

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL

MODELAGEM DA VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI,
EM MINAS GERAIS

MÁRCIA REGINA BATISTELA MORAES

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

MÁRCIA REGINA BATISTELA MORAES

MODELAGEM DA VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI,
EM MINAS GERAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Qualidade Ambiental -
Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e
Qualidade Ambiental, para obtenção do Título de
Mestre

Orientador: Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M827m Moraes, Márcia Regina Batistela, 1968
2016 Modelagem da vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, em
Minas Gerais / Márcia Regina Batistela Moraes. - 2016.
116 f. : il.

Orientador: Hudson de Paula Carvalho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.
Inclui bibliografia.

1. Qualidade Ambiental - Teses. 2. Bacias hidrográficas - Minas
Gerais - Teses. 3. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Minas Gerais -
Teses. 4. Hidrologia - Modelos matemáticos - Teses. I. Carvalho,
Hudson de Paula. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de
Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.

CDU: 574

MÁRCIA REGINA BATISTELA MORAES

MODELAGEM DA VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI,
EM MINAS GERAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Qualidade Ambiental -
Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e
Qualidade Ambiental, para obtenção do Título de
Mestre

Orientador: Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho

APROVADA em 30 de agosto de 2016.

Dr. Roberto Terumi Atarassi

UFU

Dr. Osvaldo Rettore Neto

UFPeI

Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho

ICIAG-UFU

(Orientador)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS - BRASIL

2016

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia - ICIAG - UFU, pela oportunidade de crescimento profissional.

À Agência Nacional de Águas - ANA, Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG e Instituto de Controle do Espaço Aéreo - ICEA - Ministério da Defesa, pelas séries históricas e dados meteorológicos fornecidos.

Aos Professores Roberto Terumi Atarassi - UFU e Osvaldo Rettore Neto - UFPel, pela atenção e conhecimento transmitido.

Ao meu orientador Professor Hudson de Paula Carvalho, pelos ensinamentos acadêmicos e humanos.

Aos amigos Diogo Nascimento, Henrique Machado, Liliana Silveira, Lisiane Mendes e Lorraine Campos pelos ensinamentos em Georreferenciamento. A Marcos Vinícius Ruiz e Pedro Corsino pelo auxílio na construção do banco de dados.

À minha família, esposo, filhos e amigos, pelo companheirismo.

À Lorena e Rosalina, pelo apoio incondicional.

A todos que colaboraram na construção deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS..... | i |
| LISTA DE TABELAS..... | vi |
| RESUMO | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 3 |
| 2.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais | 3 |
| 2.2 Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas | 5 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 10 |
| 3.1 Estações fluviométricas escolhidas..... | 10 |
| 3.2 Vazões observadas e estimadas..... | 12 |
| 3.3 Estimativa de $Q_{7,10}$ a partir de modelos ajustados para cada estação fluviométrica | 14 |
| 3.4 Estimativa de $Q_{7,10}$ pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais..... | 15 |
| 3.5 Estimativa de $Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} e Q_{MLP} pelo Atlas Digital das Águas de Minas | 16 |
| 3.6 Análise estatística..... | 17 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 4.1 Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão anual mínima de sete dias – $Q_{7 \text{ Anual}}$ | 20 |
| 4.1.1 Resultados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica Desemboque | 20 |
| 4.1.2 Resultados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista..... | 26 |
| 4.1.3 Resultados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 29 |
| 4.1.4 Resultados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica Capim Branco | 33 |
| 4.1.5 Resultados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica Letreiro | 37 |
| 4.1.6 Comparação de $Q_{7,10}$ calculado a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local e estimados pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e pelo Atlas Digital das Águas de Minas | 42 |
| 4.2 Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão anual mínima – $Q_{Mín}$ | 48 |
| 4.2.1 Comparação de $Q_{Mín}$ calculado, a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local..... | 52 |
| 4.3 Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão garantida em 95% do tempo – Q_{95} | 53 |
| 4.3.1 Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica Desemboque..... | 53 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.2 | Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista..... | 56 |
| 4.3.3 | Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 59 |
| 4.3.4 | Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica Capim Branco | 62 |
| 4.3.5 | Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica Letreiro..... | 64 |
| 4.3.6 | Comparação de Q_{95} calculado, a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local e estimados pelo Atlas Digital das Águas de Minas | 67 |
| 4.4 | Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão garantida em 90% do tempo – Q_{90} | 70 |
| 4.4.1 | Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica Desemboque | 70 |
| 4.4.2 | Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista..... | 73 |
| 4.4.3 | Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 74 |
| 4.4.4 | Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica Capim Branco | 76 |
| 4.4.5 | Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica Letreiro..... | 77 |
| 4.4.6 | Comparação de Q_{90} calculado, a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local e estimados pelo Atlas Digital das Águas de Minas | 80 |
| 4.5 | Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão média anual – Q_{Anual} | 82 |
| 4.5.1 | Comparação de Q_{Anual} calculado, a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local | 85 |
| 5 | CONCLUSÕES | 87 |
| | REFERÊNCIAS..... | 91 |
| | ANEXOS | 95 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: Imagem ilustrando a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari e destacando o posicionamento, na citada bacia, dos rios e das estações fluviométricas estudadas neste trabalho | 11 |
| FIGURA 2: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Desemboque | 22 |
| FIGURA 3: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Desemboque | 22 |
| FIGURA 4: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Desemboque | 23 |
| FIGURA 5: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Desemboque | 23 |
| FIGURA 6: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Desemboque | 24 |
| FIGURA 7: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Desemboque | 24 |
| FIGURA 8: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque | 25 |
| FIGURA 9: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque | 25 |
| FIGURA 10: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 26 |
| FIGURA 11: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 27 |
| FIGURA 12: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 27 |
| FIGURA 13: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 28 |
| FIGURA 14: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 28 |
| FIGURA 15: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 29 |
| FIGURA 16: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 30 |
| FIGURA 17: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 30 |
| FIGURA 18: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 31 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 19: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 31 |
| FIGURA 20: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 32 |
| FIGURA 21: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 32 |
| FIGURA 22: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Capim Branco | 34 |
| FIGURA 23: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Capim Branco | 34 |
| FIGURA 24: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Capim Branco | 35 |
| FIGURA 25: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Capim Branco | 35 |
| FIGURA 26: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Capim Branco | 36 |
| FIGURA 27: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Capim Branco | 36 |
| FIGURA 28: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro | 38 |
| FIGURA 29: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro | 38 |
| FIGURA 30: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Letreiro | 39 |
| FIGURA 31: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Letreiro | 39 |
| FIGURA 32: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Letreiro | 40 |
| FIGURA 33: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Letreiro | 40 |
| FIGURA 34: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{7Anual} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro | 41 |
| FIGURA 35: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{7Anual} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro | 41 |
| FIGURA 36: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{Mín}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque | 50 |
| FIGURA 37: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{Mín}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque | 50 |
| FIGURA 38: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{Mín}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro | 51 |
| FIGURA 39: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{Mín}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro | 51 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 40: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Desemboque..... | 54 |
| FIGURA 41: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Desemboque | 54 |
| FIGURA 42: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Desemboque | 55 |
| FIGURA 43: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Desemboque | 55 |
| FIGURA 44: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque | 56 |
| FIGURA 45: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque | 56 |
| FIGURA 46: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista..... | 57 |
| FIGURA 47: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 58 |
| FIGURA 48: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista..... | 58 |
| FIGURA 49: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 59 |
| FIGURA 50: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 60 |
| FIGURA 51: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 60 |
| FIGURA 52: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 61 |
| FIGURA 53: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 61 |
| FIGURA 54: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Capim Branco | 62 |
| FIGURA 55: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Capim Branco | 63 |
| FIGURA 56: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Capim Branco | 63 |
| FIGURA 57: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Capim Branco | 64 |
| FIGURA 58: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro..... | 65 |
| FIGURA 59: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro..... | 65 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 60: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Letreiro | 66 |
| FIGURA 61: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Letreiro..... | 66 |
| FIGURA 62: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro | 67 |
| FIGURA 63: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro..... | 67 |
| FIGURA 64: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Desemboque..... | 71 |
| FIGURA 65: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Desemboque | 71 |
| FIGURA 66: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque | 72 |
| FIGURA 67: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque | 72 |
| FIGURA 68: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista..... | 73 |
| FIGURA 69: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 74 |
| FIGURA 70: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 75 |
| FIGURA 71: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 75 |
| FIGURA 72: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Capim Branco | 76 |
| FIGURA 73: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Capim Branco | 77 |
| FIGURA 74: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro..... | 78 |
| FIGURA 75: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro..... | 78 |
| FIGURA 76: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro | 79 |
| FIGURA 77: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro..... | 79 |
| FIGURA 78: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{Anual} em função de Q_{Mar} , na estação fluviométrica Ponte BR-452..... | 83 |
| FIGURA 79: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{Anual} em função de Q_{Mar} , na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 83 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 80: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{Anual} em função de Q_{Mar} , na estação fluviométrica Letreiro | 84 |
| FIGURA 81: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{Anual} em função de Q_{Mar} , na estação fluviométrica Letreiro | 84 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1: Informações das estações fluviométricas utilizadas neste trabalho | 10 |
| TABELA 2: Períodos em anos das séries históricas das estações fluviométricas excluídos e utilizados na fase de modelagem e validação | 12 |
| TABELA 3: Definição de vazões observadas para estações fluviométricas abrangidas no trabalho e forma de cálculo | 13 |
| TABELA 4: Parâmetros da função de inferência para cálculo da $Q_{7,10}$ proposto na publicação Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (Souza, 1993) | 16 |
| TABELA 5: Resumo do teste de correlação linear de Pearson aplicado nas variáveis testadas neste trabalho | 20 |
| TABELA 6: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica Desemboque | 44 |
| TABELA 7: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 45 |
| TABELA 8: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica Ponte BR-452 | 46 |
| TABELA 9: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica Capim Branco | 47 |
| TABELA 10: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica Letreiro | 48 |
| TABELA 11: Valores médios anuais de $Q_{Mín}$ observados e estimados a partir de Q_{Jul} , com seus respectivos erros, verificados nas estações fluviométricas Desemboque e Letreiro | 52 |
| TABELA 12: Valores médios anuais de Q_{95} observados e estimados, com seus respectivos erros, verificados nas estações fluviométricas Desemboque, PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco e Letreiro | 68 |
| TABELA 13: Valores médios anuais de Q_{90} observados e estimados, com seus respectivos erros, verificados nas estações fluviométricas Desemboque, PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco e Letreiro | 81 |
| TABELA 14: Valores médios anuais de vazão (Q_{Anual}) observados e estimados, com seus respectivos erros, verificados nas estações fluviométricas Ponte BR-452 e Letreiro | 86 |
| TABELA 1A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica Desemboque | 96 |
| TABELA 2A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista | 97 |
| TABELA 3A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica Ponte BR-452 | 98 |
| TABELA 4A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica Capim Branco | 99 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 5A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica Letreiro | 100 |
| TABELA 6A: Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de vazão anual mínima de sete dias de duração ($Q_{7 \text{ Anual}}$), observados nas cinco estações fluviométricas avaliadas neste trabalho | 101 |

RESUMO

MORAES, M. R. B. 2016. 115 f. **Modelagem da vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.¹

O presente trabalho teve como objetivos modelar as vazões mínima de referência, média de longo período, mínima anual, máxima anual e mensal em cinco estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais, Brasil. Não obstante, este trabalho visou também, comparar as estimativas de vazões mínimas de referência e média de longo período modelados, com aqueles calculados nas bibliografias Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e Atlas Digital das Águas de Minas. As estações fluviométricas estudadas foram: Desemboque, PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco e Letreiro. Verificou-se que a estimativa da vazão máxima não foi possível, em nenhuma das estações estudadas. A vazão anual mínima de sete dias pôde ser estimada somente em função da vazão mínima anual, da vazão garantida em 95% do tempo, da vazão garantida em 90% do tempo e da vazão média no mês de julho. Os modelos de regressão gerados mostraram-se capazes de estimar a vazão anual mínima de sete dias com segurança e baixos valores de erros. Verificou-se também, uma discrepância muito alta nos valores de vazão anual mínima de sete dias de duração e tempo de retorno de dez anos, calculada com dados observados de vazão anual mínima de sete dias, em relação à estimativa por meio do Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (erro relativo médio de -65,18%) e Atlas Digital das Águas de Minas (erro relativo médio de -42,14%). No que diz respeito à vazão garantida em 95% do tempo, esta teve sua estimativa somente em função da vazão mínima anual, da vazão garantida em 90% do tempo e da vazão média no mês de julho. Os modelos de regressão mostraram-se capazes de estimar a vazão garantida em 95% do tempo com segurança e baixos valores de erros. Verificou-se também, uma discrepância muito alta nos valores dessa vazão calculada com dados observados, em relação à estimativa por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (erro relativo médio de -31,23%). A vazão garantida em 90% do tempo teve sua estimativa em função da vazão mínima anual e da vazão média no mês de julho. As vazões com permanência de 90% estimadas por meio do Atlas Digital das Águas de Minas, comparadas àquelas calculadas com dados observados, alcançaram erro relativo médio de -28,85%. A vazão com permanência de 90% estimada por meio dos modelos de regressão em função de vazão mínima anual e da vazão média no mês de julho, apresentou erro de 19,35%. Os modelos de regressão para estimar a vazão mínima anual em função da vazão média no mês de julho alcançaram erros relativos de 0,20% e -11,59%. A vazão média anual estimada por meio do Atlas Digital das Águas de Minas, comparada àquela calculada com dados observados, apresentou erro relativo de -31,95% na estação Ponte BR-452. Na estação Letreiro o erro foi zero. Por outro lado, quando a vazão média anual foi estimada por meio dos modelos de regressão em função da vazão média no mês de março, esse erro foi 3,15% e -1,42%, nas estações Ponte BR-452 e Letreiro, respectivamente.

Palavras-chave: vazão de referência, $Q_{7,10}$, Q_{95} , Q_{90} , vazão mínima.

¹Orientador: Hudson de Paula Carvalho – UFU

ABSTRACT

MORAES, M. R. B. 2016. 115 f. **Flow modelling on Araguari River Basin, Minas Gerais State, Brazil.** Dissertation (Master Program Environment and Environmental Quality), Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2016.¹

This study aimed to model the low-flows, long-period mean flow, annual minimum flow, annual and monthly high-flow in five Araguari River Basin's gaging stations, in Minas Gerais, Brazil. Regardless of, this study also aimed to compare low-flows estimates and modeled long-period mean flow with those calculated in the bibliographies *Deflúvios Superficiais de Minas Gerais* and *Atlas Digital das Águas de Minas*. The studied gaging stations were: Desemboque, PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco and Letreiro. It was verified that the high-flow estimate was not possible, in any of the studied stations. The annual series of seven days minimums could be estimated only in function of annual minimum flow, from the 95th percent and 90th percent exceedances and from the mean flow in july. The regression models generated proved to be capable of estimate the annual series of seven days minimums with security and low error values. It was also verified, a very high discrepancy in the annual series of 7-day minimums with 10-year recurrence interval, calculated with annual series of 7-day minimums observed data, in relation to estimation through *Deflúvios Superficiais de Minas Gerais* (mean relative error of -65.18%) and *Atlas Digital das Águas de Minas* (mean relative error of -42.14%). Concerning the 95th percent exceedances, it was possible to estimate it only in function of annual minimum flow, from the 90th percent exceedances and from the mean flow in july. The regression models proved to be capable of estimate the 95th percent exceedances with security and low error values. It was also verified, a very high discrepancy in the values of that calculated flow with observed data, in relation to estimation through *Atlas Digital das Águas de Minas* (mean relative error of -31.23%). In relation to the 90th percent exceedances, it was possible to estimate it in function of annual minimum flow and the mean flow in july. The flows with 90th percent exceedances estimated through *Atlas Digital das Águas de Minas*, compared to those calculated with observed data, reached mean relative error of -28.85%. The flow with 90th percent exceedances estimated through the regression models in function of annual minimum flow and the mean flow in july, the error was 19.35%. The regression models to estimate the annual minimum flow in function of the mean flow in july reached relative errors of 0.20% and -11.59%. The annual mean flow estimated through *Atlas Digital das Águas de Minas*, compared to those calculated with observed data, presented relative error of -31.95% in the Ponte BR-452 station. In the Letreiro station the error was zero. On the other hand, when the annual mean flow was estimated through the regression models in function of the mean flow in march, this error was 3.15% and -1.42%, in the Ponte BR-452 and Letreiro stations, respectively.

Key-words: low-flow, $Q^{7,10}$, Q^{95} , Q^{90} , minimum flow.

¹Adviser: Hudson de Paula Carvalho – UFU

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a maior demanda pelo uso da água, bem como a manutenção desse bem indispensável para os seres vivos em quantidade e qualidade satisfatórias, levanta questionamentos sobre a atual gestão dos recursos hídricos e o nível de detalhamento da hidrologia de determinada região. Para o reconhecimento do comportamento hidrológico é necessário que todos os aspectos do sistema natural compreendidos na bacia hidrográfica sejam definidos e tratados em conjunto com os fatores antrópicos.

A bacia hidrográfica é a delimitação física para os estudos do comportamento hidrológico visando o desenvolvimento sustentado das atividades nela compreendidas, com aproveitamento racional dos recursos naturais e mínimo dano ao meio ambiente. A necessidade de descrever e prever as relações água-solo-clima se tornou o objetivo de estudos e pesquisas de hidrólogos e profissionais de áreas correlatas. Dentre os fatores pesquisados, a vazão do corpo d'água é um dos processos hidrológicos mais importantes a ser explorado, pois retrata o resultado do balanço hídrico e a disponibilidade de água nas dimensões espacial e temporal.

Os principais estudos sobre geração de vazão se concentram em regiões de clima temperado. Por essa razão, pesquisadores brasileiros vêm desenvolvendo métodos de estudo focados e diferenciados entre grandes e pequenas bacias hidrográficas, acreditando que a representação do meio natural deva ser estudada localmente, e não importada, devido à grande distinção entre os meios físicos.

Dados de vazão são utilizados no gerenciamento de recursos hídricos, englobando uma série de atividades urbanas e rurais, em cálculos de projetos hidráulicos, aproveitamento hidroenergético, controle de calamidades como enchentes e estiagens.

As informações sobre vazão em cursos d'água são a base para a concessão de outorga de uso de recursos hídricos, nas esferas federal ou estadual, respectivamente por meio da Agência Nacional de Águas - ANA e órgãos estaduais. A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é avaliada por meio das vazões de referência, as quais fundamentam o cálculo de volumes disponíveis aos usuários de recursos hídricos. No Estado de Minas Gerais, a legislação que trata da outorga de uso de recursos hídricos tem como referência a $Q_{7,10}$, menor vazão média consecutiva de sete dias no período de dez anos.

O monitoramento de nível d'água, que permite o cálculo de vazão, se torna então fator primordial no gerenciamento de recursos hídricos e no planejamento das ações públicas. Informações reais possibilitam a determinação de valores adequados para a fixação das vazões de referência de disponibilidade hídrica, promovendo o melhor emprego do recurso e possibilitando o desenvolvimento de atividades que dele necessitem.

O nível da água em um corpo hídrico é obtido com leituras em réguas linimétricas ou por gravações automatizadas em instrumentos de registro contínuo, denominados linígrafos ou linímetros, que são instalados em locais apropriados designados seção de controle. Estas atividades requerem mão de obra treinada e equipamentos com manutenção constante a fim de evitar lacunas nas séries de dados.

A ANA a partir de 2003 solidificou seu papel no controle e manutenção do banco de dados hidrológicos, acompanhando as estações hidrométricas instaladas no território nacional e disponibilizando seus dados através do sistema HIDROWEB. As séries de dados disponibilizadas variam em quantidade de anos, apresentando falhas causadas por interrupções nas leituras, as quais produzem incertezas nos estudos hidrológicos que delas se utilizam.

As metodologias desenvolvidas para estimativa de vazões de curso d'água produzem resultados seguros quando a base de dados hidrológicos da região de interesse é confiável. O empecilho para obtenção destes dados com qualidade e quantidade está no fato de que dificilmente a rede hidrométrica consegue cobrir com eficácia todos os locais que compõem a bacia hidrográfica. Além disso, muitas vezes há lacunas temporais e espaciais na série histórica de dados devido a problemas operacionais nos equipamentos. Essas lacunas precisam ser preenchidas com emprego de metodologias alternativas e sólidas, permitindo o monitoramento hidrológico em conjunto com a conservação dos recursos hídricos.

A preocupação em estimar valores de vazões próximos do real e a dificuldade de aquisição de dados em pontos não cobertos por leituras hidrométricas motivou a realização deste trabalho de pesquisa, visto que as vazões de referência alocadas para maior ou menor volume de disponibilidade hídrica podem restringir uma concessão de uso ou extrapolar o potencial ofertado pelo corpo hídrico.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo modelar a vazão mínima, média e máxima em cinco estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. Além disso, pretendeu-se construir modelos

matemáticos que permitam estimar nessas estações as vazões: mínima de referência, média de longo período, mínima anual, máxima anual e mensal. Não obstante, este trabalho visa também, comparar as estimativas de vazões mínimas de referência e média de longo período modelados nessas cinco estações, com aqueles calculados com base em metodologia de literatura técnica e indicados na legislação estadual.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais

A Bacia Hidrográfica do Rio Araguari está localizada entre as latitudes 18°21'S e 20°10'S e longitudes 46°00'O e 48°50'O , Estado de Minas Gerais. Ela drena uma área de 22.091 km² e faz parte da mesorregião geográfica Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Com nascente em São Roque de Minas – a 1.180 m de altitude, e foz no Rio Paranaíba, afluente do Rio Grande – o Rio Araguari ajuda a compor a Bacia Transnacional do Rio Paraná. Sua foz localiza-se na divisa entre os municípios de Araguari e Tupaciguara, a 510 m de altitude.

Segundo Faria e Jordão (2012) a população estimada na bacia é de 1.163.718 habitantes. Os municípios que a compõem são: Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, São Roque de Minas, Sacramento, Santa Juliana, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia.

A vegetação predominante na região em estudo está inserida no bioma Cerrado (RIBEIRO; VALTER, 2008) e grande parte dos solos sob a vegetação deste bioma, especialmente Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, pertence à classe Latossolo (REATTO et al., 2008).

O clima é classificado por Köppen e Geiger como Tropical Aw, apresentando duas estações bem definidas (SILVA et al., 2008). A estação chuvosa tem início em setembro e outubro e se estende até março e abril, com destaque para os meses de novembro, dezembro e janeiro com maiores médias mensais de precipitação. A estação seca, ainda segundo os mesmos autores, é marcada por grande redução no volume precipitado, abrangendo 5 a 6 meses do ano, iniciando-se entre os meses de abril e maio

com término a partir de setembro/outubro. A precipitação média anual fica entre 1400 e 1600 mm.

Faria e Jordão (2012), em relação à declividade, relatam que a bacia apresenta 60% de sua área com declividade de até 3%, em percentagens menores apresenta 10% aproximadamente para cada faixa de transição entre 3 a 8%, 8 a 12%, 12 a 20% e acima de 20% de declividade. Segundo os autores citados, a formação geológica da bacia compreende cinco grandes grupos: Complexo Granito-Gnáissico, Faixa de Dobramento, Intrusões Dômicas, Bacia Sedimentar Cenozóica e Bacia Sedimentar do Paraná, que compõe a maior porção da área em foco neste estudo.

Em relação ao consumo hídrico, o maior volume de água retirado na bacia é destinado à irrigação, seguido por captações visando consumo humano, abastecimento industrial e agroindustrial. Faria e Jordão (2012) relatam conflitos por uso da água em pontos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, onde há demanda superior ao volume outorgável.

A Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil e como instrumento de gestão estabelece o Plano Nacional de Recursos Hídricos, visando implementar as diretrizes estabelecidas pela legislação citada. Sua aplicação traz a bacia hidrográfica como limite territorial para as diretrizes estabelecidas.

No Estado de Minas Gerais o Plano Estadual de Recursos Hídricos, previsto na Lei nº 13.199 de 29 de janeiro de 1999, tem como objetivo estabelecer princípios básicos e diretrizes para o planejamento e controle adequado do uso da água no Estado, como outorga de direito e cobrança pelo uso dos recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água, através dos Planos Diretores de Recursos Hídricos - PDRHs de Bacias Hidrográficas (MINAS GERAIS, 1999).

Visando dar embasamento ao instrumento de outorga o PDRH individualizou regionalmente as bacias e determinou metas de quantidade e qualidade, tendo como base o balanço de demanda atual e futura, com prognóstico de evolução de crescimento demográfico e modificação dos padrões de solo.

Devido à necessidade de obtenção de dados hidrológicos para o planejamento do uso dos recursos hídricos e gerenciamento das bacias foi firmada a Resolução Conjunta nº 2.237, de 05 de dezembro de 2014, entre Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD e Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Esta resolução estabelece procedimentos a serem observados pelos usuários de

recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais, visando o envio dos dados de monitoramento pluviométrico, limnimétrico e fluviométrico integrados a reservatórios para aproveitamento hidrelétrico e para abastecimento público (MINAS GERAIS, 2014).

A Resolução Conjunta nº 2.237 estabelece ainda a quantidade de estações hidrométricas/telemétricas por área de drenagem do barramento e a obrigatoriedade de envio ao IGAM, por parte dos operadores destes empreendimentos, da série histórica disponível, cabendo ao Instituto a alimentação do banco de dados hidrológico no sistema federal (Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb).

2.2 Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas

A bacia hidrográfica, segundo Mello e Silva (2013), é uma área delimitada espacialmente pelos divisores de água, constituídas por uma rede de drenagem interligada e onde o escoamento converge para um ponto comum, denominado seção de controle ou exutório da bacia.

A partir de 1997, com a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, a bacia hidrográfica passou a ser o foco do planejamento na gestão de recursos hídricos, promovendo ampliação nos estudos voltados para o reconhecimento dos fatores que afetam as relações naturais na bacia, principalmente em vínculo com o comportamento hidrológico.

No Brasil, as primeiras coletas de dados hidrológicos de forma sistemática remetem à 1920, segundo ANA (2009), realizadas por meio da Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas, com estações voltadas para estudos específicos de aproveitamentos hidráulicos, objetivando a produção de energia hidrelétrica.

Visando o manejo da bacia hidrográfica, é fundamental o estudo sobre movimento da água no solo e subsolo e a formação do escoamento superficial e de base, que são responsáveis pela formação de deflúvios. As vazões originadas ao longo no ano hidrológico devem ser definidas para as bacias hidrográficas, independentemente de sua área de drenagem, possibilitando uma cobertura satisfatória e segura para geração do banco de dados hidrológico.

Os valores de vazões obtidos nos corpos d'água são monitorados em seções de controle implantadas ao longo dos canais. Os dados para estudos hidrológicos de vazão no Brasil provem, quase que exclusivamente, das séries históricas disponibilizadas pela

ANA, por órgão de recursos hídricos estaduais e operadoras do sistema hidroelétrico, através do Hidroweb. Pode-se afirmar que existe uma relação direta entre o número de anos da série e a qualidade dos seus dados, com a confiabilidade dos resultados gerados nos estudos que a utilizam.

Tucci (2005) reforça a importância da representatividade de informações hidrológicas e utilização de dados confiáveis para obtenção de resultados próximos do real, que podem vir a afetar os custos em projetos que utilizem os valores de vazão em suas planificações. O referido autor faz referência à diversidade de alternativas que podem ser usadas no gerenciamento dos recursos hídricos visando melhor planejamento dos diversos usos, disponibilidade e preservação hidrológica. Como amparo no processo de decisão cita o emprego de metodologias que auxiliem na quantificação dos processos hídricos, constituindo parte integrante do estudo a coleta, análise de dados e parâmetros e as técnicas matemáticas, dentre elas a estatística. Risley et al. (2009) também trazem a preocupação com a manutenção de uma base histórica de dados de vazão através das estações hidrológicas, em quantidade suficiente, fato fundamental para o cálculo preciso das estatísticas de fluxos de vazão.

A disponibilidade hídrica para usos consuntivos é calculada através das vazões de referência. No Brasil, são utilizadas como vazão de referência a Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$. Segundo ANA (2015) denomina-se Q_{90} e Q_{95} , respectivamente, como a vazão determinada estatisticamente, para um certo período de observação num posto fluviométrico, correspondente a uma probabilidade de que naquela seção do curso d'água as vazões serão 90 e 95% do tempo maiores do que ela. Ainda de acordo com ANA (2015), a $Q_{7,10}$ equivale a menor vazão média de sete dias consecutivos, com um período de retorno (recorrência) de dez anos. Essa vazão tem 10% de chance de ocorrer em qualquer ano.

Em Minas Gerais, a Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março 2012, estabelece a $Q_{7,10}$ como vazão de referência a ser utilizada para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado (MINAS GERAIS, 2012). Contudo, além das vazões mínimas, são importantes também os valores de vazão média anual e mensal.

O valor da vazão de referência, segundo Silva (2006), é estabelecido em função de um valor que passa a representar o limite superior de utilização da água em um corpo d'água. Dessa forma, é garantida a permanência de um volume satisfatório à manutenção dos ciclos ecológicos. As vazões de referência Q_{95} e $Q_{7,10}$, foram citadas

por Pyrcce (2004), como a segunda classificação de vazões de fluxo mínimo utilizadas mundialmente, portanto com grande interesse hidrológico.

As metodologias empregadas em estimativas de vazão estão sendo aplicadas com afincos na hidrologia moderna, buscando validar o resultado de pesquisas para regiões hidrologicamente homogêneas. As regiões que subdividem uma área maior são escolhidas, teoricamente, com base na homogeneidade das características hidrológicas. Nas identificações das regiões hidrologicamente homogêneas, nesse estudo, foram adotados dois critérios. O primeiro está fundamentado no princípio de que as distribuições de frequência das vazões adimensionalizadas das estações em uma região hidrologicamente homogênea são idênticas, e o segundo baseado na análise do ajuste do modelo de regressão múltipla das vazões médias com as características físicas e climáticas das sub-bacias estudadas (HIDROTEC, 2016).

Nessa linha de raciocínio, Souza (1993) traz na publicação *Deflúvios Superficiais de Minas Gerais*, valores estimados de $Q_{7,10}$ em função da tipologia da região de inserção da bacia e do rendimento hídrico específico do curso d'água. A vazão estimada por esta metodologia é referência no Estado de Minas Gerais para o cálculo de disponibilidade hídrica para concessões de direito de uso de água.

Os dados de vazão observados cobrem as grandes regiões hidrológicas brasileiras, com áreas geralmente acima de 500 km², como se observa no Inventário das Estações Fluviométricas (ANA, 2009), havendo uma grande lacuna nos dados referentes às pequenas bacias hidrográficas. Somando-se a este fato a presença de falhas nas séries históricas, Silva et al. (2006) indicam a necessidade de estudos objetivando metodologias para estimativas de disponibilidade hídrica aplicáveis em condições de ausência de dados hidrológicos.

Tucci (2005) cita a necessidade do hidrólogo em dispor de modelos onde os parâmetros possam ser estimados com base em medidas de campo e dependam menos de leituras de séries históricas de vazão. Esta afirmação completa a de Euclides (1993), em *Atlas Digital das Águas de Minas*, se referindo à dificuldade de se cobrir completamente a rede hidrológica em todos os locais de interesse para o desenvolvimento e conservação dos recursos hídricos. A presença de lacunas temporais deve ser preenchida com base em metodologias robustas, segundo este último autor.

Métodos de estimativa de vazão têm sido desenvolvidos na busca de valores que representem a realidade e possam ser expandidos para a mesma bacia hidrográfica ou áreas com características homogêneas. (2001) pesquisando o desempenho de modelos

hidrológicos em grandes bacias, descreveu o quão importante é a etapa de avaliação de desempenho nas tarefas resultantes do processo de modelagem. Segundo o autor, a etapa de avaliação possui duas fases: a calibração, onde é utilizado uma parte da série histórica, e a fase de verificação, fazendo uso do restante da série. Quando os resultados são favoráveis o modelo tem seu uso recomendado.

Viola (2008) completa a fase de avaliação dos resultados de um modelo hidrológico com a indicação de estatísticas de precisão como o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) e o coeficiente de determinação (R^2). Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) citado por Collischonn (2001), o valor máximo para C_{NS} é igual a 1 – neste caso, considerado próximo do ajuste perfeito entre vazões observadas e estimadas – C_{NS} acima de 0,75 para ajuste adequado/bom, e aceitável, se o valor de C_{NS} está no intervalo entre 0,36 e 0,75. Para avaliação do coeficiente de determinação, Stedinger e Thomas (1985) estudando estimativas de vazão para áreas não monitoradas no Estado de Virgínia - EUA, recomendam que as equações estimadoras gerem valores superiores a 0,70.

Em simulação hidrológica no Alto Rio Grande, especificamente no Rio Aiuruoca, Viola (2008) obteve valores de C_{NS} no intervalo de 0,815 a 0,918 classificado como adequado e bom, estando o coeficiente de determinação acima de 0,9. Risley et al. (2009) descreve o trabalho realizado com dados de 466 pontos monitorados de vazão no Estado de Oregon - EUA, e áreas adjacentes que abrangem estados vizinhos e compõem as bacias compartilhadas, buscando desenvolver equações de regressão passíveis de estimar vazão em pontos não monitorados com base em características de bacias monitoradas. As estimativas incluíram vazão média anual e mensal, vazão com 95% de excedência e $Q_{7,10}$. Segundo os autores a caracterização de vazões de cheia e vazões mínimas no Estado de Oregon são de interesse fundamental aos Governos Federal e Estadual, bem como para agências locais envolvidas em atividades de regularização e de qualidade da água, avaliação biológica dos habitats e planejamento e gestão de abastecimento de água potável.

Visando o desenvolvimento de metodologias que auxiliem na estimativa de vazão, Silva et al. (2006) analisaram a aplicação de modelos de probabilidade às séries históricas de vazões mínima diária anual e mínima média de sete dias consecutivos, para 7 estações fluviométricas à montante do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos - Alto Rio Grande, MG. Em sua conclusão os modelos de probabilidade Gumbel e Log-normal a 3 parâmetros mostraram-se adequados aos dados de vazões,

sendo que o modelo Log-normal a 3 parâmetros originou ajustes de melhor qualidade. No cálculo da mínima vazão média de sete dias consecutivos, o citado autor fez comparativo com valores obtidos por Souza (1993), obtendo intervalo de erro relativo de -4,17% a 46,34%.

Em Risley et al. (2009) as equações de regressão para predizer vazão com 95% de permanência e vazões $Q_{7,10}$ foram geradas com uso de Regressão Múltipla Linear e ajustadas pelo método dos Mínimos Quadrados, obtendo média de erro padrão de estimativa de 64,4% para Q_{95} e 61,2% para $Q_{7,10}$, quando comparados com dados observados.

Wilson (2000) pesquisando técnicas matemáticas para estimação de vazão de baixo fluxo no Estado de Indianápolis - EUA, concluiu que as estimativas se aproximam mais do real quando os dados observados partem de uma área de drenagem menor para valores estimados em área de drenagem maior, bem como os resultados gerados tem melhor qualidade com o aumento de anos das séries históricas utilizadas.

No estudo de vazões do Estado de Oregon - EUA, Risley (2009) reforça que estudos complementares devem ser feitos para assegurar resultados confiáveis e sustentáveis, caso seja de interesse extrapolar os resultados da pesquisa para áreas com características diferentes das bacias originais, principalmente quando se verifica a presença de reservatórios ou ocorrência de mudanças no uso e ocupação do solo. Tucci (2005) afirma que os parâmetros obtidos em leituras de volumes de escoamento estão atrelados ao intervalo de tempo de cálculo adotado e não podem ser extrapolados sem uma análise detalhada entre bacias ou mesmo entre períodos com intervalos diferentes.

Uma característica comum a toda técnica de regionalização é a utilização do conceito de região hidrologicamente homogênea. As regiões que subdividem uma área maior são escolhidas, teoricamente, com base na homogeneidade das características hidrológicas. Nas identificações das regiões hidrologicamente homogêneas, nesse estudo, foram adotados dois critérios. O primeiro está fundamentado no princípio de que as distribuições de frequência das vazões adimensionalizadas das estações em uma região hidrologicamente homogênea são idênticas, e o segundo baseado na análise do ajuste do modelo de regressão múltipla das vazões médias com as características físicas e climáticas das sub-bacias estudadas (HIDROTEC, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Estações fluviométricas escolhidas

Neste trabalho foram coletados dados diários da série histórica de vazão de cinco estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - MG, entre as latitudes 18°45'00"S e 20°08'9,96"S e longitudes 47°11'30,12"O e 48°16'0,012"O. A relação das estações está compilada na TABELA 1. Na FIGURA 1 está representada a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, bem como a disposição das estações fluviométricas nos respectivos rios da citada bacia. Observando a referida figura, nota-se que este trabalho abrangeu os rios Araguari, Claro e Uberabinha. Estes dois últimos são importantes afluentes do primeiro, e suas águas abastecem parte das cidades de Uberaba e Uberlândia, respectivamente.

TABELA 1: Informações das estações fluviométricas utilizadas neste trabalho

| Código Hidroweb | Nome | Rio | Operadora ¹ | Área de Drenagem (km ²) | Coordenada Geográfica |
|-----------------|--------------------------------------|------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 60220000 | Desemboque | Araguari | CPRM | 1.070 | 20°00'50"S 47°01'02"O |
| 60228000 | PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | Araguari | CEMIG | 2.970 | 19°48'53"S 47°24'19"O |
| 60336000 | Ponte BR 452 | Claro | CEMIG | 1.040 | 19°13'60"O 47°47'60"O |
| 60360000 | Capim Branco | Araguari | Furnas | 18.700 | 18°45'00"S 48°16'00"O |
| 60381000 | Letreiro | Uberabinha | CPRM | 777 | 18°59'18"S 48°11'25"O |

¹CPRM = Serviço Geológico do Brasil; CEMIG = Companhia Energética de Minas Gerais; Furnas = empresa de economia mista, subsidiária da Eletrobrás e vinculada ao Ministério de Minas e Energia.

