

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA, BRASIL**

SAMUEL ALVES MACIEL

UBERLÂNDIA/MG
2017

SAMUEL ALVES MACIEL

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA, BRASIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio de Oliveira.

UBERLÂNDIA/MG
2017

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

-
- M152a Maciel, Samuel Alves, 1991
2017 Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio
Paranaíba, Brasil / Samuel Alves Maciel. - 2017.
213 f. : il.
- Orientador: Luiz Antônio de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Geografia.
Inclui bibliografia.
1. Geografia - Teses. 2. Estatística - Análise - Teses. 3. Bacias
hidrográficas - Teses. 4. Chuvas - Teses. I. Oliveira, Luiz Antônio de. II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Geografia. III. Título.

CDU: 910.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia

IG

SAMUEL ALVES MACIEL

ANÁLISE DA RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA, BRASIL

Professor Dr. Luiz Antônio de Oliveira - UFU

Professor Dr. Rafael de Ávila Rodrigues - UFG - Catalão - GO

Professor Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira - UFU

Data: 02/02 de 2017

Resultado: Aprovado

Aos meus pais, irmão, sobrinha e familiares
por todo apoio, amor, carinho e sempre me
auxiliarem na conquista dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me guiado até este momento e sempre estar atento as minhas orações todas as vezes que precisei. A Ele toda honra e toda glória pelo séculos dos séculos, amém!

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Antônio de Oliveira pela amizade, confiança, orientação e por abrir novos horizontes na minha caminhada acadêmica. Sou grato por acreditar em mim e pelo apoio prestado, mesmo diante das dificuldades e percalços que as vezes a vida nos oferece, mas que superamos com êxito.

A minha gratidão eterna ofereço a minha mãe Cleunice, pelo seu amor imensurável e que mesmo diante das dificuldades nunca poupou esforços para me oferecer uma educação de qualidade. Ao meu pai Luís Carlos, pelos conselhos e dedicação para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Ao meu irmão Rafael por todo amor doado e por ser uma extensão de mim. A minha sobrinha linda Rafaella que com apenas um sorriso consegue transmitir toda a calma necessária para seguir em frente. Aos meus avós, tios e primos por cada palavra e conselho oferecido nestes anos de trabalho.

Aos irmãos da igreja em Uberlândia, por todas orações e palavras amigas. São eles que sorriram, quando sorri e choraram, quando chorei. Vocês também são a minha família!

Obrigado aos meus colegas do Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos pelo companheirismo e momentos de aprendizagem conjunta.

A todos os meus amigos, os de infância, os de colégios, os que permaneceram deste a graduação, os novos que fiz durante a pós-graduação, enfim, eles sabem quem são, estendo minha gratidão a vocês, pois a amizade verdadeira nos torna irmãos!

Ao Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira por todas as contribuições neste trabalho, desde a defesa do projeto ao exame de qualificação e agora também na defesa final, sempre se mostrando prestativo e disposto a compartilhar seus conhecimentos.

Ao Prof. Dr. Rafael de Ávila Rodrigues pela gentileza em participar da avaliação final desta dissertação, seus apontamentos foram de grande ajuda, obrigado.

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq) pelo apoio a esta pesquisa através da bolsa de estudos prestada.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram na realização deste sonho!

RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo geral analisar a relação existente entre as variáveis chuva e vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, abrangendo áreas dos estados de Goiás - (GO), Minas Gerais - (MG), Mato Grosso do Sul - (MS) e do Distrito Federal - (DF), Brasil. A bacia de estudo está inserida na região hidrográfica do Paraná, ocupando parte das regiões Centro-Oeste e Sudeste do país e possui uma área de drenagem de 223.000 km². Para a realização deste trabalho foram utilizados dados pluviométricos e fluviométricos diários, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) de 52 postos, sendo 26 para cada variável, compreendendo uma série histórica de 38 anos (1975 a 2012). Após a tabulação dos dados, foram desenvolvidas as seguintes etapas que contribuíram para o entendimento da relação chuva-vazão: estatística prévia dos dados, coeficiente de variação, determinação de vazões específicas, Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP), pluviogramas e fluviogramas, gráficos de dispersão, coeficientes de correlação de Pearson entre as duas variáveis e Decomposição das Séries para análise de tendências. Os resultados demonstraram uma média anual de precipitação de 1.468,4 mm, ocorrendo de forma sazonal, sendo de outubro a março o período chuvoso e de setembro a abril o período de estiagem. O regime de vazões acompanhou o comportamento pluviométrico, apresentando durante a estação chuvosa, um aumento nos valores médios de vazões que foram de 28,4 m³/s em outubro a 88,1 m³/s em março e uma diminuição nos valores médios de vazões dentro do período de estiagem que foram de 69,6 m³/s em abril a 24,6 m³/s em setembro. Diante de todos os postos, os picos e as baixas de precipitações incidiram diretamente no regime de vazões, devendo-se considerar o período de retardo do aumento da vazão em relação ao início das chuvas. Quanto as correlações entre as variáveis chuva e vazão, esta se mostrou positiva e forte, comprovando o fato de que quanto maior o acumulado total de chuvas, maior também é o volume de vazões. A análise de tendências utilizando a Decomposição das Séries evidenciou tendência de redução das vazões em 42,3% dos postos, aumento em 34,6% dos postos, 15,4% primeiramente de redução e a posteriori de aumento e 7,7% inicialmente de aumento e depois de redução do regime fluviométrico.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva-vazão, Análise estatística, Tendências, bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil.

ABSTRACT

The main objective of this research was to analyse the association between rainfall and runoff variables in the Paranaíba River Basin which comprehends some areas of the states of Goiás - (GO), Minas Gerais - (MG), Mato Grosso do Sul - (MS) e do Distrito Federal - (DF), Brazil. The study basin is located in the Paraná Hydrographic Region, comprising part of the Midwest and Southeast regions and covering a drainage area of 223.000 km². For the purpose of this research, daily pluviometric and fluviometric data were obtained from the Brazilian Government National Water Agency (ANA) of 52 stations, 26 for each variable, based on a 38 year series (from 1975 to 2012). After tabulating the data, the following methodologies contributed to the understanding of the relationship between rainfall-runoff: preliminary statistical data, coefficient of variation, determination of specific flows, The Standardized Precipitation Index (SPI), rainfall charts and stage hydrographs, dispersion graphs, Pearson Linear Correlation between both variables and Decomposition of Series for trend analysis. The results indicate an annual average of precipitation of 1.468,4 mm in a seasonal regime from October to March (rainy season) and from April to September (dry season). The runoff regime accompanies the rainfall, presenting during the rainy season, an increase in the mean values from 28,4 m³/s in October to 88,1 m³/s in March and a decrease within the dry season from 69,6 m³/s in April to 24,6 m³/s in September. For all the stations, the peaks and low rainfall focused directly on the runoff regime and it should be considered the delay period in the increase of the runoff in relation to the beginning of the rain. With regard to the correlation between rainfall and runoff variables, it was positive and strong, which shows that the higher the total amount of rainfall is, the greater the runoff is. The trend analysis using the Decomposition of Series presented a runoff reduction trend of 42,3% of the stations, an increase of 34,6% of them, firstly 15,4% of reduction and next of increase and initially 7,7% of increase and then a reduction of the fluviometric regime.

KEYWORDS: Rainfall-runoff, Statistical Analysis, Trends, Paranaíba River Basin - Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do ciclo hidrológico	35
Figura 2 - Hidrograma	45
Figura 3 - Representação dos componentes das séries temporais	88
Figura 4 - Pluviogramas X Fluviogramas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil (1975 a 2012) - Continua.....	145
Figura 5 - Correlações entre chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)	150

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Climograma da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012)	32
Gráfico 2 - Modelo hipotético do gráfico da relação chuva-vazão: pluviograma e fluviograma	80
Gráfico 3 - Médias das alturas pluviométricas mensais e dias com chuva da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil, (1975-2012)	97
Gráfico 4 - Precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil, (1975-2012).....	98
Gráfico 5 - Acumulado de precipitação durante a estação chuvosa (outubro a março) na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil, (1975-2012)	99
Gráfico 6 - Acumulado de precipitação durante o período de estiagem (abril a setembro) na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil (1975-2012).....	100
Gráfico 7 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Quirinópolis - GO, (1975-2012).....	107
Gráfico 8 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Jataí - GO, (1975-2010).....	108
Gráfico 9 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Estrela do Sul - MG, (1975-2012).....	109
Gráfico 10 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Goiânia - GO, (1975-2012)	110
Gráfico 11 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Itajá - GO, (1975-2012).....	110

Gráfico 12 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Maurilândia - GO, (1975-2012)	113
Gráfico 13 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Itumbiara - GO, (1975-2012).....	113
Gráfico 14 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Abadia dos Dourados - MG, (1976-2012).....	116
Gráfico 15 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Orizona - GO, (1975-2012)	116
Gráfico 16 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Patrocínio - MG, (1975-2012).....	116
Gráfico 17 - Vazões médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	120
Gráfico 18 - Vazões médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	121
Gráfico 19 - Vazões máximas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	123
Gráfico 20 - Vazões máximas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	125
Gráfico 21 - Vazões mínimas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	127
Gráfico 22 - Vazões mínimas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	128
Gráfico 23 - Vazões específicas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	131
Gráfico 24 - Vazões específicas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	134
Gráfico 25 - Vazões máximas específicas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	136
Gráfico 26 - Vazões máximas específicas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	138
Gráfico 27 - Vazões mínimas específicas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	141
Gráfico 28 - Vazões mínimas específicas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012).....	143

Gráfico 29 - Tendências fluviométricas do posto de Abadia dos Dourados - (1975 a 2022)	156
Gráfico 30 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Abadia dos Dourados (1975 a 2012).....	157
Gráfico 31 - Tendências fluviométricas do posto de Cristalina - (1975 a 2022).....	158
Gráfico 32 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Cristalina (1975 a 2012) .	159
Gráfico 33 - Tendências fluviométricas do posto de Goiânia - (1975 a 2022)	159
Gráfico 34 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Goiânia (1975 a 2012)	161
Gráfico 35 - Tendências fluviométricas do posto de Ituiutaba - (1975 a 2022).....	161
Gráfico 36 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Ituiutaba (1975 a 2012)...	162
Gráfico 37 - Tendências fluviométricas do posto de Patrocínio - (1975 a 2022).....	163
Gráfico 38 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Patrocínio (1975 a 2012).	164
Gráfico 39 - Tendências fluviométricas do posto de Itajá - (1975 a 2022)	165
Gráfico 40 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Itajá (1975 a 2012).....	166
Gráfico 41 - Tendências fluviométricas do posto de Maurilândia - (1975 a 2022).....	166
Gráfico 42 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Maurilândia (1975 a 2012)	167
Gráfico 43 - Tendências fluviométricas do posto de Quirinópolis - (1975 a 2022).....	168
Gráfico 44 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Quirinópolis (1975 a 2012)	169
Gráfico 45 - Tendências fluviométricas do posto de Uberlândia - (1975 a 2022)	169
Gráfico 46 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Uberlândia (1975 a 2012)	170
Gráfico 47 - Tendências fluviométricas do posto de Itumbiara - (1975 a 2022).....	171
Gráfico 48 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Itumbiara (1975 a 2012) .	172
Gráfico 49 - Tendências fluviométricas do posto de Sacramento - (1975 a 2022)	173
Gráfico 50 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Sacramento (1975 a 2012)	174
Gráfico 51 - Tendências fluviométricas do posto de Acreúna - (1975 a 2022).....	175
Gráfico 52 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Acreúna (1975 a 2012) ...	176
Gráfico 53 - Tendências fluviométricas do posto de Montividiu - (1975 a 2022)	176
Gráfico 54 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Montividiu (1975 a 2012)	178
Gráfico 55 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Acreúna - GO, (1975-2012).....	197

Gráfico 56 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Cristalina - GO, (1975-2012).....	197
Gráfico 57 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Edéia - GO, (1975-2012).....	198
Gráfico 58 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Goiatuba - GO, (1975-2012)	198
Gráfico 59 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Ibiá - MG, (1975-2012)	198
Gráfico 60 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Ituiutaba - MG, (1975-2012)	199
Gráfico 61 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Mineiros - GO, (1975-2012).....	199
Gráfico 62 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Monte Carmelo - MG, (1975-2012)	199
Gráfico 63 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Montividiu - GO, (1975-2012)	200
Gráfico 64 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Paraúna - GO, (1975-2012)	200
Gráfico 65 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Patos de Minas - MG, (1975-2012).....	200
Gráfico 66 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município do Prata - MG, (1975-2012)	201
Gráfico 67 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Sacramento - MG, (1975-2012)	201
Gráfico 68 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Tupaciguara - MG, (1975-2012)	201
Gráfico 69 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Uberlândia - MG, (1975-2012).....	202
Gráfico 70 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Paraúna - GO, (1975-2012)	202
Gráfico 71 - Tendências fluviométricas do posto de Estrela do Sul - (1975 a 2022).....	203
Gráfico 72 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Estrela do Sul (1975 a 2012)	203
Gráfico 73 - Tendências fluviométricas do posto de Ibiá - (1975 a 2022).....	204

Gráfico 74 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Ibiá (1975 a 2012).....	204
Gráfico 75 - Tendências fluviométricas do posto de Jataí - (1975 a 2022).....	204
Gráfico 76 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Jataí (1975 a 2012).....	205
Gráfico 77 - Tendências fluviométricas do posto de Mineiros - (1975 a 2022).....	205
Gráfico 78 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Mineiros (1975 a 2012)...	205
Gráfico 79 - Tendências fluviométricas do posto de Monte Carmelo - (1975 a 2022).....	206
Gráfico 80 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Monte Carmelo (1975 a 2012).....	206
Gráfico 81 - Tendências fluviométricas do posto de Orizona - (1975 a 2022)	206
Gráfico 82 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Orizona (1975 a 2012)	207
Gráfico 83 - Tendências fluviométricas do posto de Edéia - (1975 a 2022)	208
Gráfico 92 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Edéia (1975 a 2012).....	208
Gráfico 85 - Tendências fluviométricas do posto de Goiatuba - (1975 a 2022)	209
Gráfico 86 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Goiatuba (1975 a 2012) ..	209
Gráfico 87 - Tendências fluviométricas do posto de Paraúna - (1975 a 2022)	209
Gráfico 88 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Paraúna (1975 a 2012)	210
Gráfico 89 - Tendências fluviométricas do posto de Tupaciguara- (1975 a 2022)	210
Gráfico 90 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Tupaciguara (1975 a 2012)	210
Gráfico 91 - Tendências fluviométricas do posto de Varjão - (1975 a 2022)	211
Gráfico 92 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Varjão (1975 a 2012)	211
Gráfico 93 - Tendências fluviométricas do posto de Patos de Minas - (1975 a 2022).....	212
Gráfico 94 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Patos de Minas (1975 a 2012).....	212
Gráfico 95 - Tendências fluviométricas do posto de Prata - (1975 a 2022).....	213
Gráfico 96 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Prata (1975 a 2012).....	213

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.....	26
Mapa 2 - Principais rios afluentes do sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.....	29

Mapa 3 - Localização dos postos pluviométricos na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.....	72
Mapa 4 - Localização dos postos fluviométricos na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.....	73
Mapa 5 - Identificação de tendências de redução, estabilidade e aumento na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975 a 2022) - Brasil	179

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estados e Municípios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.....	27
Quadro 2 - Processos estatísticos de representação numérica.....	56
Quadro 3 - Relação e localização dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa	69
Quadro 4 - Relação e localização de postos fluviométricos utilizados na pesquisa.....	70
Quadro 5 - Valores para análise do comportamento da relação entre chuva-vazão.....	84
Quadro 6 - Síntese de modelos utilizados para o ajustamento de tendência	85
Quadro 7 - Síntese dos valores de R^2 para cada modelo selecionado	86
Quadro 8 - Componentes de classificação das séries temporais	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das classes de seca de acordo com o SPI adaptado.....	79
Tabela 2 - Médias mensais da precipitação nos postos estudados	92
Tabela 3 - Médias mensais de dias chuvosos nos postos pluviométricos estudados.....	95
Tabela 4 - Valores de dispersão entre as médias mensais totais (1975-2012) dos postos pluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil	101
Tabela 5 - Valores de dispersão entre as médias anuais totais (1975-2012) dos postos pluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil	102
Tabela 6 - Períodos demarcados dentro do intervalo das normais climatológicas ($NC = -0,99$ a $0,99$) maiores que 12 meses na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012)	105
Tabela 7 - Picos de Déficits Extremos de Chuvas (DEC) com duração mínima superior a dois meses na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012)	112
Tabela 8 - Picos de Umidade Extrema (UE) com duração mínima superior a dois meses na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012).....	115

Tabela 9 - Médias fluviométricas mensais e anuais dos postos estudados.....	118
Tabela 10 - Vazões máximas médias mensais e anuais dos postos estudados.....	122
Tabela 11 - Vazões mínimas médias mensais e anuais dos postos estudados.....	126
Tabela 12 - Médias fluviométricas específicas mensais e anuais dos postos estudados	130
Tabela 13 - Valores de dispersão entre as médias específicas mensais totais (1975-2012) dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.....	132
Tabela 14 - Vazões Máximas específicas médias mensais e anuais dos postos estudados	135
Tabela 15 - Valores de dispersão entre as médias máximas específicas mensais totais (1975-2012) dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.....	137
Tabela 16 - Mínimas fluviométricas específicas médias mensais e anuais dos postos estudados	140
Tabela 17 - Valores de dispersão entre as médias mínimas específicas mensais totais (1975-2012) dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil.....	142
Tabela 18 - Coeficiente de Correlação de Pearson (1975 a 2012) aplicado a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil	153

LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Desvio Padrão.....	75
(2) Coeficiente de Variação.....	75
(3) Vazão Específica.....	76
(4) Primeira Etapa de determinação do IESP	77
(5) Segunda Etapa de determinação do IESP	78
(6) Terceira Etapa de determinação do IESP.....	78
(7) Equação da Reta de Regressão Linear	82
(8) Coeficiente de Correlação de Pearson.....	83
(9) Desestacionalização da série de tempo	88
(10) Índice Estacional	89
(11) Índice Estacional Ajustado	89
(12) Comportamento Estacional de vazões futuras	90

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional das Águas

APi – Anomalia pluviométrica mensal.

APAi – Anomalia pluviométrica acumulada do mês.

ARIMA – Auto Regressive Integrate Moving Average

Aw – Clima Tropical de Savana

C – Variações cíclicas

CBH - Paranaíba – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba

CVs - Coeficientes de Variação

D – Desestacionalização da série de tempo

DF – Distrito Federal

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ETP – Evapotranspiração potencial

ETR – Evapotranspiração real

FA – fator de ajuste

GO – Goiás

I – Variações aleatórias ou irregulares

IAC – Índice de Anomalia de Chuva

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBM – Índice de Bhalme & Mooley

IE – índice de estacionalização

IESP – Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica

HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas

Hidro1.2 – Sistema de Informação Hidrológicas Versão 1.2

HU – Hidrograma unitário

MG – Minas Gerais

MS - Mato Grosso do Sul

PCHs – Centrais Hidrelétricas

PDSI – Índice de Severidade de Seca de Palmer

PRHBP – Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Paranaíba

Qesp – Vazão específica em $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Q – Vazão média ou mínima em m^3/s .

Q_{1p} – Vazão média de longo período

$Q_{(t)}$ – vazões

r – Coeficiente de Correlação de Pearson

S – Variações sazonais ou estacionais

SisCAH 1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas

SPI – Índice de Precipitação Padronizado

T – Tendência secular

UGH – Unidade de Gestão Hídrica

UHEs – Usina hidrelétricas

VA – Variável aleatória

ZPAi – Anomalia pluviométrica padronizada (standardizada) acumulada do mês.

%T = porcentagem de tendência.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Objetivos.....	21
1.1.1 Objetivo Geral.....	21
1.1.2 Objetivos Específicos	22
1.2 Estrutura da dissertação	22
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	24
2.1 Breve histórico de ocupação da área de estudo	24
2.2 Área de estudo: Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba	25
2.3 Caracterização fisiográfica da bacia	30
3 REFERENCIAL TEÓRICO - CONCEITUAL BÁSICO.....	34
3.1 Precipitação Pluviométrica	34
3.2 Regime de Vazões	39
3.2.1 Determinação de Vazões.....	39
3.2.2 Determinação de Vazões Específicas	41
3.3 Relação chuva-vazão	43
3.4 Estatística aplicada a estudos hidrológicos.....	48
3.4.1 Princípios da Modelagem Hidrológica	48
3.4.2 Análise Estatística.....	53
3.5 Métodos estatísticos aplicados a dados pluviométricos e fluviométricos	57
3.5.1 Análise de Séries Temporais.....	57
3.5.2 Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP)	63
4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA.....	68
4.1 Construção do Referencial Teórico - Conceitual Básico.....	68
4.2 Fonte e seleção de dados pluviométricos e fluviométricos	68
4.3 Análise estatística das variáveis chuva e vazão.....	74
4.3.1 Estatística prévia dos dados	74
4.3.2 Estatística básica	74
4.4 Determinação de vazões específicas médias, máximas e mínimas	76
4.5 Identificação de períodos úmidos e secos: Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP)	76
4.6 Relação chuva-vazão	80
4.6.1 Pluviogramas e fluviogramas.....	80
4.6.2 Correlação linear	81
4.6.3 Análise de tendência para séries temporais de vazão	84
4.6.3.1 Validação e calibração de dados para construção da linha de tendência.....	84
4.6.3.2 Decomposição das séries de vazão para determinação da tendência.....	86
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	91
5.1 Caracterização do regime pluviométrico.....	91
5.1.1 Análise da Precipitação.....	91
5.1.2 Análise dos períodos úmidos e de déficits de precipitação	103
5.2 Caracterização do regime fluviométrico.....	117

5.2.1	Análise de vazões médias, máximas e mínimas	117
5.2.2	Análise de vazões específicas médias, máximas e mínimas.....	129
5.3	Relação chuva-vazão	144
5.3.1	Análise de pluviogramas e fluviogramas.....	144
5.3.2	Correlação entre chuva-vazão.....	149
5.4	Análise de tendências fluviométricas pelo método de Decomposição das Séries.....	155
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	180
	REFERÊNCIAS	185
	ANEXOS	195

1 INTRODUÇÃO

Diante de uma peculiaridade e apoiando numa concepção simplista, a água poderia ser considerada como uma fonte infinita, uma vez que este elemento está em constante processo de reciclagem na natureza, ao longo das distintas fases do ciclo hidrológico: precipitação, escoamento superficial ou subterrâneo e evaporação. De outro modo, do ponto de vista antrópico, enquanto fonte de abastecimento para os diversos setores usuários, esta passa a ter status de recurso. Nem todos os tipos de águas são servíveis e à medida que esta parcela é comprometida, não podendo ser utilizada, é que surge o conceito do recurso exaurível.

Segundo Tundisi (2009) dentre os motivos que tem promovido a degradação dos recursos hídricos e os levado ao patamar de finito, destacam-se o rápido crescimento populacional e a urbanização acelerada; a falta e ineficiência de gestão; a não afirmação e apoderamento da existência de interação entre a saúde humana e a qualidade da água; a impactação ambiental associada à diversas fontes; o não tratamento deste recurso como um bem econômico; e os inúmeros problemas relacionados aos aspectos sociais, políticos, financeiros e ambientais que são trabalhados de maneira isolada e pouco eficiente.

Os usos múltiplos da água, muitas vezes indiscriminado, associados a poluição dos corpos hídricos e, por conseguinte a escassez desse recurso, tem gerado perdas significativas na quantidade e qualidade da água. Setores como os de abastecimento público, industrial, mineração, agropecuário e serviços têm sofrido prejuízos que comprometem a manutenção de suas atividades.

Nesse sentido, justifica-se a importância de estudos que visem entender o comportamento da água no ciclo hidrológico, principalmente aqueles com enfoque na relação entre a chuva e a vazão, com vistas à produção hídrica das bacias em áreas que apresentem uma expressiva

diversificação quanto aos seus usos, como é o caso da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. Esta tem importância na oferta de água em parte de três estados, sendo eles, Goiás - (GO), Minas Gerais - (MG), Mato Grosso do Sul - (MS) e do Distrito Federal - (DF).

Na referida bacia, os principais setores que demandam água são os de abastecimento público, industrial e de serviços, a agricultura irrigada, além da produção energética que atualmente engloba 20 usinas hidrelétricas (UHEs) e 16 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), com destaque para as UHEs de Emborcação, Itumbiara, Cachoeira Dourada, e São Simão localizadas ao longo da drenagem principal.

Atualmente, na maioria das análises encontradas em projetos e pesquisas é verificado que os processos de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, tem se voltado essencialmente para a utilização da água de uma maneira mais sustentável. Uma vez que, a gestão das águas da bacia hidrográfica em estudo influencia diretamente no desenvolvimento econômico dos estados que a integram, o conhecimento acerca de tal tema é, portanto, fundamental para se garantir a sustentabilidade deste recurso e abrir caminhos para novas propostas de gerência.

Embora a bacia possua um órgão gestor de suas águas, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (CBH – Paranaíba), com suas respectivas atribuições e um plano de recursos hídricos já elaborado, todavia é preciso refletir e analisar a consistência das informações hidrológicas fornecidas pelos mesmos. Neste caso, a aplicação de modelos e técnicas matemáticas com dados de chuva e vazão podem contribuir para simulação da realidade, sendo que os resultados possam ainda subsidiar à adoção de medidas mitigadoras aos impactos ambientais causados por inundações, riscos de falhas de obras civis e azares climáticos de atividades agrícolas.

Nesta abordagem, além do dimensionamento pluviométrico da bacia, também é mensurado e analisado o regime de vazões, pois a entrada e saída de água em um determinado sistema é influenciada diretamente pelas chuvas. Conforme reafirmado por Oliveira e Fioreze (2010) ao mencionarem que as vazões de saída de uma bacia hidrográfica são apresentadas como respostas das precipitações que ocorreram e também a própria capacidade do aquífero em sustentar o escoamento que abarca sua capacidade de realimentação.

Portanto, compartilhando desta mesma lógica, esta pesquisa trata do estudo da relação entre as variáveis chuva e vazão, analisadas a partir do monitoramento das componentes hidrológicas por meio de índices de padronização para precipitação, de séries temporais e linhas de tendência, correlação linear e a avaliação das respostas encontradas para a bacia.

Em síntese, as modelagens matemáticas são importantes métodos para aferição da regulação hídrica de uma bacia. A avaliação desse processo permite o gerenciamento de maneira racional dos diversos usos das águas, e geralmente, a análise de tal é realizada por modelos que abarquem a relação entre as variáveis pluviométricas e fluviométricas. (MACHADO, 2005).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a relação existente entre as variáveis chuva e vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, abrangendo parte dos estados de Goiás - (GO), Minas Gerais - (MG), Mato Grosso do Sul (MS) e o Distrito Federal - (DF), Brasil.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- . Caracterizar o regime pluviométrico e o de vazões;
- . Determinar os valores de vazão específica;
- . Identificar a significância da relação entre as variáveis chuva e vazão em cada área de contribuição;
- . Especificar e analisar a variabilidade e ou a formação de tendências entre as séries históricas de vazão abordadas;

1.2 Estrutura da dissertação

Definida as considerações iniciais e os objetivos da pesquisa, no capítulo 2, apresenta-se a "Localização e caracterização da área de estudo" a partir de um breve histórico de ocupação e localização da área, juntamente com abordagem dos principais aspectos fisiográficos da mesma.

No capítulo 3, destacam-se as informações levantadas e estruturadas no "Referencial teórico - conceitual básico" que foram utilizadas como suporte para a fundamentação conceitual, a configuração metodológica e os resultados encontrados. Neste capítulo são abordadas as seguintes temáticas: precipitação pluviométrica, regime de vazões, relação chuva-vazão, princípios da estatística aplicados a estudos hidrológicos e alguns procedimentos técnicos realizados a partir de dados pluviométricos e fluviométricos.

Em relação ao capítulo 4, intitulado "Materiais e procedimentos técnicos da pesquisa" encontram-se os materiais e métodos utilizados no tratamento e análise dos dados utilizados para o desenvolvimento da dissertação. Inicialmente, aponta-se a forma de estruturação do referencial teórico, os tipos de dados utilizados, as fontes e a extensão das séries históricas e a localização espacial dos postos pluviométricos e fluviométricos. Segue-se com descrição dos aparatos metodológicos recorridos ao equacionamento das médias gerais das variáveis envolvidas e ao estabelecimento das vazões específicas médias e mínimas, culminando com os processos relacionados à obtenção do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP), a relação entre pluviogramas e fluviogramas, a correlação linear entre chuva-vazão e a determinação de variabilidades ou tendências de vazões ao período analisado.

O capítulo 5, referente aos "Resultados e Discussões", traz as análises feitas diante dos resultados gerados, tendo com principais enfoques as atribuições dadas ao entendimento do regime pluviométrico e fluviométrico, a relação entre as variáveis por meio de pluviogramas e fluviogramas, o significado das correlações entre a chuva e vazão e a compreensão a cerca das tendências fluviométricas de redução, estabilidade e aumento contrapostas a dinâmica das chuvas ao decorrer da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Por fim, são tecidas algumas considerações finais perante toda a dissertação desenvolvida, relevantes para o fechamento da pesquisa.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Breve histórico de ocupação da área de estudo

A formação dos primeiros núcleos de ocupação da região Centro-Oeste que repercutiram diretamente na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba foram originadas por Bandeiras Paulistas que tinham como objetivo principal capturar índios e encontrar reservas de ouro e pedras preciosas. Especificamente, no século XVIII pode-se afirmar de fato que a consolidação da ocupação da região, ocorreu com a descoberta das reservas auríferas de Paracatu - MG, durante o "Ciclo do Ouro", em meio ao processo de desenvolvimento do Brasil Colônia. Posteriormente, com a decadência da produção aurífera, fazendas de gado e de café surgiram como alternativa econômica, principalmente com centros de produção para o sudeste, tendo como referência primordial o estado de Goiás. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2006).

Durante a década de 1930, na região sudeste iniciou-se o grande desenvolvimento industrial do país. Adiante, entre a década de 1940 e 1960 fundou-se Brasília, o que promoveu a formação dos grandes eixos rodoviários e a integração regional. Entre as décadas de 1960 e 1970, ocorreu o desenvolvimento do setor agrícola e pecuário da região do cerrado, tendo o auge de modernização na década de 1980. (ANA, 2011).

Na década de 1970, a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba também recebeu a construção de três relevantes empreendimentos hidrelétricos, sendo eles: as usinas hidrelétricas - UHE's de Itumbiara, Emborcação e São Simão, que promoveram mudanças significativas no uso e ocupação do solo da bacia. (EPE, 2006).

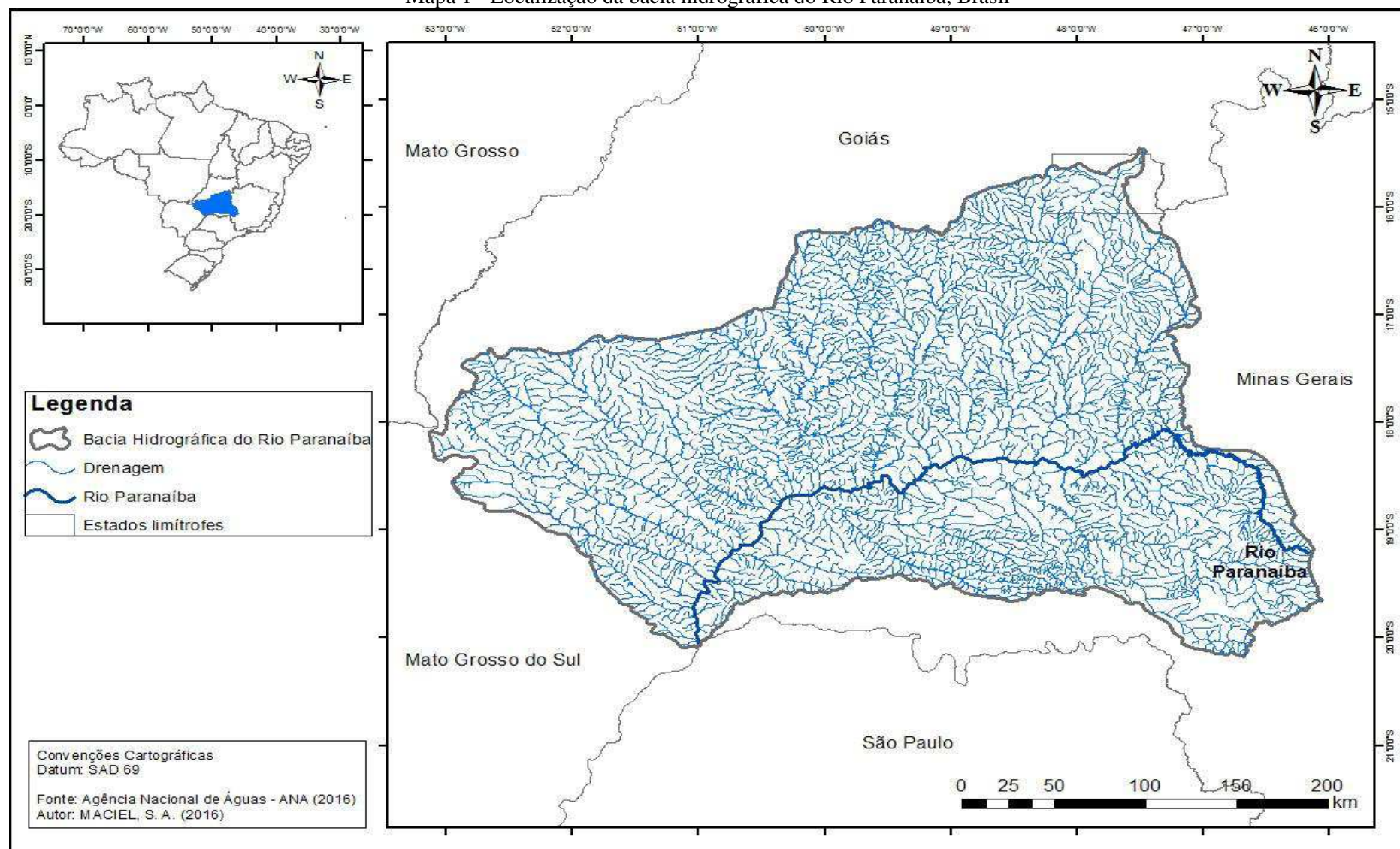
Atualmente, em relação ao uso e ocupação do solo na área de estudo revela-se a predominância de atividades agropecuárias, em cerca de 70% da área total. Sendo que a pecuária é predominante no setor oeste e a agricultura é mais incidente na porção centro-sudeste e diversas áreas de cabeceiras de drenagem da bacia. Ressalta-se que nesta conjuntura também há uma expressiva gama de pivôs centrais de irrigação concentrados em alguns trechos, como nas bacias hidrográficas do Rio São Marcos e Araguari. Já os recursos minerais estão alocados em algumas porções da bacia como nos municípios de Acreúna, Anicuns e Catalão, em Goiás, e em Patrocínio e Araxá, na Região do Triângulo Mineiro. (Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Resumo Executivo, 2013).

Ainda de acordo com o mesmo plano, as áreas urbanas da bacia ocupam 1,2% da área total, e neste enquadramento, destacam-se a região metropolitana de Goiânia e o Distrito Federal e seu entorno. Por fim, reafirma-se também, a importância das áreas de reservatório na dinâmica hidrológica dos corpos hídricos, sendo as mais significativas situadas ao longo da calha principal do Rio Paranaíba, na Unidade de Gestão Hídrica - UGH Rio Araguari e na porção norte da UGH Corumbá.

2.2 Área de estudo: Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba

A área de estudo corresponde a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (mapa 1) que está inserida na Região Hidrográfica do Paraná, ocupando parte das áreas das regiões Centro-Oeste e Sudeste do país. A bacia possui uma área de drenagem de 223.000 km², abrangendo parte dos estados de Goiás (GO), Minas Gerais (MG), Mato Grosso do Sul (MS) e o Distrito Federal (DF).

Mapa 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil



Fonte: ANA (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), o total populacional dos municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba é de 9.772.656 habitantes. A mesma é composta por 197 municípios, além do Distrito Federal. Em sua repartição, 137 municípios estão no estado de Goiás, 56 em Minas Gerais, 4 em Mato Grosso do Sul e ainda o Distrito Federal, conforme disposto no quadro 1.

Quadro 1 - Estados e Municípios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba

Estados	Municípios
Goiás	Abadia de Goiás, Abadiânia, Acreúna, Adelândia, Água Limpa, Águas Lindas de Goiás, Alexânia, Aloândia, Americano do Brasil, Anápolis, Anhanguera, Anicuns, Aparecida de Goiânia, Aparecida do Rio Doce, Aporé, Araçu, Aragoiânia, Aurilândia, Avelinópolis, Bela Vista de Goiás, Bom Jesus de Goiás, Bonfinópolis, Brazabrantes, Buriti Alegre, Cachoeira Alta, Cachoeira Dourada, Caçu, Caiapônia, Caldas Novas, Caldazinha, Campestre de Goiás, Campo Alegre de Goiás, Campo Limpo, Castelândia, Catalão, Caturaí, Cezarina, Chapadão do Céu, Cidade Ocidental, Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás, Corumbaíba, Cristalina, Cristianópolis, Cromínia, Cumari, Damolândia, Davinópolis, Edealina, Edéia, Firminópolis, Formosa, Gameleira de Goiás, Goianápolis, Goiandira, Goiânia, Goianira, Goiatuba, Gouvelândia, Guapó, Hidrolândia, Inaciolândia, Indiara, Inhumas, Ipameri, Itaberaí, Itajá, Itarumã, Itauçu, Itumbiara, Jandaia, Jataí, Jesúpolis, Joviânia, Lagoa Santa, Leopoldo de Bulhões, Luziânia, Mairipotaba, Marzagão, Maurilândia, Mineiros, Montividiu, Morrinhos, Mossamedes, Nazário, Nerópolis, Nova Aurora, Nova Veneza, Novo Gama, Orizona, Ouro Verde de Goiás, Ouvidor, Palmeiras de Goiás, Palmelo, Palminópolis, Panamá, Paranaiguara, Paraúna, Perolândia, Petrolina de Goiás, Piracanjuba, Pirenópolis, Pires do Rio, Planaltina, Pontalina, Porteirão, Portelândia, Professor Jamil, Quirinópolis, Rio Quente, Rio Verde, Sancerlândia, Santa Bárbara de Goiás, Santa Cruz de Goiás, Santa Helena de Goiás, Santa Rosa de Goiás, Santo Antônio da Barra, Santo Antônio de Goiás, Santo Antônio do Descoberto, São João da Paraúna, São Luís de Montes Belos, São Miguel do Passa Quatro, São Simão, Senador Canedo, Serranópolis, Silvânia, Taquaral de Goiás, Terezópolis de Goiás, Três Ranchos, Trindade, Turvânia, Turvelândia, Urutaí, Valparaíso de Goiás, Varjão, Vianópolis, Vicentinópolis.
Minas Gerais	Abadia dos Dourados, Araguari, Araporã, Araxá, Cachoeira Dourada, Campina Verde, Campo Florido, Campos Altos, Canápolis, Capinópolis, Carmo do Paranaíba, Carneirinho, Cascalho Rico, Centralina, Coromandel, Cruzeiro da Fortaleza, Douradoquara, Estrela do Sul, Grupiara, Guarda-Mor, Guimarânia, Gurinhatã, Ibiá, Indianópolis, Ipiacú, Iraí de Minas, Ituiutaba, Iturama, Lagamar, Lagoa Formosa, Limeira do Oeste, Monte Alegre de Minas, Monte Carmelo, Nova Ponte, Paracatu, Patos de Minas, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Prata, Pratinha, Presidente Olegário, Rio Paranaíba, Romaria, Sacramento, Santa Juliana, Santa Vitória, São Roque de Minas, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba, Uberlândia, Unaí, União de Minas, Veríssimo.
Mato Grosso do Sul	Aparecida do Taboado, Cassilândia, Chapadão do Sul, Paranaíba.
Distrito Federal	Brasília - DF

Fonte: IBGE (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

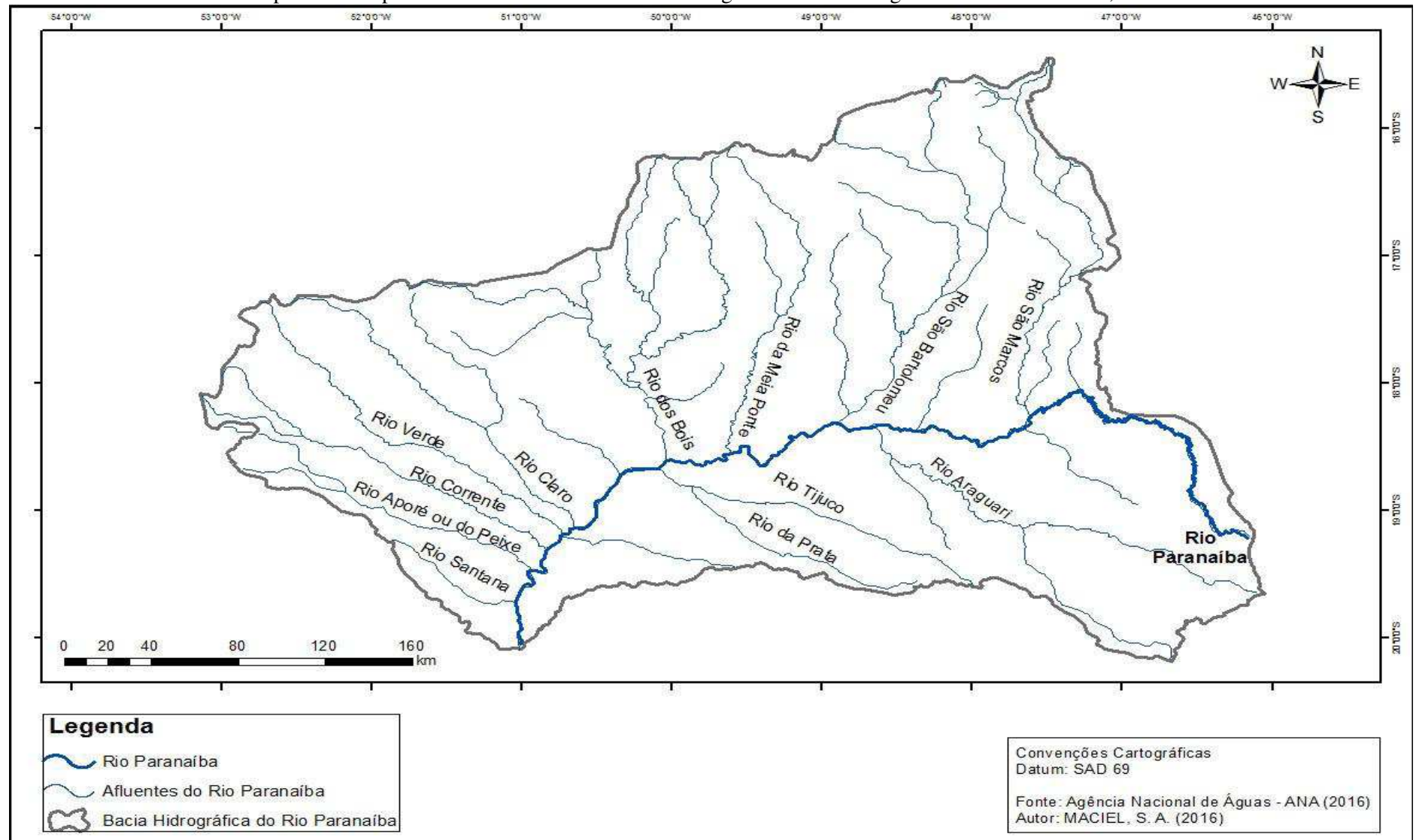
Em relação às percentagens de ocupação por área dos estados que a compõe, 63,3% estão no estado de Goiás, 31,7% em Minas Gerais, 3,4% no Mato Grosso do Sul e 1,6% no Distrito Federal. (ANA, 2011).

O Rio Paranaíba juntamente com o Rio Grande, constituem os formadores do Rio Paraná. Sua nascente está situada no município do Rio Paranaíba (MG) na Serra da Mata da Corda, percorrendo aproximadamente 1.160 km até sua foz no encontro do Rio Grande. O perfil topográfico apresenta cotas que se estendem desde 1.100 m até 328 m de altitude.

[...] Percorre aproximadamente 100 km até alcançar o perímetro urbano de Patos de Minas/MG e segue mais cerca de 150 km até se tornar limítrofe entre os estados de Goiás e Minas Gerais. Neste ponto encontram-se os limites municipais entre Coromandel e Guarda-Mor, em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás. A partir deste trecho o Rio Paranaíba continua sendo divisor entre Goiás e Minas Gerais até o município de Paranaíba/MS, onde passa a formar a divisa entre os estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. O Paranaíba segue até a confluência com o Rio Grande, exutório da bacia, para formar o Rio Paraná. (ANA, 2013, p.20).

Segundo a classificação realizada pela ANA (2011), de acordo com cada unidade federada, as bacias afluentes do Rio Paranaíba situadas no Distrito Federal são: São Marcos, Corumbá, São Bartolomeu e Descoberto; no estado de Goiás, os principais afluentes da bacia são: Rio São Marcos, Rio Veríssimo, Rio Corumbá, Rio Meia Ponte, Rio Turvo, Rio dos Bois, Rio Alegre, Rio Claro, Rio Verde e Rio Aporé; no estado do Mato Grosso do Sul, referenciam-se ao Rio Santana e Rio Aporé e, por fim, no estado de Minas Gerais, a divisão das principais bacias afluentes é caracterizada pelos afluentes mineiros do baixo Paranaíba, Bacia do Rio Araguari e afluentes mineiros do alto Paranaíba, conforme ilustrado no mapa 2.

Mapa 2 - Principais rios afluentes do sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil



Fonte: IBGE (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

2.3 Caracterização fisiográfica da bacia

A geologia da área de estudo compreende duas províncias estruturais, sendo elas: Província Tocantins e Província Paraná. Todavia, em uma pequena porção da bacia, especificamente em torno da divisa leste diante dos afluentes mineiros do Alto Paranaíba, nas proximidades das cidades de Patos de Minas e Patrocínio, ocorre a formação de outra estrutura geológica, denominada: Bacia Sanfranciscana. (ANA, 2011).

A Província Tocantins pode ser subdividida em duas sub-províncias lito-estruturais. A primeira compreende o embasamento, constituído por rochas granítico-gnáissicas, de estruturação complexa e comportamento predominantemente dúctil. A segunda sub-província corresponde às seqüências supra-crustais, normalmente constituídas por rochas metassedimentares clásticas, pouco deformadas. A área de ocorrência dessa Província corresponde à porção centro-leste da bacia. A Província Paraná também pode ser subdividida em duas sub-províncias lito-estruturais. A primeira corresponde às seqüências sedimentares predominantemente clásticas, com estratificação subhorizontal e contatos quase que exclusivamente litológicos, sem controle estrutural. A segunda sub-província é formada pelos basaltos da Formação Serra Geral. São rochas magmáticas vulcânicas, decorrentes de derrames subhorizontais, muito fraturadas, às vezes diaclasadas, que dão origem às coberturas detrítico-lateríticas. Sua área de abrangência está restrita à porção ocidental da bacia hidrográfica. (EPE, 2006).

A bacia hidrográfica do Rio Paranaíba está inserida, de acordo com Radam Brasil (1983), nos domínios da unidade morfoestrutural dos "Planaltos e Chapadas da bacia Sedimentar do Paraná", e dentro da subunidade morfoescutural do "Planalto Setentrional da Bacia do Paraná". Flauzino et al. (2010) afirma que na bacia encontram-se as seguintes unidades morfológicas: as formas estruturais representadas, essencialmente pelas unidades de superfície erosiva tabular; as formas de dissecação do relevo, abarcando as aguçadas, as convexas e as tabulares; e por último, as formas de acumulação que são representadas, principalmente, pelas planícies fluviais.

Segundo o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Paranaíba - PRHBP (2013) na bacia são definidos dois conjuntos de relevo. O primeiro é representado pelo Planalto Rebaixado de

Goiânia, Planalto do Distrito Federal e Planalto Central Goiano. Já o segundo é caracterizado pela formação do Planalto Central da Bacia do Paraná e Planalto Rebaixado da Bacia do Paraná. O plano ainda identifica na bacia a formação de dois domínios morfoestruturais: o Planalto Basáltico da Bacia do Paraná e as Chapadas e Planaltos em Estruturas Dobradas e Planaltos Cristalinos.

Em continuidade a caracterização geomorfológica da área, alguns autores também a realizaram em função das declividades e dos modelados que constituem a bacia.

As maiores declividades se concentram na porção oriental da bacia, onde predominam os modelados de dissecção do tipo tabular, com densidade muito fraca de aprofundamento da drenagem e conseqüente prevalecimento do escoamento superficial. Esta porção da bacia com maiores declividades está presente geomorfológicamente nos chamados Planalto do Distrito Federal e Planalto Rebaixado de Goiás, compreendendo materiais geológicos representados por rochas metamórficas e sedimentos silicificados. Já os terrenos de baixa declividade estão localizados principalmente ao longo do curso dos rios Verde, Turvo e dos Bois, relacionados à existência de materiais geológicos pertencentes à Formação Serra Geral, e nas bacias hidrográficas dos afluentes do médio e baixo curso do rio Paranaíba, relacionados com a presença de rochas sedimentares vinculadas à Formação Vale do rio do Peixe. (ROSA; SANO; ROSENO, 2014, p.336).

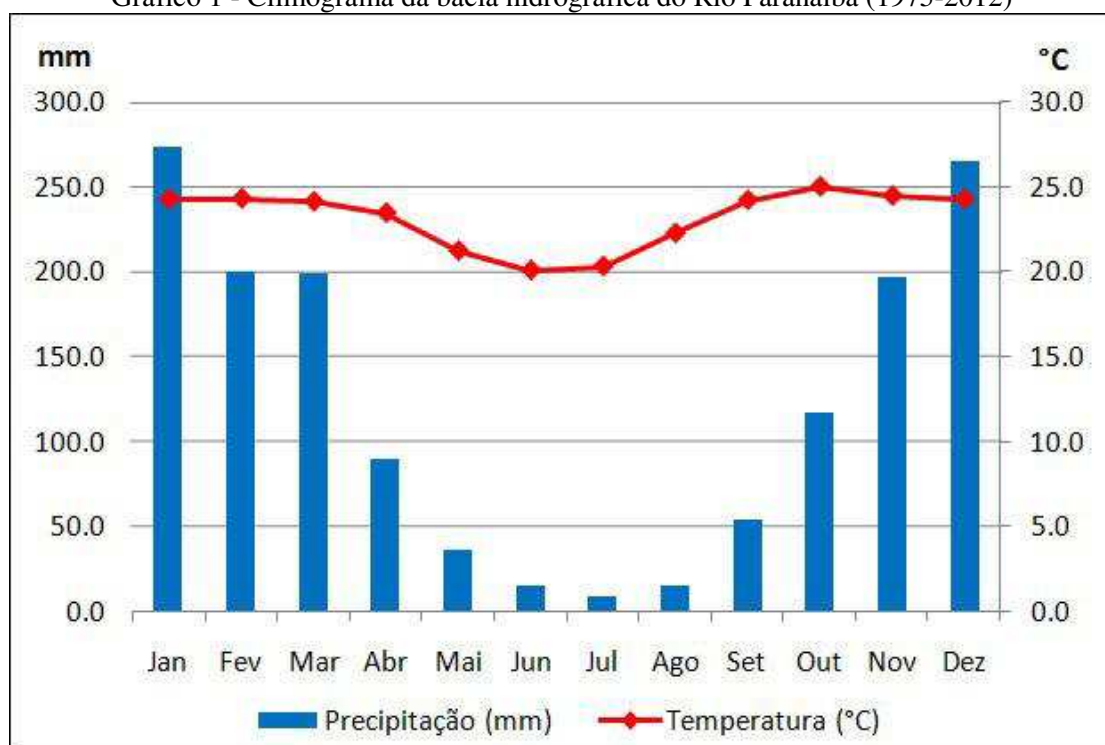
De acordo com o PRHBP (2013) quanto aos aspectos pedológicos da área, há um predomínio na bacia de Latossolo (63% da área total), seguido por Cambissolos (18%) e Podzólico (10%). Este último, de acordo com a classificação realizada pela EMBRAPA (2013), foi incluído a classe de Argissolos. Ainda podem ocorrer outros tipos de solo, como Nitossolos e também a presença de Gleis pouco húmicos, Litólicos e Areia Quartzosa, que juntos somam 10% da área. Na Província do Paraná (porção ocidental da bacia) verifica-se a predominância de Latossolos. Já na Província do Tocantins (porção oriental da bacia) são encontrados Cambissolos, Podzólicos e algumas faixas de Latossolo Vermelho.

