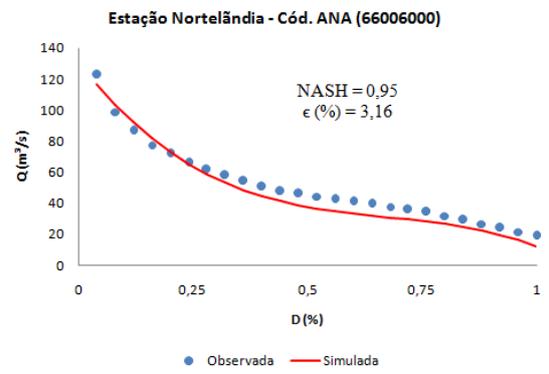
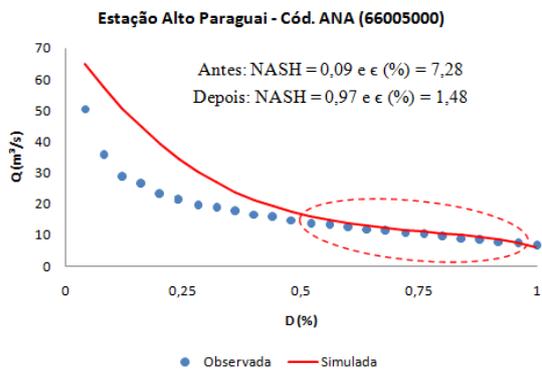
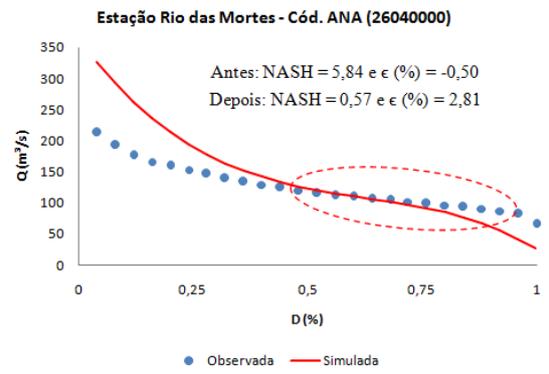
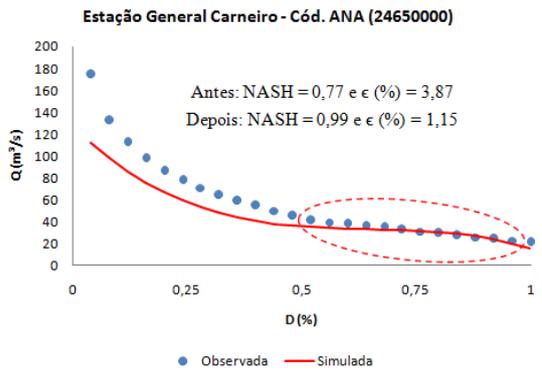
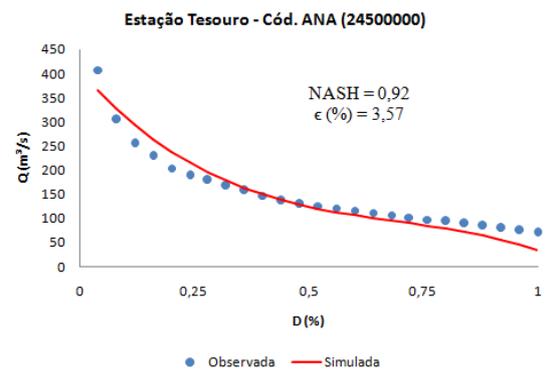
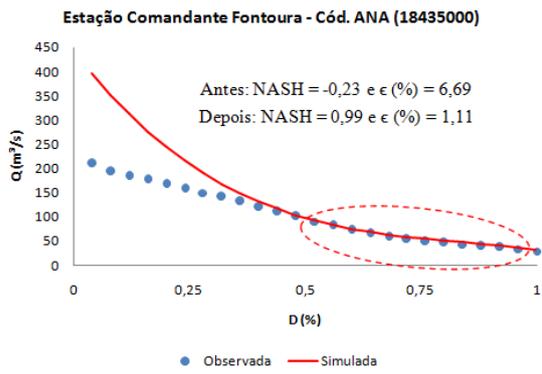
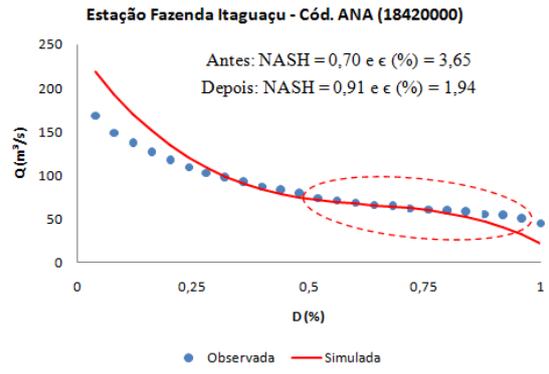
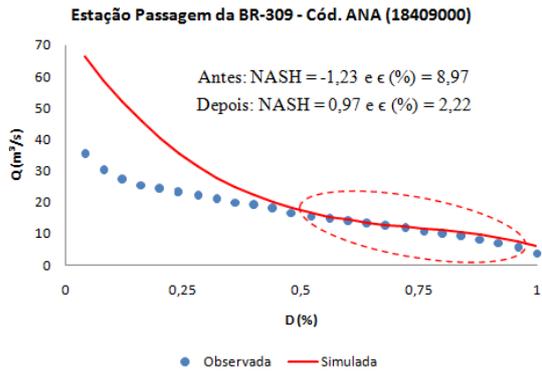