Os dados diários de vazão das estações Desemboque, PCH Pai Joaquim - Fazenda Boa Vista e Letreiro foram coletados no sistema Hidroweb, administrado pela ANA. Os dados diários de vazão das estações Ponte BR-452 e Capim Branco foram obtidos junto à Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG.

Na TABELA 2 estão dispostos o período da série histórica de dados diários que foram coletados junto aos órgãos operadores das estações. Além disso, nesta tabela nota-se também, que alguns anos foram descartados, quando na análise visual da série de dados foi identificado valores de vazão exatamente iguais por longos períodos (meses). Não obstante, observou-se também, repetidas vezes na estação Capim Branco, uma queda brusca e acentuada nos valores de vazão do Rio Araguari, principalmente no mês de janeiro. Nesta situação, os dados também foram descartados pois inferiu-se que tal fato deveu-se à manobra na comporta do vertedouro da usina, realizada pela CEMIG, e não por fatores hidrológicos. Por meio da TABELA 2 é possível visualizar também, os anos da série histórica que foram excluídos ou aproveitados nas fases de modelagem e validação das equações para estimativa da vazão, não sendo aplicada metodologia específica para divisão entre períodos destinados à modelagem e validação.

FIGURA 1: Imagem ilustrando a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari e destacando o posicionamento, na citada bacia, dos rios e das estações fluviométricas estudadas neste trabalho

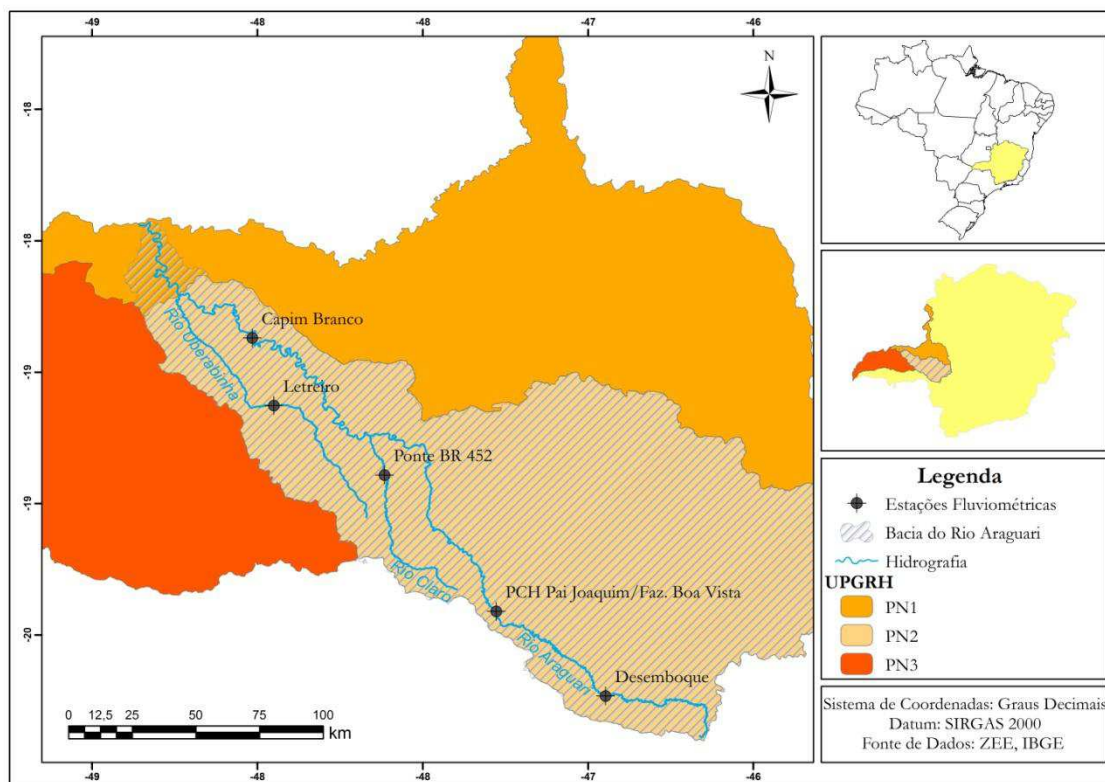


TABELA 2: Períodos em anos das séries históricas das estações fluviométricas excluídos e utilizados na fase de modelagem e validação

| Estação Fluviométrica | Período Coletado da Série | Anos Excluídos | Série Histórica Utilizada | |
|---|---------------------------|---|---------------------------|-------------|
| | | | Modelagem | Validação |
| 60220000 - Desemboque | 1956 a 2014 | 1971, 1988 e 2008 a 2010 | 1956 a 1986 | 1987 a 2014 |
| 60228000 - PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 1990 a 2014 | 1999 e 2013 | 1990 a 2003 | 2004 a 2014 |
| 60336000 - Ponte BR-452 | 1955 a 2009 | 1962 a 1966, 1969, 1970, 1986 a 1988, 1991 a 1994 e 2003 a 2006 | 1955 a 1981 | 1982 a 2009 |
| 60360000 - Capim Branco | 1970 a 2005 | 1977, 1993, 1994, 1997 e 1998 | 1970 a 1985 | 1986 a 2004 |
| 60381000 - Letreiro | 1979 a 2014 | 1987 e 1988 | 1979 a 2000 | 2001 a 2014 |

3.2 Vazões observadas e estimadas

Após a análise inicial de consistência, os dados foram organizados em planilha eletrônica e por meio desta, foi possível extrair, para cada uma das estações avaliadas, as variáveis constantes na TABELA 3. As vazões Q_{90} e Q_{95} foram estimadas pelo comando Percentil do Excel[®] 2010.

Para identificar o grau de correlação existente entre as variáveis testadas (reunidas na TABELA 3), foi utilizado o teste de correlação linear de Pearson (r -Pearson), presente na planilha eletrônica Excel[®] 2010. Portanto, todas as variáveis foram comparadas entre si, por meio do teste de correlação. Neste trabalho, considerou-se como satisfatório as respostas do teste iguais ou superiores a 0,6, positivo ou negativo. Nesta pesquisa não foi testada outro tipo de correlação que não a linear, mesmo quando os valores foram abaixo de 0,6.

Para o desenvolvimento desta fase, utilizou-se o conjunto da série histórica destinada à modelagem.

TABELA 3: Definição de vazões observadas para estações fluviométricas abrangidas neste trabalho

| Vazão | Descrição | Vazão | Descrição |
|-----------------------|---|------------------|--------------------------------|
| Q_{Anual} | Vazão média anual | Q_{Abr} | Vazão média no mês de abril |
| $Q_{\text{Máx}}$ | Vazão máxima anual | Q_{Mai} | Vazão média no mês de maio |
| $Q_{\text{Mín}}$ | Vazão mínima anual | Q_{Jun} | Vazão média no mês de junho |
| $Q_{7 \text{ Anual}}$ | Vazão anual mínima de 7 dias de duração | Q_{Jul} | Vazão média no mês de julho |
| Q_{95} | Vazão garantida em 95% do tempo | Q_{Ago} | Vazão média no mês de agosto |
| Q_{90} | Vazão garantida em 90% do tempo | Q_{Set} | Vazão média no mês de setembro |
| Q_{Jan} | Vazão média no mês de janeiro | Q_{Out} | Vazão média no mês de outubro |
| Q_{Fev} | Vazão média no mês de fevereiro | Q_{Nov} | Vazão média no mês de novembro |
| Q_{Mar} | Vazão média no mês de março | Q_{Dez} | Vazão média no mês de dezembro |

Após encontrar as correlações consideradas satisfatórias, procedeu-se a construção do modelo de regressão, usando o software estatístico Sigmaplot® 12.0. Neste trabalho, foram testados modelos de regressão do tipo Linear (Equação 1) e Potencial a 2 (Equação 2) e 3 parâmetros (Equação 3), pois o comportamento dos dados, verificados em um gráfico de dispersão, mostrou que esses modelos poderiam proporcionar melhores ajustes.

$$Q_e = y_0 + a \cdot Q_x \quad \text{Equação 1}$$

$$Q_e = a \cdot Q_x^b \quad \text{Equação 2}$$

$$Q_e = y_0 + a \cdot Q_x^b \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Q_e = vazão estimada em função de Q_x , em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

y_0 , a , b = coeficientes dos modelos de regressão;

Q_x = vazão observada, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

3.3 Estimativa de $Q_{7,10}$ a partir de modelos ajustados para cada estação fluviométrica

Os valores de $Q_{7\text{Anual}}$ estimados por meio do modelo gerado na etapa anterior, foram utilizados no cálculo da $Q_{7,10}$. Esta, foi estimada pela distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos (Equações 4 a 6) e pela distribuição Log-Normal com 3 Parâmetros (Equações 7 a 13), segundo parametrização proposta por Mello e Silva (2013). Todos os parâmetros desses modelos de distribuição de probabilidade foram estimados pelo método dos momentos. Além disso, os modelos de distribuição de probabilidade também foram submetidos ao teste de adequacidade de Kolmogorov-Smirnov, com $\alpha = 0,05$. A frequência observada foi estimada pela metodologia de Weibull, conforme descrito em Mello e Silva (2013).

$$Q_{7,10 \text{ Gb}} = \frac{\text{LN} \left[-\text{LN} \left(1 - \frac{1}{\text{TR}} \right) \right]}{\sigma} + \mu \quad \text{Equação 4}$$

$$\sigma = \frac{1,2826}{S} \quad \text{Equação 5}$$

$$\mu = \bar{Q}_{7 \text{ Anual}} + 0,45 \cdot s \quad \text{Equação 6}$$

$$Q_{7,10 \text{ LN}} = e^{\mu_n + z \cdot \sigma_n} + \beta \quad \text{Equação 7}$$

$$\mu_n = \text{LN} \left(\frac{s}{\eta_y} \right) - 0,5 \cdot \text{LN} \quad \text{Equação 8}$$

$$\eta_y = \frac{(1 - \phi^{2/3})}{\phi^{1/3}} \quad \text{Equação 9}$$

$$\phi = \frac{[-\gamma + (\gamma^2 + 4)^{0,5}]}{2} \quad \text{Equação 10}$$

$$y = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad \text{Equação 11}$$

$$\sigma_n = \sqrt{\text{LN}(\eta_y^2 + 1)} \quad \text{Equação 12}$$

$$\beta = \bar{Q}_{7 \text{ Anual}} - \frac{s}{\eta_y} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$Q_{7,10 \text{ Gb}}$ = menor vazão média consecutiva de 7 dias, com tempo de retorno de 10 anos, estimada pelo método probabilístico de Gumbel para mínimos, em $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$;

TR = tempo de retorno, considerou-se 10 anos;

σ e μ = parâmetros da distribuição Gumbel para mínimos, em $m^3 s^{-1}$;

s = desvio padrão amostral, em $m^3 s^{-1}$;

$\bar{Q}_{7 \text{ Anual}}$ = vazão mínima anual de sete dias consecutivos, em $m^3 s^{-1}$;

$Q_{7,10 \text{ LN}}$ = menor vazão média consecutiva de 7 dias, com tempo de retorno de 10 anos, estimada pelo método probabilístico Log-Normal a 3 parâmetros, em $m^3 s^{-1}$;

$\mu_n, \eta_y, \phi, \sigma_n$ e β = parâmetros da distribuição Log-Normal a 3 parâmetros, adimensional;

β = parâmetro da distribuição Log-Normal a 3 parâmetros, em $m^3 s^{-1}$;

y = coeficiente de assimetria corrigido, adimensional.

A vazão $Q_{7,10}$ calculada por Gumbel e Log-normal a 3 parâmetros, a partir dos dados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, estimados para cada estação fluviométrica por meio do melhor modelo de regressão encontrado, foi comparada com os resultados fornecidos pelas publicações Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e Atlas Digital das Águas de Minas.

3.4 Estimativa de $Q_{7,10}$ pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais

A obra Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993) indica os modelos para estimativa de vazão detalhados nas Equações 14 a 16. Segundo o autor, os parâmetros são determinados de acordo com a tipologia homogênea e rendimento específico da região de inserção da estação fluviométrica.

$$Q_{7,10} = F_{D,T} \cdot Q_{M,10} \quad \text{Equação 14}$$

$$F_{D,T} = (\alpha + \beta \cdot \gamma^D) \cdot (\log T)^{-(r \cdot \log T + s) \cdot D^{(m+n \cdot \log^2 T)}} \quad \text{Equação 15}$$

$$Q_{M,10} = Re \cdot Ad \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

$F_{D,T}$ = Fator de proporção, adimensional;

$\alpha, \beta, \gamma, r, s, m, n$ = parâmetros da função de inferência, variáveis de acordo com a Tipologia Homogênea e Rendimento Específico (TABELA 4), adimensional;

D = Número de dias que compõem a média consecutiva, em dias;

T = Tempo de retorno, em anos;

$Q_{M,10}$ = Vazão mínima de duração mensal e tempo de retorno de 10 anos, em $m^3 s^{-1}$;

Re = Rendimento específico, em $m^3 s^{-1} km^{-2}$

Ad = Área de drenagem, delimitada a partir da seção de controle, em km².

TABELA 4: Parâmetros da função de inferência para cálculo da $Q_{7,10}$ proposto na publicação Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (Souza, 1993)

| Estação Fluviométrica | Desemboque | PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte BR-452 e Capim Branco | Letreiro |
|--------------------------|-----------------|--|----------|
| Tipologia | 321 | 331 | 332 |
| Parâmetros ¹ | A | 0,47559 | 0,48308 |
| | B | 0,40698 | 0,41451 |
| | Y | 1,00656 | 1,00589 |
| | R | 0,18965 | 0,21611 |
| | S | 0,18027 | 0,22627 |
| | M | -0,02649 | -0,01650 |
| | N | -0,04310 | -0,04314 |
| Rendimento Específico | 5,0 < Re ≤ 10,0 | 1,0 < Re ≤ 5,0 | |

Nota: ¹ parâmetros estatísticos propostos na publicação Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (Souza, 1993)

3.5 Estimativa de $Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} e Q_{MLP} pelo Atlas Digital das Águas de Minas

Neste trabalho, calculou-se a magnitude da menor vazão média consecutiva de 7 dias com tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), vazão garantida em 90% do tempo (Q_{90}), vazão garantida em 95% do tempo (Q_{95}) e vazão média de longo período (Q_{MLP}) segundo modelagem proposta na publicação Atlas Digital das Águas de Minas (2009). Esta obra propõe equações matemáticas que permitem calcular a $Q_{7,10}$ (Equação 17), Q_{90} (Equação 18), Q_{95} (Equação 19) e Q_{MLP} (Equação 20) tendo como variável somente a área de drenagem da bacia a partir da seção de controle (Ad). As áreas de drenagem usadas nesta pesquisa dizem respeito às áreas das bacias delimitadas a partir das estações fluviométricas (TABELA 1).

$$Q_{7,10} = 0,0038 \cdot Ad^{0,9450} \quad \text{Equação 17}$$

$$Q_{90} = 0,0055 \cdot Ad^{1,0078} \quad \text{Equação 18}$$

$$Q_{95} = 0,0039 \cdot Ad^{1,0241} \quad \text{Equação 19}$$

$$Q_{MLP} = 0,0258 \cdot Ad^{0,9475} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

$Q_{7,10}$ = Menor vazão média consecutiva de 7 dias, com tempo de retorno de 10 anos, em $m^3 s^{-1}$;

Q_{90} = Vazão garantida em 90% do tempo, em $m^3 s^{-1}$;

Q_{95} = Vazão garantida em 95% do tempo, em $m^3 s^{-1}$;

Q_{MLP} = Vazão média de longo período, em $m^3 s^{-1}$.

3.6 Análise estatística

Na escolha dos melhores modelos (melhor ajuste aos dados observados) considerou-se o coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (EPE), teste t de Student para os parâmetros da equação (a nível de significância de 5%), teste F da regressão (a nível de 5% de probabilidade). Além disso, analisou-se a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk. A validação dos modelos gerados foi realizada por meio do coeficiente de Nash-Sutcliffe, descrito na Equação 21.

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - Q_{est_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

C_{NS} = Coeficiente de Nash-Sutcliffe, adimensional;

Q_{obs_i} = Vazão observada na posição i, em $m^3 s^{-1}$;

$\overline{Q_{obs}}$ = Média das vazões observadas no período, em $m^3 s^{-1}$;

Q_{est_i} = Vazão estimada na posição i, em $m^3 s^{-1}$.

O coeficiente de Nash-Sutcliffe é uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual, em comparação com a variação dos dados medidos ou observados. Neste trabalho, empregou-se a classificação de eficiência dos modelos proposta por Gotschalk & Motovilov (2000), citado por Collischonn (2001) e Viola (2008), que designa a seguinte escala de valores: $C_{NS} = 1$ indica ajuste perfeito do modelo; $C_{NS} > 0,75$ demonstra ajuste bom/adequado; e $0,36 < C_{NS} < 0,75$ para ajustes aceitáveis. Para esta análise, foi utilizado o conjunto da série histórica destinada à validação.

Este trabalho tem como um dos seus objetivos mensurar as discrepâncias entre os valores de $Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} e Q_{MLP} estimados com base na metodologia proposta em Atlas Digital das Águas de Minas (EUCLYDES, 1993) e de $Q_{7,10}$ estimada com base em Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), com os valores calculados dessas variáveis a partir dos dados observados em cada estação. Além disso, objetivou-se também, modelar uma equação matemática capaz de estimar essas variáveis, a partir das variáveis constantes na TABELA 3.

A estatística usada neste trabalho para medir a diferença entre as respostas dadas pelo modelo matemático a ser criado, bem como aquelas que foram fornecidas pelo Atlas Digital das Águas de Minas (EUCLYDES, 1993) e pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), em comparação com aqueles calculados a partir dos dados observados (considerados como padrão), foi o erro absoluto (Equação 22) e o erro relativo percentual (Equação 23).

$$EA = Q_{est} - Q_{obs} \quad \text{Equação 22}$$

$$ERP = \frac{EA}{Q_{obs}} \cdot 100 \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

EA = erro absoluto, em $m^3 s^{-1}$;

ERP = erro relativo percentual, em %;

Q_{obs} = vazão observada ou calculada com dados observados, em cada estação fluviométrica, em $m^3 s^{-1}$;

Q_{est} = vazão estimada por meio dos modelos matemáticos a serem gerados, pelo Atlas Digital das Águas de Minas (EUCLYDES, 1993) e pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), em cada estação fluviométrica, em $m^3 s^{-1}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes de correlação linear de Pearson para os dados de vazão coletados nas estações Desemboque, PCH Pai Joaquim Fazenda/Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco e Letreiro estão compilados nas Tabelas 1A a 5A, respectivamente, dispostas no Apêndice deste trabalho. Analisando-as nota-se que as correlações foram altas, em todas as estações, para a vazão média anual (Q_{Anual}) correlacionada com as vazões médias mensais, especialmente para a vazão média no mês de março (Q_{Mar}). Não obstante, foram encontradas boas correlações, para todas as estações, entre as vazões mínima anual ($Q_{\text{Mín}}$), anual mínima de sete dias de duração ($Q_{7 \text{ Anual}}$), vazão garantida em 95% e 90% do tempo (Q_{90} e Q_{95} , respectivamente), correlacionadas entre si, com Q_{Anual} e com as vazões médias mensais, especialmente a média no mês de julho (Q_{Jul}). Além disso, ao analisar as citadas tabelas, nota-se boa correlação entre as vazões média mensais nos meses de maio a setembro. Por outro lado, verificou-se que a vazão máxima anual (Q_{Max}) apresentou fraca correlação com as variáveis analisadas neste trabalho, com exceção das estações PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista, Capim Branco e Letreiro, correlacionadas com a vazão média no mês de janeiro (Q_{Jan}).

Após identificar as correlações que se mostraram promissoras ($r\text{-Pearson} \geq 0,6$), procedeu-se uma análise visual das correlações, procurando identificar resultados comuns a todas as estações fluviométricas. Nesse sentido, se alguma correlação não atendesse ao requisito imposto para uma das estações fluviométricas, não se prosseguia para a etapa de construção do modelo de regressão. Na TABELA 5 estão compiladas as correlações a partir das quais os citados modelos foram construídos.

Após identificar as correlações com coeficiente de Pearson acima de 0,6 e comuns a todas as estações fluviométricas (TABELA 5), procedeu-se a construção dos modelos de regressão representados nas Equações 1, 2 e 3. Na escolha dos melhores modelos (melhor ajuste aos dados) considerou-se o coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (EPE), teste t de Student para os parâmetros da equação (nível de significância de 5%), teste F da regressão (a 5% de probabilidade). Além disso, analisou-se a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk.

TABELA 5: Resumo do teste de correlação linear de Pearson aplicado nas variáveis testadas neste trabalho

| Variável | Variável | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Q ₇ | Q _{Mín} | Q ₉₅ | Q ₉₀ | Q _{Jan} | Q _{Fev} | Q _{Mar} | Q _{Abr} | Q _{Mai} | Q _{Jun} | Q _{Jul} | Q _{Ago} | Q _{Set} |
| Q _{Anual} | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Q _{Máx} | | | | | X | | | | | | | | |
| Q _{Mín} | X | | X | X | | | | | | X | X | | |
| Q _{7Anual} | | X | X | X | | | | | X | X | X | | |
| Q ₉₅ | X | X | | X | | | | | X | X | X | | |
| Q ₉₀ | X | X | X | | | | | | X | X | X | | X |

Se algum modelo falhasse no teste t de Student, no teste F e no teste de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk, ele seria descartado. Estas foram as condições para a não aceitação/corte do modelo. Neste ponto também, optou-se por trabalhar com um modelo que fosse aprovado, nesses quesitos, ao maior número de estações. Como resultado, verificou-se que o modelo potencial a 2 parâmetros apresentou os melhores resultados gerais para todas as estações avaliadas, com coeficiente de determinação mais alto, erro padrão de estimativa mais baixo e atendimento aos quesitos de eliminação/corte.

4.1 Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão anual mínima de sete dias – Q_{7 Anual}

4.1.1 Resultados de Q_{7 Anual} para a estação fluviométrica Desemboque

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão para a estação fluviométrica Desemboque, com seus respectivos dados estatísticos, bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe, por meio do qual se avaliou a eficiência desses modelos.

Nas FIGURAS 2, 4, 6 e 8 encontram-se dispostos os modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{7 Anual} em função dos dados de Q_{Mín}, Q₉₅, Q₉₀ e Q_{Jul}, respectivamente. Além disso, nessas figuras também estão compilados os resultados estatísticos desses modelos, como coeficiente de determinação (R²), erro padrão de estimativa (EPE), teste F da equação de regressão (p-valor regres.) e teste t dos parâmetros da regressão (p-valor do coef. a e p-valor do coef. b). Ressalta-se que neste trabalho, o p-valor tanto da regressão quanto dos parâmetros da regressão, deveriam ser

menores do que 0,05 para que o modelo de regressão fosse aceito. De forma análoga, se modelo de regressão não passasse no teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk com $\alpha = 0,05$), também não seria aceito.

Analisando as FIGURAS 2, 4, 6 e 8, verifica-se que os modelos de regressão expostos apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,8. Stedinger e Thomas (1985) recomendam que as equações regressão gerem valores de coeficiente de determinação superiores a 0,70. Viola (2008), em simulação hidrológica no Alto Rio Grande, especificamente no Rio Aiuruoca, também obteve valores de coeficiente de determinação acima de 0,9.

Não obstante, todos os modelos foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados. No que diz respeito ao erro padrão da estimativa (EPE), ressaltam-se os baixos valores calculados, com exceção da FIGURA 8 (estimativa de $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{Jul}). Nessa estimativa, o EPE obtido foi de $1,12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, um valor elevado quando se deseja estimar $Q_{7\text{Anual}}$ a partir de valores baixos de vazão média no mês de julho (Q_{Jul}).

Nas FIGURAS 3, 5, 7 e 9 estão dispostos os resultados no teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), os quais, com exceção da FIGURA 9 (avaliação da eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{Jul}), apresentaram valores de C_{NS} na faixa de 0,85 a 0,94. Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) citado por Collischonn (2001), o valor de C_{NS} acima de 0,75 classifica a precisão dos modelos gerados como adequada/boa. Em simulação hidrológica no Alto Rio Grande, especificamente no Rio Aiuruoca, Viola (2008) também obteve valores de C_{NS} no intervalo de 0,815 a 0,918.

Analisando a FIGURA 9, onde está apresentado o resultado do teste de Nash-Sutcliffe da estimativa de $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{Jul} , verifica-se que o valor de C_{NS} foi de 0,56, permitindo classificar a eficiência do modelo de regressão em aceitável, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) citado por Collischonn (2001).

FIGURA 2: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Desemboque

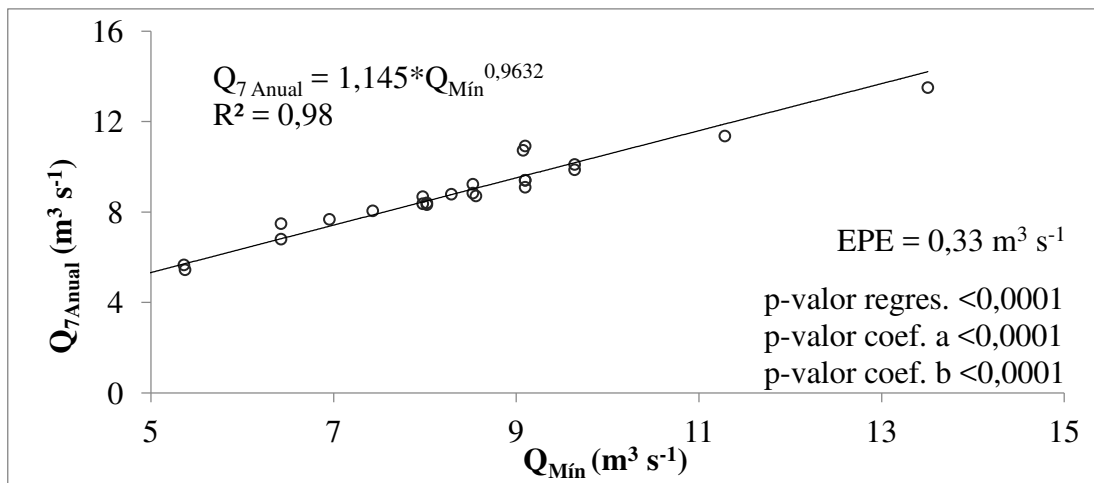


FIGURA 3: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Desemboque

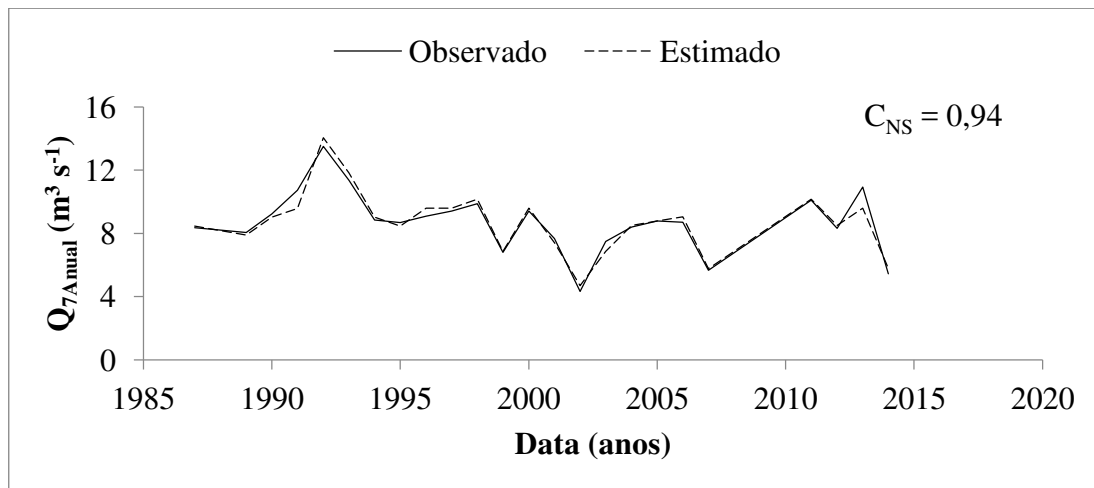


FIGURA 4: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Desemboque

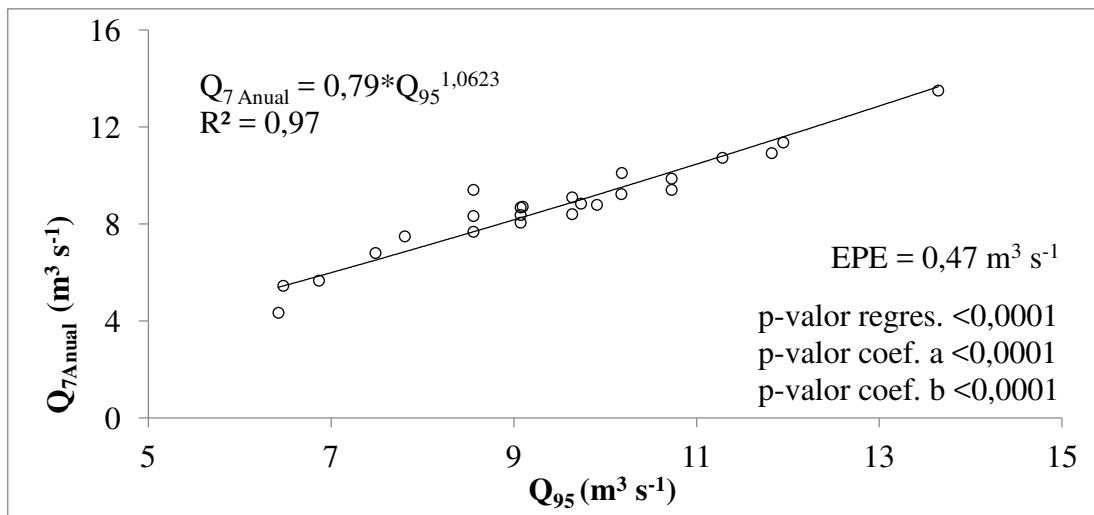


FIGURA 5: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Desemboque

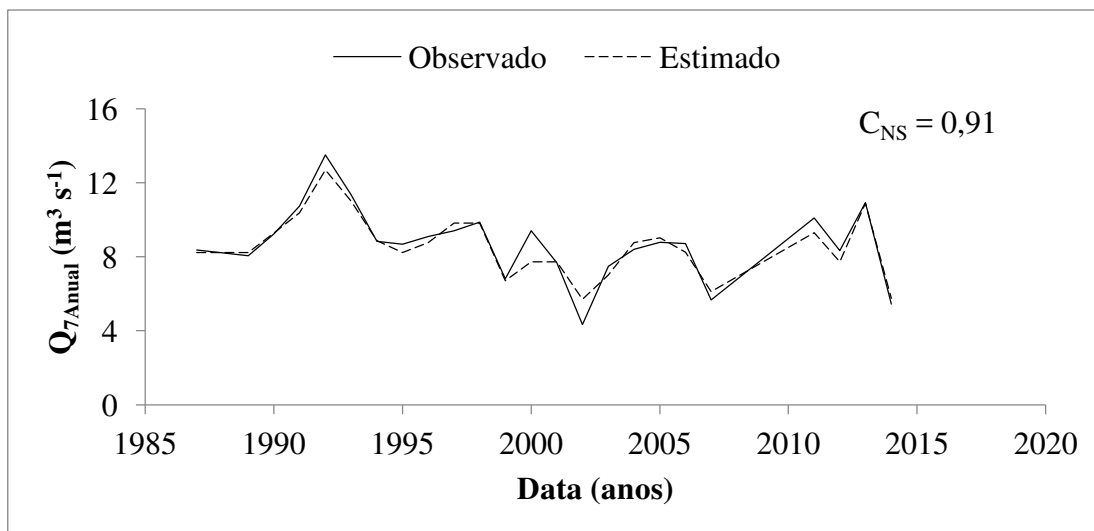


FIGURA 6: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Desemboque

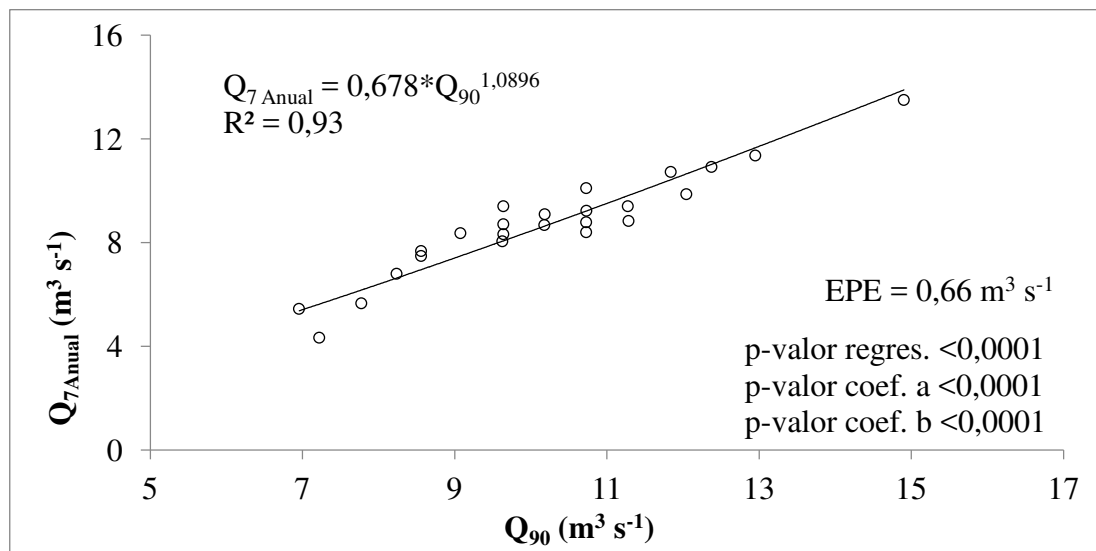


FIGURA 7: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Desemboque

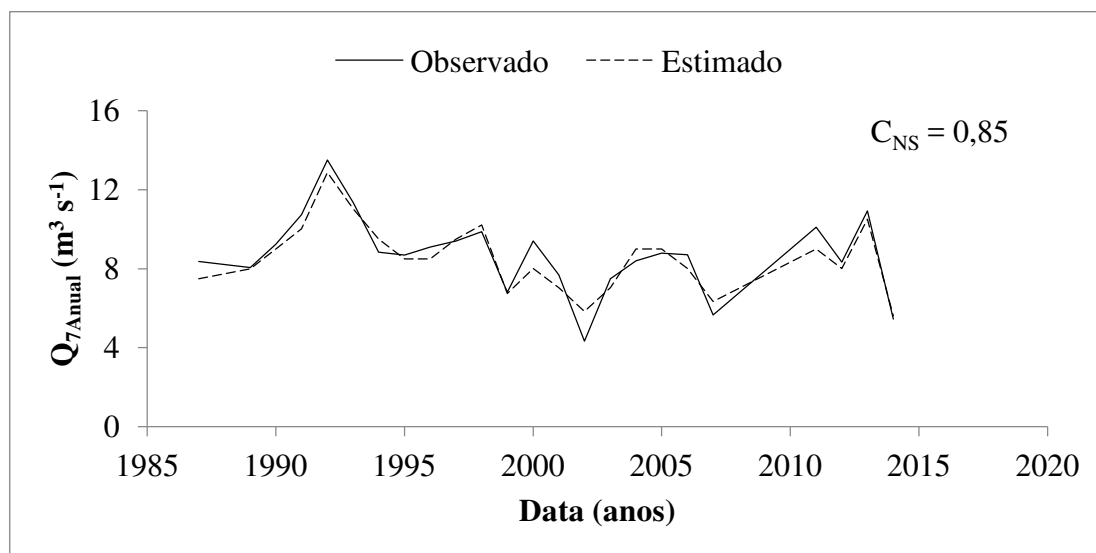


FIGURA 8: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque

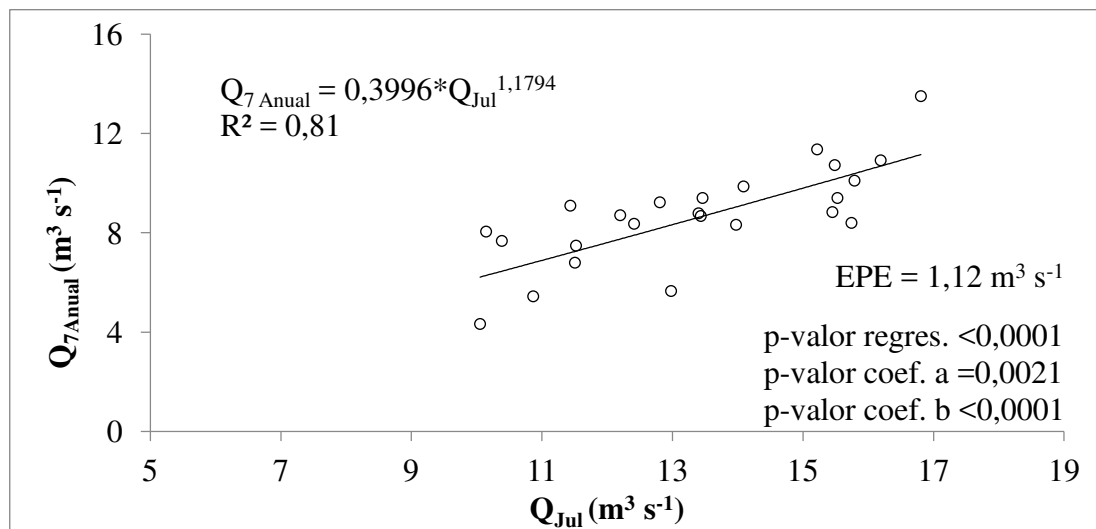
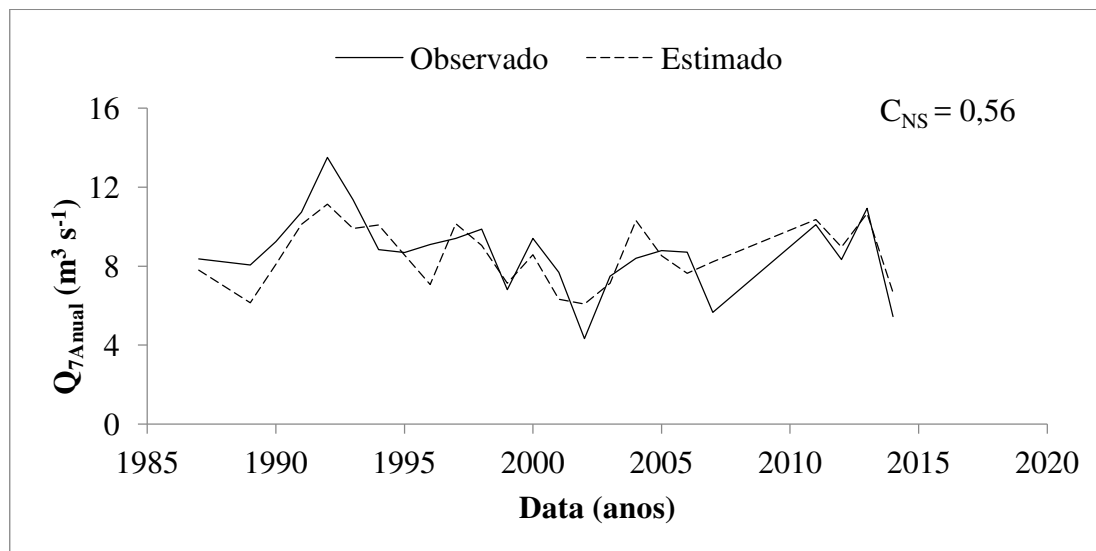


FIGURA 9: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque



4.1.2 Resultados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de $Q_{7 \text{ Anual}}$ em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} e Q_{90} , com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 10, 12 e 14), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 11, 13 e 15), para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista.