O clima da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, em uma análise geral, pode ser classificado como tropical, com uma sazonalidade anual bem característica, onde ocorrem durante o ano

um período de estiagem com temperaturas mais amenas e outro chuvoso com temperaturas mais elevadas.

Conforme o gráfico 1, os meses que apresentam as menores temperaturas são junho e julho, 20,1 °C e 20,3 °C, enquanto que os menores valores de precipitação são encontrados nos meses de junho a agosto (14,6 mm, 8,7 mm e 14,7 mm). Em relação aos meses mais quentes, estes estão entre outubro e novembro, com temperaturas médias mensais de 25,0 °C e 24,5 °C respectivamente, enquanto que dezembro e janeiro são sinalizados como os que registram os maiores valores de precipitação (265,2 mm, e 273,3 mm).

Gráfico 1 - Climograma da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). INMET (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O clima da bacia apresenta uma média anual de temperatura de 23,2 °C e um total pluviométrico médio anual de 1.468,4 mm. Em relação a amplitude térmica anual, nota-se que a mesma é moderada, com uma variação interanual de 4,9 °C.

Utilizando-se da classificação climática de Köppen, referenciada por Ayoade (1996), encontra-se na área, na maior parte do seu domínio, o clima Aw , sendo este caracterizado como clima tropical de savana, possuindo duas estações bem definidas, dando o referido caráter de sazonalidade, já mencionado. Desta forma, verifica-se que o período seco é definido entre os meados de abril a setembro, enquanto que o período chuvoso está situado entre os meses de outubro ao início de abril.

Martins e Rosa (2012) em seus estudos também realizaram a classificação climática desta mesma área de pesquisa, para tais no que concerne a distribuição pluviométrica ao longo da bacia as maiores precipitações médias anuais registradas encontram-se na porção leste/nordeste (Distrito Federal, leste e sudeste de Goiás) e na porção sudeste (alto curso do Rio Paranaíba), que por sua vez, coincidem com áreas de altitude mais elevada e de topografia plana/ suavemente ondulada. Os mesmos autores ainda afirmam a existência de uma relativa tendência de redução nos totais anuais pluviométricos na área próxima à confluência do Rio Paranaíba com o Rio Grande, leste de MS, de modo específico, nas bacias do Rio Santana e Aporé, que são caracterizadas por serem áreas de menores altitudes e sob influência mais marcante da Massa Tropical Continental.

3 RERENCIAL TEÓRICO - CONCEITUAL BÁSICO

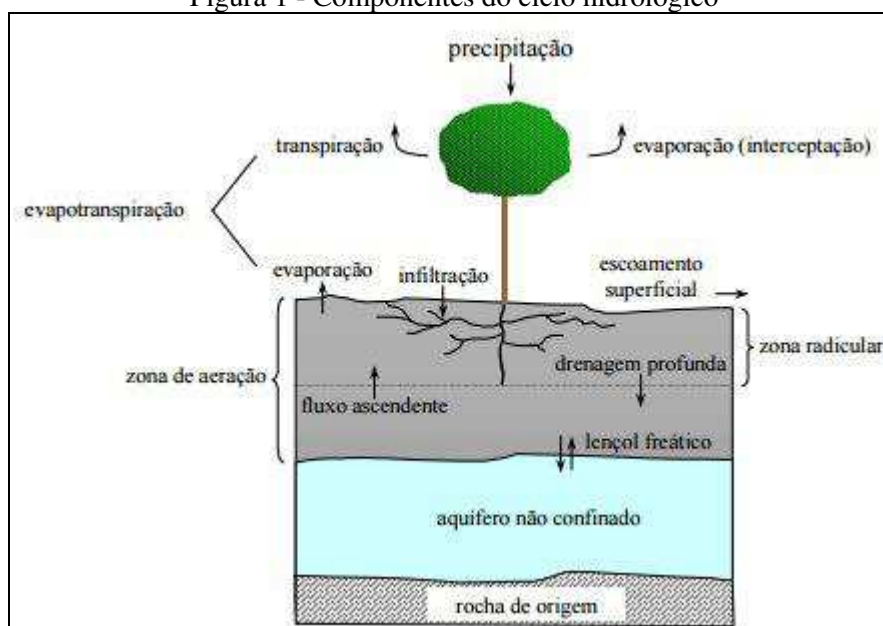
3.1 Precipitação Pluviométrica

A precipitação é um dos principais elementos físicos pertinentes à caracterização climática de uma determinada área. A mesma, também é fator condicionante dos processos que fazem parte da dinâmica hidrológica de uma bacia. Esta última, inicialmente, pode ser associada as etapas de desenvolvimento do ciclo hidrológico.

De acordo com Pinto (1976), o ciclo hidrológico contempla os diferentes estados e caminhos percorridos pela água, onde, alterna-se de estado ou posição em relação à Terra, tendo como linhas principais de desenvolvimento do ciclo (precipitação, escoamento superficial ou subterrâneo, evaporação), mantendo assim, de certa maneira, uma distribuição equilibrada ao decorrer do tempo, tendo como justificativa de exemplo a constância do nível médio do mar. Outros autores também definiram em seus estudos a dinâmica do ciclo hidrológico. Sendo este, ilustrado na figura 1, a partir dos seus principais componentes formadores.

Para melhor compreensão deste ciclo pode-se visualizá-lo como tendo início com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Sob determinadas condições, o vapor é condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersada sob várias formas. A maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte restante da água escoar sobre a superfície do solo, ou através do solo para os rios, enquanto que a outra parte, penetrando profundamente no solo, vai suprir o lençol d'água subterrâneo. Devido a influência da gravidade, tanto o escoamento superficial como o subterrâneo são realizados em direção a cotas mais baixas e podem, eventualmente ser descarregados nos oceanos. Entretanto, quantidades substanciais da água superficial e subterrânea retornam à atmosfera por evaporação e transpiração antes de atingirem o oceano. (VILLELA; MATTOS, 1975, p.1).

Figura 1 - Componentes do ciclo hidrológico



Fonte: (RENNÓ; SOARES, 2007, p.49).

De modo geral, a precipitação é caracterizada como toda forma de água oriunda da atmosfera e que atinge a superfície terrestre como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Sua formação está associada à ascensão das massas de ar úmidas, devida aos seguintes fatores: convecção térmica, relevo e ação frontal das massas. Tal ascensão do ar ocasiona um resfriamento que pode fazê-lo alcançar o seu ponto de saturação, tendo em seguida a condensação do vapor de água na forma de minúsculas gotas que são mantidas em suspensão, sob nuvens e nevoeiros. Para que ocorra um evento de precipitação é preciso que estas gotas aumentem a partir de núcleos de condensação, como por exemplo, gelo, poeira ou demais partículas, até que atinjam o peso necessário para superarem as forças de sustentação e caiam. (HOLTZ, 1976).

Sobre os tipos existentes de precipitação pluviométrica e tendo como referência a maneira de ascensão no ar que as tem originado, Ayoade (1996), define três tipos de chuvas: convectiva, ciclônica e orográfica.

A precipitação convectiva está associada a instabilidade convectiva. Estas estão relacionadas a nuvens do tipo cumulus e cumulonimbus, tendo sua causa orientada pelo movimento vertical de uma massa de ar ascendente, que por sua vez, é mais quente do que o meio ambiente. São classificadas como mais intensas, quando comparadas às ciclônicas ou orográficas, todavia apresentam curta duração e, podem ainda ser divididas em três subcategorias: aguaceiros convectivos dispersos, aguaceiros convectivos organizados e precipitações intensas e prolongadas por meio das nuvens cumulonimbus em torno do vórtice dos ciclones tropicais. (AYOADE, 1996).

As chuvas de origem convectiva, podem ser caracterizadas ainda, como movimentos ascendentes de ar úmido, geradas de pressões atmosféricas mais baixas junto as superfícies da Terra. Esta ascensão pode ser resposta do aquecimento do ar em contato com essa superfície (chuva convectiva), sofrer influência da topografia do local (chuva orográfica) ou pela ação de sistemas atmosféricos transientes, que possuem caráter dinâmico, denominados sistemas frontais (frentes quentes ou frias). (GALVANI; PEREIRA; KLOSOWSKI, 1998).

A precipitação ciclônica ou frontal ocorre devido a um movimento vertical do ar que se manifesta em grande escala, associado a sistemas de baixa pressão, como as depressões. Em outras palavras, as chuvas ciclônicas são aquelas que são resultantes do encontro de duas massas de ar que apresentam características diferentes de temperatura e umidade. A partir desta confluência, a massa de ar quente sobe e o ar arrefece alcançando o ponto de saturação; consequentemente formam-se as nuvens, dando início a precipitação. (VARELA, 2007). Estas são classificadas como relativamente intensas, contínuas e, por afetarem grandes áreas à medida que a depressão se desloca. Ressalta-se que dos três tipos de precipitação a que apresenta eventos de maior duração são as ciclônicas, com cerca de 6 a 12 horas. (AYOADE, 1996).

Por último, a precipitação orográfica é geralmente aquela causada, essencialmente pela elevação do ar úmido sobre o terreno elevado. A influência das montanhas sobre a precipitação depende do seu próprio tamanho, bem como de seu alinhamento relativo aos ventos portadores de chuvas. (AYOADE, 1996).

Em termos de pluviometria, segundo Varejão-Silva (2001) a quantidade de precipitação é comumente expressa em razão da espessura da camada d'água que venha a se constituir sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, com dimensão de 1 m² de área. A orientação de unidade adotada é o milímetro, que tem correspondência com a queda de um litro de água por metro quadrado da projeção da superfície terrestre. Ainda segundo o autor, as chuvas ainda podem ser caracterizadas de acordo com sua duração e intensidade, sendo a primeira definida como a diferença de tempo entre os instantes de início e término e a segunda pela quantidade de água precipitada por unidade de tempo e geralmente expressa por mm por hora (mm h⁻¹).

Para estabelecer a precipitação média de uma determinada área, Bertoni e Tucci (2004) descrevem os métodos mais usuais, sendo eles, o da média aritmética, o de Thiessen e o método da isoietas. O método da média aritmética envolve o cálculo da precipitação média como a média aritmética dos valores medidos. Já o método de Thiessen abarca a não-uniformidade da distribuição espacial dos postos pluviométricos, todavia, este não leva em consideração o relevo da bacia e, sua metodologia consiste nos seguintes passos: ligação dos postos por trechos retilíneos; tracejado de linhas perpendiculares aos trechos retilíneos passando pelo meio da linha que liga os dois postos pluviométricos; e prolongamento das linhas perpendiculares até o encontro de outra. Por fim, o método das isoietas representam linhas de igual precipitação que podem ser traçadas para um evento ou para uma duração específica.

Sobre as variações sazonais na precipitação, Ayoade (1996) afirma que as chuvas tendem a ser mais sazonais em sua ocorrência nos trópicos, quando comparadas as áreas extratropicais. Da mesma maneira que, o padrão de distribuição sazonal de precipitação é mais zonal nas latitudes baixas do que nas latitudes médias. Quanto menor for a oscilação da precipitação pluviométrica, maior será sua confiabilidade. Dentre as medidas de variabilidade existentes, as mais comumente utilizadas em estudos de precipitação, são a variabilidade relativa e o coeficiente de variação. Na maioria dos casos, os totais anuais de chuva são normalmente bem distribuídos, exceto em áreas onde a pluviosidade anual média seja inferior a 750 mm. Os totais mensais e sazonais possuem uma tendência a não constituir população normal, a menos que os dados sejam recorridos ao processo de normalização. Desta maneira, o índice de variabilidade relativa é frequentemente usado para demonstrar sua variabilidade.

A variabilidade espacial e temporal das chuvas em uma determinada área, podem, ainda, tanto ocasionar períodos de cheias como de estiagem. Desta forma, em específico, torna-se crucial o conhecimento acerca do comportamento das chuvas intensas. A partir desta premissa é possível estabelecer planos de gestão aplicados a mitigação dos problemas relacionados às chuvas, tais como a inundação de áreas urbanas e rurais, a erosão do solo, as perdas de safras agrícolas e os prejuízos em projetos de caráter hidráulico.

Sob a denominação de "precipitações intensas" costuma-se considerar o conjunto de chuvas originadas de uma mesma perturbação meteorológica, cuja intensidade ultrapasse um certo valor (chuva mínima). A duração destas precipitações varia, desde alguns minutos até algumas dezenas de horas (30 horas) e a área atingida pelas mesmas pode variar desde alguns poucos quilômetros (chuvas de convecção) até milhares de quilômetros quadrados (chuvas tipo frontal). Alguns autores e mesmo organismos como o "U.S. Weather Bureau" incluem nesta categoria somente as chuvas cuja intensidade ultrapasse um certo valor definido por uma expressão que liga a intensidade em (mm/h) e a duração (em minutos). Esta definição, porém, do ponto de vista prático, não é muito significativa, pois uma precipitação pode ser considerada "intensa" para uma bacia e não ser para outra. (GARCEZ, 1967, p.81-82).

As chuvas intensas ocorrem de maneira isolada ou associadas a outros sistemas meteorológicos, tendo como nuvem característica de manifestação a cumulonimbus. Na maioria das ocorrências, estas são acompanhadas de trovões, descargas elétricas, granizos e ventos fortes. (CRESPO; SILVA; NERY, 2005).

Ainda sobre os estudos de chuvas intensas é preciso analisar as relações entre intensidade, duração e frequência destes eventos: "As precipitações são tanto mais raras quanto mais intensas. Para considerar a variação da intensidade com a frequência, será necessário fixar, a cada vez, a duração a ser considerada." (HOLTZ, 1976, p.23).

3.2 Regime de Vazões

3.2.1 Determinação de Vazões

O conhecimento adequado dos processos hidrológicos é essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia, principalmente no que concerne a dinâmica dos fluxos fluviais e a disponibilidade hídrica. Nisto se insere, a análise do regime de vazões que permite o equacionamento da oferta e volume de água dos cursos d'água, utilizado em tomadas de decisões orientadas a racionalização e preservação deste recurso.

De acordo com Martins (1976), entende-se por vazão o volume de água escoado na unidade de tempo a partir de uma determinada seção do curso d'água. Geralmente são expressas em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou em litros por segundo (l/s).

Existem inúmeros processos para determinação de medição da vazão de um rio, dentre os quais, citam-se a determinação direta da vazão (processo volumétrico), a medida direta pelo nível d'água (vertedores e calhas medidoras) e ainda os processos químicos. Todavia, o mais

seguro quanto a sua aplicabilidade, quando ultrapassada a descarga de algumas dezenas de metros cúbicos por segundo, é o que se baseia no conhecimento do campo de velocidade de uma seção transversal. (GARCEZ, 1967).

Área da seção - Resultando a vazão do produto da área da seção pela velocidade, a precisão da medição depende igualmente dos dois fatores, tendo-se em vista, porém, que as velocidades variam entre limites estreitos (digamos de 0,5 a 2 m/s) a vazão depende principalmente da área. Por este motivo, recomenda-se sempre um levantamento detalhado da seção transversal e a comparação com a utilizada no método adotado para o cálculo (sobretudo se a seção é irregular); desta forma, pode-se averiguar o interesse de efetuar o cálculo com as áreas medidas pelo levantamento detalhado (o que é relativamente simples se as verticais são sempre efetuadas no mesmo ponto). (GARCEZ, 1967, p.190).

Fill e Steiner (2003), afirmam, que em diversos estudos hidrológicos, em específico nos de cálculos de propagação de ondas de cheias, os dados de vazão média diária não são suficientes para avaliação. É preciso recorrer a utilização de um hidrograma instantâneo de cheia, que irá permitir a análise da variação da vazão através do dia, e por conseguinte, a vazão máxima instantânea, também denominada vazão de pico.

A vazão de pico a partir de vazões médias diárias, pode ser tratada em duas categorias, sendo a primeira a dos métodos que visam relacionar a razão entre a máxima vazão instantânea e a máxima média diária de uma cheia com características fisiográficas da bacia hidrográfica, e a segunda a dos métodos que abordam uma sequência das vazões médias diárias para dar a estimativa da vazão de pico (FILL e STEINER, 2003)

Tucci (2004) em suas pesquisas faz distinção entre as vazões máximas, médias e as mínimas. Para o referido autor, a vazão máxima representa os valores extremos que podem resultar em enchentes nas margens. Sua estimativa é relevante para o controle de inundação e posterior dimensionamento das obras hidráulicas. A aferição desta variável pode ser realizada tanto a curto prazo, quanto a longo prazo. O primeiro refere-se ao acompanhamento de um evento em

tempo real sendo resultante de uma precipitação. Já o segundo, caracteriza a previsão estatística da vazão máxima (diária ou instantânea) em qualquer período do ano.

Entende-se como vazão média anual de um rio a determinação média diária de todos os valores do ano. Sendo que a vazão média de longo período Q_{1p} representa a média das vazões médias anuais ou ainda a média das médias. A Q_{1p} também é compreendida como a maior vazão possível de ser regularizada numa bacia hidrográfica. (TUCCI, 2004).

No geral, as vazões mínimas se caracterizam como aquelas que representam os menores valores das séries anuais. Tal é associada a uma duração t . A realização da curva de probabilidade de vazões mínimas garante a estimativa do risco de que venham a ocorrer vazões menores que a um valor selecionado. Esta curva é aplicada a regularização de vazão no que concerne ao abastecimento de água e irrigação, aos estudos de qualidade da água, dentre outros. (TUCCI, 2004).

3.2.2 Determinação de Vazões Específicas

A vazão específica é um importante parâmetro para comparação da produção de água entre bacias hidrográficas e ainda por verificar a influência dos períodos de cheia e de estiagem como resposta na vazão dos rios.

Para Lima et al. (2008) o conhecimento acerca das vazões específicas, possibilita de maneira fácil e rápida, a estimativa da vazão que percorre diversos locais ao longo do curso d'água à partir de sua área de drenagem (km^2). Certamente, as informações geradas não substituem os dados encontrados em estações fluviométricas, todavia, as estimativas desenvolvidas por esse método fornecem uma excelente resposta da dinâmica da vazão disponível na área de interesse.

A vazão específica é definida como a vazão da bacia dividida pela sua área; sendo assim, esta caracteriza um valor unitário médio da área envolvida. Tal valor, pode alterar de acordo com o tamanho da sua área ou das características da bacia. (TUCCI, 2004). Nesta mesma linha de raciocínio, a vazão específica média de longa duração consiste na divisão dos dados de vazão média anual pela área de drenagem da estação fluviométrica selecionada. (PRUSKI et al., 2004).

De maneira geral, de acordo com Tucci (2004), existe uma tendência da vazão específica reduzir com o aumento do tamanho da bacia ou do comprimento do rio. Sendo que, tal regra, é evidenciada por vazões médias e altas. Desta forma, determinadas anomalias pertinentes a bacia hidrográfica de estudo poderão alterar esta tendência.

Na maioria dos estudos que envolvem as vazões específicas em suas análises, verifica-se que seus mapas são elaborados com base em linhas de mesmo valor da variável, ou com valores, dentro de intervalos pré-definidos. No exemplo de vazões, o mapeamento somente é passível de realização por meio da utilização de vazões específicas, para que se possa ter subsídios de compatibilização dos valores de bacias com dimensões diferentes (TUCCI, 2002).

O mapa de vazões específicas tem dois objetivos principais: promover a visualização espacial dos recursos hídricos e permitir a estimativa da vazão desejada de forma rápida. No primeiro caso, por exemplo, a avaliação do mapa gerado permite a observação de áreas com escassez de água no período de estiagem (vazão específica mínima), das bacias que estão sujeitas as maiores enchentes (vazão específica máxima) e do potencial médio (vazão específica média). (TUCCI, 2004).

3.3 Relação chuva-vazão

O escoamento superficial refere-se ao segmento do ciclo hidrológico em que ocorre o deslocamento da água na superfície da Terra. Dentre as grandezas que o caracterizam, menciona-se a vazão que representa o volume de água escoado em uma determinada seção do curso de água por unidade de tempo.

Geralmente os escoamentos são divididos em superficial, que caracteriza o fluxo sobre a superfície do solo e também pelos seus inúmeros canais; subsuperficial que de acordo com alguns autores se refere ao fluxo que se dissipa junto as raízes da cobertura vegetal e; subterrâneo que representa os fluxos d'água ocorridos em função da contribuição do aquífero. Em análises mais recorrentes, os escoamentos superficial e subterrâneo justificam a maior parte total escoada, já o escoamento subsuperficial fica condicionando a contabilização conjunta no superficial ou no subterrâneo (TUCCI, 2004).

Para Martins (1973), Wisler e Brater (1964), dentre outros autores, o escoamento superficial tem origem essencialmente nas precipitações. Nesse processo, parte da água precipitada é retida pela vegetação e demais obstáculos, onde evapora a posteriori. Da totalidade de chuva que atinge a superfície do solo, parte é reclusa em depressões do terreno, e outra se infiltra, e, as demais parcelas escoam pela superfície a medida que a intensidade da precipitação seja maior que a capacidade de infiltração no solo e os espaços nas superfícies retentoras tenham sido ocupados.

À medida que as águas vão atingindo os pontos mais baixos do terreno, passam a escoar em canalículos que formam a *microrrede de drenagem*. Sob a ação da erosão, vai aumentando a dimensão desses canalículos e o escoamento se processa, cada vez mais, por caminhos preferenciais. Formam-se as torrentes, cuja duração está associada praticamente a precipitação; a partir delas formam-se os cursos de água propriamente ditos, com regime de escoamento dependendo da água superficial e da contribuição do lençol de água subterrâneo. São as chamadas *águas sujeitas*. (MARTINS, 1973, p.36-37).

O fluxo de água nas bacias hidrográficas sofre influência de inúmeros fatores que facilitam ou diminuem o escoamento da água nas superfícies de drenagem. Dentre os mecanismos climáticos, Villela e Mattos (1975) mencionam a intensidade e a duração da precipitação, sendo que, quanto maior for a intensidade da chuva, maior será a velocidade com que o solo atinge sua capacidade de infiltração, resultando em um excedente pluvial que escoará superficialmente. Em chuvas de intensidade constante, quanto maior for a sua duração, maior será a facilidade de escoamento. Ressalta-se ainda a ocorrência de precipitações antecedentes, pois, uma vez que, o solo já esteja úmido devido a chuvas anteriores, maior será a porção escoada.

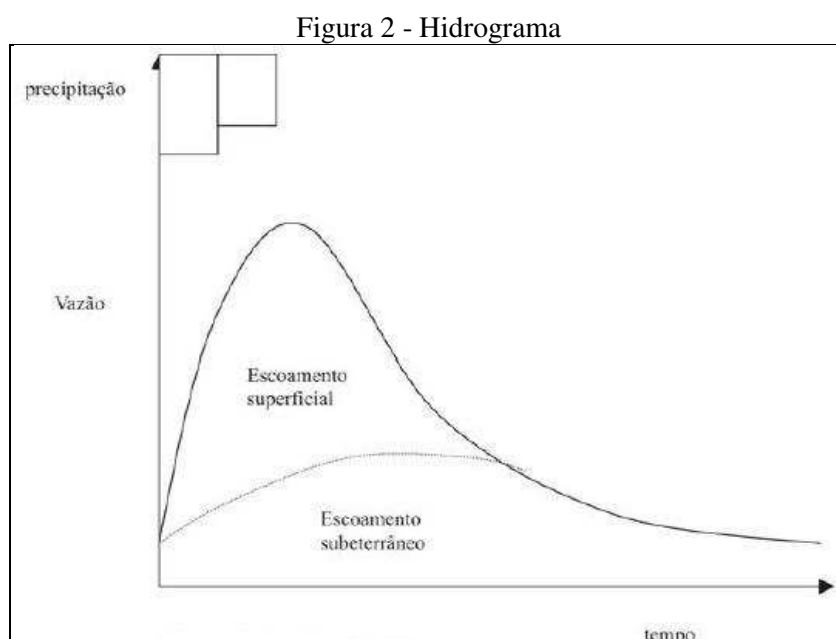
Em relação aos fatores fisiográficos, os mais relevantes são a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração, e, ainda, a topografia da bacia hidrográfica. Quanto a interferência antrópica no meio, destacam-se as diversas formas de uso e ocupação do solo, sendo que quase todos concorrem para uma maior impermeabilização dos solos (VILLELA e MATTOS, 1975).

Alguns autores, ainda trazem em suas abordagens a influência destes fatores mencionados sobre as vazões.

- a) a descarga anual aumenta com o aumento da área da bacia contribuinte;
- b) as variações de vazão instantâneas são tanto mais notáveis quanto menor a área da bacia;
- c) as vazões máximas instantâneas serão tanto maiores, para a mesma área contribuinte, e dependerão tanto mais da intensidade da chuva, quanto menor for a área da bacia; à medida de que se consideram bacias maiores as chuvas que causam maiores inundações serão aquela de intensidade menor porém de duração e área de precipitações maiores;
- d) as vazões máximas instantâneas serão tanto maiores, para mesma área contribuinte, e dependerão das chuvas de grande intensidade quanto maiores forem as declividades do terreno, menores as depressões detentoras e retentoras, mais retilíneo for o curso d'água, a montante, menor for a infiltração do solo, menor for a área recoberta por vegetação;
- e) o coeficiente de deflúvio (ou do escoamento superficial), definido pela relação entre a vazão total escoada e o volume precipitado num certo intervalo de tempo (ou para uma dada precipitação), será tanto maior quanto menor for a capacidade de infiltração do solo, os volumes acumulados e as detenções de água a montante;

f) o coeficiente de escoamento em um longo intervalo de tempo (mês, estação, ano), depende sobretudo das perdas por evapotranspiração; para certas natureza do terreno e disposição de camadas geológicas a maior capacidade de infiltração poderá ser fator favorável ao aumento do citado coeficiente. (GARCEZ, 1967, p.167).

As possíveis relações entre chuva-vazão também são facilmente expressas nos hidrogramas (figura 4), estes por sua vez, ilustram a vazão ocorrida em uma seção de um curso d'água em função do tempo, oriunda de uma precipitação qualquer sob uma área ou bacia hidrográfica em específico. Nesse processo, demarca-se um intervalo de tempo entre o instante da precipitação e sua resposta sobre a vazão na seção de controle, que normalmente é denominado como tempo de retardo da bacia. (BARBALHO, 2001).



Fonte: (TUCCI; MENDES, 2006, p.23).

De acordo com Tucci e Mendes (2006), o escoamento superficial sinaliza a maior parte do escoamento durante o período chuvoso, diminuindo a medida que culmina a ocorrência das precipitações. Já o escoamento subterrâneo é o que permite a vazão do rio durante o período de estiagem.

Segundo Righetto (1998), as características analisadas em um hidrograma respondem a inúmeros aspectos da bacia hidrográfica, dentre os quais, destacam-se o grau de permeabilidade, a área de drenagem, a porosidade do solo, a profundidade do lençol freático e o tipo de precipitação que ocorreu sobre a bacia. Precipitações regulares sobre todas as bacias referem-se a hidrogramas com extremos suaves em contrapartida a uma chuva concentrada próxima ao exutório ou à seção onde são vistas as vazões $Q_{(t)}$. O mesmo autor comenta ainda que o período de ascensão do hidrograma demonstra o grau de permeabilidade da bacia hidrográfica e sua capacidade de transporte por meio do escoamento superficial. Para áreas expressivamente impermeáveis e com alta declividade, constata-se que o tempo de ascensão do hidrograma é muito curto, resultando na capacidade de resposta da bacia. Em contrapartida, para bacias permeáveis, alongadas e de baixa declividade, o período de ascensão é altamente longo, analisando-se vazões de pico baixas e variações suaves nos períodos de ascensão, de pico e de recessão.

Alguns autores recorrem a utilização do Hidrograma Unitário (HU), este representa o escoamento direto, provocado por chuva efetiva com intensidade constante ao longo de sua duração. Tucci (2003) estabelece em seus trabalhos as debilidades do HU para estimativa do escoamento superficial. Dentre as quais, destacam-se: a demonstração linear do escoamento superficial que tem um comportamento não-linear, a distribuição homogênea da precipitação dentro do intervalo de tempo, a distribuição espacial uniforme da precipitação e as falhas nos métodos de desagregação do escoamento superficial e subterrâneo.

Em termos de intervalos, quando se recorre ao HU para estimar uma inundação frequente (< 2 anos), sua determinação é comedida em função de eventos de pequena e média magnitude, enquanto, que quando a estimativa é realizada em recorrência a eventos raros (> 50 anos) é necessário a utilização de um ou dois dos maiores eventos demarcados para prever o HU e

diminuir o uso de eventos pequenos que podem gerar reduções no hidrograma. (TUCCI, 2003).

No processo de relação chuva-vazão menciona-se também a dinâmica das vazões máximas de um rio nas bacias hidrográficas. Estas estão associadas a valores de riscos que podem ser igualados ou superados, sendo características para o processo de previsão de enchentes e dimensionamento de obras hidráulicas.

O estabelecimento da vazão máxima e o hidrograma - respostas de precipitações efetivas ou com possibilidade de acontecimento - podem ser agrupadas em duas classes: a) demonstração de um evento específico; e b) dimensionamento. A primeira exige um compromisso com a precisão, onde as vazões são definidas a partir das precipitações da bacia, das condições de umidade do solo e dos parâmetros iniciais reais de perdas. Já a segunda, as vazões devem representar condições críticas possíveis de acontecimento com um risco específico. (TUCCI, 2004).

Em uma bacia hidrográfica a determinação da vazão máxima e do volume de cheia baseada em registros de vazão, necessita de séries históricas que sejam longas, para serem significativas das enchentes no local ou estacionárias, cujas estatísticas não se alteram por causa de mudanças na bacia. Todavia, no geral, tais condições não são cumpridas, principalmente em bacias urbanas. (SANTOS et al., 2001).

Com relação às vazões de estiagem, estas são representativas de escoamentos superficiais ocorridos em períodos em que as precipitações são relativamente baixas ao longo das séries históricas analisadas. Para compreensão deste processo, alguns estudos como os de Pinto (2006) e Oliveira e Fioreze (2011) utilizam-se também da curva de permanência para a identificação dos respectivos períodos de recessão, mas também de ascensão do regime de vazões.

De modo geral, Pinto (2006) afirma que a curva de permanência caracteriza o quadro completo da distribuição de vazões diárias, mensais, anuais ou de algum outro intervalo de tempo, que ilustre graficamente, a relação entre a magnitude e a frequência com que as vazões cheguem a ser igualadas ou superadas em um determinado período de tempo. Podendo assim, determinar as vazões de estiagem pretendidas.

3.4 Estatística aplicada a estudos hidrológicos

3.4.1 Princípios da Modelagem Hidrológica

Modelagem hidrológica é utilizada como mais uma tentativa de se representar e compreender a realidade do comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica. Na maioria das vezes, os modelos desenvolvidos são operacionalizados em função de relações matemáticas.

Os modelos são similitudes, pois são diferentes da realidade física. A utilização de modelos experimentais é um exemplo significativo do objetivo geral do construtor de modelagens, no que se refere a recriação de determinadas características do mundo real em forma mais familiar, acessível, observável, simplificada, de fácil formulação ou controle, que visem a tomada de conclusões, passíveis de serem reaplicadas ao mundo real. (CHORLEY, 1975).

De forma geral, um modelo pode ser definido como um sistema equacional e de procedimentos que integram variáveis e parâmetros, sendo que estes mantêm seu valor constante durante todo o processo analisado. Todavia, os parâmetros, por exemplo, podem variar espacialmente. Assim, como as variáveis também se alteraram ao longo do tempo em que o modelo estiver sendo operacionalizado. (RENNÓ; SOARES, 2007).

Rennó e Soares (2007) ainda explicam que a geração de um modelo pode permitir a existência de três tipos de variáveis. A primeira é denominada variável de estado, sendo esta o objetivo de estudo do modelo. Neste caso, sempre haverá uma equação diferencial submetida a variável. A segunda representa a variável-processo ou apenas processo, ou ainda, referenciada como fluxo, que significa os processos de entradas e saídas das variáveis de estado. A última a ser mencionada é a variável forçante que é utilizada no modelo, entretanto, não é calculada pelo próprio. Tal, tanto pode ilustrar um fluxo (fluxo forçante) ou estoque externo ao modelo (estoque forçante) que alimenta a modelagem no papel de um propulsor. Ou ainda atuar, como um modulador/controlador de fluxos do modelo, como ocorre, por exemplo, com a dinâmica dos ventos que podem influenciar na taxa de evaporação do solo.

Diante do processo histórico de construção destes, os primeiros modelos hidrológicos tinham como finalidade descrever os processos de cada parte do ciclo hidrológico, como por exemplo, a infiltração, desenvolvido por Horton na década de 30, e, o escoamento em rios, definido por MacCarty (1939), o modelo de Musking e Puls (Puls, 1928) para discriminação do escoamento em reservatórios. Em meio as debilidades de estruturação destas modelagens, apenas na década de 50, surgem os primeiros modelos hidrológicos que abarcavam diversos processos que determinavam a transformação da precipitação em vazão, como os modelos de SARR (Rockwood, 1958). Para a década de 70, menciona-se os seguintes modelos: Stanford IV (Crawford e Linsley, 1966) que iniciou a distribuição espacial da avaliação da infiltração, Dawdy e O'Donnell (1965) e HEC-1 (HEC, 1968). Ibbitt (1973) que inseriu a otimização dos primeiros parâmetros de um modelo hidrológico, e demais. (TUCCI, 2005).

Em síntese, o advento dos computadores e toda tecnologia associada ao desenvolvimento de programas e softwares, permitiu e tem garantido até os dias atuais o avanço das pesquisas referentes a aplicação de modelos hidrológicos na representação da realidade da dinâmica

hídrica. Para Silva (2010) os programas para modelagem dão origem, de maneira sucinta, as respectivas equações associadas aos processos hídricos que se almejam modelar (estrutura), e, as ferramentas para resolução desses cálculos numéricos (algoritmos). Todavia, o modelo que ilustra o sistema de maneira direta, só se realiza a partir do momento em que os valores dos parâmetros que formulam tais equações, são especificamente determinados.

Diversos autores discutem a classificação dos modelos sob diferentes perspectivas de análise. A seriação mais utilizada é mencionada na pesquisa de Rennó (2004). Para o autor, os modelos podem ser categorizados de acordo com o tipo da variável selecionada para a modelagem (estocásticos ou determinísticos), a forma de relação entre essas variáveis (empíricos ou baseados em processos), a maneira de apresentação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não das relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e, por fim, a pertinência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos).

Já Tucci (2005) ao produzir também estudos voltados para modelagem hidrológica, determina outro tipo de classificação dos modelos em função da sua conceitualização.

Empíricos: utilizam equações sem relação com processos físicos na bacia. Utilizam regressões linear ou não-linear, série de Fourier, entre outros. São utilizados para relacionar a precipitação com a vazão;

Conceituais: estes modelos usam a equação da continuidade, associada a uma ou mais equações empíricas que relacionam variáveis e parâmetros dos processos. Estes modelos geralmente representam os efeitos de armazenamento e introduzem equações empíricas para representar os processos dinâmicos;

Físico-distribuídos: são os modelos que utilizam as equações de continuidade e dinâmica dos processos envolvidos, buscando integrar a descrição de todos os processos físicos que ocorrem na bacia. Este tipo de modelo ainda apresenta maiores dificuldades, devido à grande variabilidade das características e dos processos. (TUCCI, 2005, p.245).

O mesmo autor ainda estabelece, em relação aos usos e seus objetivos, outra forma de categorizar estes modelos.

. modelos que simulam **condições estacionárias** na bacia e tem como objetivo obter um bom ajuste no hidrograma de saída. Neste tipo de uso não existe interesse em resultados parciais dentro da bacia ou mesmo de outras variáveis. São aplicações

como extensão de série para dimensionamento de reservatório, previsão em tempo real e determinação de vazão máxima ou hidrograma de projeto;
 . modelos que simulam **alterações na bacia** e o comportamento de processos hidrológicos e buscam o conhecimento distribuído dos fenômenos na bacia. Neste caso, existem aplicações como: simulação das alterações do escoamento devido o desmatamento, urbanização, construções hidráulicas; simulação do comportamento da bacia devidos ao uso rural em conjunto com modelos de sedimentos químicos na estimativa da poluição difusa. Ainda, dentro deste contexto se inserem os esforços de integração de modelos meteorológicos e hidrológicos. (TUCCI, 2005, p.245-246).

Já para More (1975) os modelos são aplicados nos estudos hidrológicos para satisfazer três objetivos, sendo estes: simplificar e generalizar uma realidade complexa; prever a ocorrência de eventos hidrológicos e, planejar o uso futuro dos recursos hídricos. Para o primeiro, tal autora traz como exemplo o projeto de redes hidrométricas, utilizado para estimar pontos de amostragem pluviométrica com base no método de Thiessen (1911) e a aplicação de bacias experimentais para a amostragem e a generalização das condições hidrológicas. O segundo, é exemplificado com base nas análises de Wiesner (1964) a partir da abordagem racional para previsão de enchentes e E. J. Gumbel (1958) que desenvolveu as distribuições estatísticas para descrição de eventos extremos. Já o terceiro, se refere aos métodos estocásticos que realizam a estocagem durante demandas especificadas e dentro de riscos determinados como fracos e também com a utilização de modelos de exploração ótima dos recursos das bacias com vistas ao planejamento hidrológico.

Segundo Coelho (2006) as principais dificuldades no desenvolvimento dos modelos hidrológicos estão associadas a disponibilidade e a qualidade de dados hidrológicos, a formulação matemática de alguns processos e a minimização de determinadas variáveis e fenômenos. O processo de elaboração dos modelos para estimar a resposta de um sistema hidrológico, neste caso a bacia hidrográfica, a partir de dados de entrada é conhecido como simulação hidrológica. Tal perpassa pelas seguintes etapas: estimativa ou ajuste, no qual os parâmetros estabelecidos são calibrados e determinados; verificação, para analisar a validade

dos parâmetros determinados para o ajuste do modelo; e previsão, a qual se quantifica as respectivas repostas de diversas entradas, simulando, finalmente, o modelo com os parâmetros ajustados.

Os modelos hidrológicos tanto podem ser desenvolvidos em função da aplicação de variáveis de entrada para encontrar as respostas de saídas, como também, com a inicialização reversa, a partir da manipulação de dados de saída para entender o comportamento dos dados de entrada. Ainda assim, também pode-se aplicar a relação simultânea entre as componentes de entrada e saída para compreender a dinâmica do sistema em âmbitos maiores, como no desenvolvimento desta pesquisa.

Collischon e Tucci (2001) descrevem que os modelos hidrológicos, na maioria de suas aplicações, descrevem todos os processos por meio de relações matemáticas e moduladas, incluindo os parâmetros que são ajustados com os dados locais. Sendo que as variáveis mais utilizadas, são as vazões de saída da bacia hidrográfica em conjunto com as precipitações. Todavia, neste processo, pode ocorrer a geração de incertezas quanto a parametrização da modelagem. Tais autores demarcam as principais dificuldades de estimativa destes parâmetros:

- . a estimativa da precipitação é parte fundamental de qualquer modelo precipitação-vazão. Qualquer erro de avaliação pode levar o usuário a distorcer o ajuste dos parâmetros.
- . como o modelo é ajustado apenas na sua saída através da vazão observada, todas as interações internas podem possuir infinitas combinações que podem distorcer os parâmetros obtidos.
- . num modelo distribuído o balanço é realizado em cada célula, considerando que o número de células é muito grande, o número de parâmetros é quase infinito, o que dificulta ajustar o modelo através de procedimentos tradicionais. Geralmente o ajuste é realizado associando o parâmetro às características de um plano de informação. Quando existe excesso de empirismo, o ajuste torna-se uma loteria. Em bacias grandes esse processo é ainda uma abstração maior de realidade, dificultando uma análise das condições antrópicas do sistema. (COLLISCHON; TUCCI, 2001, p.96-97).

Em síntese, a incerteza nos parâmetros, dá origem a modelos limitados, a informações incompletas e a realização de técnicas deficientes na estimativa dos parâmetros. Para a modelagem hidrológica podem ser realizadas inúmeras estimativas dos parâmetros por diversos indivíduos e por diferentes conjuntos de dados observados uma vez que, se aplicada uma técnica de estimação "perfeita", as conseguintes estimativas das variáveis do modelo deveriam aproximar-se da realidade em si dos dados, ao passo que se aumente as informações utilizadas. Desta forma, os estimadores dos parâmetros devem ser trabalhados como se fossem variáveis aleatórias, pois seus valores são dependentes de dados observados, os quais também podem ser operações de processos aleatórios. (SANTOS et al., 2001).

3.4.2 Análise Estatística

Os fenômenos hidrológicos apresentam variabilidade quanto a dinâmica dos processos que os envolvem. As respostas de entradas e saídas de um sistema, neste caso a bacia hidrográfica, variam no tempo e no espaço, dificultando assim, a descrição e o entendimento de cada uma das partes compreendidas. Nesse sentido, técnicas matemáticas têm sido utilizadas na tentativa de expressar e simular a dinâmica hídrica concernente aos ambientes, principalmente as que recorram a fundamentos e métodos associados a Estatística.

Crespo (2001) conceitua estatística como uma área da matemática aplicada que subsidia métodos para coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados e para o uso dos mesmos na tomada de decisões diante do objeto estabelecido. No que se refere a coleta, a organização e a descrição de dados, estas estão relacionadas ao que se denomina estatística descritiva. Por outro lado, a análise e a interpretação dessas variáveis ficam sob a responsabilidade da estatística indutiva ou inferencial.

Alguns autores ainda utilizam dois tipos de concepções atribuídas ao significado da palavra estatística, como explica Bruni (2009). Para o referido autor quando a palavra é utilizada no plural - estatísticas - exprime qualquer coleção consistente de dados numéricos, agrupados com a finalidade de gerar informações para o desenvolvimento de um objetivo. Já, quando a palavra é utilizada no singular - estatística - proporciona a construção de uma idéia associada a atividade humana especializada ou a um corpo de técnicas, ou, também a uma metodologia construída para coleta, classificação, apresentação, análise e interpretação de dados quantitativos e a aplicação de tais dados no processo de tomada de decisões.

Em estudos hidrológicos, por exemplo, um dos objetivos da aplicação de técnicas estatísticas é permitir na sua totalidade a compreensão da natureza dos processos ambientais. Nesse mesmo foco, Andriotti (2003) em seus estudos contextualiza o que se denomina inferência estatística. Tal, refere-se ao nome dado à generalização dos resultados encontrados para uma parte da amostra em direção ao todo, ou seja, para o universo ou população da pesquisa, sendo ainda o arcabouço de procedimentos empregados na verificação da comprovação de uma hipótese para a população a partir dos dados disponíveis em uma amostra.

Quando o objetivo da pesquisa envolve o entendimento acerca da espacialidade dos dados utilizados para compreensão dos fenômenos em meio a sua materialização no próprio espaço, alguns autores, como visto nos estudos de Bettini (2007), já afirmam, que a partir desta premissa, já utiliza-se então, dos processos relacionados a Geoestatística para solução das problemáticas.

De acordo com Bettini (2007) a Geoestatística é um ramo da estatística aplicada que formula e estabelece modelos para entender os fenômenos naturais, cujos constituintes alteram em função da localização espacial dos pontos de observação. Os principais conceitos atribuídos a tal, referem-se a variável aleatória (VA), as distribuições de probabilidade de variáveis

aleatórias discretas e contínuas, uni e multivariadas, bem como os seus modelos e parâmetros necessários para categorização e desenvolvimento das técnicas matemáticas aplicadas. Já para Yamoto e Landim (2013) a Geoestatística consiste no fornecimento de um conjunto de técnicas necessárias para a análise de uma aparente eventualidade dos dados. Pelo contrário, em relação a uma possível estruturação espacial, apresenta sim uma configuração, permitindo também uma função de correlação espacial.

As vantagens reconhecidas da Geoestatística sobre outras técnicas convencionais de predição são as seguintes: o estudo da variabilidade espacial (a análise de um variograma é a única técnica disponível para medir a variabilidade espacial de uma variável regionalizada), sua suavização (a estimação geoestatística suaviza ou faz a regressão de valores preditos, baseada na proporção da variabilidade total da amostra levada em conta pelas variações aleatórias; quanto maior for a variabilidade da amostra, menos as observações individuais representam a sua vizinhança imediata e mais elas são suavizadas, com maior incerteza associada), o desagrupamento (ou efeito de anular as concentrações localizadas de observações), a determinação da anisotropia (os comportamentos na variabilidade nas diferentes direções são considerados), a precisão (a Krigagem fornece valores precisos sobre as áreas ou pontos a serem avaliados) e a incerteza (estimativa obtida por meio da Krigagem associa a margem de erro que acompanha a estimativa). (ANDRIOTTI, 2003, p.92).

Uma das possíveis formas de análise estatística dos dados hidrológicos está associada a representação numérica da variável aleatória selecionada. Esta, por sua vez, quantifica as relações físicas por meio de distribuições de frequências e de parâmetros numéricos sumariados nos sistemas equacionais desenvolvidos. No quadro 2, por exemplo, apresenta-se um conjunto de algumas técnicas matemáticas referenciado por Lanna (2004) em suas pesquisas na descrição dos processos de representação numérica.

Quadro 2 - Processos estatísticos de representação numérica

Conceito	Definição
Tendência Central	Esta característica é relacionada com a parte central do histograma de frequências. Existe, às vezes, uma tendência de que o número de ocorrências seja maior nesta parte central, significando que a variável aleatória costuma ocorrer com maior frequência nos intervalos centrais. Os parâmetros estatísticos que o representam são: média aritmética, moda, mediana, variância e desvio padrão.
Simetria	Uma distribuição simétrica é aquela que apresenta simetria em relação a um eixo vertical que passa pelo valor modal, ou seja, o valor com maior frequência. Nesta situação a média, a mediana e a moda são iguais.
Relação entre duas variáveis	A expressão numérica da relação entre duas variáveis requer um coeficiente cujo valor atribua uma nota à qualidade do ajuste a uma tendência. Algumas possibilidades são descritas pela aplicação de determinados métodos como: co-variância amostral, coeficiente de correlação, regressão linear simples e regressão linear múltipla

Fonte: Adaptado de Lanna (2004). Org. Maciel, S. A. (2016).

No mesmo intuito da aplicação de relações matemáticas por meio de técnicas estatísticas para compreensão das relações ambientais-espaciais, Zavattini e Boin (2013) explicam os processos de variabilidade ou dispersão de dados climáticos por meio do emprego do desvio quartílico (ou quartis), do desvio padrão e do coeficiente de variação. Todavia, estes autores ainda apresentam ressalvas, pois é necessário também aplicar outras medidas de variabilidade além destas já mencionadas, antes de se concluir quais são os anos, estações dos anos ou meses habituais ou excepcionais de uma determinada série temporal.

3.5 Métodos estatísticos aplicados a dados pluviométricos e fluviométricos

3.5.1 Análise de Séries Temporais

Uma forma de análise recorrente em estudos que envolvem dados pluviométricos e fluviométricos refere-se a aplicações estatísticas em séries temporais. Por meio delas é possível definir com precisão ao longo das séries históricas, neste caso, a variabilidade hidrológica, ou seja, identificar períodos de estacionariedade ou não. Dentre as principais técnicas utilizadas neste tipo de pesquisas, destacam-se, os modelos de suavização exponencial, os modelos de ARIMA (Modelo Auto - Regressivo Integrado de Média Móvel), os modelos de sazonalidade, os modelos com processos de Memória Longa, os modelos de análise espectral, dentre outros.

Resumidamente, uma série temporal é definida como qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo (MORETTIN; TOLOI, 2006). Para Bayer e Souza (2010) a análise de séries temporais envolve a identificação de alguma relação de dependência existente de maneira temporal nos dados, sinalizando o mecanismo gerador da série com vistas a extração de periodicidades importantes nas observações, na descrição do seu comportamento e na execução de previsões.

Em específico no tratamento de séries de vazões Righetto (1998) constata que uma série temporal pode ser constituída de três componentes principais: um comportamento de tendência, um de periodicidade e um aleatório. O componente de tendência caracteriza qualquer aumento ou diminuição dos valores da vazão em recorrência do tempo. O componente de periodicidade demonstra as variações sazonais das vazões em razão das

condições climáticas, e, por fim, o componente aleatório apresenta a aleatoriedade da ocorrência das precipitações e, conseqüentemente, das oscilações das vazões.

De outra maneira, Fernandes (1995) afirma que a análise de uma série temporal é constituída de quatro etapas: investigação do mecanismo gerador da série temporal, descrição do comportamento da série, identificação de periodicidades relevantes nos dados e a realização de previsões sobre valores futuros das séries.

As séries temporais se manifestam no tempo, dependentes de variações que podem ser caracterizadas por lei probabilísticas. Tal espécie de sistema se torna objeto da teoria dos processos estocásticos. De acordo com Bayer, Castro e Bayer (2012) um processo estocástico representa uma família de variáveis aleatórias que se definem em um mesmo espaço de probabilidades. Em outras palavras, o mecanismo gerador de uma série temporal é visto como um processo estocástico e a série temporal é verificada como uma de suas manifestações possíveis (BALLINI, 2000).

Pode-se dizer que o processo estocástico é estacionário na média, quando os valores almejados não se alteram com o período de tempo considerado, ou seja, por exemplo, os valores esperados para vazão mensal em uma seção de um curso d'água não dependam necessariamente do referido mês de análise. Desta forma, em âmbitos gerais, consta-se que a sequência de vazões anuais é consequência de um processo estocástico, aproximadamente, estacionário, em contrapartida, a sequência temporal de vazões mensais é vista como o resultado de um processo de não estacionariedade. Todavia, está última, pode ser eliminada a partir de transformações de variáveis, culminando com a sazonalidade existente. (RICHETTO, 1988, p.363).

Quanto ao objetivo da análise de séries temporais, diversos autores os sintetizam em dois principais enfoques:

Há basicamente dois enfoques usados na análise de séries temporais. Em ambos o objetivo é construir modelos para séries, com propósitos determinados. No primeiro enfoque, a análise é feita no domínio temporal e os modelos propostos são modelos paramétricos (com número finito de parâmetros). No segundo, a análise é conduzida no domínio de frequências e os modelos propostos são modelos não paramétricos. (MORETTIN; TOLOI, 2006, p.1).

Os mesmos autores ainda comentam que dentre os modelos paramétricos existentes, destacam-se os modelos de ARIMA, utilizados para processos de modelagem e previsão de variáveis selecionadas. Este, também é conhecido como a abordagem de Box e Jenkins (1970). A metodologia envolvida, é pertinente ao ajuste de modelos auto-regressivos integrados de médias móveis, ARIMA (p, d, q), a um conjunto de dados.

O modelo ARIMA pode ser identificado em sua totalidade, ou parcialmente pelos modelos AR, em que o processo estocástico modelado apresenta apenas a parte auto-regressiva, ou modelos MA, possuindo apenas a componente de médias móveis. Os modelos ainda podem ser ampliados para os conhecidos modelos SARIMA, na presença de sazonalidade. (BAYER; SOUZA, 2010, p.43).

Como já mencionado as séries temporais podem ser avaliadas como estacionárias ou aquelas que apresentam períodos de variações. Neste sentido, uma das suposições mais recorrentes em relação a utilização destas séries é de que elas são justamente estacionárias, ou seja, se desenvolvem no tempo de forma aleatória ao redor de uma média constante dos dados analisados, significando um certo equilíbrio estável. Entretanto, a grande maioria das séries utilizadas para diversos fins, na prática apresentam alguma forma de não-estacionariedade. (MORETTIN; TOLOI, 2006).