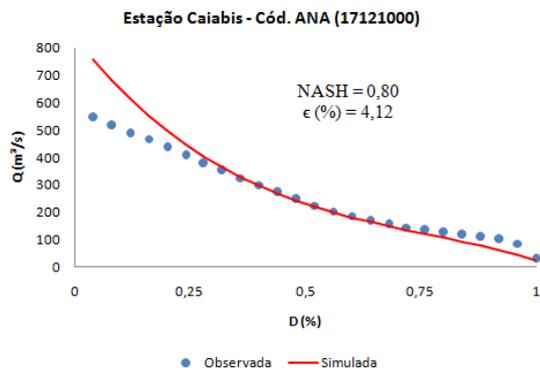
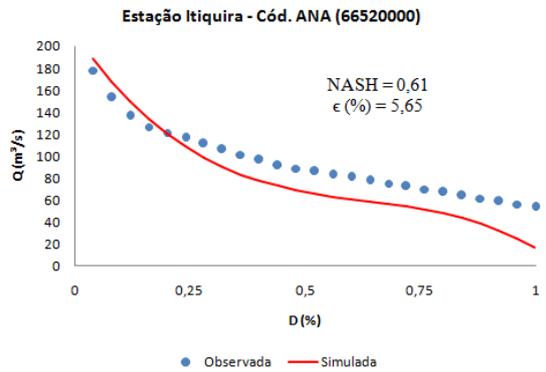
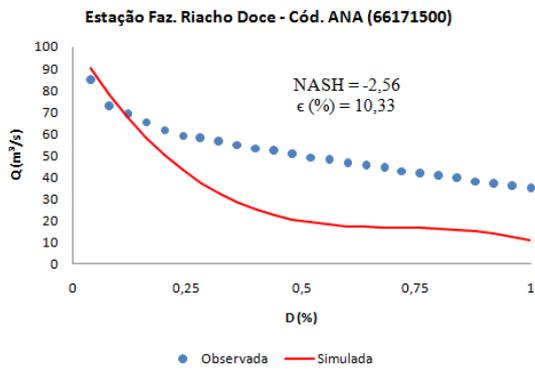
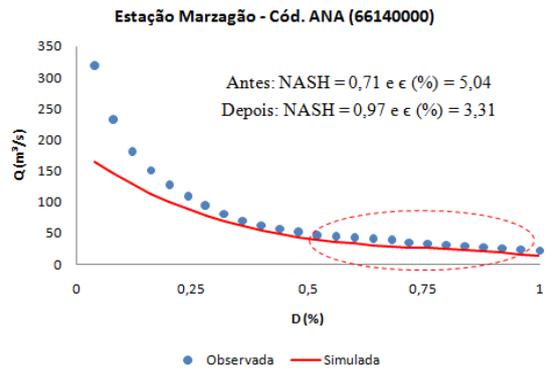
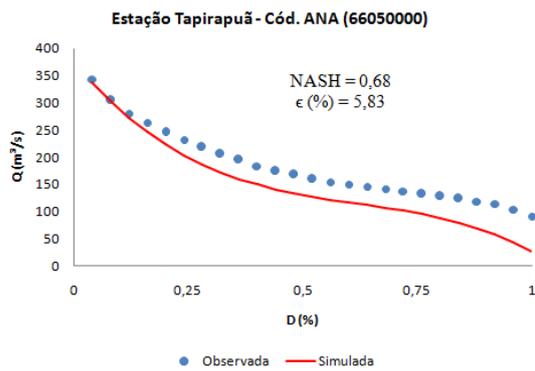
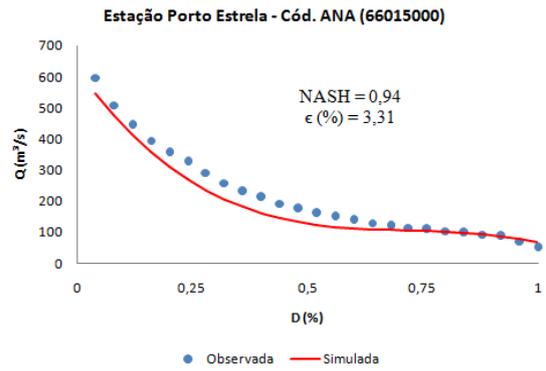
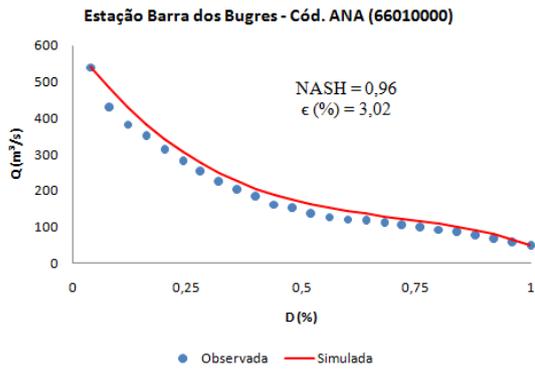