Analizando as FIGURAS 10, 12 e 14, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,76, atendendo ao recomendado por Stedinger e Thomas (1985). Além disso, é importante destacar que todos os modelos foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados.

Nas FIGURAS 11, 13 e 15 estão dispostos os resultados no teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), os quais apresentaram valores de C_{NS} acima de 0,94. Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) citado por Collischonn (2001), valor de C_{NS} acima de 0,75 já permite afirmar que a precisão dos modelos gerados é adequada/boa. Este resultado é superior ao encontrado por Viola (2008), em simulação hidrológica no Rio Aiuruoca, em Minas Gerais.

FIGURA 10: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7 \text{ Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

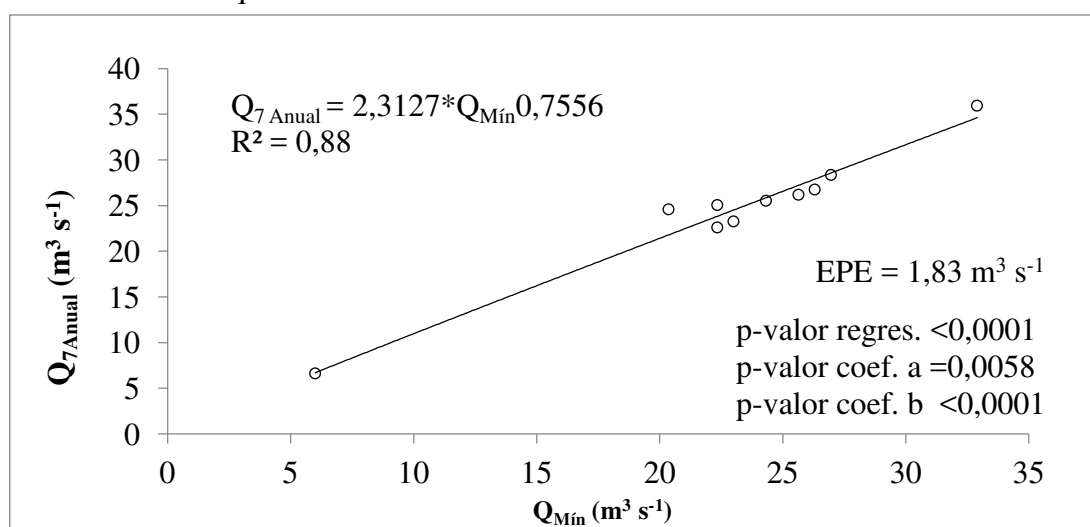


FIGURA 11: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

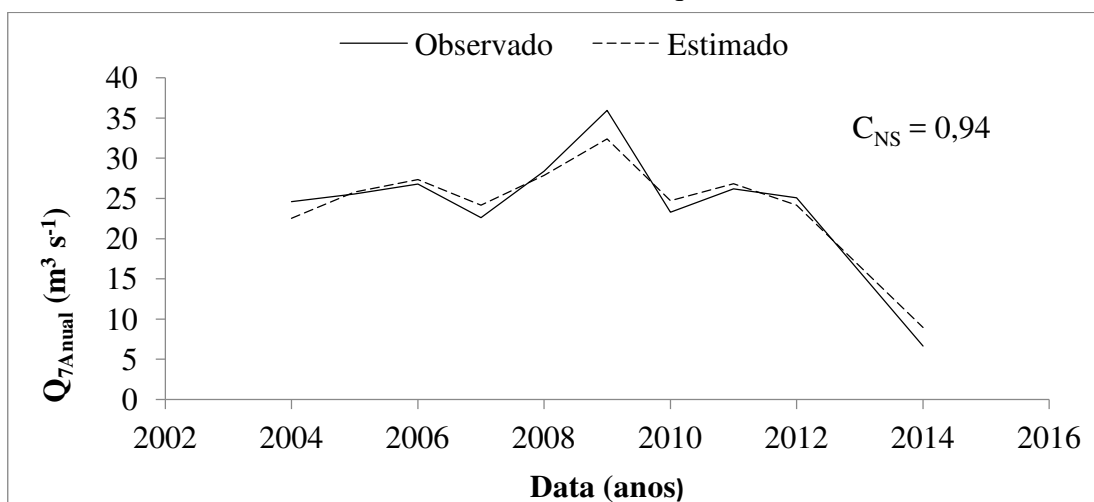


FIGURA 12: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

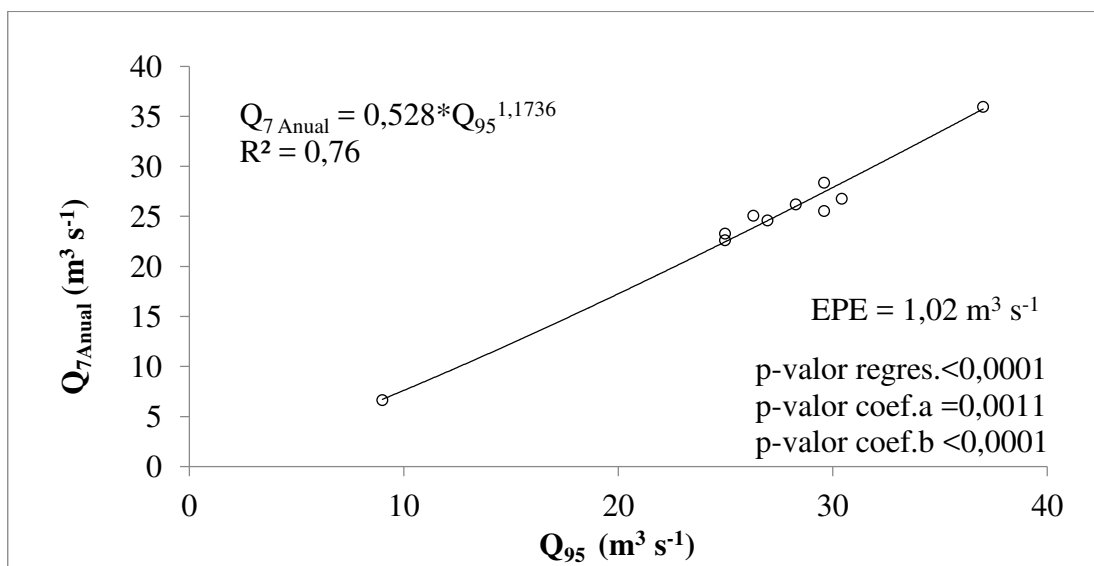


FIGURA 13: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

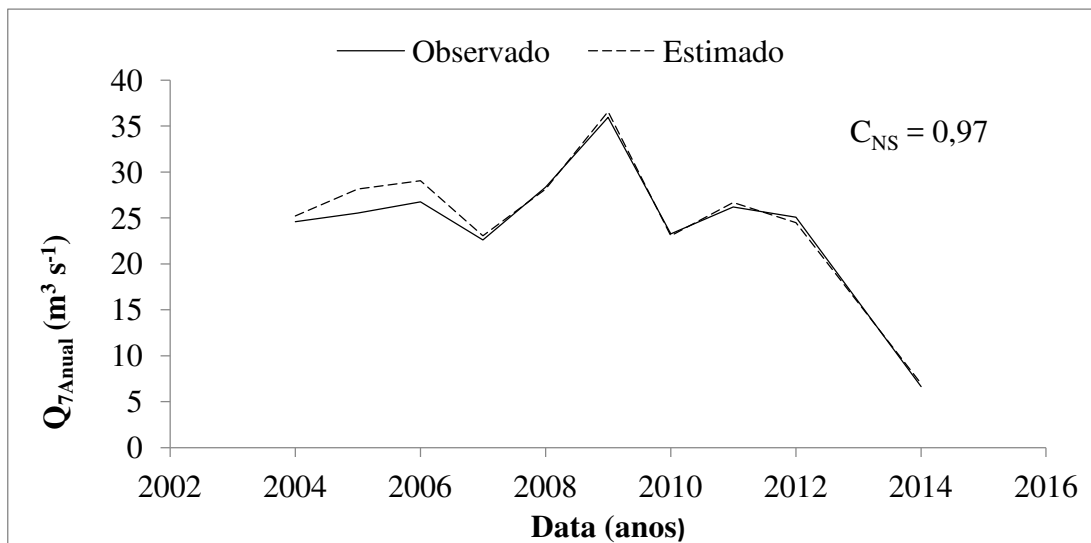


FIGURA 14: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

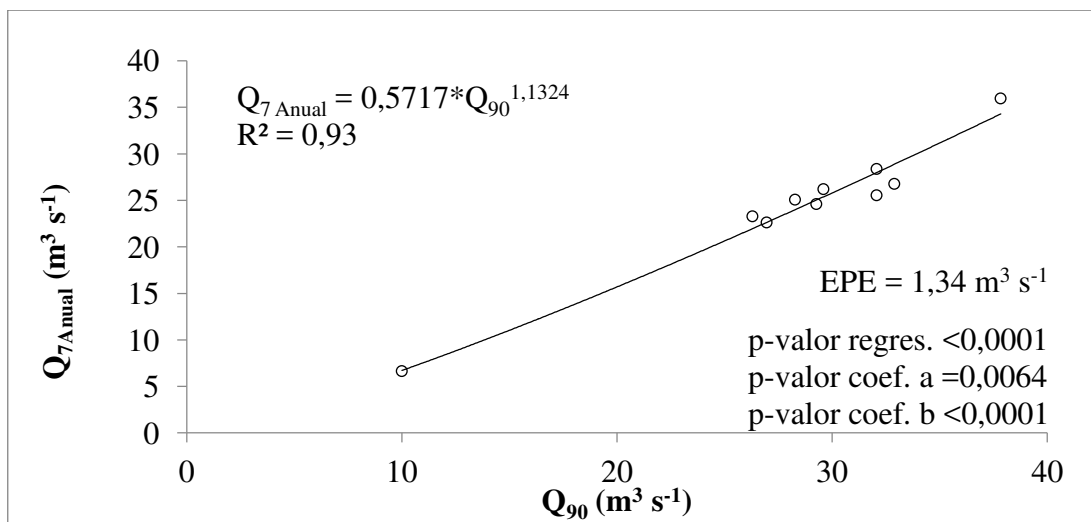
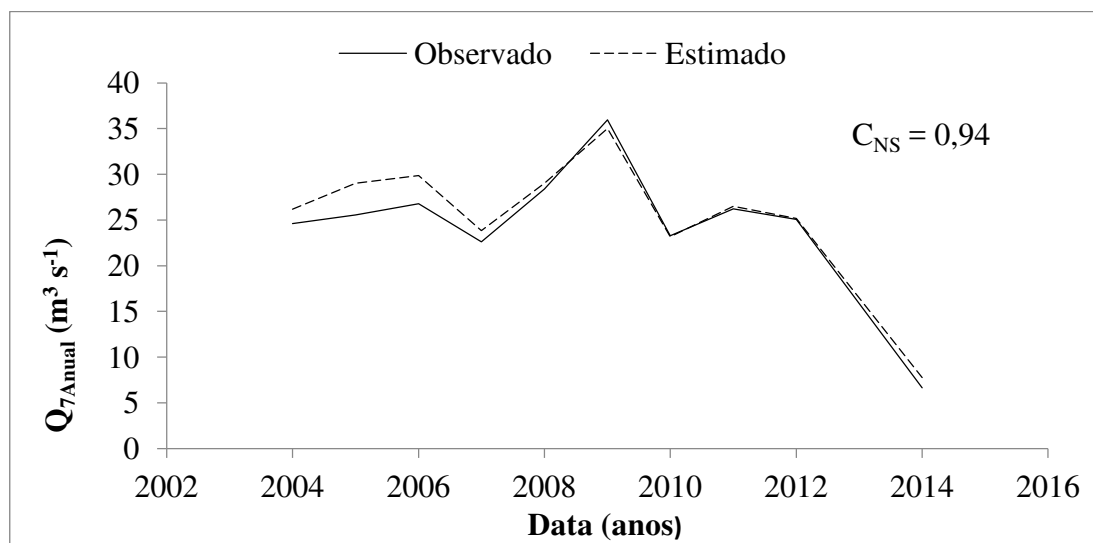


FIGURA 15: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista



4.1.3 Resultados de $Q_{7\text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica Ponte BR-452

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de $Q_{7\text{ Anual}}$ em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} e Q_{90} , com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 16, 18 e 20), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 17, 19 e 21), para a estação fluviométrica Ponte BR-452.

Analisando as citadas figuras, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica, bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) e C_{NS} acima de 0,82 e 0,91, respectivamente. Ressalta-se também, os baixos valores do erro padrão de estimativa (EPE) (menores do que $1,00 m^3 s^{-1}$), os quais, frente aos dados observados de $Q_{7\text{ Anual}}$ da estação Ponte BR-452, também fornece segurança no uso de qualquer uma das equações geradas.

FIGURA 16: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452

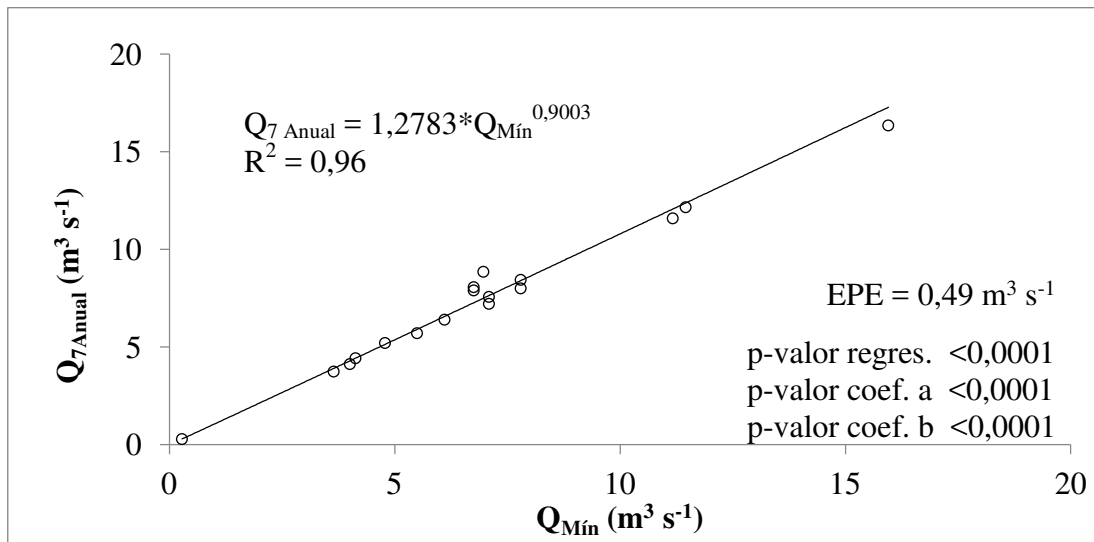


FIGURA 17: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452

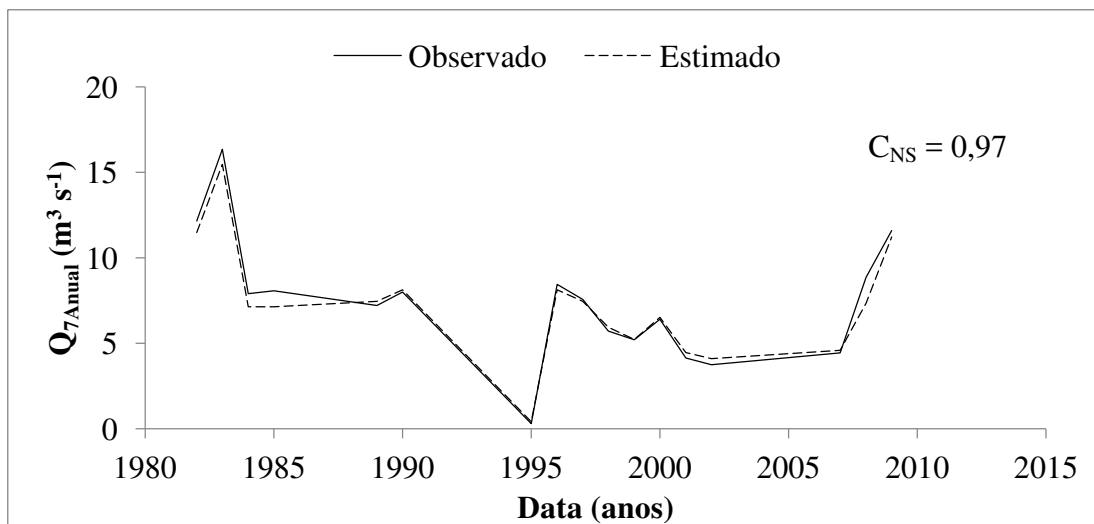


FIGURA 18: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Ponte BR-452

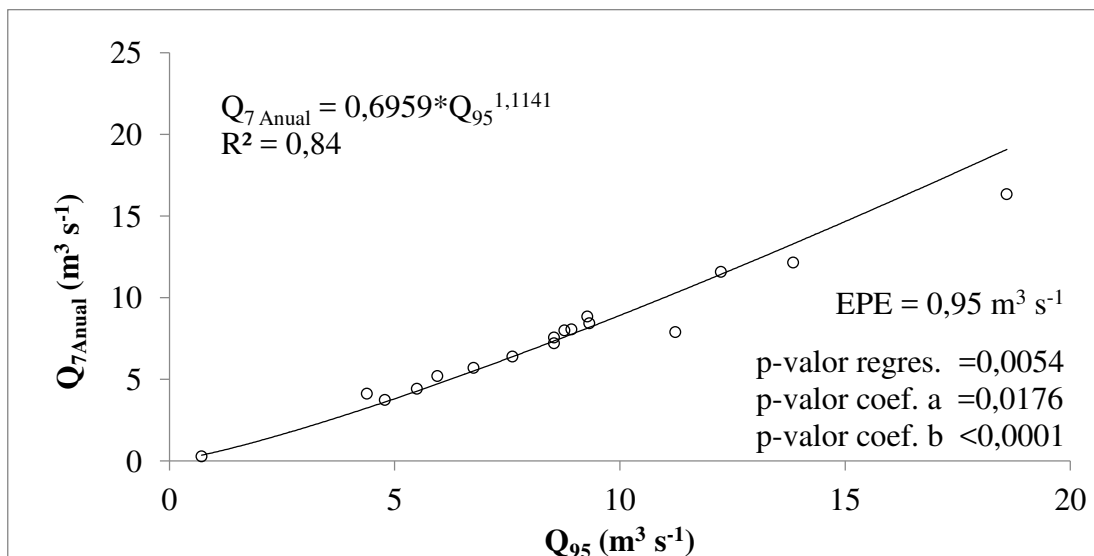


FIGURA 19: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Ponte BR-452

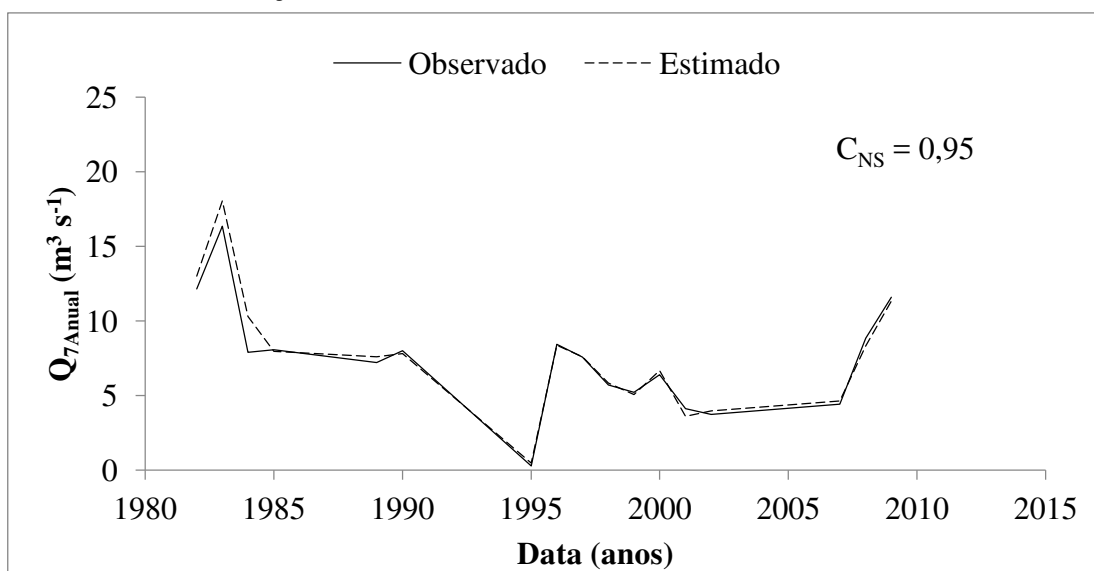


FIGURA 20: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Ponte BR-452

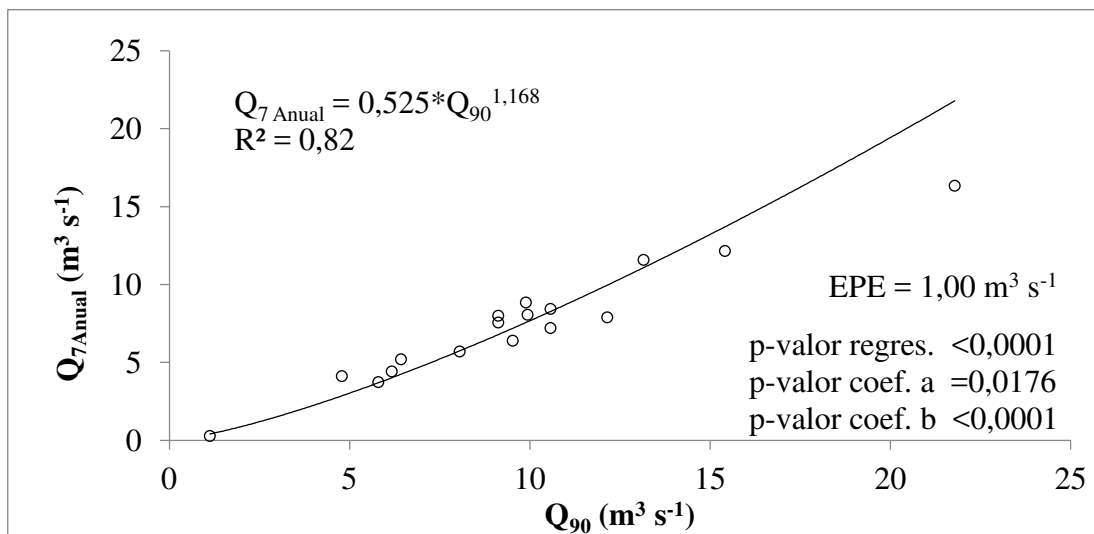
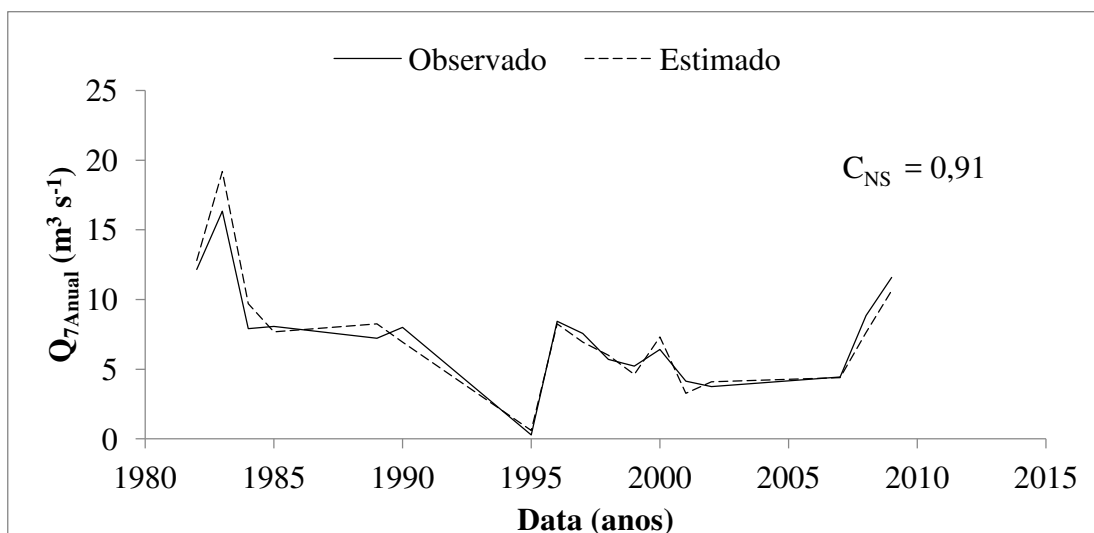


FIGURA 21: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Ponte BR-452



4.1.4 Resultados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica Capim Branco

Neste tópico serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de $Q_{7 \text{ Anual}}$ em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} e Q_{90} , com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 22, 24 e 26), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 23, 25 e 27), para a estação fluviométrica Capim Branco.

Analisando as FIGURAS 24, 24 e 26, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica apresentaram excelente ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,97, atendendo ao recomendado por Stedinger e Thomas (1985). Ademais, é importante destacar que todos os modelos foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados.

Contudo, ao se analisar os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), dispostos nas FIGURAS 23, 25 e 27, verifica-se dentre elas, que somente a estimativa de $Q_{7 \text{ Anual}}$ a partir dos dados observados de $Q_{\text{Mín}}$ (FIGURA 23), proporcionou um resultado de C_{NS} considerado bom. Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001), valor de C_{NS} acima de 0,75 já permite afirmar que a precisão dos modelos gerados é adequada/boa.

Por outro lado, quando se avalia a eficiência do modelo de regressão em predizer o valor de $Q_{7 \text{ Anual}}$ a partir dos dados observados de Q_{95} (FIGURA 25), verifica-se que o valor C_{NS} de 0,44 alcançado pelo citado modelo, permite classificá-lo, segundo orientação de Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001), como aceitável.

Contudo, o modelo de regressão que estima o valor de $Q_{7 \text{ Anual}}$ a partir dos dados observados de Q_{90} (FIGURA 27) não foi aprovado pelo teste de Nash-Sutcliffe. O valor de C_{NS} calculado para o mesmo foi de 0,33, o que implica em rejeitá-lo, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001).

FIGURA 22: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Capim Branco

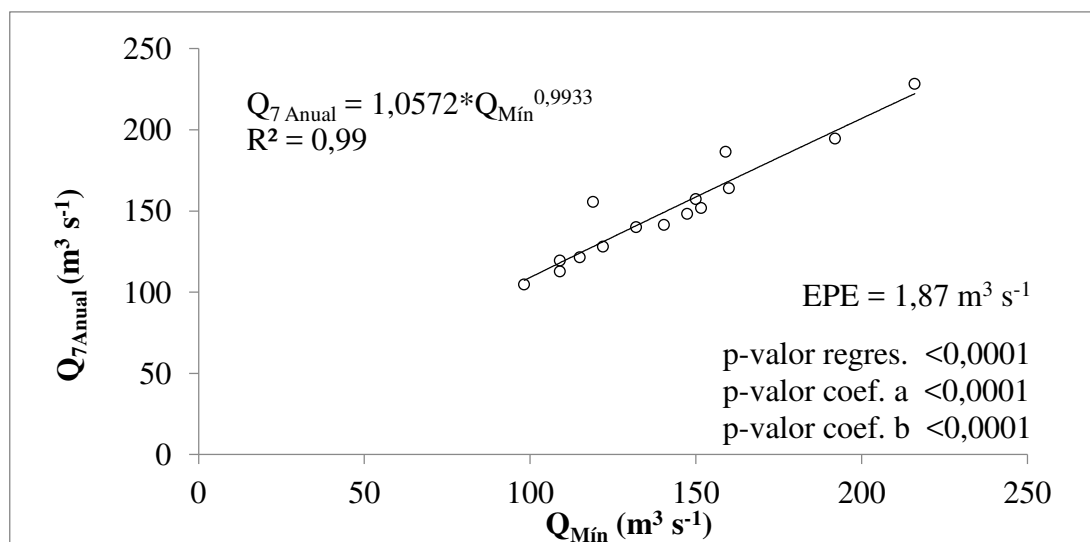


FIGURA 23: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Capim Branco

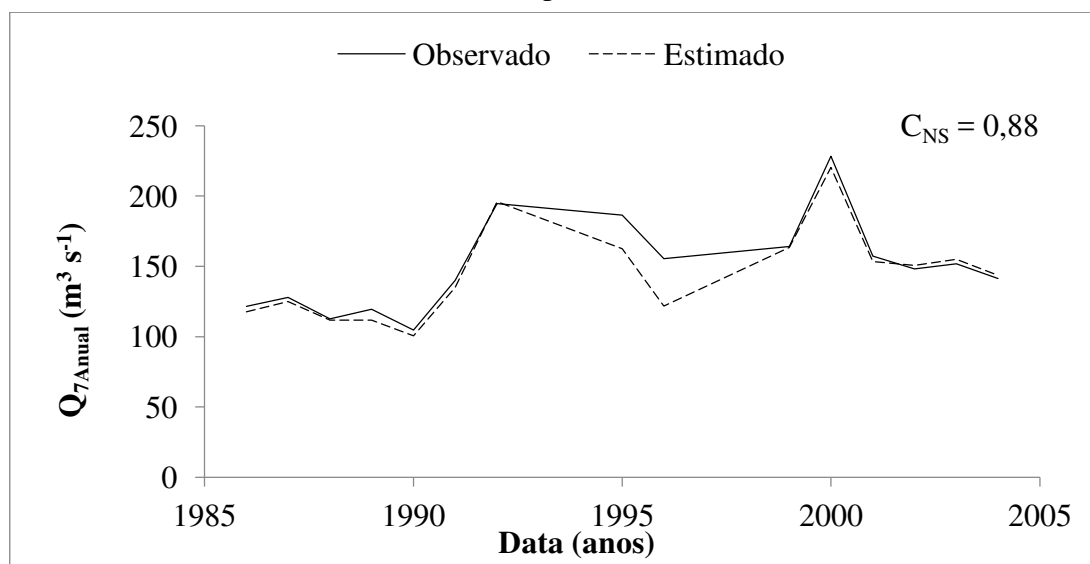


FIGURA 24: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Capim Branco

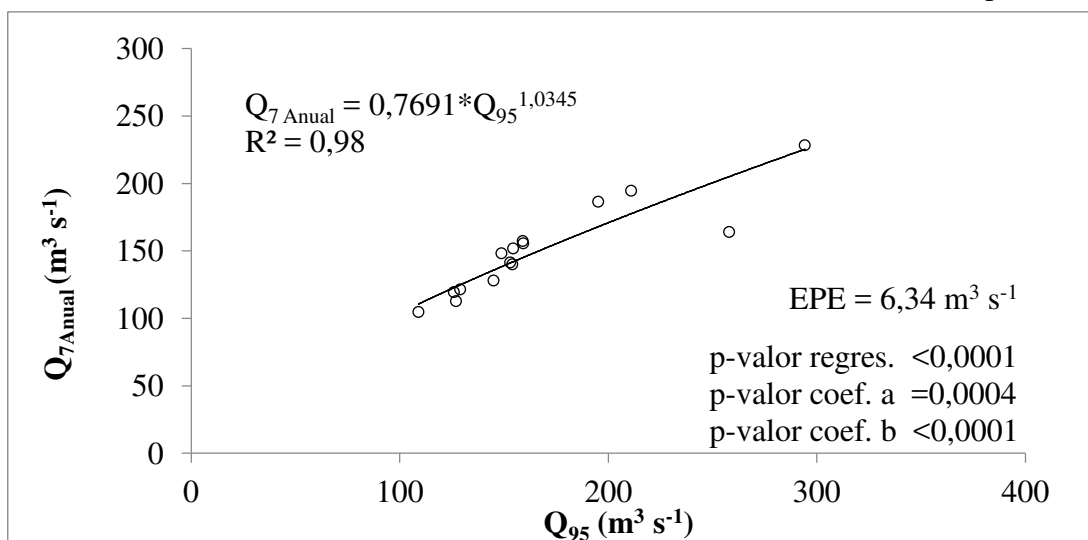


FIGURA 25: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Capim Branco

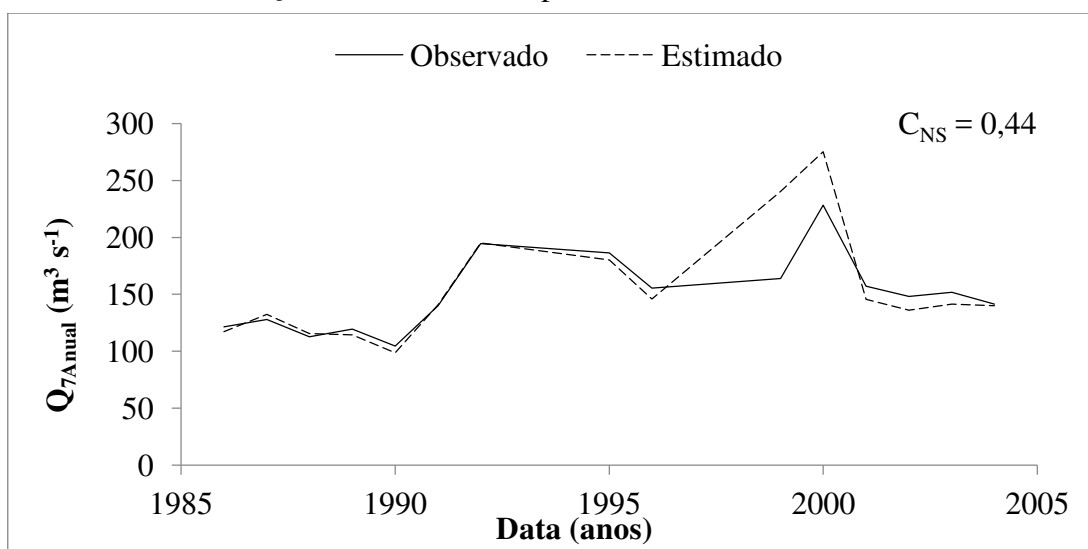


FIGURA 26: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Capim Branco

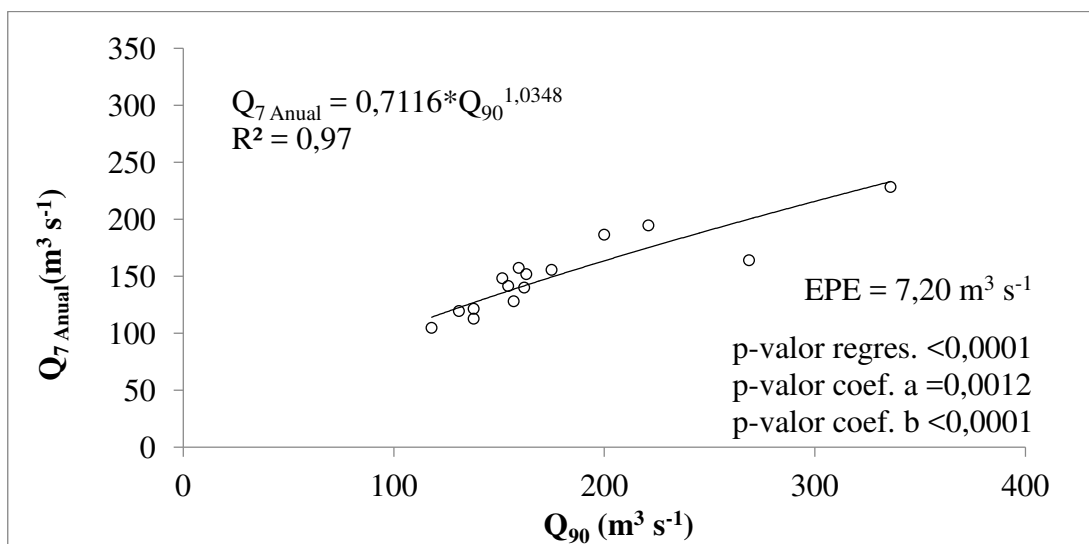
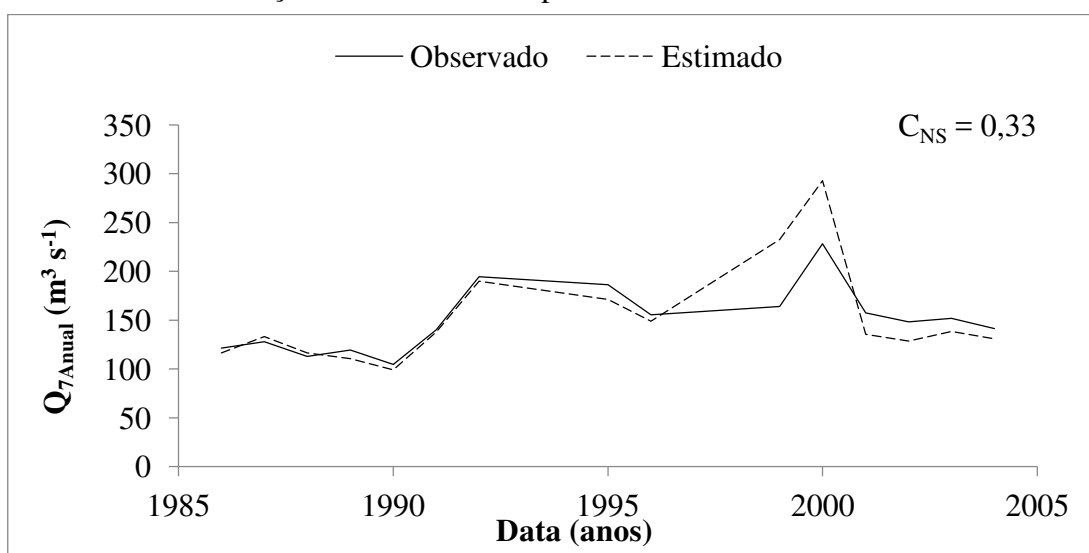


FIGURA 27: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Capim Branco



4.1.5 Resultados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ para a estação fluviométrica Letreiro

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de $Q_{7 \text{ Anual}}$ em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} , Q_{90} e Q_{Jul} com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 28, 30, 32 e 34), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 29, 31, 33 e 35), para a estação fluviométrica Letreiro.