A estacionariedade ou não das séries históricas culminam em estudos hidrológicos que visam a identificação de tendências. Segundo Clarke (2004) dentre as técnicas estatísticas mais usuais na detecção destas em dados hidrológicos e climáticos, destaca-se a análise de regressão. Neste tipo de técnica, fica implícito que os resíduos aleatórios nas observações têm uma distribuição gaussiana, com variância constante; e as observações nas séries são

estatisticamente independentes. A validade da regressão é testada, utilizando a teoria gaussiana, e refletida como evidência para, ou contra, a tendência na sequência dos dados. Uma possibilidade ao cálculo de uma regressão linear é a aplicação de um teste não - paramétrico de tendência; pois, isto previne a suposição sobre a gaussianidade dos dados, mesmo assim, ainda há necessidade de suposições de observações independentes.

As vazões médias anuais raramente têm distribuição gaussiana, mostrando assimetria de distribuição, e a assimetria é mais marcada quando as vazões médias são pequenas: por exemplo, nos meses da estação seca de uma região. Nos meses do período seco, a assimetria é mais marcada do que no período úmido, mas ainda existe, e em tais condições é frequentemente mais razoável supor estacionariedade do coeficiente de variação CV% (= desvio padrão dividido pela média do período) do que estacionariedade na dispersão (= variância), sendo essa suposição necessária para a validade da técnica de regressão múltipla. (CLARKE, 2004, p.247).

Clarke (2004), em outro enfoque de análise, ainda afirma que quando há uma correlação espacial entre sequências de dados, não se pode realizar testes diante dos dados analisados de cada posto de maneira independente para afirmação da existência de tendências temporais, pois detectar-se-á mais tendências relevantes, ainda que nenhuma exista. É preciso utilizar-se de testes multivariados que levem em conta a existência da correlação espacial. É necessário aplicar métodos de regressão multivariada (e talvez, múltipla e multivariada) para testar a veracidade de correlações neste enfoque.

Existem diferentes métodos para estimar a tendência diante de uma série temporal, dentre tais, os mais recorrentes referem-se a realização do ajuste de uma função do tempo, como polinômio, uma exponencial ou outra função suave temporal; a suavização ou filtragem dos valores da série ao redor de um ponto, procurando estimar a tendência naquele ponto; a suavização dos valores da série através de sucessivos ajustes de retas de mínimos quadrados ponderados ("lowess"), dentre outros. (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Já em relação a identificação de períodos sazonais nas séries de tempo, Morettini e Toloi (2006) de maneira geral, explicam que este processo consiste em sinalizar fenômenos que

ocorrem regularmente de ano para ano. Nestes casos, existem vários métodos para estimar a sazonalidade em séries históricas, sendo que os mais utilizados são: o método de regressão e o método de médias móveis. O primeiro é ideal para séries que apresentem sazonalidade determinística, ou seja, que pode ser prevista de maneira objetiva a partir de meses anteriores. Já o segundo é indicado em casos que a série temporal utilizada, no que tange ao seu componente sazonal, varie com o tempo, ou seja, para as quais a sazonalidade é avaliada como estocástica.

Em outro foco de análise, no que se refere ao processo de seleção dos dados que vão compor as séries temporais, nestes ainda, podem vir a ocorrer determinadas falhas quanto a sua extensão. Para as vazões máximas, por exemplo, Tucci (2002) estabelece algumas recomendações nesse enfoque, tais como: diante de cada ano hidrológico com período completo, é preferível selecionar a vazão máxima instantânea; em postos que não apresentem linígrafo é necessário obter a máxima vazão diária ou a maior vazão das leituras diárias; por outro lado, quando o posto tiver linígrafo, é preciso procurar obter o valor máximo; e quando vier a ocorrer a existência de um ano de dados incompletos, realizar a comparação do período de falhas com os postos vizinhos, principalmente se esta falta tiver acontecido nos meses mais secos.

Em relação a seleção e tabulação das séries de vazões mínimas, Tucci (2002) sugere que na ausência de um período de dados dentro da série, não o descarte imediatamente, antes, é preciso verificar em postos vizinhos, se o período de falha foi chuvoso. Caso isso ocorra, há possibilidade de se escolher as vazões mínimas do ano com o restante de dados da série. Ainda assim, se existirem outras falhas nos postos de estudo, pode-se também realizar o preenchimento das mesmas. Portanto, em algumas situações a vazão mínima vem a ser estimada pela soma ou proporção de demais postos com o qual o posto selecionado tenha

relativa regressão; após um período muito chuvoso pode ser que a seção altere (leito móvel) e que as vazões mínimas posteriores estimadas pela mesma curva-chave, estejam incorretas. Neste caso, é necessário constatar se não houve, realmente, formas iguais de erro que poderão maquiar os resultados gerados.

Além disso, sob o que tange a questão de falhas nas séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos, Zavattini e Boin (2013) também sugerem outras técnicas para solução desta problemática. Inicialmente, os autores recomendam a realização da homogeneização das séries temporais. Pois, quando se utiliza de séries homogêneas na realidade a intenção é buscar as causas dos fenômenos meteorológicos efêmeros ou os motivos dos eventos climáticos que apresentam uma maior frequência de ocorrência e possuem ação duradoura. Ademais das técnicas usuais de preenchimento de falhas, como o complemento destas a partir da média da própria localidade, com a média das três localidades vizinhas, ou ainda, com o dado real de uma localidade vizinha, os mesmos em sua obra recomendam que em relação a cobertura espacial da área de estudos, que se trabalhe com a série temporal mais curta e homogênea, pois neste processo será mais fácil identificar períodos de normais climatológicas que sejam mais precisas.

O tamanho das séries de vazões deve ser de pelo menos 5 anos. Existindo falhas na série é preferível não preenchê-la por regressão, porque podem ser introduzidas tendenciosidades na mesma. Caso as falhas ocorram sempre num determinado período do ano, em que existam vazões baixas, o posto não deveria ser utilizado. Da mesma forma, o posto não deve ser utilizado quando não houver períodos representativos de pelo menos 5 anos. Caso as falhas ocorram principalmente nos períodos chuvosos, com vazões mais altas, os dados podem ser utilizados, porque o intervalo de vazões altas geralmente não é utilizado associado à curva de permanência. Mesmo assim, deve-se verificar se as falhas não geram tendenciosidades no cálculo das probabilidades. (TUCCI, 2002, p.180).

3.5.2. Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP)

Na tentativa de identificação de períodos de estiagem em uma determinada área de estudo, inúmeras pesquisas baseadas na formulação de índices matemáticos, tem sido aplicadas para o reconhecimento de condições anormais de pluviosidade. Estas últimas são denominadas, muitas vezes, como anomalias climáticas. Dentre os índices de precipitação mais conhecidos e utilizados, destacam-se: o Índice de Severidade de Seca de Palmer - PDSI, (PALMER, 1965), o Índice de Anomalia de Chuva - IAC, (ROOY, 1965), o Índice de Bhalme & Mooley -IBM, (BHALME; MOOLEY,1980), o Índice de Precipitação Padronizado - SPI, (MECKEE et al., 1993), dentre outros.

Os índices de precipitação são desenvolvidos a partir da necessidade de existir uma medida normalizada que garanta a comparação de secas entre regiões com distintas características climáticas, bem como para tecer diferenciações à eventos de seca que em uma determinada área, aconteceram em momentos históricos diferentes. Os mesmos, ainda apresentam como objetivo determinar o início de uma seca e o seu término, e analisar sua evolução em relação a severidade dos eventos ocorridos. (ROSA, 2011).

Antes de se recorrer a aplicação imediata dos métodos desenvolvidos para determinação de índices de precipitação é necessário distinguir o que é um indicador de uma variável, tendo como exemplo: precipitação caudal, teor de umidade no solo, estado de vegetação, etc; de um índice que resulta da compilação de dados de uma ou mais variáveis, sendo estes, o Índice de Palmer, o SPI, a Percentagem da Precipitação Normal, e demais. (VIVAS; MAIA, 2007).

Segundo Paulo (2004) o PDSI é baseado basicamente no balanço hídrico do solo e no cálculo dos desvios entre a precipitação instantânea atual e a estimativa de tal, demarcada como ajustada às condições climáticas locais. Posteriormente, estes desvios são transformados em

índices de anomalia de umidade, tendo como sequência uma nova conversão para o Índice de Palmer, por meio de um algoritmo mais ou menos complexo.

Já, para Chaves (2011) o PDSI é definido como um indicador de seca meteorológica. O mesmo se baseia na equação do balanço hídrico, utilizando como elementos para realização dos cálculos a evapotranspiração, o escoamento e as condições de água no solo. Este índice varia de -4 a +4, a partir deste parâmetro são determinadas diversas classes conforme a intensidade do PDSI. Todavia, a utilização deste índice para monitorar eventos de seca apresenta limitações, como por exemplo, a estimativa da evapotranspiração potencial utilizando o método de Thornthwaite (que é uma aproximação), bem como a sensibilidade de água no solo (que necessita de conhecimentos prévios a cerca das propriedades dos mesmos).

A caracterização de secas com base no balanço hídrico toma como principais variáveis de estudo a precipitação e a evapotranspiração. Neste tipo de análise inclui-se o método de Palmer, que tem como objetivo comparar a quantidade de água no solo numa região, em determinando período de tempo, com aquele que ocorreria em condições meteorológicas normais, definidas a partir de valores médios. É utilizado um balanço hídrico mensal sequencial e calculado um índice de seca, a partir do qual é classificada a importância da seca. (SANTOS, 1998, p.11).

Um das críticas realizadas sob a aplicação de PDSI está relacionada a ausência de uma definição de escala temporal para os dados utilizados. Nesse sentido, Blain e Brunini (2007) desenvolveram o PDSI adaptado, o qual apresenta a escala de tempo de análise (mensal) já definida, também não possui memória de dados exagerada do PDSI original e contém distribuições do início ou do fim de uma seca relacionadas a razão entre a evapotranspiração real (ETR), calculada a partir do método de Thornthwaite e Matter (1965) e a evapotranspiração potencial (ETP). Todavia, do mesmo modo como o PDSI, o PDSI adaptado utiliza somente um único valor de índice, tendo como determinante apenas as influências de um tipo de seca (a meteorológica); a qual se inicia quando o PDSI adaptado "cai abaixo" de -1 e seu fim é estabelecido a medida que a magnitude de - 0,5 é atingida.

Um outro índice adaptado das orientações de Palmer (1965), também muito utilizado em inúmeros trabalhos, é o Índice de Anomalia de Chuva - Rainfall Anomaly Index - (IAC) proposto por Roy (1965): "O IAC tem como principal característica, o fato de apenas necessitar de dados de precipitação para ser gerado, e visa tornar o desvio de precipitação, em relação a condição normal de diversas regiões, passíveis de comparação." (GROSS; CASSOL, 2015, p. 531).

O índice de precipitação conhecido como Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP), também segue os mesmos princípios, e por vezes é denominado, como: Índice Padronizado de Precipitação (IPP), e ou Índice de Precipitação Padronizado - Standardized Precipitation Index - (SPI), este último foi elaborado por Meckee et al. (1993). Neste, é possível encontrar e analisar os períodos secos e úmidos pertinentes as séries históricas abordadas. Diversos autores em suas pesquisas, diante da fácil compreensão da variabilidade pluviométrica por meio deste método, tem recorrido a tal, como verificado nos trabalhos produzidos por Blain e Brunini (2007), Guedes, Macedo e Sousa (2012), Macedo et al., (2010), Uliana et al., (2015), Farias, Souza e Sousa (2014), Chaves (2011), dentre outros.

Paulo (2004) determina que o objetivo da utilização de SPI está em determinar os períodos de seca e avaliar a severidade dos mesmos, em diferentes escalas temporais. Nesse aspecto, as escalas mais utilizadas são a mensal e a sazonal, a qual variam de 2 a 48 meses. Tal índice, é elaborado a partir da distribuição de probabilidades de precipitação e revela o desvio das condições ditas "normais". Todavia, mesmo que este tenha sido gerado para identificação de períodos secos, ainda podem ser utilizados na determinação de períodos anormalmente úmidos diante das séries históricas propostas.

De acordo com Guedes, Macedo e Sousa (2012) o SPI ou IESP é mais proveitoso em relação às demais metodologias, pois utiliza apenas dados mensais de precipitação, variável esta, de

monitoramento em todas as estações meteorológicas. Este índice também por ter a capacidade de quantificar o déficit ou excedente de precipitação em diferentes escalas temporais, permite a realização de comparações entre regiões com diversas características climáticas, mas principalmente, quanto ao monitoramento das secas, no que tange a sua intensidade e espacialização.

O IESP é calculado pelo ajuste de uma função de densidade de probabilidade à distribuição de frequência de precipitação na escala temporal aderida. Esta parte do desenvolvimento do método é realizada de maneira separada para cada mês (seja qual for a base temporal de análise da precipitação) e para cada local. Os valores das probabilidades acumuladas são sintetizados pelo uso de uma distribuição normal padronizada. Por fim, a distribuição gama é elaborada pela sua frequência ou função densidade de probabilidade. (GUEDES et al., 2015).

O cálculo do índice inicia-se com a determinação da probabilidade de distribuição de frequência de precipitação, a qual é calculada por meio da distribuição de gama incompleta. A função normal inversa (Gaussiana) é aplicada a esta probabilidade. O resultado é o SPI. O evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando volta a apresentar valores positivos. (BLAIN; BRUNINI, 2005, p.697).

Em síntese os valores positivos de SPI e ou IESP caracterizam a precipitação maior que a mediana ou média, já os valores negativos sinalizam precipitações menores que estes últimos referidos. Uma vez que o SPI é normalizado, climas mais secos ou úmidos podem ser expressos da mesma maneira. O que reafirma, novamente, que períodos úmidos também podem ser monitorados pelo SPI. (FERNANDES et al., 2009).

Assim como o Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) foi relevante para o desenvolvimento desta pesquisa, outros estudos, também propõem a associação deste a dinâmica de vazões de rios. Por exemplo, Teresa e Lajinha (2006) em seu trabalho tiveram como objetivo avaliar em que medida o SPI se adéqua a avaliação do déficit hídrico nas linhas

de água, uma vez que o escoamento é a resposta hidrológica à precipitação. Santos e Portela (2010) em seu estudo apresentaram como foco de análise evidenciar a existência de uma boa correlação entre os valores de SPI aplicados a amostra de precipitação e de escoamento, sendo que a correlação foi tanto melhor, quanto maior a escala temporal a que se refere o índice.

4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA

4.1 Construção do Referencial Teórico - Conceitual Básico

Inicialmente, para o desenvolvimento desta pesquisa foi construído uma Referencial Teórico - Conceitual Básico a fim de se obter os principais conceitos, abordagens e aparatos metodológicos sobre a temática trabalhada. Além do levantamento de outras publicações com o mesmo enfoque de análise e trabalhos já publicados na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

O referencial foi baseado em livros, periódicos, teses e dissertações, e artigos mais recentes que abordassem temas focados, essencialmente, nas definições de precipitação pluviométrica e vazão, na dinâmica da relação chuva-vazão, nos princípios da modelagem matemática aplicada aos recursos hídricos e em alguns métodos estatísticos associados ao uso de dados pluviométricos e fluviométricos.

4.2 Fonte e seleção de dados pluviométricos e fluviométricos

No tratamento inicial dos dados foi realizada a tabulação de dados pluviométricos e fluviométricos diários, relacionados a postos situados ao longo da área de estudo, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), em sítio eletrônico no portal Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb).

Foram selecionados 52 postos (26 pluviométricos e 26 fluviométricos) que se encontram listados nos quadros 3 e 4. Estes postos foram selecionados levando-se em consideração a consistência dos dados disponíveis, principalmente, aqueles que apresentaram uma menor

quantidade de falhas e série histórica mais longa, visando assim, uma maior representatividade e veracidade dos resultados.

Quadro 3 - Relação e localização dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa

Postos Pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba						
Nº	Código do Posto	Nome do Posto	Município de Instalação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
1	1847003	Abadia dos Dourados	Abadia dos Dourados	18°29'28"	47°24'23"	784
2	1750003	Ponte Rio Verdão	Acreúna	17°32'29"	50°33'22"	500
3	1647002	Cristalina	Cristalina	16°00'25"	47°36'20"	1.173
4	1750000	Barra do Manjolo	Edéia	17°43'56"	50°10'51"	586
5	1847001	Estrela do Sul	Estrela do Sul	18°44'17"	47°41'24"	461
6	1649013	Goiânia	Goiânia	16°40'25"	49°15'50"	741
7	1850001	Fazenda Aliança	Goiatuba	18°06'17"	50°01'53"	447
8	1946004	Ibiá	Ibiá	19°28'30"	46°32'31"	855
9	1951001	Itajá	Itajá	19°08'11"	51°32'04"	436
10	1949006	Ponte do Prata	Ituiutaba	19°02'07"	49°41'48"	450
11	1849016	Ponte Meia Ponte	Itumbiara	18°20'22"	49°36'41"	500
12	1751001	Ponte Rio Doce	Jataí	17°51'23"	51°23'48"	755
13	1850003	Maurilândia	Maurilândia	17°58'47"	50°20'14"	500
14	1752003	Ponte do Cedro	Mineiros	17°34'46"	52°36'05"	690
15	1847000	Monte Carmelo	Monte Carmelo	18°43'14"	47°31'28"	880
16	1751004	Montividiu	Montividiu	17°21'53"	51°04'36"	744
17	1748005	Montes Claros	Orizona	17°07'48"	48°08'03"	887
18	1750001	Fazenda Nova do Turvo	Paraúna	17°04'45"	50°17'22"	509
19	1846007	Santana de Patos	Patos de Minas	18°50'28"	46°33'03"	770
20	1946005	Salitre	Patrocínio	19°04'14"	46°47'45"	870
21	1949002	Fazenda Buriti do Prata	Prata	19°21'35"	49°10'49"	517
22	1850002	Quirinópolis	Quirinópolis	18°30'04"	50°31'19"	443
23	2047037	Desemboque	Sacramento	20°00'49"	47°01'09"	960
24	1848004	Fazenda Cachoeira	Tupaciguara	18°41'54"	48°46'55"	793
25	1948006	Fazenda Letreiro	Uberlândia	18°59'18"	48°11'25"	776
26	1749001	Fazenda Boa Vista	Varjão	17°06'20"	49°41'27"	558

Fonte: ANA (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Quadro 4 - Relação e localização de postos fluviométricos utilizados na pesquisa

Postos Fluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba								
Nº	Código do Posto	Nome do Posto	Município de Instalação	Sub-bacia	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Área de Drenagem (km²)
1	60110000	Abadia dos Dourados	Abadia dos Dourados	Rio Dourados	18°29'28"	47°24'23"	784	1.950
2	60790000	Ponte Rio Verdão	Acreúna	Rio Verdão	17°32'29"	50°33'22"	534	8.750
3	60500000	Ponte São Bartolomeu	Cristalina	Rio São Bartolomeu	16°32'15"	47°48'02"	1.160	4.130
4	60765000	Barra do Manjolo	Edéia	Rio Turvo	17°43'56"	50°10'51"	580	7.890
5	60150000	Estrela do Sul	Estrela do Sul	Rio Bagagem	18°44'17"	47°21'24"	720	868
6	60640000	Montante de Goiânia	Goiânia	Rio Meia Ponte	16°36'49"	49°16'47"	695	1.740
7	60810000	Fazenda Aliança	Goiatuba	Ribeirão Santa Bárbara	18°06'17"	50°01'53"	430	1.360
8	60250000	Fazenda São Mateus	Ibiá	Rio Quebra Anzol	19°31'03"	46°34'12"	852	1.300
9	60950000	Canastra	Itajá	Rio Corrente	19°06'01"	51°08'57"	434	6.850
10	60845000	Ituiutaba	Ituiutaba	Rio Tijucu	18°56'27"	49°26'59"	563	6.330
11	60680000	Ponte Meia Ponte	Itumbiara	Rio Meia Ponte	18°20'20"	49°36'39"	468	11.500
12	60895000	Ponte Rio Doce	Jataí	Rio Doce	17°51'39"	51°23'24"	750	1.280
13	60798000	Maurilândia	Maurilândia	Rio Verdão	17°58'04"	50°19'57"	443	12.800
14	60910000	Ponte do Cedro	Mineiros	Rio Verde	17°34'46"	52°36'05"	694	638
15	60130000	Fazenda Cachoeira	Monte Carmelo	Rio Perdizes	18°46'51"	47°24'29"	616	131
16	60774000	Montividiu	Montividiu	Rio Verdão	17°21'33"	51°04'31"	740	1.020
17	60540000	Montes Claros	Orizona	Rio Piracanjuba	17°07'47"	48°08'00"	690	3.680
18	60750000	Fazenda Nova do Turvo	Paraúna	Rio Turvo	17°04'45"	50°17'22"	500	2.640
19	60010000	Santana de Patos	Patos de Minas	Rio Paranaíba	18°50'28"	46°33'03"	851	2.730
20	60100000	Charqueada de Patrocínio	Patrocínio	Rio Dourados	18°54'04"	46°57'57"	906	78
21	60835000	Fazenda Paraíso	Prata	Rio Tijucu	19°14'13"	48°34'00"	713	1.510
22	60870000	Quirinópolis	Quirinópolis	Rio Preto	18°29'54"	50°31'43"	440	1.630
23	60220000	Desemboque	Sacramento	Rio Araguari	20°00'50"	47°01'02"	960	1.070
24	60615000	Fazenda Cachoeira	Tupaciguara	Rio Pouso Alegre	18°41'54"	48°46'50"	793	195
25	60381000	Fazenda Letreiro	Uberlândia	Rio Uberabinha	18°59'18"	48°11'25"	777	777
26	60715000	Fazenda Boa Vista	Varjão	Rio dos Bois	17°06'25"	49°41'18"	587	4.640

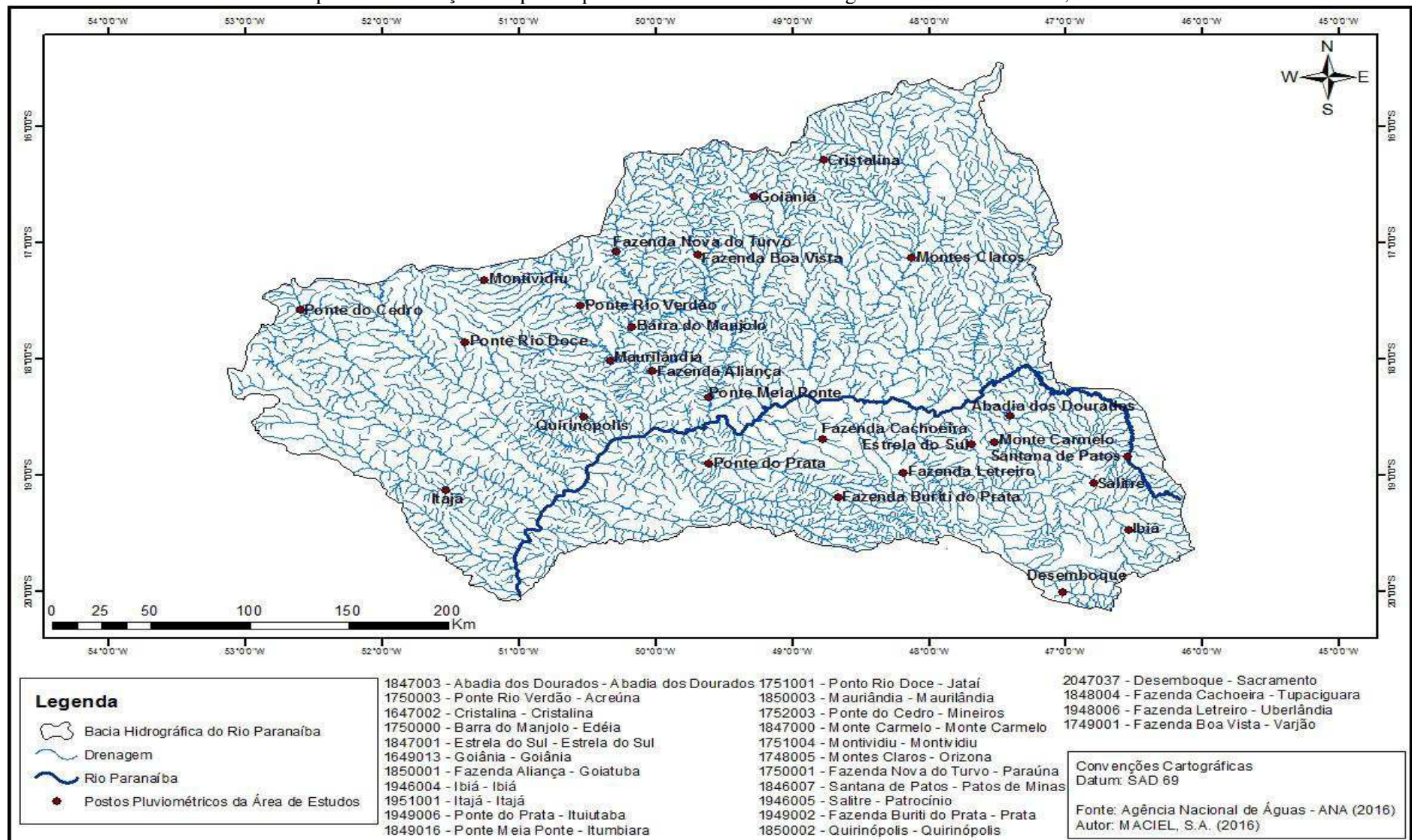
Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Os dados diários de precipitação e vazão compreenderam uma série histórica de 38 anos, situados entre o período de 01/01/1975 a 31/12/2012. Ressalta-se que a data limite encerrou-se no ano de 2012, por falta de dados mais recentes.

Parte dos postos avaliados apresentaram falhas ao longo de suas séries históricas. Por sua vez, no que se refere aos dados diários, estes não puderam ser preenchidos devido a inexistência de postos vizinhos com dados consistentes. Dessa forma, os anos que tiveram mais de 25% de falhas ao decorrer dos dias, sobretudo durante a estação chuvosa, foram excluídos, conforme pode ser observado no anexo 1.

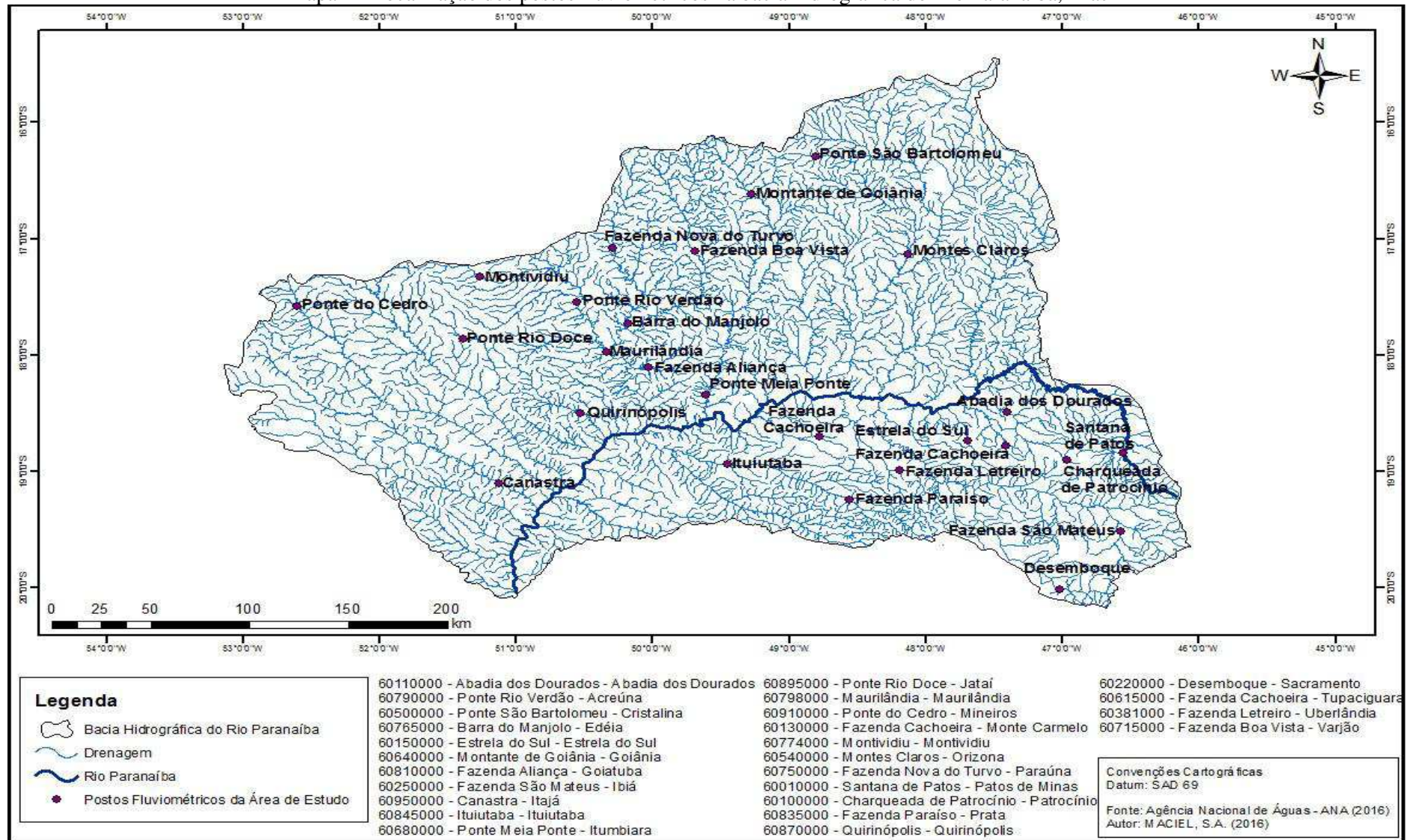
Em relação à espacialidade dos postos pluviométricos e fluviométricos, ilustrada nos mapas 3 e 4, não foi possível garantir uma distribuição espacial homogênea dos postos ao longo da bacia, devido aos vazios representados pela inexistência de postos. Neste processo, as estações de dados que estavam situadas em áreas de drenagem em afluentes de alto curso, com pequena área de contribuição, foram excluídas, como os postos dos municípios de Iraí de Minas, Inhumas, Rio Verde e Brasília.

Mapa 3 - Localização dos postos pluviométricos na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil



Fonte de dados: IBGE (2016); ANA (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Mapa 4 - Localização dos postos fluviométricos na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil



Fonte de dados: IBGE (2016); ANA (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

4.3 Análise estatística das variáveis chuva e vazão

4.3.1 Estatística prévia dos dados

A análise estatística inicial dos dados pluviométricos e fluviométricos, no que concerne principalmente ao cálculo das médias mensais de precipitação e vazão e no estabelecimento das vazões específicas foram realizadas utilizando-se os seguintes softwares computacionais: o Sistema de Informação Hidrológicas Versão 1.2 (Hidro1.2), desenvolvido pela ANA, o Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH 1.0), criado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e o SPSS Statistics 17.0 produzido pela Win Wrap Basic.

Ressalta-se que todos os gráficos, quadros e tabelas apresentados nesta pesquisa, bem como o desenvolvimento das fórmulas equacionais referentes a cada metodologia aplicada, foram elaborados em planilhas de edição do Microsoft Office Excel 2007.

Em síntese, o estudo buscou determinar as precipitações médias e as vazões médias, máximas e mínimas caracterizando-as, estabelecer as vazões específicas, normalizar os dados de pluviosidade, ilustrar a relação entre chuva e vazão por meio de gráficos temporais, aplicar a correlação linear entre as duas variáveis e estabelecer tendências para as séries históricas de vazões trabalhadas.

4.3.2 Estatística básica

A compreensão da distribuição de chuvas e vazões na bacia foi realizada em função dos valores gerados a partir dos coeficientes de variação, uma vez que, as séries de dados

utilizadas na pesquisa são assimétricas e apresentam médias distintas. Sendo assim, tais permitem a comparação dos graus de dispersão entre diferentes distribuições de frequência.

Spiegel (1993) descreve os passos para determinação do cálculo do coeficiente de variação, seguindo cada medida característica necessária a este fim. Inicialmente, o autor define o desvio padrão para um determinado conjunto de N números X_1, X_2, \dots, X_N , representando-o por s , conforme a equação 1.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\sum \frac{(X_j - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\sum \frac{x^2}{N}} = \sqrt{(X - \bar{X})^2} \quad (1)$$

Em que x representa o desvio de cada um dos números X_j em relação a média \bar{X} .

Desta forma, o desvio padrão (s) é a raiz quadrática dos desvios, em relação à média, ou ainda, pode ser denominado como o desvio da raiz média quadrática.

Com o estabelecimento do desvio padrão determina-se posteriormente o coeficiente de variação ou dispersão, que é dado por:

$$\text{Coeficiente de variação} = \frac{s}{\bar{X}} \quad (2)$$

Sendo que:

s = desvio padrão;

\bar{X} = média aritmética;

Este geralmente é expresso em termos de percentagem (%).

Ressaltasse que as análises feitas com base no coeficiente de variação estiveram de acordo com as médias mensais de chuva e vazão para toda a série histórica (1975-2012), bem como para todos os postos estudados.

4.4 Determinação de vazões específicas médias, máximas e mínimas

A determinação de vazões específicas é de suma importância na compreensão do comportamento hidrológico de uma bacia. Segundo Tucci (2002) a vazão específica é definida como a vazão da bacia dividida pela sua área, conforme verificado na equação 3. Seu resultado é dado em $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

$$Q_{\text{esp}} = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Onde:

Q_{esp} = Vazão específica em $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Q = Vazão média ou mínima em m^3/s .

A = Área da bacia em km^2 .

Em síntese, os valores de vazões específicas são resultados da relação entre vazões médias, máximas ou mínimas das séries históricas pela área de contribuição de cada posto. Nesta pesquisa, estes visam elucidar a distribuição hídrica da bacia.

4.5 Identificação de períodos úmidos e secos: Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP)

Para caracterização do regime pluviométrico e o estabelecimento da normal climatológica, dos períodos secos e úmidos na bacia hidrográfica, recorreu-se a metodologia do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP). Este por sua vez, pode ser entendido como uma função dos valores de precipitação, que ao ser padronizada, pode ser ajustada a uma distribuição normal, e, assim analisar os desvios padrões recorrentes em relação à mesma.

Os procedimentos metodológicos concernentes ao IESP tiveram como base a proposta desenvolvida por Pita López (2000 e 2001). Para a autora, os objetivos do índice compreendem, principalmente, a facilidade da determinação dos resultados por utilizar-se apenas de dados de precipitação e por apoiar-se no acúmulo de anomalias sucessivas, na tentativa de identificar os diferentes períodos de seca e especificar a sua duração e intensidade acumulada.

Os processos de normalização das anomalias de precipitação pluviométrica são fáceis, porque eles se encaixam a uma curva normal e, uma vez feita, eles tem duas vantagens: por um lado, a obtenção de valores universalmente válidos e comparáveis para vários observatórios e, por outro lado, a expressão de tais valores em termos de probabilidade de ocorrência de anomalias, uma vez que tenha se tornado bem conhecido na curva normal, cada valor poderá ser expresso a um certo valor de probabilidade. (PITA LÓPEZ, 2001, p.308).

Ainda, segundo Pita López (2000 e 2001) a identificação dos diferentes períodos de seca nas séries históricas de acumulação e a subsequente normalização das anomalias de precipitação média mensal, devem ser realizadas em três etapas.

Na primeira etapa foi feito o cálculo da anomalia pluviométrica de cada um dos meses das séries de dados, a partir da equação:

$$AP_i = P_i - P_{med} \quad (4)$$

Onde:

AP_i = Anomalia pluviométrica mensal.

P_i = Precipitação mensal.

P_{med} = Precipitação mediana do mês.

Já na segunda etapa, as anomalias pluviométricas acumuladas são calculadas a partir do primeiro mês da série histórica. A referência de cálculo nesta etapa refere-se à variação da sequência entre anomalias positivas (excedente hídrico) e negativas (estiagem ou seca).

Como sintetizado no parágrafo acima, os resultados de valores de desvios de anomalias positivas ou negativas são acumulados e somente se interrompe a acumulação de um certo tipo de anomalia com o aparecimento de outro tipo. Assim, enquanto ocorrerem valores de desvios de anomalias positivas estes são acumulados e, com a ocorrência de um valor de desvio de anomalia negativa, indicativo de estiagem, a acumulação citada acima é zerada e, a partir de então, inicia-se a acumulação dos valores de desvios de anomalias negativas, a qual termina com o aparecimento de um novo valor de desvio de anomalia positiva.

A sequência pode ser obtida aplicando-se a equação 5:

$$APAi = \sum APi \quad (5)$$

Sendo que:

$i = 1$, desde que $APi < 0$ e $APAi - 1 = 0$.

Onde:

$APAi$ = Anomalia pluviométrica acumulada do mês.

Na última etapa, foi feita a padronização destas anomalias acumuladas por meio da sua conversão em ponderações:

$$ZAPAi = (APAi - APA) / \sigma_{APA} \quad (6)$$

Onde:

$ZAPAi$ = Anomalia pluviométrica padronizada (standardizada) acumulada do mês.

APA = Valor médio das anomalias de precipitação acumulada para todos os meses da série.

σ_{APA} = Desvio padrão das anomalias de precipitação acumulada para todos os meses da série.

Em sequência, foram estabelecidas classes para análise das respostas geradas pelo IESP, dispostas na tabela 1. Nesse processo, recorreu-se a adaptação da classificação de classes de seca elaborada para o Índice de Precipitação Padronizado - Standardized Precipitation Index - (SPI), desenvolvido por McKee; Doesken e Kleist (1993 e 1995), que segue os mesmos princípios do índice escolhido para este estudo.

Tabela 1 - Classificação das classes de seca de acordo com o SPI adaptado.

INTERVALO SPI	CATEGORIA
> 2,00	Umidade Extrema (UE) - (2 a 3 vezes a cada 100 anos)
1,5 a 1,99	Umidade Alta (UA)
1,00 a 1,49	Umidade Moderada (UM)
0,00 a 0,99	Normal Climatológica (NC) - (7 vezes a cada 10 anos)
0,00 a -0,99	Normal Climatológica (NC) - (7 vezes a cada 10 anos)
- 1,0 a - 1,49	Déficit Moderado de Chuva (DMC)
- 1,5 a - 1,99	Déficit Alto de Chuva (DAC)
< = a -2,00	Déficit Extremo de Chuva (DEC) - (2 a 3 vezes a cada 100 anos)

Fonte: McKee; Doesken e Kleist (1993 e 1995). Org. Maciel, S. A. (2016).

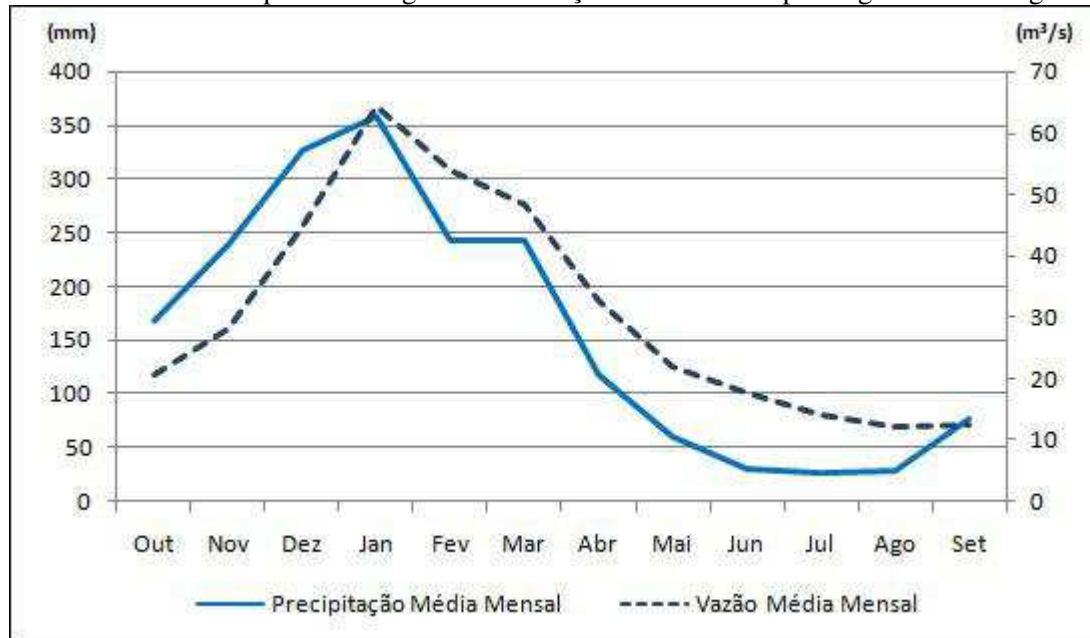
Diante destas classes, as categorias NC que representam pequenos desvios em relação à mediana, podem ser definidos como normais climatológicas, cuja ocorrência é de aproximadamente sete vezes a cada dez anos. De outra maneira, condições extremas (UE ou DEC), com desvios significativos em relação à mediana, ocorrem em intervalos de 2 a 3 vezes a cada 100 anos.

4.6 Relação chuva-vazão

4.6.1 Pluviogramas e fluviogramas

Os resultados da análise da relação chuva-vazão foram tratados também, na forma de gráficos, permitindo assim, a visualização conjunta das duas variáveis. O modelo hipotético dessa análise é exibido no gráfico 2.

Gráfico 2 - Modelo hipotético do gráfico da relação chuva-vazão: pluviograma e fluviograma



Fonte: MACIEL, S. A. (2016).

Sendo assim, a representação gráfica dos pluviogramas permite a visualização das alturas pluviométricas ocorridas ao longo do tempo e os fluviogramas possibilitam o reconhecimento da variação da vazão ao decorrer das séries temporais, estabelecendo as comparações entre as linhas representativas dos dados ilustrados.

Os gráficos gerados foram construídos considerando-se as médias mensais da série histórica total (1975-2012) de cada posto pluviométrico e fluviométrico comparados, tendo como ponto inicial o começo da estação chuvosa na bacia.

Em suma, a partir destes gráficos pode-se desenvolver algumas considerações acerca do fenômeno estudado, bem como, a relação do regime de chuvas com o início do processo de escoamento das águas, o período de ascensão e recessão das vazões, os maiores e os menores picos fluviométricos, escoamento superficial e fluxo de base.

4.6.2 Correlação linear

Para analisar a correlação entre as variáveis chuva-vazão foram utilizados dados pluviométricos e fluviométricos médios mensais ao decorrer de toda a série histórica (1975-2012). Neste processo, analisou-se todos os postos visando compreender a dinâmica existente entre estas variáveis, seguindo a equivalência entre os meses durante o ano. Ressalta-se que foi observada a homogeneização entre as séries para garantir a veracidade das correlações lineares realizadas.

Desta forma, foram construídos gráficos de dispersão para avaliação da correlação entre chuva-vazão de cada posto, podendo ser extraída a equação de regressão (equação da reta) e o coeficiente de correlação linear de Pearson (r).

Os gráficos de dispersão apresentam na sua configuração dois eixos, sendo o primeiro da variável dependente (Y), posicionado no eixo vertical e o outro eixo, o das abscissas na horizontal, representando a variável independente (X). Ainda, são formados pares ordenados distribuídos ao longo de uma região do espaço associados a uma curva de tendência.

(TIBONI, 2010). Nesta pesquisa, a variável X (independente) expressa-se nas médias de precipitação, enquanto que a variável Y (dependente) é demonstrada pelas médias de vazão.

A linha de tendência presente no diagrama de dispersão, é denominada como reta de regressão. Esta, apresenta uma equação matemática que relaciona os pontos envolvidos a ela, que recebe o nome de Equação de Regressão Linear Simples.

Neste caso, o ajuste da reta de regressão relaciona a variável independente x e a variável dependente y'' (TIBONI, 2010), por meio da equação de uma reta do tipo:

$$y'' = ax + b \quad (7)$$

Sendo que:

y'' = Variável dependente.

x = Variável independente.

a (valor constante) = Coeficiente angular da reta de regressão (ou inclinação da reta).

b (valor constante) = Ponto de interseção entre a reta e o eixo vertical y (é o valor de y quando x é igual a zero).

A correlação linear entre duas variáveis pode ser expressa de maneira positiva, ilustrada em uma reta ascendente, ou ainda, de forma negativa, caracterizada em uma reta descendente.

Correlação positiva: as duas variáveis caminha no mesmo sentido, ou seja, o aumento dos valores da variável independente X implica no aumento dos valores da variável dependente Y (variáveis diretamente proporcionais). Nesse caso, o coeficiente angular da reta é positivo (reta ascendente).

Correlação negativa: as duas variáveis caminha em sentidos opostos, ou seja, o aumento dos valores da variável independente X implica na redução dos valores da variável dependente Y (variáveis inversamente proporcionais). Nesse caso, o coeficiente angular da reta é negativo (reta descendente). (TIBONI, 2010, p.306).

Ainda segundo Tiboni (2010) o coeficiente de correlação linear pode ser analisado como uma medida de correlação, uma vez que, mede o quanto a distribuição de pontos no diagrama de dispersão aproxima-se de uma reta, evidenciando o nível de intensidade, e ou força, que ocorre na correlação que se busca relacionar.

A equação que permitiu calcular o grau de correlação entre as variáveis, foi desenvolvida por Karl Pearson, o que deu origem a denominação: Coeficiente de Correlação Linear ou Coeficiente de Correlação de Pearson (r), conforme se segue na equação 8.

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i) \cdot (\sum y_i)}{\sqrt{[n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (8)$$

Onde:

r = Coeficiente de correlação de Pearson.

n = Número de observações das variáveis.

x_i = Variável independente.

y_i = Variável dependente.

Uma vez que, a intensidade da correlação de Pearson faz referência aos valores numéricos de (r), não havendo relação linear alguma entre x e y, r será igual a 0. Quando houver relação entre as variáveis e o valor de r for mais próximo a -1, a correlação é perfeita e negativa, de outro modo, a medida que o valor de r for mais próximo a +1, a correlação é perfeita e positiva.

Para este estudo, os valores de referência, quadro 5, para determinação do comportamento da intensidade de correlação foram adaptados a partir da proposta estabelecida por Tiboni (2010) em sua obra.

Quadro 5 - Valores para análise do comportamento da relação entre chuva-vazão

$0 < r < 0,3$	A correlação é inexistente a muito fraca (fraca) entre as variáveis e nada podemos concluir, pois torna-se difícil estabelecer algum tipo de dependência entre as variáveis.
$0,3 \leq r < 0,6$	A correlação é de muito fraca a média (moderada), porém, podemos considerar o valor de r nesse intervalo como indício de uma associação entre as variáveis sem muito significado.
$0,6 \leq r \leq 1$	A correlação é média para forte (forte), ou seja, as variáveis mantêm dependência significativa.

Fonte: Adaptado de Tiboni (2010). Org. Maciel, S. A. (2016).

4.6.3 Análise de tendência para séries temporais de vazão

4.6.3.1 Validação e calibração de dados para construção da linha de tendência

Antes da realização das etapas necessárias para a Decomposição das Séries visando a determinação de tendências, primeiramente foi realizada a calibração dos dados para determinar qual modelo de regressão à ser utilizado no ajustamento da tendência de cada posto fluviométrico, diante de toda a série histórica de 1975 a 2012.

Esta etapa consistiu em obter uma função matemática que reproduziu o comportamento mais próximo possível aos valores originais em função do tempo (t). Desta forma, os modelos testados foram: Linear, Exponencial, Potência e Polinomial de Ordem 2. O quadro 6 traz as equações referentes a cada um destes modelos de ajustamento para tendência.

Quadro 6 - Síntese de modelos utilizados para o ajustamento de tendência

Tipo de Tendência	Conceito
Linear	O ajuste é calculado por mínimos quadrados para uma linha representada pela seguinte equação: $y = mx + b$, onde m é a inclinação e b é a interseção.
Exponencial	O ajuste é calculado por mínimo quadrados através de pontos utilizando a seguinte equação: $y = ce^{bx}$, onde c e b são constantes, e e é a base do logaritmo natural.
Potência	O ajuste é calculado por mínimos quadrados através de pontos usando a seguinte equação: $y = cx^b$, onde c e b são constantes.
Polimomial	O ajuste é calculado por mínimos quadrados através de pontos usando a seguinte equação: $y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots + c_6x^6$, onde b e $c_1 \dots c_6$ são constantes.

Org. Maciel, S. A. (2016).

A confiabilidade entre os modelos testados foi determinada pelo valor de R^2 , que é uma medida entre 0 e 1, onde valores próximos a 1 indicam a reprodução mais adequada a tendência.

Desta forma, o quadro 7, apresenta uma síntese com valores de R^2 de acordo com cada modelo: Linear, Exponencial, Potência e Polimomial de Ordem 2, entre a série histórica de 1975 a 2012 de cada posto fluviométrico utilizado na pesquisa. Sendo que o valor do modelo que mais se ajustou, se encontra grifado (azul), seguido de sua respectiva equação que é utilizada para calcular a tendência ajustada e a previsão das séries temporais.

Quadro 7 - Síntese dos valores de R² para cada modelo selecionado

Nº	Código do Posto	Municípios	Tipo de linha de tendência e respectivo R ²				Equação da linha de tendência
			Linear	Exponencial	Potência	Polimomial(2)	
1	60110000	Abadia dos Dourados	0,0183	0.0192	0,0113	0.0191	$y = 25.411e^{-8E-04x}$
2	60790000	Acreúna	0.0009	0.001	0.0011	0.0026	$y = -0.0003x^2 + 0.0953x + 151.05$
3	60500000	Cristalina	0.0126	0.0158	0.0134	0.006	$y = 59.377e^{-6E-04x}$
4	60765000	Edéia	0,0000003	0,00004	0.0087	-0.0077	$y = 45.248x0.0747$
5	60150000	Estrela do Sul	0.0056	0.016	0.0028	0.0073	$y = -2E-05x^2 + 0.0056x + 14.861$
6	60640000	Goiânia	0.0155	0.0358	0.0156	0.0137	$y = 23.584e^{-1E-03x}$
7	60810000	Goiatuba	0.0008	0.000005	0.0018	0.0010	$y = 16.013x^{0.0254}$
8	60250000	Ibiá	-0.0037	0.0044	0.0006	0.0041	$y = 28.095e^{-3E-04x}$
9	60950000	Itajá	0.0291	0.0314	0.0415	0.0377	$y = 81.58x^{0.0604}$
10	60845000	Ituiutaba	0.0108	0.0229	0.0128	0.0119	$y = 102.31e^{-7E-04x}$
11	60680000	Itumbiara	0.0006	0.0017	0.0005	0.0037	$y = 0.0004x^2 - 0.1975x + 176.91$
12	60895000	Jataí	0.0009	0.002	0.000	0.0013	$y = 25.721e^{-2E-0x}$
13	60798000	Maurilândia	2E-07	0.0001	0.0057	0.0004	$y = 154.93x^{0.0389}$
14	60910000	Mineiros	0.0062	0.0047	0.0007	0.0069	$y = 1E-05x^2 - 0.0102x + 15.05$
15	60130000	Monte Carmelo	0.0002	0.0007	0.0001	0.0002	$y = 1.691e^{-2E-04x}$
16	60774000	Montividiu	0.0109	0.0104	0.0011	0.0153	$y = -5E-05x^2 + 0.0144x + 22.191$
17	60540000	Orizona	0.0009	0.0005	0.0009	0.011	$y = -4E-05x^2 + 0.0057x + 55.098$
18	60750000	Paraúna	0.0044	0.0012	0.0135	0.0046	$y = 13.733x0.0962$
19	60010000	Patos de Minas	0.000004	0.00002	0.0007	0.0013	$y = 1E-04x^2 - 0.0449x + 52.3992$
20	60100000	Patrocínio	0.0491	0.0845	0.0277	0.0557	$y = 2.4782e^{-0.002x}$
21	60835000	Prata	0.000008	0.0003	0.0002	0.0007	$y = 5E-05x^2 - 0.0184x + 28.332$
22	60870000	Quirinópolis	0.0131	0.028	0.0385	0.015	$y = 13.965x0.1002$
23	60220000	Sacramento	0.0016	0.0003	0.0002	0.0028	$y = 5E-05x^2 - 0.015x + 28.469$
24	60615000	Tupaciguara	0.0002	0.0077	0.0376	0.0074	$y = 1.9069x0.0888$
25	60381000	Uberlândia	0.0021	0.0041	0.0036	-0.0018	$y = 11.148e^{0.0003x}$
26	60715000	Varjão	0.0069	0.0074	0.0003	0.0107	$y = -0.0002x^2 + 0.0459x + 54.246$

Org. Maciel, S. A. (2016).