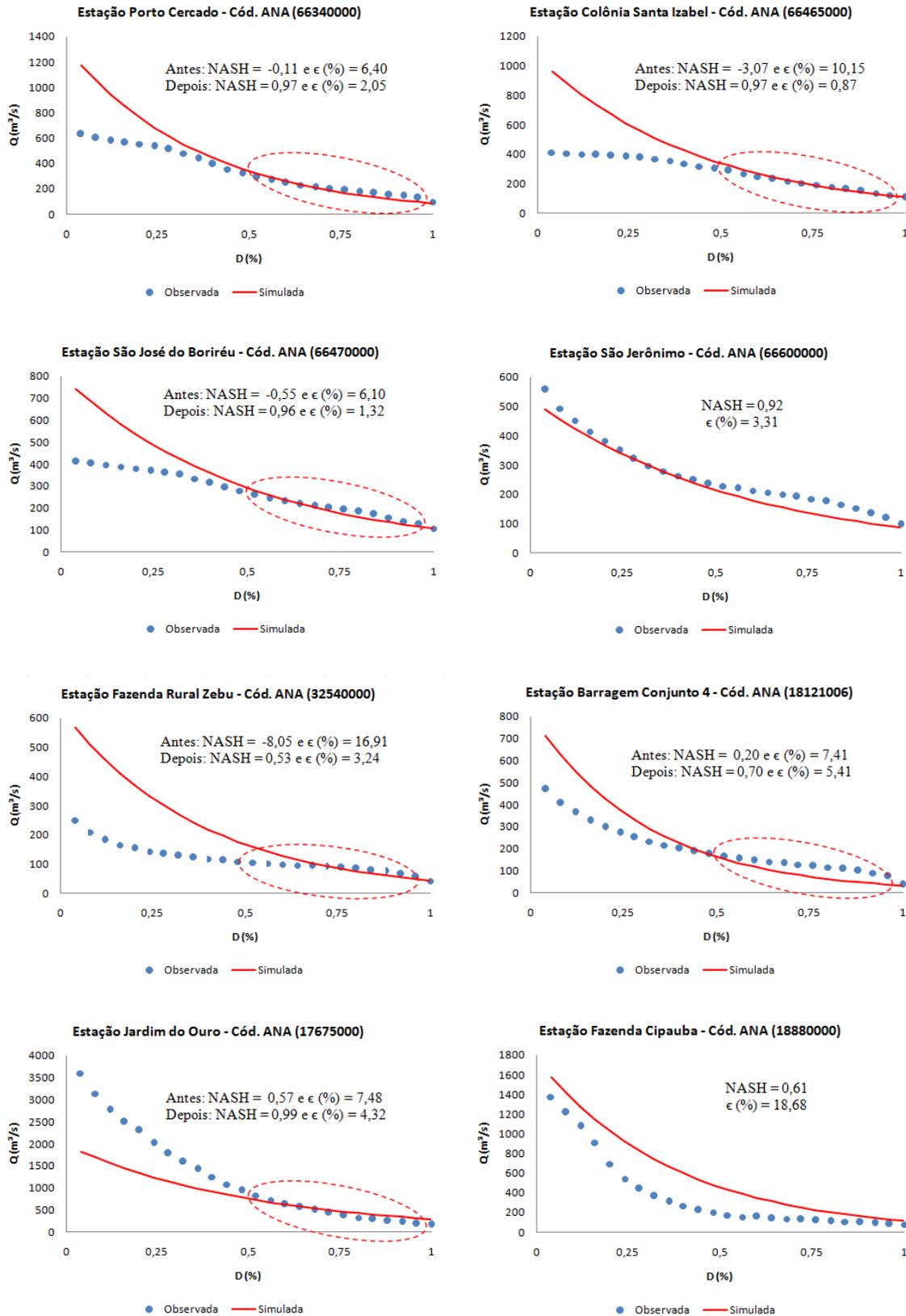


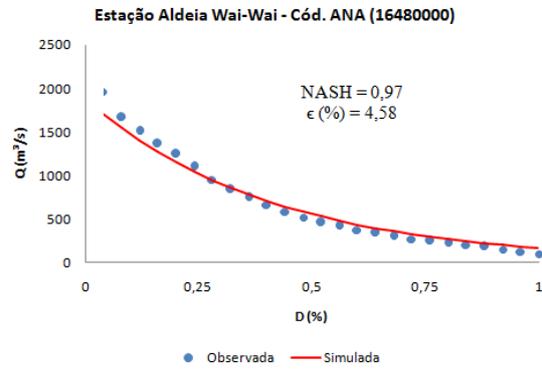
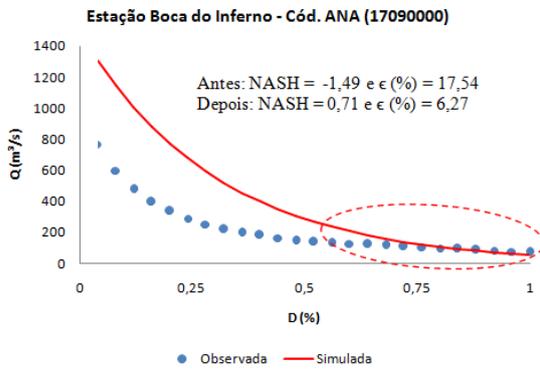
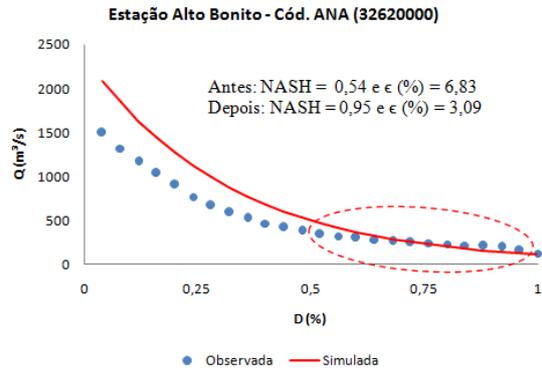
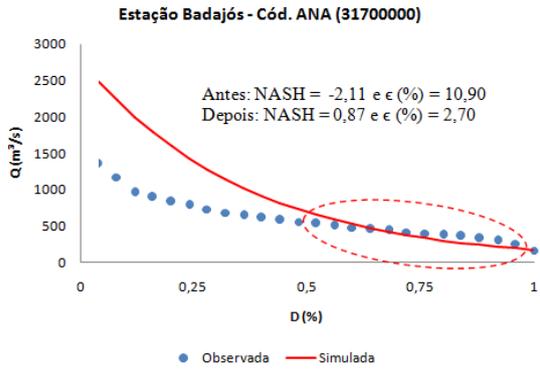
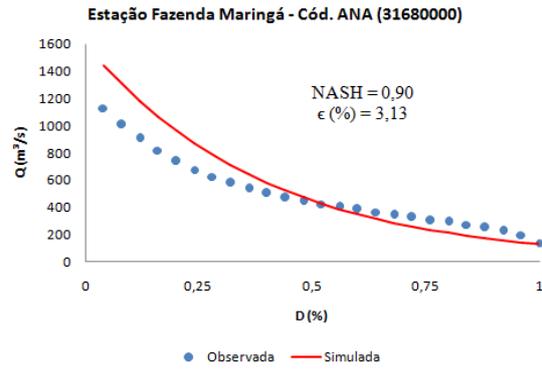
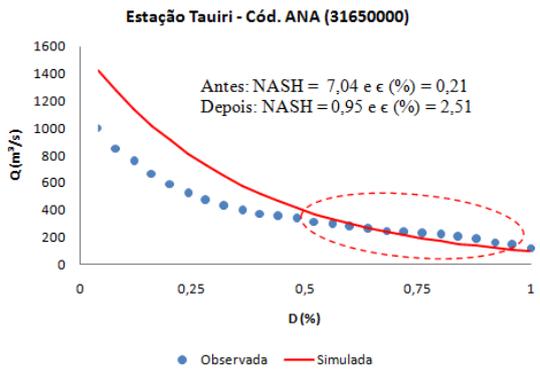
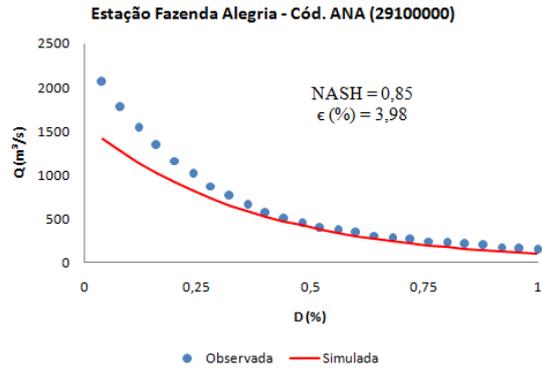
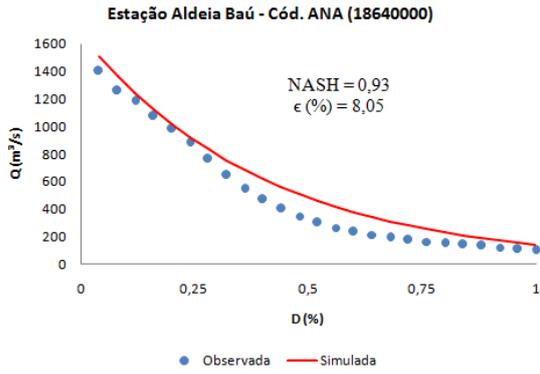


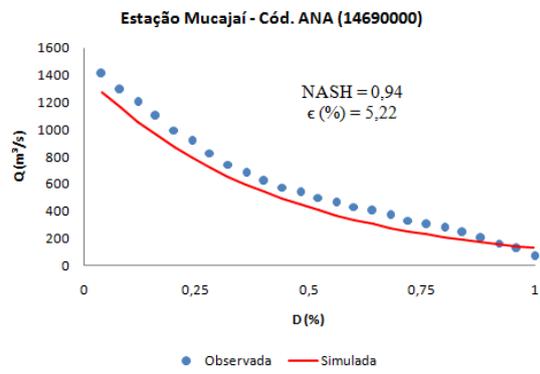
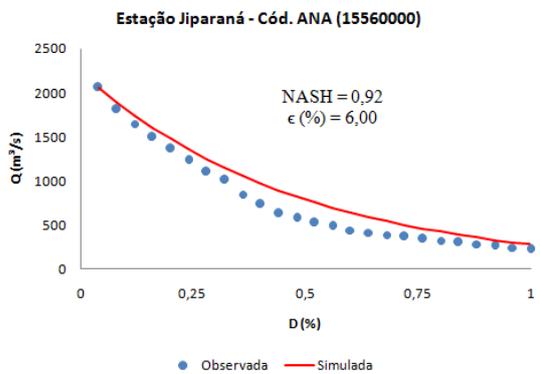
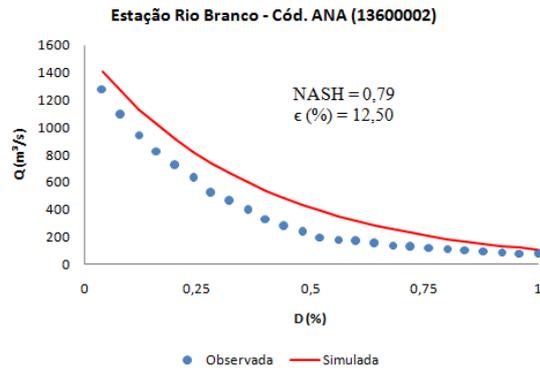
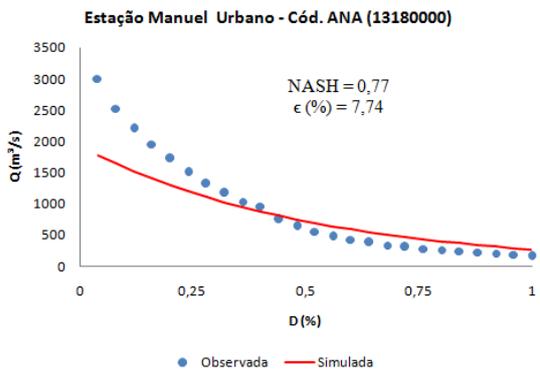
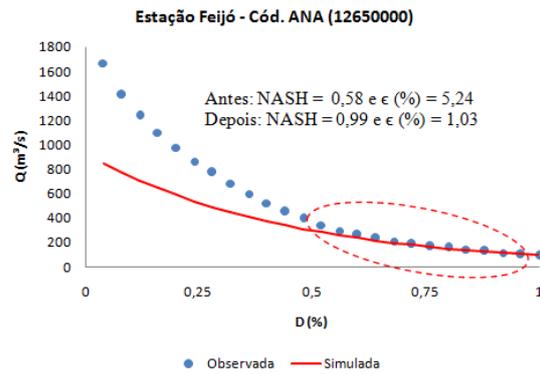
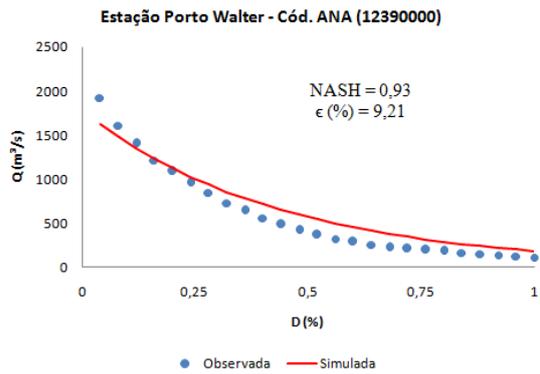
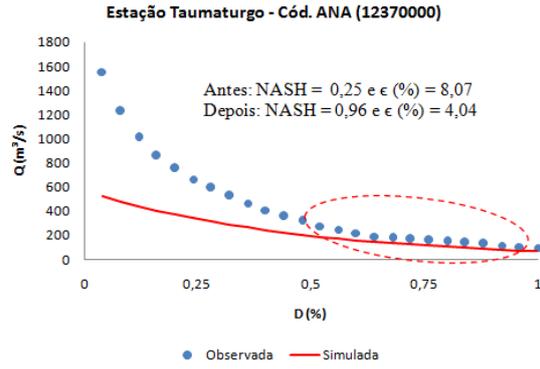
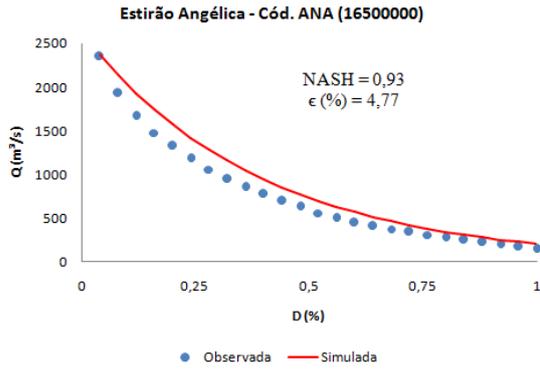