Analisando as citadas figuras, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,80. Ressalta-se também, os baixos valores de erro padrão de estimativa (EPE) (menores do que $0,79 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), os quais, frente aos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ da estação Letreiro, também fornece segurança no uso de qualquer uma das equações geradas.

Não obstante, bons resultados no teste de eficiência (C_{NS}) foram alcançados pelos modelos de regressão que estimam $Q_{7 \text{ Anual}}$ a partir dos dados observados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} e Q_{90} (FIGURAS 29, 31 e 33, respectivamente). Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001), valor de C_{NS} acima de 0,75 já permite afirmar que a precisão dos modelos gerados é adequada/boa.

Por outro lado, ao se observar o resultado de C_{NS} equivalente a 0,66, contido na FIGURA 35, nota-se que o modelo estimador de $Q_{7 \text{ Anual}}$ a partir dos dados observados de Q_{Jul} , apresentou um nível de eficiência considerada aceitável, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001). Apesar de alcançar uma eficiência menor quando comparado com os demais, este modelo apresenta uma grande vantagem que é estimar a $Q_{7 \text{ Anual}}$ a partir dos dados médios mensais de julho. Esta condição permite a cobertura de falhas nos dados de vazão mínima anual de sete dias para a estação Letreiro em um ano qualquer, bastando somente que a mesma contenha a vazão média do mês de julho naquele ano.

FIGURA 28: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Letreiro

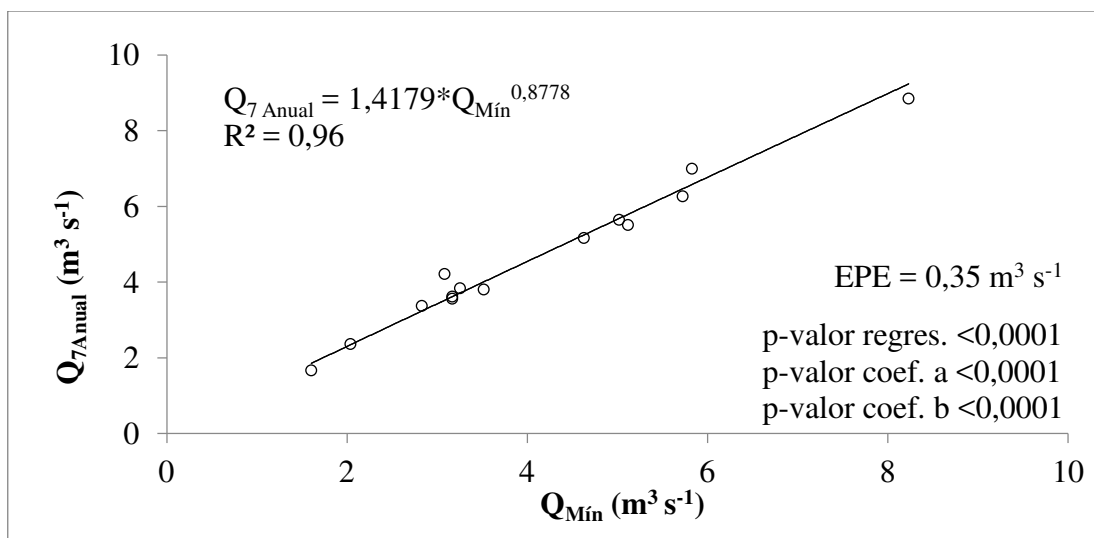


FIGURA 29: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Letreiro

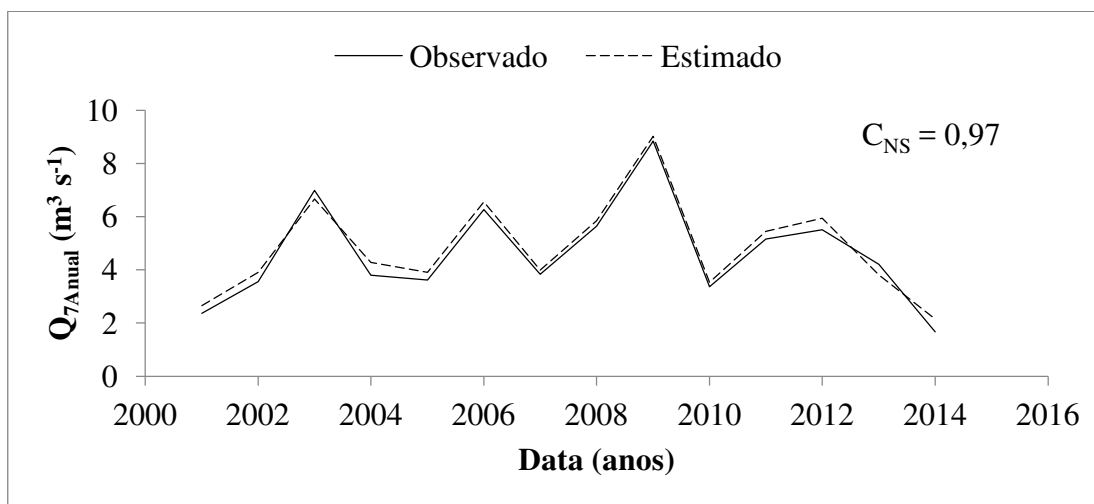


FIGURA 30: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Letreiro

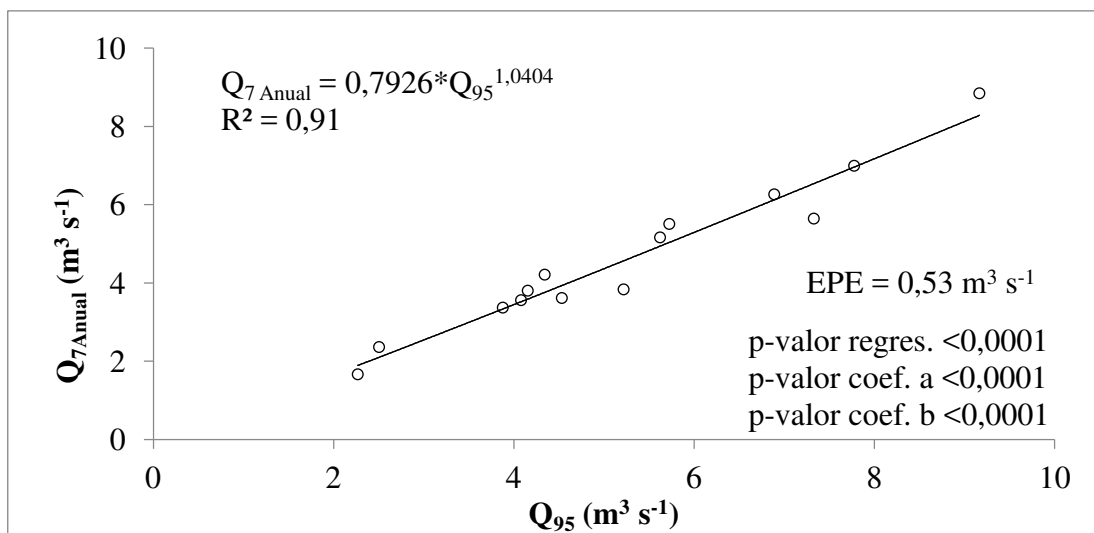


FIGURA 31: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{95} , na estação fluviométrica Letreiro

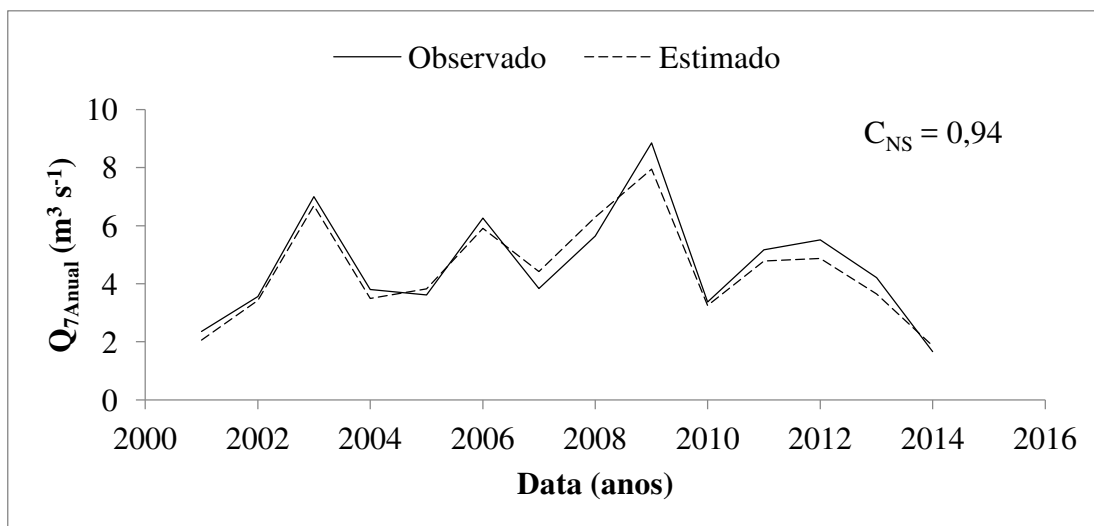


FIGURA 32: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Letreiro

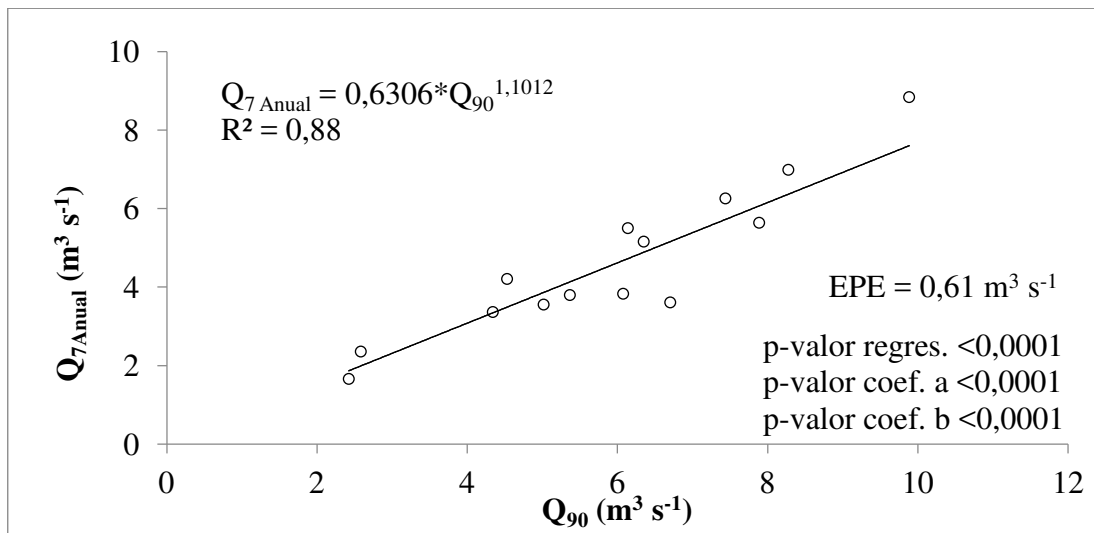


FIGURA 33: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Letreiro

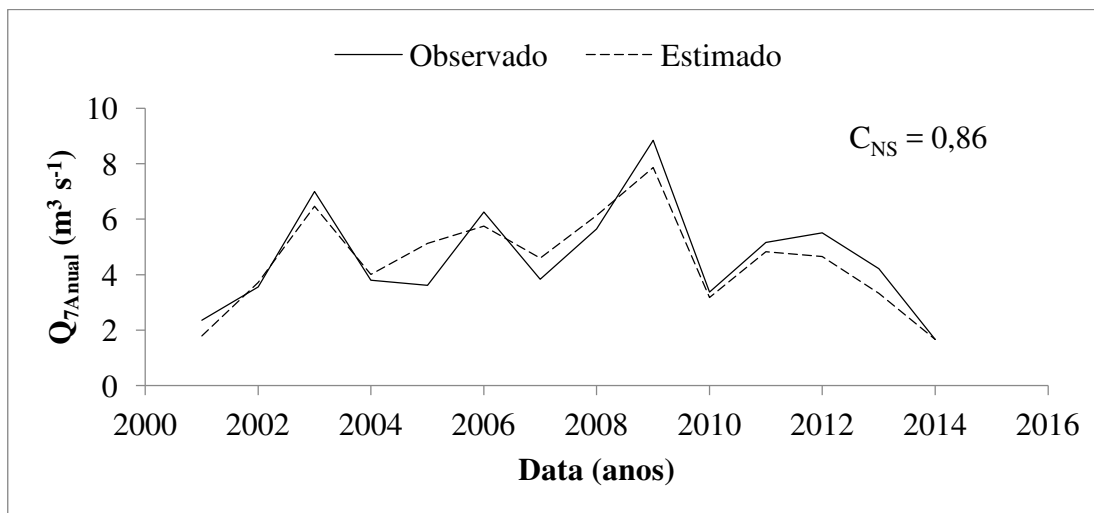


FIGURA 34: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro

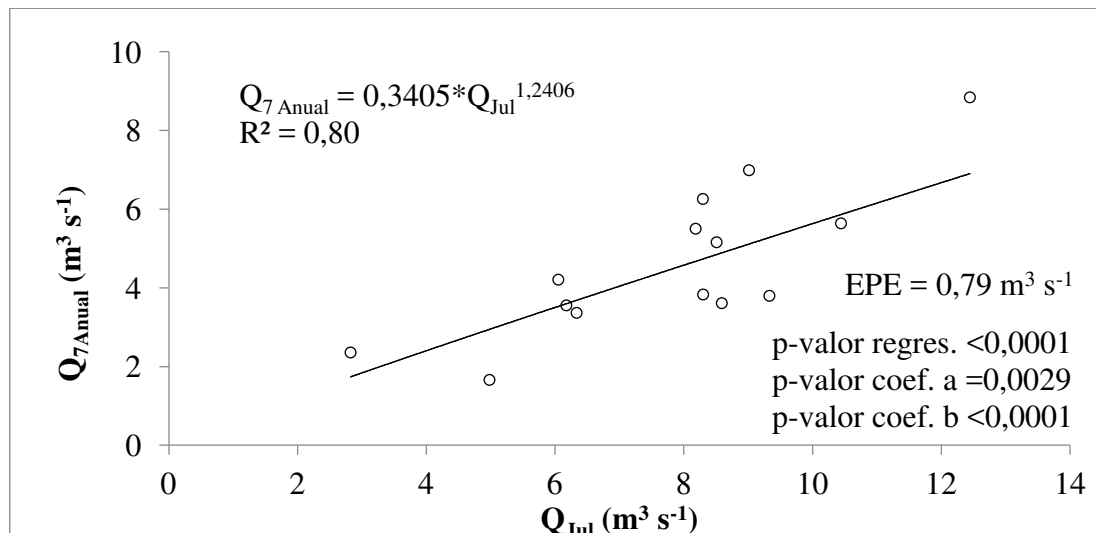
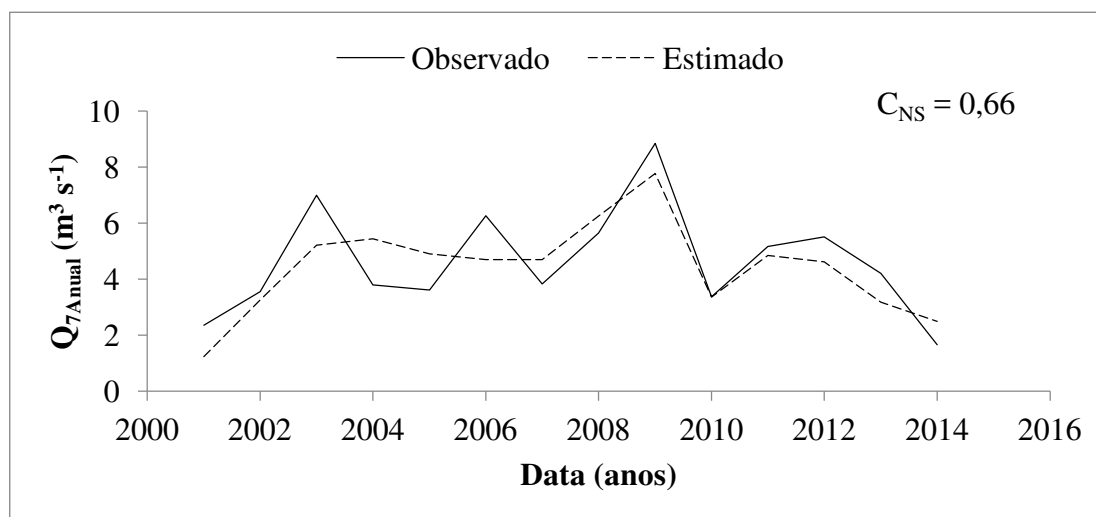


FIGURA 35: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro



4.1.6 Comparação de $Q_{7,10}$ calculado a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local e estimados pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e pelo Atlas Digital das Águas de Minas

Este trabalho tem como objetivo também, comparar os dados calculados de $Q_{7,10}$ em cada estação fluviométrica, com aqueles estimados pelas bibliografias Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e Atlas Digital das Águas de Minas. Não obstante, os valores de $Q_{7,10}$ obtidos pelas vias citadas anteriormente foram comparados com aqueles observados no local, ou seja, em cada estação fluviométrica. Os dados observados foram considerados como padrão e serviram de parâmetro de avaliação do erro entre as metodologias.

Nesta etapa, os valores de $Q_{7,10}$ foram calculados, por meio dos modelos de distribuição de probabilidade Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros (LogNormal3P), a partir dos dados observados de Q_7 Anual, obtido diretamente nos dados das estações, dando origem aos padrões. Da mesma forma, foi feita a estimativa de $Q_{7,10}$, por esses dois modelos de distribuição de probabilidade, a partir dos dados estimados de Q_7 Anual, utilizando para isso, os modelos de regressão gerados neste trabalho. Ressalta-se que o teste de Kolmogorov-Smirnov foi realizado com o intuito de verificar a aderência dos dados observados de Q_7 Anual às distribuições de probabilidades citadas anteriormente, e seu resultado encontra-se compilado na TABELA 6A, no Anexo deste trabalho. Ao se observar a referida tabela, nota-se que as distribuições de probabilidade aqui utilizadas foram consideradas adequadas.

Os valores de $Q_{7,10}$ calculados e estimados estão reunidos nas TABELAS de número 6 a 10, incluindo os valores obtidos por Distribuição Gumbel, Log-Normal a 3 parâmetros, estimado por meio do Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e pelo Atlas Digital das Águas de Minas. Nessas tabelas estão compilados também as estimativas de Erro Absoluto e Erro Relativo Percentual.

Analisando a TABELA 6, nota-se para a estação fluviométrica Desemboque, que o valor de $Q_{7,10}$ calculada por Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros, a partir dos dados medidos na estação, foram respectivamente de 5,70 e 6,20 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Quando se avalia os resultados obtidos por meio das bibliografias Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e pelo Atlas Digital das Águas de Minas, respectivamente, 4,82 e 2,77 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, comparado com as metodologias estatísticas, verifica-se diferença marcante nos resultados. Notadamente para o Atlas Digital das Águas de Minas, essa discrepância se refletiu nos erros absoluto e relativo, os quais foram, respectivamente, de 2,93 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ e -51,40%

quando comparado com Gumbel, e $3,43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $-55,32\%$ em relação à Log-Normal a 3 parâmetros. Apesar de altos, esses erros relativos estão dentro daqueles calculados por Silva et al. (2006), ao comparar valores de vazão mínima de sete dias consecutivos calculados em estações fluviométricas localizadas a montante do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos - Alto Rio Grande, MG. Em sua conclusão o autor fez um comparativo com valores obtidos pela metodologia proposta por Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), obtendo intervalo de erro relativo de $-4,17\%$ a $46,34\%$.

É importante ressaltar que a comparação mais justa dos resultados obtidos por meio do Atlas Digital das Águas de Minas é com o método Log-Normal a 3 parâmetros, uma vez que esta bibliografia não usa o método de Gumbel como uma das formas de estimativa de $Q_{7,10}$ em sua base de cálculos.

Em relação ao Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, também houve diferença marcante entre os dados observados e aqueles obtidos por meio dessa bibliografia. Os erros absoluto e relativo encontrados foram, respectivamente, de $0,88 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $-15,44\%$ quando comparado com Gumbel, e $1,38 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $-22,26\%$ em relação à Log-Normal a 3 parâmetros. O sinal negativo no erro relativo indica que o método subestima o valor da $Q_{7,10}$ em comparação com os dados observados na estação fluviométrica.

Por outro lado, quando se analisa o resultado de $Q_{7,10}$, na estação fluviométrica Desemboque, por meio da estimativa de $Q_7 \text{ Anual}$ a partir dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} , Q_{90} e Q_{Jul} (TABELA 6), verificam-se erros muito menores quando comparados com os resultados obtidos pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e Atlas Digital das Águas de Minas. O melhor resultado, quando se utilizou o método de Gumbel para a estimativa de $Q_{7,10}$, foi obtido com os dados de $Q_{\text{Mín}}$ (erro absoluto e relativo, respectivamente, de $0,02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $0,35\%$). Por outro lado, quando se fez o uso do método Log-Normal a 3 parâmetros, o melhor resultado foi obtido com a estimativa de $Q_{7,10}$, a partir de Q_{Jul} (erro absoluto e relativo, respectivamente, de $0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $0,81\%$).

Na TABELA 7 estão reunidos os resultados de $Q_{7,10}$ calculados com dados observados de $Q_7 \text{ Anual}$ por Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros. Nela constam também, os resultados obtidos por meio das bibliografias Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, Atlas Digital das Águas de Minas e aqueles estimados por modelos de regressão em função de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} e Q_{90} , para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista. Na TABELA 7 encontram-se também, os resultados dos erros

absoluto e relativo calculados em relação à $Q_{7,10}$, por meio dos métodos probabilísticos (Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros).

Analisando a TABELA 7, nota-se para esta estação fluviométrica, que as metodologias contidas no Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e no Atlas Digital das Águas de Minas, proporcionaram erros muito elevados em relação aos dados observados (Gumbel e LogNormal3P). O erro relativo ficou acima de 80% para ambas as literaturas, quando comparados com a $Q_{7,10}$ calculada por meio de Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros, a partir de dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$.

TABELA 6: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica Desemboque

| Método de estimativa de $Q_{7,10}$ | Valor de $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) | Erros de estimativa | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|-------------|
| | | Em relação a Gumbel | | Em relação a LogNormal3P | |
| | | Absoluto ($m^3 s^{-1}$) | Relativo (%) | Absoluto ($m^3 s^{-1}$) | Relativo(%) |
| Gumbel ¹ | 5,70 | ... | ... | ... | ... |
| LogNormal3P ² | 6,20 | ... | ... | ... | ... |
| Deflúvios ³ | 4,82 | 0,88 | -15,44 | 1,38 | -22,26 |
| Atlas Digital ⁴ | 2,77 | 2,93 | -51,40 | 3,43 | -55,32 |
| $Q_{\text{Mín}}$ | 5,72 | 0,02 | 0,35 | 0,48 | -7,74 |
| Q_{95} | 6,04 | 0,34 | 5,96 | 0,16 | -2,58 |
| Q_{90} | 5,89 | 0,19 | 3,33 | 0,31 | -5,00 |
| Q_{Jul} | 6,25 | 0,55 | 9,65 | 0,05 | 0,81 |

Nota: ¹ estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos; ² estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade Log-Normal a 3 parâmetros; ³ Deflúvios Superficiais de Minas Gerais; ⁴ Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Esse erro elevado se justifica porque as duas bibliografias, Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e Atlas Digital das Águas de Minas, apresentam modelos de regressão ajustados para grandes áreas consideradas hidrologicamente homogêneas. No entanto, podem ser consideradas homogêneas em visão macro, porém, o resultado obtido neste trabalho mostra que a forma de avaliação deve ser revista. Devem ser implementados estudos pormenorizados dessas regiões, procurando identificar as diferenças mais sutis entre uso do solo e forma do relevo, os quais existem e podem estar contribuindo nos resultados da $Q_{7,10}$.

Na TABELA 8 estão reunidos, para a estação Ponte BR-452, os resultados de $Q_{7,10}$ calculados com dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ por Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros, estimados por meio das bibliografias Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, Atlas Digital das Águas de Minas e aqueles estimados por modelos de regressão em função de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} e Q_{90} . Nessa tabela encontram-se também, os resultados dos erros absoluto e relativo calculados em relação à $Q_{7,10}$, por meio dos métodos probabilísticos (Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros).

TABELA 7: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

| Método de estimativa de $Q_{7,10}$ | Valor de $Q_{7,10}$ ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) | Erro de Estimativa | | | |
|------------------------------------|--|---|--------------|---|--------------|
| | | Em relação a Gumbel | | Em relação a LogNormal3P | |
| | | Absoluto ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) | Relativo (%) | Absoluto ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) | Relativo (%) |
| Gumbel ¹ | 14,98 | ... | ... | ... | ... |
| LogNormal3P ² | 16,87 | ... | ... | ... | ... |
| Deflúvios ³ | 1,92 | 13,06 | -87,18 | 14,95 | -88,62 |
| Atlas Digital ⁴ | 2,72 | 12,26 | -81,84 | 14,15 | -83,88 |
| $Q_{\text{Mín}}$ | 7,27 | 7,71 | -51,47 | 9,60 | -56,91 |
| Q_{95} | 11,73 | 3,25 | -21,70 | 5,14 | -30,47 |
| Q_{90} | 12,43 | 2,55 | -17,02 | 4,44 | -26,32 |

Nota: ¹ estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos; ² estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade Log-Normal a 3 parâmetros; ³ Deflúvios Superficiais de Minas Gerais; ⁴ Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Analisando a TABELA 8, nota-se o bom desempenho alcançado pelo Atlas Digital das Águas de Minas, onde os erros, absoluto e relativo verificados foram, respectivamente, de $0,08 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ e 3,10%, quando comparados com dados calculados por meio da distribuição Gumbel. Por outro lado, quando se comparou com a distribuição Log-Normal a 3 parâmetros, uma das indicadas na citada bibliografia, os erros foram maiores ($0,30 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ e -10,13%). Contudo, esse valor de erro ainda permite afirmar que o Atlas Digital das Águas de Minas pode ser usado para a estimativa da vazão, a partir dos dados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ obtidos na estação fluviométrica Ponte BR-452, com segurança.

Por outro lado, ao se observar a TABELA 8 verifica-se, para esta estação fluviométrica, que o Deflúvios Superficiais de Minas Gerais proporcionou erros muito

elevados em relação aos dados observados (Gumbel e LogNormal3P). O erro relativo ficou acima de 60%, quando comparados com a $Q_{7,10}$ calculada por meio de Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros, a partir de dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$.

Entretanto, quando se analisa os resultados de $Q_{7,10}$ calculados com dados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ estimados a partir de valores observados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} e Q_{90} , verificam-se erros muito menores do que aqueles alcançados pelo Deflúvios Superficiais das Águas de Minas. Destaque deve ser dado aos resultados de erros alcançados pela estimativa de $Q_{7,10}$ calculados por Gumbel com dados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ estimados com valores observados de Q_{95} ($0,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $-7,06\%$, respectivamente para erro absoluto e relativo em comparação com dados observados).

TABELA 8: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica Ponte BR-452

| Método de estimativa de $Q_{7,10}$ | Valor de $Q_{7,10}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) | Erro de estimativa | | | |
|------------------------------------|---|------------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
| | | Em relação a Gumbel | | Em relação a LogNormal3P | |
| | | Absoluto (m^3/s) | Relativo (%) | Absoluto (m^3/s) | Relativo (%) |
| Gumbel ¹ | 2,62 | ... | ... | ... | ... |
| LogNormal3P ² | 3,00 | ... | ... | ... | ... |
| Deflúvios ³ | 0,95 | 1,66 | -63,62 | 2,05 | -68,29 |
| Atlas Digital ⁴ | 2,70 | 0,08 | 3,10 | 0,30 | -10,13 |
| $Q_{\text{Mín}}$ | 2,28 | 0,33 | -12,72 | 0,72 | -23,92 |
| Q_{95} | 2,43 | 0,18 | -7,06 | 0,57 | -18,98 |
| Q_{90} | 2,10 | 0,51 | -19,66 | 0,90 | -29,97 |

Nota: ¹ estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos; ² estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade Log-Normal a 3 parâmetros; ³ Deflúvios Superficiais de Minas Gerais; ⁴ Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Os resultados de $Q_{7,10}$ calculados, para a estação fluviométrica Capim Branco, com dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ por Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros, estimados por meio das bibliografias Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, Atlas Digital das Águas de Minas e aqueles estimados por modelos de regressão em função de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} e Q_{90} , estão compilados na TABELA 9.

Analisando a TABELA 9, nota-se para esta estação fluviométrica, que as metodologias contidas no Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e no Atlas Digital das

Águas de Minas, proporcionaram erros muito elevados em relação aos dados observados (Gumbel e LogNormal3P). O erro relativo ficou acima de 80% para o Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e acima de 60% para o Atlas Digital das Águas de Minas, quando comparados com a $Q_{7,10}$ calculada por meio de Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros, a partir de dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$.

Por outro lado, quando se analisa os resultados de $Q_{7,10}$ calculados com dados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ estimados a partir de valores observados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} , Q_{90} e Q_{Jul} , verificam-se erros muito menores do que aqueles alcançados pelo Deflúvios Superficiais das Águas de Minas e pelo Atlas Digital das Águas de Minas. Destaque deve ser dado aos resultados de erros alcançados pela estimativa de $Q_{7,10}$ calculados por Gumbel com dados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ estimados com valores observados de $Q_{\text{Mín}}$ e Q_{Jul} ($4,98 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; -4,67% e $10,88 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; -10,20%, respectivamente para erro absoluto e relativo). Essa condição facilita o uso dessas

TABELA 9: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica Capim Branco

| Método de Estimativa de $Q_{7,10}$ | Valor de $Q_{7,10}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) | Erro de estimativa | | | |
|------------------------------------|---|------------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
| | | Em relação a Gumbel | | Em relação a LogNormal3P | |
| | | Absoluto (m^3/s) | Relativo (%) | Absoluto (m^3/s) | Relativo (%) |
| Gumbel ¹ | 106,73 | ... | ... | ... | ... |
| LogNormal3P ² | 111,96 | ... | ... | ... | ... |
| Deflúvios ³ | 17,11 | 89,62 | -83,97 | 94,85 | -84,72 |
| Atlas Digital ⁴ | 41,37 | 65,36 | -61,24 | 70,59 | -63,05 |
| $Q_{\text{Mín}}$ | 101,75 | 4,98 | -4,67 | 10,22 | -9,12 |
| Q_{95} | 90,81 | 15,92 | -14,91 | 21,15 | -18,89 |
| Q_{90} | 84,95 | 21,78 | -20,41 | 27,02 | -24,13 |
| Q_{Jul} | 95,85 | 10,88 | -10,20 | 16,12 | -14,39 |

Nota: ¹ estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos; ² estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade Log-Normal a 3 parâmetros; ³ Deflúvios Superficiais de Minas Gerais; ⁴ Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Avaliando dados de $Q_{7,10}$ calculados e estimados para a estação fluviométrica Letreiro (TABELA 10), verifica-se que o erro percentual calculado para a $Q_{7,10}$, foi subestimado em -67 e -71%, respectivamente para Gumbel e Log-Normal a 3

parâmetros, em relação aos valores estimados pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais. Contrariamente, os valores gerados pela metodologia do Atlas Digital das Águas de Minas se apresentaram também subestimadas, porém, com erros percentuais menores, entre -4 e -14%, respectivamente para Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros. Os valores de $Q_{7,10}$, calculados a partir $Q_{7\text{Anual}}$ estimadas pelos modelos de regressão com dados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} , Q_{90} e Q_{Jul} , apresentaram diferença percentual menor quando comparados aos valores gerados pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais. Destaque é feito para a $Q_{7,10}$ estimada a partir de Q_{95} , com erro relativo de 1,40% em relação à distribuição Gumbel, e a $Q_{7,10}$ estimada a partir de Q_{Jul} , com erro relativo de -2,84% em relação à distribuição Log-Normal a 3 parâmetros.

TABELA 10: Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados na estação fluviométrica Letreiro

| Método de Estimativa de $Q_{7,10}$ | Valor de $Q_{7,10}$ ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) | Erro de estimativa | | | |
|------------------------------------|--|------------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
| | | Em relação a Gumbel | | Em relação a LogNormal3P | |
| | | Absoluto (m^3/s) | Relativo (%) | Absoluto (m^3/s) | Relativo (%) |
| Gumbel ¹ | 2,14 | ... | ... | ... | ... |
| LogNormal3P ² | 2,37 | ... | ... | ... | ... |
| Deflúvios ³ | 0,70 | 1,44 | -67,29 | 1,67 | -70,43 |
| Atlas Digital ⁴ | 2,05 | 0,09 | -4,21 | 0,32 | -13,40 |
| $Q_{\text{Mín}}$ | 2,44 | 0,30 | 14,02 | 0,07 | 3,07 |
| Q_{95} | 2,17 | 0,03 | 1,40 | 0,20 | -8,33 |
| Q_{90} | 2,24 | 0,10 | 4,67 | 0,13 | -5,38 |
| Q_{Jul} | 2,30 | 0,16 | 7,48 | 0,07 | -2,84 |

Nota: ¹ estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7\text{Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos; ² estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de $Q_{7\text{Anual}}$, usando a distribuição de probabilidade Log-Normal a 3 parâmetros; ³ Deflúvios Superficiais de Minas Gerais; ⁴ Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

4.2 Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão anual mínima – $Q_{\text{Mín}}$

Neste trabalho foi possível estimar valores de $Q_{\text{Mín}}$ em função das vazões médias mensais de julho (Q_{Jul}) somente para as estações fluviométricas Desemboque e Letreiro.

Para as demais estações, PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte Br-452 e Capim Branco, os critérios de corte não foram plenamente atendidos, o que impossibilitou que fossem gerados e avaliados os modelos de regressão.

Nas FIGURAS 36 e 38 encontram-se dispostos os modelos de regressão que melhor estimaram os valores de $Q_{\text{Mín}}$ em função dos dados de Q_{Jul} , respectivamente, para as estações Desemboque e Letreiro. Além disso, nessas figuras também estão compilados os resultados estatísticos desses modelos, como coeficiente de determinação (R^2), erro padrão de estimativa (EPE), teste F da equação de regressão (p-valor regres.) e teste t dos parâmetros da regressão (p-valor do coef. a e p-valor do coef. b).

Analisando as citadas figuras, verifica-se que os modelos de regressão expostos apresentaram ajuste satisfatórios aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,74. Stedinger e Thomas (1985) recomendam que as equações regressão gerem valores de coeficiente de determinação superiores a 0,70.

Ainda em relação aos dados contidos nas FIGURAS 36 e 38, verifica-se também, que os dois modelos de regressão foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados. No que diz respeito ao erro padrão da estimativa (EPE), ressaltam-se os baixos valores calculados para as duas estações.

Nas FIGURAS 37 e 39 estão dispostos os resultados no teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) das estações Desemboque Letreiro, respectivamente. Analisando-os, por meio da classificação proposta por Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001), conclui-se que os modelos de regressão possuem precisão aceitável. Esta condição ainda permite que os mesmos sejam usados na estimativa da vazão mínima anual, a partir dos dados de vazão média do mês de julho, para estações Desemboque e Letreiro.