4.6.3.2 Decomposição das Séries de vazão para determinação da tendência

Após a validação e calibração dos dados fluviométricos para determinação da linha de tendência, seguiram-se as etapas necessárias da Decomposição das Séries, com vistas a

elaboração de gráficos que puderam identificar movimentos ou variações características mensuradas e observadas de maneira isolada, tanto para predizer o comportamento passado, quanto na tentativa de compreender as possibilidades de respostas para atuação futura destas variáveis.

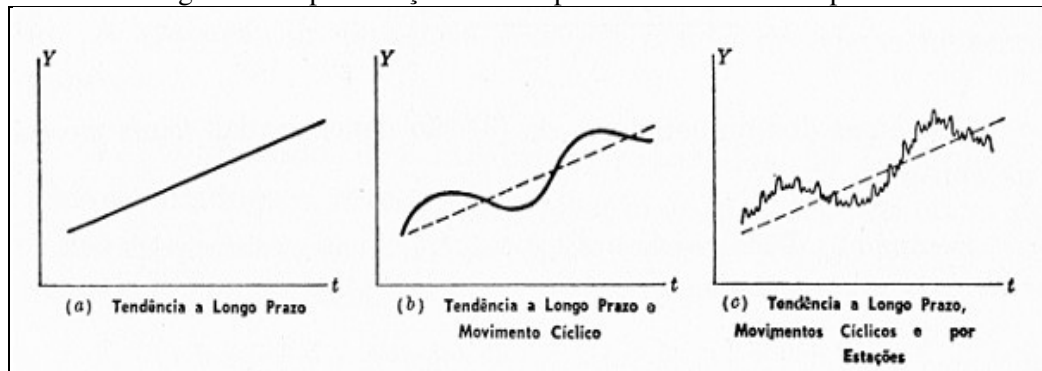
As séries temporais foram avaliadas com base nos seus quatro componentes de classificação, conforme esboçado no quadro 8 e na figura 3. Todavia, ressaltasse que a maioria das séries apresentadas foram analisadas por várias e diferentes associações, destas mesmas variações descritas.

Quadro 8 - Componentes de classificação das séries temporais

Componentes	Sistemáticas (movimentos regulares)
Tendência secular (T)	A componente "tendência" pode ser encarada como parte da série de temporal que acusa um movimento regular, através de um período muito longo de tempo. A tendência é identificada por um movimento persistente em alguma direção. Na maioria dos casos, pode ser possível descrever tais variações por meio do ajuste de uma reta ou outra função matemática.
Variações sazonais ou estacionais (S)	A componente "sazonal" é evidenciada quando os dados são registrados semanalmente, quinzenalmente, mensalmente, bimestralmente etc.; em geral quando o intervalo de tempo for inferior a um ano.
Variações cíclicas (C)	A componente "cíclica" pode ser entendida como a parte da série temporal que apresenta um movimento em torno da tendência ao longo do tempo. Pode ser identificada quando o intervalo entre observações for maior ou igual a um ano.
Componentes	Sistemáticas (movimentos irregulares, díspares)
Variações aleatórias ou irregulares (I)	A componente "aleatória" refere-se a perturbações ocasionadas por guerras, inundações, geadas, greves, ou outros fatores que não se repetem regularmente.

Fonte: Adaptado de Fonseca, Martins e Toledo (1938). Org. Maciel, S. A. (2016).

Figura 3 - Representação dos componentes das séries temporais



Fonte: SPIEGEL (1993, p.427). Org. Maciel, S. A. (2016).

O procedimento para descrever as séries de tempo de vazões médias em razão da Decomposição das Séries, de acordo com os quatro movimentos característicos foi compreendido pelas seguintes etapas: desestacionalização das séries de tempo, elaboração da linha de tendência e identificação da variação cíclica em torno da linha de tendência.

Partindo da tendência ajustada, determinou-se qual modelo clássico que mais adequou-se a eliminação da tendência, sendo o ideal, o multiplicativo, no qual o produto das componentes resultará na variável da série.

Esse processo permitiu ser obtida uma nova série de dados isenta dos efeitos de tendência já determinados, a qual se identificou como série sem tendência ou desestacionalizada. Neste caso, a operação utilizada foi:

$$D = \frac{Y}{T} \quad (9)$$

Onde:

D = Desestacionalização da série de tempo.

Y = Valores dos dados brutos de vazão média mensal.

T = Série de tendência ajustada.

Com os dados já desestacionalizados, determinou-se o Índice Estacional (IE), que é resultado do seguinte cálculo:

$$IE = \frac{D}{MMC} * 100 \quad (10)$$

Onde:

IE = Índice Estacional.

D = Desestacionalização da série de tempo.

MMC = Média Móvel Centrada do período de 12 meses.

Ainda é necessário normalizar o IE calculado, para podermos expressar o comportamento estacional ao longo da série de dados. Passando a ser denominado Índice Estacional Ajustado IE_A :

$$IE_A = \frac{IE_M}{IE_T} * 1200 \quad (11)$$

Onde:

IE_A = Índice Estacional Ajustado.

IE_M = Índice Estacional Médio Mensal.

IE_T = Total dos Índices Estacionais Médios Mensais.

Na última etapa além do ajuste da série estacionalizada, também é possível determinar o comportamento futuro destes valores encontrados. Nesta pesquisa, optou-se por realizar a previsão para os posteriores 10 anos, culminando com uma nova série histórica até 2022.

A partir das componentes de tendência, ou seja, dos valores gerados pela reta de tendência ajustada e da estacionalidade ajustada dos dados, pode-se estabelecer os valores futuros da série sobre uma nova sequência temporal, seguindo a equação 12:

$$Y_t^{\text{pred}} = T_t * \text{IEST}_t / 100 \quad (12)$$

Onde:

Y_t^{pred} = Comportamento Estacional de vazões futuras.

T_t = Componente de Tendência ajustada.

IEST_t = Componente de Estacionalidade.

Enfim, a análise completa da série de tempo, orientada neste estudo, teve como objetivo principal explicar as tendências seculares, as variações cíclicas e as variações estacionais, para o entendimento da relação entre chuva-vazão. Todavia, para as respostas além deste propósito, entendeu-se como resultado para tais, a definição concernente as variações irregulares.

Na prática verifica-se que os movimentos irregulares tendem a ser de pequena amplitude e que eles, frequentemente, tendem a seguir o padrão de uma distribuição normal, isto é, aquela na qual os pequenos desvios ocorrem com grande frequência e os grandes com frequência pequenas. (SPIEGEL, 1993, p.432).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização do regime pluviométrico

5.1.1 Análise da Precipitação

As tabelas e gráficos a seguir apresentam as médias pluviais mensais e anuais, o número de dias chuvosos e o acumulado de chuvas durante o período de estiagem e chuvoso na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. Estas, subsidiam a análise do regime pluviométrico da área de estudos, quanto a sua variabilidade temporal e espacial.

Na tabela 2, estão sumariados os valores totais das médias pluviométricas mensais e anuais de cada posto pluviométrico selecionado na pesquisa, entre a série histórica de 1975 a 2012. Verificou-se que a precipitação média da bacia hidrográfica é de 1.468,4 mm anuais, sendo que a estação chuvosa - outubro a março - concentra a maior parte da pluviosidade anual, com 85,2% das chuvas ou 1.251,2 mm, enquanto que o período de estiagem - abril a setembro - representa 14,8% das chuvas anuais ou 217,2 mm.

Os municípios de Sacramento - (MG), Goiânia - (GO) e Jataí - (GO), localizados nas porções sudeste, norte e noroeste da bacia, apresentam os maiores valores anuais de precipitação, sendo 1.675,2 mm, 1.633,0 mm e 1.563,6 mm, respectivamente. Já, Tupaciguara - (MG), Paraúna - (GO) e Abadia dos Dourados - (MG) possuem os menores valores médios anuais de chuva, sendo 1.317,4 mm, 1.333,1 mm e 1.349,0 mm.

Tabela 2 - Médias mensais da precipitação nos postos estudados

Posto	Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1847003	Abadia dos Dourados	281,8	161,8	174,8	70,1	27,4	12,9	9,5	12,2	45,7	97,4	192,3	262,8	1.349,0
1750003	Acreúna	234,9	196,7	204,4	88,2	36,7	16,0	5,5	13,0	47,9	105,0	179,9	273,0	1.401,2
1647002	Cristalina	251,8	205,2	222,3	99,3	27,0	6,9	4,4	12,3	44,9	117,7	222,6	271,6	1.486,0
1750000	Edéia	273,4	220,7	215,1	86,4	29,6	14,7	4,8	16,5	48,9	105,0	196,1	263,9	1.475,1
1847001	Estrela do Sul	300,0	203,7	192,2	70,3	36,0	13,1	9,9	11,5	45,8	108,6	204,1	288,3	1.483,4
1649013	Goiânia	261,8	226,7	248,0	126,0	33,3	11,3	5,8	13,6	57,8	155,3	218,8	274,7	1.633,0
1850001	Goiatuba	272,5	197,2	196,2	95,7	38,3	11,6	6,7	14,2	54,0	121,8	205,3	250,7	1.464,2
1946004	Ibiá	271,6	197,4	178,0	96,0	45,8	17,6	15,8	16,5	53,6	112,2	198,0	278,6	1.481,1
1951001	Itajá	302,7	192,3	203,9	84,9	51,6	22,0	14,4	16,9	65,8	126,9	158,5	247,1	1.487,0
1949006	Ituiutaba	273,5	213,8	193,3	87,9	32,7	18,4	10,3	11,4	45,9	110,9	162,5	260,9	1.421,6
1849016	Itumbiara	265,7	188,3	200,7	100,8	34,4	14,4	5,5	14,5	50,9	115,7	192,7	263,7	1.447,3
1751001	Jataí	245,1	209,5	233,0	106,0	48,2	16,3	8,8	25,4	67,3	117,3	221,2	265,6	1.563,6
1850003	Maurilândia	258,0	201,4	177,6	84,5	36,6	11,8	6,2	17,8	53,1	112,2	189,4	236,8	1.385,4
1752003	Mineiros	261,6	219,0	202,7	102,5	41,8	19,2	8,1	19,8	63,0	117,5	167,2	196,0	1.418,3
1847000	Monte Carmelo	302,4	198,8	173,0	69,8	36,5	14,5	10,1	11,4	48,6	122,8	205,4	281,2	1.474,6
1751004	Montividiu	248,0	203,0	219,9	108,2	33,0	14,8	7,9	17,0	50,9	117,9	193,3	245,9	1.459,7
1748005	Orizona	266,5	186,0	207,0	80,0	20,5	7,3	5,8	10,8	44,0	118,5	214,7	299,9	1.461,1
1750001	Paraúna	241,1	193,3	193,6	89,2	26,6	12,8	4,2	9,5	44,5	119,6	180,5	218,1	1.333,1
1846007	Patos de Minas	301,6	180,9	181,7	69,5	37,9	12,7	12,8	14,6	55,6	120,3	208,0	289,4	1.485,1
1946005	Patrocínio	290,3	189,8	189,0	77,7	39,9	14,5	14,7	17,2	70,7	114,1	210,3	277,1	1.505,2
1949002	Prata	296,5	225,8	181,9	88,8	33,9	15,7	8,9	13,9	57,6	109,1	171,9	263,6	1.467,5
1850002	Quirinópolis	281,5	186,2	190,8	88,4	40,5	19,5	7,2	14,8	62,8	122,0	229,4	290,8	1.533,9
2047037	Sacramento	327,7	211,6	212,6	107,3	50,4	20,4	16,2	18,3	67,1	138,7	207,9	296,9	1.675,2
1848004	Tupaciguara	235,8	179,0	181,3	73,8	37,1	15,9	7,0	14,6	43,5	103,9	166,4	259,1	1.317,4
1948006	Uberlândia	283,5	196,9	195,1	86,1	40,3	16,3	10,8	13,1	43,0	109,3	194,3	289,8	1.478,4
1749001	Varjão	275,1	216,6	215,5	94,2	26,1	10,2	5,1	12,6	52,7	117,3	214,7	250,0	1.490,2
Média		273,3	200,1	199,4	89,7	36,2	14,6	8,7	14,7	53,3	116,8	196,4	265,2	1.468,4
Máximo		327,7	226,7	248,0	126,0	51,6	22,0	16,2	25,4	70,7	155,3	229,4	299,9	1.675,2
Mínimo		234,9	161,8	173,0	69,5	20,5	6,9	4,2	9,5	43,0	97,4	158,5	196,0	1.317,4
Amplitude		92,8	64,8	74,9	56,4	31,1	15,1	12,1	15,9	27,7	57,9	71,0	103,9	357,9

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Analisando a variabilidade na média mensal, entre todos os municípios, os meses com maiores amplitudes nos dados são janeiro e dezembro, com 92,8 mm e 103,9 mm. Para esse período os menores valores médios de precipitação são dos municípios de Acreúna - (GO) e Mineiros - (GO), e, de modo contrário, os maiores valores médios são dos municípios de Sacramento - (MG) e Orizona - (GO). Quanto a amplitude anual, a variação é de 357,9 mm,

resultante da diferença entre a média anual dos municípios mineiros de Tupaciguara e Sacramento.

Ainda em relação a tabela 2, sobre a totalização anual de precipitação entre os municípios, foram contabilizados 14 municípios com valores acima da média geral da bacia de 1.468,4 mm, sendo eles Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Goiânia - (GO), Itajá (GO), Jataí - (GO), Quirinópolis - (GO), Varjão - (GO), Estrela do Sul - (MG), Ibiá - (MG), Monte Carmelo - (MG), Patos de Minas - (MG), Patrocínio - (MG), Sacramento - (MG) e Uberlândia - (MG).

De outra maneira, foram totalizados 12 municípios com valores abaixo da média geral anual da bacia de 1.468,4 mm, sendo eles Acreúna - (GO), Goiatuba - (GO), Itumbiara - (GO), Maurilândia - (GO), Mineiros - (GO), Montividiu - (GO), Orizona - (GO), Paraúna - (GO), Abadia dos Dourados - (MG), Ituiutaba - (MG), Prata - (MG) e Tupaciguara - (MG).

Os postos pluviométricos que apresentaram as médias maiores foram Goiânia - (GO) e Sacramento - (MG) com valores de 1.633,0 mm e 1.675,2 mm, respectivamente. Por outro lado, as estações pluviométricas com as menores médias foram Tupaciguara - (MG) e Paraúna - (GO), com valores de 1.317,4 mm e 1.333,1 mm.

Analisando a espacialização da variabilidade anual das chuvas, verificou-se uma certa irregularidade na distribuição e nos totais. Sob a ótica desta irregularidade, percebe-se o comportamento dos municípios, localizados na porção goiana, ao norte da bacia (Cristalina, Goiânia, Paraúna e Varjão) que registram precipitações médias anuais entre 1.333,0 mm a 1.633,0 mm, e ainda, aqueles situados na margem mineira, porção sul da bacia (Ituiutaba, Prata, Tupaciguara e Uberlândia) que registram precipitações médias anuais entre 1.317,4 mm a 1.490,2 mm. Nos municípios localizados mais a oeste na área de estudos também (Acreúna, Edéia, Goiatuba, Itajá, Itumbiara, Jataí, Maurilândia, Mineiros, Montividiu e Quirinópolis) com precipitações médias anuais entre 1.385,4 mm a 1.563,6 mm. Por fim, nos municípios

mineiros, posicionados a sudeste (Abadia dos Dourados, Estrela do Sul, Ibiá, Monte Carmelo, Patos de Minas, Patrocínio e Sacramento) que possuem precipitações médias anuais que vão de 1.349,0 mm a 1.675,2 mm.

A tabela 3, exibe a distribuição total dos valores referentes às médias mensais dos dias com chuva na bacia, sendo que, o total médio anual é de 107 dias com chuvas e a variabilidade anual é de 74 a 130 dias, correspondendo aos municípios mineiros de Tupaciguara e Sacramento, respectivamente. Em síntese, os meses com os maiores registros de dias com chuva estendem-se de outubro a março (9 a 14 dias), sendo que, dezembro e janeiro são os meses com maiores médias (18 e 17 dias). Já os meses com uma menor quantidade de dias com chuva são de junho a agosto (1 a 2 dias).

Os municípios que apresentaram o mínimo valor médio anual de dias com chuvas foram Tupaciguara - (MG), Acreúna - (GO) e Ituiutaba - (MG), com 74, 89 e 91 dias de registro. Enquanto que os municípios que sinalizaram o máximo valor médio anual de dias com chuvas foram Itumbiara - (GO), Sacramento - (MG) e Goiânia - (GO), com 123, 130 e 141 dias de registro.

Tabela 3 - Médias mensais de dias chuvosos nos postos pluviométricos estudados

Posto	Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1847003	Abadia dos Dourados	17	12	13	7	3	2	1	1	5	9	13	18	99
1750003	Acreúna	14	12	12	6	3	1	0	1	4	8	11	15	89
1647002	Cristalina	18	14	15	9	3	1	1	1	5	10	17	20	115
1750000	Edéia	15	13	12	6	3	1	1	1	4	8	12	15	92
1847001	Estrela do Sul	20	15	16	9	4	2	2	2	6	11	16	21	122
1649013	Goiânia	22	19	19	11	4	2	1	2	7	13	19	22	141
1850001	Goiatuba	17	14	14	7	3	1	1	2	5	9	13	16	103
1946004	Ibiá	18	14	14	8	5	2	2	2	6	10	15	19	116
1951001	Itajá	16	12	12	6	4	2	1	2	6	8	11	15	96
1949006	Ituiutaba	16	13	12	5	3	2	1	1	4	7	10	15	91
1849016	Itumbiara	20	16	16	9	4	2	1	2	6	10	16	20	123
1751001	Jataí	16	14	15	7	4	2	1	2	5	8	13	16	103
1850003	Maurilândia	17	15	13	7	3	1	1	2	5	9	13	17	103
1752003	Mineiros	16	14	15	8	4	1	1	2	5	8	11	14	99
1847000	Monte Carmelo	18	13	14	7	4	2	1	2	5	10	15	18	110
1751004	Montividiu	18	16	16	9	4	2	1	2	5	11	14	19	118
1748005	Orizona	19	14	16	7	3	1	1	2	5	10	16	20	113
1750001	Paraúna	16	13	14	6	3	1	1	1	4	9	13	15	96
1846007	Patos de Minas	18	13	15	7	4	2	2	2	5	10	15	18	110
1946005	Patrocínio	19	13	15	8	4	2	2	2	6	11	16	20	117
1949002	Prata	17	14	13	6	3	1	1	2	5	8	11	16	97
1850002	Quirinópolis	16	14	14	6	4	2	1	2	6	10	13	17	106
2047037	Sacramento	21	16	17	10	5	2	2	2	6	11	15	22	130
1848004	Tupaciguara	13	10	10	5	2	1	1	1	4	7	9	13	74
1948006	Uberlândia	18	14	14	7	4	2	1	2	5	9	13	18	106
1749001	Varjão	19	16	15	7	3	2	1	1	6	10	15	18	112
Média		17	14	14	7	4	2	1	2	5	9	14	18	107

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

No que se refere, especificamente, aos meses de ocorrência da estação chuvosa (outubro a março), relacionando as tabelas 2 e 3, os resultados demonstram que outubro, mês de início do período chuvoso, o total médio mensal de chuva é de 116,8 mm em 9 dias. A variação da média das chuvas neste mês foi de 57,9 mm, com valor máximo médio de 153,3 mm referente a estação em Goiânia - (GO) e de modo contrário, o valor mínimo de 97,4 mm, registrado em Abadia dos Dourados - (MG).

Nos meses mais chuvosos, dezembro e janeiro, consta-se que os dois em conjunto representam 43,3% da estação chuvosa, o que significa um total de 538,5 mm. A média mensal de chuvas em dezembro é de 265,2 mm em 18 dias, e a variação de 103,9 mm está entre 299,9 mm em Orizona - (GO) e 196,0 mm em Mineiros - (GO). Já, a média mensal de precipitação em janeiro é de 273,3 mm em 17 dias, e a oscilação média mensal entre os postos pluviométricos estudados é de 92,8 mm, sendo 327,7 mm em Sacramento - (MG) e 234,9 em Acreúna - (GO).

Em abril ocorrem os maiores valores de precipitação mensais registrados, quando se considera o período de estiagem. Há um acumulado médio mensal de 89,7 mm em 7 dias, onde a variação de dados é de 56,5 mm, entre o valor máximo médio de 126,0 mm em Goiânia - (GO) e o valor mínimo médio de 69,5 mm em Patos de Minas - (MG), para este referido mês.

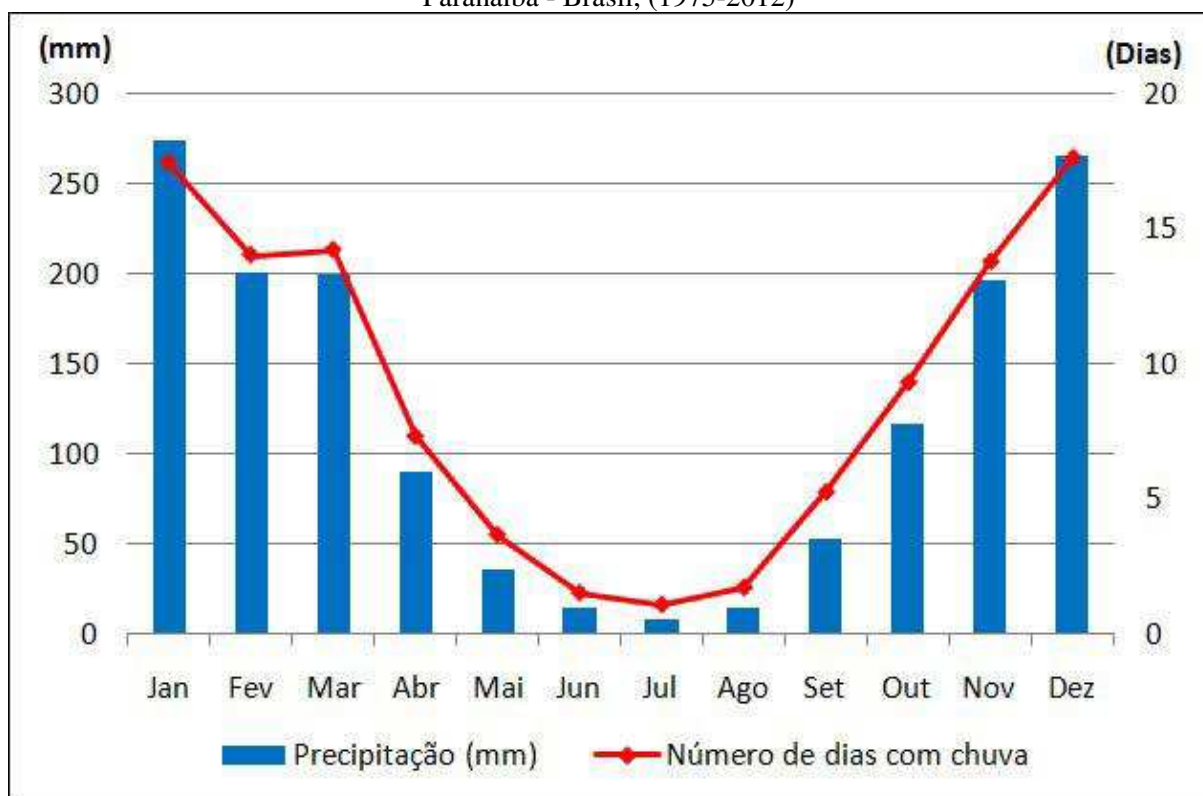
Em maio, os valores totais médios mensais de chuva continuam em declínio, 36,2 mm em 4 dias. A amplitude entre os totais registrados para o mês nos municípios da área de estudo é de 31,1 mm, sendo que Itajá - (GO) apresenta a maior média com 51,6 mm e Orizona - (GO) a menor média com 20,5 mm.

Os meses de junho a agosto são os meses mais secos e com menor incidência com dias de chuva do ano e da estação. Em junho, julho e agosto as médias mensais acumuladas de precipitação são de 14,6 mm, 8,7 mm e 14,7 mm, respectivamente, concentradas em 2, 1 e 2 dias, respectivamente nesta ordem. O que por sua vez corresponde a uma variação dos dados de 15,1 mm, 12,1 mm e 15,9 mm, respectivamente.

No final do mês de setembro, há um aumento no volume total de chuvas com 53,3 mm em 5 dias. Há uma variação de 27,7 mm entre os municípios, sendo de 70,7 mm em Patrocínio - (MG) e 43,0 mm em Uberlândia - (MG).

A sazonalidade climática na bacia hidrográfica é percebida no gráfico 3, que traz as médias das alturas pluviométricas mensais em comparação com o número de dias com chuva, entre 1975 a 2012.

Gráfico 3 - Médias das alturas pluviométricas mensais e dias com chuva da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil, (1975-2012)



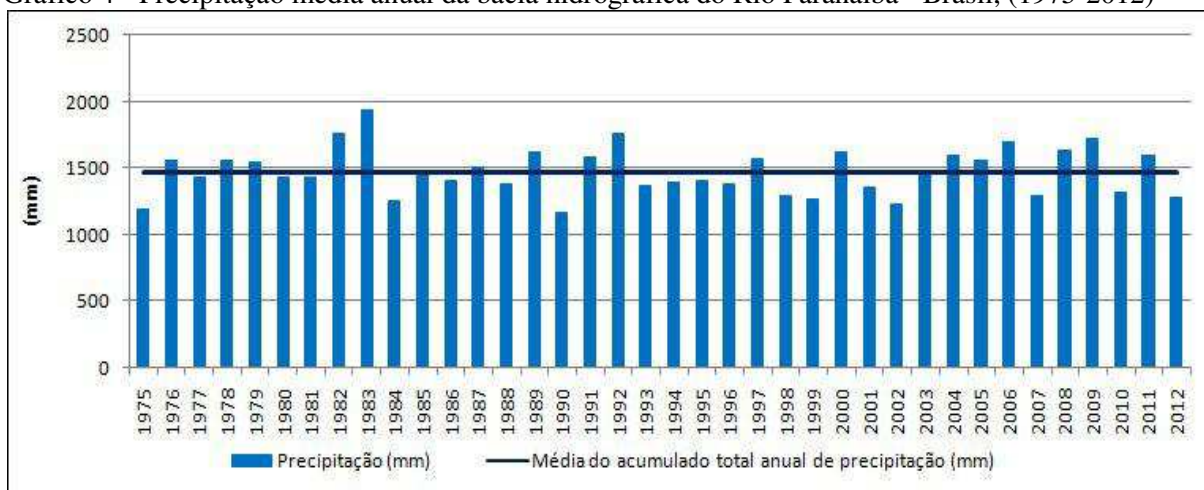
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

De modo geral, verifica-se que a estação chuvosa na bacia ocorre entre outubro a março, enquanto que a estiagem vai de abril a setembro. Os maiores totais de precipitação ocorrem nos meses de janeiro e dezembro com 273,3 mm e 265,2 mm, respectivamente. Já, os menores totais de precipitação ocorrem nos meses de junho a agosto com 14,6 mm, 8,7 mm e 14,7 mm.

Neste processo, os números totais de dias com chuvas também acompanham a mesma dinâmica da variabilidade média dos volumes precipitados durante o ano.

O acumulado total anual de chuvas entre os anos da série histórica (1975 a 2012) pode ser analisado no gráfico 4. Destes, 21 ou 55,3% dos anos apresentaram valores anuais médios de precipitação abaixo da média central, variando de 1.159,2 mm a 1.469,1 mm. Enquanto que 17 ou 44,8% dos anos, demarcaram valores anuais médios de precipitação acima da média central, oscilando de 1.506,6 mm a 1.934,2 mm. Verifica-se ainda, que a amplitude anual variou entre 1.159,2 mm (1990) a 1.934,2 mm (1983).

Gráfico 4 - Precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil, (1975-2012)



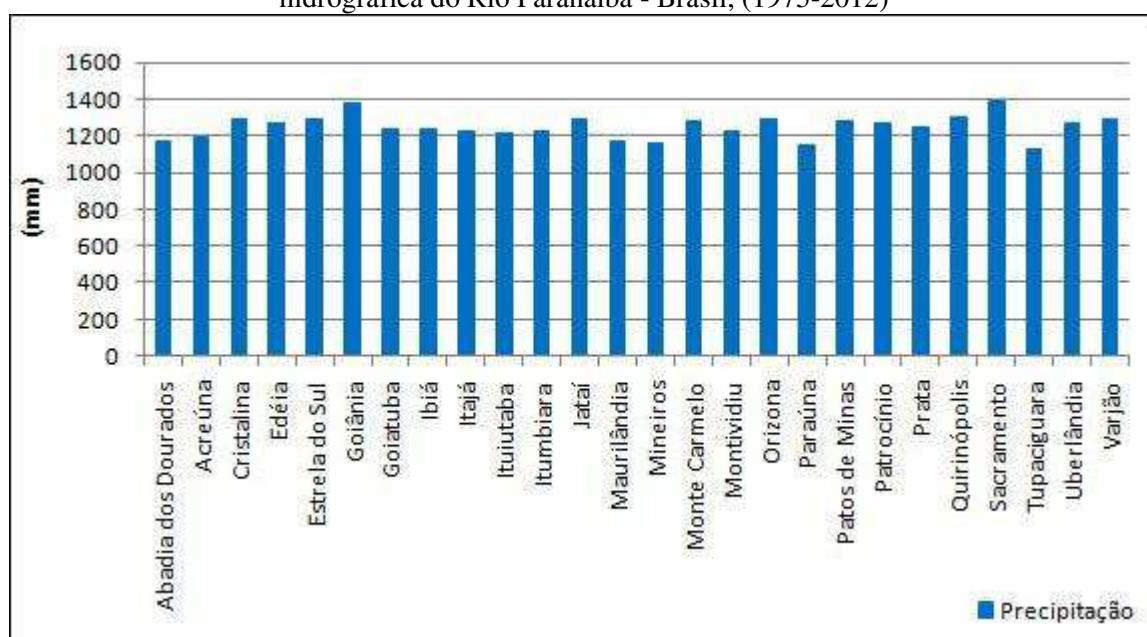
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O gráfico 5 exibe as alturas pluviométricas acumuladas da estação chuvosa (outubro a março). Verifica-se que para o referido período a média total de chuva é de 1.251,1 mm, com variação de 270,0 mm entre a maior média registrada, Sacramento - (MG) com 1.395,5 mm e a menor média, Tupaciguara - (MG) com 1.125,5 mm.

Com relação aos valores do acumulado de precipitação na estação chuvosa, os postos localizados em Cristalina - (GO) , Edéia - (GO), Estrela do Sul - (MG), Goiânia - (GO), Jataí - (GO), Monte Carmelo - (MG), Orizona - (GO), Patos de Minas - (MG), Patrocínio - (MG), Quirinópolis - (GO), Sacramento - (MG), Uberlândia - (MG) e Varjão - (GO) - 13 municípios - têm valores acima do acumulado e, de outro modo, os postos de Abadia dos Dourados -

(MG), Acreúna - (GO), Estrela do Sul - (MG), Goiatuba - (GO), Ibiá - (MG), Itajá - (GO), Ituiutaba - (MG), Itumbiara - (GO), Maurilândia - (GO), Mineiros - (GO), Montividiu - (GO), Paraúna - (GO), Prata - (MG) e Tupaciguara - (MG) - 13 municípios - apresentam valores abaixo do acumulado.

Gráfico 5 - Acumulado de precipitação durante a estação chuvosa (outubro a março) na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil, (1975-2012)



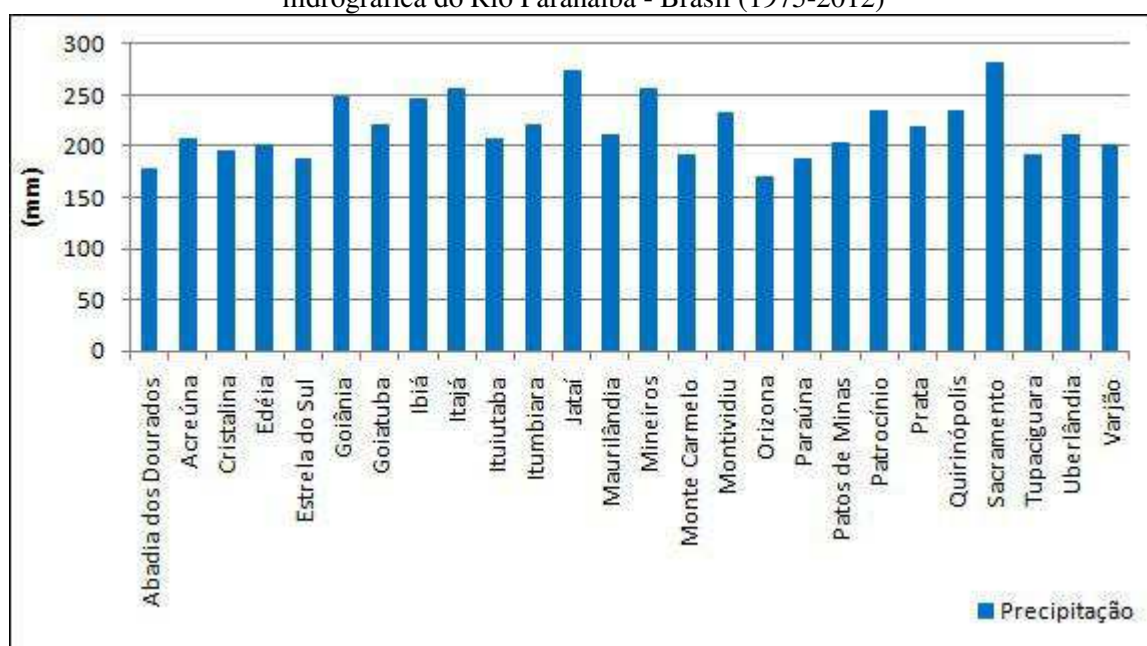
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

No gráfico 6 é apresentado o total acumulado de chuva durante o período de estiagem que se estende de abril a setembro. Neste caso, a média total de chuva é de 217,3 mm. A variação do acumulado neste período é de 111,3 mm, sendo 279,8 mm em Sacramento - (MG) e 168,5 mm em Orizona - (GO).

Com relação ao acumulado de precipitação durante o período de estiagem, os postos localizados em Goiânia - (GO), Goiatuba - (GO), Ibiá - (MG), Itajá - (MG), Itumbiara - (GO), Jataí - (GO), Mineiros - (GO), Montividiu - (GO), Patrocínio - (MG), Prata - (MG), Quirinópolis - (GO) e Sacramento - (MG) - 12 municípios -, registram valores acima da

média mensal, de outro modo, os postos de Abadia dos Dourados - (MG), Acreúna - (GO), Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Estrela do Sul - (MG), Ituiutaba - (MG), Maurilândia - (GO), Monte Carmelo - (MG), Orizona - (GO), Paraúna - (GO), Patos de Minas - (MG), Tupaciguara - (MG), Uberlândia - (MG) e Varjão - (GO) - 14 municípios - apresentam valores abaixo da média mensal.

Gráfico 6 - Acumulado de precipitação durante o período de estiagem (abril a setembro) na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

A análise do regime pluviométrico na bacia, ainda foi realizada em função dos coeficientes de variação. Este é um importante método estatístico utilizado, pois permite a comparação dos graus de dispersão entre várias distribuições de frequência. Desta forma, a tabela 4 apresenta os coeficientes de variação (CVs) para identificação das dispersões entre os dados das médias mensais totais de precipitação (1975-2012) diante de todos os postos localizados na área de estudos.

Tabela 4 - Valores de dispersão entre as médias mensais totais (1975-2012) dos postos pluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

Meses	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Coefficiente de Variação (%)
Jan	273,3	23,4	0,09	9
Fev	200,1	15,4	0,08	8
Mar	199,4	18,7	0,09	9
Abr	89,7	13,9	0,16	16
Mai	36,2	7,6	0,21	21
Jun	14,6	3,7	0,25	25
Jul	8,7	3,6	0,41	41
Ago	14,7	3,4	0,23	23
Set	53,3	8,4	0,16	16
Out	116,8	11,4	0,10	10
Nov	196,4	19,8	0,10	10
Dez	265,2	24,0	0,09	9

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

A partir desta tabela, pode-se inferir que a maior dispersão média mensal entre os registros dos postos pluviométricos, comparados às médias mensais gerais de chuva, ocorrem nos meses dentro do período de estiagem (abril a setembro) com valores percentuais de CVs que oscilam de 16% em abril e setembro a 41% em julho. Isto, demonstra maior variabilidade dos dados nos referidos meses. De outro modo, a menor dispersão média mensal é verificada durante a estação chuvosa (outubro a março) com porcentagens de CVs entre 8% e 9%. Neste caso, houve uma relação diretamente proporcional entre os graus de dispersão ao regime pluviométrico, perceptível pelo aumento significativo nos valores dos CVs.

Na tabela 5, encontram-se os coeficientes de variação entre as médias anuais de precipitação dos anos da série histórica (1975-2012) para todos os postos pluviométricos em comparação com as alturas pluviométricas médias anuais totais da bacia.

Tabela 5 - Valores de dispersão entre as médias anuais totais (1975-2012) dos postos pluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

Ano	Total Anual	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Coefficiente de Variação (%)
1975	1188,1	202,2	0,17	17
1976	1550,7	314,2	0,20	20
1977	1433,7	220,9	0,15	15
1978	1552,2	207,9	0,13	13
1979	1543,1	265,7	0,17	17
1980	1431,2	215,9	0,15	15
1981	1430,9	183,3	0,13	13
1982	1763,3	242,5	0,14	14
1983	1934,2	309,0	0,16	16
1984	1252,6	182,3	0,15	15
1985	1469,1	224,6	0,15	15
1986	1400,2	185,7	0,13	13
1987	1506,6	238,1	0,16	16
1988	1382,5	248,6	0,18	18
1989	1624,0	239,1	0,15	15
1990	1159,3	170,3	0,15	15
1991	1583,7	245,5	0,16	16
1992	1758,5	311,9	0,18	18
1993	1371,2	206,6	0,15	15
1994	1390,7	193,8	0,14	14
1995	1400,1	189,8	0,14	14
1996	1383,8	265,1	0,19	19
1997	1567,6	159,0	0,10	10
1998	1293,5	211,2	0,16	16
1999	1270,5	149,0	0,12	12
2000	1620,3	188,6	0,12	12
2001	1353,6	155,6	0,11	11
2002	1226,1	173,9	0,14	14
2003	1451,3	213,2	0,15	15
2004	1593,3	178,0	0,11	11
2005	1561,8	238,0	0,15	15
2006	1697,1	203,1	0,12	12
2007	1291,9	190,0	0,15	15
2008	1630,5	203,5	0,12	12
2009	1717,9	192,1	0,11	11
2010	1319,4	90,5	0,07	7
2011	1590,1	228,6	0,14	14
2012	1273,2	256,1	0,20	20

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

A análise dos valores dos coeficientes de variação demonstra um comportamento regular entre os respectivos anos, com percentual médio de CV de 14%, sendo que os maiores valores foram determinados nos anos de 1976 e 2012 com 20%, enquanto que os menores valores de CV foi ano de 2010 com 7%. Em síntese, neste caso, a dispersão dos dados foi homogênea em relação à média anual total entre todos os postos e anos das séries históricas de precipitação. Todavia, no que se refere as médias anuais de chuvas em cada estação pluviométrica, é encontrada uma variabilidade, como verificado na tabela 2.

5.1.2 Análise dos períodos úmidos e de déficits de precipitação

A aplicação do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) permite a identificação e avaliação dos períodos úmidos e de déficits de precipitação na área de estudos, ou seja, tem as suas representações em diferentes desvios padrões.

Estes desvios, são representados por intervalos específicos e cada um deles recebe uma determinada nomenclatura. Para tanto, apresenta-se novamente a tabela 1, adaptada e utilizada como referência para categorização dos resultados encontrados diante da série histórica de (1975 a 2012) de todos os postos pluviométricos localizados ao longo da bacia.

Em específico, considera-se Normal Climatológica (NC) os intervalos situados entre -0,99 a 0,99. Qualquer variação acima destes valores, é categorizada desde Umidade Moderada (UM) a Umidade Extrema (UE) e desde Déficit Moderado de Chuva (DMC) a Déficit Extremo de Chuva (DEC).

Tabela 1 - Classificação das classes de seca de acordo com o SPI adaptado

INTERVALO SPI	CATEGORIA
> 2,00	Umidade Extrema (UE) - (2 a 3 vezes a cada 100 anos)
1,5 a 1,99	Umidade Alta (UA)
1,00 a 1,49	Umidade Moderada (UM)
0,00 a 0,99	Normal Climatológica (NC) - (7 vezes a cada 10 anos)
0,00 a -0,99	Normal Climatológica (NC) - (7 vezes a cada 10 anos)
- 1,0 a - 1,49	Déficit Moderado de Chuva (DMC)
- 1,5 a - 1,99	Déficit Alto de Chuva (DAC)
< = a -2,00	Déficit Extremo de Chuva (DEC) - (2 a 3 vezes a cada 100 anos)

Fonte: Mckee; Doesken e Kleist (1993 e 1995). Org. Maciel, S. A. (2016).

De maneira específica, a tabela 3 traz inicialmente os respectivos períodos referenciados nas séries históricas de precipitação (1975 a 2012) de cada posto da área de estudos que estão enquadrados dentro do intervalo pertencente as normais climatológicas (NC). Neste caso, as anomalias sucessivas acumuladas de chuva que se mantiverem no intervalo de -0,99 a 0,99 são categorizadas como tendo um desvio em relação a NC.

Tabela 6 - Períodos demarcados dentro do intervalo das normais climatológicas (NC = -0,99 a 0,99) maiores que 12 meses na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012)

(Continua)

Nº	Posto	Município	Início / Fim / Duração (meses)											
1	1847003	Abadia dos Dourados	1976	1978	28	1987	1988	28	2009	2010	14	-	-	-
			1979	1980	14	1998	2000	21	-	-	-	-	-	-
			1985	1986	16	2002	2003	20	-	-	-	-	-	-
2	1750003	Acreúna	1975	1977	33	1985	1986	18	2006	2007	13	-	-	-
			1980	1981	21	1988	1989	22	2010	2011	17	-	-	-
			1982	1983	14	2002	2004	25	-	-	-	-	-	-
3	1647002	Cristalina	1975	1977	25	1993	1994	13	2002	2004	25	-	-	-
			1987	1989	32	1994	1996	28	2007	2011	55	-	-	-
			1990	1991	14	1997	2000	45	-	-	-	-	-	-
4	1750000	Edéia	1975	1976	21	1990	1991	13	2007	2009	33	-	-	-
			1979	1982	36	1992	1996	46	2011	2012	15	-	-	-
			1982	1987	58	2004	2006	34	-	-	-	-	-	-
5	1847001	Estrela do Sul	1975	1976	21	1986	1989	36	1995	1998	29	2008	2009	22
			1980	1980	24	1990	1991	24	2003	2004	13	2010	2012	25
			1985	1986	21	1993	1995	26	2004	2007	37	-	-	-
6	1649013	Goiânia	1975	1976	22	1987	1989	18	1995	1996	15	2002	2005	36
			1977	1979	17	1989	1992	36	1997	1999	20	2006	2007	16
			1984	1986	27	1993	1995	26	2000	2001	20	2009	2010	21
7	1850001	Goiatuba	1975	1977	33	1985	1989	55	2009	2012	44	-	-	-
			1980	1982	33	1992	1995	27	-	-	-	-	-	-
			1984	1985	13	1995	1998	39	-	-	-	-	-	-
8	1946004	Ibiá	1975	1976	22	1986	1987	13	1996	1999	26	2009	2011	16
			1977	1978	21	1987	1989	24	2000	2001	15	2011	2012	21
			1979	1980	13	1989	1990	17	2001	2002	14	-	-	-
			1980	1982	22	1992	1994	22	2007	2008	23	-	-	-
9	1951001	Itajá	1975	1977	34	1989	1991	17	2006	2007	14	-	-	-
			1981	1982	14	1992	1994	24	2009	2011	18	-	-	-
			1985	1987	24	1996	1999	44	2011	2012	21	-	-	-
10	1949006	Ituiutaba	1975	1978	40	1986	1987	20	2000	2001	15	-	-	-
			1978	1979	16	1991	1996	57	2010	2012	35	-	-	-
			1983	1985	18	1997	1999	27	-	-	-	-	-	-
11	1849016	Itumbiara	1975	1978	48	1988	1942	46	-	-	-	-	-	-
			1980	1981	22	1995	2001	64	-	-	-	-	-	-
			1984	1988	50	2009	2012	40	-	-	-	-	-	-
12	1751001	Jataí	1975	1988	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1988	1992	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1992	2004	132	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1850003	Maurilândia	1979	1981	16	1993	1996	30	-	-	-	-	-	-
			1984	1987	38	2006	2007	15	-	-	-	-	-	-
			1988	1991	34	2011	2012	13	-	-	-	-	-	-

Tabela 6 - Períodos demarcados dentro do intervalo das normais climatológicas (NC = -0,99 a 0,99) maiores que 12 meses na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012)

(Conclusão)														
14	1752003	Mineiros	1975	1978	41	1997	2006	105	-	-	-	-	-	-
			1983	1984	22	2009	2011	22	-	-	-	-	-	-
			1985	1987	24	2011	2012	21	-	-	-	-	-	-
15	1847000	Monte Carmelo	1976	1977	14	1991	1992	16	1999	2001	27	2007	2011	48
			1984	1985	17	1993	1994	24	2001	2004	30	2011	2012	20
			1989	1991	21	1995	1996	21	2004	2006	33	-	-	-
16	1751004	Montividiu	1975	1976	14	1983	1985	16	1994	1996	33	2008	2009	19
			1976	1978	22	1985	1987	30	1997	1999	20	2010	2012	33
			1980	1981	22	1988	1989	17	2005	2006	20	-	-	-
17	1748005	Orizona	1975	1976	23	1984	1986	26	1994	1995	21	2008	2011	36
			1980	1981	22	1987	1989	26	1997	1998	20	2011	2012	20
			1982	1983	18	1990	1992	19	2001	2003	27	-	-	-
18	1750001	Paraúna	1975	1977	32	1992	1996	39	2007	2009	25	-	-	-
			1980	1981	21	1997	2005	65	2010	2012	25	-	-	-
			1986	1988	24	2005	2006	15	-	-	-	-	-	-
19	1846007	Patos de Minas	1986	1987	15	2010	2011	15	-	-	-	-	-	-
			1992	1994	18	2011	2012	20	-	-	-	-	-	-
			1995	1996	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1946005	Patrocínio	1975	1976	14	1987	1989	20	1999	2000	22	2010	2012	27
			1979	1981	16	1993	1995	25	2004	2006	32	-	-	-
			1986	1987	14	1997	1998	24	2007	2008	21	-	-	-
21	1949002	Prata	1975	1976	13	1994	1995	22	2006	2008	18	-	-	-
			1979	1980	22	1997	1999	17	-	-	-	-	-	-
			1985	1990	67	2000	2002	25	-	-	-	-	-	-
22	1850002	Quirinópolis	1980	1982	29	2011	2012	23	-	-	-	-	-	-
			1985	2001	127	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			2001	2006	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	2047037	Sacramento	1976	1978	30	1988	1989	22	1997	1999	36	-	-	-
			1979	1981	25	1990	1991	14	2004	2006	35	-	-	-
			1986	1987	22	1992	1994	25	-	-	-	-	-	-
24	1848004	Tupaciguara	1977	1978	20	1989	1992	34	2009	2012	40	-	-	-
			1980	1981	22	1992	1996	41	-	-	-	-	-	-
			1985	1986	19	2004	2005	20	-	-	-	-	-	-
25	1948006	Uberlândia	1975	1977	35	2005	2006	13	-	-	-	-	-	-
			1995	2002	89	2009	2011	15	-	-	-	-	-	-
			2003	2004	19	2011	2012	20	-	-	-	-	-	-
26	1749001	Varjão	1975	1976	24	1986	1988	36	2003	2006	26	-	-	-
			1977	1980	36	1990	1992	20	2011	2012	14	-	-	-
			1980	1981	20	1995	1996	13	-	-	-	-	-	-

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Analisando a tabela 7, infere-se que há uma variabilidade quanto a ocorrência de períodos que estejam dentro (-0,99 a 0,99) destinado a formação de normais climatológicas. A média geral de permanência nessa categorização entre as séries históricas de 1975 a 2012 é de 223 meses,

não consecutivos, de um total de 456 meses. Os demais intervalos de tempo, ou apresentaram desvios inferiores ou superiores a NC, sendo classificados desde a úmidos até a presença de déficits de chuva.

Os postos que apresentaram as menores durações mensais de permanência dentro do intervalo da NC, em sua totalidade (de 1975 a 2012), estão localizados nos municípios de Patos de Minas - (MG), Abadia dos Dourados - (MG) e Maurilândia - (GO), com uma duração de 86, 141 e 146 meses, respectivamente. Já, os postos que tiveram as maiores durações mensais de permanência dentro do intervalo da NC, estão situados nos municípios de Goiânia - (GO), Estrela do Sul - (MG) e Jataí - (GO), com uma duração de 274, 278 e 337 meses.

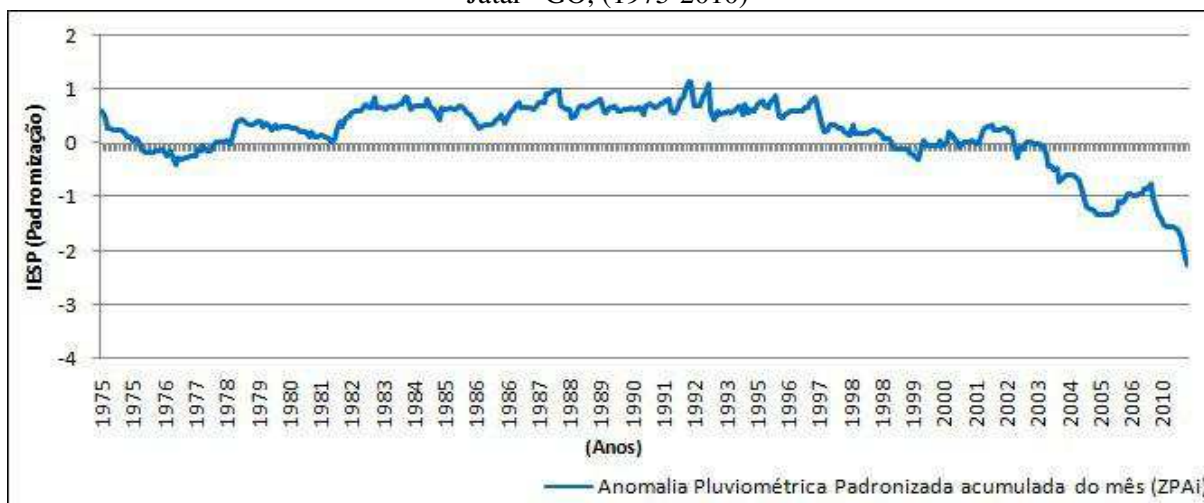
No que se refere as maiores durações mensais de permanência dentro do intervalo da NC, agora em extensão de anos consecutivos, verificou-se que os postos que satisfazem essa condição, são os de Quirinópolis - (GO) com intervalo de 1985 a 2001 (127 meses) e o de Jataí - (GO) com intervalos de 1975 a 1988 (165 meses) e de 1992 a 2004 (132 meses), conforme ilustrados nos gráficos 7 e 8.