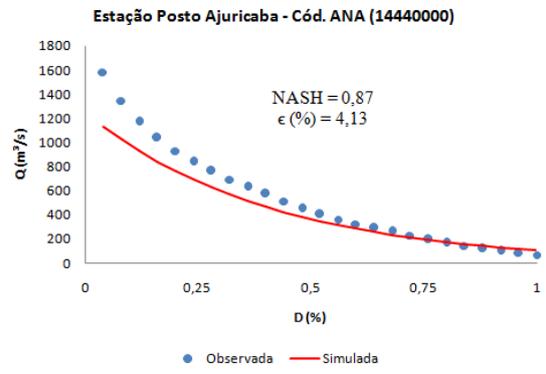
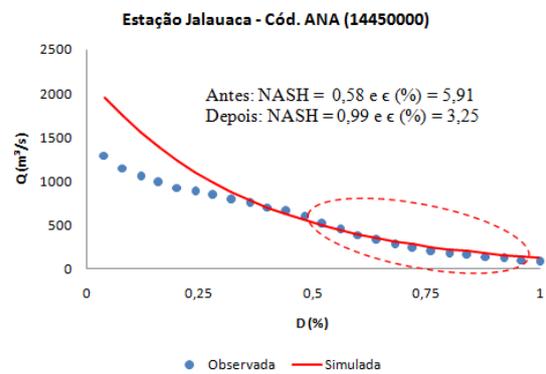
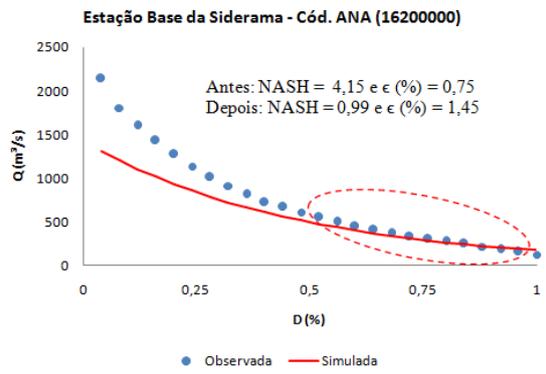
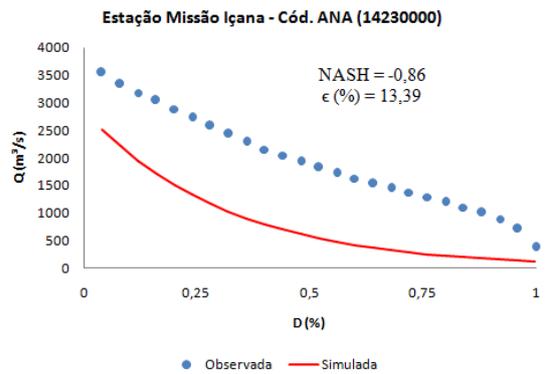
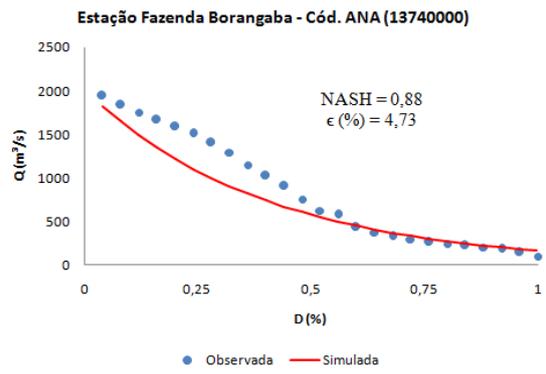
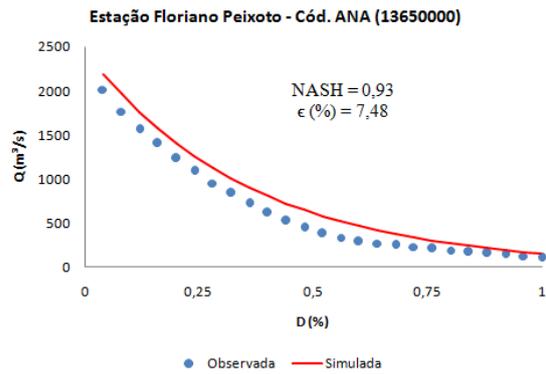
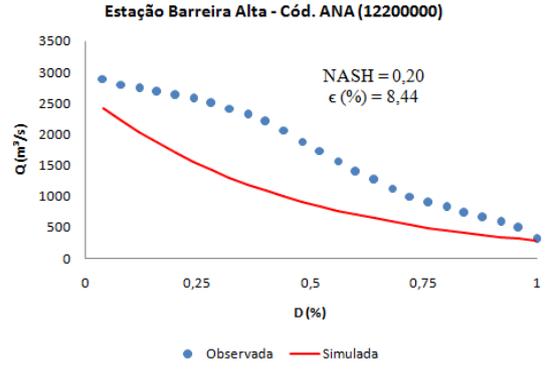
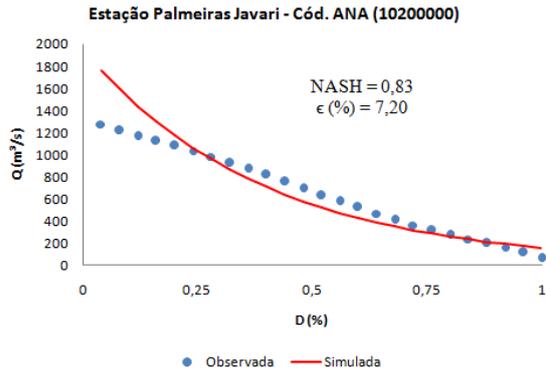