FIGURA 36: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{\text{Mín}}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque

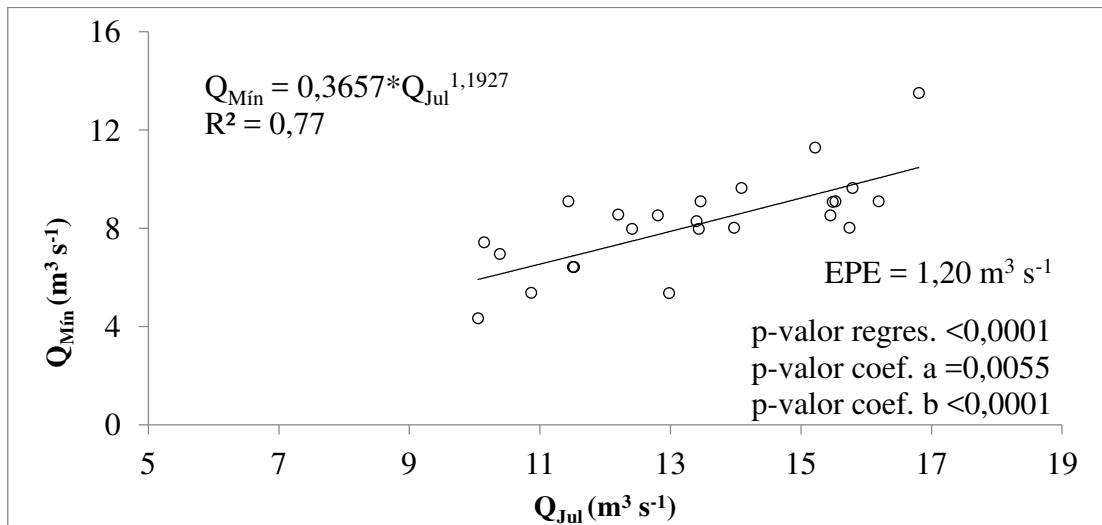


FIGURA 37: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{\text{Mín}}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque

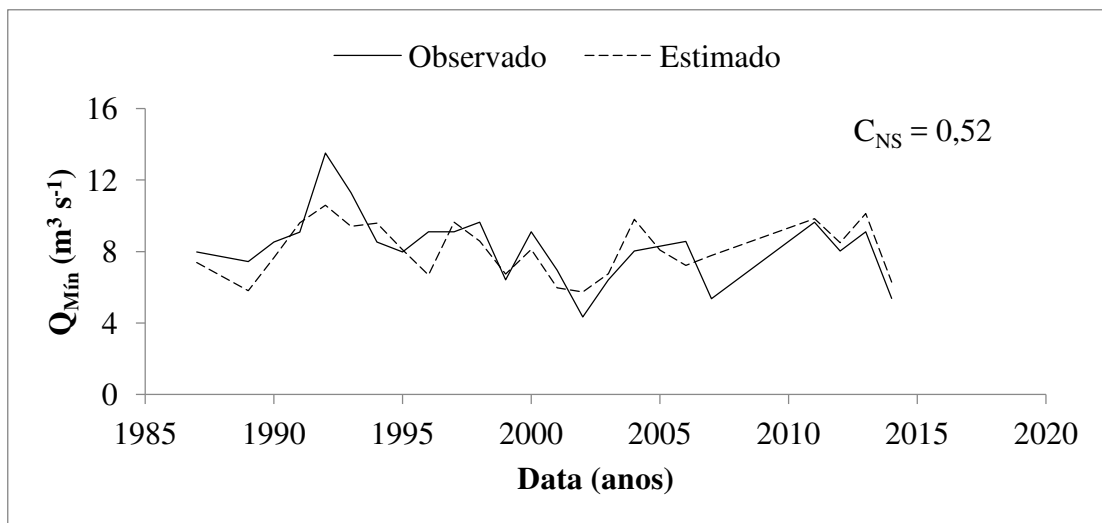


FIGURA 38: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou $Q_{\text{Mín}}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro

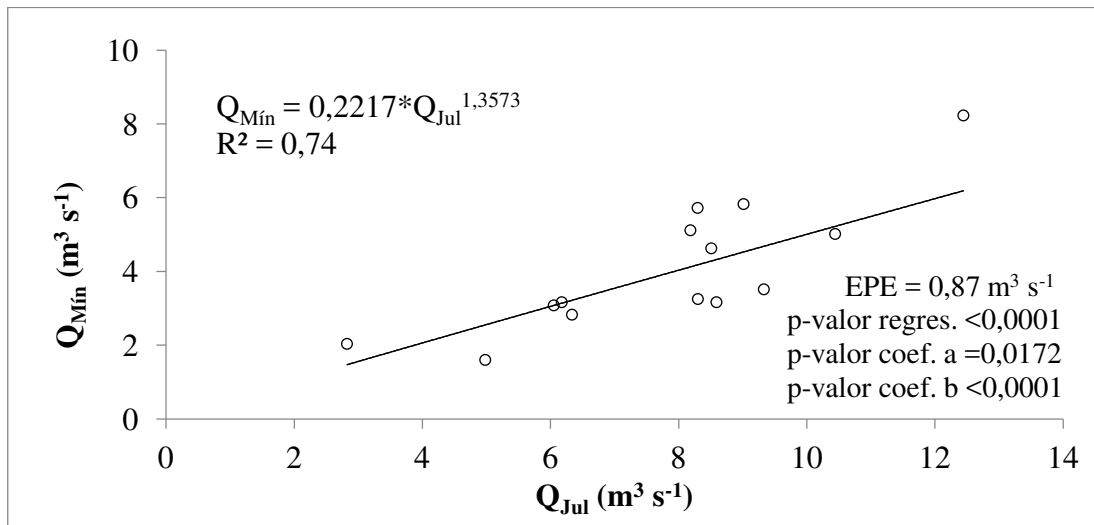
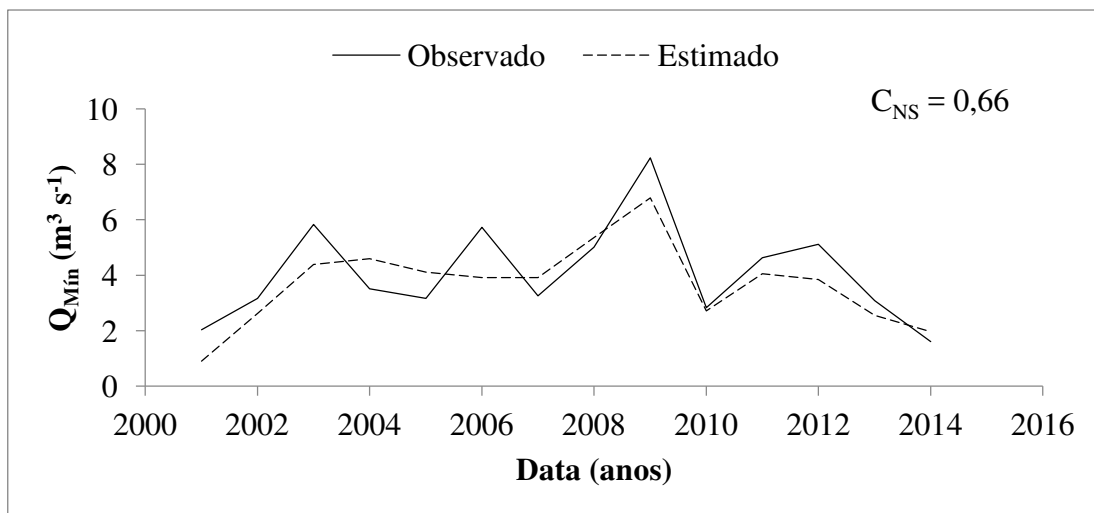


FIGURA 39: Eficiência do modelo de regressão em estimar $Q_{\text{Mín}}$ em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro



4.2.1 Comparação de $Q_{Mín}$ calculado, a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local

Neste trabalho foi possível comparar valores de $Q_{Mín}$, estimados por modelos de regressão em função das vazões médias mensais de julho (Q_{Jul}), somente para as estações fluviométricas Desemboque e Letreiro. Para as demais estações, PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte Br-452 e Capim Branco, os critérios de corte não foram plenamente atendidos, o que impossibilitou que fossem gerados e avaliados tais modelos.

Os erros absoluto e relativo calculados para a estimativa de $Q_{Mín}$ a partir dos dados de Q_{Jul} , estimados pelos modelos de regressão constantes nas FIGURAS 36 e 38, estão reunidos na TABELA 11. Analisando a citada tabela, nota-se o excelente resultado de erro absoluto e relativo médio verificado na estação Desemboque, com respectivos valores de $0,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $0,2\%$. Porém, quando se avaliam os erros da estimativa de $Q_{Mín}$ a partir de dados médios de vazão em julho (Q_{Jul}), na estação Letreiro, notam-se valores um pouco maiores ($0,47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $-11,59\%$, respectivamente para erro absoluto e relativo). Apesar disso, esses erros são compatíveis com aqueles encontrados por Silva et al. (2006), ao comparar vazões mínimas anuais de sete dias consecutivos estimadas por modelos de regressão, com aquelas medidas em estações fluviométricas instaladas na região do Alto Rio Grande, em Minas Gerais. Nesse trabalho, os autores verificaram erros relativos de $-4,17\%$ a $46,34\%$.

TABELA 11: Valores médios anuais de $Q_{Mín}$ observados e estimados a partir de Q_{Jul} , com seus respectivos erros, verificados nas estações fluviométricas Desemboque e Letreiro

| Estação Fluviométrica | Forma de Obtenção de $Q_{Mín}^1$ | Valor de $Q_{Mín}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) | Erro de estimativa | |
|--------------------------|--|---|--|--------------|
| | | | Absoluto ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) | Relativo (%) |
| Desemboque | Observados | 8,24 | ... | ... |
| | Q_{Jul} | 8,06 | 0,18 | 0,20 |
| Letreiro | Observados | 4,09 | ... | ... |
| | Q_{Jul} | 3,62 | 0,47 | -11,59 |

Nota: ¹ a forma de obtenção de $Q_{Mín}$ se deu a partir dos dados de vazão mínima anual observados (Observados) e por estimativa, por meio dos modelos de regressão, em função dos dados observados de vazão média mensal medida no mês de julho (Q_{Jul}); a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

4.3 Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão garantida em 95% do tempo – Q_{95}

4.3.1 Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica Desemboque

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão para a estação fluviométrica Desemboque, com seus respectivos dados estatísticos, bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe, o qual avalia a eficiência desses modelos.

Nas FIGURAS 40, 42 e 44 encontram-se dispostos os modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{95} em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{90} e Q_{Jul} , respectivamente. Analisando as citadas figuras, verifica-se que os modelos de regressão expostos apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,83. Stedinger e Thomas (1985) recomendam que as equações regressão gerem valores de coeficiente de determinação superiores a 0,70.

Não obstante, todos os modelos foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados. No que diz respeito ao erro padrão da estimativa (EPE), ressaltam-se os baixos valores calculados.

Nas FIGURAS 41 e 43 estão dispostos os resultados no teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), os quais permitiram avaliar a eficiência dos modelos de regressão. Observando as citadas figuras verificam-se valores de C_{NS} que permitem classificar a eficiência dos modelos de regressão em adequada/boa, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001). Por outro lado, ao se analisar a eficiência do modelo de regressão em estimar o valor de Q_{95} a partir dos dados médios de vazão medidos em julho (Q_{Jul}) (FIGURA 45), verifica-se que a mesma seria classificada como adequada, perante a classificação de Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001).

FIGURA 40: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Desemboque

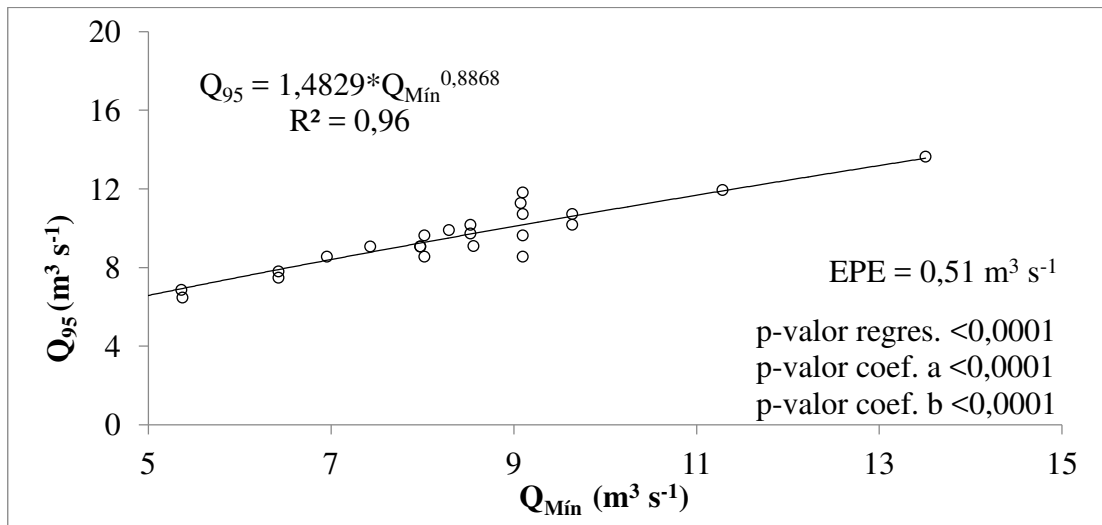


FIGURA 41: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Desemboque

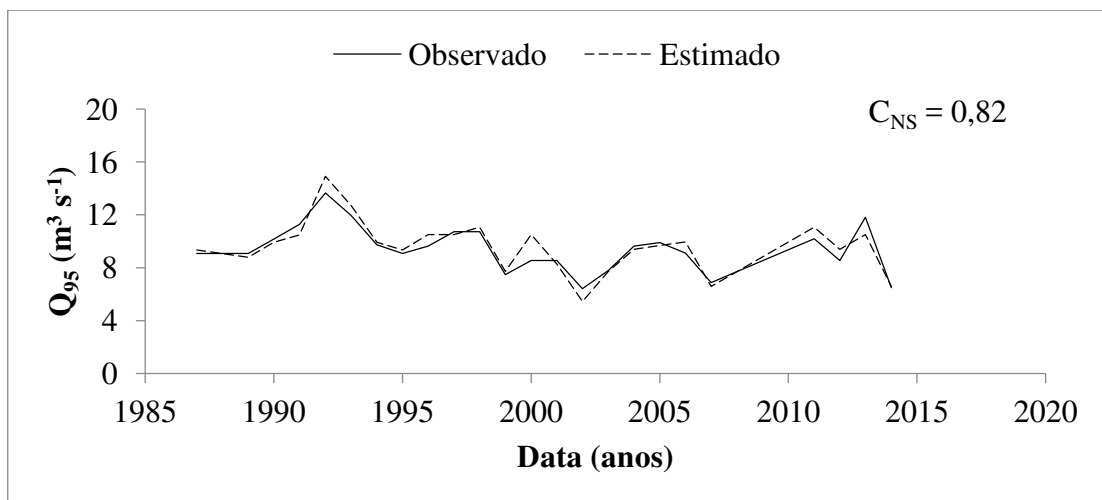


FIGURA 42: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Desemboque

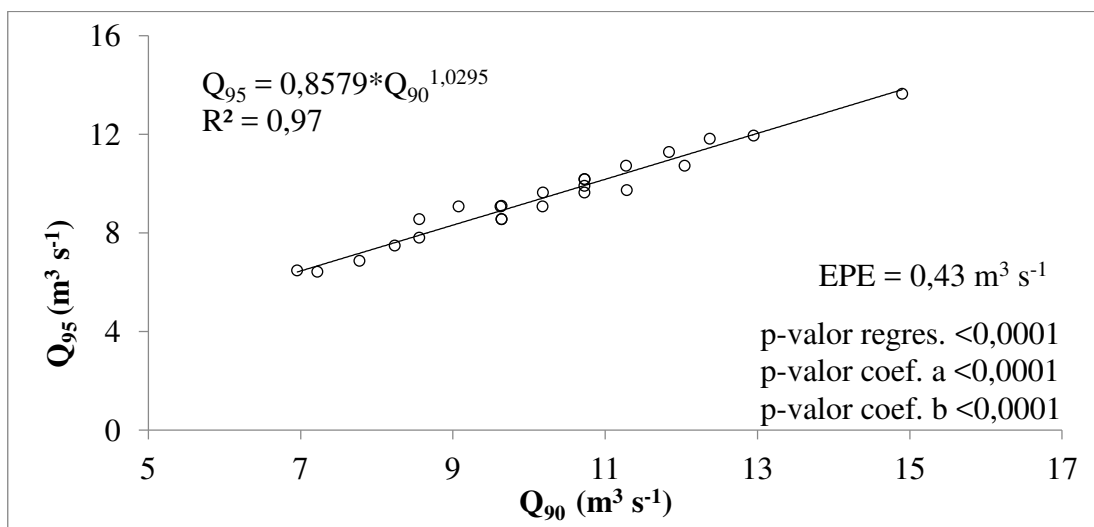


FIGURA 43: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Desemboque

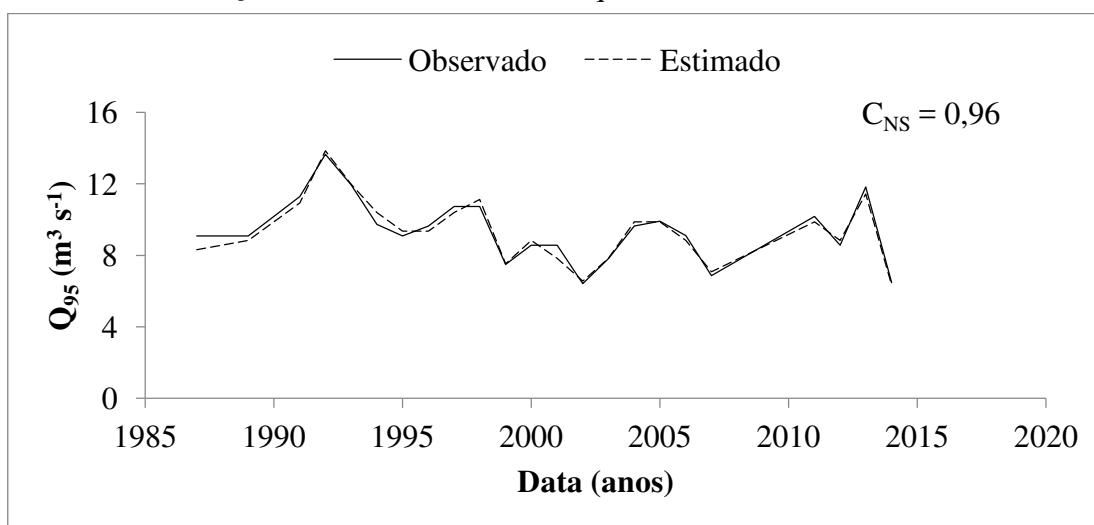


FIGURA 44: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque

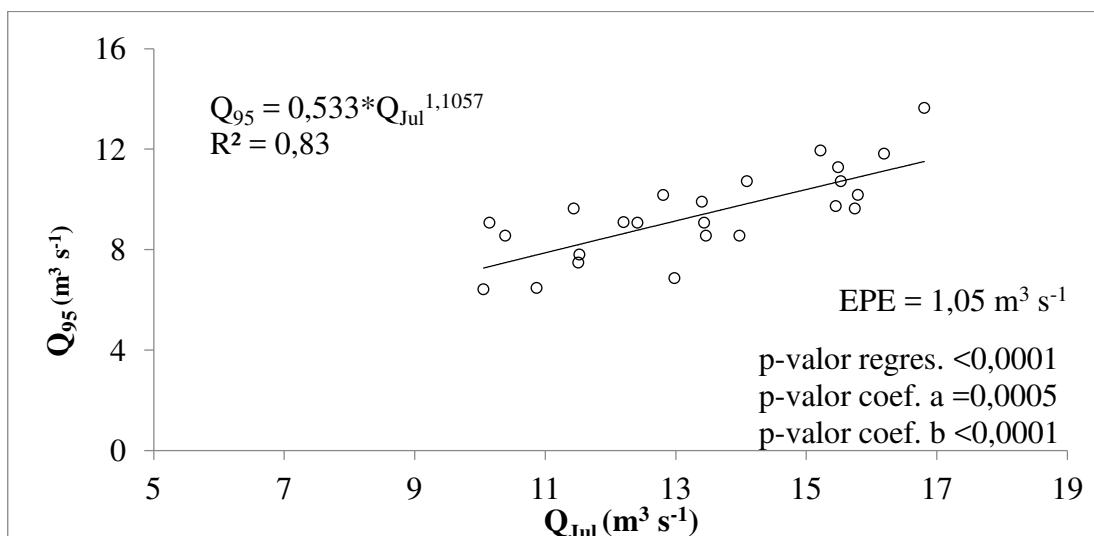
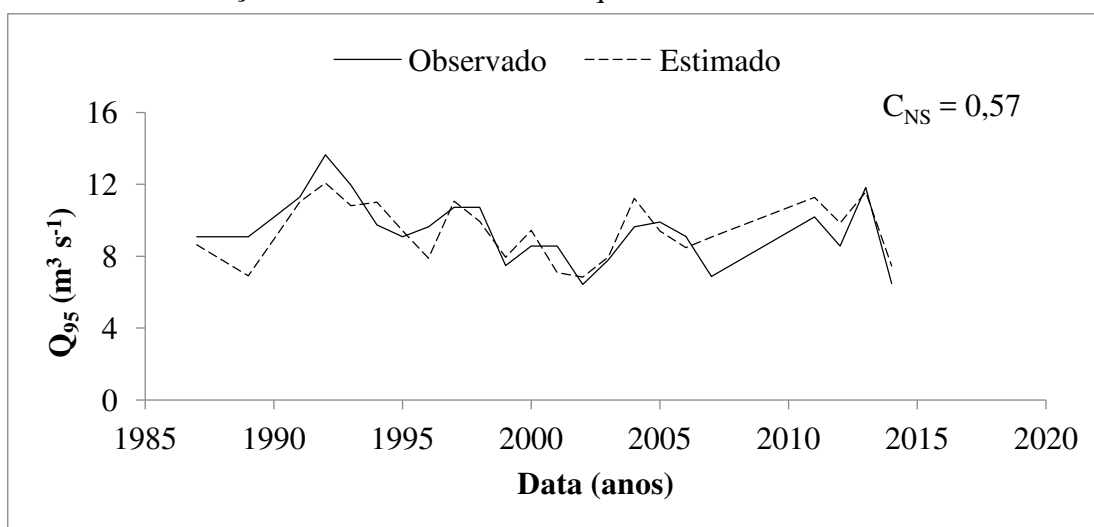


FIGURA 45: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque



4.3.2 Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{95} em função dos dados de Q_{Min} e Q_{90} , com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 46 e 48), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 47 e 49), para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista.

Analisando as FIGURAS 46 e 48, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,81, atendendo ao recomendado por Stedinger e Thomas (1985). Além disso, é importante destacar que todos os modelos foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados.

Nas FIGURAS 47 e 49 estão dispostos os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), respectivamente para os modelos de regressão capazes de estimar Q_{95} em função $Q_{Mín}$ e Q_{90} . No que se refere à eficiência, os dois modelos podem ser classificados como bons, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001). Contudo, ressalta-se a eficiência alcançada pelo modelo que estima Q_{95} em função de Q_{90} , no qual o valor de C_{NS} calculado foi de 0,99, muito próximo do ajuste perfeito, que seria 1. Este resultado é superior ao encontrado por Viola (2008), em simulação hidrológica no Rio Aiuruoca, em Minas Gerais.

FIGURA 46: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

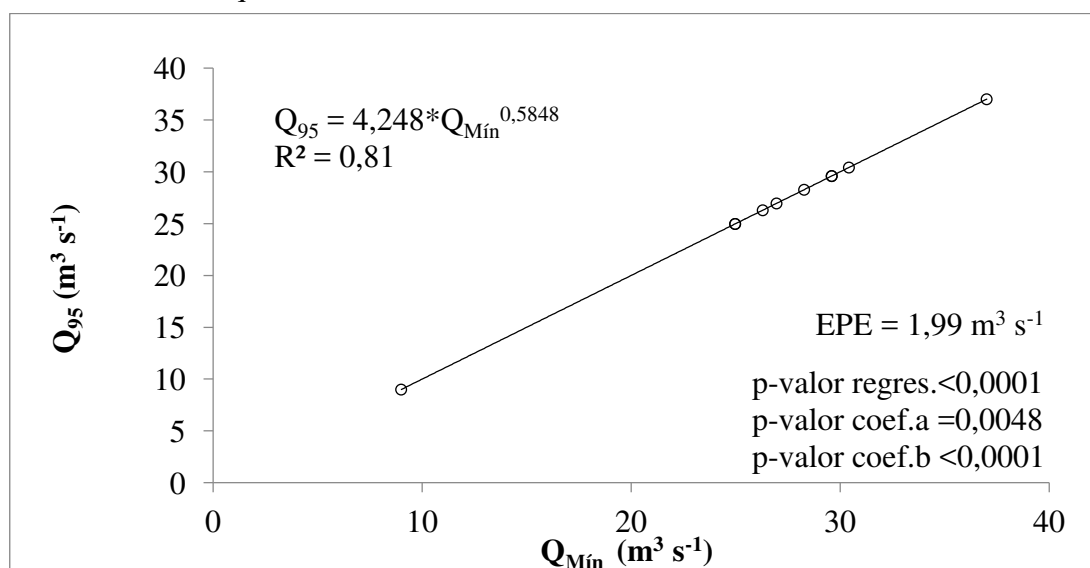


FIGURA 47: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

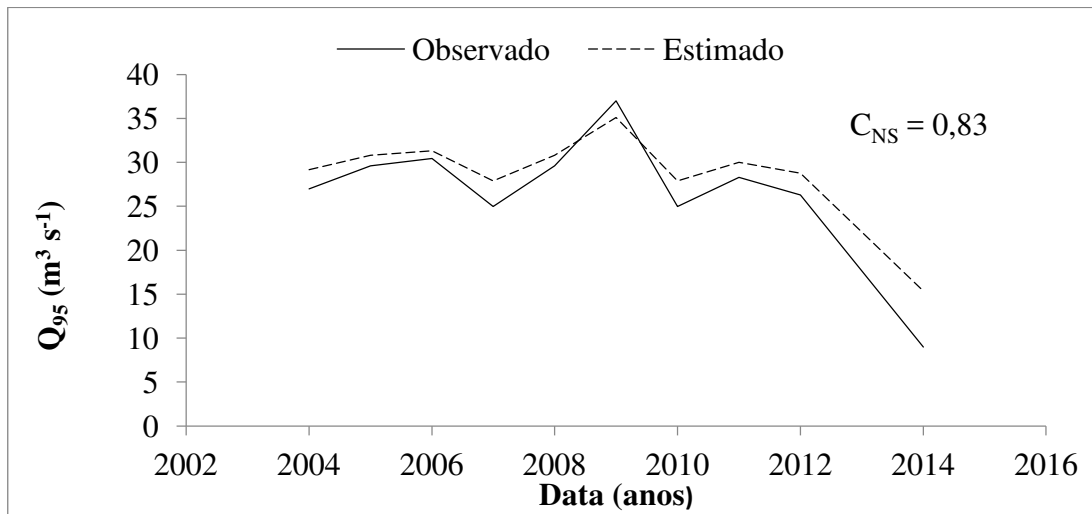


FIGURA 48: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

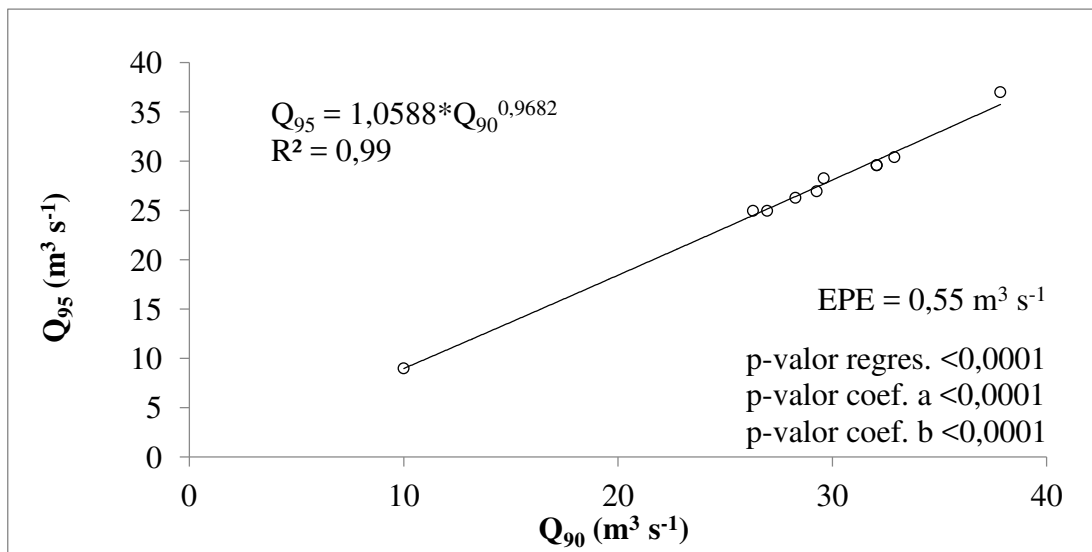
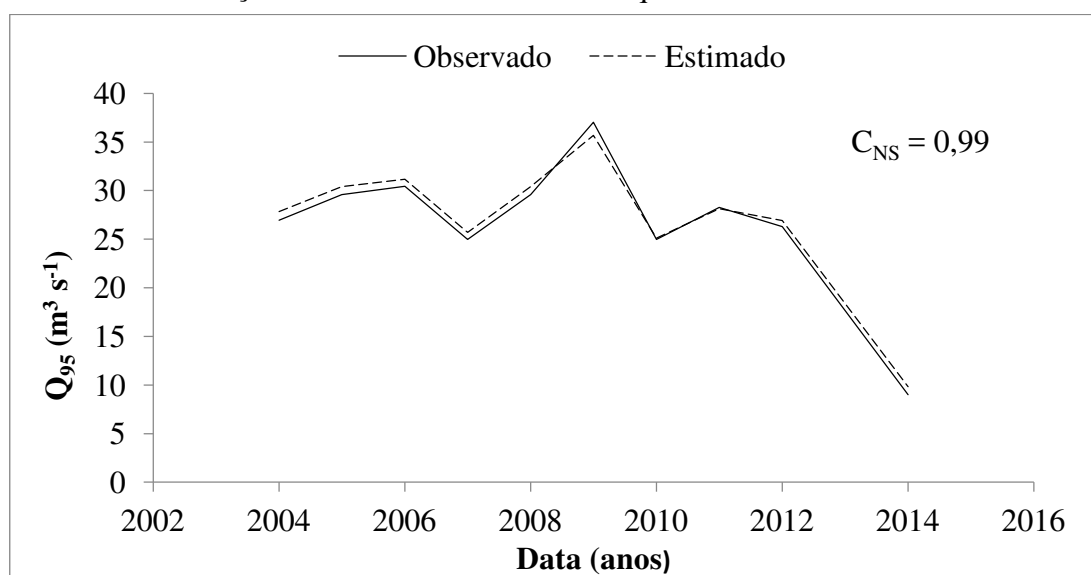


FIGURA 49: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista



4.3.3 Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica Ponte BR-452

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{95} em função dos dados de $Q_{Mín}$ e Q_{90} , com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 50 e 52), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 51 e 53), para a estação fluviométrica Ponte BR-452.

Analisando as citadas figuras, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica, bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) e C_{NS} acima de 0,90 e 0,87, respectivamente. Contudo, deve-se destacar o excelente resultado do modelo de regressão na estimativa de Q_{95} a partir dos dados medidos de Q_{90} , onde o teste de eficiência calculado foi de 0,98, muito próximo da unidade, quando o ajuste seria perfeito. Ressalta-se também, os baixos valores do erro padrão de estimativa (EPE) (menores do que $0,75 m^3 s^{-1}$), os quais, frente aos dados observados de Q_{95} da estação Ponte BR-452, também fornece segurança no uso de qualquer uma das equações geradas.

FIGURA 50: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452

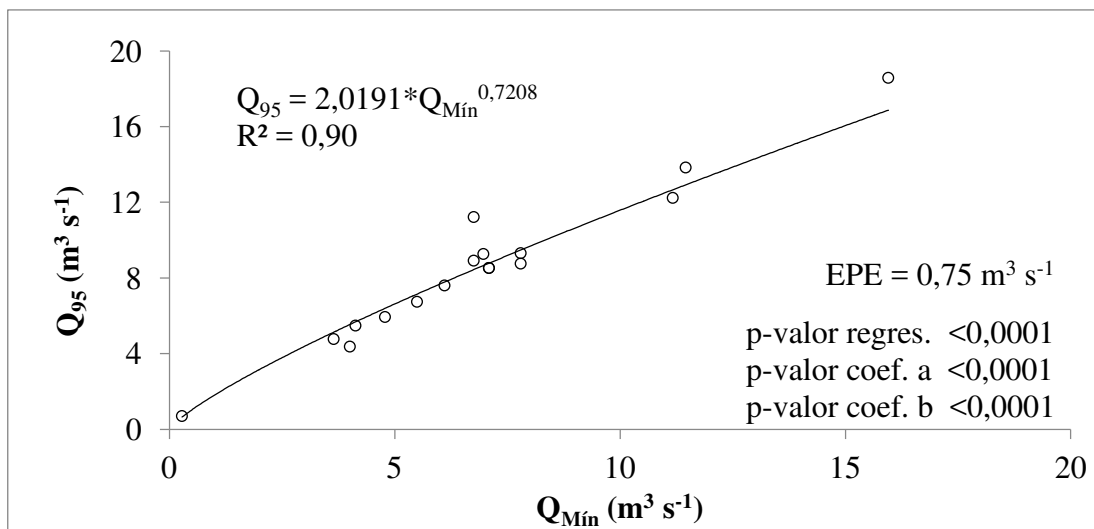


FIGURA 51: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452

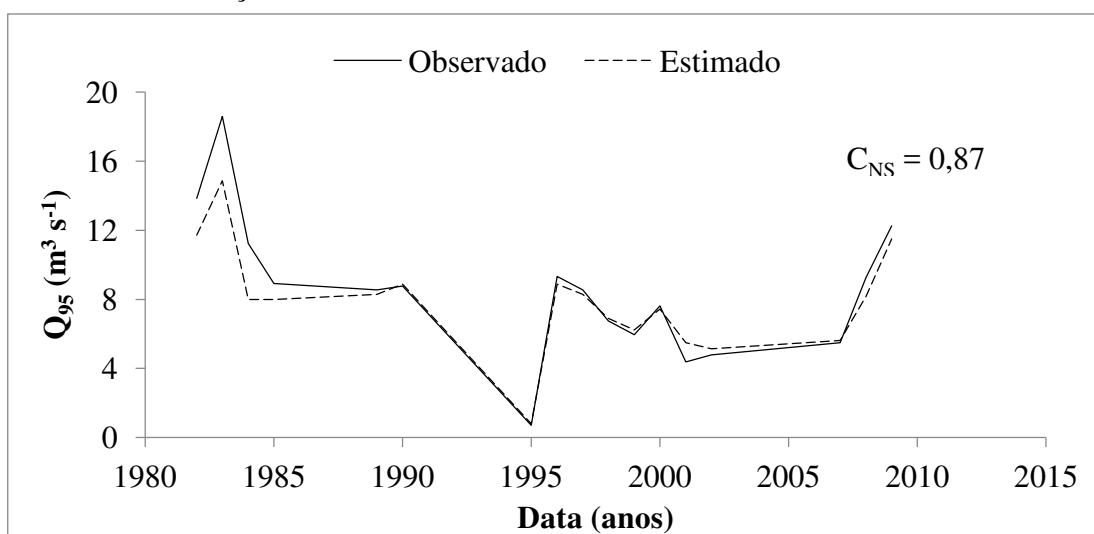


FIGURA 52: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Ponte BR-452

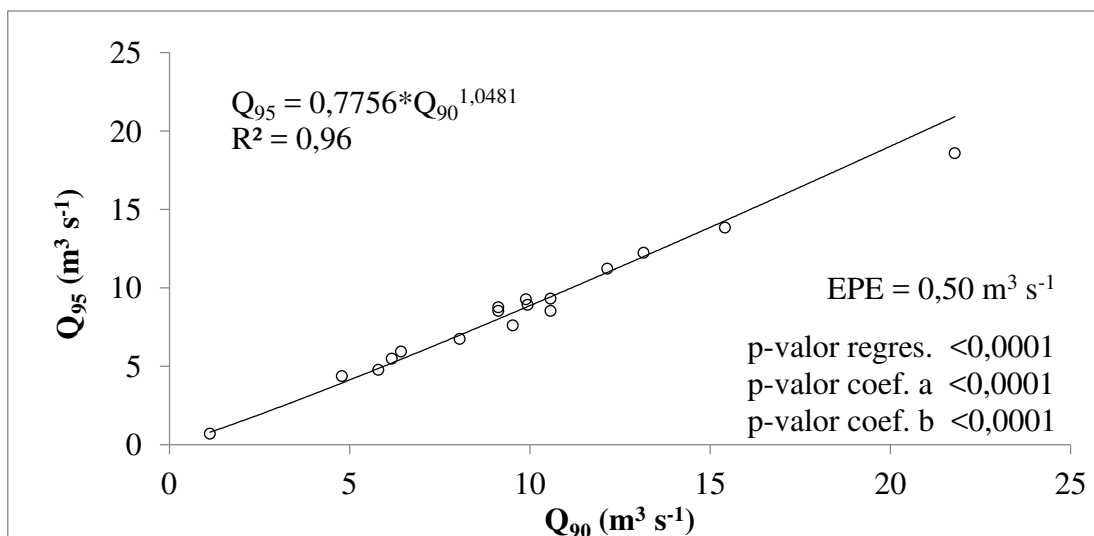
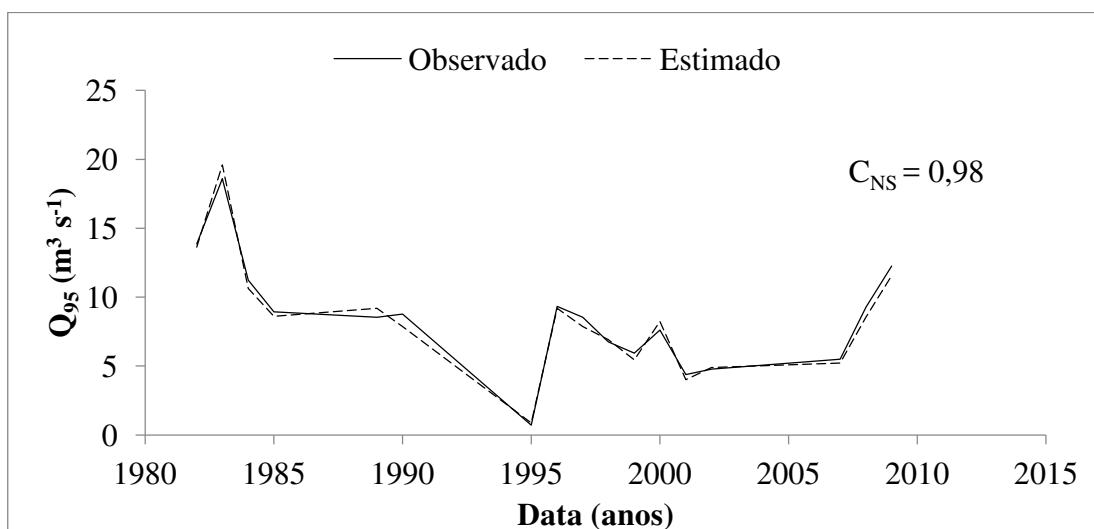


FIGURA 53: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Ponte BR-452



4.3.4 Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica Capim Branco

Neste tópico serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{95} em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$ e Q_{90} , com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 54 e 56), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 55 e 57), para a estação fluviométrica Capim Branco.