Gráfico 7 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Quirinópolis - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 8 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Jataí - GO, (1975-2010)



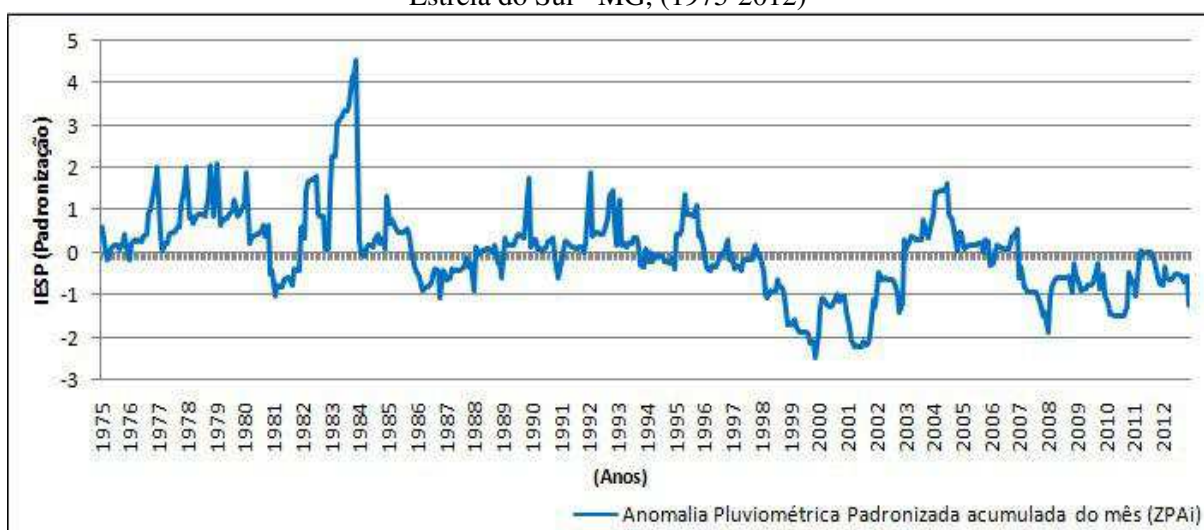
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Como visto, os gráficos de IESP permitem a visualização dos períodos de desvios relacionados aos índices de precipitação. A fim de melhor compreensão, foram confeccionados os gráficos 9, 10, e 11, considerando uma amostra do total de postos da bacia. Ressaltasse que os demais encontram-se dispostos no anexo 3 da pesquisa.

O gráfico 9 corrobora com a pesquisa ao trazer a aplicação do IESP ao posto do município de Estrela do Sul - (MG). Sendo assim, diante das classes de padronização dos valores de precipitação média pertencentes a série histórica trabalhada (1975 a 2012) verificou-se que o intervalo de anos entre 1975 a 1976 esteve dentro do desvio calculado e que corresponde às normais climatológicas (0,99 a -0,99). De 1982 a 1983, encontram-se períodos que vão desde a umidade alta (UA) a umidade extrema (UE), tendo seu auge em dezembro de 1983, com um desvio de 4,53. Entre 1984 a 1991, as médias de chuvas voltam a estar dentro das NC. No ano de 1992, ocorre um desvio médio de 1,63, o que caracteriza esse pequeno momento como UA. De 1993 a 1998, os valores voltam a estar sob a condição dita normal (0,17 a -0,99). Este último esteve intercalado entre momentos de UM e UA. De 1999 a 2002, as médias de chuva tornam a estar abaixo das normais ($< -0,99$), atingindo períodos de DEC ($= < -2,00$) durante o

final de 1999 e quase todo o ano de 2001. De 2003 a 2008, houve a permanência dos dados dentro do intervalo de NC (0,99 a -0,99), com exceção de dois picos, um de UM e outro de DAC. De 2009 em diante, a série histórica se encontra novamente na categorização de NC, com destaque para o ano de 2011 com déficit moderado de chuva na área.

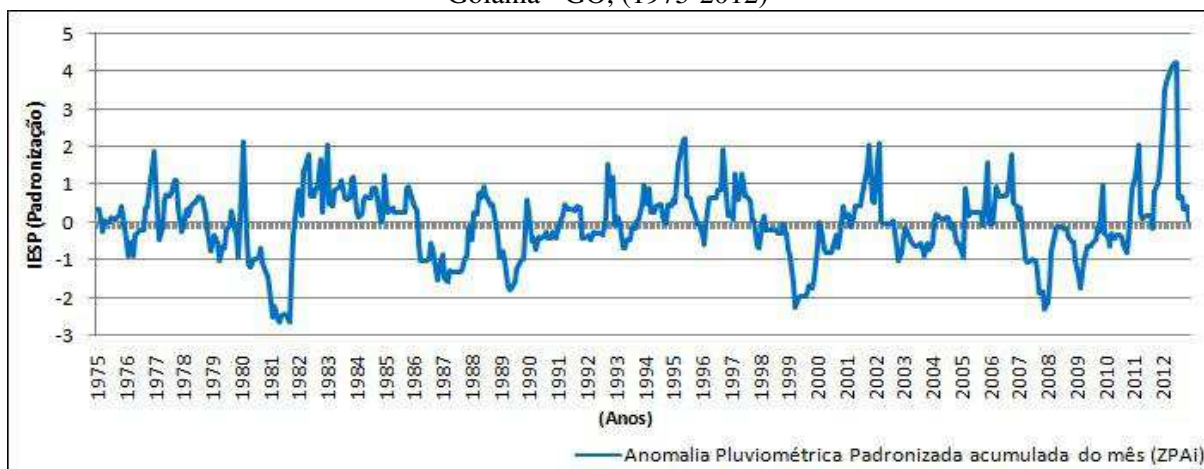
Gráfico 9 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Estrela do Sul - MG, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O gráfico 10 traz a aplicação do IESP ao posto do município de Goiânia - (GO), assim como o de Estrela do Sul - (MG), apresentou momentos distintos. Os períodos situados no intervalo do desvio estabelecido para as normais climatológicas (0,99 a -0,99), estiveram entre os seguintes intervalos de tempo: 1975 a 1979, 1984 a 1986, 1984 a 2007 e 2009 a 2010, totalizando 274 meses. Uma vez que, entre estes períodos também houveram situações de umidade extrema (UE) e déficit extremo de chuva (DEC). O destaque de DEC foi durante o ano de 1981, quando o desvio atingiu -2,62 e o mais relevante acontecimento de UE foi no ano de 2012, com valor de desvio de 4,53.

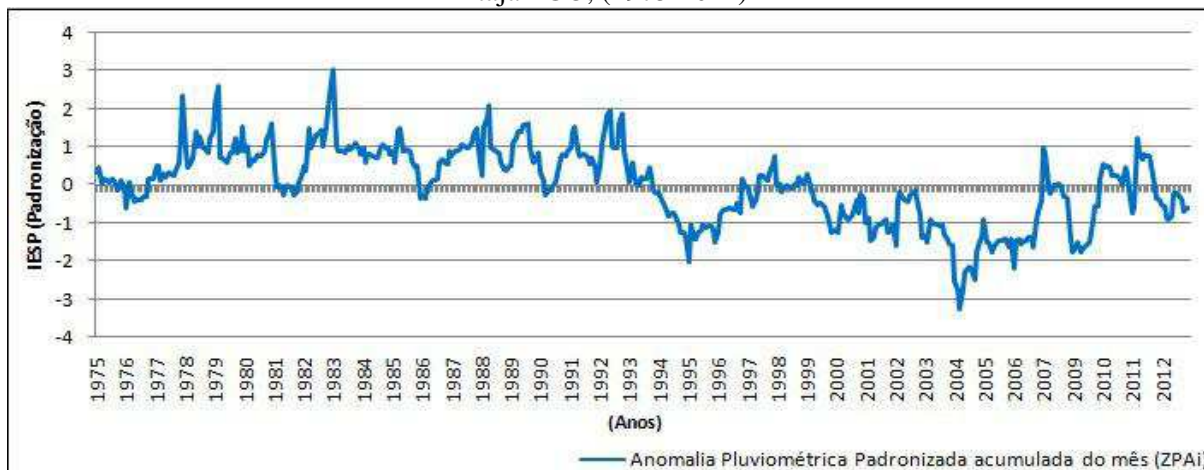
Gráfico 10 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Goiânia - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O gráfico 11 apresenta os valores de IESP gerados ao posto do município de Itajá - (GO). Os índices de precipitação que estiveram dentro do padrão normal climatológico (0,99 a -0,99), totalizaram 210 meses, e se estenderam dos anos de 1975 a 1977, 1981 a 1982, 1985 a 1999 e 2006 a 2012. Nesse caso específico, verificou-se que praticamente metade da série histórica (1975 a 1994) esteve com valores dentro de NC (-0,99 a 0,99) e com alternância categorizadas até UE ($> 2,00$), e a outra metade de (1995 a 2012) com valores dentro de NC (-0,99 a 0,99) e com variações que atingiram até momentos de DEC ($\leq -2,00$).

Gráfico 11 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao posto do município de Itajá - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

De acordo com os resultados gerados pelo IESP para todos os postos de estudo (tabelas 7 e 8), constata-se que a ocorrência de períodos de déficits extremos de chuvas (DEC), desvios $\leq -2,00$, foram maiores que episódios com intervalos de umidade extrema (UE), desvios $> 2,00$. Dos 26 postos, 3 deles, Goiatuba - (GO), Jataí - (GO), Monte Carmelo - (MG) e Tupaciguara - (MG) não apresentaram índices com déficits extremos. De outro modo, 7 deles, Acreúna - (GO), Cristalina - (GO), Goiatuba - (GO), Jataí - (GO), Mineiros - (GO), Tupaciguara - (MG) e Varjão - (GO) não sinalizaram índices classificados como períodos de umidade extrema (UE). Ambas determinações foram realizadas com duração mínima superior a dois meses, com vistas a ressaltar as maiores variações.

Em âmbitos gerais, com referência na tabela 7, diante dos cálculos do IESP estabelecidos (1975-2012), as maiores incidências de intervalos de DEC ($\leq -2,00$) a partir de 2 meses de duração, ocorreram após 1996, com alta representatividade, especificamente de 2000 a 2009. Os maiores picos - desvios - de déficits extremos de chuva foram registrados nos postos dos municípios de Montividiu - (GO), Orizona - (GO), Patos de Minas - (MG) e Patrocínio - (MG). Sendo que em Montividiu, o desvio ocorreu entre 1999 a 2000, atingindo o valor de -3,42. Orizona, também apresentou um desvio entre 1999 e 2000, porém superior, de -3,51. Patos de Minas teve um desvio de -3,02, entre 2003 e 2004. E Patos de Minas, apresentou um desvio de -3,27, entre 1990 e 1991.

As maiores durações mensais de permanência na categoria de DEC foram encontradas em 4 postos pluviométricos instalados nos municípios de Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Mineiros - (GO) e Quirinópolis - (GO), tabela 7. Em Cristalina e Mineiros, a duração de DEC foi de 13 meses, entre (1980 e 1981; 1988 e 1989) com valores médios de (-2,36 e -2,24). Em Edéia, tal categorização se manteve por 15 meses entre 1997 e 1999 com valor médio de (-2,37). Por

último, em Quirinópolis encontrou-se a maior extensão de permanência de DEC, com um total de 24 meses, entre 2007 e 2009 com valor médio de (-2,21).

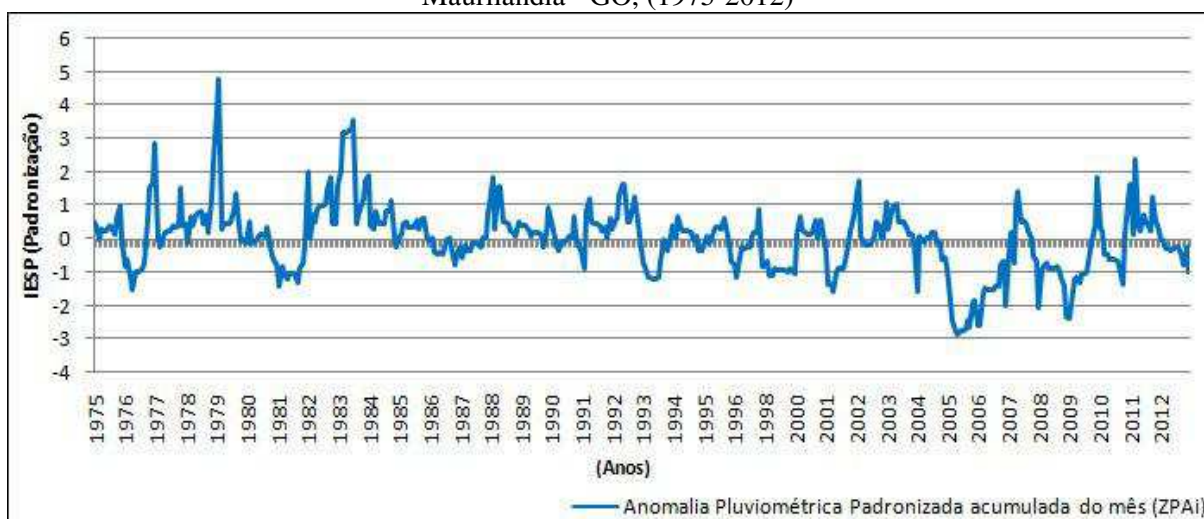
Tabela 7 - Picos de Déficit Extremos de Chuvas (DEC) com duração mínima superior a dois meses na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012)

Nº	Posto	Município	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Valor Médio
1	1847003	Abadia dos Dourados	1996	1996	7	-2,34	-2,22
			1997	1997	4	-2,28	-2,22
2	1750003	Acreúna	2000	2000	4	-2,36	-2,06
			2001	2001	7	-2,14	-2,04
3	1647002	Cristalina	1979	1979	2	-2,27	-2,14
			1980	1981	13	-2,51	-2,36
4	1750000	Edéia	1997	1999	15	-2,43	-2,37
5	1847001	Estrela do Sul	1999	1999	3	-2,46	-2,21
			2001	2001	8	-2,21	-2,15
6	1649013	Goiânia	1981	1981	8	-2,62	-2,47
			2007	2008	2	-2,26	-2,18
7	1850001	Goiatuba	-	-	0	0	0
8	1946004	Ibiá	2002	2002	2	-2,59	-2,50
			2003	2003	11	-3,10	-2,78
9	1951001	Itajá	2004	2004	9	-3,26	-2,52
10	1949006	Ituiutaba	1996	1996	2	-2,00	-2,00
			2004	2004	11	-2,75	-2,38
11	1849016	Itumbiara	2002	2003	4	-2,26	-2,07
			2003	2004	11	-2,29	-2,18
			2005	2005	4	-2,03	-2,01
			2006	2006	7	-2,10	-2,06
12	1751001	Jataí	-	-	0	0	0
13	1850003	Maurilândia	2005	2005	8	-2,84	-2,64
			2006	2006	2	-2,56	-2,56
			2008	2009	2	-2,36	-2,32
14	1752003	Mineiros	1988	1989	13	-2,31	-2,24
15	1847000	Monte Carmelo	-	-	0	0	0
16	1751004	Montividiu	1999	2000	12	-3,42	-2,80
			2001	2001	8	-2,31	-2,23
17	1748005	Orizona	1999	2000	12	-3,51	-2,75
18	1750001	Paraúna	1989	1989	11	-2,58	-2,39
			1990	1990	8	-2,25	-2,15
19	1846007	Patos de Minas	2002	2002	2	-2,42	-2,49
			2003	2004	3	-3,02	-2,70
20	1946005	Patrocínio	1990	1991	3	-3,27	-2,75
21	1949002	Prata	1996	1996	2	-2,05	-2,04
			2004	2004	10	-2,78	-2,20
22	1850002	Quirinópolis	2007	2009	24	-2,57	-2,21
23	2047037	Sacramento	1996	1996	4	-2,18	-2,09
			2002	2002	3	-2,30	-2,20
24	1848004	Tupaciguara	-	-	0	0	0
25	1948006	Uberlândia	1981	1981	9	-2,61	-2,35
26	1749001	Varjão	2009	2009	6	-2,52	-2,30
			2010	2010	2	-2,37	-2,20

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

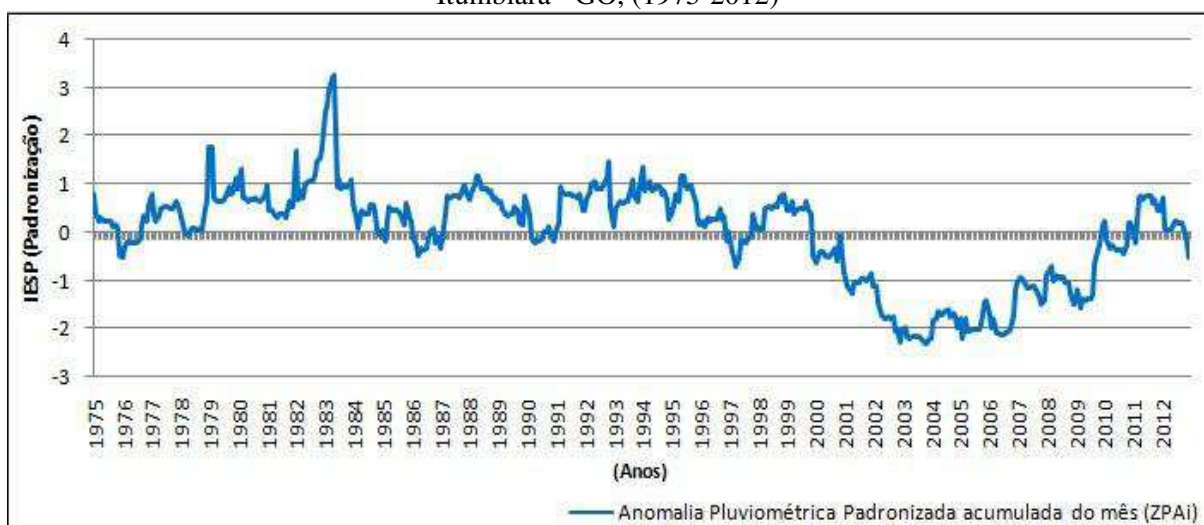
Os postos de Maurilândia - (GO) e Itumbiara - (GO) tiveram várias ocorrências de déficits extremos do índice de chuva (tabela 7 e gráficos 12 e 13). Em Maurilândia, os períodos de DEC foram permanentes durante a sequência de 2005 a 2005, 2005 a 2006 e 2008 a 2009, com alternância de duração de 2 a 8 meses, o que totalizaram 12 meses entre as suas respectivas ocorrências. Em Itumbiara, os períodos de DEC se mantiveram nos intervalos de (2002 a 2006), com duração de 4 a 11 meses, o que no total representaram 28 meses.

Gráfico 12 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Maurilândia - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 13 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Itumbiara - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

De maneira geral, a partir dos valores gerados pelo IESP (1975-2012), ilustrados na tabela 8, pode-se inferir que os maiores intervalos de umidade extrema - UE ($> 2,00$) - a partir de 2 meses de duração, estiveram concentrados, principalmente, entre os anos de 1982 e 1983 e 2006 e 2007. Os maiores picos - desvios - dos índices de chuva categorizados como umidade extrema, foram registrados nos postos localizados nos municípios de Abadia dos Dourados - (MG), Estrela do Sul - (MG), Goiânia - (GO), Ibiá - (MG), Ituiutaba - (MG), Maurilândia - (GO), Monte Carmelo - (MG), Orizona - (GO), Patos de Minas - (MG), Quirinópolis - (GO), Sacramento - (MG) e Uberlândia - (MG). Estes apresentaram desvios de (4,70, 4,53, 4,24, 5,32, 4,18, 4,76, 5,16, 4,45, 4,85, 4,41, 4,42 e 4,52). Sendo que, destes Monte Carmelo e Ibiá tiveram os picos mais extremos, atingindo 5,16 e 5,32.

As maiores durações mensais de permanência na categoria de UE foram encontradas em 2 postos pluviométricos instalados nos municípios de Estrela do Sul - (MG) e Monte Carmelo - (MG), tabela 8. Em ambos os postos, a duração de UE foi de 11 meses e ocorreram durante o ano de 1983, todavia, no primeiro o valor médio de desvio é de 3,32 e o segundo é de 5,16.

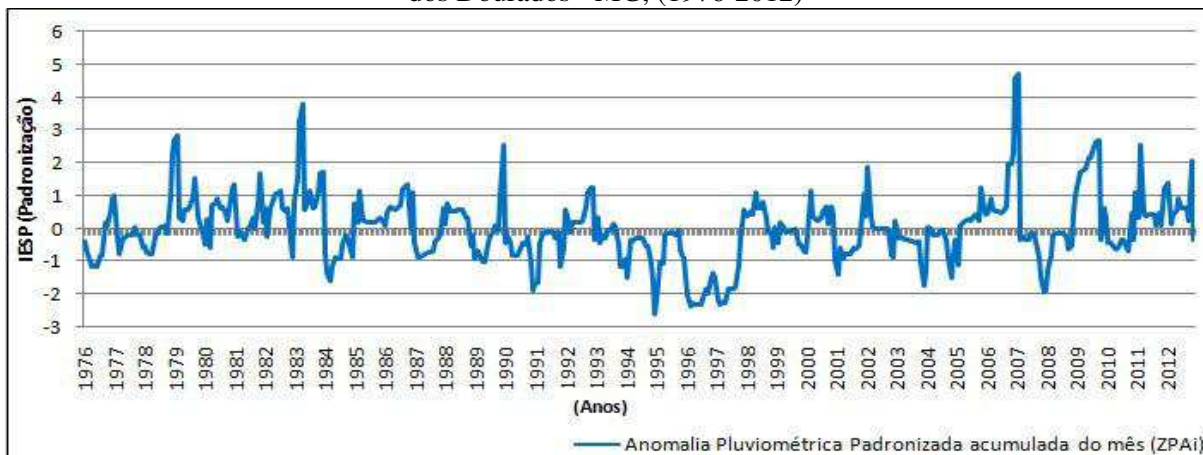
Os postos de Abadia dos Dourados - (MG), Orizona - (GO) e Patrocínio - (MG) tiveram várias sequências de UE (tabela 8 e gráficos 14 a 16) ou seja, desvios ($>2,00$) em relação a normal climatológica (-0,99 a 0,99) para as séries de chuvas. Em Abadia dos Dourados, os períodos de UE estiveram permanentes durante a sequência de 1978 a 1979, 1983, 2006 a 2007 e 2009, alternando-se em ciclos com duração de 2 a 5 meses e, transcorrendo ainda um período de 13 meses entre os ciclos. Em Orizona, as séries de UE ocorreram em 1979, 1990, 1994, 2006 a 2007, alternando-se ciclos com duração de 2 a 3 meses e, transcorrendo ainda um período de 9 meses entre os ciclos. Em Patrocínio, ocorreram as maiores séries de UE, compreendendo os períodos de 1976, 1979, 1981 a 1982, 1983, 1992 e 2007, com duração de 2 a 3 meses e, transcorrendo ainda um período de 13 meses entre os ciclos.

Tabela 8 - Picos de Umidade Extrema (UE) com duração mínima superior a dois meses na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975-2012)

N°	Posto	Município	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Valor Médio
1	1847003	Abadia dos Dourados	1978	1979	3	2,83	2,60
			1983	1983	2	3,81	3,54
			2006	2007	3	4,70	3,87
			2009	2009	5	2,48	2,62
2	1750003	Acreúna	-	-	0	0	0
3	1647002	Cristalina	-	-	0	0	0
4	1750000	Edéia	2011	2011	2	2,50	2,47
5	1847001	Estrela do Sul	1983	1983	11	4,53	3,36
6	1649013	Goiânia	1995	1995	2	2,21	2,21
			2012	2012	7	4,24	3,77
7	1850001	Goiatuba	-	-	0	0	0
8	1946004	Ibiá	1983	1983	7	5,32	2,33
			1992	1992	2	2,49	2,42
			2004	2004	2	2,29	2,17
9	1951001	Itajá	1979	1979	2	2,59	2,34
			1982	1983	3	3,01	2,57
10	1949006	Ituiutaba	1982	1982	6	3,18	2,78
			1983	1983	5	2,81	2,49
			1991	1991	2	4,18	4,12
11	1849016	Itumbiara	1983	1983	5	3,26	2,91
12	1751001	Jataí	-	-	0	0	0
13	1850003	Maurilândia	1978	1979	3	4,76	3,63
			1983	1983	6	3,52	3,06
14	1752003	Mineiros	-	-	0	0	0
15	1847000	Monte Carmelo	1983	1983	11	5,16	4,09
			1992	1992	2	2,74	2,58
16	1751004	Montividiu	1982	1982	4	2,44	2,17
			1988	1988	4	3,04	2,72
			2006	2007	3	2,32	2,24
17	1748005	Orizona	1979	1979	2	2,44	2,25
			1990	1990	2	2,40	2,26
			1994	1994	2	2,62	2,37
			2006	2007	3	4,45	3,61
18	1750001	Paraúna	1997	1977	2	2,13	2,13
19	1846007	Patos de Minas	1978	1979	4	3,17	2,88
			1983	1983	6	4,85	2,10
20	1946005	Patrocínio	1976	1976	2	3,21	2,91
			1979	1979	2	2,30	2,17
			1981	1982	2	3,09	2,55
			1983	1983	3	3,99	3,65
			1992	1992	2	2,96	2,61
			2007	2007	2	2,51	2,51
21	1949002	Prata	1983	1983	7	3,36	2,92
22	1850002	Quirinópolis	1976	1977	3	4,41	3,45
23	2047037	Sacramento	1983	1983	6	4,42	3,63
			1992	1992	2	2,92	2,92
			2007	2007	5	3,17	3,03
24	1848004	Tupaciguara	-	-	0	0	0
25	1948006	Uberlândia	2006	2007	5	4,52	3,64
26	1749001	Varjão	-	-	0	0	0

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 14 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Abadia dos Dourados - MG, (1976-2012)



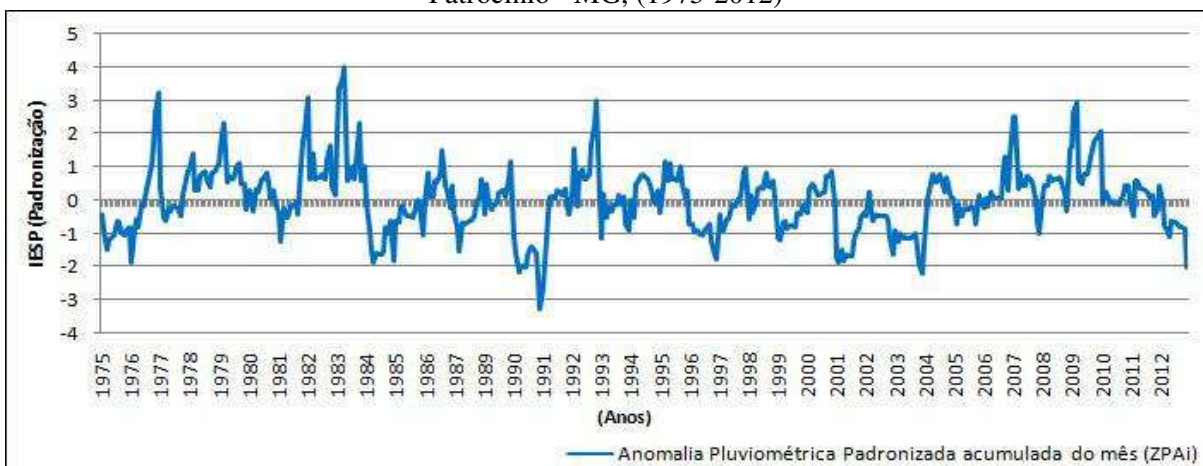
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 15 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Orizona - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 16 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Patrocínio - MG, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

5.2 Caracterização do regime fluviométrico

5.2.1 Análise de vazões médias, máximas e mínimas

As tabelas de 9 a 11 e os gráficos de 17 a 22, contendo informações sobre o regime fluviométrico, valores médios de vazões mensais e anuais, foram elaborados para facilitar a compreensão do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Para um melhor entendimento sobre a variável vazão são apresentadas na tabela 9, as respectivas médias fluviométricas mensais e anuais, do período de 1975 a 2012, para cada posto selecionado ao longo da bacia.

A dinâmica do regime fluviométrico acompanha o comportamento pluviométrico. Sendo que, durante a estação chuvosa de outubro a março, ocorre um aumento nos valores médios de vazão (28,4 a 88,1 m³/s), de outro modo, durante o período de estiagem, as médias tendem a diminuir (69,6 a 24,6 m³/s). Desta forma, pode-se dizer que a área de estudos possui um padrão de variabilidade intra-anual, onde ocorre um período de cheia seguido de um período de estiagem, o que demonstra a presença de sazonalidade na bacia.

As maiores médias mensais de vazão registradas ocorrem durante os meses de janeiro e fevereiro, em resposta ao acúmulo da precipitação, desde o início da estação chuvosa e ao próprio período de retardo. Em contrapartida, as menores médias fluviométricas ocorrem nos meses de julho a setembro.

Tabela 9 - Médias fluviométricas mensais e anuais dos postos estudados

Posto	Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
60110000	Abadia dos Dourados	60,2	51,1	44,2	31,2	22,1	17,0	13,5	10,5	9,6	12,6	21,5	42,1	28,0
60790000	Acreúna	224,1	253,1	258,5	208,5	139,9	119,2	97,4	81,8	76,5	86,2	123,2	186,0	154,5
60500000	Cristalina	105,7	112,2	104,6	84,0	55,1	41,2	32,6	27,1	26,1	33,6	54,3	83,9	63,3
60765000	Edéia	148,4	163,9	165,5	132,9	76,7	57,0	41,9	31,3	27,1	33,4	57,2	104,1	86,6
60150000	Estrela do Sul	24,2	24,1	21,8	16,7	12,9	11,0	9,3	7,7	7,4	8,5	12,1	18,2	14,5
60640000	Goiânia	36,7	39,9	41,0	31,8	20,6	15,8	12,3	9,8	9,3	12,9	19,4	29,5	23,3
60810000	Goiatuba	34,1	32,4	34,2	30,7	23,0	18,1	14,2	11,4	10,1	10,7	14,3	24,7	21,5
60250000	Ibiá	52,9	50,8	46,2	35,5	27,9	22,7	19,2	16,5	16,1	18,5	23,7	36,2	30,5
60950000	Itajá	149,8	155,7	159,3	136,2	110,8	95,9	87,2	82,2	84,5	89,1	102,9	125,5	114,9
60845000	Ituiutaba	176,4	175,4	163,1	126,1	85,8	70,4	59,4	49,2	47,8	59,8	84,2	131,9	102,5
60680000	Itumbiara	256,0	286,5	286,3	230,1	150,9	111,5	85,9	66,4	59,3	69,7	108,5	193,0	158,7
60895000	Jataí	34,3	36,8	39,9	34,4	27,0	23,2	19,6	17,2	17,0	18,6	23,8	28,9	26,7
60798000	Maurilândia	309,7	349,5	359,0	285,0	199,4	167,2	137,5	115,0	109,9	122,0	170,1	245,4	214,2
60910000	Mineiros	20,5	22,3	22,5	17,1	12,2	10,2	8,3	7,3	7,5	8,1	11,5	16,2	13,6
60130000	Monte Carmelo	3,9	4,2	3,5	2,7	2,1	1,7	1,3	1,0	0,8	0,9	1,3	2,3	2,1
60774000	Montividiu	33,3	35,4	37,2	30,0	21,0	17,2	14,2	11,9	11,2	12,0	15,5	24,6	22,0
60540000	Orizona	90,5	87,6	94,2	76,4	50,6	38,8	31,0	24,6	21,3	25,5	43,0	69,3	54,4
60750000	Paraúna	52,0	57,1	60,9	45,1	25,6	19,4	14,4	10,5	9,7	12,3	19,3	35,2	30,1
60010000	Patos de Minas	102,0	95,7	83,5	60,6	42,3	31,5	24,1	18,5	16,1	18,5	28,7	65,0	48,9
60100000	Patrocínio	4,6	4,4	3,8	2,8	1,8	1,5	1,1	1,0	0,9	1,2	1,7	2,8	2,3
60835000	Prata	51,6	52,2	45,6	31,6	21,0	20,3	16,6	14,3	14,4	16,7	23,6	39,3	28,9
60870000	Quirinópolis	43,2	40,8	43,0	30,2	21,8	18,7	15,8	14,2	14,3	16,1	22,6	32,3	26,1
60220000	Sacramento	59,4	48,8	43,2	30,7	22,0	17,6	14,2	12,2	12,6	15,7	23,2	39,8	28,3
60615000	Tupaciguara	5,2	4,8	4,5	3,4	2,7	2,5	2,2	2,0	2,2	2,6	3,2	4,8	3,3
60381000	Uberlândia	25,6	22,4	22,2	16,3	11,2	9,5	7,9	6,8	6,9	8,0	13,0	20,1	14,1
60715000	Varjão	90,9	102,1	102,1	79,5	47,9	35,8	27,2	21,1	19,7	24,0	37,7	64,2	54,4
Média		84,4	88,8	88,1	69,6	47,5	38,3	31,1	25,8	24,6	28,4	40,7	64,1	52,6
Máximo		309,7	349,5	359,0	285,0	199,4	167,2	137,5	115,0	109,9	122,0	170,1	245,4	214,2
Mínimo		3,9	4,2	3,5	2,7	1,8	1,5	1,1	1,0	0,8	0,9	1,3	2,3	2,1
Amplitude		305,8	345,3	355,4	282,4	197,5	165,7	136,3	114,1	109,1	121,1	168,8	243,1	212,0

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Os postos dos municípios goianos de Acreúna, Itumbiara e Maurilândia, localizados na porção central da bacia, apresentam os maiores valores médios anuais de vazão, sendo 154,5 m³/s, 158,7 m³/s e 214,2 m³/s, respectivamente. Já nos postos dos municípios mineiros de Monte Carmelo, Patrocínio e Tupaciguara, registram-se os menores valores médios anuais de vazão (2,1 m³/s, 2,3 m³/s e 3,3 m³/s).

Ao decorrer da variabilidade das vazões médias mensais, verifica-se que as maiores amplitudes de 345,3 m³/s e 355,4 m³/s são registradas nos meses de fevereiro e março. Estas

diferenças encontram-se entre as médias mensais de (349,5 m³/s e 359,0 m³/s) no posto de Maurilândia - (GO) a (4,2 m³/s e 3,5 m³/s) no posto de Monte Carmelo - (MG). Quando analisado os dados de todos os postos, a amplitude anual é de 212,0 m³/s, o menor valor de 2,1 m³/s ocorre em Monte Carmelo - (MG) e o maior valor de 214,2 m³/s ocorre em Maurilândia - (GO).

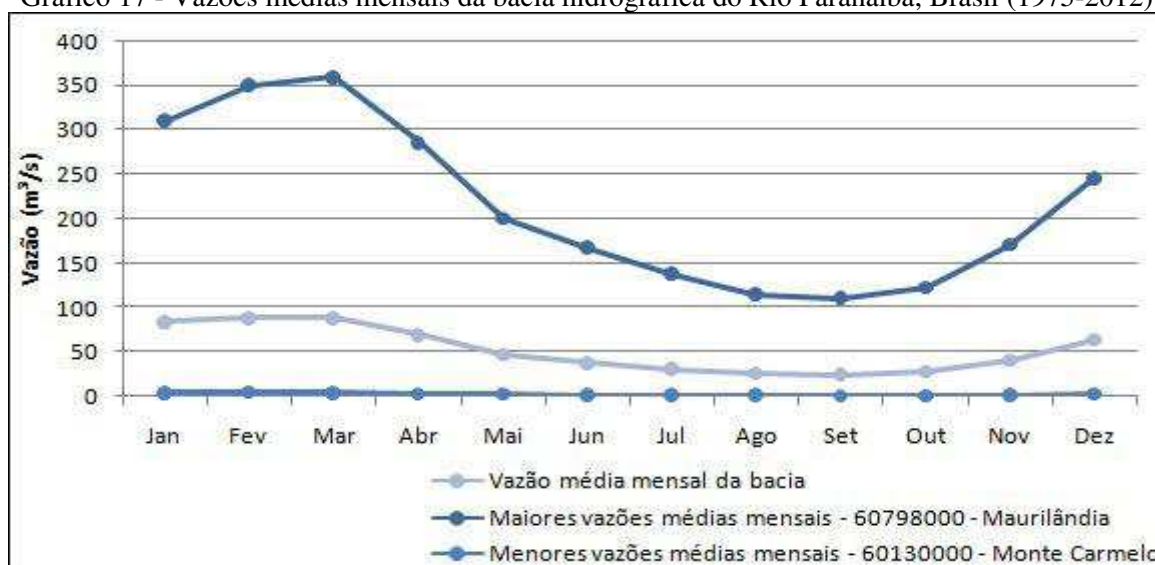
Objetivando ilustrar a irregularidade do comportamento das vazões médias na bacia, o gráfico 17 foi elaborado com os valores das médias mensais e, compreende os valores máximos, médios e mínimos, período 1975 a 2012.

A análise dos dados indicam que no trimestre de janeiro a março ocorrem as maiores médias mensais de vazão (84,4 m³/s a 88,1 m³/s), com redução a partir de abril. De modo contrário, o trimestre de menor volume escoado do ano, se estende de agosto a setembro com valores médios de até 24,6 m³/s. Em outubro, retorno da estação chuvosa, a vazão torna a aumentar, atingindo 64,1 m³/s.

Na bacia, o maior valor de vazão média mensal ocorre no posto de Maurilândia - (GO). O trimestre de maior escoamento em tal coincide com o intervalo de janeiro a março, sendo que este último mês apresentou a maior média do ano (359,0 m³/s), entre todas as estações, condizendo com o final da estação chuvosa. No trimestre de maior estiagem, de julho a setembro, o referido posto também apresenta valores médios (115,0 a 122,0 m³/s), bem superiores aos demais postos fluviométricos analisados.

As menores vazões médias mensais ocorrem no posto de Monte Carmelo - (MG). No trimestre de maior escoamento, janeiro a março, os valores registrados vão de 3,9 m³/s a 3,5 m³/s, sendo que fevereiro é o mês de maior vazão no ano (4,2 m³/s). No mês de agosto, dentro do período de estiagem, a vazão cai a 0,8 m³/s.

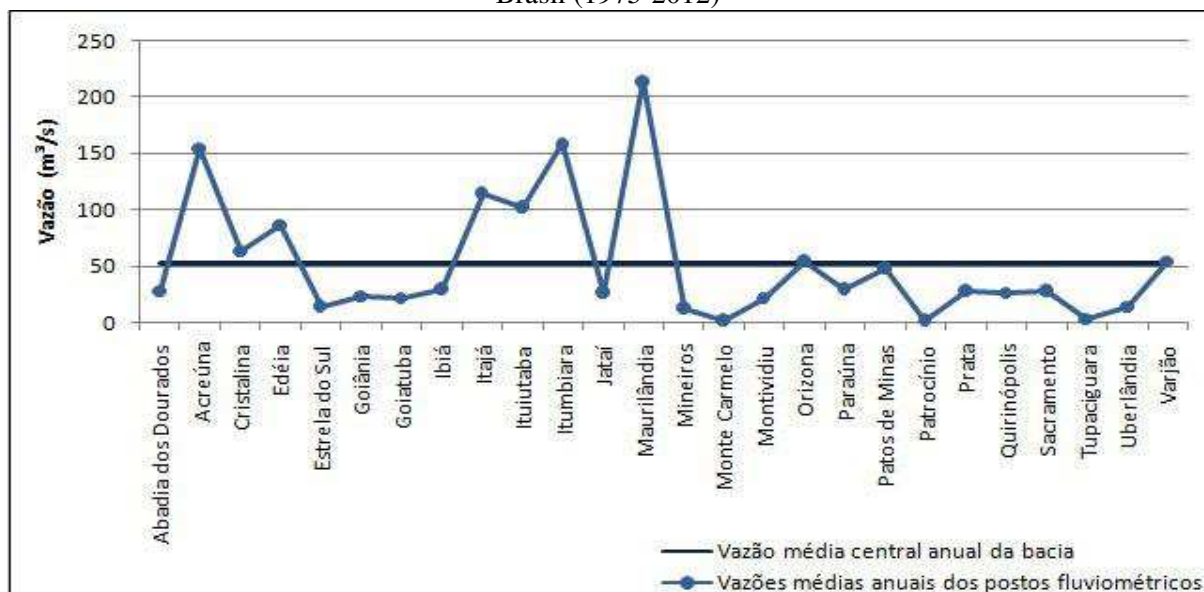
Gráfico 17 - Vazões médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

As vazões médias anuais da série histórica de (1975 a 2012) de todos os postos fluviométricos encontram-se no gráfico 18. A linha da vazão média central, com valor de 52,7 m³/s, é referência de leitura para os registros que se posicionam acima ou abaixo da média. Destes, 17 postos: Abadia dos Dourados - (MG), Estrela do Sul - (MG), Goiânia - (GO), Goiatuba - (GO), Ibiá - (MG), Jataí - (GO), Mineiros - (GO), Monte Carmelo - (MG), Montividiu - (GO), Paraúna - (GO), Patos de Minas - (MG), Patrocínio - (MG), Prata - (MG), Quirinópolis - (GO), Sacramento - (MG), Tupaciguara - (MG) e Uberlândia - (MG), possuem valores anuais médios de vazão abaixo da média central, variando de 2,1 m³/s em Monte Carmelo a 48,9 m³/s em Patos de Minas. Enquanto que 9 postos: Acreúna - (GO), Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Itajá - (GO), Ituiutaba - (MG), Itumbiara - (GO), Maurilândia - (GO), Orizona - (GO) e Varjão - (GO), possuem valores anuais médios de vazão acima da média central, oscilando de 54,4 m³/s em Orizona e Varjão a 214,2 m³/s em Maurilândia.

Gráfico 18 - Vazões médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Ainda com o intuito de auxiliar na compreensão do comportamento hidrológico da bacia, realizou-se a análise das vazões máximas e mínimas, garantindo a percepção das condições de inundação e os períodos críticos em consequência da escassez hídrica.

No que diz respeito aos dados de vazões máximas, ao observar a tabela 10 é possível verificar que a média geral anual fluviométrica dos postos analisados é de 88,7 m³/s, com amplitude de 311,0 m³/s, onde o mínimo de 5,4 m³/s foi registrado no posto de Monte Carmelo - (MG) e, o máximo de 316,4 m³/s registrado no posto de Maurilândia - (GO).

Tabela 10 - Vazões máximas médias mensais e anuais dos postos estudados

Posto	Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1847003	Abadia dos Dourados	208,9	150,0	115,1	79,7	40,2	25,2	18,6	15,9	25,4	55,3	97,3	171,3	83,6
1750003	Acreúna	380,1	375,3	411,1	326,4	179,6	148,9	112,4	95,7	99,8	123,7	217,4	314,8	232,1
1647002	Cristalina	203,6	209,7	193,4	133,4	74,4	50,4	40,8	38,0	39,2	59,2	98,3	160,9	108,4
1750000	Edéia	217,5	223,2	225,0	188,6	101,8	69,2	48,4	37,6	34,9	50,6	99,5	158,1	121,2
1847001	Estrela do Sul	80,3	80,4	61,4	34,3	21,4	14,6	11,6	10,0	12,1	17,4	34,1	63,2	36,7
1649013	Goiânia	67,8	68,5	76,3	59,2	30,9	20,7	14,8	13,5	15,4	27,8	42,3	55,8	41,1
1850001	Goiatuba	77,5	63,2	70,2	58,7	30,7	23,6	17,1	14,7	16,5	20,8	36,7	54,5	40,3
1946004	Ibiá	121,2	122,2	89,2	62,7	42,6	28,5	23,4	19,5	27,2	49,4	68,1	103,7	63,2
1951001	Itajá	213,7	218,8	213,7	183,0	136,4	113,4	97,8	94,1	107,7	117,0	145,4	183,9	152,1
1949006	Ituiutaba	341,3	365,7	341,6	243,2	130,1	97,2	73,0	71,4	74,1	124,0	166,8	288,2	193,1
1849016	Itumbiara	433,2	433,0	447,8	359,0	194,8	134,7	98,3	81,5	79,6	115,4	202,6	339,3	243,3
1751001	Jataí	59,0	56,4	61,5	48,8	34,8	28,1	22,9	20,4	22,5	27,5	39,0	50,0	39,2
1850003	Maurilândia	510,9	560,3	569,6	435,5	249,6	205,4	156,0	134,6	133,5	167,6	269,6	404,6	316,4
1752003	Mineiros	54,7	61,9	58,5	39,2	21,7	14,9	10,7	9,8	15,1	20,5	38,1	46,3	32,6
1847000	Monte Carmelo	13,0	11,3	9,0	5,7	3,0	2,1	1,7	1,4	1,5	2,5	5,0	9,0	5,4
1751004	Montividiu	68,5	71,8	75,8	54,0	27,9	23,2	17,0	14,4	15,4	20,8	33,3	54,4	39,7
1748005	Orizona	176,9	150,9	173,0	134,1	64,7	45,3	36,0	30,4	31,7	51,4	95,6	155,8	95,5
1750001	Paraúna	105,8	101,2	102,8	73,8	34,0	24,0	16,5	12,6	13,5	20,9	35,4	61,7	50,2
1846007	Patos de Minas	196,3	174,9	147,3	101,8	57,3	40,3	29,6	23,7	25,8	43,7	66,0	149,1	88,0
1946005	Patrocínio	17,1	13,2	13,8	4,8	2,9	1,8	1,4	1,2	2,0	6,2	6,3	11,8	6,9
1949002	Prata	117,9	112,0	85,7	59,3	37,8	23,3	17,5	15,7	17,3	26,6	40,1	88,9	53,5
1850002	Quirinópolis	134,0	109,8	100,7	61,9	34,9	26,6	19,0	19,4	23,3	33,5	56,5	108,0	60,6
2047037	Sacramento	201,2	141,0	117,2	73,3	35,2	25,3	17,8	18,0	27,8	52,9	81,4	132,6	77,0
1848004	Tupaciguara	22,2	15,0	12,4	6,9	4,3	3,5	2,6	2,6	3,8	4,9	9,8	15,5	8,6
1948006	Uberlândia	62,1	51,4	42,9	30,8	18,3	14,2	10,8	9,6	11,2	14,9	29,8	46,1	28,5
1749001	Varjão	165,9	164,3	172,8	134,1	65,4	45,3	32,0	25,5	27,9	42,0	77,6	123,1	89,7
Média		163,5	157,9	153,4	115,1	64,4	48,1	36,4	32,0	34,8	49,9	80,5	128,9	88,7
Máximo		510,9	560,3	569,6	435,5	249,6	205,4	156,0	134,6	133,5	167,6	269,6	404,6	316,4
Mínimo		13,0	11,3	9,0	4,8	2,9	1,8	1,4	1,2	1,5	2,5	5,0	9,0	5,4
Amplitude		497,9	549,0	560,6	430,7	246,6	203,6	154,7	133,3	132,0	165,0	264,6	395,6	311,0

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

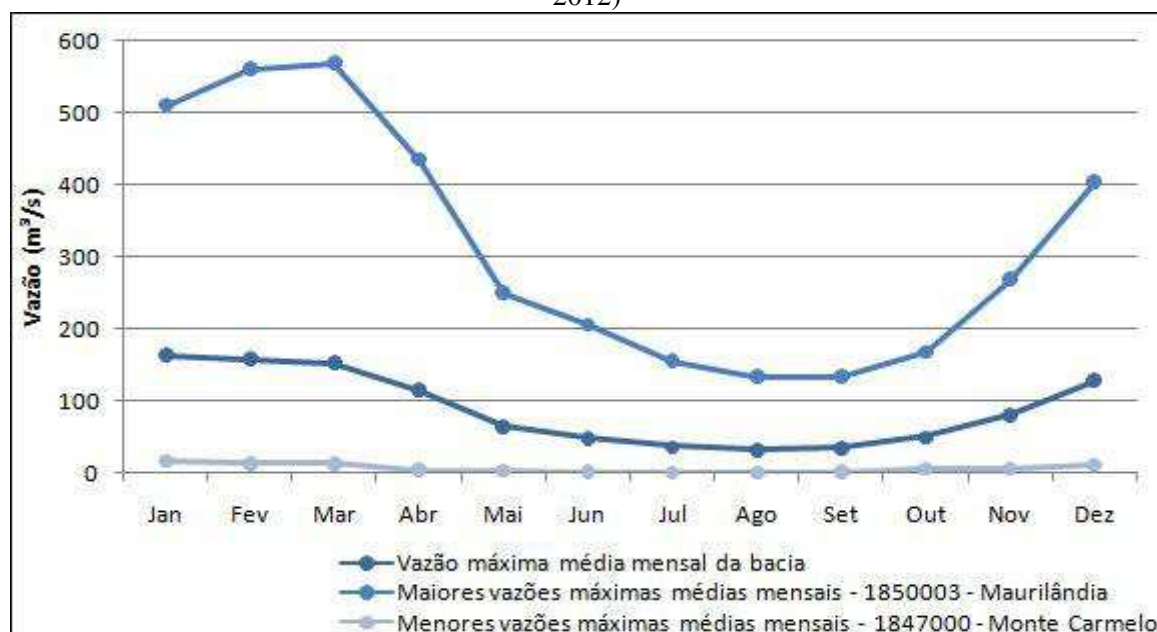
Os maiores picos de vazões ocorreram de janeiro a março (163,5 m³/s a 153,4 m³/s), tais picos quando comparados ao regime pluviométrico, estão associados aos meses mais chuvosos. Já os menores valores de vazões máximas registradas, de 32,0 m³/s a 49,9 m³/s, aconteceram durante o período crítico de estiagem de julho a setembro.

As altas amplitudes entre as vazões registradas ao decorrer do ano, devem-se ao comportamento geral da bacia que apresenta rios com velocidade de escoamento bem

elevadas, verificado nos postos dos municípios de Acreúna - (GO), Ituiutaba - (MG), Itumbiara - (GO) e Maurilândia - (GO), como também rios com volume médio mensal bem abaixo das demais áreas quando contrapostas, como os postos de Monte Carmelo - (MG), Patrocínio - (MG) e Tupaciguara - (MG).

O gráfico 19, auxilia no entendimento geral do comportamento hidrológico, onde são plotados os valores de vazões máximas médias mensais, maiores e menores valores.

Gráfico 19 - Vazões máximas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

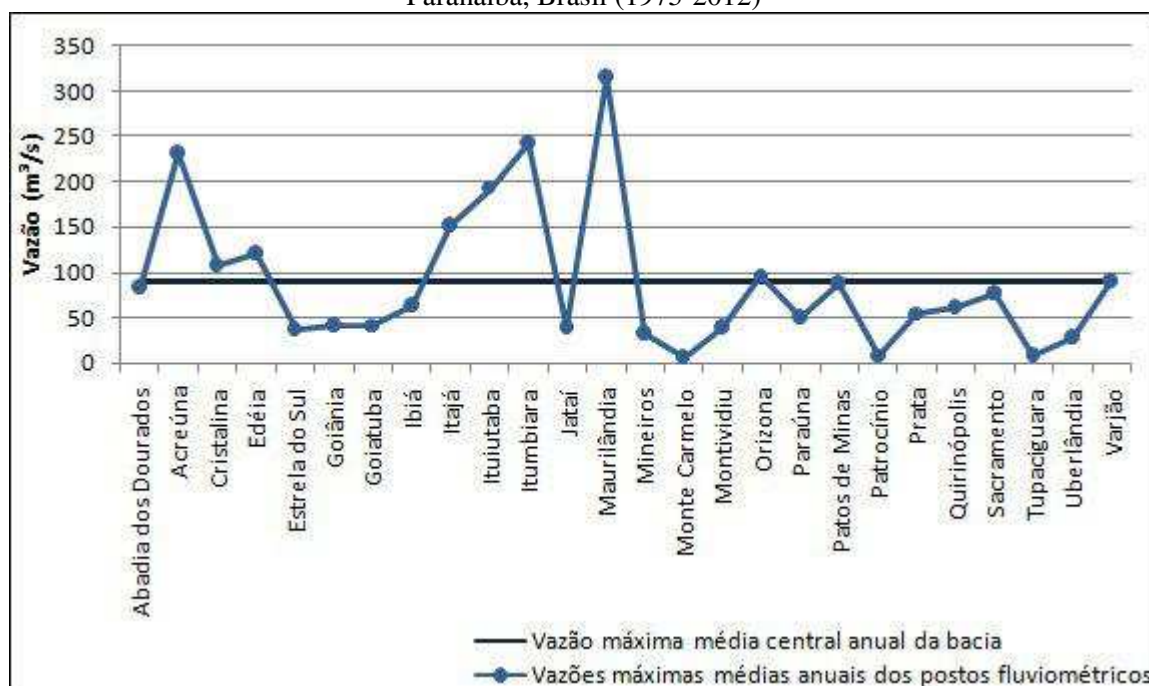
Analisando as vazões máximas médias mensais constata-se que, de outubro a março, os picos máximos tendem a aumentar, com seu auge em janeiro ($163,5 \text{ m}^3/\text{s}$). De abril a setembro, os valores médios diminuem, com o menor valor ocorrendo em agosto ($34,8 \text{ m}^3/\text{s}$). No final do mês de setembro, início das chuvas, percebe-se que os primeiros eventos pluviométricos repercutem no aumento de vazão, e o valor sobe para $49,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Entre os postos, as maiores vazões máximas registradas são verificadas na estação de Maurilândia - (GO), mesmo comportamento quando da análise das vazões médias mensais. O maior pico máximo de vazão registrado de 569,6 m³/s foi no mês de março, já o menor pico máximo de vazão de 133,3 m³/s, foi em setembro.