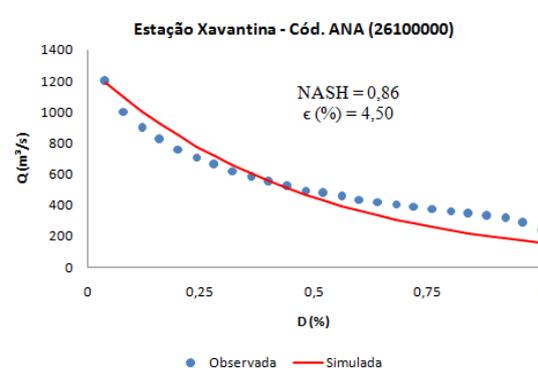
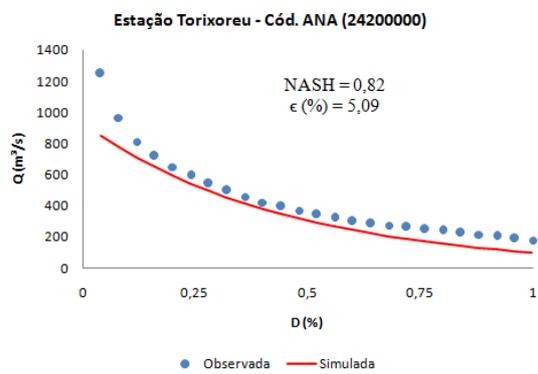
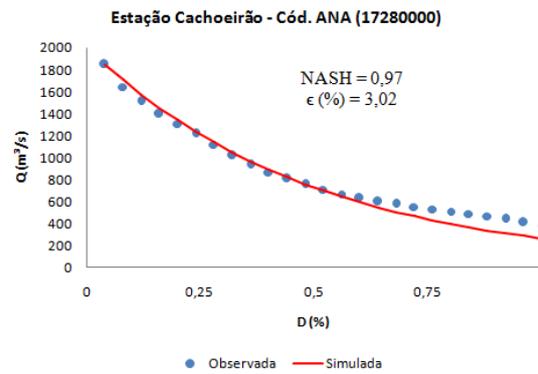
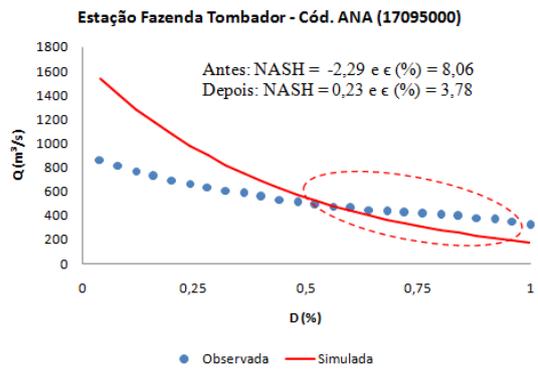
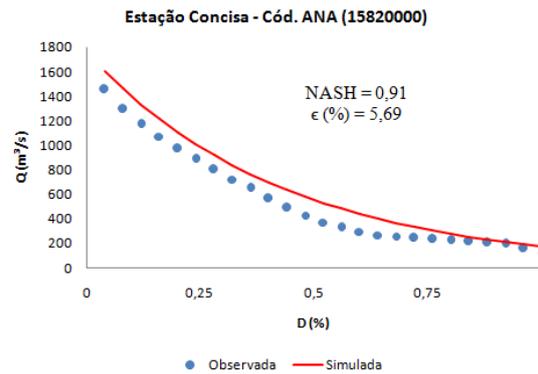
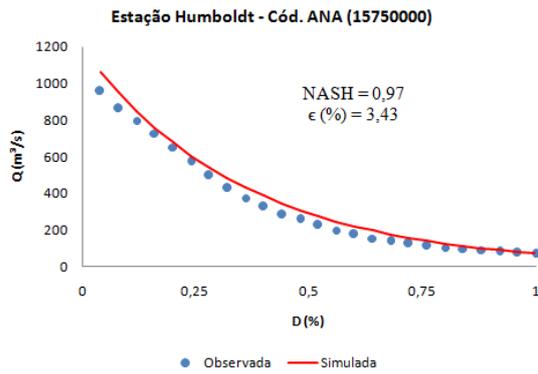
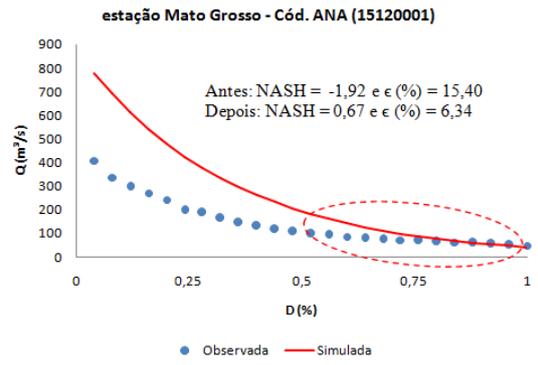
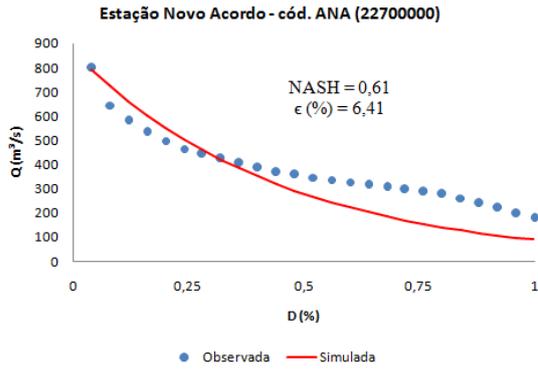
A.VI.2 – CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES SIMULADAS PARA AS BACIAS DA REGIÃO HOMOGÊNEA II – MÉTODO *FUZZY C-MEANS*.