Analisando as FIGURAS 54 e 56, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica apresentaram excelente ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,97, atendendo ao recomendado por Stedinger e Thomas (1985). Ademais, é importante destacar que todos os modelos foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados.

Contudo, ao se analisar os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), dispostos nas FIGURAS 55 e 57, verifica-se as duas proporcionaram resultado de C_{NS} considerado bom. Porém, destaca-se o valor alcançado pelo modelo de regressão que estima Q_{95} a partir dos dados medidos de Q_{90} ($C_{\text{NS}} = 0,98$). Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001), valor de C_{NS} acima de 0,75 já permite afirmar que a precisão dos modelos gerados é adequada/boa.

FIGURA 54: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Capim Branco

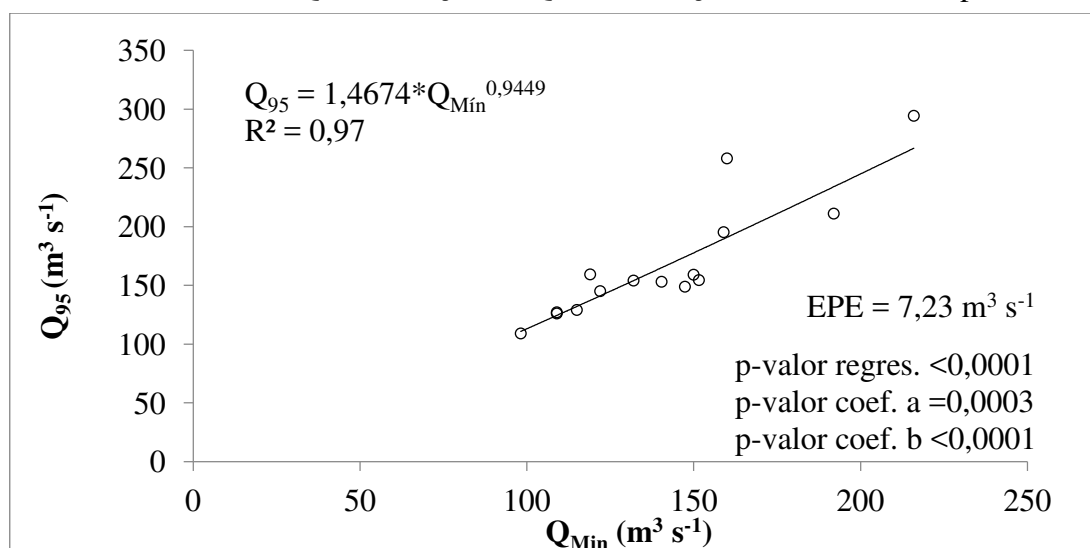


FIGURA 55: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Capim Branco

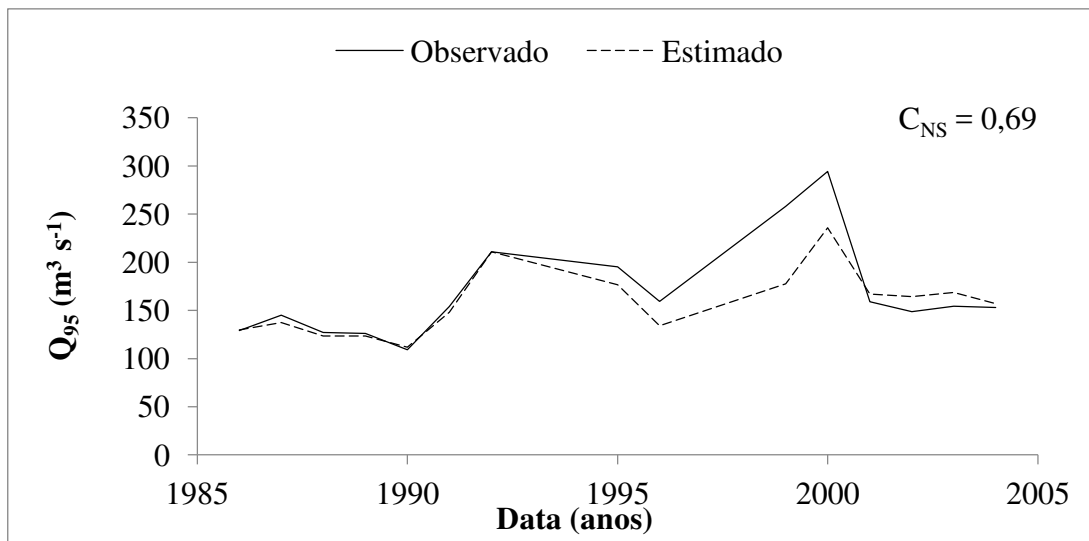


FIGURA 56: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Capim Branco

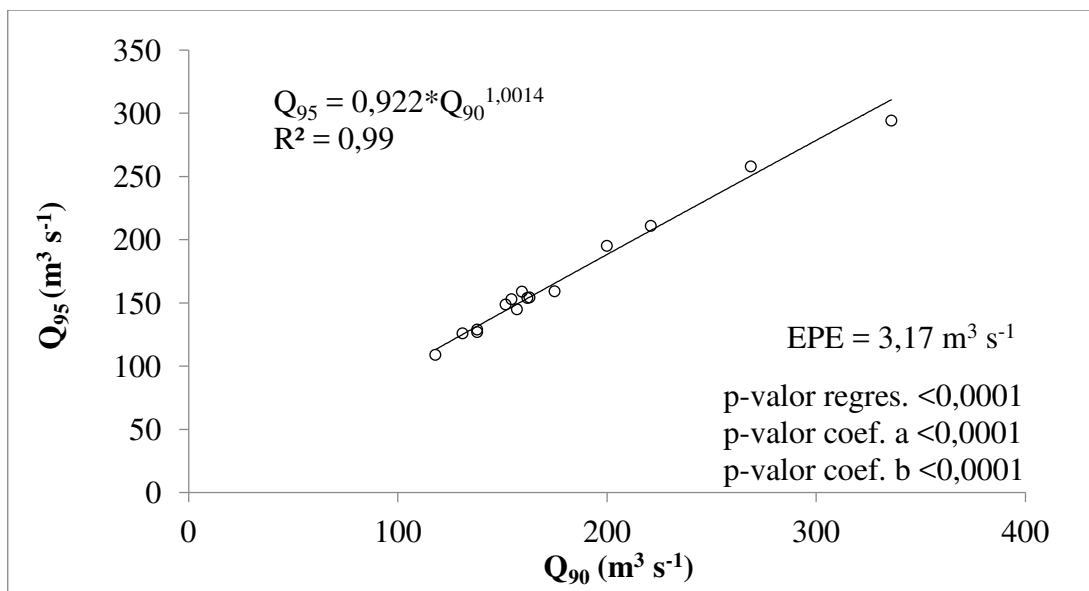
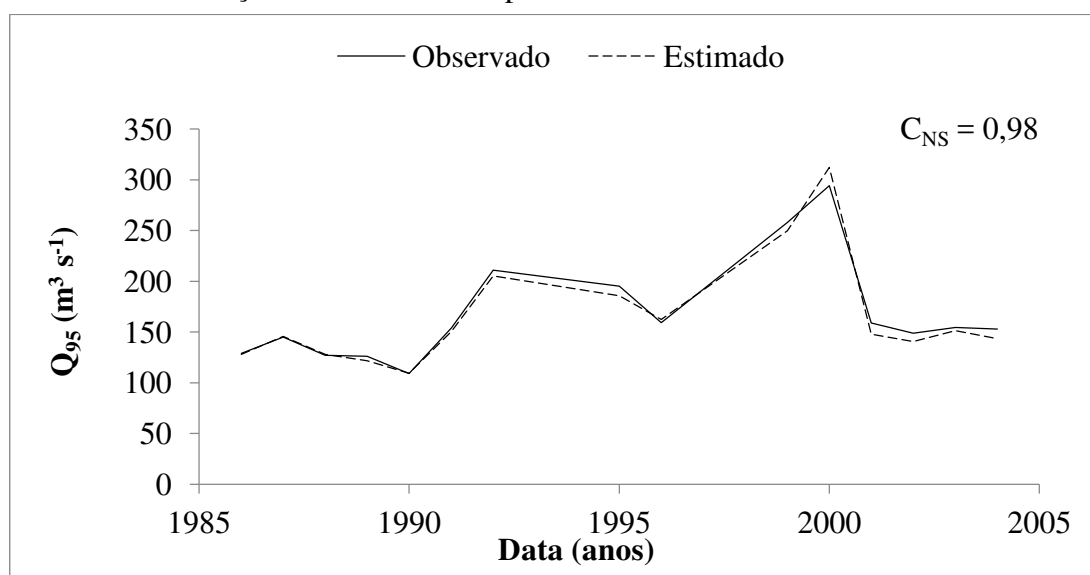


FIGURA 57: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Capim Branco



4.3.5 Resultados de Q_{95} para a estação fluviométrica Letreiro

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{95} em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{90} e Q_{Jul} com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 58, 60 e 62), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 59, 61 e 63), para a estação fluviométrica Letreiro.

Analizando as citadas figuras, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,86. Ressalta-se também, os baixos valores de erro padrão de estimativa (EPE) (menores do que $0,71 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), os quais, frente aos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ da estação Letreiro, também fornece segurança no uso de qualquer uma das equações geradas.

Não obstante, bons resultados no teste de eficiência (C_{NS}) foram alcançados pelos modelos de regressão que estimam Q_{95} a partir dos dados observados de $Q_{\text{Mín}}$ e Q_{90} (FIGURAS 59 e 61, respectivamente). Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001), valor de C_{NS} acima de 0,75 já permite afirmar que a precisão dos modelos gerados é adequada/boa.

Por outro lado, ao se observar o resultado de C_{NS} contido na FIGURA 63, nota-se que o modelo estimador de Q_{95} a partir dos dados observados de Q_{Jul} , apresentou um nível de eficiência considerada aceitável, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud

Collischonn (2001). Apesar de alcançar uma eficiência menor quando comparado com os demais, este modelo apresenta uma grande vantagem que é estimar a Q_{95} a partir dos dados médios mensais de julho. Esta condição permite a cobertura de falhas nos dados de vazão mínima anual de sete dias para a estação Letreiro em um ano qualquer, bastando somente que a mesma contenha a vazão média do mês de julho naquele ano.

FIGURA 58: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro

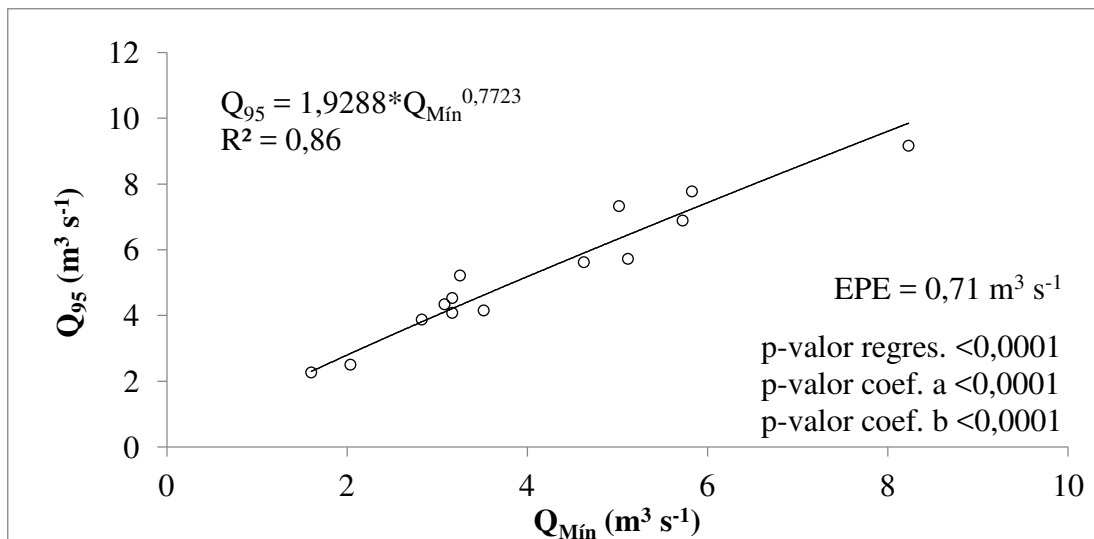


FIGURA 59: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro

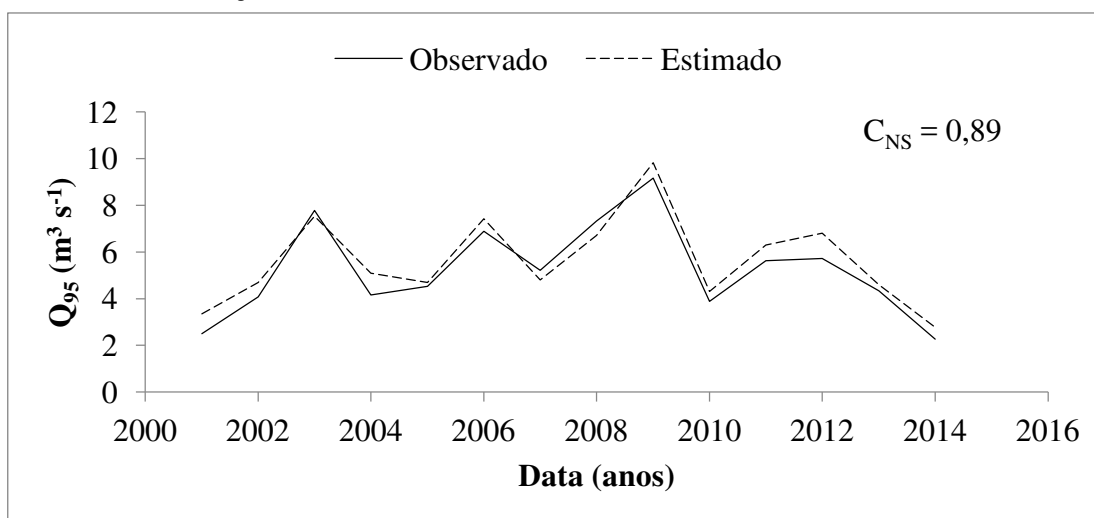


FIGURA 60: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Letreiro

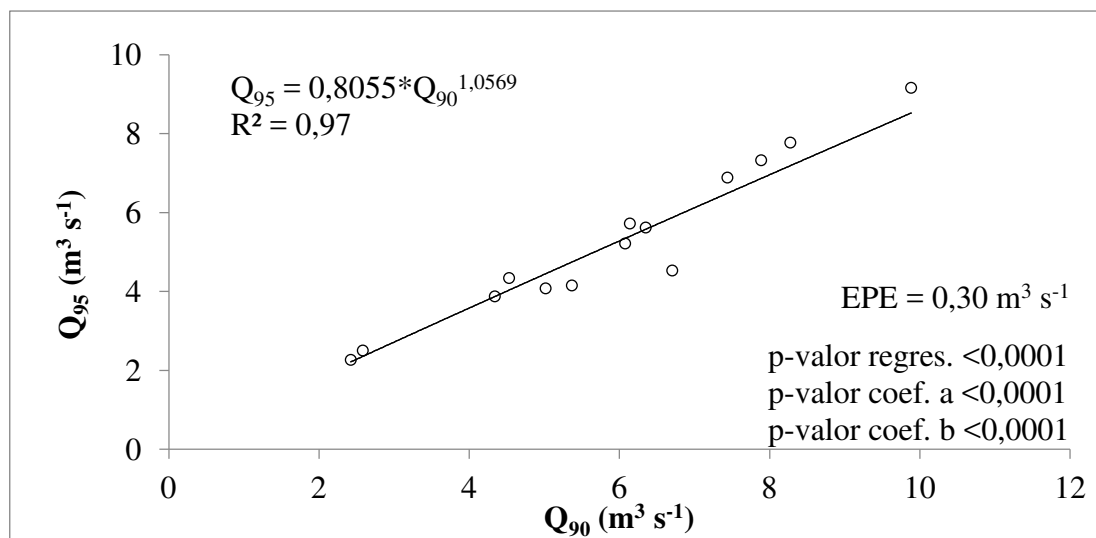


FIGURA 61: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{90} , na estação fluviométrica Letreiro

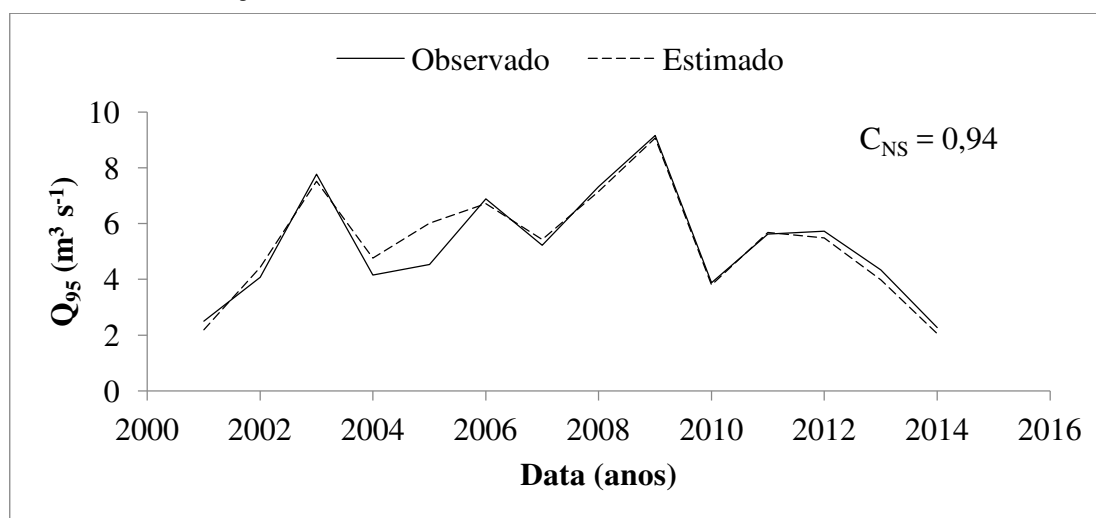


FIGURA 62: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{95} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro

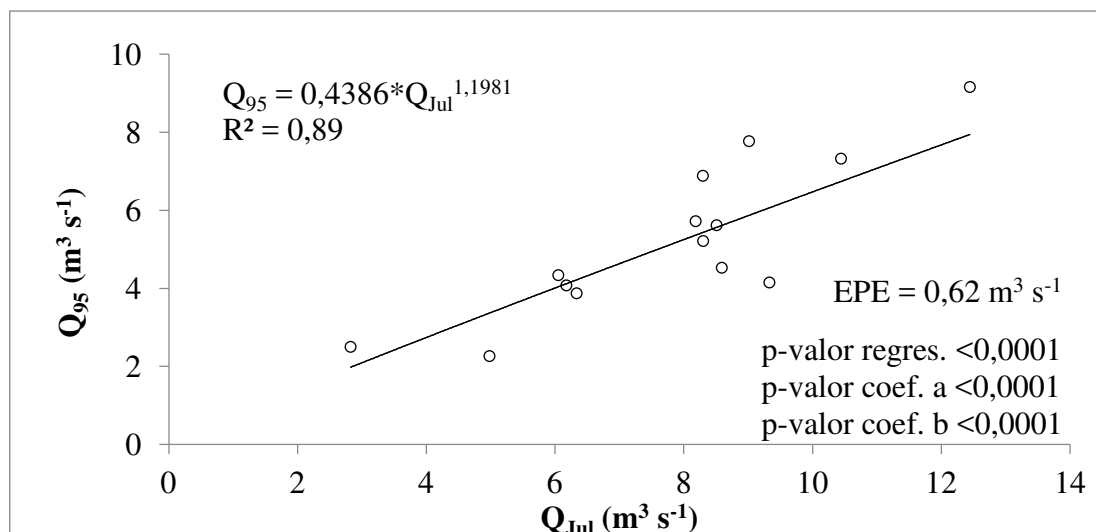
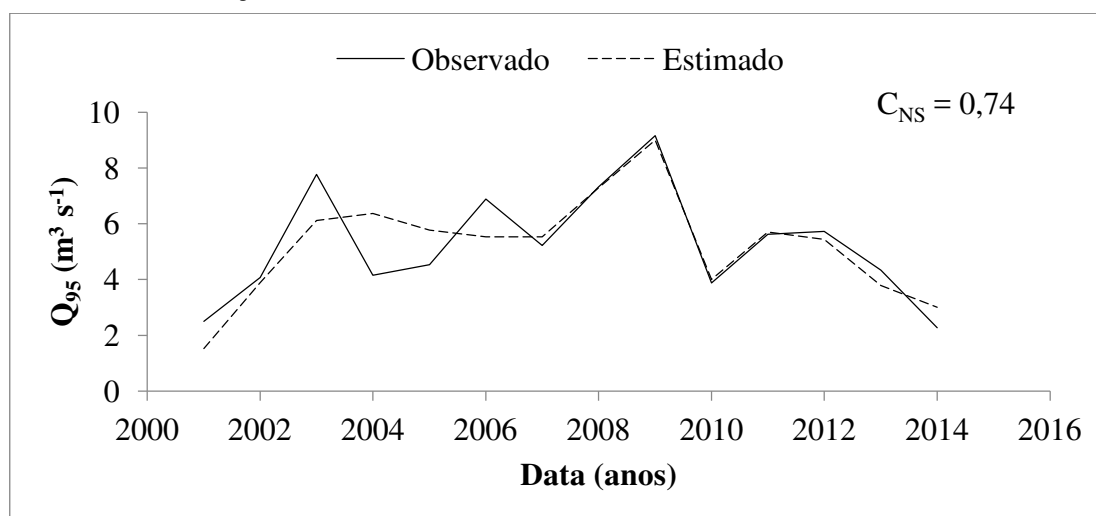


FIGURA 63: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{95} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro



4.3.6 Comparação de Q_{95} calculado, a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local e estimados pelo Atlas Digital das Águas de Minas

Este trabalho tem como objetivo também, comparar os dados calculados de Q_{95} em cada estação fluviométrica, com aquele estimado pela bibliografia Atlas Digital das Águas de Minas. Não obstante, os valores de Q_{95} obtidos pelas vias citadas

anteriormente foram comparados com aqueles observados no local, ou seja, em cada estação fluviométrica. Os dados observados foram considerados como padrão e serviram de parâmetro de avaliação do erro entre as metodologias.

Os valores de Q_{95} calculados e estimados estão reunidos na TABELA 12, incluindo os valores obtidos por meio da bibliografia Atlas Digital das Águas de Minas. Nessa tabela estão compilados também as estimativas de Erro Absoluto e Erro Relativo.

TABELA 12: Valores médios anuais de Q_{95} observados e estimados, com seus respectivos erros, verificados nas estações fluviométricas Desemboque, PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco e Letreiro

| Estação Fluviométrica | Método de Estimativa de Q_{95} ¹ | Valor de Q_{95} ($m^3 s^{-1}$) | Erro | |
|--------------------------------|---|------------------------------------|---------------------------|--------------|
| | | | Absoluto ($m^3 s^{-1}$) | Relativo (%) |
| Desemboque | Percentil ¹ | 8,56 | ... | ... |
| | Atlas Digital ² | 4,94 | 3,62 | -42,29 |
| | $Q_{Mín}$ | 9,62 | 1,06 | 12,38 |
| | Q_{90} | 9,37 | 0,81 | 9,46 |
| | Q_{Jul} | 9,37 | 0,81 | 9,46 |
| PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | Percentil | 23,66 | ... | ... |
| | Atlas Digital | 14,04 | 9,62 | -40,66 |
| | $Q_{Mín}$ | 29,01 | 5,35 | 22,61 |
| | Q_{90} | 27,15 | 3,49 | 14,75 |
| Ponte BR-452 | Percentil | 6,75 | ... | ... |
| | Atlas Digital | 4,80 | 1,95 | -28,89 |
| | $Q_{Mín}$ | 8,12 | 1,37 | 20,30 |
| | Q_{90} | 8,32 | 1,57 | 23,26 |
| Capim Branco | Percentil | 140,00 | ... | ... |
| | Atlas Digital | 92,44 | 47,56 | -33,97 |
| | $Q_{Mín}$ | 157,92 | 17,92 | 12,80 |
| | Q_{90} | 143,36 | 3,36 | 2,40 |
| Letreiro | Percentil | 3,97 | ... | ... |
| | Atlas Digital | 3,56 | 0,41 | -10,33 |
| | $Q_{Mín}$ | 5,72 | 1,75 | 44,08 |
| | Q_{90} | 4,43 | 0,46 | 11,59 |
| | Q_{Jul} | 5,16 | 1,19 | 29,97 |

Nota: ¹ denominação da ferramenta integrante do software Excel[®] 2010, a qual foi usada na obtenção dos valores observados da vazão garantida em 95% do tempo (Q_{95}); ² Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Analizando a TABELA 12, nota-se que o Atlas Digital das Águas de Minas subestimou o valor de Q_{95} quando comparado com calculado por meio do comando percentil do Excel® 2010. Além disso, verifica-se também, que os erros apresentados por essa bibliografia ficaram entre -28,89 e -42,29%, com exceção daquele alcançado na estação fluviométrica Letreiro, o qual foi de -10,33%. Apesar de altos, esses erros relativos estão dentro daqueles calculados por Silva et al. (2006), ao comparar valores de vazão mínima de sete dias consecutivos calculados em estações fluviométricas localizadas a montante do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos - Alto Rio Grande, MG. Em sua conclusão o autor fez um comparativo com valores obtidos por na bibliografia Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), obtendo intervalo de erro relativo de -4,17% a 46,34%.

Na TABELA 12 estão reunidos também os resultados da estimativa da vazão garantida em 95% do tempo (Q_{95}), calculados por meio de modelos de regressão, em função da vazão mínima anual ($Q_{Mín}$), vazão garantida em 90% do tempo (Q_{90}) e vazão média do mês de julho (Q_{Jul}). Especificamente em relação à esta última vazão, na citada tabela são apresentados os resultados somente para as estações Desemboque e Letreiro. Isso se justifica porque os modelos de regressão associados à essa variável, nas demais estações fluviométricas estudadas, não foram aprovados nos quesitos estatísticos.

Analizando a TABELA 12, verifica-se que os resultados de Q_{95} calculados por meio de modelos de regressão, em função $Q_{Mín}$, Q_{90} e Q_{Jul} , apresentaram erros menores do que aqueles verificados na estimativa da vazão pelo Atlas Digital das Águas de Minas, com exceção daqueles obtidos na estação Letreiro. Nesta, o erro percentual alcançado pelo Atlas Digital das Águas de Minas foi de apenas -10,33%, enquanto que os obtidos por meio de $Q_{Mín}$, Q_{90} e Q_{Jul} foram, respectivamente, 44,08%, 11,59% e 29,97%. Apesar disso, esse resultado permite recomendar o uso dos modelos de estimativa de Q_{95} em função $Q_{Mín}$, Q_{90} e Q_{Jul} , para as estações estudadas neste trabalho.

4.4 Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão garantida em 90% do tempo – Q_{90}

4.4.1 Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica Desemboque

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão para a estação fluviométrica Desemboque, com seus respectivos dados estatísticos, bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe.

Nas FIGURAS 64 e 66 encontram-se dispostos os modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{90} em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$ e Q_{Jul} , respectivamente. Analisando as citadas figuras, verifica-se que os modelos de regressão expostos apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,83, bem superior ao encontrado por Stedinger e Thomas (1985), estudando estimativas de vazão para áreas não monitoradas no Estado de Virgínia - EUA.

Não obstante, todos os modelos foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados. No que diz respeito ao erro padrão da estimativa (EPE), ressaltam-se os baixos valores calculados.

Nas FIGURAS 65 e 67 estão dispostos os resultados no teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), os quais permitiram avaliar a eficiência dos modelos de regressão. Observando a FIGURA 65 verifica-se valor de C_{NS} que permite classificar a eficiência do modelo de regressão em adequada/boa, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001). Por outro lado, ao se analisar a eficiência do modelo de regressão em estimar o valor de Q_{90} a partir dos dados médios de vazão medidos em julho (Q_{Jul}) (FIGURA 67), verifica-se que a mesma seria classificada como adequada, perante esses mesmos autores.

FIGURA 64: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Desemboque

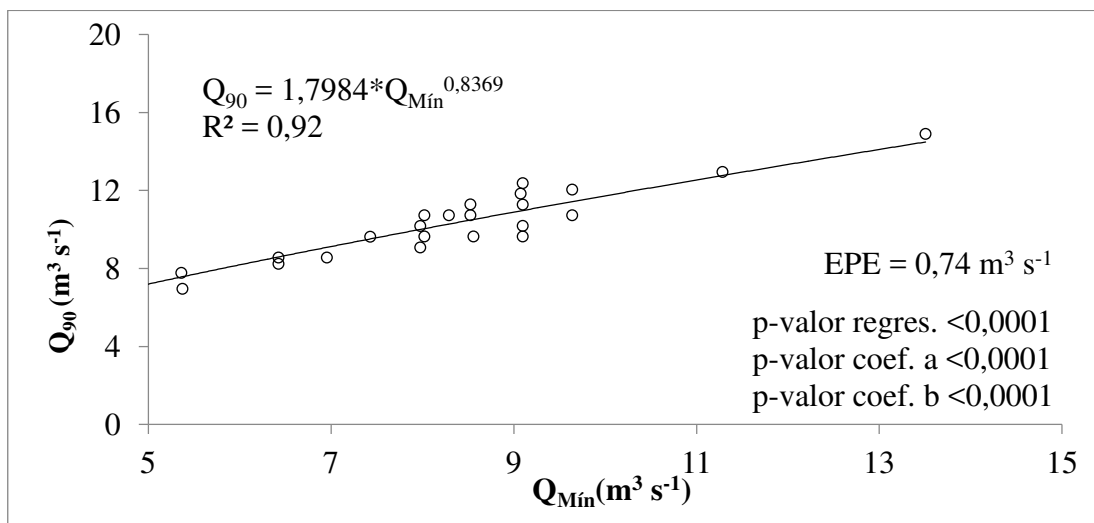


FIGURA 65: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Desemboque

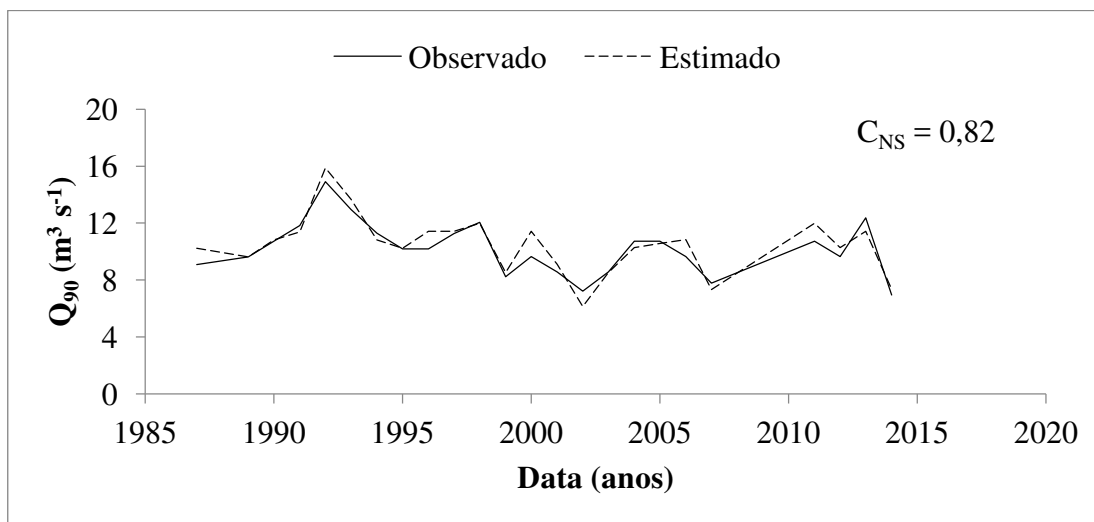


FIGURA 66: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque

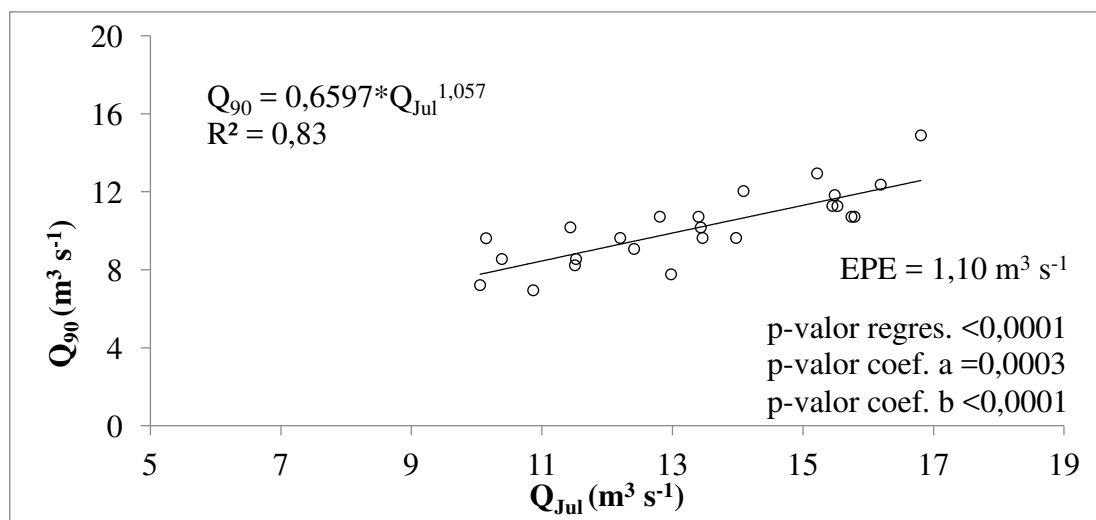
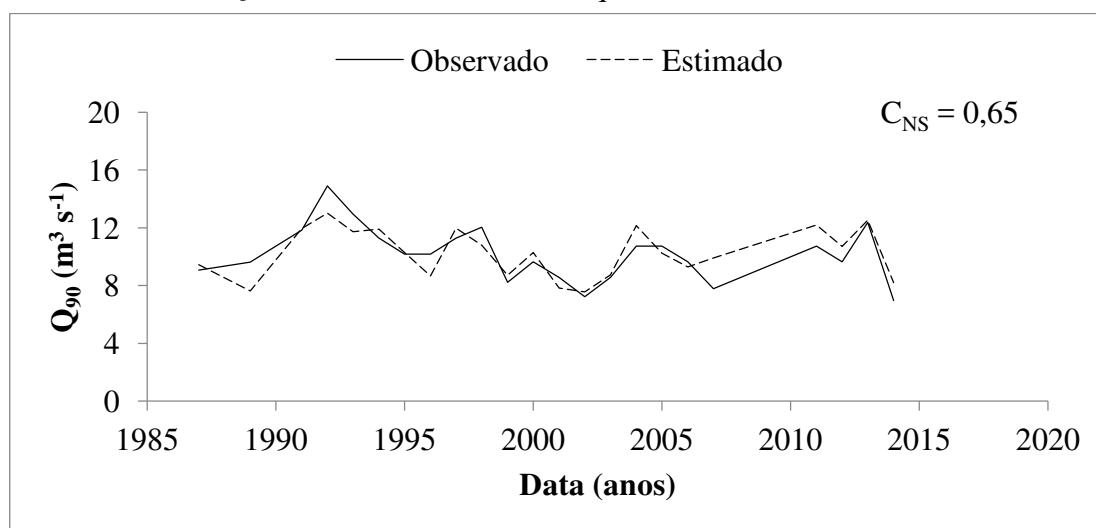


FIGURA 67: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Desemboque



4.4.2 Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{90} em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, com seus respectivos dados estatísticos (FIGURA 68), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURA 69), para a estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista.

Analizando a FIGURA 68, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,79, atendendo ao recomendado por Stedinger e Thomas (1985). Além disso, é importante destacar que todos os modelos foram aprovados nos quesitos estatísticos, o que permite a utilização dos mesmos com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foram gerados.

Na FIGURA 69 estão dispostos os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) para o modelo de regressão capaz de estimar Q_{90} em função $Q_{\text{Mín}}$. No que se refere à eficiência, o modelo pode ser classificado como bom, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001). Este resultado é pouco inferior aos encontrados por Viola (2008), em simulação hidrológica no Rio Aiuruoca, em Minas Gerais.