Sobre as vazões máximas, menores valores, os mesmos ocorrem no posto do município de Monte Carmelo - (MG), mesmo comportamento quando da análise das vazões médias mensais. O maior pico da vazão máxima com valor de 13,0 m³/s, ocorre no mês de janeiro e o menor pico máximo de vazão de 1,4 m³/s ocorre em agosto.

No gráfico 20, é possível observar o comportamento das vazões máximas médias anuais entre o período de 1975 a 2012 para cada posto fluviométrico. A linha central do gráfico, corresponde a média da vazão máxima média anual (88,7 m³/s), referência de análise. Do total, 18 postos: Abadia dos Dourados - (MG), Estrela do Sul - (MG), Goiânia - (GO), Goiatuba - (GO), Ibiá - (MG), Jataí - (GO), Mineiros - (GO), Monte Carmelo - (MG), Montividiu - (GO), Orizona - (GO), Paraúna - (GO), Patos de Minas - (MG), Patrocínio - (MG), Prata - (MG), Quirinópolis - (GO), Sacramento - (MG), Tupaciguara - (MG) e Uberlândia - (MG), possuem valores anuais médios máximos de vazão abaixo da média central, variando de 5,4 m³/s em Monte Carmelo a 88,0 m³/s em Patos de Minas. Em contrapartida, 8 postos: Acreúna - (GO), Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Itajá - (GO), Ituiutaba - (MG), Itumbiara - (GO), Maurilândia - (GO) e Varjão - (GO), apresentam valores anuais médios de vazão máxima acima da média central, oscilando de 89,7 m³/s em Varjão a 316,4 m³/s em Maurilândia.

Gráfico 20 - Vazões máximas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

A partir da tabela 11 e dos gráficos 21 e 22, encontram-se a disposição do comportamento das vazões mínimas. A tabela 11 apresenta as vazões mínimas médias mensais e anuais (1975 a 2012) dos postos fluviométricos.

Com relação às vazões mínimas, os maiores valores ocorrem de setembro a março, variando de 19,8 m³/s a 58,5 m³/s, enquanto que os menores valores foram notados nos meses de abril a agosto, com valores de 49,9 a 22,6 m³/s.

A média geral anual das vazões mínimas é de 36,4 m³/s, com uma amplitude entre as médias de 156,8 m³/s. O menor valor de 1,3 m³/s foi registrado no posto de Patrocínio - (MG) e o maior de 158,1 m³/s foi registrado no posto de Maurilândia - (GO).

A variabilidade entre as médias das vazões mínimas é verificada entre estações que apresentam valores superiores de vazões mínimas, como os de Acreúna - (GO), Itumbiara - (GO) e Maurilândia - (GO), com médias anuais de 111,3 m³/s, 109,7 m³/s e 158,1 m³/s, a

estações com valores expressivamente inferiores como é o caso de Monte Carmelo - (MG), Patrocínio - (MG) e Tupaciguara - (MG), com médias anuais de 1,4 m³/s, 1,3 m³/s e 2,2 m³/s.

Tabela 11 - Vazões mínimas médias mensais e anuais dos postos estudados

Posto	Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1847003	Abadia dos Dourados	21,8	25,3	27,1	22,7	17,9	14,7	11,4	8,4	6,6	6,3	7,4	13,7	15,3
1750003	Acreúna	138,9	165,5	172,8	147,0	120,9	103,6	86,5	72,8	65,2	65,5	79,1	118,1	111,3
1647002	Cristalina	60,4	65,4	66,0	58,4	40,8	32,8	25,2	20,5	18,6	19,0	29,9	48,2	40,4
1750000	Edéia	94,1	114,2	120,0	92,4	61,3	48,0	35,5	25,6	22,2	22,5	31,5	61,1	60,7
1847001	Estrela do Sul	12,6	14,0	14,3	12,4	10,7	9,6	8,1	6,5	5,8	5,6	6,5	9,3	9,6
1649013	Goiânia	19,2	24,0	23,7	20,7	17,0	13,3	10,3	8,1	7,0	7,0	9,3	15,5	14,6
1850001	Goiatuba	18,8	23,0	25,0	23,4	19,1	15,9	12,5	9,7	8,1	7,7	8,3	13,1	15,4
1946004	Ibiá	26,8	31,0	31,5	28,1	23,0	19,9	16,9	14,7	13,2	12,6	14,3	19,1	20,9
1951001	Itajá	113,4	119,1	125,4	111,9	94,0	87,9	79,9	73,9	72,7	75,6	83,7	96,5	94,5
1949006	Ituiutaba	97,8	99,0	92,6	80,1	65,1	56,9	49,1	40,0	34,5	35,9	45,0	70,2	63,9
1849016	Itumbiara	153,5	185,3	195,9	164,6	125,5	96,0	74,6	55,6	45,9	43,2	64,3	111,8	109,7
1751001	Jataí	24,0	26,6	29,6	26,8	23,4	21,0	17,8	15,1	14,1	14,2	17,1	20,8	20,9
1850003	Maurilândia	196,4	238,2	246,9	210,6	171,3	147,2	122,5	104,1	92,9	94,1	111,6	161,5	158,1
1752003	Mineiros	10,9	12,5	13,4	12,1	9,9	8,7	7,4	6,3	6,1	5,9	6,7	8,8	9,1
1847000	Monte Carmelo	1,9	2,6	2,5	2,1	1,7	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5	0,6	1,1	1,4
1751004	Montividiu	19,5	23,3	24,5	22,5	18,1	15,1	12,6	10,6	9,7	9,4	10,4	15,0	15,9
1748005	Orizona	53,6	58,6	61,7	55,6	43,2	34,5	27,4	21,3	17,5	16,0	22,2	37,5	37,4
1750001	Paraúna	25,9	36,1	36,9	29,6	20,8	16,3	12,3	8,6	7,3	7,4	10,0	17,3	19,0
1846007	Patos de Minas	49,6	55,7	55,5	46,2	35,4	27,2	20,5	15,5	12,7	11,7	14,6	26,4	30,9
1946005	Patrocínio	1,8	2,4	2,1	1,8	1,6	1,2	1,0	0,8	0,7	0,7	0,9	1,1	1,3
1949002	Prata	23,8	26,4	25,6	20,3	16,2	13,9	15,1	12,7	11,5	11,9	12,6	18,9	17,4
1850002	Quirinópolis	21,4	22,8	24,1	20,9	18,5	16,7	14,3	12,5	11,6	11,3	12,3	16,6	16,9
2047037	Sacramento	24,2	25,8	24,6	21,4	17,3	14,6	12,4	10,4	9,5	9,3	11,2	16,3	16,4
1848004	Tupaciguara	2,5	2,7	2,7	2,5	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,7	1,9	2,4	2,2
1948006	Uberlândia	11,3	11,6	11,8	9,9	7,8	7,0	5,9	4,7	4,4	4,7	6,0	9,8	7,9
1749001	Varjão	48,8	58,6	63,9	53,5	39,5	30,9	23,7	18,3	15,7	15,4	19,7	32,1	35,0
Média		49,0	56,5	58,5	49,9	39,3	32,9	27,1	22,3	19,8	19,8	24,5	37,0	36,4
Máximo		196,4	238,2	246,9	210,6	171,3	147,2	122,5	104,1	92,9	94,1	111,6	161,5	158,1
Mínimo		1,8	2,4	2,1	1,8	1,6	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,6	1,1	1,3
Amplitude		194,6	235,8	244,8	208,7	169,7	146,0	121,5	103,3	92,3	93,5	111,0	160,4	156,8

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

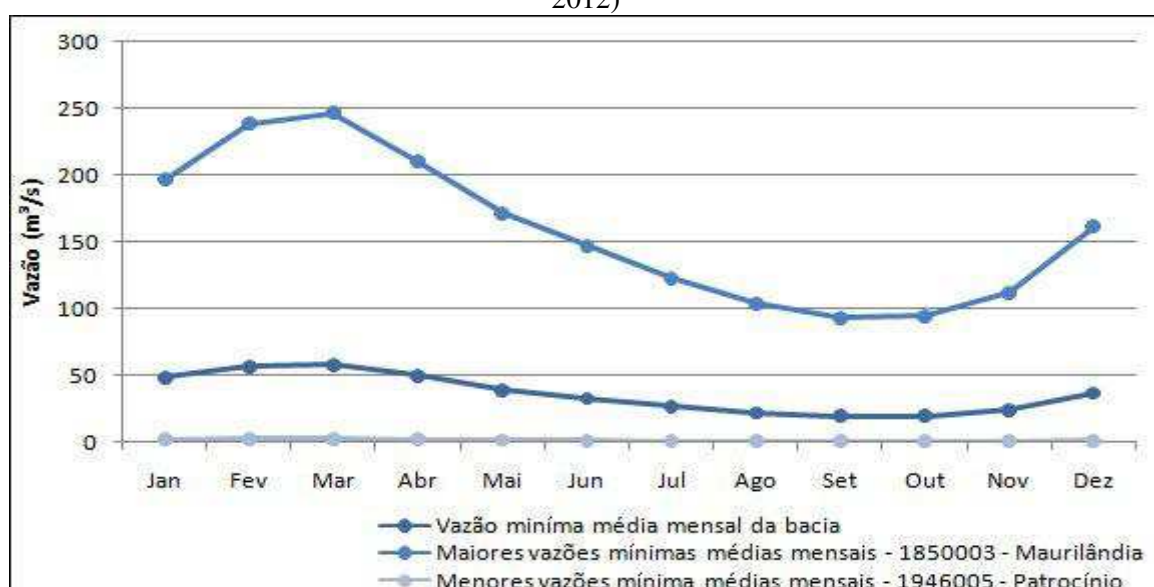
O comportamento geral das vazões mínimas na bacia, está representado no gráfico 21 com valores de vazões mínimas médias, maiores e menores.

Para as vazões mínimas médias mensais, a média é de 58,5 m³/s. Verificou-se que de outubro a março ocorre um aumento nos valores das mínimas, tendo seu auge em março. De abril a setembro, os valores médios das mínimas diminuem progressivamente, sendo setembro o mês onde ocorre os menores valores, 19,8 m³/s.

Comparativamente, com relação as maiores vazões mínimas registradas destaca-se o posto do município de Maurilândia - (GO), que segue aquele mesmo comportamento observado quando da análise das vazões médias e máximas mensais. O maior valor de vazão mínima, 246,9 m³/s, foi registrado no mês de março, enquanto que o menor valor de vazão mínima, 92 m³/s, foi em setembro.

As menores vazões mínimas ocorrem no posto de Patrocínio - (MG). Neste caso, o maior valor de vazão mínima, 2,4 m³/s, ocorre de fevereiro e, o menor valor da mínima, 0,7 m³/s, ocorre em setembro e outubro.

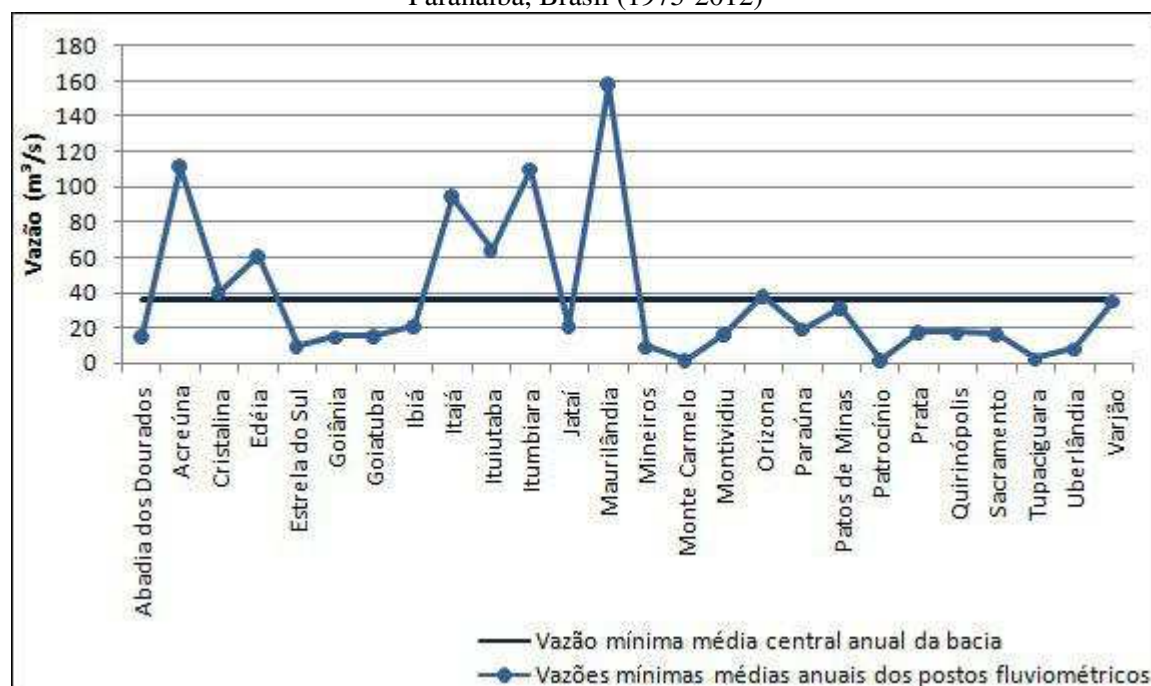
Gráfico 21 - Vazões mínimas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Por fim, o gráfico 22 apresenta as vazões mínimas médias anuais determinadas entre o intervalo de 1975 a 2012, de acordo com cada posto fluviométrico selecionado na bacia. A linha central da vazão mínima média anual é de 36,4 m³/s, esta é a referência de análise. Do total, 18 postos: Abadia dos Dourados - (MG), Estrela do Sul - (MG), Goiânia - (GO), Goiatuba - (GO), Ibiá - (MG), Jataí - (GO), Mineiros - (GO), Monte Carmelo - (MG), Montividiu - (GO), Paraúna - (GO), Patos de Minas - (MG), Patrocínio - (MG), Prata - (MG), Quirinópolis - (GO), Sacramento - (MG), Tupaciguara - (MG), Uberlândia - (MG) e Varjão - (GO) tiveram valores anuais médios mínimos de vazão abaixo da média central, variando de 1,3 m³/s em Patrocínio a 35,0 m³/s em Varjão. De outro modo, 8 postos: Acreúna - (GO), Cristalina - (MG), Edéia - (GO), Itajá - (GO), Ituiutaba - (MG), Itumbiara - (GO), Maurilândia - (GO) e Orizona - (GO), registraram valores anuais médios de vazão mínima acima da média central, oscilando de 37,4 m³/s em Orizona a 158,1 m³/s em Maurilândia.

Gráfico 22 - Vazões mínimas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

5.2.2 Análise de vazões específicas médias, máximas e mínimas

As vazões específicas permitem a avaliação da produção hídrica da bacia, estas foram calculadas sobre as vazões médias mensais e anuais do período analisado (1975 - 2012).

Na tabela 12 estão representados os valores das médias específicas mensais de vazão ao longo da série histórica de estudo. A média geral anual de vazões específicas, para a bacia, foi de $0,018 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Percebe-se, que os valores de vazões específicas médios tendem a aumentar progressivamente de outubro a abril, variando de $0,010 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,022 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Sendo que os maiores picos ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro com $0,030 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, cada. Esse período coincide com a estação chuvosa, onde o acumulado de precipitação alcança média de 191,5 mm. Ainda em abril esta variável registra valores médios altos de vazão específica mensal, com uma média de $0,022 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Nos meses de maio a junho, constata-se que as vazões específicas médias mensais reduzem consideravelmente para $0,016 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, respectivamente. Este comportamento é reflexo da influência do início da estiagem, onde o escoamento fluvial é restrito ao fluxo basal. Em julho, a vazão específica atinge $0,010 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Somente em outubro, esse mesmo valor volta a ser registrado, mês este, que marca o início da estação chuvosa.

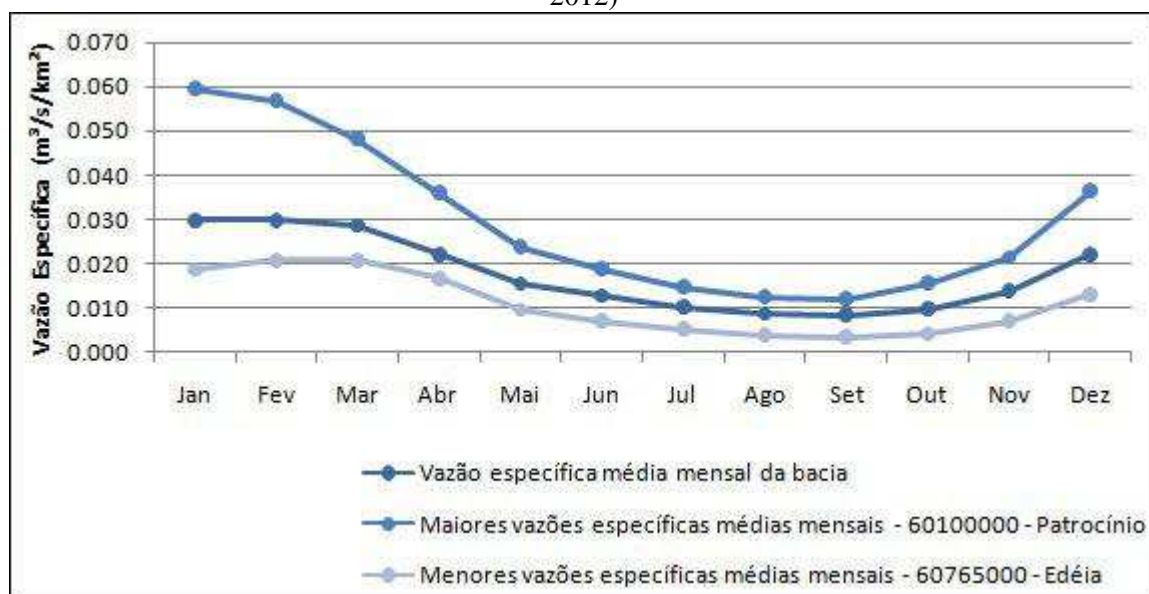
Tabela 12 - Médias fluviométricas específicas mensais e anuais dos postos estudados

Posto	Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
60110000	Abadia dos Dourados	0,031	0,026	0,023	0,016	0,011	0,009	0,007	0,005	0,005	0,006	0,011	0,022	0,014
60790000	Acreúna	0,026	0,029	0,030	0,024	0,016	0,014	0,011	0,009	0,009	0,010	0,014	0,021	0,018
60500000	Cristalina	0,026	0,027	0,025	0,020	0,013	0,010	0,008	0,007	0,006	0,008	0,013	0,020	0,015
60765000	Edéia	0,019	0,021	0,021	0,017	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	0,004	0,007	0,013	0,011
60150000	Estrela do Sul	0,028	0,028	0,025	0,019	0,015	0,013	0,011	0,009	0,009	0,010	0,014	0,021	0,017
60640000	Goiânia	0,021	0,023	0,024	0,018	0,012	0,009	0,007	0,006	0,005	0,007	0,011	0,017	0,013
60810000	Goiatuba	0,025	0,024	0,025	0,023	0,017	0,013	0,010	0,008	0,007	0,008	0,010	0,018	0,016
60250000	Ibiá	0,041	0,039	0,036	0,027	0,021	0,017	0,015	0,013	0,012	0,014	0,018	0,028	0,023
60950000	Itajá	0,029	0,030	0,031	0,026	0,021	0,018	0,017	0,016	0,016	0,017	0,020	0,024	0,022
60845000	Ituiutaba	0,028	0,028	0,026	0,020	0,014	0,011	0,009	0,008	0,008	0,009	0,013	0,021	0,016
60680000	Itumbiara	0,022	0,025	0,025	0,020	0,013	0,010	0,007	0,006	0,005	0,006	0,009	0,017	0,014
60895000	Jataí	0,027	0,029	0,031	0,027	0,021	0,018	0,015	0,013	0,013	0,015	0,019	0,023	0,021
60798000	Maurilândia	0,024	0,027	0,028	0,022	0,016	0,013	0,011	0,009	0,009	0,010	0,013	0,019	0,017
60910000	Mineiros	0,032	0,035	0,035	0,027	0,019	0,016	0,013	0,011	0,012	0,013	0,018	0,025	0,021
60130000	Monte Carmelo	0,030	0,032	0,027	0,021	0,016	0,013	0,010	0,008	0,006	0,006	0,010	0,018	0,016
60774000	Montividiu	0,033	0,035	0,036	0,029	0,021	0,017	0,014	0,012	0,011	0,012	0,015	0,024	0,022
60540000	Orizona	0,025	0,024	0,026	0,021	0,014	0,011	0,008	0,007	0,006	0,007	0,012	0,019	0,015
60750000	Paraúna	0,020	0,022	0,023	0,017	0,010	0,007	0,005	0,004	0,004	0,005	0,007	0,013	0,011
60010000	Patos de Minas	0,037	0,035	0,031	0,022	0,016	0,012	0,009	0,007	0,006	0,007	0,011	0,024	0,018
60100000	Patrocínio	0,060	0,057	0,048	0,036	0,024	0,019	0,015	0,012	0,012	0,016	0,021	0,036	0,030
60835000	Prata	0,034	0,035	0,030	0,021	0,014	0,013	0,011	0,009	0,010	0,011	0,016	0,026	0,019
60870000	Quirinópolis	0,027	0,025	0,026	0,019	0,013	0,011	0,010	0,009	0,009	0,010	0,014	0,024	0,016
60220000	Sacramento	0,055	0,046	0,040	0,029	0,021	0,016	0,013	0,011	0,012	0,015	0,022	0,037	0,026
60615000	Tupaciguara	0,027	0,025	0,023	0,017	0,014	0,013	0,011	0,010	0,011	0,013	0,016	0,025	0,017
60381000	Uberlândia	0,033	0,029	0,029	0,021	0,014	0,012	0,010	0,009	0,009	0,010	0,017	0,026	0,018
60715000	Varjão	0,020	0,022	0,022	0,017	0,010	0,008	0,006	0,005	0,004	0,005	0,008	0,014	0,012
Média		0,030	0,030	0,029	0,022	0,016	0,013	0,010	0,009	0,008	0,010	0,014	0,022	0,018
Máximo		0,060	0,057	0,048	0,036	0,024	0,019	0,017	0,016	0,016	0,017	0,022	0,037	0,030
Mínimo		0,019	0,021	0,021	0,016	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	0,004	0,007	0,013	0,011
Amplitude		0,041	0,036	0,027	0,020	0,014	0,012	0,011	0,012	0,013	0,013	0,014	0,024	0,019

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Visando facilitar a compreensão do comportamento de vazão específica, o gráfico 23 traz de modo comparativo os registros médios mensais de vazões específicas e os de valores máximo e os de mínimos.

Gráfico 23 - Vazões específicas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Com referência às vazões específicas médias mensais, os maiores valores registrados ocorrem no trimestre de janeiro a março ($0,030 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,029 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). Já o trimestre com menores volumes, de julho a setembro ($0,010 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$), indicando a redução da incidência das chuvas.

Entre os postos fluviométricos, as maiores vazões específicas médias mensais ocorrem no posto de Patrocínio - (MG), com média anual de $0,030 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. O trimestre de maior vazão, também está entre o intervalo de janeiro a março, onde o maior valor médio de vazão específica mensal está em março, com $0,048 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. O trimestre com os menores registros de vazão específica média mensal compreende os meses de julho a agosto, sendo que agosto apresenta o menor valor, $0,012 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Já as menores vazões específicas médias mensais ocorrem no posto de Edéia - (GO). Mesmo que as médias de precipitações mensais sejam relativamente altas em tal, entretanto, quanto se determina as vazões específicas para esta área, percebe-se que o tamanho da área de drenagem desta sub-bacia é o maior (7.890 km^2), gerando pouco volume de vazão específica média

mensal. O trimestre de maior vazão específica média mensal - de janeiro a março - apresenta valores de 0,019 m³/s/km² a 0,021 m³/s/km². Sobre o trimestre de menor escoamento fluvial do ano, este vai de julho a setembro, com valores de 0,005 m³/s/km² a 0,003 m³/s/km², chegando a atingir 0,003 m³/s/km² em setembro.

Quanto ao comportamento das vazões específicas médias mensais, também foi determinado os coeficientes de variação (CVs) para cada mês. Este processo visou identificar o comportamento de maior ou menor homogeneidade no decorrer do ano em relação ao escoamento e a produção hídrica da bacia. Neste sentido, a tabela 13 sumariza os CVs das médias mensais totais de vazão específica (1975-2012).

Tabela 13 - Valores de dispersão entre as médias específicas mensais totais (1975-2012) dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

Meses	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Coeficiente de Variação (%)
Jan	0,030	0,010	0,33	33
Fev	0,030	0,008	0,27	27
Mar	0,029	0,007	0,24	24
Abr	0,022	0,005	0,22	22
Mai	0,016	0,004	0,25	25
Jun	0,013	0,004	0,28	28
Jul	0,010	0,003	0,30	30
Ago	0,009	0,003	0,38	38
Set	0,008	0,003	0,39	39
Out	0,010	0,004	0,37	37
Nov	0,014	0,004	0,30	30
Dez	0,022	0,006	0,27	27

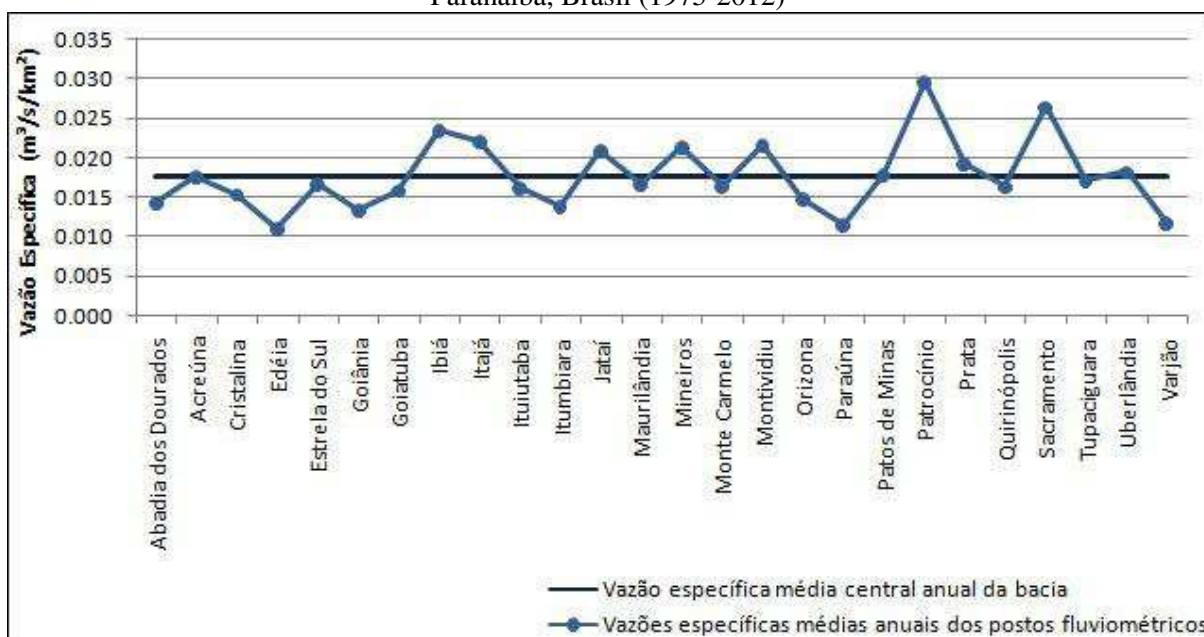
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Analisando a tabela 13 constata-se que as maiores dispersões médias mensais de vazões específicas referem-se aos meses do final do período da estiagem e início da estação chuvosa, entre agosto a outubro, onde os CVs representaram 38%, 39% e 37% da média, respectivamente nesta ordem, o que demonstra uma menor homogeneidade das distribuições de valores nos referidos meses, e por conseguinte, a variabilidade na produção hídrica,

quando comparados todos os postos. É importante, ressaltar que janeiro, sinalizou um CV de 33% em relação a sua média, fato este que pode ser atribuído à disparidade dos períodos de retorno e do acumulado total de chuvas. As menores dispersões médias mensais de vazões específicas (24%, 22% e 25%) estão relacionadas aos meses de março a maio, respectivamente, final da estação chuvosa. Estes valores de CVs denotam uma maior homogeneidade entre os comportamentos de vazões destas estações. A produção hídrica neste período vai perdendo a influência, de maneira progressiva, diante da intensidade das chuvas.

As vazões específicas médias anuais de 1975 a 2012 estão plotadas no gráfico 24, onde a linha de vazão específica média central anual da área de estudos com valor de $0,018 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, serve de referência para a análise das médias gerais que se posicionam em setores superiores ou inferiores a esta linha. Do total, 15 postos: Abadia dos Dourados - (MG), Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Estrela do Sul - (MG), Goiânia - (GO), Goiatuba - (GO), Ituiutaba - (MG), Itumbiara - (GO), Maurilândia - (GO), Monte Carmelo - (MG), Orizona - (GO), Paraúna - (GO), Quirinópolis - (GO), Tupaciguara - (MG) e Varjão - (GO), possuem valores anuais médios de vazão específica abaixo da média central e, variam de $0,011 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em Edéia e Paraúna a $0,017 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em Estrela do Sul, Maurilândia e Tupaciguara. De outro modo, 11 postos: Acreúna - (GO), Ibiá - (MG), Itajá - (GO), Jataí - (GO), Mineiros - (GO), Montividiu - (GO), Patos de Minas - (MG), Patrocínio - (MG), Prata - (MG), Sacramento - (MG) e Uberlândia - (MG), sinalizaram valores anuais médios iguais ou acima da média central, oscilando de $0,018 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em Acreúna, Patos de Minas e Uberlândia a $0,030 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em Patrocínio.

Gráfico 24 - Vazões específicas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

A seguir, diante da tabela 14 e 15 e gráficos 25 e 26, foram realizadas análises sobre o comportamento de resposta das vazões específicas máximas e mínimas médias mensais, com o mesmo enfoque de compreender a dinâmica de produção hídrica da bacia de estudo.

Na tabela 14 estão sumariados os valores das vazões máximas específicas médias mensais e anuais (1975 - 2012). A média geral anual da bacia foi de 0,036 m³/s/km². Sendo que, a amplitude foi de 0,073 m³/s/km², com uma variação de 0,015 m³/s/km² no posto de Edéia - (GO) a 0,088 m³/s/km² no posto de Patrocínio - (MG).

Tabela 14 - Vazões Máximas específicas médias mensais e anuais dos postos estudados

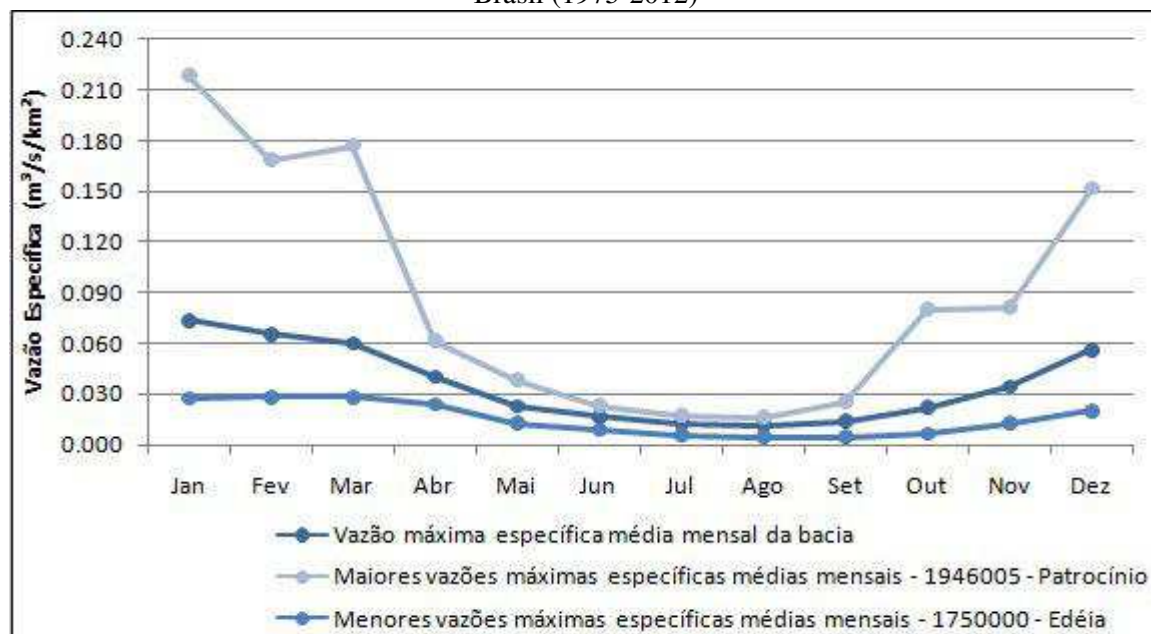
Posto	Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1847003	Abadia dos Dourados	0,107	0,077	0,059	0,041	0,021	0,013	0,010	0,008	0,013	0,028	0,050	0,088	0,043
1750003	Acreúna	0,043	0,043	0,047	0,037	0,021	0,017	0,013	0,011	0,011	0,014	0,025	0,036	0,027
1647002	Cristalina	0,049	0,051	0,047	0,032	0,018	0,012	0,010	0,009	0,009	0,014	0,024	0,039	0,026
1750000	Edéia	0,028	0,028	0,029	0,024	0,013	0,009	0,006	0,005	0,004	0,006	0,013	0,020	0,015
1847001	Estrela do Sul	0,093	0,093	0,071	0,040	0,025	0,017	0,013	0,012	0,014	0,020	0,039	0,073	0,042
1649013	Goiânia	0,039	0,039	0,044	0,034	0,018	0,012	0,009	0,008	0,009	0,016	0,024	0,032	0,024
1850001	Goiatuba	0,057	0,046	0,052	0,043	0,023	0,017	0,013	0,011	0,012	0,015	0,027	0,040	0,030
1946004	Ibiá	0,093	0,094	0,069	0,048	0,033	0,022	0,018	0,015	0,021	0,038	0,052	0,080	0,049
1951001	Itajá	0,031	0,032	0,031	0,027	0,020	0,017	0,014	0,014	0,016	0,017	0,021	0,027	0,022
1949006	Ituiutaba	0,054	0,058	0,054	0,038	0,021	0,015	0,012	0,011	0,012	0,020	0,026	0,046	0,030
1849016	Itumbiara	0,038	0,038	0,039	0,031	0,017	0,012	0,009	0,007	0,007	0,010	0,018	0,030	0,021
1751001	Jataí	0,046	0,044	0,048	0,038	0,027	0,022	0,018	0,016	0,018	0,022	0,031	0,039	0,031
1850003	Maurilândia	0,040	0,044	0,045	0,034	0,019	0,016	0,012	0,011	0,010	0,013	0,021	0,032	0,025
1752003	Mineiros	0,086	0,097	0,092	0,061	0,034	0,023	0,017	0,015	0,024	0,032	0,060	0,073	0,051
1847000	Monte Carmelo	0,099	0,087	0,069	0,043	0,023	0,016	0,013	0,011	0,011	0,019	0,038	0,069	0,042
1751004	Montividiu	0,067	0,070	0,074	0,053	0,027	0,023	0,017	0,014	0,015	0,020	0,033	0,053	0,039
1748005	Orizona	0,048	0,041	0,047	0,036	0,018	0,012	0,010	0,008	0,009	0,014	0,026	0,042	0,026
1750001	Paraúna	0,040	0,038	0,039	0,028	0,013	0,009	0,006	0,005	0,005	0,008	0,013	0,023	0,019
1846007	Patos de Minas	0,072	0,064	0,054	0,037	0,021	0,015	0,011	0,009	0,009	0,016	0,024	0,055	0,032
1946005	Patrocínio	0,219	0,169	0,177	0,061	0,038	0,023	0,017	0,016	0,025	0,080	0,081	0,152	0,088
1949002	Prata	0,078	0,074	0,057	0,039	0,025	0,015	0,012	0,010	0,011	0,018	0,027	0,059	0,035
1850002	Quirinópolis	0,082	0,067	0,062	0,038	0,021	0,016	0,012	0,012	0,014	0,021	0,035	0,066	0,037
2047037	Sacramento	0,188	0,132	0,110	0,069	0,033	0,024	0,017	0,017	0,026	0,049	0,076	0,124	0,072
1848004	Tupaciguara	0,114	0,077	0,063	0,035	0,022	0,018	0,014	0,013	0,020	0,025	0,050	0,079	0,044
1948006	Uberlândia	0,080	0,066	0,055	0,040	0,024	0,018	0,014	0,012	0,014	0,019	0,038	0,059	0,037
1749001	Varjão	0,036	0,035	0,037	0,029	0,014	0,010	0,007	0,006	0,006	0,009	0,017	0,027	0,019
Média		0,074	0,066	0,060	0,040	0,023	0,016	0,012	0,011	0,013	0,022	0,034	0,056	0,036
Máximo		0,219	0,169	0,177	0,069	0,038	0,024	0,018	0,017	0,026	0,080	0,081	0,152	0,088
Mínimo		0,028	0,028	0,029	0,024	0,013	0,009	0,006	0,005	0,004	0,006	0,013	0,020	0,015
Amplitude		0,191	0,140	0,149	0,045	0,025	0,015	0,012	0,012	0,022	0,073	0,069	0,131	0,073

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Os maiores valores de vazões específicas máximas médias ocorreram de janeiro a março, sendo 0,074 m³/s/km² a 0,060 m³/s/km², respectivamente. O alto volume de vazões nesse período, é relativo a maior quantidade de chuva nestes meses e ao próprio total acumulado que repercute nas vazões de retardo. Já as menores vazões específicas máximas médias são registradas de julho a setembro e, variam de 0,012 m³/s/km² a 0,013 m³/s/km². Este trimestre é o mais seco do ano, onde os índices pluviométricos são relativamente baixos.

Os valores das vazões máximas específicas médias mensais, maiores e menores determinadas estão plotadas no gráfico 25.

Gráfico 25 - Vazões máximas específicas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

As vazões máximas específicas médias mensais demonstram que, de outubro a março, os valores máximos são superiores em relação aos demais meses do ano, tendo seu ápice em janeiro ($0,074 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). De abril a setembro, os valores tendem a diminuir consideravelmente, sendo agosto, o mês com menor valor máximo específico ($0,011 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). Posteriormente, os primeiros eventos pluviométricos condicionam o aumento de vazão em setembro e outubro, com $0,013 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ e $0,022 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, respectivamente.

Dentre os postos de estudo, as maiores vazões máximas específicas médias mensais calculadas foram levantadas na estação fluviométrica do município de Patrocínio - (MG), demonstrando que a vazão específica na bacia é diferente do regime de vazões normais, uma vez que os rios tributários apresentam distintas dimensões ao longo da mesma. O maior valor

máximo de vazão específica neste posto foi de 0,219 m³/s/km² em janeiro , e o menor valor máximo de vazão específica foi de 0,016 m³/s/km² em agosto.

Já as menores vazões máximas específicas médias mensais foram determinadas no posto de Edéia - (GO), onde o maior valor máximo de vazão específica foi de 0,029 m³/s/km², em março e o menor valor máximo de vazão específica, 0,004 m³/s/km², ocorreu em setembro.

A tabela 15 traz os coeficientes de variação (CVs), visando identificar as dispersões dos dados em relação as médias mensais totais de vazão específica máxima (1975-2012). Neste sentido, as menores dispersões estão ocorrendo no período de estiagem, especificamente de abril a agosto (27% a 33%, respectivamente), onde os eventos de precipitações são mais escassos e dispersos, como também de menor intensidade e volume. Durante a transição do período de estiagem para a estação chuvosa, de setembro a março, os valores de CVs são relativamente maiores, (44% a 64%). Fato este justificado pela variabilidade entre os postos dos totais acumulados de chuvas intensas neste período, o que condiciona uma expressiva disparidade entre os valores médios mensais de vazões específicas máximas encontrados.

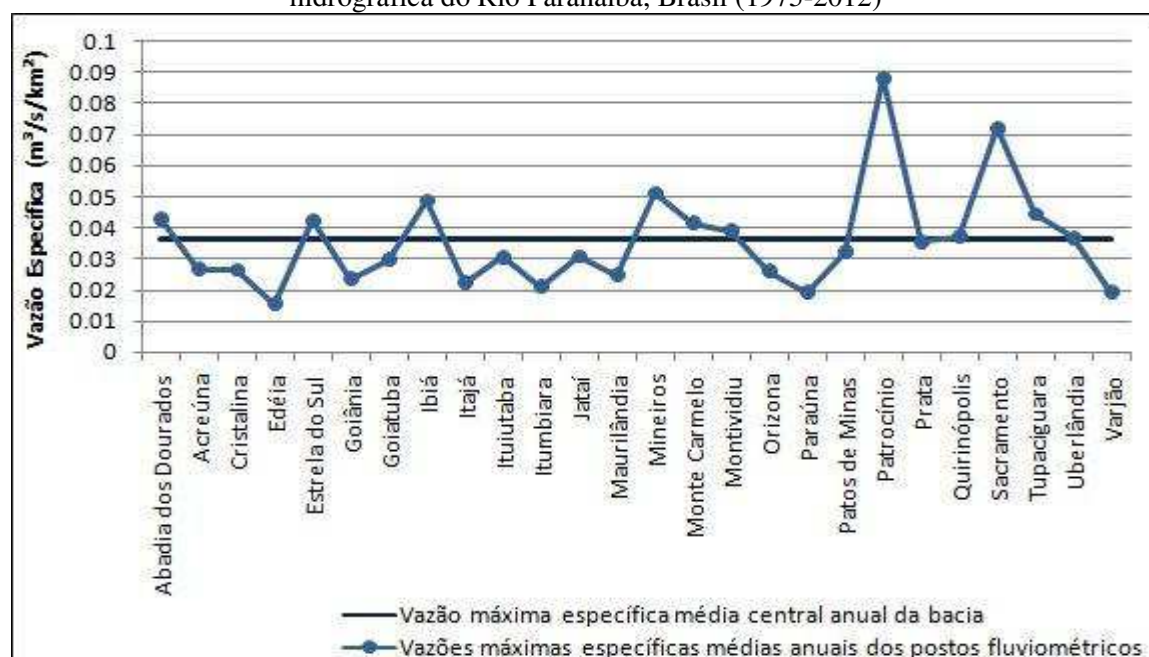
Tabela 15 - Valores de dispersão entre as médias máximas específicas mensais totais (1975-2012) dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

Meses	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Coeficiente de Variação (%)
Jan	0,074	0,046	0,62	62
Fev	0,066	0,033	0,50	50
Mar	0,060	0,039	0,64	64
Abr	0,040	0,011	0,27	27
Mai	0,023	0,006	0,28	28
Jun	0,016	0,004	0,27	27
Jul	0,012	0,004	0,29	29
Ago	0,011	0,004	0,33	33
Set	0,013	0,006	0,44	44
Out	0,022	0,015	0,70	70
Nov	0,034	0,018	0,52	52
Dez	0,056	0,031	0,55	55

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

No gráfico 26 é possível observar o comportamento das vazões máximas específicas médias anuais entre o intervalo de 1975 a 2012 de cada estação fluviométrica selecionada na bacia. Como referência de análise tem-se a linha central da vazão máxima específica média anual ($0,036 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). Dos 26 postos, 15 deles: Acreúna - (GO), Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Goiânia - (GO), Goiatuba - (GO), Itajá - (GO), Ituiutaba - (MG), Itumbiara - (GO), Jataí - (GO), Maurilândia - (GO), Orizona - (GO), Paraúna - (GO), Patos de Minas - (MG), Prata - (MG) e Varjão - (GO), têm valores anuais médios de vazão máxima abaixo da média central, variando de $0,015 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em Edéia a $0,035 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em Prata. De modo contrário, 11 postos: Abadia dos Dourados - (MG), Estrela do Sul - (MG), Ibiá - (MG), Mineiros - (GO), Monte Carmelo - (MG), Montividiu - (GO), Patrocínio - (MG), Quirinópolis - (GO), Sacramento - (MG), Tupaciguara - (MG) e Uberlândia - (MG), possuem valores anuais médios de vazão máxima específica acima da média central, com variação de $0,037 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em Quirinópolis e Uberlândia a $0,072 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em Sacramento.

Gráfico 26 - Vazões máximas específicas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Analisando a tabela 16 e 17 e os gráficos 27 e 28 a seguir, observa-se o comportamento das vazões mínimas. A tabela 16 traz a distribuição das vazões específicas mínimas médias mensais dos postos fluviométricos selecionados.

A média geral anual das vazões específicas mínimas foi de $0,012 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, com amplitude de $0,010 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Onde o valor mínimo foi de $0,007 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ no posto de Paraúna - (GO) e o valor máximo de $0,017 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ posto de Patrocínio - (MG).

Os maiores valores de vazões mínimas específicas ocorreram de janeiro a abril, variando de $0,015 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,016 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, enquanto que os menores valores ocorreram de julho a outubro, com médias de $0,009 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Os postos fluviométricos que apresentaram os menores registros de vazões mínimas específicas médias mensais foram os de Abadia dos Dourados - (MG), Edéia - (GO), Goiânia - (GO), e Varjão - (GO) com $0,008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, ambos os postos e, Paraúna - (GO) com $0,007 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Enquanto que os postos de Ibiá - (MG), Jataí - (GO), Montividiu - (GO), com $0,016 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ e Patrocínio - (MG) com $0,017 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, representam as maiores médias mensais de vazões mínimas específicas. Os dados demonstram a variabilidade no comportamento geral desta variável na bacia.

Tabela 16 - Mínimas fluviométricas específicas médias mensais e anuais dos postos estudados

Posto	Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1847003	Abadia dos Dourados	0,011	0,013	0,014	0,012	0,009	0,008	0,006	0,004	0,003	0,003	0,004	0,007	0,008
1750003	Acreúna	0,016	0,019	0,020	0,017	0,014	0,012	0,010	0,008	0,007	0,007	0,009	0,013	0,013
1647002	Cristalina	0,015	0,016	0,016	0,014	0,010	0,008	0,006	0,005	0,005	0,005	0,007	0,012	0,010
1750000	Edéia	0,012	0,014	0,015	0,012	0,008	0,006	0,005	0,003	0,003	0,003	0,004	0,008	0,008
1847001	Estrela do Sul	0,015	0,016	0,016	0,014	0,012	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,008	0,011	0,011
1649013	Goiânia	0,011	0,014	0,014	0,012	0,010	0,008	0,006	0,005	0,004	0,004	0,005	0,009	0,008
1850001	Goiatuba	0,014	0,017	0,018	0,017	0,014	0,012	0,009	0,007	0,006	0,006	0,006	0,010	0,011
1946004	Ibiá	0,021	0,024	0,024	0,022	0,018	0,015	0,013	0,011	0,010	0,010	0,011	0,015	0,016
1951001	Itajá	0,017	0,017	0,018	0,016	0,014	0,013	0,012	0,011	0,011	0,011	0,012	0,014	0,014
1949006	Ituiutaba	0,015	0,016	0,015	0,013	0,010	0,009	0,008	0,006	0,005	0,006	0,007	0,011	0,010
1849016	Itumbiara	0,013	0,016	0,017	0,014	0,011	0,008	0,006	0,005	0,004	0,004	0,006	0,010	0,010
1751001	Jataí	0,019	0,021	0,023	0,021	0,018	0,016	0,014	0,012	0,011	0,011	0,013	0,016	0,016
1850003	Maurilândia	0,015	0,019	0,019	0,016	0,013	0,012	0,010	0,008	0,007	0,007	0,009	0,013	0,012
1752003	Mineiros	0,017	0,020	0,021	0,019	0,015	0,014	0,012	0,010	0,010	0,009	0,011	0,014	0,014
1847000	Monte Carmelo	0,014	0,020	0,019	0,016	0,013	0,011	0,008	0,006	0,004	0,004	0,005	0,009	0,011
1751004	Montividiu	0,019	0,023	0,024	0,022	0,018	0,015	0,012	0,010	0,010	0,009	0,010	0,015	0,016
1748005	Orizona	0,015	0,016	0,017	0,015	0,012	0,009	0,007	0,006	0,005	0,004	0,006	0,010	0,010
1750001	Paraúna	0,010	0,014	0,014	0,011	0,008	0,006	0,005	0,003	0,003	0,003	0,004	0,007	0,007
1846007	Patos de Minas	0,018	0,020	0,020	0,017	0,013	0,010	0,008	0,006	0,005	0,004	0,005	0,010	0,011
1946005	Patrocínio	0,023	0,031	0,027	0,023	0,020	0,015	0,013	0,011	0,009	0,009	0,011	0,015	0,017
1949002	Prata	0,016	0,018	0,017	0,013	0,011	0,009	0,010	0,008	0,008	0,008	0,008	0,012	0,012
1850002	Quirinópolis	0,013	0,014	0,015	0,013	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,007	0,008	0,010	0,010
2047037	Sacramento	0,023	0,024	0,023	0,020	0,016	0,014	0,012	0,010	0,009	0,009	0,011	0,015	0,015
1848004	Tupaciguara	0,013	0,014	0,014	0,013	0,012	0,010	0,010	0,009	0,008	0,009	0,010	0,012	0,011
1948006	Uberlândia	0,015	0,015	0,015	0,013	0,010	0,009	0,008	0,006	0,006	0,006	0,008	0,013	0,010
1749001	Varjão	0,011	0,013	0,014	0,012	0,009	0,007	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,007	0,008
Média		0,015	0,018	0,018	0,016	0,013	0,011	0,009	0,007	0,007	0,006	0,008	0,011	0,012
Máximo		0,023	0,031	0,027	0,023	0,020	0,016	0,014	0,012	0,011	0,011	0,013	0,016	0,017
Mínimo		0,010	0,013	0,014	0,011	0,008	0,006	0,005	0,003	0,003	0,003	0,004	0,007	0,007
Amplitude		0,014	0,018	0,013	0,012	0,012	0,010	0,009	0,009	0,008	0,008	0,010	0,010	0,010

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O gráfico 26, auxilia no entendimento do comportamento hidrológico das vazões mínimas específicas na bacia a partir da ilustração dos registros médios mensais de vazões específicas mínimas e os de valores máximo e os de mínimo.