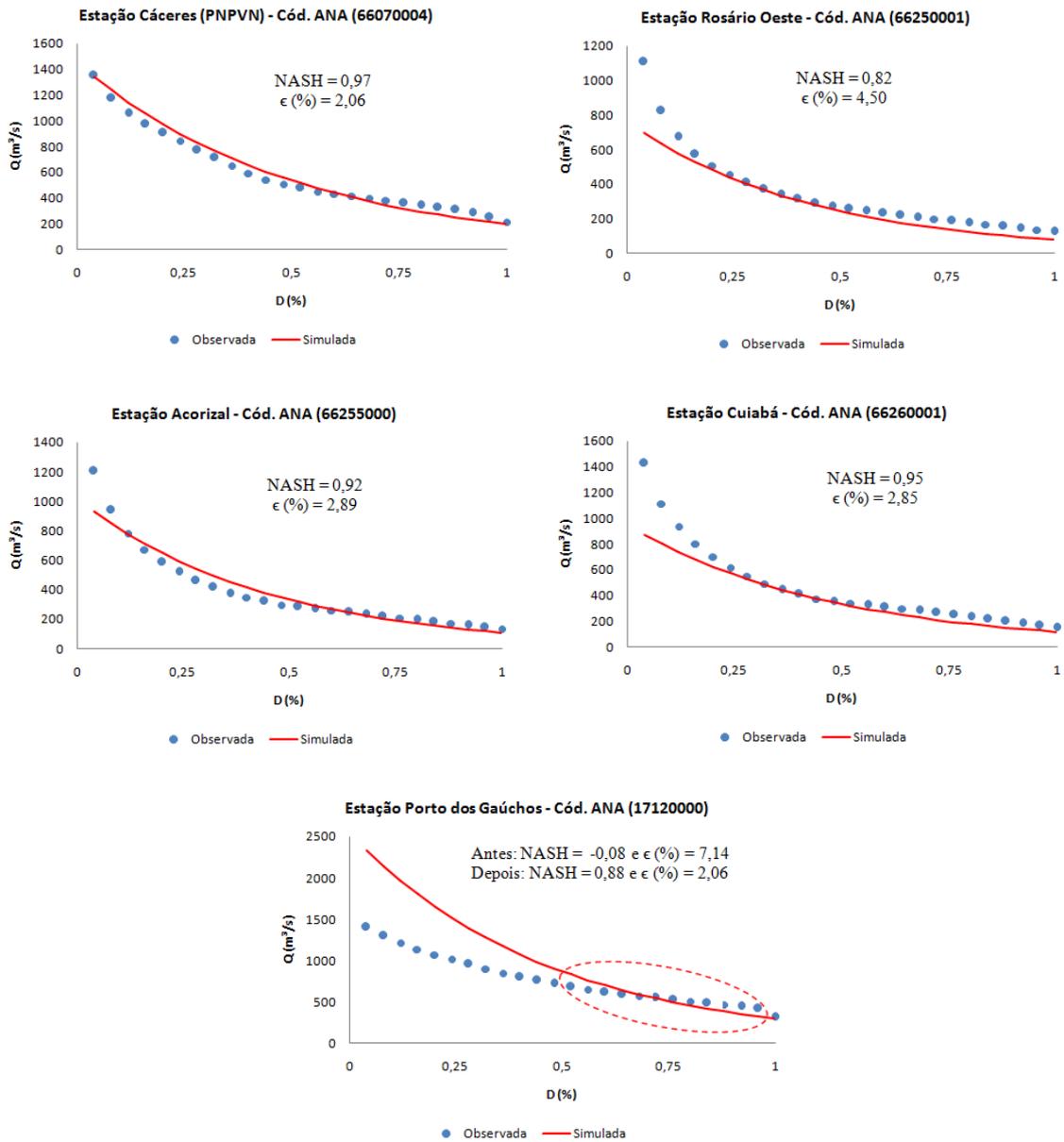




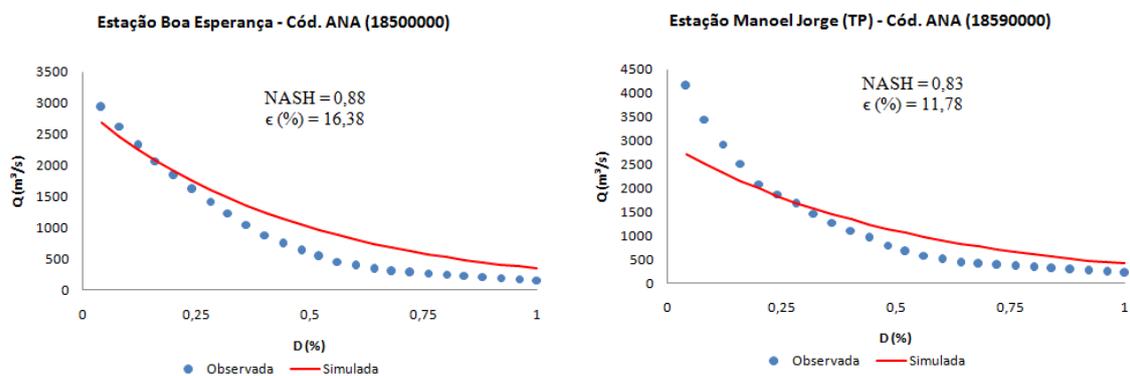




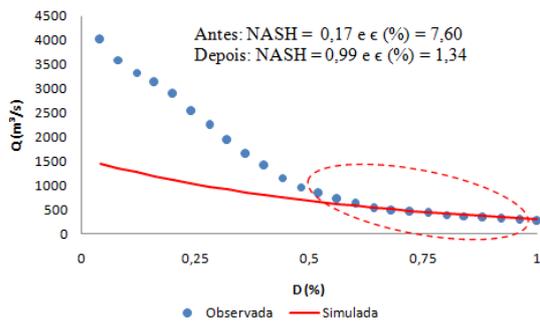




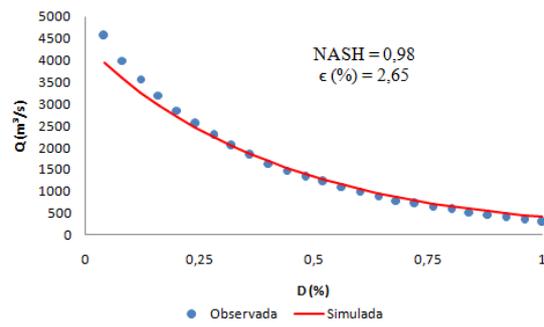
### A.VI.3 – CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES SIMULADAS PARA AS BACIAS DA REGIÃO HOMOGÊNEA III – MÉTODO *FUZZY C-MEANS*.



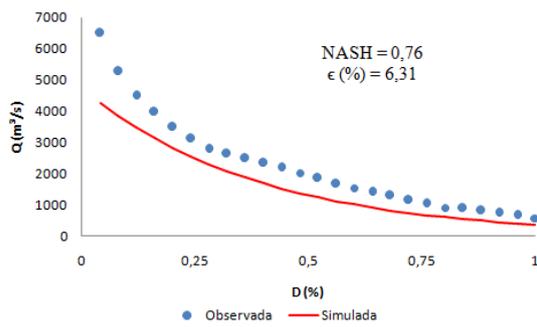
**Estação Laranjeiras - Cód. ANA (18600000)**



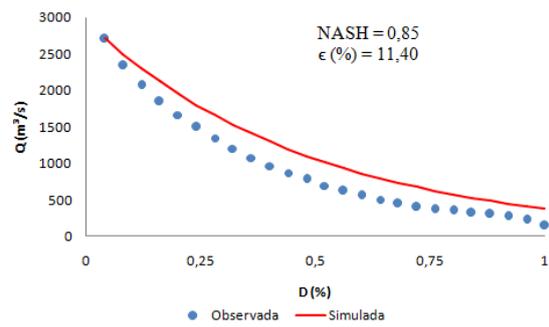
**Estação Garganta - Cód. ANA (16430000)**



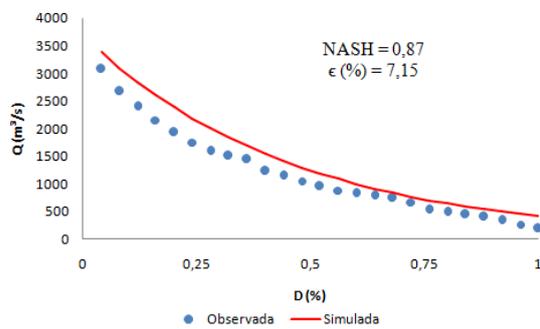
**Estação Caramujo - Cód. ANA (16460000)**