FIGURA 68: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista

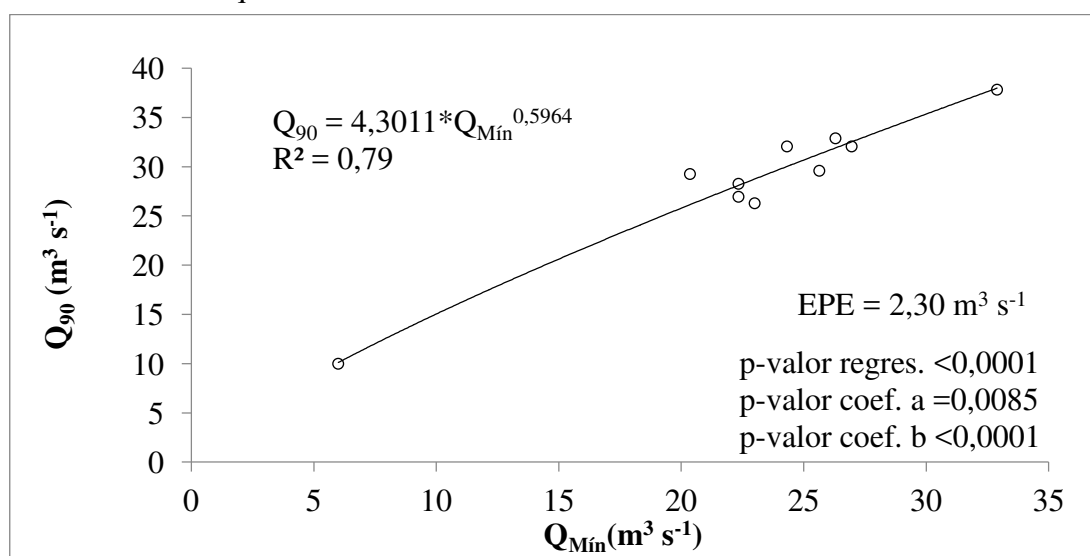
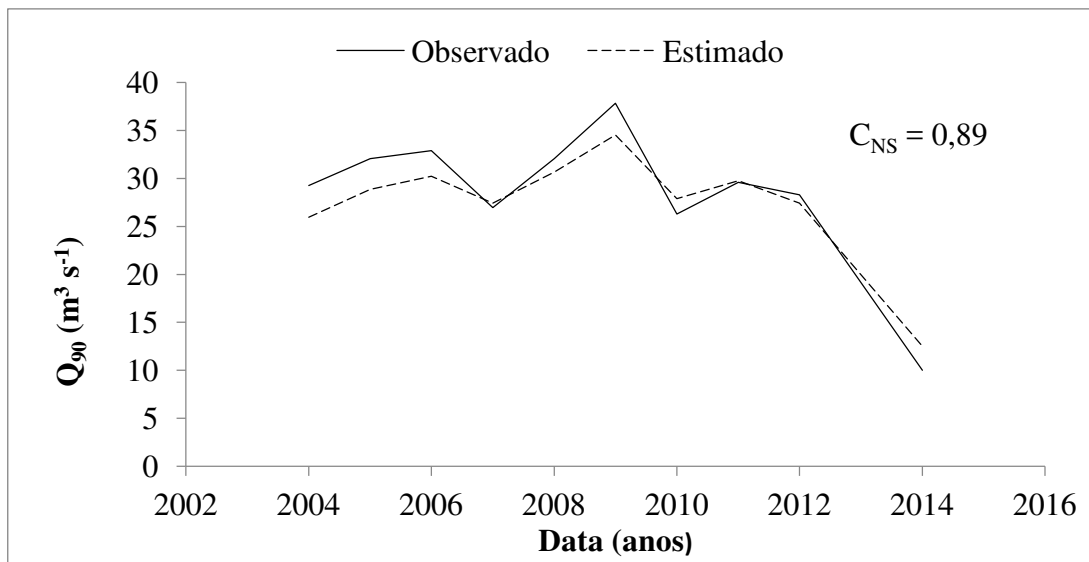


FIGURA 69: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista



4.4.3 Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica Ponte BR-452

Neste tópico será apresentado o resultado do modelo de regressão que possibilitou estimar os valores de Q_{90} em função dos dados de $Q_{Mín}$, com seus respectivos dados estatísticos (FIGURA 70), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURA 71), para a estação fluviométrica Ponte BR-452.

Analizando as citadas figuras, nota-se que o modelo de regressão para a citada estação fluviométrica, bem como o resultado do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) e C_{NS} de 0,88 e 0,84, respectivamente. Ressalta-se também, o baixo valor do erro padrão de estimativa (EPE) ($0,90 m^3 s^{-1}$), o qual, frente à maioria dos dados observados de Q_{90} da estação Ponte BR-452, também fornece segurança na equação apresentada na FIGURA 70.

FIGURA 70: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452

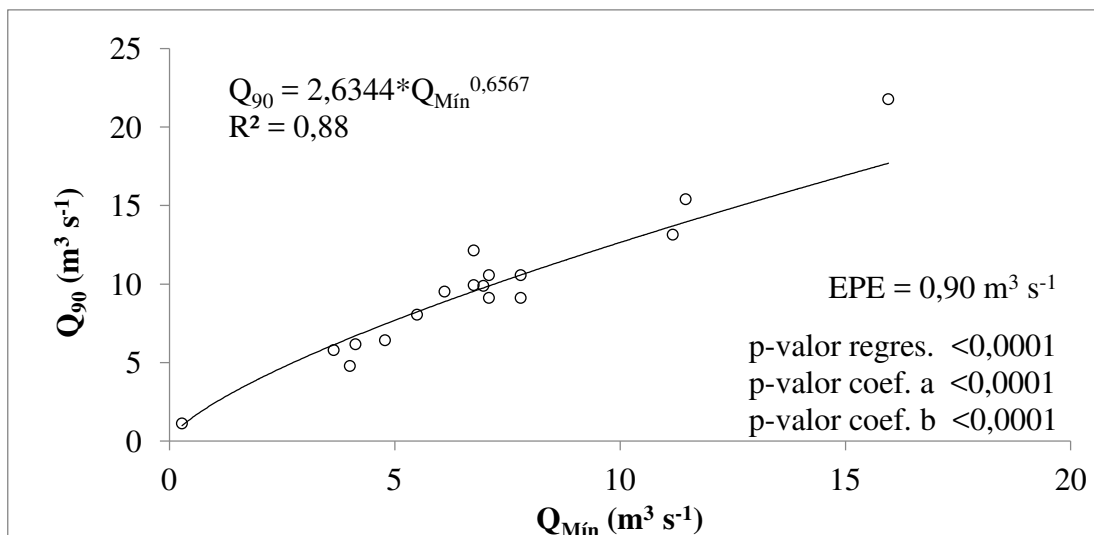
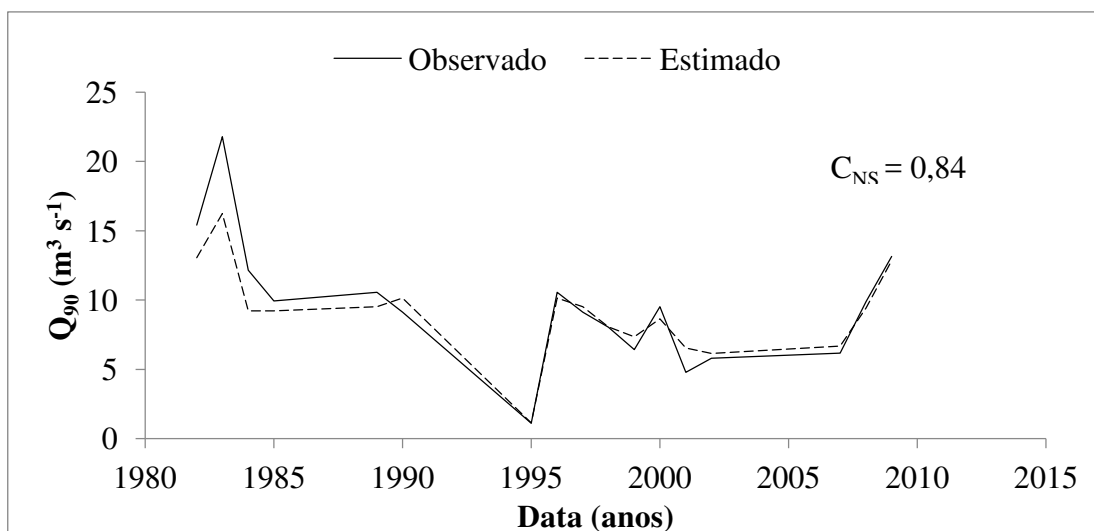


FIGURA 71: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Ponte BR-452



4.4.4 Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica Capim Branco

Nesta etapa será apresentado o resultado do modelo de regressão que possibilitou estimar os valores de Q_{90} em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$, com seus respectivos dados estatísticos (FIGURA 72), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURA 73), para a estação fluviométrica Capim Branco.

Analisando a FIGURA 72, nota-se que o modelo de regressão apresentou excelente ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,97, atendendo ao recomendado por Stedinger e Thomas (1985). Ademais, é importante destacar que todos os quesitos estatísticos propostos neste trabalho foram atendidos, o que permite a utilização do citado modelo com confiança, dentro da faixa de vazão na qual foi estimado.

Contudo, ao se analisar os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), disposto na FIGURA 73, verifica-se que o mesmo apresentou eficiência considerada adequada, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001). Apesar disso, o modelo ainda tem seu uso recomendado, de acordo com esses mesmos autores.

FIGURA 72: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Capim Branco

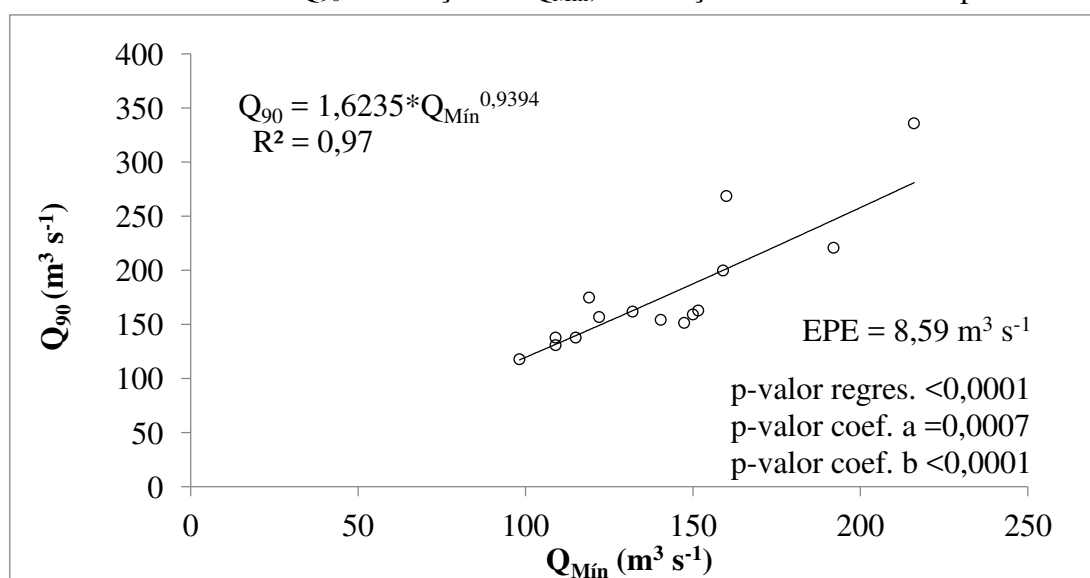
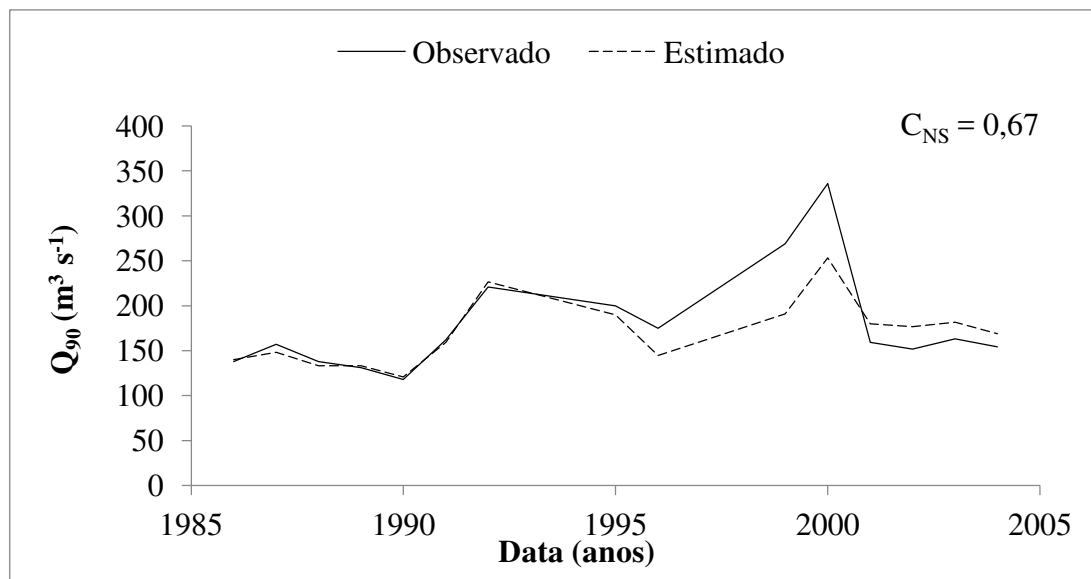


FIGURA 73: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{\text{Mín}}$, na estação fluviométrica Capim Branco



4.4.5 Resultados de Q_{90} para a estação fluviométrica Letreiro

Nesta etapa serão apresentados os resultados dos modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{90} em função dos dados de $Q_{\text{Mín}}$ e Q_{Jul} com seus respectivos dados estatísticos (FIGURAS 74 e 76), bem como os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (FIGURAS 75 e 77), para a estação fluviométrica Letreiro.

Analisando as citadas figuras, nota-se que os modelos de regressão para a citada estação fluviométrica apresentaram bom ajuste aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,81. Ressalta-se também, os baixos valores de erro padrão de estimativa (EPE) (menores do que $0,86 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$), os quais, frente aos dados observados de $Q_{7 \text{ Anual}}$ da estação Letreiro, também fornece segurança no uso de qualquer uma das equações geradas.

Não obstante, bons resultados no teste de eficiência (C_{NS}) foram alcançados pelos modelos de regressão que estimam Q_{90} a partir dos dados observados de $Q_{\text{Mín}}$ e Q_{Jul} (FIGURAS 75 e 77, respectivamente). Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001), valor de C_{NS} acima de 0,75 já permite afirmar que a precisão dos modelos gerados é adequada/boa.

FIGURA 74: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro

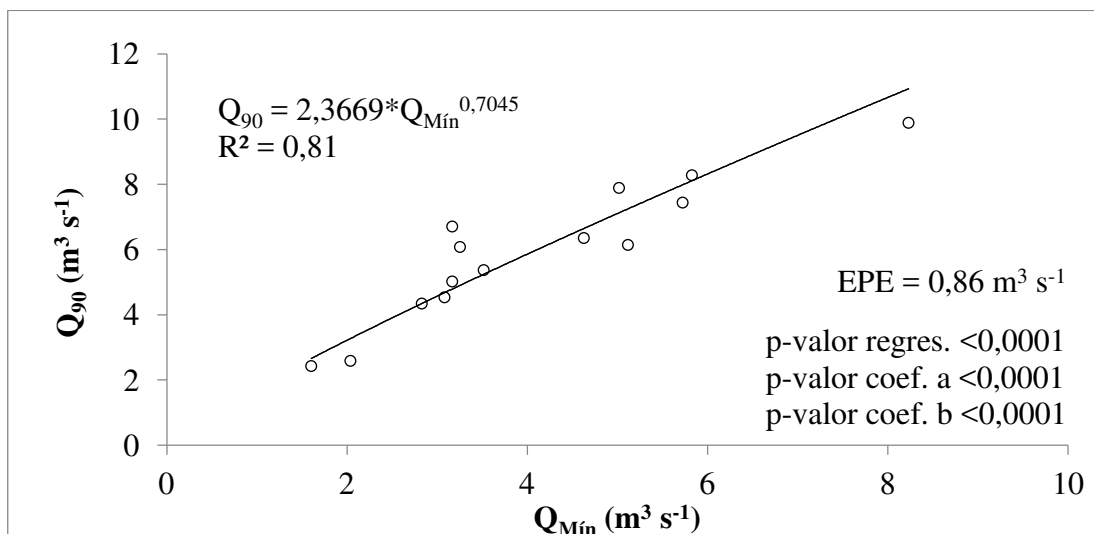


FIGURA 75: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de $Q_{Mín}$, na estação fluviométrica Letreiro

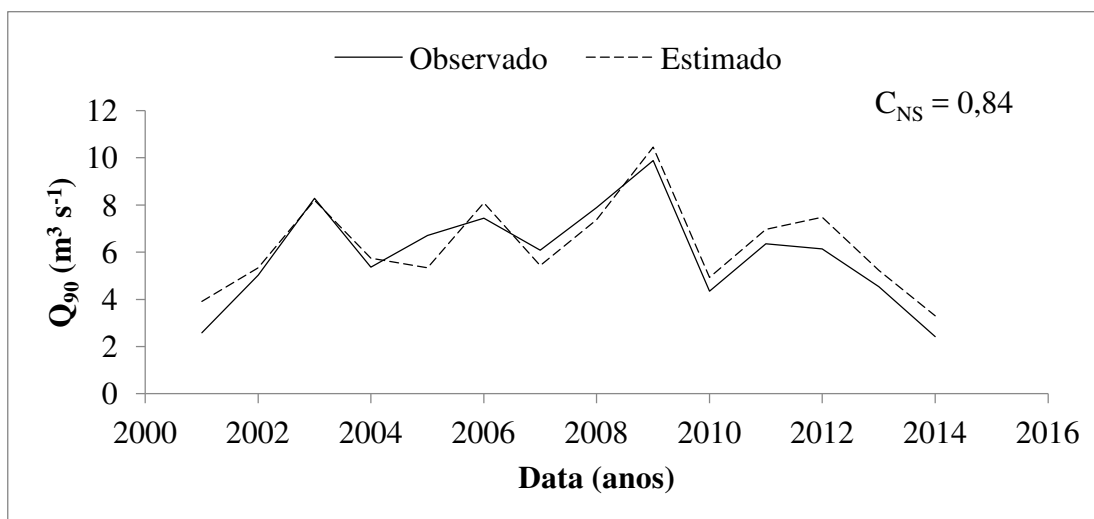


FIGURA 76: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{90} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro

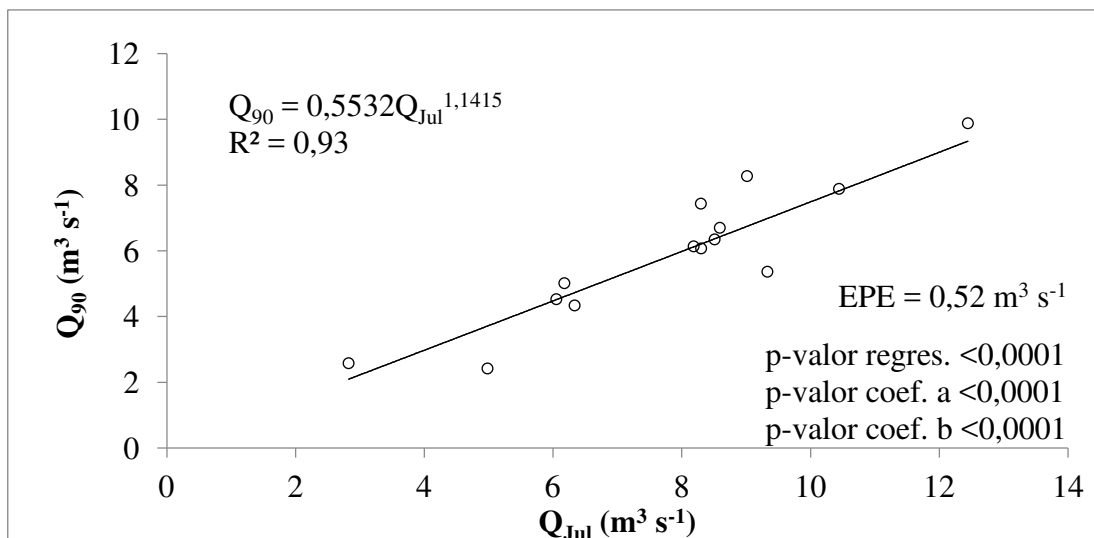
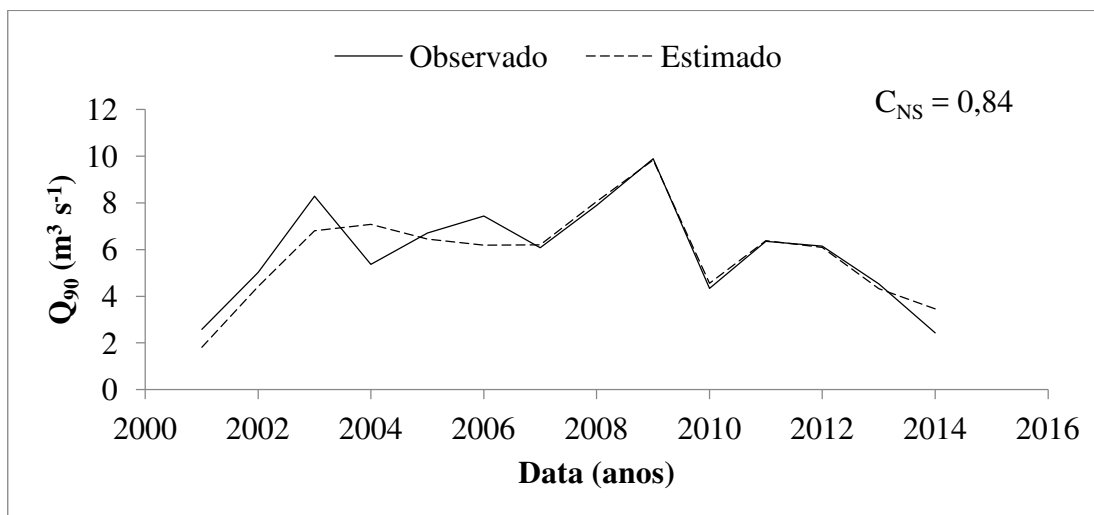


FIGURA 77: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{90} em função de Q_{Jul} , na estação fluviométrica Letreiro



4.4.6 Comparação de Q_{90} calculado, a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local e estimados pelo Atlas Digital das Águas de Minas

Este trabalho tem como objetivo também, comparar os dados calculados de Q_{90} em cada estação fluviométrica, com aquele estimado pela bibliografia Atlas Digital das Águas de Minas. Não obstante, os valores de Q_{90} obtidos pelas vias citadas anteriormente foram comparados com aqueles observados no local, ou seja, em cada estação fluviométrica. Os dados observados foram considerados como padrão e serviram de parâmetro de avaliação do erro entre as metodologias.

Os valores de Q_{90} calculados e estimados estão reunidos na TABELA 13, incluindo os valores obtidos por meio da bibliografia Atlas Digital das Águas de Minas. Nessa tabela estão compilados também as estimativas de Erro Absoluto e Erro Relativo.

Analizando a TABELA 13, nota-se que o Atlas Digital das Águas de Minas subestimou o valor de Q_{90} quando comparado com o valor calculado por meio do comando percentil do Excel® 2010. Além disso, verifica-se também, que os erros apresentados por essa bibliografia ficaram entre -28,89 e -35,58%, com exceção daquele alcançado na estação fluviométrica Letreiro, o qual foi de -10,33%. Apesar de altos, esses erros relativos estão dentro daqueles calculados por Silva et al. (2006). Em sua conclusão o autor fez um comparativo com valores obtidos por na bibliografia Atlas Digital das Águas de Minas (SOUZA, 1993), obtendo intervalo de erro relativo de -4,17% a 46,34%.

Na TABELA 13 estão reunidos também os resultados da estimativa da vazão garantida em 90% do tempo (Q_{90}), calculados por meio de modelos de regressão, em função da vazão mínima anual ($Q_{\text{Mín}}$) e vazão média do mês de julho (Q_{Jul}). Especificamente em relação à esta última vazão, na citada tabela são apresentados os resultados somente para as estações Desemboque e Letreiro. Isso se justifica porque os modelos de regressão associados à essa variável, nas demais estações fluviométricas estudadas, não foram aprovados nos quesitos estatísticos.

Ainda na TABELA 13, verifica-se que os resultados de Q_{90} calculados por meio de modelos de regressão, em função $Q_{\text{Mín}}$ e Q_{Jul} , apresentaram erros menores do que aqueles verificados na estimativa da vazão pelo Atlas Digital das Águas de Minas, com exceção daqueles obtidos na estação Letreiro. Nesta, o erro percentual alcançado pelo Atlas Digital das Águas de Minas foi de apenas -10,33%, enquanto que os obtidos por

meio de $Q_{Mín}$ e Q_{Jul} foram, respectivamente, 44,08% e 29,97%. Diante disso, o uso desses modelos (Q_{95} em função de $Q_{Mín}$ e Q_{Jul}) devem ser preteridos em relação ao modelo apresentado no Atlas Digital das Águas de Minas.

TABELA 13: Valores médios anuais de Q_{90} observados e estimados, com seus respectivos erros, verificados nas estações fluviométricas Desemboque, PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco e Letreiro

| Estação Fluviométrica | Método de Estimativa de Q_{90} ¹ | Valor de Q_{90} ($m^3 s^{-1}$) | Erro de estimativa | |
|--------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------|--------------|
| | | | Absoluto ($m^3 s^{-1}$) | Relativo (%) |
| Desemboque | Percentil ¹ | 9,64 | ... | ... |
| | Atlas Digital ² | 6,21 | 3,43 | -35,58 |
| | $Q_{Mín}$ | 10,51 | 0,87 | 9,02 |
| | Q_{Jul} | 10,23 | 0,59 | 6,12 |
| PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | Percentil | 26,96 | --- | --- |
| | Atlas Digital | 17,39 | 9,57 | -35,50 |
| | $Q_{Mín}$ | 30,51 | 3,55 | 13,17 |
| Ponte BR-452 | Percentil | 6,75 | ... | ... |
| | Atlas Digital | 4,80 | 1,95 | -28,89 |
| | $Q_{Mín}$ | 8,12 | 1,37 | 20,30 |
| Capim Branco | Percentil | 140,00 | ... | ... |
| | Atlas Digital | 92,44 | 47,56 | -33,97 |
| | $Q_{Mín}$ | 157,92 | 17,92 | 12,80 |
| Letreiro | Percentil | 3,97 | ... | ... |
| | Atlas Digital | 3,56 | 0,41 | -10,33 |
| | $Q_{Mín}$ | 5,72 | 1,75 | 44,08 |
| | Q_{Jul} | 5,16 | 1,19 | 29,97 |

Nota: ¹ denominação da ferramenta integrante do software Excel[®] 2010, a qual foi usada na obtenção dos valores observados da vazão garantida em 90% do tempo (Q_{90}); ² Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

4.5 Resultados dos modelos de regressão para estimativa da vazão média anual – Q_{Anual}

Neste trabalho foi possível estimar valores de vazão média anual (Q_{Anual}) apenas em função da vazão média mensal do mês de março (Q_{Mar}). Além disso, esse resultado foi obtido somente para as estações fluviométricas Ponte BR-452 e Letreiro. Para os demais meses do ano e estações fluviométricas (Desemboque, PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista e Capim Branco), os critérios de corte não foram plenamente atendidos, o que impossibilitou que fossem gerados e avaliados os modelos de regressão.

Nas FIGURAS 78 e 80 encontram-se dispostos os modelos de regressão que melhor estimaram os valores de Q_{Anual} em função da vazão medida em março (Q_{Mar}), respectivamente para as estações Ponte BR-452 e Letreiro. Além disso, nessas figuras também estão compilados os resultados estatísticos desses modelos, como coeficiente de determinação (R^2), erro padrão de estimativa (EPE), teste F da equação de regressão (p-valor regres.) e teste t dos parâmetros da regressão (p-valor do coef. a e p-valor do coef. b).

Analisando as FIGURAS 78 e 80, verifica-se que os modelos de regressão expostos apresentaram pouca aderência aos dados observados, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,49 e 0,59, nas estações Ponte BR-452 e Letreiro, respectivamente. Stedinger e Thomas (1985) recomendam que as equações regressão gerem valores de coeficiente de determinação superiores a 0,70.

Ainda em relação aos dados contidos nas FIGURAS 78 e 80, verifica-se também, que os dois modelos de regressão foram aprovados nos quesitos estatísticos. No que diz respeito ao erro padrão da estimativa (EPE), ressaltam-se os baixos valores calculados para as duas estações.

Nas FIGURAS 79 e 81 estão dispostos os resultados do teste de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) das estações Ponte BR-452 e Letreiro, respectivamente. Analisando-os, por meio da classificação proposta por Gotschalk e Motovilov (2000) citado por Collischonn (2001), conclui-se que os modelos de regressão possuem precisão aceitável. Esta classificação faculta que os mesmos sejam usados na estimativa da vazão média anual, a partir dos dados de vazão média do mês de março, para estações Ponte BR-452 e Letreiro.

FIGURA 78: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{Anual} em função de Q_{Mar} , na estação fluviométrica Ponte BR-452

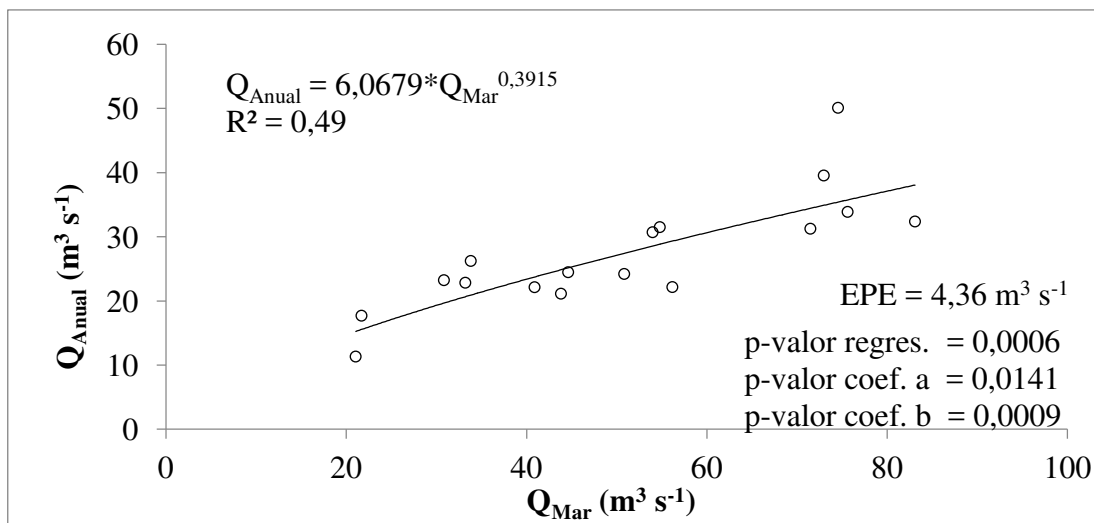


FIGURA 79: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{Anual} em função de Q_{Mar} , na estação fluviométrica Ponte BR-452

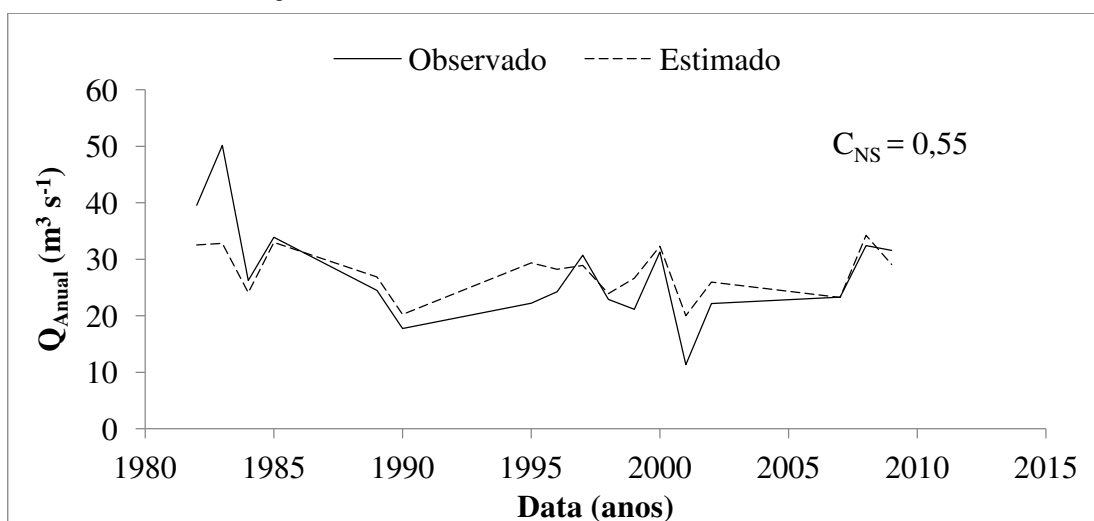


FIGURA 80: Resultado da construção do modelo de regressão por meio do qual se estimou Q_{Anual} em função de Q_{Mar} , na estação fluviométrica Letreiro

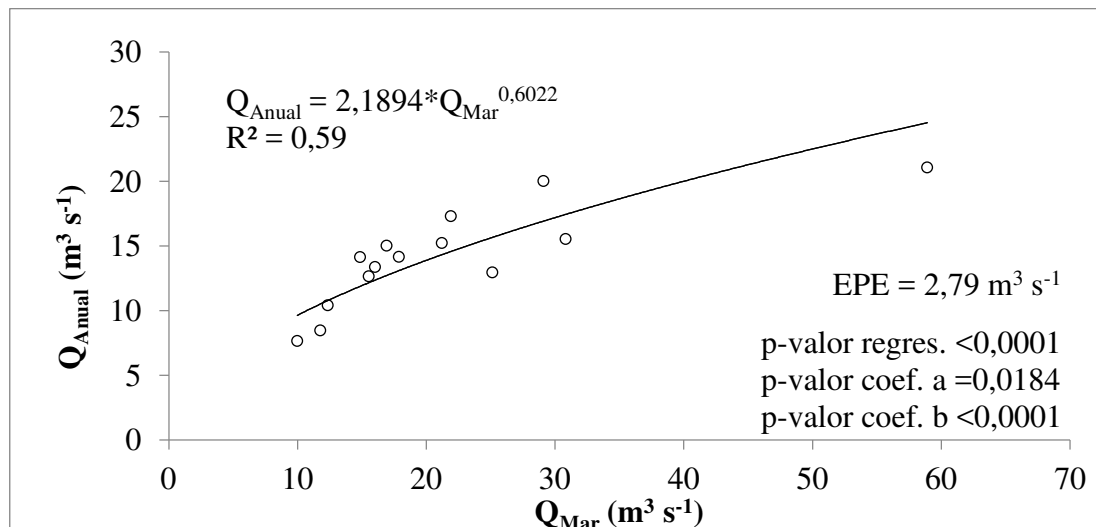
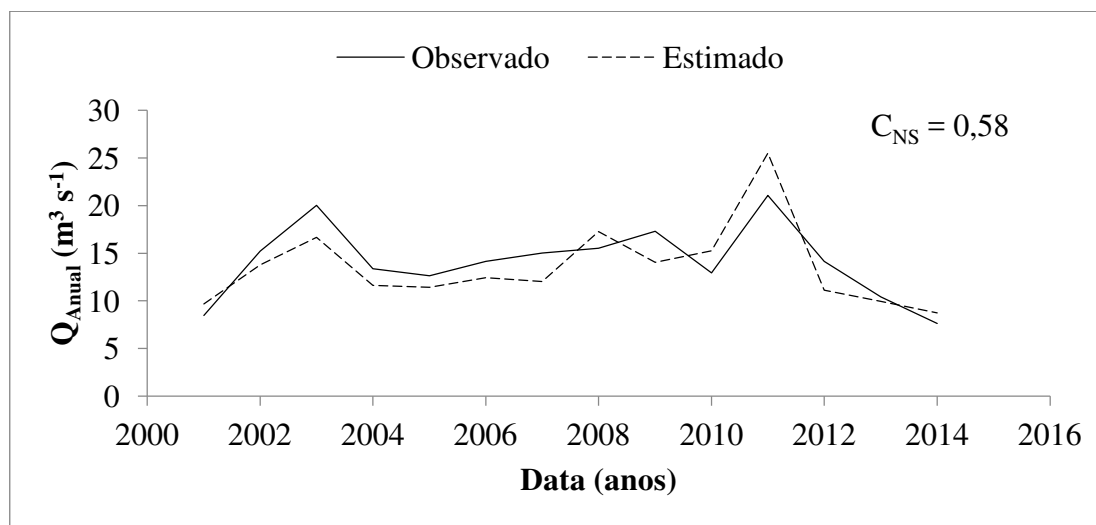


FIGURA 81: Eficiência do modelo de regressão em estimar Q_{Anual} em função de Q_{Mar} , na estação fluviométrica Letreiro



4.5.1 Comparação de Q_{Anual} calculado, a partir dos modelos de regressão, com aqueles observados no local

Este trabalho tem como objetivo também, comparar os dados calculados de vazão média anual (Q_{Anual}) em cada estação fluviométrica, com aquele estimado pelo Atlas Digital das Águas de Minas, bem como a vazão média da série de dados observada no local, ou seja, em cada estação fluviométrica. Ressalta-se que a vazão considerada do Atlas Digital das Águas de Minas foi a vazão média de longo período (Q_{MLP}). A vazão média do mês de março (Q_{Mar}) foi obtida por meio da média da vazão dos meses de março da segunda parte da série histórica. Os dados observados foram considerados como padrão e serviram de parâmetro de avaliação do erro entre as metodologias.

Os valores de Q_{Anual} calculados e estimados estão reunidos na TABELA 14. Nessa tabela estão compilados também as estimativas de Erro Absoluto e Erro Relativo. Analisando a citada tabela, nota-se que o Atlas Digital das Águas de Minas subestimou o valor de vazão média de longo período quando comparado com a vazão observada na estação Ponte BR-452.

Além disso, verifica-se também na TABELA 14, que os erros apresentados por essa bibliografia ficaram entre 0,00 e -31,95%. Chama a atenção o valor zero de erro absoluto e relativo verificado por meio do Atlas Digital na estação fluviométrica Letreiro. Isso aconteceu porque a vazão média de longo período estimada pelo Atlas Digital das Águas de Minas foi exatamente igual ao valor observado na citada estação fluviométrica. Apesar de altos (na estação Ponte BR-452), esses erros relativos estão dentro daqueles calculados por Silva et al. (2006).

Na TABELA 14 estão reunidos também os resultados da estimativa da vazão média anual (Q_{Anual}), calculados por meio de modelos de regressão, em função da vazão do mês de março (Q_{Mar}). Especificamente em relação à esta última vazão, na citada tabela são apresentados os resultados somente para as estações Ponte BR-452 e Letreiro. Isso se justifica porque os modelos de regressão associados à essa variável, nas demais estações fluviométricas estudadas, não foram aprovados nos quesitos estatísticos.

Ainda na TABELA 14, verifica-se que os resultados de Q_{Anual} calculados por meio de modelos de regressão, em função da vazão de março (Q_{Mar}), apresentaram erros menores do que aqueles verificados na estimativa da vazão média de longo período pelo

Atlas Digital das Águas de Minas na estação Ponte BR-452. Nesta, o erro percentual alcançado pelo Atlas Digital das Águas de Minas foi de -31,95%, enquanto que os obtidos por meio de Q_{Mar} foi de 3,15%.