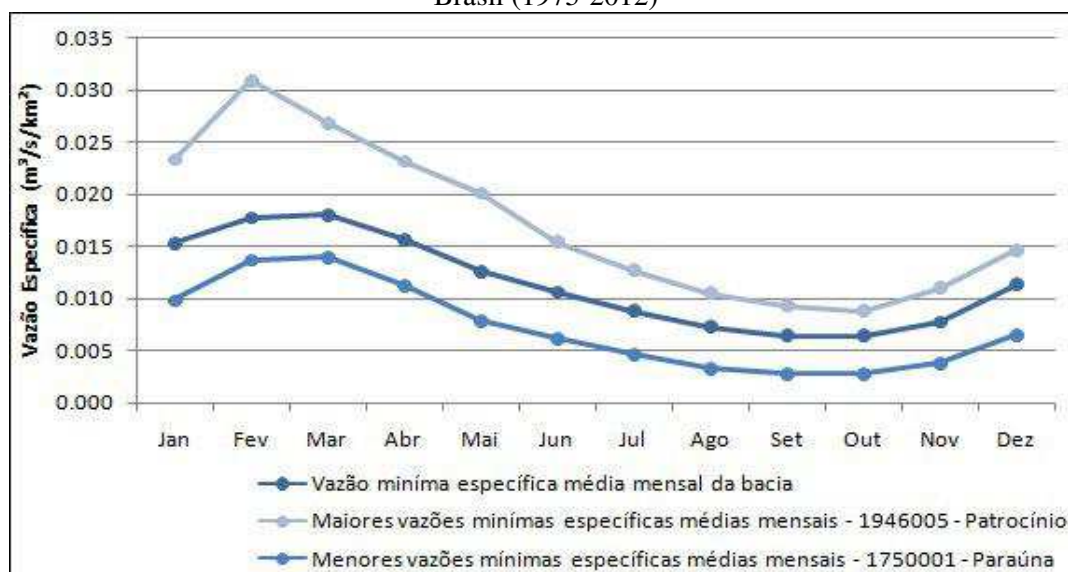
Quanto a média geral da bacia verificou-se que de setembro para outubro as vazões específicas mínimas ($0,006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ e $0,008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) são relativamente baixas em relação aos demais meses do ano, fato este atribuído as chuvas mais concentradas, torrenciais e

espaçadas no momento de transição do período de estiagem para o chuvoso, ou seja, ocorre uma diminuição de chuvas mínimas nesse período. Da mesma maneira, durante as chuvas de janeiro a março, onde as chuvas são mais frequentes e intensas, influenciam até mesmo na magnitude das mínimas, aumentando assim as vazões mínimas específicas neste intervalo de meses ($0,015 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,018 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$).

Os maiores valores de vazões mínimas específicas médias mensais ocorrem na estação fluviométrica de Patrocínio - (MG), lembrando ser este também o comportamento da estação para as vazões máximas mensais, registradas no gráfico 25. Nesta estação, o maior valor mínimo de vazão específica foi de $0,031 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em fevereiro, enquanto que o menor valor mínimo de vazão específica foi de $0,009 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ em setembro e outubro.

As menores vazões mínimas específicas ocorrem na estação fluviométrica de Paraúna - (GO). Nesta estação, o maior pico das mínimas de vazão específica ocorre durante os meses de fevereiro e março com $0,014 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ e o menor pico das mínimas de vazão específica ocorre durante os meses de agosto a outubro com $0,003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Gráfico 27 - Vazões mínimas específicas médias mensais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

A tabela 17 apresenta os coeficientes de variação (CVs), visando identificar as dispersões dos dados em relação as médias mensais totais de vazão específica mínima (1975-2012). Desta maneira, as menores dispersões são encontradas durante a estação chuvosa a transição para o período de estiagem, especificamente de janeiro a abril (23%, 24%, 23% e 23%, respectivamente), tendo nesse período um caráter mais homogêneo quanto a distribuição hídrica na bacia. Durante a transição do período de estiagem para a estação chuvosa, entre setembro e outubro, os valores de CVs são maiores (37% e 40%), apresentando assim, menor homogeneidade entre as médias calculadas, também atribuída a certa variabilidade entre os postos estudados.

Tabela 17 - Valores de dispersão entre as médias mínimas específicas mensais totais (1975-2012) dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

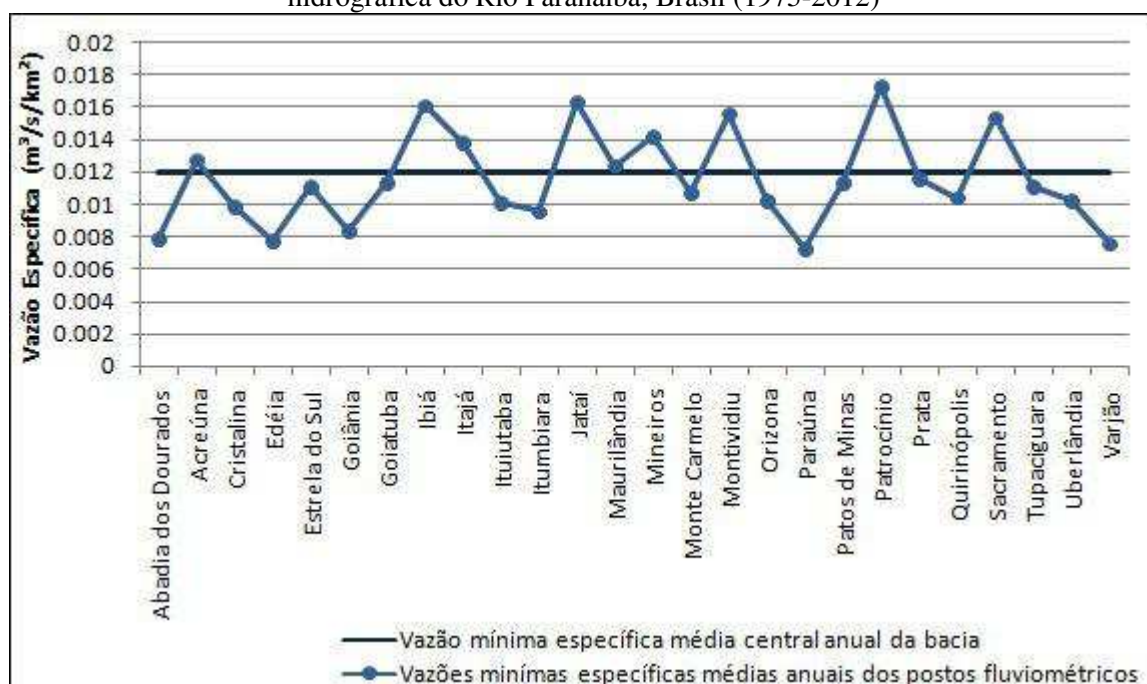
Meses	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Coeficiente de Variação (%)
Jan	0,015	0,003	0,23	23
Fev	0,018	0,004	0,24	24
Mar	0,018	0,004	0,23	23
Abr	0,016	0,004	0,23	23
Mai	0,013	0,003	0,26	26
Jun	0,011	0,003	0,28	28
Jul	0,009	0,003	0,31	31
Ago	0,007	0,003	0,37	37
Set	0,007	0,003	0,40	40
Out	0,006	0,003	0,40	40
Nov	0,008	0,003	0,36	36
Dez	0,011	0,003	0,25	25

Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

No gráfico 28 têm-se as vazões mínimas específicas médias anuais determinadas entre o intervalo de 1975 a 2012. Tendo como referência de análise a linha central da vazão mínima específica média anual de 0,012 m³/s/km², observou-se que 18 postos: Abadia dos Dourados - (MG), Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Estrela do Sul - (MG), Goiânia - (GO), Goiatuba - (GO), Ituiutaba - (MG), Itumbiara - (GO), Maurilândia - (GO), Monte Carmelo - (MG),

Orizona - (GO), Paraúna - (GO), Patos de Minas - (MG), Prata - (MG), Quirinópolis - (GO), Tupaciguara - (MG), Uberlândia - (MG), Varjão - (GO), têm valores anuais médios iguais ou abaixo da média central, variando de 0,007 m³/s/km² em Paraúna a 0,012 m³/s/km² em Maurilândia e Prata. De outro modo, 8 postos: Acreúna - (GO), Ibiá - (MG), Itajá - (GO), Jataí - (GO), Mineiros - (GO), Montividiu - (GO), Patrocínio - (MG) e Sacramento - (MG), registrara valores anuais médios acima da média central, variando de 0,013 m³/s/km² em Acreúna a 0,017 m³/s/km² em Prata.

Gráfico 28 - Vazões mínimas específicas médias anuais dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

5.3 Relação chuva-vazão

5.3.1 Análise de pluviogramas e fluviogramas

O comportamento das médias gerais mensais de precipitações e vazões (1975 a 2012) de cada posto pluviométrico e fluviométrico selecionado estão sumariados nos gráficos contidos na figura 4. A análise dos referidos gráficos demonstram a relação entre as duas variáveis dentro da área de estudos. Na elaboração dos mesmos foi considerado o período que se estende desde o chuvoso - de outubro a março - ao final da estiagem - de abril a setembro.

Figura 4 - Pluviogramas X Fluviogramas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil (1975 a 2012) - Continua

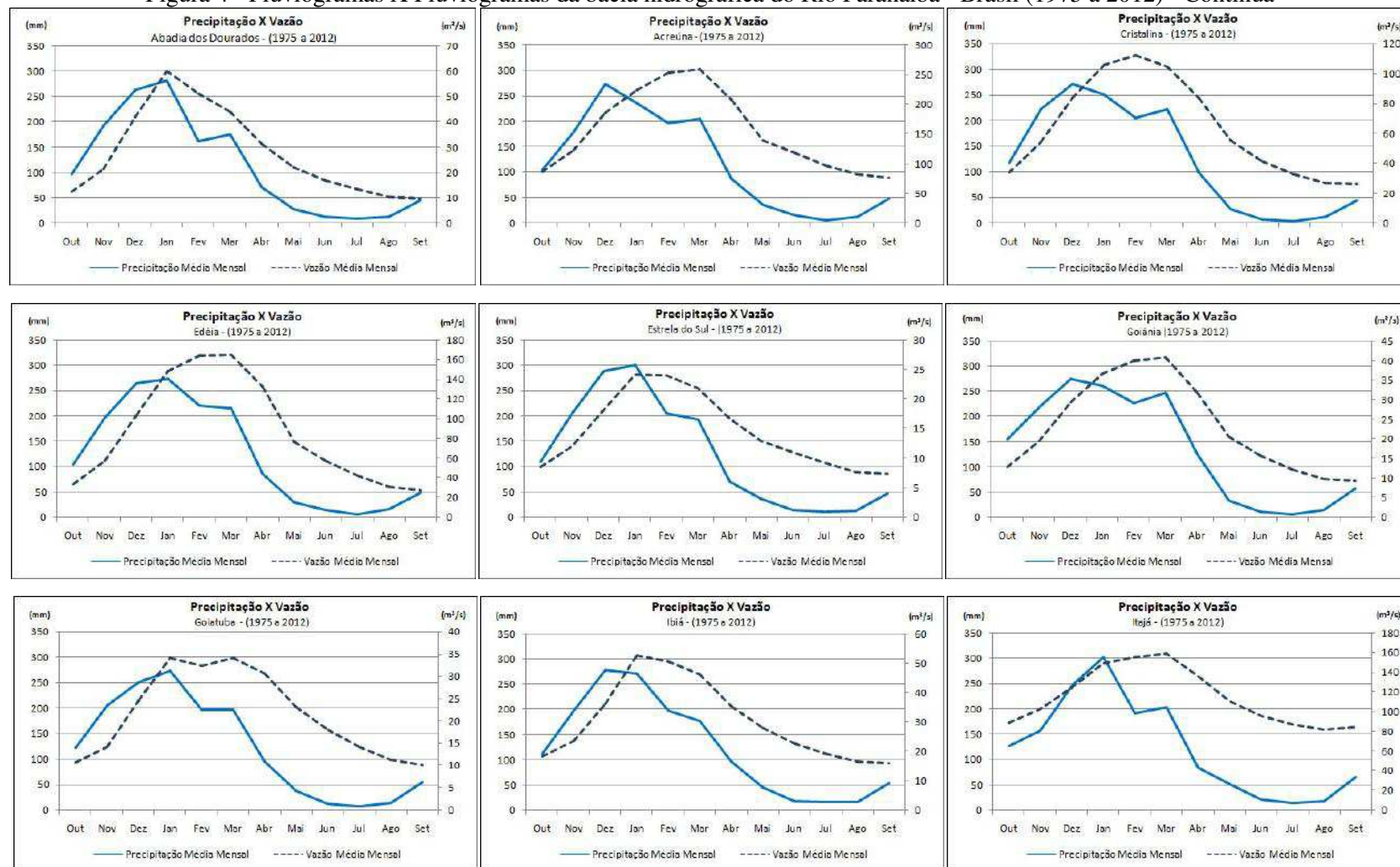


Figura 4 - Pluviogramas X Fluviogramas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil (1975 a 2012) - Continua

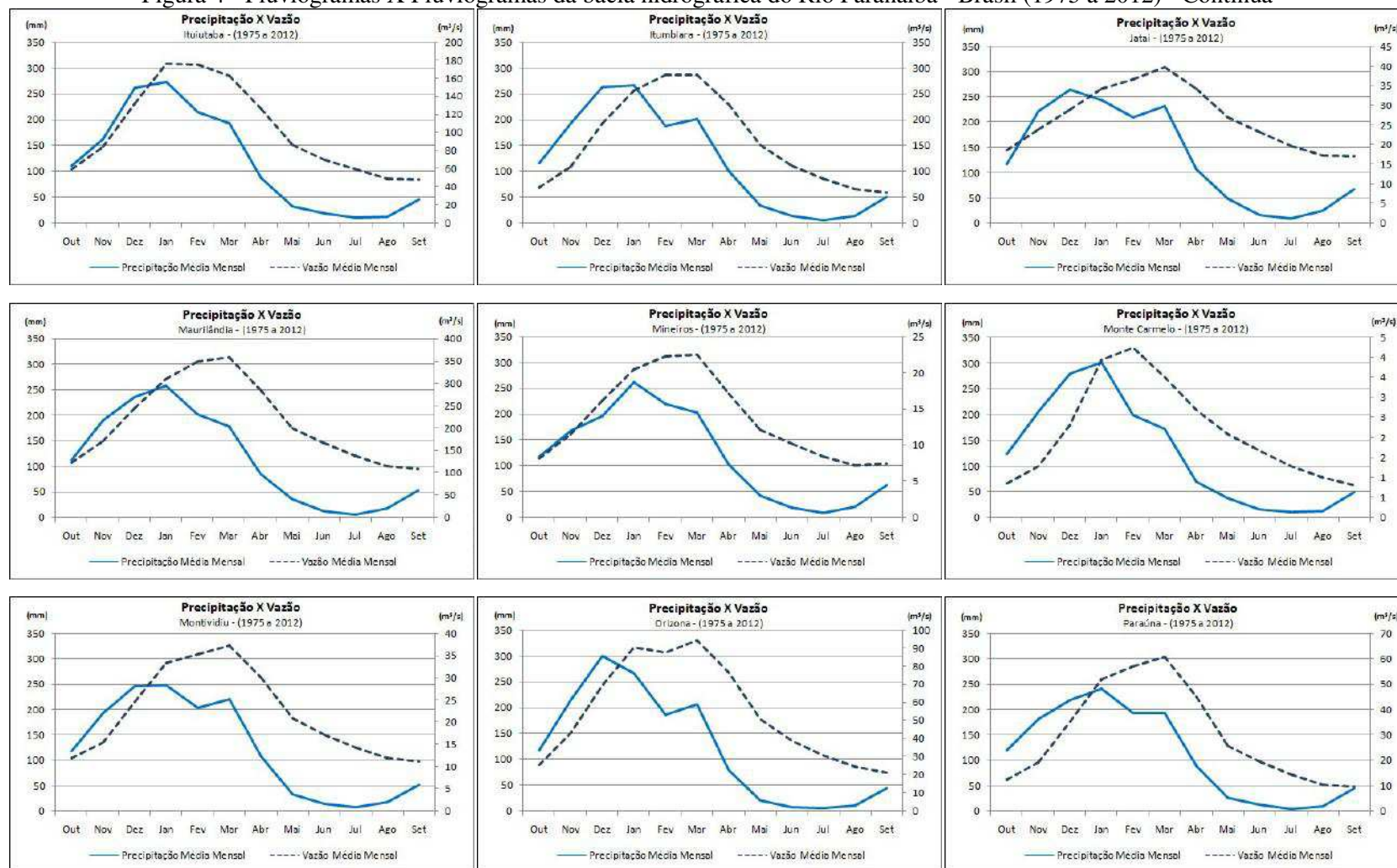
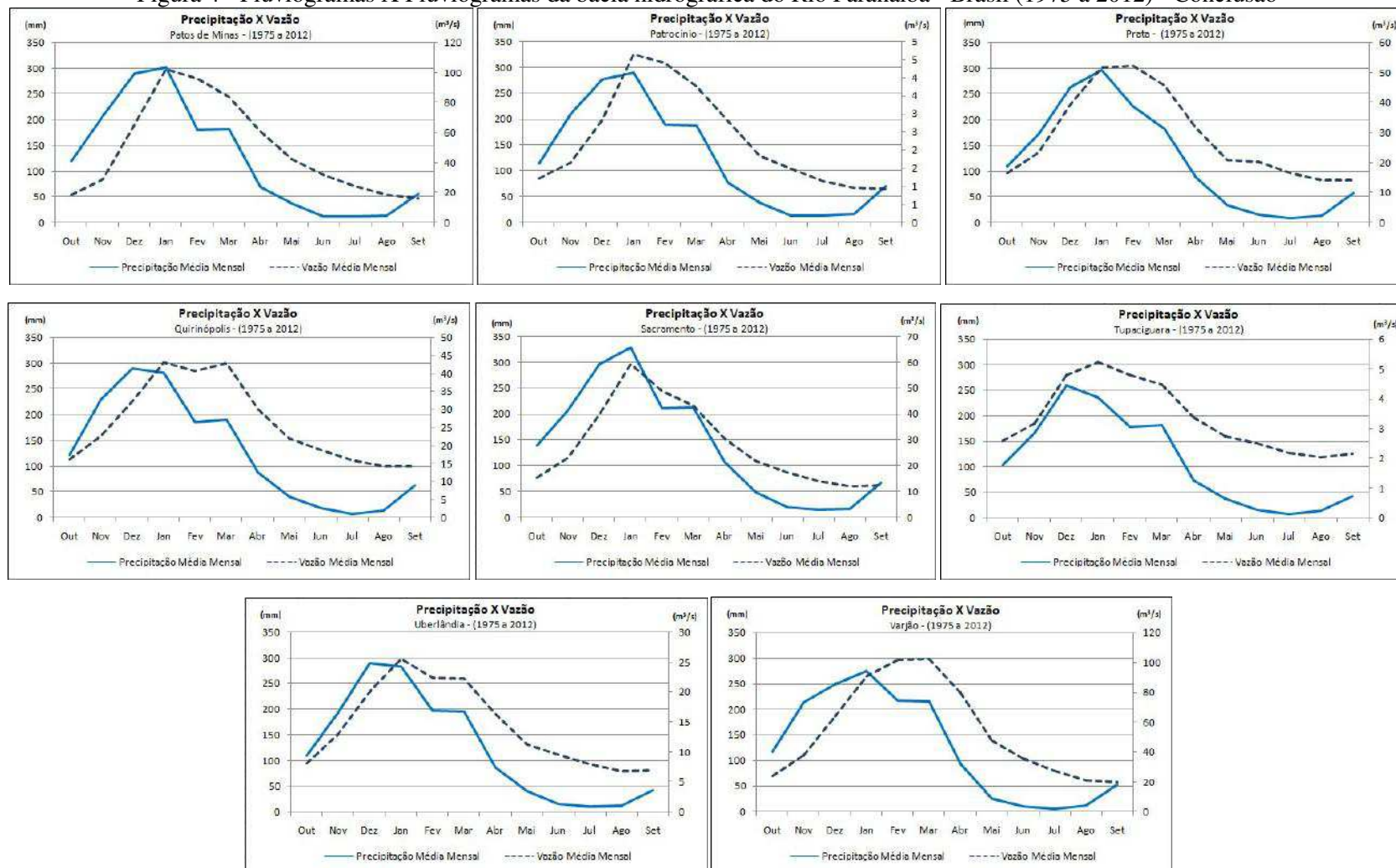


Figura 4 - Pluviogramas X Fluviogramas da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil (1975 a 2012) - Conclusão



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

De modo geral, todas as estações apresentaram praticamente o mesmo comportamento hidrológico quando se compara os picos e as baixas de vazões em comparação com as precipitações, devendo-se considerar apenas o retardo do aumento da vazão em relação ao início das chuvas. Verificou-se dentro da estação chuvosa que o sucessivo aumento na quantidade de chuvas de outubro a janeiro acompanha a resposta do regime de vazões, ou seja, ocorre também um progressivo aumento no escoamento das águas. O auge desse processo se dá no mês de janeiro, onde o volume de precipitação médio já é alto em comparação aos demais meses, somado aos demais acumulados que o influenciam.

De fevereiro a março, os volumes totais médios de chuvas mensais reduzem progressivamente, provocando também uma queda nas vazões. Até o final do período de estiagem, em setembro, os picos de vazões são cada vez menores, sendo que o trimestre de julho a setembro é caracterizado como o período de maiores baixas no regime fluviométrico, onde os escoamentos são mantidos pelos fluxos de base e, o menor ou maior fluxo vai depender da capacidade de armazenamento do aquífero.

Algumas estações de estudo apresentaram em certos meses, comportamento diferenciado quando comparado aos demais. Tal fato pode ser justificado por fatores ligados a consistência dos dados coletados em cada uma delas, azares climáticos que influenciam na quantidade e intensidade das chuvas, o período de retardo, o uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, as condições edáficas e as obras hidráulicas, principalmente com a dinâmica de reservatórios, influenciam no processo de escoamento das águas, gerando picos ou baixas nos volumes de vazões da área de estudos.

A título de exemplo têm-se a estação de Acreúna - (GO), que mesmo diante da queda da precipitação média mensal de janeiro para fevereiro (234,9 mm - 196,7 mm), as vazões médias mensais continuam em aumento (224,1 m³/s - 253,1 m³/s). Fato este que também

ocorre em Cristalina, Edéia, Goiânia, Itajá, Itumbiara, Jataí, Maurilândia, Mineiros, Montividiu, Paraúna e Varjão, sendo estas pertencentes a parte goiana da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. Apenas o posto localizado no Prata - MG, apresentou este mesmo comportamento.

5.3.2 Correlação entre chuva-vazão

Uma vez constada da relação entre a chuva e vazão na grande maioria dos postos da bacia hidrográfica, tendo como referência que alterações no comportamento da primeira variável repercutem diretamente na dinâmica de resposta da outra, ainda se julgou necessário quantificar a correlação entre as mesmas, principalmente para identificar as disparidades ocorrentes aos meses recorrentes. Nesse sentido, pode ser observado nos gráficos contidos na figura 5, as retas de regressão e os valores de correlação de Pearson aplicada aos dados pluviométricos e fluviométricos, médias mensais gerais de (1975 a 2012).

Figura 5 - Correlações entre chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012) - Continua

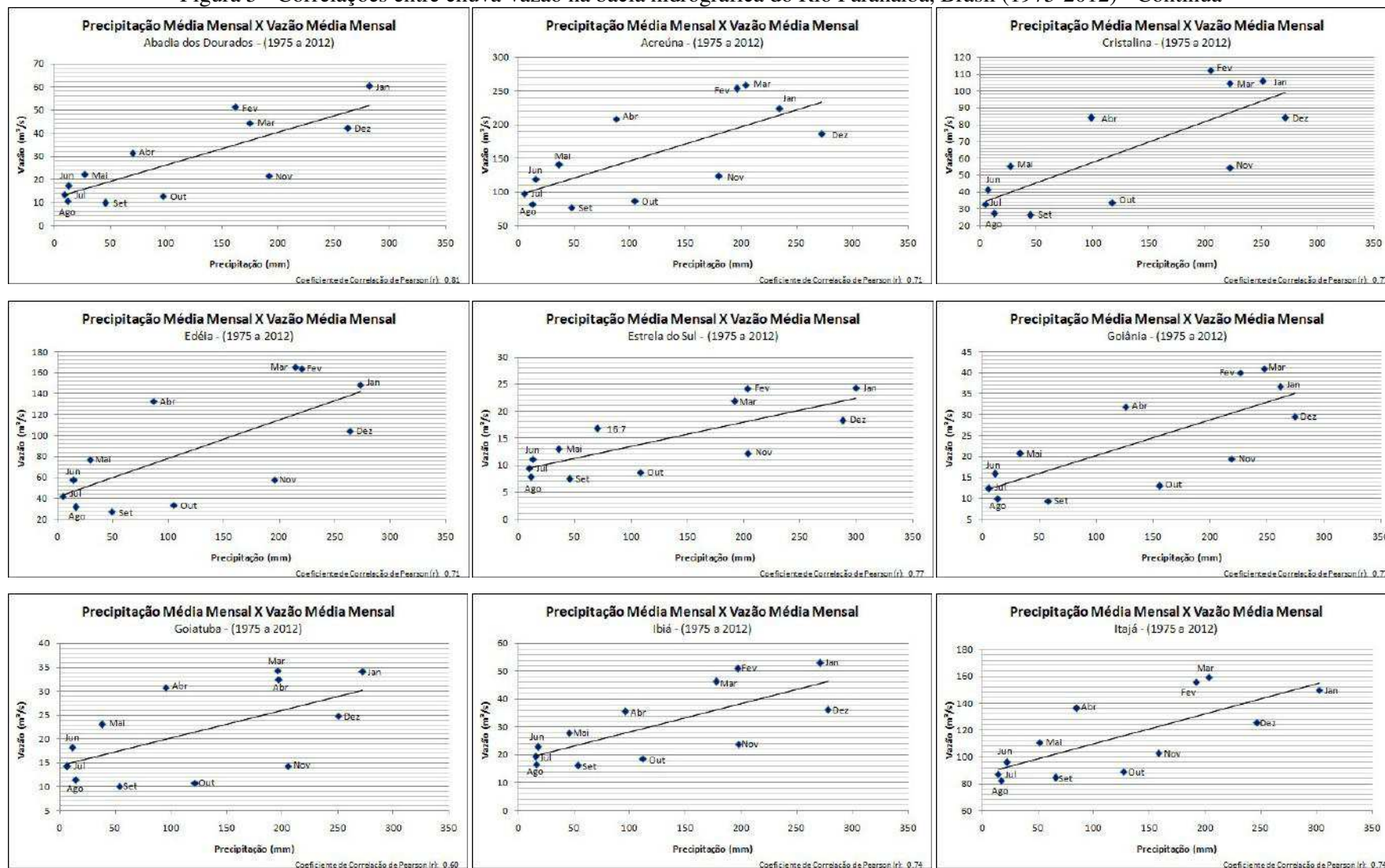


Figura 5 - Correlações entre chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012) - Continua

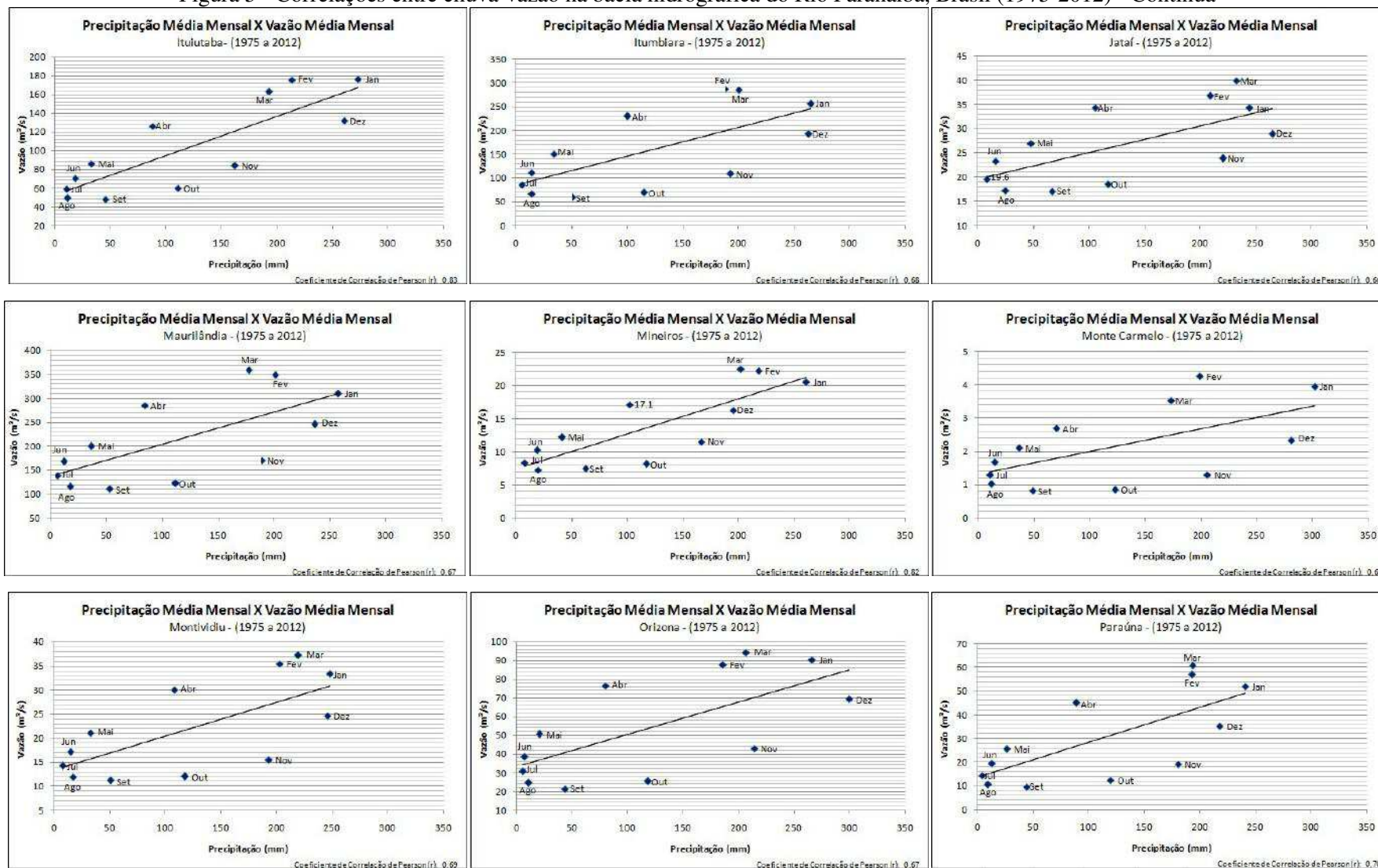
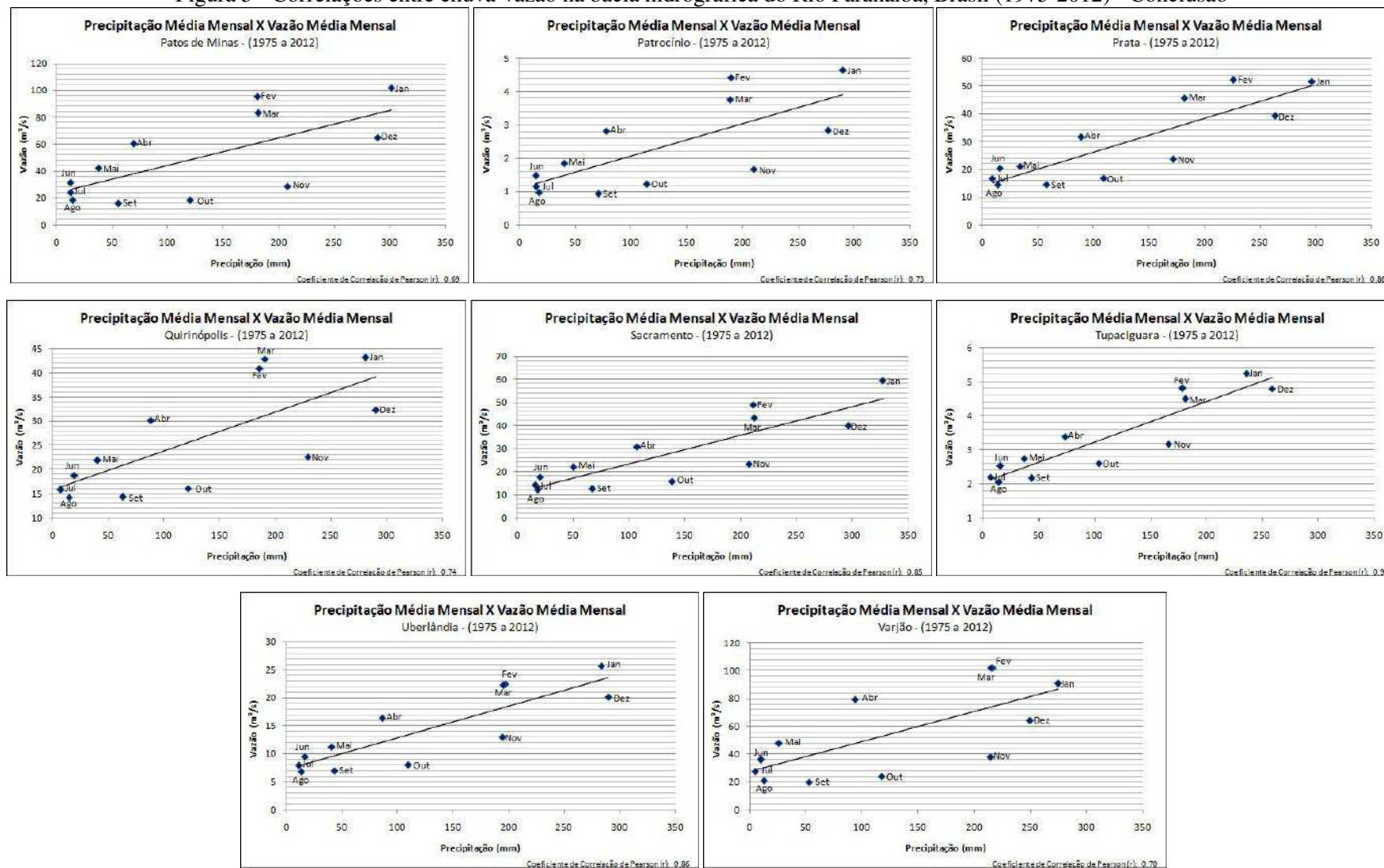


Figura 5 - Correlações entre chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975-2012) - Conclusão



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

De maneira geral, a correlação entre todos os postos avaliados foi positiva, demonstrando que à medida que o acumulado total médio mensal de precipitação aumenta o volume nas vazões também se torna maior. A correlação se mostrou forte em todos os casos, conforme referido na tabela 18. Tendo valores de correlação de 0,60 a 0,70 em estações de Goiatuba - (GO), Itumbiara - (GO), Jataí - (GO), Maurilândia - (GO), Monte Carmelo - (MG), Montividiu - (GO), Orizona - (GO), Paraúna - (GO), Patos de Minas - (MG) e Varjão - (GO), de 0,71 a 0,81 em estações de Abadia dos Dourados - (MG), Acreúna - (GO), Cristalina - (GO), Edéia - (GO), Estrela do Sul - (MG), Goiânia - (GO), Ibiá - (MG), Itajá - (GO), Patrocínio - (MG) e Quirinópolis - (GO), e de 0,82 a 0,91 em estações de Ituiutaba - (MG), Mineiros - (GO), Prata - (MG), Sacramento - (MG), Tupaciguara - (MG) e Uberlândia - (MG).

Tabela 18 - Coeficiente de Correlação de Pearson (1975 a 2012) aplicado a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

Estações	Correlação de Pearson	Grau de Correlação
Abadia dos Dourados	0,81	Forte
Acreúna	0,71	Forte
Cristalina	0,77	Forte
Edéia	0,71	Forte
Estrela do Sul	0,77	Forte
Goiânia	0,77	Forte
Goiatuba	0,60	Forte
Ibiá	0,74	Forte
Itajá	0,74	Forte
Ituiutaba	0,83	Forte
Itumbiara	0,68	Forte
Jataí	0,66	Forte
Maurilândia	0,67	Forte
Mineiros	0,82	Forte
Monte Carmelo	0,60	Forte
Montividiu	0,67	Forte
Orizona	0,67	Forte
Paraúna	0,70	Forte
Patos de Minas	0,69	Forte
Patrocínio	0,73	Forte
Prata	0,86	Forte
Quirinópolis	0,74	Forte
Sacramento	0,85	Forte
Tupaciguara	0,91	Forte
Uberlândia	0,86	Forte
Varjão	0,70	Forte

Org. Maciel, S. A. (2016).

De acordo com a dinâmica hídrica mensal da bacia, observou-se que em todos os postos a estação chuvosa apresentou uma menor correlação entre os dados de precipitação e vazão, período este que pode ser dito como ocorrência de escoamento superficial. Em contrapartida, o período de estiagem, essencialmente de junho a setembro, a correlação se mostrou maior nestes meses, intervalo onde as drenagens são mantidas pelo fluxo de base.

Outubro e novembro, apresentaram as maiores dispersões entre todos os meses. Período este, de início das chuvas, porém, o solo insaturado absorve grande parte da água, contribuindo assim, para este resultado.

Entre dezembro a março, as dispersões em relação a reta de regressão linear já são menores, intervalo de tempo este em que as chuvas são mais intensas e frequentes, gerando totais que influenciaram no escoamento das águas. Excedida a capacidade de infiltração no solo, a partir de dezembro as maiores taxas são de escoamento superficial.

A partir da transição da estação chuvosa para os próximos meses consequentes de estiagem, especificamente após maio, os valores de correlação linear já são maiores, pois o decréscimo nas alturas pluviométricas, acompanham diretamente a mesma proporção do volume de vazão escoado. Este período também é conhecido como trecho de depleção do escoamento superficial direto.

Enfim, algumas estações mineiras como Prata, Sacramento, Tupaciguara e Uberlândia, com coeficientes de correlação de 0,86, 0,85, 0,91 e 0,86, demonstraram menor dispersão em relação a reta de regressão por sofrerem menos influência de fatores externos que alterem a entrada e saída de água em suas respectivas sub-bacias. Já postos, como os de Goiatuba - (GO), Itumbiara - (GO), Jataí - (GO), Maurilândia - (GO), Monte Carmelo - (MG), Montividiu - (GO), Orizona - (GO) e Patos de Minas - (MG), com coeficiente de correlação de 0,60, 0,68, 0,66, 0,67, 0,60, 0,69, 0,67 e 0,69, apresentam maior dispersão por terem maior

interferência de outros fatores extrínsecos que também promovam a variabilidade no regime de vazões, bem como da própria quantidade de chuva precipitada no sistema.

5.4 Análise de tendências fluviométricas pelo método de Decomposição das Séries

Este item trata das técnicas necessárias à análise das séries históricas dos dados de vazão dos postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, período 1975 a 2012, e, ainda uma projeção para os próximos 10 anos, culminando com a série final em 2022. Para tal, foram desenvolvidas três etapas que incluem a desestacionalização das séries de tempo, a construção da linha de tendência e, a identificação da variação cíclica em torno da linha de tendência. Por último, tendo como referência o objetivo desta dissertação, buscou-se relacionar estes resultados com as médias mensais de precipitação para este mesmo intervalo de tempo (1975 a 2012).

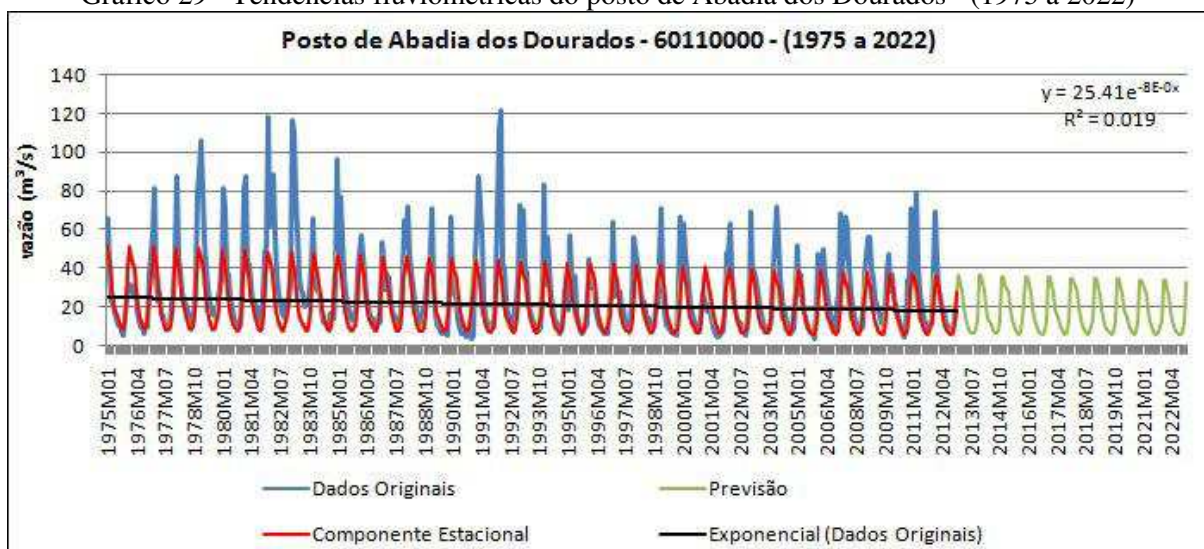
De modo geral, as séries históricas de todos os postos fluviométricos analisados apresentaram um determinado desvio no comportamento de vazão, considerando os anos de maiores e menores disponibilidades hídricas. Tais desvios foram evidenciados por meio do uso da componente cíclica do método utilizado. Com relação a tendência de longo tempo, as séries temporais em sua totalidade sinalizaram o mesmo comportamento (redução ou aumento nas vazões).

Dos 26 gráficos, de tendência gerados, constatou-se que 11 evidenciaram uma tendência de redução no regime de vazões, sendo os postos na margem mineira do Rio Paranaíba: Abadia dos Dourados, Estrela do Sul, Ibiá, Ituiutaba, Monte Carmelo e Patrocínio e os postos na margem goiana do Rio Paranaíba: Cristalina, Goiânia, Jataí, Mineiros e Orizona. Devido a quantidade de postos e, a similaridade de comportamento, optou-se em utilizar como exemplo

apenas cinco do total, considerados os mais representativos. Os demais encontram-se disponíveis no anexo 4.

O posto de Abadia dos Dourados - (MG) apresentou tendência de redução no regime de vazões, conforme verificado no gráfico 29.

Gráfico 29 - Tendências fluviométricas do posto de Abadia dos Dourados - (1975 a 2022)

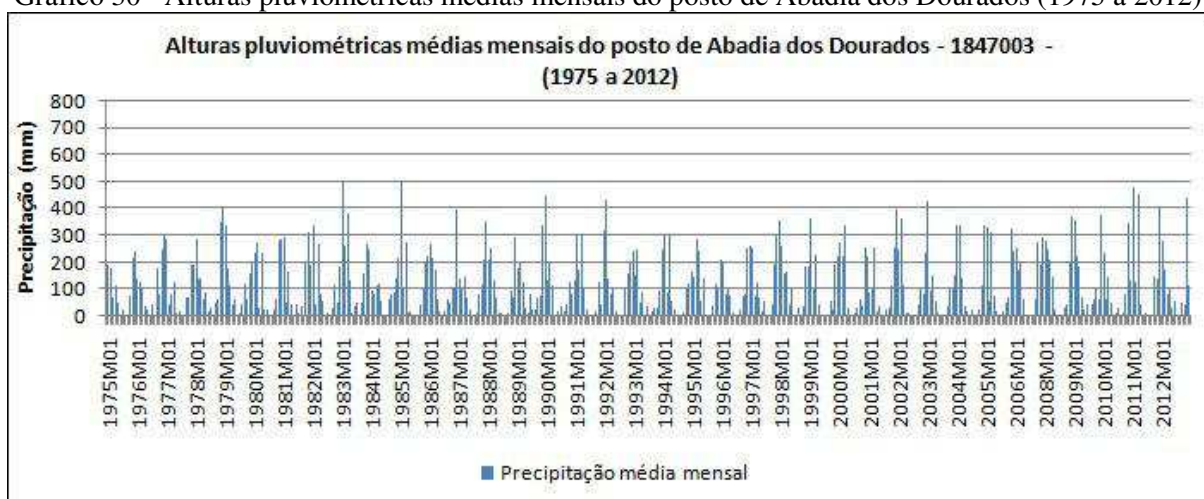


Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Em toda a sequência de 1975 a 2012, os valores estacionais de vazão variaram nos momentos de pico, de 11,2 m³/s a 40,5 m³/s, no período de outubro a março (chuvas) e, de 28,2 m³/s a 8,7 m³/s, de abril a setembro no ano de 1975. Já no final da sequência, no ano de 2012, os valores estacionais de vazão variaram nos momentos de pico, de 7,9 m³/s a 28,7 m³/s no período de outubro a março (chuvas) e, de 19,9 m³/s a 6,2 m³/s, de abril a setembro (estiagem). A redução na disponibilidade hídrica também permanece nos cálculos da previsão realizada até 2022, atingindo neste último ano, durante a estação chuvosa médias mensais de (7,2 m³/s a 26,0 m³/s) e durante a estiagem (18,1 m³/s a 5,6 m³/s), ou seja em comparação aos dados do início da série (1975), redução de 64,2% tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Se comparados estes resultados com o gráfico 30, observa-se que em 1975 o volume total médio anual de precipitação foi de 1.173,1 mm, enquanto que de 2010 a 2012 a quantidade total anual de chuvas foi de 1.114,3 mm, 1.793,8 mm e 1.371,5 mm, o que por sua vez, não acompanhou a redução das vazões. Agora, se consideramos o dado bruto médio mensal de maior pico de vazões ocorrido durante o ano de 1992, com média anual de 43,76 m³/s, quando comparado ao regime de chuvas, tem-se que neste mesmo período a média anual de chuvas foi de 1.488,2 mm, podendo ser correlacionado ao aumento nas médias mensais da variável vazão.

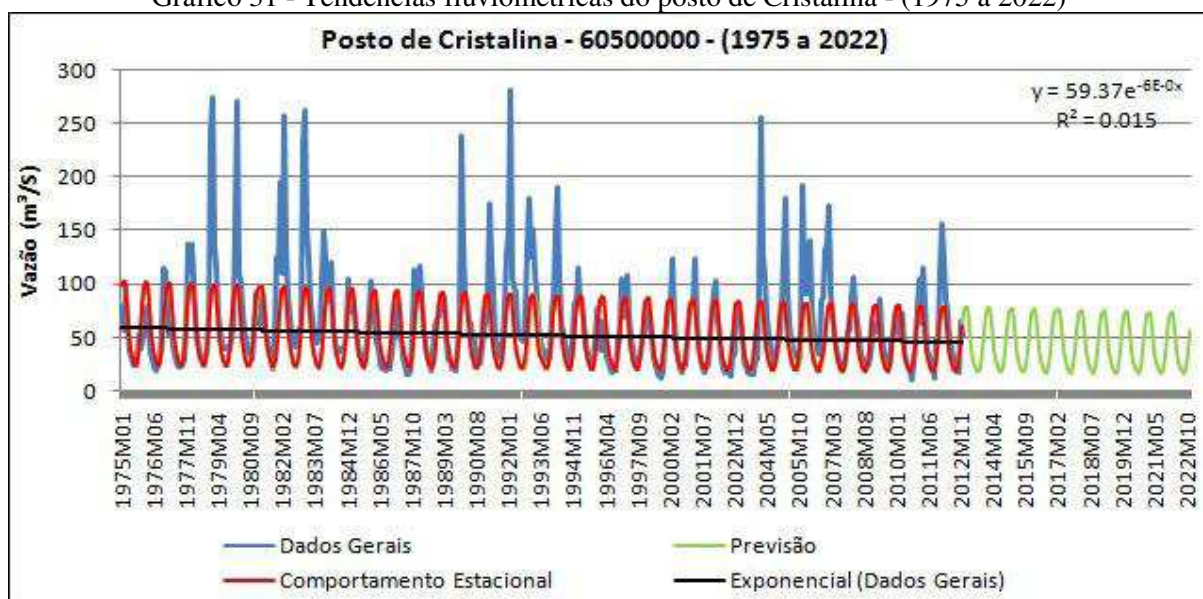
Gráfico 30 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Abadia dos Dourados (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Acompanhando a reta exponencial do posto de Cristalina - (GO), elucidado no gráfico 31, vemos que tal apresentou redução ao decorrer de sua série histórica de 1975 a 2012, tendo o mesmo comportamento hidrológico até o final de sua projeção em 2022.

Gráfico 31 - Tendências fluviométricas do posto de Cristalina - (1975 a 2022)



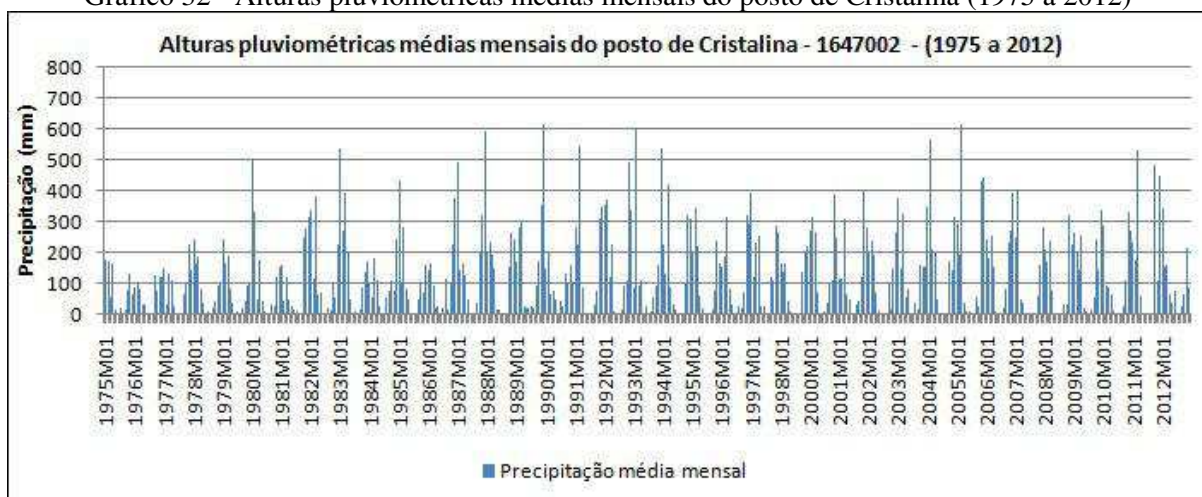
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Os resultados demonstraram que os dados trabalhados foram variando de outubro a março e abril a setembro de 1975 com valores médios estacionais de vazão de (31,5 m³/s a 100,9 m³/s e 79,9 m³/s a 24,0 m³/s) e de outubro a março e abril a setembro de 2012 com (24,3 m³/s a 77,8 m³/s e 61,0 m³/s a 23,5 m³/s). Até 2022, o regime de vazão tenderá a diminuir chegando a atingir picos baixos de (22,6 m³/s a 72,4 m³/s e 56,7 m³/s a 17,2 m³/s) durante o período chuvoso e estiagem. Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se uma redução de 71,7% nas vazões em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Em conformidade a estes valores, o gráfico 32 demonstrou que as alturas pluviométricas anuais registradas em 1975 foi de 902,1 mm e de 2010 a 2012 foram de 1.296,6 mm, 2.051,3 mm e 1.243,7 mm. Portanto, observou-se que a diminuição no regime de vazões não se relaciona ao maior volume das chuvas, demonstrando assim a interferência de outros fatores naturais ou não, neste processo.

Novamente, assim como Abadia dos Dourados, o ano de maior média anual de vazões foi 1992 com 109,5 m³/s, o que neste caso, está associado ao alto índice pluviométrico médio anual neste período de 2.135,3 mm.