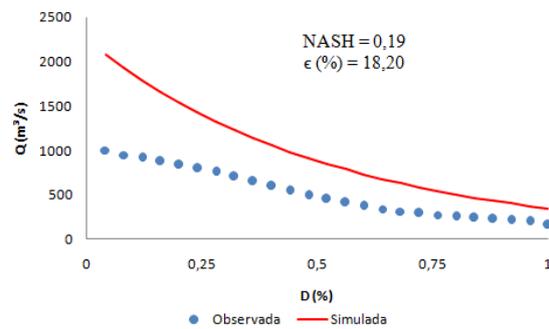
**Estação Cruzeiro do Sul - Cód. ANA (12500000)**



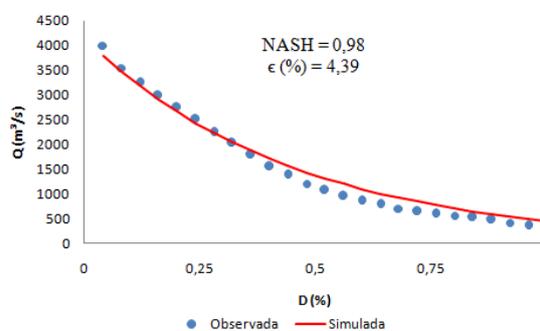
**estação São francisco - Cód. ANA (19150000)**



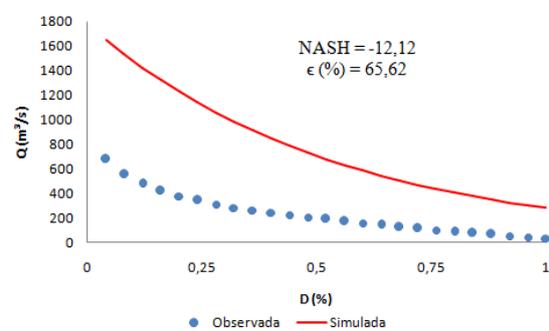
**Estação Pimenteiras - Cód. ANA (15130000)**



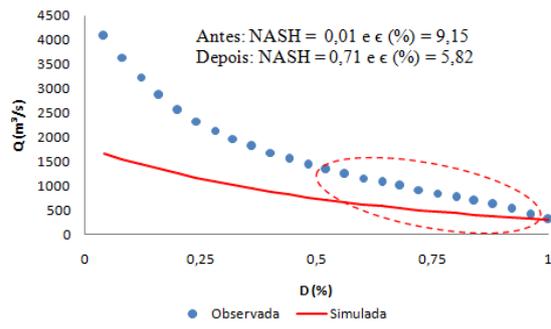
**Estação Tabajara - Cód. ANA (15580000)**



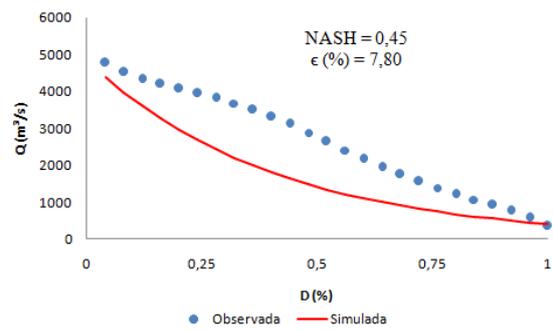
**Estação Mocidade - Cód. ANA (14500000)**



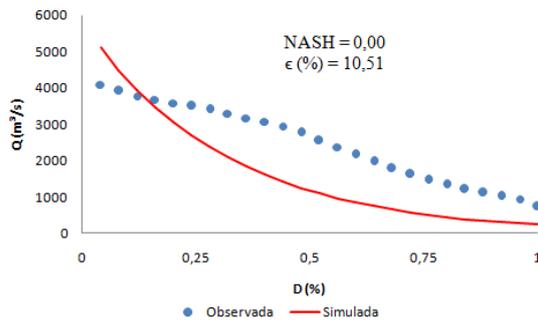
**Estação Fazenda Passarão - Cód. ANA (14515000)**



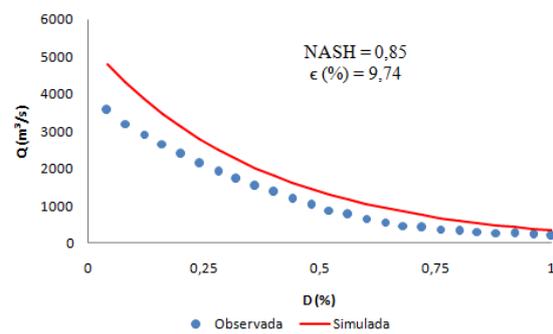
**Estação Estirão do Repouso - Cód. ANA (10500000)**



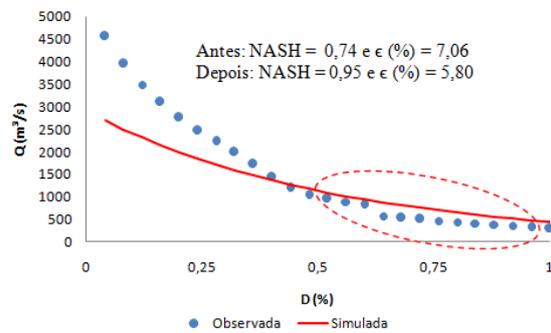
**Estação Porto Seguro - Cód. ANA (12240000)**



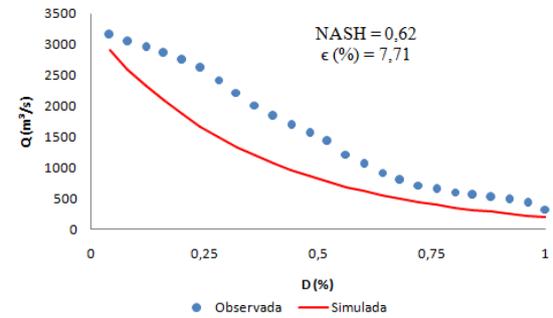
**Estação Envira - Cód. ANA (12680000)**



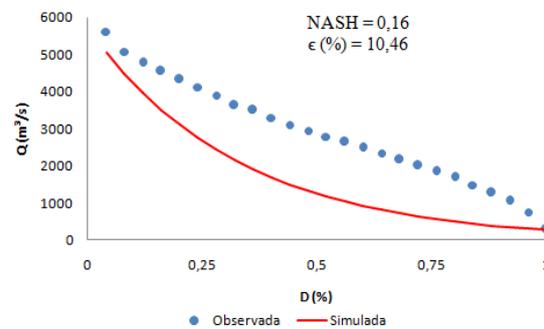
**Estação Seringal Caridade - Cód. ANA (13410000)**



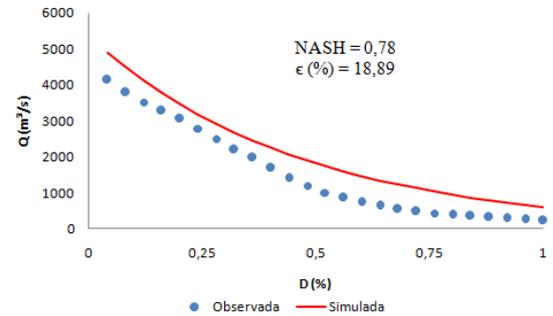
**Estação Bacaba - Cód. ANA (13886000)**



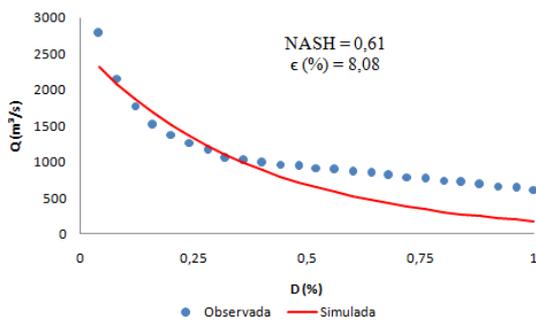
**Estação Taraqua - Cód. ANA (14280001)**