Os resultados contidos na TABELA 14 permitem recomendar o uso dos modelos de regressão explicitados nas FIGURAS 78 e 80, para a estimativa da vazão média anual (Q_{Anual}) em função da vazão média do mês de março (Q_{Mar}), nas estações fluviométricas Ponte BR-452 e Letreiro. Essa descoberta poderá auxiliar na cobertura de falhas de vazões médias anuais nas citadas estações, desde de que a vazão média do mês de março do ano em questão seja conhecido.

TABELA 14: Valores médios anuais de vazão (Q_{Anual}) observados e estimados, com seus respectivos erros, verificados nas estações fluviométricas Ponte BR-452 e Letreiro

| Estação Fluviométrica | Método de Estimativa de Q_{Anual} | Valor de Q_{Anual} ($m^3 s^{-1}$) | Erro de estimativa | |
|--------------------------|---|--|---------------------------|--------------|
| | | | Absoluto ($m^3 s^{-1}$) | Relativo (%) |
| Ponte BR-452 | Observado ¹ | 27,38 | ... | ... |
| | Atlas Digital ² | 18,63 | 8,75 | -31,95 |
| | Q_{Mar} | 28,24 | 0,86 | 3,15 |
| Letreiro | Observado | 14,13 | ... | ... |
| | Atlas Digital | 14,13 | 0,00 | 0,00 |
| | Q_{Mar} | 13,93 | 0,20 | -1,42 |

Nota: ¹ refere-se à vazão média anual da segunda parte da série histórica; ² Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho tinha como objetivo central modelar a vazão mínima, média e máxima em cinco estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. Após análise dos dados, verificou-se que a estimativa da vazão máxima não foi possível, em nenhuma das estações estudadas, devido à pouca aderência dos dados observados aos modelos matemáticos testados.

A vazão anual mínima de sete dias ($Q_{7\text{Anual}}$) pôde ser estimada por modelos de regressão potencial com dois parâmetros, somente em função da vazão mínima anual ($Q_{\text{Mín}}$), da vazão garantida em 95% do tempo (Q_{95}), da vazão garantida em 90% do tempo (Q_{90}) e da vazão média no mês de julho (Q_{Jul}). A estimativa de $Q_{7\text{Anual}}$ em função da vazão média do mês de julho, foi possível somente nas estações fluviométricas Desemboque e Letreiro. Para as demais estações e meses do ano, assim como a estimativa de $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{90} na estação Capim Branco, os resultados não foram satisfatórios perante aos testes estatísticos aplicados. Os modelos de regressão com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e coeficientes de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), capazes de estimar a $Q_{7\text{Anual}}$ em cada uma das estações fluviométricas estudadas neste trabalho, em função de $Q_{\text{Mín}}$, Q_{95} , Q_{90} e Q_{Jul} foram:

| | | | |
|--|--------------|------------------------|-----------------------------------|
| $Q_{7\text{Anual}} = 1,145 * Q_{\text{Mín}}^{0,9632}$ | $R^2 = 0,98$ | $C_{\text{NS}} = 0,94$ | Desemboque |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,79 * Q_{95}^{1,0623}$ | $R^2 = 0,97$ | $C_{\text{NS}} = 0,91$ | Desemboque |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,678 * Q_{90}^{1,0896}$ | $R^2 = 0,93$ | $C_{\text{NS}} = 0,85$ | Desemboque |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,3996 * Q_{\text{Jul}}^{1,1794}$ | $R^2 = 0,81$ | $C_{\text{NS}} = 0,56$ | Desemboque |
| $Q_{7\text{Anual}} = 2,3127 * Q_{\text{Mín}}^{0,7556}$ | $R^2 = 0,88$ | $C_{\text{NS}} = 0,94$ | PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,528 * Q_{95}^{1,1736}$ | $R^2 = 0,76$ | $C_{\text{NS}} = 0,97$ | PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,5717 * Q_{90}^{1,1324}$ | $R^2 = 0,93$ | $C_{\text{NS}} = 0,94$ | PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista |
| $Q_{7\text{Anual}} = 1,2783 * Q_{\text{Mín}}^{0,9003}$ | $R^2 = 0,96$ | $C_{\text{NS}} = 0,97$ | Ponte BR-452 |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,6959 * Q_{95}^{1,1141}$ | $R^2 = 0,84$ | $C_{\text{NS}} = 0,95$ | Ponte BR-452 |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,525 * Q_{90}^{1,168}$ | $R^2 = 0,82$ | $C_{\text{NS}} = 0,91$ | Ponte BR-452 |
| $Q_{7\text{Anual}} = 1,0572 * Q_{\text{Mín}}^{0,9933}$ | $R^2 = 0,99$ | $C_{\text{NS}} = 0,88$ | Capim Branco |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,7691 * Q_{95}^{1,0345}$ | $R^2 = 0,98$ | $C_{\text{NS}} = 0,44$ | Capim Branco |
| $Q_{7\text{Anual}} = 1,4179 * Q_{\text{Mín}}^{0,8778}$ | $R^2 = 0,96$ | $C_{\text{NS}} = 0,97$ | Letreiro |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,7926 * Q_{95}^{1,0404}$ | $R^2 = 0,91$ | $C_{\text{NS}} = 0,94$ | Letreiro |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,6306 * Q_{90}^{1,1012}$ | $R^2 = 0,88$ | $C_{\text{NS}} = 0,86$ | Letreiro |
| $Q_{7\text{Anual}} = 0,3405 * Q_{\text{Jul}}^{1,2406}$ | $R^2 = 0,80$ | $C_{\text{NS}} = 0,66$ | Letreiro |

Verificou-se também, uma discrepância muito alta nos valores de vazão anual mínima de sete dias de duração e tempo de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), calculada com dados observados de $Q_{7\text{Anual}}$, em relação à estimativa por meio do Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (erro relativo médio de -65,18%) e Atlas Digital das Águas de Minas (erro relativo médio de -42,14%). Contudo, especificamente nas estações fluviométricas Ponte BR-452 e Letreiro, a metodologia proposta no Atlas Digital das Águas de Minas alcançou erros menores do que -13,40%.

Por outro lado, os modelos de regressão capazes de estimar $Q_{7\text{Anual}}$ em função de Q_{Min} , Q_{95} , Q_{90} e Q_{Jul} alcançaram erros médios de -7,39% e -15,62%, respectivamente, quando os resultados de $Q_{7\text{Anual}}$ estimados por eles foram usados no cálculo da $Q_{7,10}$ via distribuição de Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros.

A vazão garantida em 95% do tempo (Q_{95}) teve sua estimativa somente em função da vazão mínima anual (Q_{Min}), da vazão garantida em 90% do tempo (Q_{90}) e da vazão média no mês de julho (Q_{Jul}). A estimativa de Q_{95} em função da vazão média do mês de julho, foi possível somente nas estações fluviométricas Desemboque e Letreiro. Para as demais estações e meses do ano os resultados não foram satisfatórios perante aos testes estatísticos aplicados. Os modelos de regressão com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e coeficientes de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), capazes de estimar a Q_{95} em cada uma das estações fluviométricas estudadas neste trabalho, em função de Q_{Min} , Q_{90} e Q_{Jul} foram:

| | | | |
|---|--------------|------------------------|-----------------------------------|
| $Q_{95} = 1,4829 * Q_{\text{Min}}^{0,8868}$ | $R^2 = 0,96$ | $C_{\text{NS}} = 0,82$ | Desemboque |
| $Q_{95} = 0,8579 * Q_{90}^{1,0295}$ | $R^2 = 0,97$ | $C_{\text{NS}} = 0,96$ | Desemboque |
| $Q_{95} = 0,533 * Q_{\text{Jul}}^{1,1057}$ | $R^2 = 0,83$ | $C_{\text{NS}} = 0,57$ | Desemboque |
| $Q_{95} = 4,248 * Q_{\text{Min}}^{0,5848}$ | $R^2 = 0,81$ | $C_{\text{NS}} = 0,83$ | PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista |
| $Q_{95} = 1,0588 * Q_{90}^{0,9682}$ | $R^2 = 0,99$ | $C_{\text{NS}} = 0,99$ | PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista |
| $Q_{95} = 2,0191 * Q_{\text{Min}}^{0,7208}$ | $R^2 = 0,90$ | $C_{\text{NS}} = 0,87$ | Ponte BR-452 |
| $Q_{95} = 0,7756 * Q_{90}^{1,0481}$ | $R^2 = 0,96$ | $C_{\text{NS}} = 0,98$ | Ponte BR-452 |
| $Q_{95} = 1,4674 * Q_{\text{Min}}^{0,9449}$ | $R^2 = 0,97$ | $C_{\text{NS}} = 0,69$ | Capim Branco |
| $Q_{95} = 0,922 * Q_{90}^{1,0014}$ | $R^2 = 0,99$ | $C_{\text{NS}} = 0,98$ | Capim Branco |
| $Q_{95} = 1,9288 * Q_{\text{Min}}^{0,7723}$ | $R^2 = 0,86$ | $C_{\text{NS}} = 0,89$ | Letreiro |
| $Q_{95} = 0,8055 * Q_{90}^{1,0569}$ | $R^2 = 0,97$ | $C_{\text{NS}} = 0,94$ | Letreiro |
| $Q_{95} = 0,4386 * Q_{\text{Jul}}^{1,1981}$ | $R^2 = 0,89$ | $C_{\text{NS}} = 0,74$ | Letreiro |

Ainda em relação a Q_{95} , verificou-se também uma discrepância muito alta nos valores dessa vazão calculada com dados observados, em relação à estimativa por meio do Atlas Digital das Águas de Minas (erro relativo médio de -31,23%). Contudo, especificamente nas estações fluviométricas Letreiro, a metodologia proposta no Atlas Digital das Águas de Minas alcançou erro relativo médio de -10,33%. Em contrapartida, os modelos de regressão que estimam Q_{95} em função de $Q_{Mín}$, Q_{90} e Q_{Jul} alcançaram erros médios de 17,76%, quando comparado com Q_{95} calculado com dados observados.

Em relação à vazão garantida em 90% do tempo (Q_{90}), esta foi estimada em função da vazão mínima anual ($Q_{Mín}$) e da vazão média no mês de julho (Q_{Jul}). A estimativa de Q_{90} em função da vazão média do mês de julho, foi possível somente nas estações fluviométricas Desemboque e Letreiro. Para as demais estações e meses do ano os resultados não foram satisfatórios perante aos testes estatísticos aplicados. Os modelos de regressão com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e coeficientes de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), capazes de estimar a Q_{90} em cada uma das estações fluviométricas estudadas neste trabalho, em função de $Q_{Mín}$ e Q_{Jul} foram:

| | | | |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|--------------------------------|
| $Q_{90} = 1,7984 * Q_{Mín}^{0,8369}$ | $R^2 = 0,92$ | $C_{NS} = 0,82$ | Desemboque |
| $Q_{90} = 0,6597 * Q_{Jul}^{1,057}$ | $R^2 = 0,83$ | $C_{NS} = 0,65$ | Desemboque |
| $Q_{90} = 4,3011 * Q_{Mín}^{0,5964}$ | $R^2 = 0,79$ | $C_{NS} = 0,89$ | PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista |
| $Q_{90} = 2,6344 * Q_{Mín}^{0,6567}$ | $R^2 = 0,88$ | $C_{NS} = 0,84$ | Ponte BR-452 |
| $Q_{90} = 1,6235 * Q_{Mín}^{0,9394}$ | $R^2 = 0,97$ | $C_{NS} = 0,67$ | Capim Branco |
| $Q_{90} = 2,3669 * Q_{Mín}^{0,7045}$ | $R^2 = 0,81$ | $C_{NS} = 0,84$ | Letreiro |
| $Q_{90} = 0,5532 * Q_{Jul}^{1,1415}$ | $R^2 = 0,93$ | $C_{NS} = 0,84$ | Letreiro |

As vazões com permanência de 90% (Q_{90}) estimadas por meio do Atlas Digital das Águas de Minas, comparadas àquelas calculadas com dados observados, alcançaram erro relativo médio de -28,85%. Por outro lado, quando a vazão Q_{90} foi estimada por meio dos modelos de regressão em função de $Q_{Mín}$ e Q_{Jul} , esse erro foi 19,35%.

Neste trabalho objetivou-se também, estimar a vazão mínima anual ($Q_{Mín}$) em função da vazão média dos meses do ano. Contudo, o ajuste estatístico satisfatório dos modelos de regressão foi possível somente em função da vazão média do mês de julho e para as estações Desemboque e Letreiro. Os modelos de regressão para estimar $Q_{Mín}$ em função de Q_{Jul} alcançaram erros relativos de 0,20% e -11,59%, nas estações Desemboque e Letreiro, respectivamente. Os modelos obtidos neste trabalho são:

| | | | |
|---------------------------------------|--------------|-----------------|------------|
| $Q_{Mín} = 0,3657 * Q_{Jul}^{1,1927}$ | $R^2 = 0,77$ | $C_{NS} = 0,52$ | Desemboque |
| $Q_{Mín} = 0,2217 * Q_{Jul}^{1,3573}$ | $R^2 = 0,74$ | $C_{NS} = 0,66$ | Letreiro |

A vazão média anual (Q_{Anual}) foi estimada somente em função da vazão média no mês de março (Q_{Mar}) e nas estações fluviométricas Ponte BR-452 e Letreiro. Para as demais estações e meses do ano os resultados não foram satisfatórios perante aos testes estatísticos aplicados. Os modelos de regressão com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e coeficientes de Nash-Sutcliffe (C_{NS}), capazes de estimar a Q_{Anual} foram:

$$Q_{\text{Anual}} = 6,0679 * Q_{\text{Mar}}^{0,3915} \quad R^2 = 0,49 \quad C_{\text{NS}} = 0,55 \quad \text{Ponte BR-452}$$

$$Q_{\text{Anual}} = 2,1894 * Q_{\text{Mar}}^{0,6022} \quad R^2 = 0,59 \quad C_{\text{NS}} = 0,58 \quad \text{Letreiro}$$

A vazão média anual (Q_{Anual}) estimadas por meio do Atlas Digital das Águas de Minas, comparada àquela calculada com dados observados, apresentou erro relativo de -31,95% na estação Ponte BR-452. Na estação Letreiro o erro foi zero, ou seja, o valor estimado foi igual ao observado. Por outro lado, quando a vazão Q_{Anual} foi estimada por meio dos modelos de regressão em função de Q_{Mar} , esse erro foi 3,15% e -1,42%, nas estações Ponte BR-452 e Letreiro, respectivamente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Inventário das estações fluviométricas**. 2. ed. Brasília: ANA/SGH, 2009. Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/InventariodasEstacoesFluviometricas.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portaria nº 149 de 26 de março de 2015**. Brasília: ANA/SGH, 2015. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf>. Acesso em: 10 de jan. de 2016.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 08 jan. 1997. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 10 de jan. de 2016.

BRASIL. Lei nº 13.199 de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário do Executivo**. Belo Horizonte, MG. 30 jan. 1999. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. Acesso em: 10 de jan. de 2016

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVERIA, R. V. T. Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 43 - 51, jul/set 2002.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 270f. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 189f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

EHLKE, M. H.; REED, L. A. **Comparison of methods for computing streamflow statistics for Pennsylvania streams**. U. S. Department of the Interior; U. S. Geological Survey: Lemoyne, 1999. 80p. (Report n. 99-4068).

EUCLYDES, H. P. **Atlas digital das águas de Minas: uma ferramenta para planejamento e gestão dos recursos hídricos**. 3 ed. Viçosa: UFV, 1993. Disponível em

<http://www.atlasdasaguas.ufv.br/atlas_digital_das_aguas_de_minas_gerais.html>.
Acesso em: 06 jan. 2016

FARIA, F. C.; JORDÃO, L. F. A. **Plano de recursos hídricos para a Bacia do Rio Araguari**: resumo executivo. Araguari: Editora dos Autores, 2012. 127 p.

GOTTSCHALK, L.; BELDRING, S.; ENGELAND, K.; TALLAKSEN, L.; SÆLTHUM, N. R.; KOLBERG, S.; MOTOVILOV, Y. Regional/Macroscale Hydrological Modelling: a Scandinavian Experience. **Hydrological Sciences Journal**, [S. l.], v. 46, n. 6, p. 963-982, Dec, 2001.

HIDROTEC. **Síntese do website “Atlas Digital das Águas de Minas”**. Disponível em: <http://www.hidrotec.ufv.br/download/Sintese_atlas.pdf>. Acesso em 08 de ago. de 2016.

LISBOA, L.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. S.; PRUSKI, F. F. Estimativa e Regionalização das Vazões Mínimas e Média na Bacia do Rio Paracatu. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.16, n. 4, 471-479, Out/Dez, 2008.

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

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESCOW, S.; Vazões Máximas e Mínimas para Bacias Hidrográficas da Região Alto Rio Grande, MG. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 34, n. 2, p. 949 - 502, Mar/Abr, 2010.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199 de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário do Executivo**. Belo Horizonte, MG. 30 jan. 1999. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. Acesso em: 10 de jan. de 2016

MINAS GERAIS. Resolução Conjunta SEMAD e IGAM nº 1548 de 29 de março 2012. 2012. **SEMAD**. Disponível em <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/CTIG/4-r-c-semad-igam-no-1548-versao-publicada.pdf>>. Acesso em 10 de ago. de 2016.

MINAS GERAIS. Resolução Conjunta SEMAD e IGAM nº 2237 de 05 de dezembro de 2014. Estabelece procedimentos a serem observados pelos usuários de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais visando ao envio dos dados de monitoramento pluviométrico, limnimétrico e fluviométrico associados a reservatórios para aproveitamento hidrelétrico e para abastecimento público, e dá outras providências. **SEMAD**. Belo Horizonte, MG. 05 dez. 2014. Disponível em <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2015_ARQUIVOS/MONITORA_RESERVATORIO/RESOLU%C3%87%C3%83O_CONJUNTA_SEMAD_E_IGAM_N%C2%BA_2237_Versao_Final.pdf> Acesso em: 10 de jan. de 2016.

MOREIRA, M. C.; PRUSKI, F. F.; SILVA, A. L.; SILVA, D. D.; SILVA, J. M. A. Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de Caso para a Bacia do Ribeirão Entre Ribeiros. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 5, p. 419 - 428, Set/Out, 2010.

MORIASI, D. N.; ARNOUD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. Saint Joseph, v. 50, n. 3, p. 885-900. Jun. 2007. Disponível em <<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=23153>>. Acesso em: 04 fev. 2016.

PYRCE, R. Hidrological Low Flow Indices and their Uses. **Watershed Science Centre Report**, Peterborough, n. 04, p.33, Ago. 2004.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In SANO, S. M.; SEMÍRAMIS, P.; RIBEIRO, J. F. (Ed). **Cerrado ecologia e flora**. Brasília, Embrapa Cerrados. 2008. Cap. 5. p. 107-149.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In SANO, S. M.; SEMÍRAMIS, P.; RIBEIRO, J. F. (Ed). **Cerrado ecologia e flora**. Brasília, Embrapa Cerrados. 2008. Cap. 6. p. 151-212.

RISLEY, J.; STONEWALL, A.; HALUSKA, T. Estimating Flow-Duration and Low-Flow Frequency Statistics for Unregulated Streams in Oregon. **U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report**, Reston, n. 5126, p.22, jun 2009.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões Mínimas e de Referência para Outorga na Região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 374 - 380, 2006.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, E. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In SANO, S. M.; SEMÍRAMIS, P.; RIBEIRO, J. F. (Ed). **Cerrado ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Cerrados. 2008. Cap. 3. p. 69-88.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 3, n. 3, p.111 - 131, jul/set 1998.

SOUZA, S. M. T. **Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Hidrossistemas. 1993. 264p.

STEDINGER, J. R; THOMAS, W. O. Jr. Low Flow Frequency Estimation Using Base-Flow Measurements. **U. S. Geological Survey**, Reston, Open - File Report 85-95, 22p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678p.

VIOLA, M. R. **Simulação Hidrológica na Região Alto Rio Grande a Montante de Reservatório de Camargos/CEMIG**. 2008. 120f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

WILSON, J. T. Evaluation of a Method of Estimating Low-Flow Frequencies from Base-Flow Measurements at Indiana Streams. **Water Resources Investigations**, Indianapolis, Report 00-4063, 2000.

ANEXOS

TABELA 1A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica Desemboque

| Variável | Variável ¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Q _{Anual} | Q _{Máx} | Q _{Mín} | Q _{7Anual} | Q ₉₅ | Q ₉₀ | Q _{Jan} | Q _{Fev} | Q _{Mar} | Q _{Abr} | Q _{Mai} | Q _{Jun} | Q _{Jul} | Q _{Ago} | Q _{Set} | Q _{Out} | Q _{Nov} | Q _{Dez} |
| Q _{Anual} | 1,00 | 0,64 | 0,72 | 0,72 | 0,76 | 0,78 | 0,75 | 0,78 | 0,81 | 0,69 | 0,65 | 0,79 | 0,79 | 0,72 | 0,60 | 0,58 | 0,49 | 0,59 |
| Q _{Máx} | | 1,00 | 0,28 | 0,27 | 0,32 | 0,35 | 0,59 | 0,58 | 0,49 | 0,16 | 0,20 | 0,37 | 0,36 | 0,38 | 0,15 | 0,28 | 0,19 | 0,54 |
| Q _{Mín} | | | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,96 | 0,39 | 0,40 | 0,46 | 0,68 | 0,83 | 0,87 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,53 | 0,28 | 0,49 |
| Q _{7Anual} | | | | 1,00 | 0,98 | 0,97 | 0,40 | 0,38 | 0,49 | 0,69 | 0,86 | 0,89 | 0,90 | 0,91 | 0,88 | 0,49 | 0,24 | 0,48 |
| Q ₉₅ | | | | | 1,00 | 0,99 | 0,41 | 0,41 | 0,51 | 0,72 | 0,88 | 0,91 | 0,91 | 0,92 | 0,89 | 0,54 | 0,32 | 0,50 |
| Q ₉₀ | | | | | | 1,00 | 0,41 | 0,44 | 0,56 | 0,69 | 0,85 | 0,89 | 0,91 | 0,92 | 0,89 | 0,59 | 0,34 | 0,52 |
| Q _{Jan} | | | | | | | 1,00 | 0,68 | 0,74 | 0,41 | 0,32 | 0,53 | 0,48 | 0,39 | 0,18 | 0,23 | 0,11 | 0,20 |
| Q _{Fev} | | | | | | | | 1,00 | 0,64 | 0,36 | 0,36 | 0,49 | 0,52 | 0,42 | 0,26 | 0,31 | 0,32 | 0,28 |
| Q _{Mar} | | | | | | | | | 1,00 | 0,59 | 0,50 | 0,61 | 0,62 | 0,59 | 0,38 | 0,34 | 0,22 | 0,29 |
| Q _{Abr} | | | | | | | | | | 1,00 | 0,80 | 0,77 | 0,76 | 0,70 | 0,59 | 0,30 | 0,31 | 0,25 |
| Q _{Mai} | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,91 | 0,92 | 0,88 | 0,74 | 0,27 | 0,12 | 0,29 |
| Q _{Jun} | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,95 | 0,88 | 0,77 | 0,39 | 0,24 | 0,39 |
| Q _{Jul} | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,93 | 0,76 | 0,38 | 0,27 | 0,41 |
| Q _{Ago} | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,79 | 0,33 | 0,15 | 0,45 |
| Q _{Set} | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,49 | 0,37 | 0,50 |
| Q _{Out} | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,70 | 0,54 |
| Q _{Nov} | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,52 |
| Q _{Dez} | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 |

¹Valores em negrito: r-Pearson >= 0,60

TABELA 2A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista

| Variável | Variável ¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| | QAnual | QMáx | QMin | Q7Anual | Q95 | Q90 | QJan | QFev | QMar | QAbr | QMai | QJun | QJul | QAgo | QSet | QOut | QNov | QDez |
| QAnual | 1,00 | 0,76 | 0,63 | 0,61 | 0,65 | 0,65 | 0,64 | 0,67 | 0,79 | 0,69 | 0,81 | 0,89 | 0,86 | 0,65 | 0,64 | 0,65 | 0,63 | 0,22 |
| QMáx | | 1,00 | 0,28 | 0,18 | 0,21 | 0,18 | 0,87 | 0,30 | 0,40 | 0,38 | 0,41 | 0,62 | 0,52 | 0,27 | 0,20 | 0,41 | 0,48 | 0,52 |
| QMin | | | 1,00 | 0,95 | 0,94 | 0,92 | 0,12 | 0,49 | 0,48 | 0,55 | 0,81 | 0,81 | 0,85 | 0,89 | 0,77 | 0,85 | 0,52 | -0,30 |
| Q7Anual | | | | 1,00 | 0,98 | 0,97 | 0,03 | 0,49 | 0,49 | 0,57 | 0,83 | 0,79 | 0,85 | 0,90 | 0,83 | 0,87 | 0,58 | -0,30 |
| Q95 | | | | | 1,00 | 0,99 | 0,05 | 0,57 | 0,49 | 0,53 | 0,86 | 0,81 | 0,87 | 0,90 | 0,88 | 0,90 | 0,66 | -0,28 |
| Q90 | | | | | | 1,00 | 0,03 | 0,61 | 0,53 | 0,54 | 0,86 | 0,82 | 0,87 | 0,92 | 0,88 | 0,88 | 0,65 | -0,30 |
| QJan | | | | | | | 1,00 | 0,06 | 0,32 | 0,20 | 0,23 | 0,44 | 0,37 | 0,12 | 0,10 | 0,17 | 0,44 | 0,51 |
| QFev | | | | | | | | 1,00 | 0,50 | 0,31 | 0,63 | 0,60 | 0,60 | 0,48 | 0,66 | 0,47 | 0,47 | 0,11 |
| QMar | | | | | | | | | 1,00 | 0,86 | 0,67 | 0,70 | 0,69 | 0,56 | 0,52 | 0,36 | 0,16 | -0,13 |
| QAbr | | | | | | | | | | 1,00 | 0,73 | 0,73 | 0,70 | 0,60 | 0,38 | 0,49 | 0,11 | -0,25 |
| QMai | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,90 | 0,95 | 0,81 | 0,70 | 0,85 | 0,60 | -0,23 |
| QJun | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,97 | 0,89 | 0,65 | 0,81 | 0,58 | -0,08 |
| QJul | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,90 | 0,72 | 0,84 | 0,59 | -0,18 |
| QAgo | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,72 | 0,82 | 0,50 | -0,33 |
| QSet | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,73 | 0,65 | -0,12 |
| QOut | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,75 | -0,12 |
| QNov | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,34 |
| QDez | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 |

¹Valores em negrito: r-Pearson >= 0,60

TABELA 3A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica Ponte BR-452

| Variável | Variável ¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Q _{Anual} | Q _{Máx} | Q _{Mín} | Q _{7Anual} | Q ₉₅ | Q ₉₀ | Q _{Jan} | Q _{Fev} | Q _{Mar} | Q _{Abr} | Q _{Mai} | Q _{Jun} | Q _{Jul} | Q _{Ago} | Q _{Set} | Q _{Out} | Q _{Nov} | Q _{Dez} |
| Q _{Anual} | 1,00 | 0,44 | 0,76 | 0,75 | 0,88 | 0,92 | 0,57 | 0,74 | 0,65 | 0,70 | 0,60 | 0,65 | 0,78 | 0,71 | 0,70 | 0,47 | 0,41 | 0,41 |
| Q _{Máx} | | 1,00 | 0,22 | 0,22 | 0,27 | 0,27 | 0,48 | 0,52 | 0,23 | 0,20 | 0,15 | 0,26 | 0,30 | 0,19 | 0,18 | -0,07 | 0,07 | 0,28 |
| Q _{Mín} | | | 1,00 | 0,98 | 0,94 | 0,92 | 0,53 | 0,46 | 0,61 | 0,58 | 0,49 | 0,59 | 0,66 | 0,71 | 0,77 | 0,14 | 0,10 | 0,23 |
| Q _{7Anual} | | | | 1,00 | 0,92 | 0,91 | 0,55 | 0,48 | 0,56 | 0,58 | 0,49 | 0,53 | 0,72 | 0,69 | 0,75 | 0,17 | 0,16 | 0,21 |
| Q ₉₅ | | | | | 1,00 | 0,98 | 0,60 | 0,58 | 0,62 | 0,54 | 0,56 | 0,67 | 0,69 | 0,75 | 0,87 | 0,31 | 0,28 | 0,31 |
| Q ₉₀ | | | | | | 1,00 | 0,59 | 0,58 | 0,66 | 0,65 | 0,60 | 0,68 | 0,76 | 0,79 | 0,82 | 0,31 | 0,25 | 0,35 |
| Q _{Jan} | | | | | | | 1,00 | 0,50 | 0,25 | 0,19 | 0,36 | 0,39 | 0,50 | 0,42 | 0,45 | -0,10 | 0,12 | 0,03 |
| Q _{Fev} | | | | | | | | 1,00 | 0,44 | 0,47 | 0,24 | 0,28 | 0,52 | 0,44 | 0,50 | 0,34 | 0,26 | 0,08 |
| Q _{Mar} | | | | | | | | | 1,00 | 0,63 | 0,38 | 0,32 | 0,55 | 0,67 | 0,39 | 0,29 | -0,08 | -0,06 |
| Q _{Abr} | | | | | | | | | | 1,00 | 0,41 | 0,38 | 0,67 | 0,53 | 0,29 | 0,25 | 0,05 | 0,22 |
| Q _{Mai} | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,90 | 0,76 | 0,72 | 0,58 | -0,04 | -0,03 | 0,24 |
| Q _{Jun} | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,69 | 0,70 | 0,67 | -0,02 | 0,10 | 0,38 |
| Q _{Jul} | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,85 | 0,52 | 0,11 | 0,12 | 0,13 |
| Q _{Ago} | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,62 | 0,00 | -0,02 | 0,09 |
| Q _{Set} | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,21 | 0,25 | 0,35 |
| Q _{Out} | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,82 | 0,21 |
| Q _{Nov} | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,30 |
| Q _{Dez} | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 |

¹Valores em negrito: r-Pearson >= 0,60

TABELA 4A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica Capim Branco

| Variável | Variável ¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Q _{Anual} | Q _{Máx} | Q _{Mín} | Q _{7Anual} | Q ₉₅ | Q ₉₀ | Q _{Jan} | Q _{Fev} | Q _{Mar} | Q _{Abr} | Q _{Mai} | Q _{Jun} | Q _{Jul} | Q _{Ago} | Q _{Set} | Q _{Out} | Q _{Nov} | Q _{Dez} |
| Q _{Anual} | 1,00 | 0,66 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,97 | 0,86 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,92 | 0,96 | 0,96 | 0,95 | 0,86 | 0,78 | 0,39 | 0,37 |
| Q _{Máx} | | 1,00 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,56 | 0,63 | 0,55 | 0,49 | 0,47 | 0,44 | 0,61 | 0,54 | 0,49 | 0,44 | 0,57 | 0,30 | 0,65 |
| Q _{Mín} | | | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,82 | 0,88 | 0,94 | 0,92 | 0,94 | 0,95 | 0,97 | 0,95 | 0,91 | 0,68 | 0,21 | 0,20 |
| Q _{7Anual} | | | | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 0,83 | 0,88 | 0,94 | 0,92 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,96 | 0,91 | 0,67 | 0,20 | 0,20 |
| Q ₉₅ | | | | | 1,00 | 1,00 | 0,83 | 0,88 | 0,91 | 0,91 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,97 | 0,94 | 0,67 | 0,22 | 0,23 |
| Q ₉₀ | | | | | | 1,00 | 0,83 | 0,88 | 0,90 | 0,90 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,96 | 0,93 | 0,70 | 0,27 | 0,28 |
| Q _{Jan} | | | | | | | 1,00 | 0,76 | 0,80 | 0,76 | 0,82 | 0,87 | 0,86 | 0,87 | 0,72 | 0,48 | 0,07 | 0,18 |
| Q _{Fev} | | | | | | | | 1,00 | 0,75 | 0,74 | 0,79 | 0,82 | 0,86 | 0,85 | 0,87 | 0,65 | 0,31 | 0,21 |
| Q _{Mar} | | | | | | | | | 1,00 | 0,91 | 0,90 | 0,91 | 0,93 | 0,91 | 0,79 | 0,62 | 0,16 | 0,08 |
| Q _{Abr} | | | | | | | | | | 1,00 | 0,97 | 0,94 | 0,95 | 0,93 | 0,75 | 0,58 | 0,15 | 0,12 |
| Q _{Mai} | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,97 | 0,98 | 0,98 | 0,85 | 0,56 | 0,11 | 0,13 |
| Q _{Jun} | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,85 | 0,61 | 0,15 | 0,28 |
| Q _{Jul} | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,99 | 0,87 | 0,63 | 0,20 | 0,19 |
| Q _{Ago} | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,87 | 0,60 | 0,17 | 0,17 |
| Q _{Set} | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,59 | 0,14 | 0,27 |
| Q _{Out} | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,79 | 0,55 |
| Q _{Nov} | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,46 |
| Q _{Dez} | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 |

¹Valores em negrito: r-Pearson >= 0,60

TABELA 5A: Resultado do teste de correlação linear de Pearson (r-Pearson) da estação fluviométrica Letreiro

| Variável | Variável ¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Q _{Anual} | Q _{Máx} | Q _{Mín} | Q _{7Anual} | Q ₉₅ | Q ₉₀ | Q _{Jan} | Q _{Fev} | Q _{Mar} | Q _{Abr} | Q _{Mai} | Q _{Jun} | Q _{Jul} | Q _{Ago} | Q _{Set} | Q _{Out} | Q _{Nov} | Q _{Dez} |
| Q _{Anual} | 1,00 | 0,70 | 0,81 | 0,85 | 0,89 | 0,91 | 0,67 | 0,75 | 0,77 | 0,74 | 0,83 | 0,83 | 0,93 | 0,81 | 0,77 | 0,83 | 0,69 | 0,64 |
| Q _{Máx} | | 1,00 | 0,32 | 0,36 | 0,47 | 0,50 | 0,76 | 0,50 | 0,78 | 0,36 | 0,51 | 0,51 | 0,63 | 0,63 | 0,53 | 0,34 | 0,25 | 0,31 |
| Q _{Mín} | | | 1,00 | 0,98 | 0,94 | 0,91 | 0,28 | 0,71 | 0,46 | 0,62 | 0,79 | 0,77 | 0,86 | 0,72 | 0,78 | 0,80 | 0,66 | 0,54 |
| Q _{7Anual} | | | | 1,00 | 0,96 | 0,94 | 0,35 | 0,71 | 0,49 | 0,64 | 0,84 | 0,84 | 0,89 | 0,75 | 0,78 | 0,84 | 0,67 | 0,55 |
| Q ₉₅ | | | | | 1,00 | 0,99 | 0,41 | 0,70 | 0,55 | 0,63 | 0,85 | 0,84 | 0,94 | 0,86 | 0,87 | 0,90 | 0,64 | 0,60 |
| Q ₉₀ | | | | | | 1,00 | 0,48 | 0,67 | 0,58 | 0,63 | 0,86 | 0,87 | 0,96 | 0,91 | 0,85 | 0,89 | 0,64 | 0,62 |
| Q _{Jan} | | | | | | | 1,00 | 0,18 | 0,64 | 0,25 | 0,40 | 0,53 | 0,58 | 0,53 | 0,44 | 0,44 | 0,41 | 0,38 |
| Q _{Fev} | | | | | | | | 1,00 | 0,50 | 0,60 | 0,71 | 0,57 | 0,67 | 0,48 | 0,61 | 0,56 | 0,57 | 0,35 |
| Q _{Mar} | | | | | | | | | 1,00 | 0,70 | 0,59 | 0,54 | 0,70 | 0,62 | 0,58 | 0,38 | 0,28 | 0,26 |
| Q _{Abr} | | | | | | | | | | 1,00 | 0,62 | 0,64 | 0,71 | 0,52 | 0,48 | 0,57 | 0,36 | 0,33 |
| Q _{Mai} | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,79 | 0,87 | 0,81 | 0,67 | 0,71 | 0,45 | 0,54 |
| Q _{Jun} | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,89 | 0,81 | 0,68 | 0,77 | 0,45 | 0,54 |
| Q _{Jul} | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,82 | 0,54 | 0,53 |
| Q _{Ago} | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,76 | 0,73 | 0,42 | 0,58 |
| Q _{Set} | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,69 | 0,53 | 0,36 |
| Q _{Out} | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,72 | 0,71 |
| Q _{Nov} | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,46 |
| Q _{Dez} | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 |

¹Valores em negrito: r-Pearson >= 0,60

TABELA 6A: Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de vazão anual mínima de sete dias de duração (Q_7 Anual), observados nas cinco estações fluviométricas avaliadas neste trabalho

| Estação fluviométrica | N ² | $\Delta f_{\text{tabelado}}$ ³ ($\alpha = 0,05$) | Distribuição de probabilidade | $\Delta f_{\text{máximo}}$ ¹ | Conclusão |
|--------------------------------|----------------|--|-------------------------------|---|-----------|
| Desemboque | 24 | 0,278 | Gumbel ⁴ | 0,220 | Aceita |
| | | | LogNormal3P ⁵ | 0,097 | Aceita |
| PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista | 10 | 0,410 | Gumbel | 0,330 | Aceita |
| | | | LogNormal3P | 0,371 | Aceita |
| Ponte BR-452 | 17 | 0,310 | Gumbel | 0,162 | Aceita |
| | | | LogNormal3P | 0,089 | Aceita |
| Capim Branco | 15 | 0,340 | Gumbel | 0,170 | Aceita |
| | | | LogNormal3P | 0,058 | Aceita |
| Letreiro | 14 | 0,363 | Gumbel | 0,168 | Aceita |
| | | | LogNormal3P | 0,095 | Aceita |

Nota: ¹ maior diferença entre as frequências observadas e calculadas; ² tamanho da amostra; ³ valor crítico para a estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov (tabelado); ⁴ distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos (Assintótica de Valores Extremos do Tipo I); ⁵ distribuição de probabilidade Log-Normal a 3 parâmetros