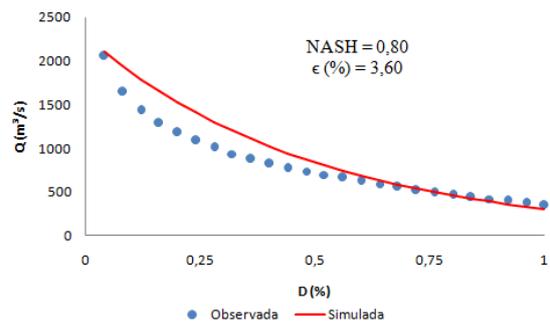
**Estação Boca do Guariba - Cód. ANA (15800000)**



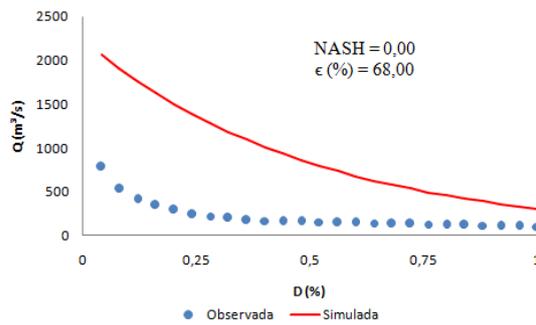
**estação Paranã - Cód. ANA (21900000)**



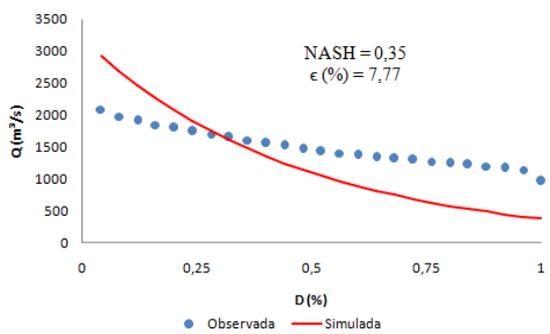
**Estação Porto Real - Cód. ANA (22900000)**



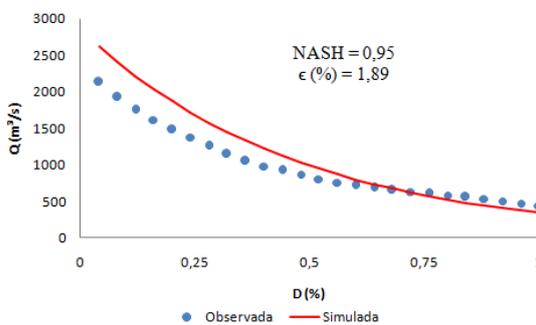
**Estação Coroata - Cód. ANA (33630000)**



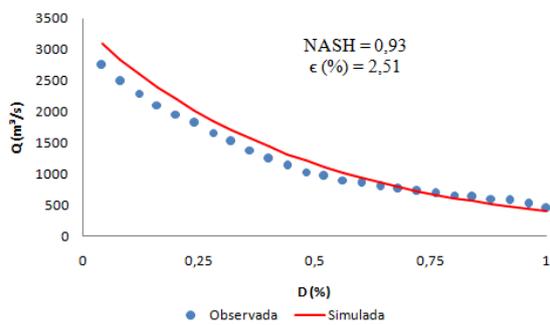
**Estação Fontanilhas - Cód. ANA (17093000)**



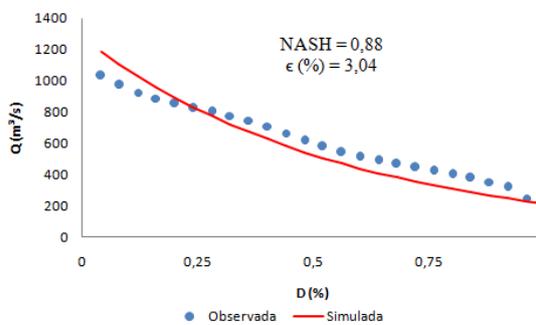
**Estação Fazenda Tratex - Cód. ANA (17300000)**



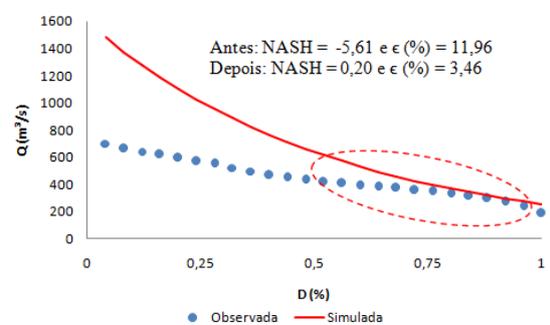
**Estação Indeco - Cód. ANA (17340000)**



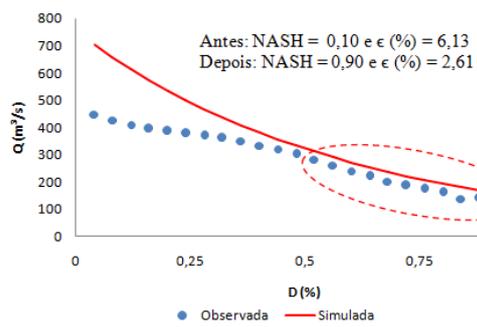
**estação Descalvados - Cód. ANA (66090000)**



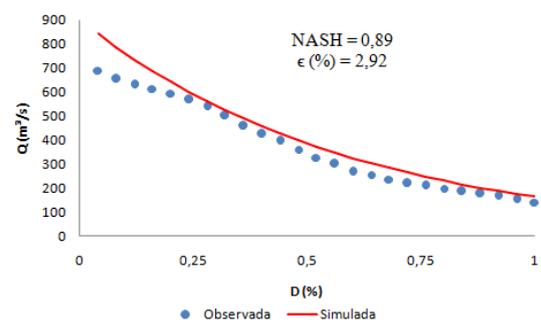
**Estação Porto Conceição - Cód. ANA (66120000)**



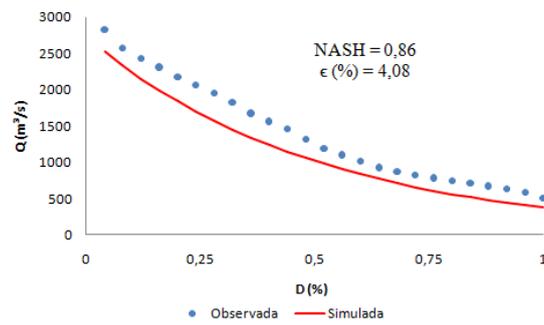
**Estação São João - Cód. ANA (66360000)**



**Estação Ilha Camargo - Cód. ANA (66370000)**



**Estação Rio Arinos - Cód. ANA (17123000)**



**ANEXO I – TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DE F DE SNEDECOR PARA UMA SIGNIFICÂNCIA DE 5%.**

5% Distribuição F de Snedecor $\alpha = 0,05$										
g / denominador	g / numerador									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,5	199,5	215,7	224,6	230,2	234	236,8	238,9	240,5	241,9
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16
35	4,12	3,27	2,87	2,64	2,49	2,37	2,29	2,22	2,16	2,11
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08
45	4,06	3,20	2,81	2,58	2,42	2,31	2,22	2,15	2,10	2,05
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,03
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,31	2,19	2,10	2,03	1,97	1,93

Fonte: UFPR, 2009

onde a linha *grau numerador* é a quantidade de variáveis independentes ( $P$ ) e a coluna *grau denominador* é um valor calculado a partir do número total de observações menos o número de variáveis independentes menos um ( $n - p - 1$ ).