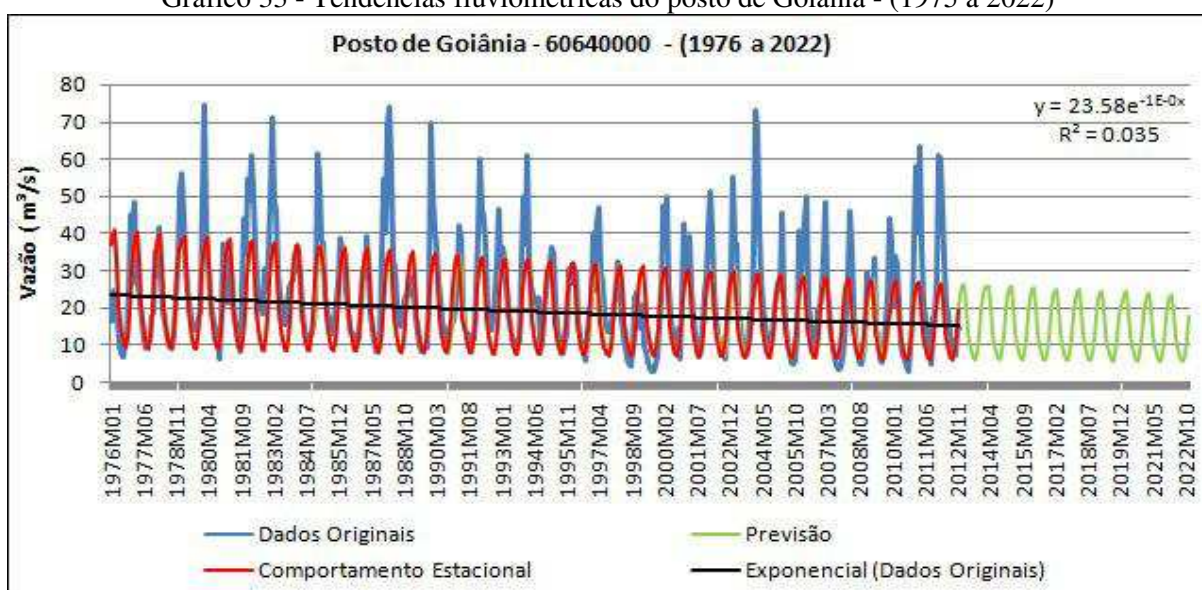
Gráfico 32 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Cristalina (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O gráfico 33 também expressa redução na disponibilidade hídrica verificada no posto fluviométrico de Goiânia - (GO).

Gráfico 33 - Tendências fluviométricas do posto de Goiânia - (1975 a 2022)



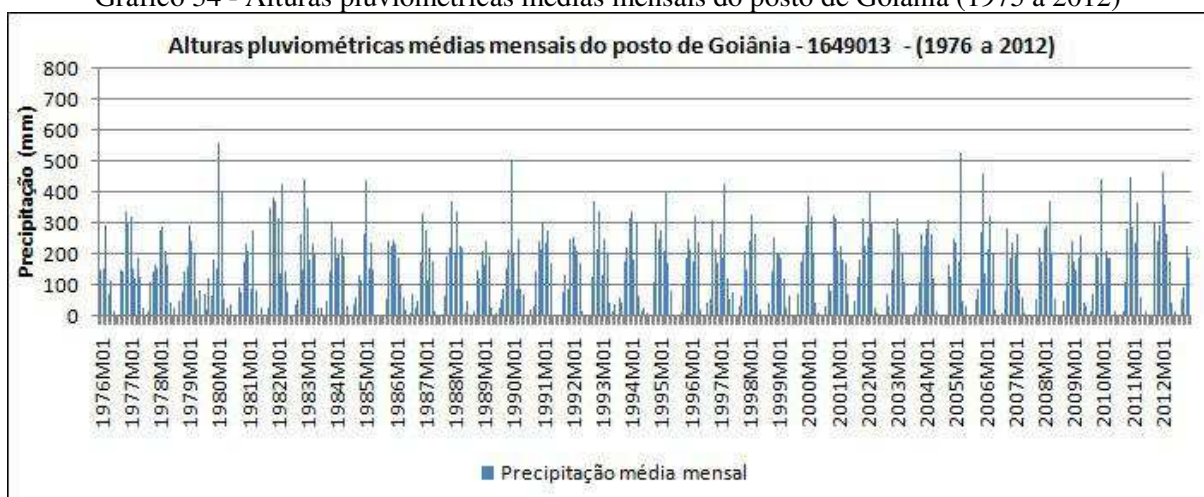
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Entre os anos de início e fim da série histórica, constatou-se que em 1976 as vazões médias durante a estação chuvosa, de outubro a março eram de (12,7 m³/s a 41,0 m³/s) e no período de estiagem, de abril a setembro eram de (32,5 m³/s a 9,2 m³/s), enquanto que em 2012 os valores registrados foram de (8,2 m³/s a 26,6 m³/s) e (21,1 m³/s a 6,0 m³/s) nestes mesmos períodos, confirmando as taxas de diminuição. Até 2022, os resultados do comportamento estacional, agora de previsão, permanecem com tendência de queda, atingindo neste ano uma média geral anual de vazões de 13,8 m³/s. Em comparação aos dados do início da série (1975), verificou-se uma redução de 57,5% nas vazões em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Diante das alturas pluviométricas médias mensais expostas no gráfico 34, verificou-se que em 1976 a média anual de precipitação foi de 1.738,6 mm e de 2010 a 2012 foi de 1.155,9 mm, 1.812,6 mm e 1.896,0 mm. Isto demonstra, que mesmo com aumento das chuvas nos últimos anos, esse acréscimo não tem sido suficiente para aumentar o volume de vazões neste ponto.

Neste caso, o ano 1980, obteve os maiores volumes brutos de vazões, com média anual de 28,6 m³/s, atingindo seu maior pico em fevereiro com 74,4 m³/s. Comparado ao regime pluviométrico, contabiliza-se neste mesmo ano um total de 1.686,5 mm, o que por sua vez, não demonstra correlação suficiente para se afirmar que este aumento deveu-se a entrada de água pelas chuvas na bacia.

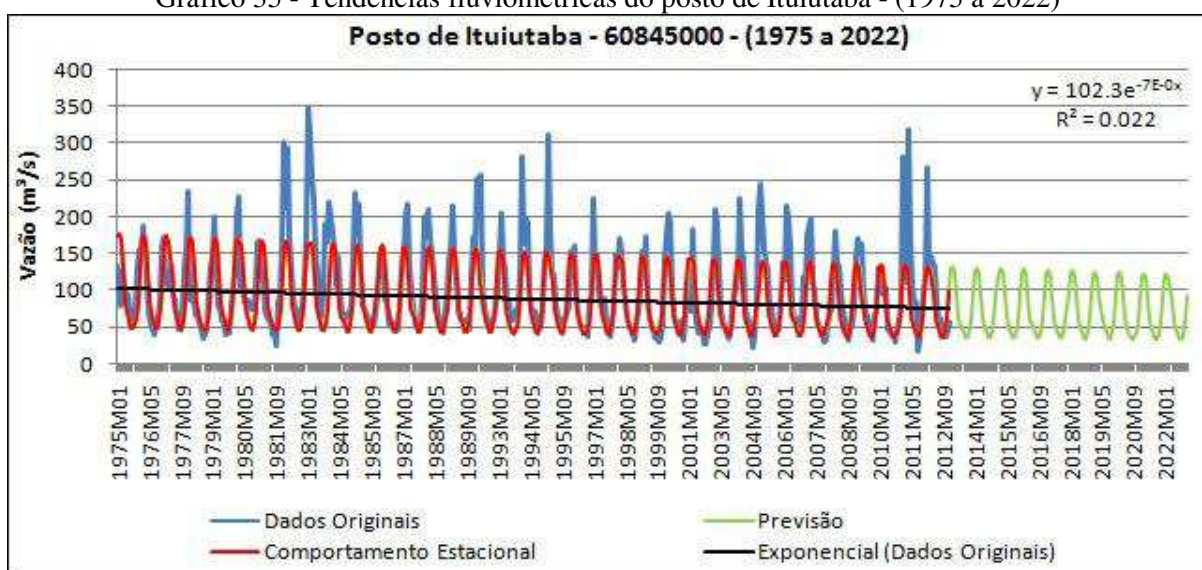
Gráfico 34 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Goiânia (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

No posto localizado no município de Ituiutaba - (MG), há gradual redução de 1975 a 2012 e sua continuação até 2022, pode ser percebida no gráfico 35.

Gráfico 35 - Tendências fluviométricas do posto de Ituiutaba - (1975 a 2022)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

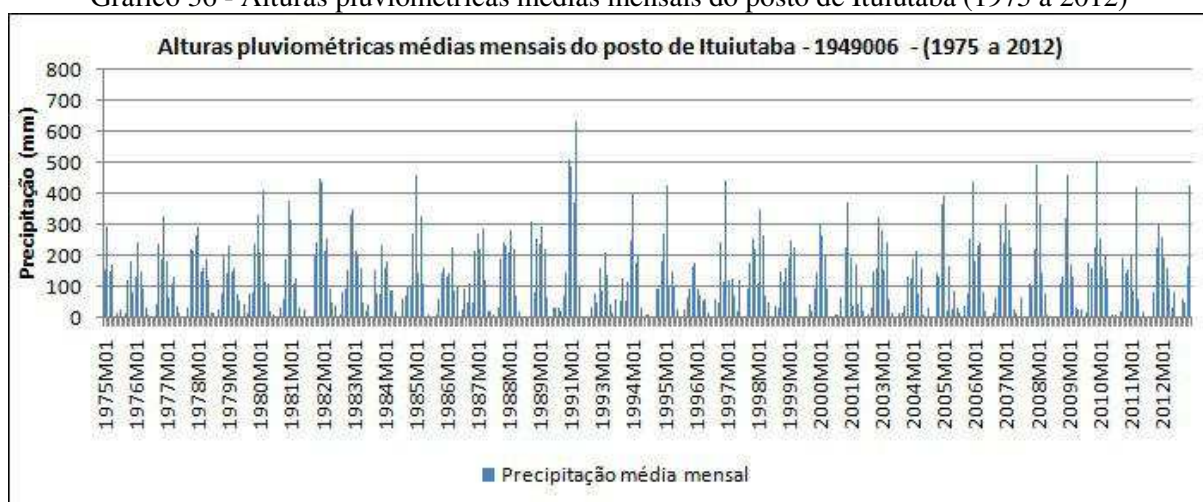
Em 1975, os valores estacionais de vazões médias mensais durante a estação chuvosa oscilavam de (59,1 m³/s a 165,9 m³/s) e durante o período de estiagem de (125,6 m³/s a 47,4 m³/s). Sendo reduzidos em 2012, durante estas mesmas estações para (44,4 m³/s a 124,6 m³/s) e (94,4 m³/s a 35,6 m³/s). Prosseguindo até 2022, infere-se que as vazões continuaram com

tendência de queda, tendo valor médio anual de vazões neste ano de 70,4 m³/s. Em comparação aos dados do início da série (1975), verificou-se uma redução de 69% nas vazões em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

No gráfico 36, observou-se que em 1975 a média anual de pluviosidade foi de 1.217,3 mm, todavia entre 2010 a 2012 os índices pluviométricos médios anuais foram de (1.296,7 mm 1.406,9 mm e 1.265,6 mm), demonstrando um aumento total de chuvas, principalmente durante os meses da estação chuvosa. Desta forma, mesmo com um paulatino aumento do regime pluviométrico, esse também não foi suficiente para aumentar o escoamento fluvial neste ponto.

O ano de 1983 é o ano de maior volume de vazão escoado, o valor médio bruto anual encontrado foi de 186,2 m³/s, alcançando o maior pico em janeiro com 348,1 m³/s. Neste mesmo ano, o total pluviométrico médio anual atingido foi de 1.587,6 mm, significando que neste período as chuvas ocorridas atuaram como elemento influenciador para o aumento do regime fluviométrico.

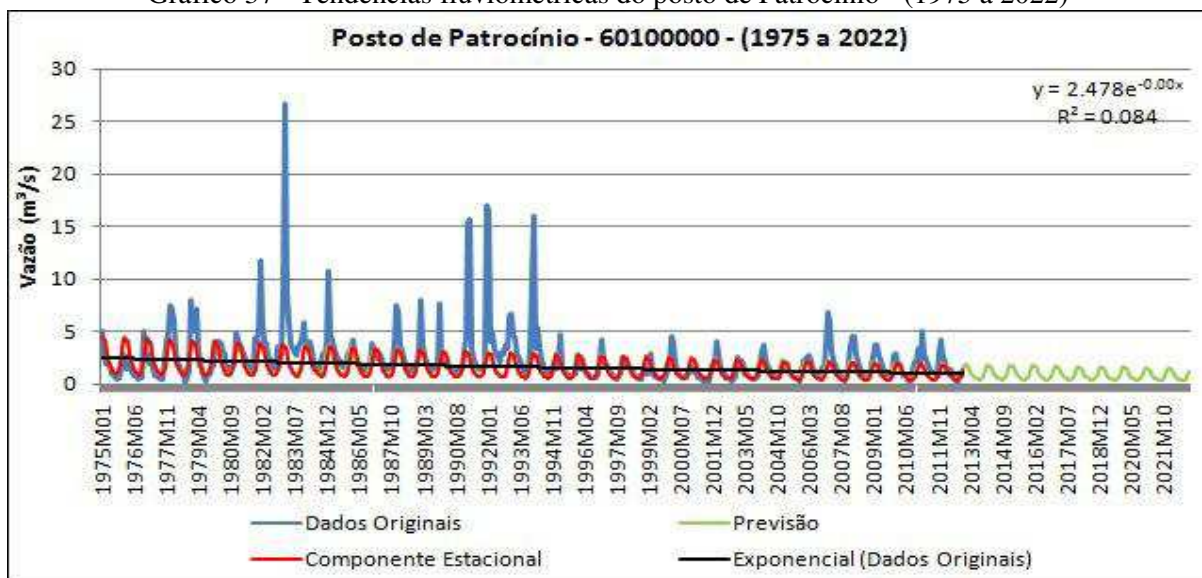
Gráfico 36 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Ituiutaba (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O último exemplo elucidativo de tendência de redução do regime de vazões ao decorrer da bacia de análise vem do posto localizado no município de Patrocínio - (MG), gráfico 37.

Gráfico 37 - Tendências fluviométricas do posto de Patrocínio - (1975 a 2022)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

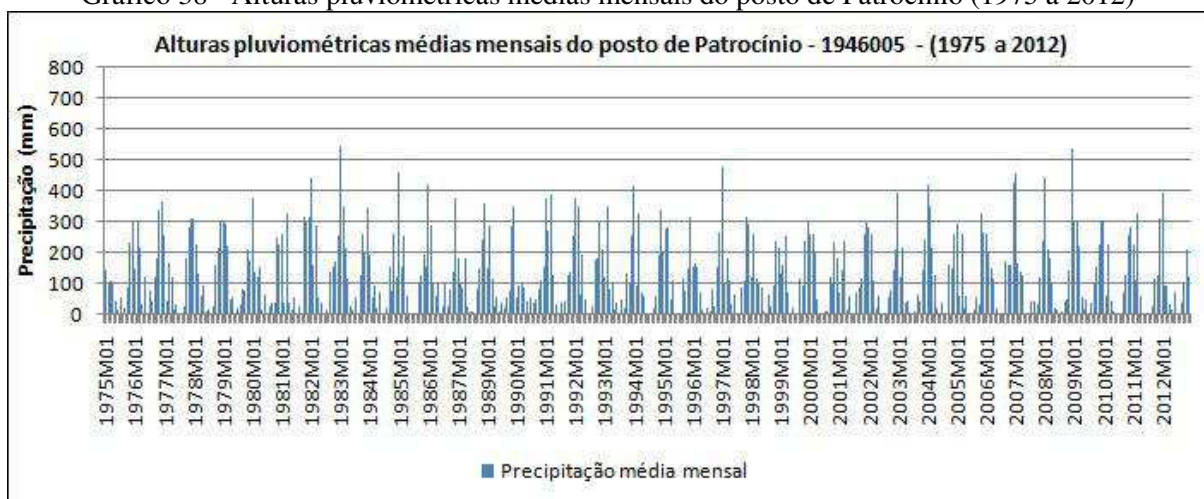
Este, embora apresente valores médios mensais de vazões bem menores quando comparados aos demais postos, também é passível de identificação da queda de disponibilidade hídrica. Sendo que, em 1975 os valores estacionados de vazão média durante a estação chuvosa - outubro a março - eram de (1,2 m³/s a 4,1 m³/s) e ao decorrer do período de estiagem - abril a setembro eram de (2,9 m³/s a 0,9 m³/s). Já em 2012, seguindo esta mesma abordagem, vemos significativa redução nas médias variando de (0,4 m³/s a 1,7 m³/s) e (1,2 m³/s a 0,4 m³/s). Diante da prospecção realizada, constata-se que o regime fluviométrico continuará em queda até 2022. Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se uma redução de 31% nas vazões em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

De acordo com o gráfico 38 vemos que nos últimos anos da série histórica há uma certa variabilidade quanto ao regime pluviométrico, por exemplo, em 2010 e 2011 a média anual de precipitação foi de (1.348,4 mm e 1.312,7 mm), já em 2012 foi de 1.167,9 mm. O que não

permite sinalizar as chuvas, como o elemento influenciador direto na tendência de redução do regime fluviométrico neste ponto da bacia.

O ano de 1983, foi característico do aumento médio anual do regime de vazões diante dos dados brutos trabalhados. Atingindo um valor de médio anual de 6,7 m³/s e seu maior pico durante o mês de fevereiro com 26,0 m³/s. Neste ano, a quantidade de chuvas mensais foi expressiva em relação aos demais, tendo pico anual de 2.251,3 mm, sobretudo durante a estação chuvosa (1.912,5 mm). Significando assim, que o aumento da saída de águas nesta área esteve associado ao grande volume de entrada de chuvas.

Gráfico 38 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Patrocínio (1975 a 2012)

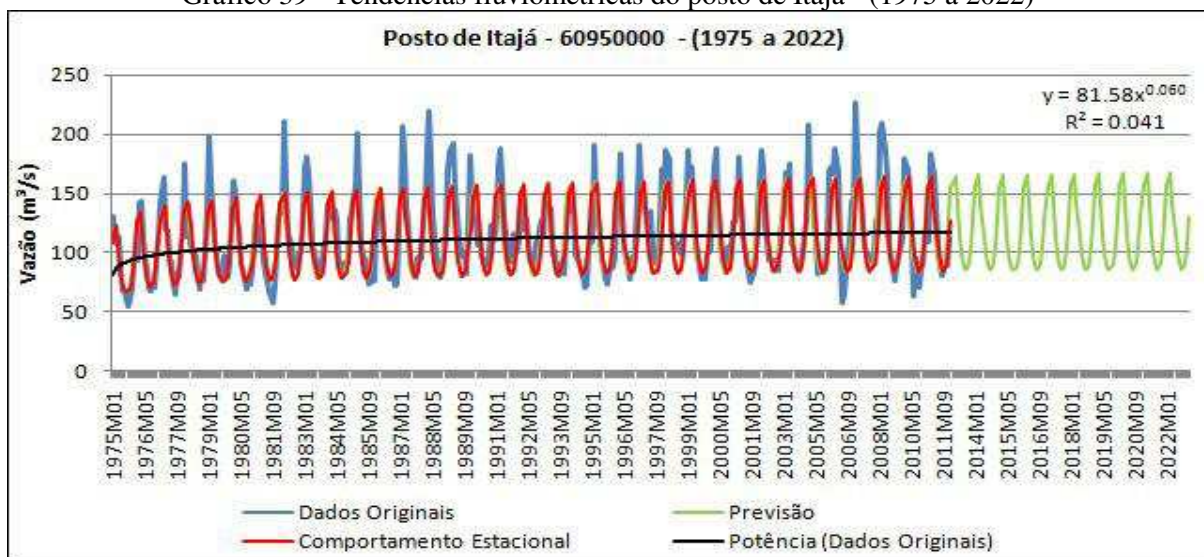


Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Por outro lado, constatou-se que nove postos fluviométricos apresentaram uma tendência de aumento no regime de vazões: Edéia - (GO), Goiatuba - (GO), Itajá - (GO), Maurilândia - (GO), Paraúna - (GO), Quirinópolis - (GO), Tupaciguara - (MG), Uberlândia - (MG) e Varjão - (GO). Desta maneira, selecionou-se 4 destes para serem inseridos nesta discussão.

O posto de Itajá - (GO) demonstrou tendência de aumento no regime de vazões, conforme ilustrado no gráfico 39.

Gráfico 39 - Tendências fluviométricas do posto de Itajá - (1975 a 2022)



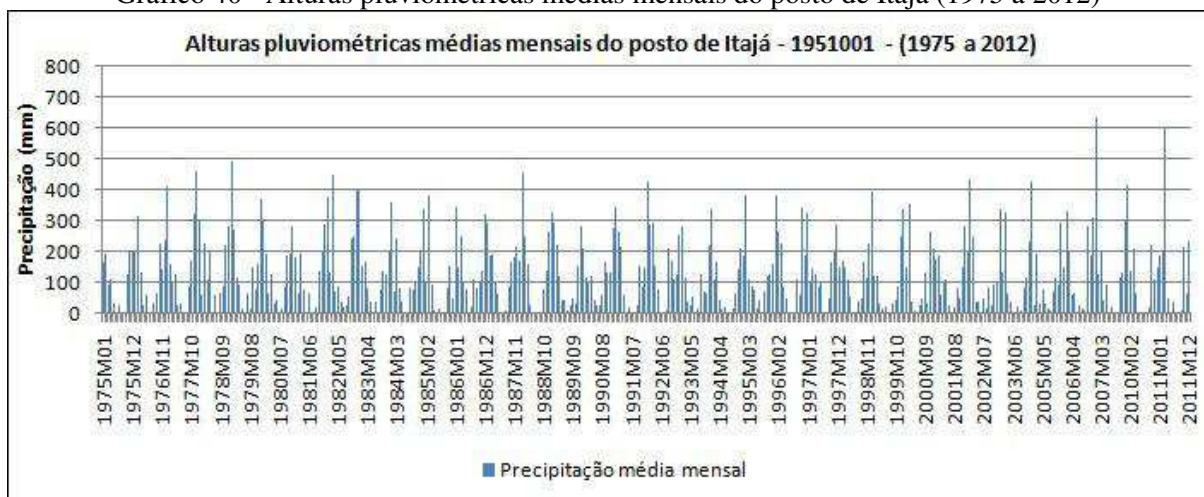
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Os valores estacionais foram de (71,8 m³/s a 121,9 m³/s) de outubro a março e (105,0 m³/s a 68,4 m³/s) de abril a setembro em 1975 a (90,0 m³/s a 164,1 m³/s) de outubro a março e (138,9 m³/s a 86,2 m³/s) de abril a setembro em 2011. O aumento da disponibilidade hídrica neste ponto de interesse permanece em progressão até a previsão para o ano de 2022, atingindo neste último ano durante a estação chuvosa médias mensais de (91,4 m³/s a 166,7 m³/s) e durante o período de estiagem médias mensais de (141,1 m³/s a 87,5 m³/s). Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se um aumento de 75% em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Ao contrapor-se estes resultados com o gráfico 40, veremos que em 1975 o volume total anual de precipitação foi de 1.162,0 mm, enquanto que de 2009 a 2011 a quantidade total de chuvas foi de 1.665,9 mm, 1.340,0 mm e 1.598,1 mm, tendo um aumento do volume precipitado também nos últimos anos a este. Neste caso, a maior quantidade de entrada de água no curso d'água, tem permitido também, um maior escoamento fluvial. Se considerarmos o dado bruto médio mensal de maior valor de vazão ocorrido no ano de 2008, tendo uma média anual de 135,0 m³/s, quando comparado ao regime de chuvas, vemos que neste mesmo

ano a média anual de chuvas foi de 1.665,9 mm, sendo um ano bastante chuvoso, podendo ser correlacionado ao aumento nas médias mensais de vazão.

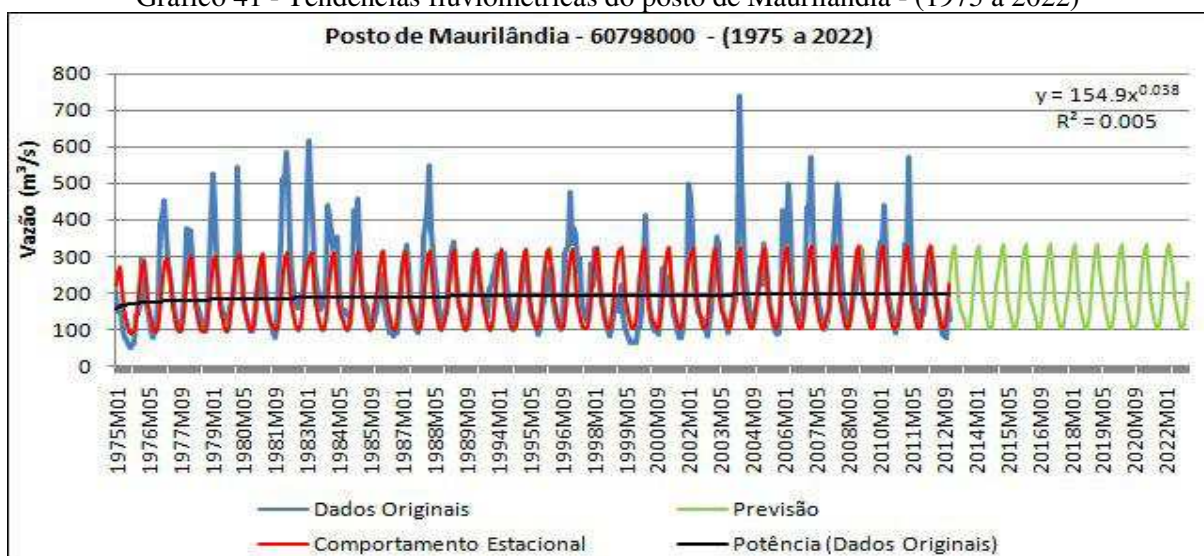
Gráfico 40 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Itajá (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Tendo com referência o posto de Maurilândia - (GO), exemplificado no gráfico 41, observou-se que este ponto de estudo demonstrou tendência de aumento ao decorrer de sua série histórica de 1975 a 2012, seguindo com o mesmo comportamento hidrológico até o final de sua previsão em 2022.

Gráfico 41 - Tendências fluviométricas do posto de Maurilândia - (1975 a 2022)

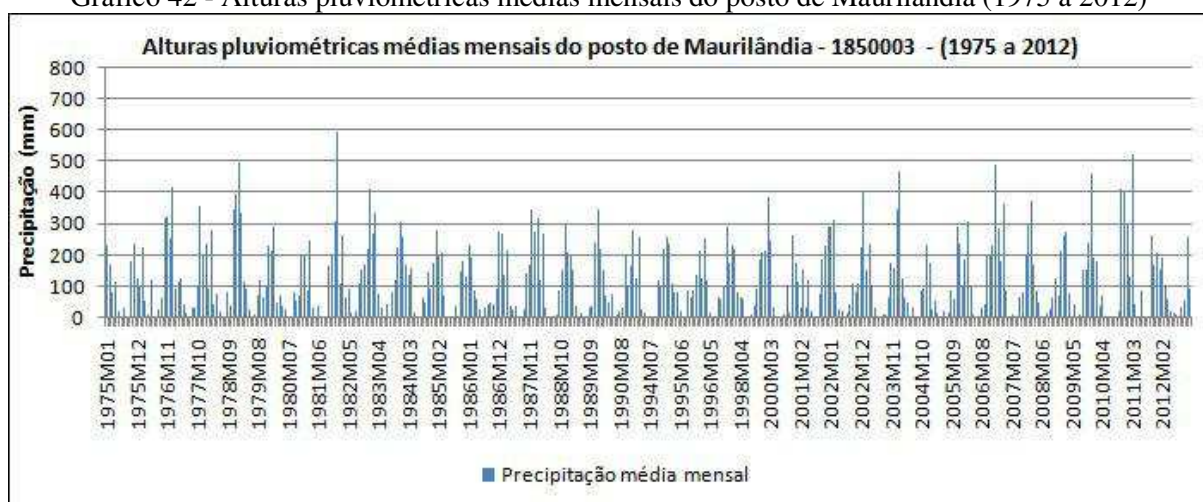


Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Oscilando em 1975, de outubro a março e setembro a abril com valores médios estacionais de vazão de (96,7 m³/s a 271,6 m³/s e 217,7 m³/s a 87,2 m³/s, respectivamente) e em 2012 a (111,8 m³/s a 328,9 m³/s e 260,7 m³/s a 101,2 m³/s, respectivamente). Até 2022, o regime de vazões tenderá a aumentar chegando a atingir picos de (112,9 m³/s a 332,2 m³/s e 263,3 m³/s a 102,2 m³/s) durante a estação chuvosa e período de estiagem. Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se um aumento de 83,2% em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

O gráfico 42 sinaliza que a altura pluviométrica anual registrada em 1975 foi de 1.190,6 mm, enquanto que de 2010 a 2012 os valores totais anuais de chuva foram de 1.320,2 mm, 1.721,8 e 998,6 mm, demonstrando que a tendência de aumento no regime de vazões se relaciona com o maior volume de chuva. Neste caso, o ano de maior média anual de vazão bruta foi em 2004 com 278,3 m³/s e seu maior pico no mês de fevereiro, onde atingiu 740,7 m³/s. Fato este que pode estar associado ao alto índice pluviométrico médio anual neste período de 1.498,0 mm.

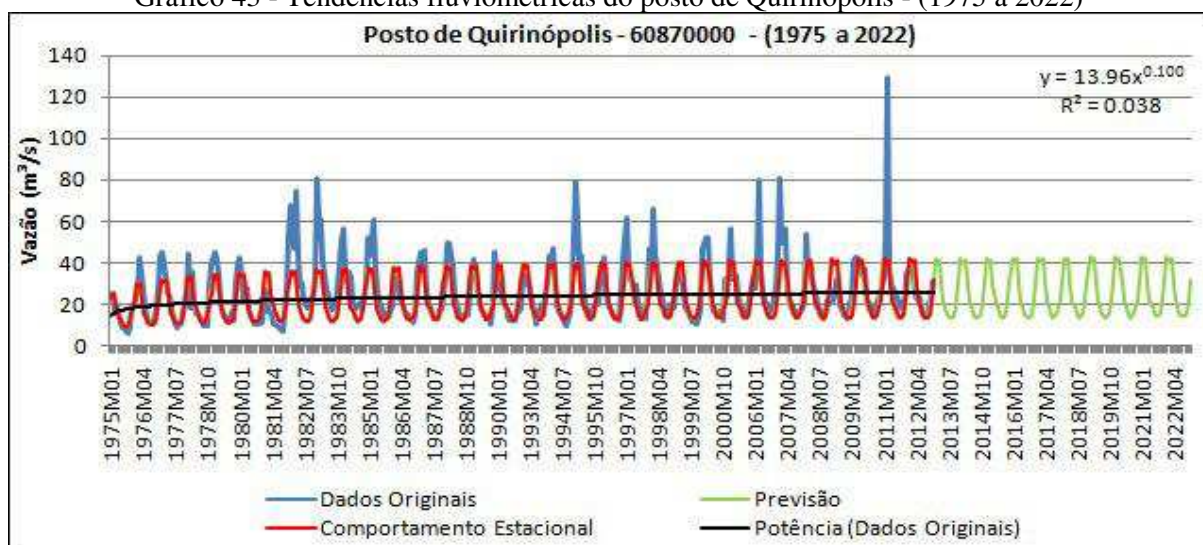
Gráfico 42 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Maurilândia (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O gráfico 43 também expressa a tendência de aumento da disponibilidade hídrica no posto fluviométrico de Quirinópolis - (GO).

Gráfico 43 - Tendências fluviométricas do posto de Quirinópolis - (1975 a 2022)



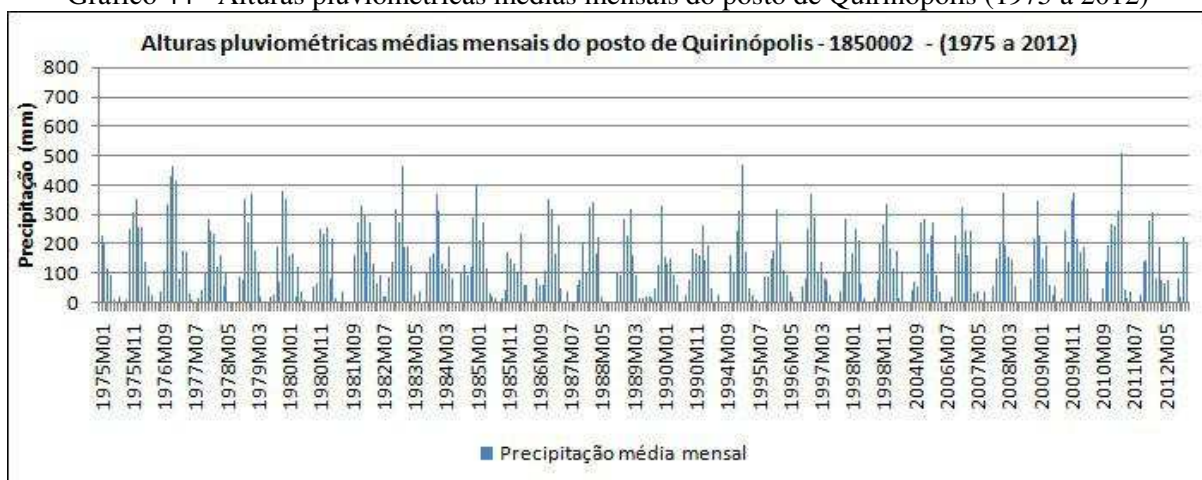
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Entre os anos de início e fim da série histórica, percebeu-se que em 1975 as vazões médias estacionadas durante a estação chuvosa, de outubro a março eram de (10,8 m³/s a 25,4 m³/s) e ao decorrer do período de estiagem, de abril a setembro eram de (15,5 m³/s a 9,5 m³/s), enquanto que em 2012 os valores registrados foram de (17,7 m³/s a 41,2 m³/s) e (29,3 m³/s a 13,9 m³/s) nestes mesmos períodos, testificando assim, as taxas de aumento. Até 2022, os resultados do comportamento estacional em prospecção, permanecem com tendência de aumento, chegando a atingir os respectivos valores (16,0 m³/s a 42,4 m³/s e 30,1 m³/s a 14,2 m³/s). Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se um aumento de 58,6% em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Seguindo as alturas pluviométricas médias mensais ilustradas no gráfico 44, verificou-se quem em 1975 a média anual de precipitação foi de 1.602,5 mm e de 2010 a 2012 foi de 1372,7 mm, 1.782,9 mm e 1.343,5 mm. Isto demonstra, que mesmo com a queda geral no volume de chuvas nos últimos anos anteriores a 2012, esse decréscimo não foi suficiente para inibir o aumento no regime de vazões neste ponto da bacia.

Em 2011, vemos o maior volume bruto médio mensal de vazões, com média anual de 37,2 m³/s, atingindo seu maior pico em março com 129,1 m³/s. Comparando com o regime pluviométrico, contabilizou-se neste mesmo ano um total de 1.782,9 mm, e só em março 511,4 mm, o que por sua vez, demonstra correlação com o aumento de saída de água pelo curso d'água nesta área.

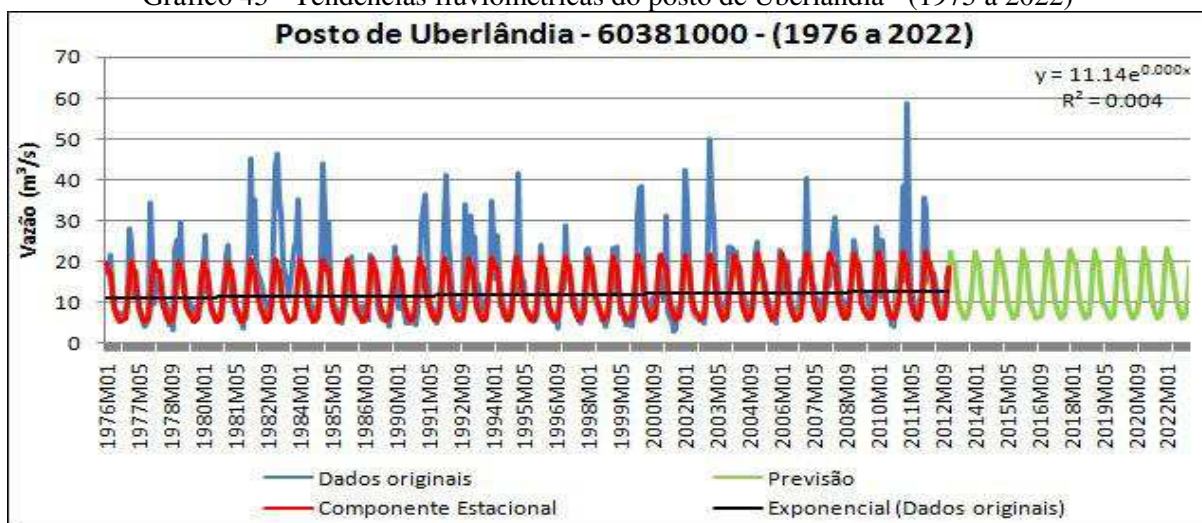
Gráfico 44 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Quirinópolis (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Por último, o gráfico 45 também expressa a tendência de aumento da disponibilidade hídrica verificado no posto fluviométrico de Uberlândia - (MG).

Gráfico 45 - Tendências fluviométricas do posto de Uberlândia - (1975 a 2022)



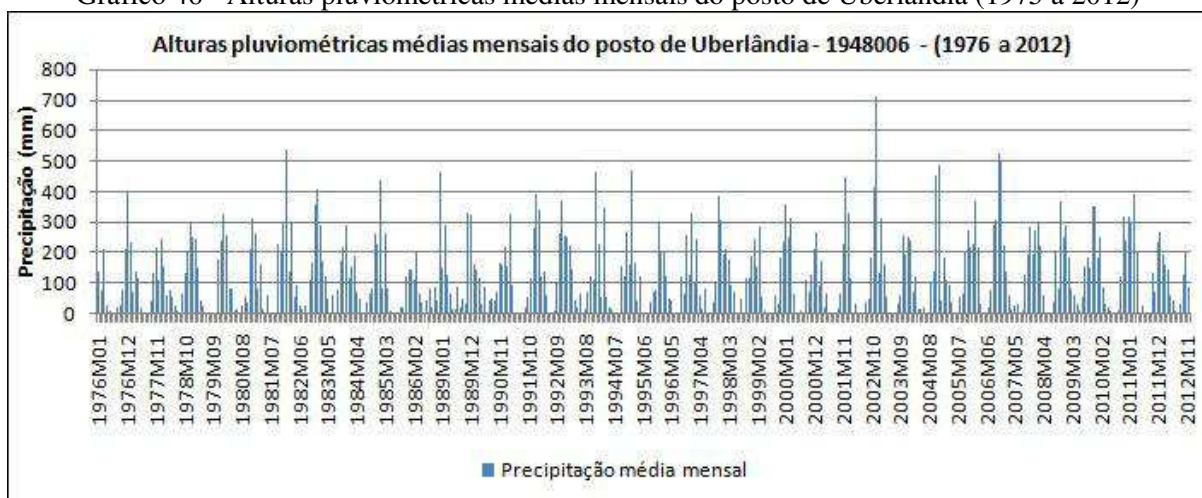
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Os resultados demonstraram que os dados trabalhados foram variando de outubro a março e abril a setembro de 1976 com valores médios estacionais de vazão de (6,1 m³/s a 17,4 m³/s e 12,6 m³/s a 5,6 m³/s) e de outubro a março e abril a setembro de 2012 com (6,9 m³/s a 19,7 m³/s e 14,3 m³/s a 6,3 m³/s). Até 2022, o regime de vazão tenderá a aumentar chegando a atingir picos de (7,2 m³/s a 20,4 m³/s e 14,8 m³/s a 13,0 m³/s) durante o período chuvoso e estiagem. Em comparação aos dados do início da série (1976), verifica-se um aumento de 85,0% nas vazões em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Em conformidade a estes valores, o gráfico 46 demonstrou que as alturas pluviométricas anuais registradas em 1976 foi de 1.219,2 mm e de 2010 a 2012 foram de 1.287,2 mm, 1.684,0 mm e 1.349,1 mm. Portanto, observou-se que o aumento no regime de vazões se relaciona ao maior volume das chuvas.

Para este posto, o ano de maior média anual de vazão bruta foi em 2011 com 20,9 m³/s e seu maior pico no mês de março, onde atingiu 58,9 m³/s. Fato este que pode estar associado ao alto índice pluviométrico médio anual neste período de 1.684,0 mm.

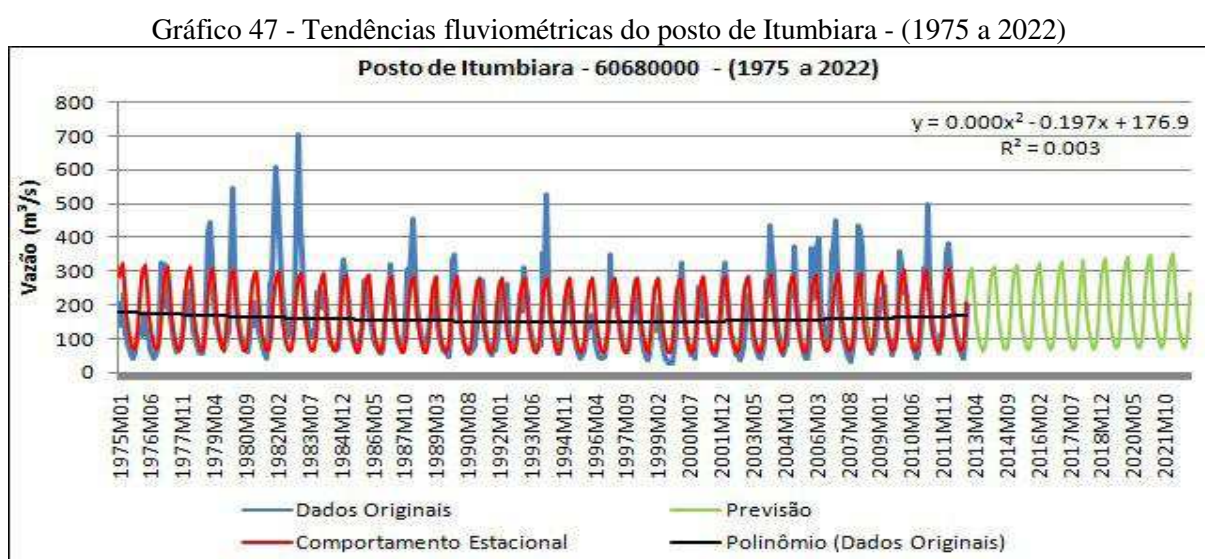
Gráfico 46 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Uberlândia (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Entre todos os postos analisados, ainda tiveram aqueles, quatro no total, que apresentaram inicialmente comportamento de tendência de redução e posteriormente até o final da previsão da série histórica (2022), comportamento de tendência de aumento do regime fluviométrico. Sendo eles: Itumbiara - (GO), Patos de Minas - (MG), Prata - (MG) e Sacramento - (MG). Para terem seus resultados representados em gráficos, foram selecionados dois postos, os mais significativos.

O posto de Itumbiara - (GO) apresentou tendência de redução e aumento no regime de vazões, conforme verificado no gráfico 47.



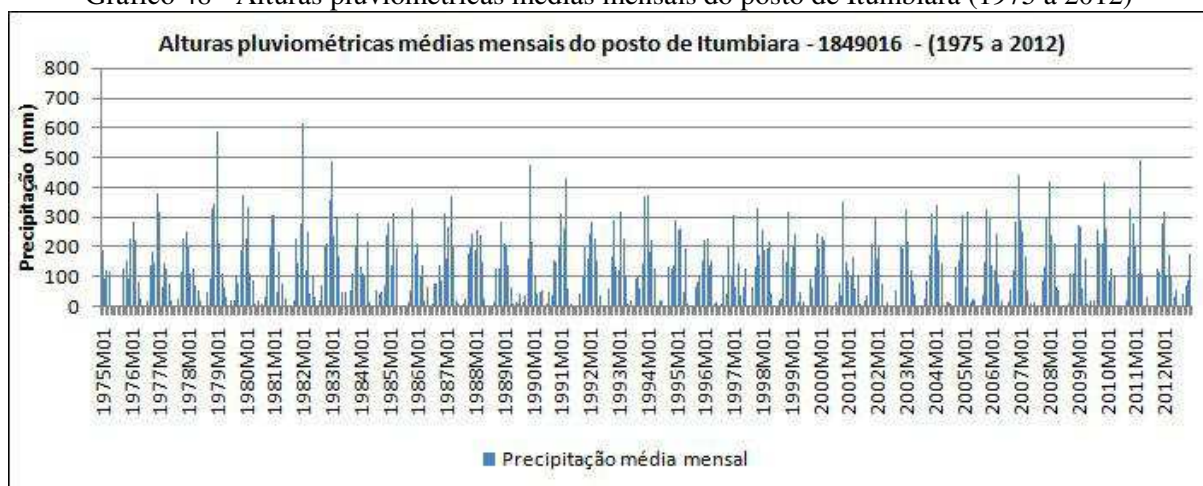
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Observando a sequência de 1975 a 1996, os valores estacionais de vazão variaram nos momentos de pico, de 76,7 m³/s a 322,2 m³/s, no período de outubro a março e de 256,1 m³/s a 66,2 m³/s, de abril a setembro no ano de 1975. Já no final da sequência, no ano de 1996, os valores estacionais de vazão variaram nos momentos de pico, de 66,9 m³/s a 278,8 m³/s no período de outubro a março e de 221,9 m³/s a 57,6 m³/s, de abril a setembro. Em comparação aos dados do início da série (1975), houve uma redução de 87% tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Agora de 1997 a 2012, os valores estacionais de vazão variaram de de 67,0 m³/s a 279,0 m³/s, no período de outubro a março e de 222,1 m³/s a 57,7 m³/s, de abril a setembro no ano de 1997. Já, no ano de 2012, os valores estacionais de vazão variaram nos momentos de pico, de 74,4 m³/s a 308,0 m³/s no período de outubro a março e de 245,3 m³/s a 64,0 m³/s, de abril a setembro. O aumento na disponibilidade hídrica também permanece nos cálculos da previsão realizada até 2022, atingindo neste último ano, durante a estação chuvosa médias mensais de (85,7 m³/s a 353,6 m³/s) e durante a estiagem (281,8 m³/s a 73,7 m³/s). Em comparação aos dados do início desta sequência de dados (1997), houve um aumento de 78% tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Se comparados estes resultados com o gráfico 48, observa-se que em 1975 o volume total médio anual de precipitação foi de 924,0 mm, enquanto que de 1994 a 1996 a quantidade total anual de chuvas foi de 1.352,1 mm, 1.472,1 mm e 1.247,6 mm, o que por sua vez, não acompanhou a redução das vazões. Se relacionarmos o ano de 1997 onde o volume total anual de precipitação foi de 1.468,2 mm, com os anos de 2010 a 2012 com valores de precipitação anual de 1.393,2 mm, 1.477,7 mm e 1.163,6 mm, constata-se que ocorreu um acompanhamento ao aumento das vazões.

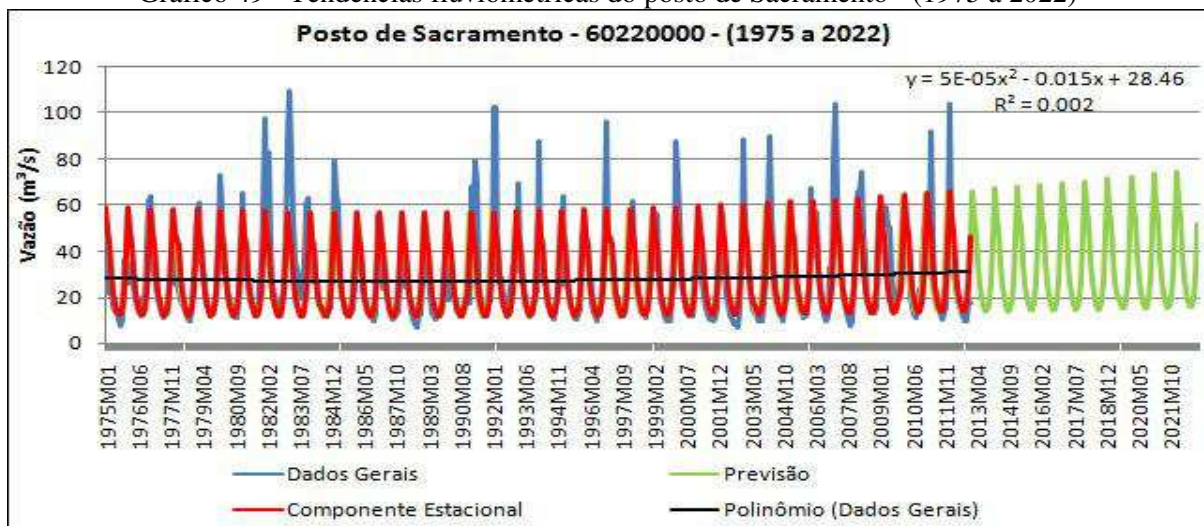
Gráfico 48 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Itumbiara (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O gráfico 49 também expressa comportamento de redução e aumento na disponibilidade hídrica verificada no posto fluviométrico de Sacramento - (MG).

Gráfico 49 - Tendências fluviométricas do posto de Sacramento - (1975 a 2022)



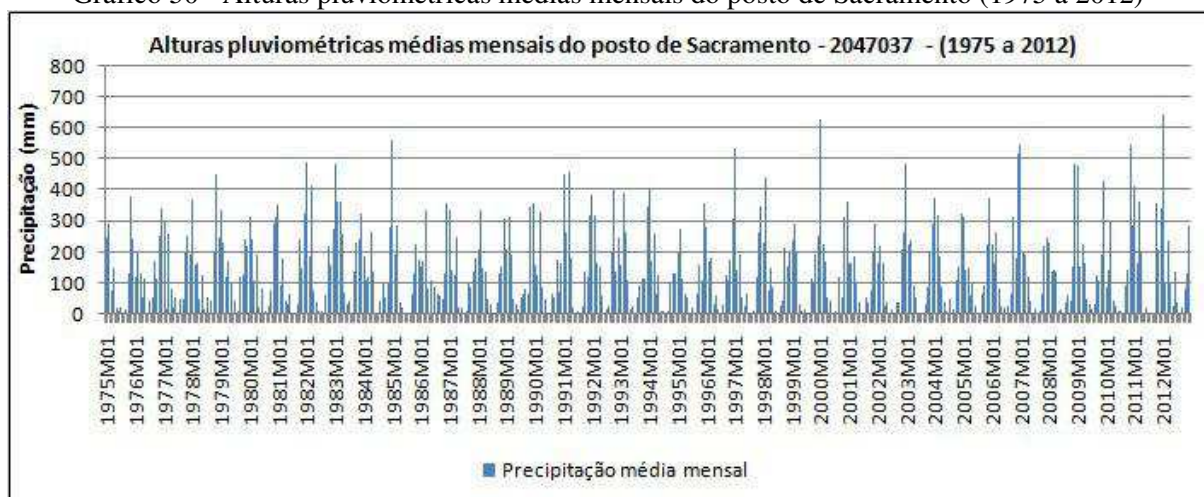
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

A componente estacional demonstrou que os dados trabalhados foram variando de outubro a março e abril a setembro de 1975 com valores médios estacionais de vazão de (15,7 m³/s a 43,2 m³/s e 30,5 m³/s a 12,8 m³/s) e de outubro a março e abril a setembro de 1993 com (15,3 m³/s a 41,9 m³/s e 29,7 m³/s a 12,4 m³/s). Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se uma redução de 96,8% , tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

De 1994 a 2012, os valores foram variando de outubro a março e abril a setembro de 1994 com valores médios estacionais de vazão de (15,4 m³/s a 42,0 m³/s e 29,8 m³/s a 12,5 m³/s) e de outubro a março e abril a setembro de 2012 com (17,7 m³/s a 48,3 m³/s e 34,2 m³/s a 14,4 m³/s). Até 2022, o regime de vazão tenderá a aumentar chegando a atingir picos de (20,1 m³/s a 54,8 m³/s e 38,8 m³/s a 16,4 m³/s) durante o período chuvoso e estiagem. Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se um aumento de 76,6% nas vazões em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Diante das alturas pluviométricas médias mensais expostas no gráfico 50, verificou-se que em 1975 a média anual de precipitação foi de 1.581,1 mm e de 1991 a 1993 foi de 1.985,6 mm, 2.103,1 mm e 1.679,7 mm. Isto demonstra, que mesmo com aumento das chuvas nos últimos anos, esse acréscimo não tem sido suficiente para aumentar o volume de vazões neste ponto. Tendo como sequência o ano de 1994, onde a precipitação média anual foi de 1.415,6 mm em comparação com os anos de 2010 a 2011 em que os valores de precipitação média anual foram de 1.685,9 mm, 2.065,5 mm e 1.801,6 mm, percebe-se que o aumento das chuvas acompanhou o maior volume de disponibilidade hídrica neste ponto da bacia.

Gráfico 50 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Sacramento (1975 a 2012)

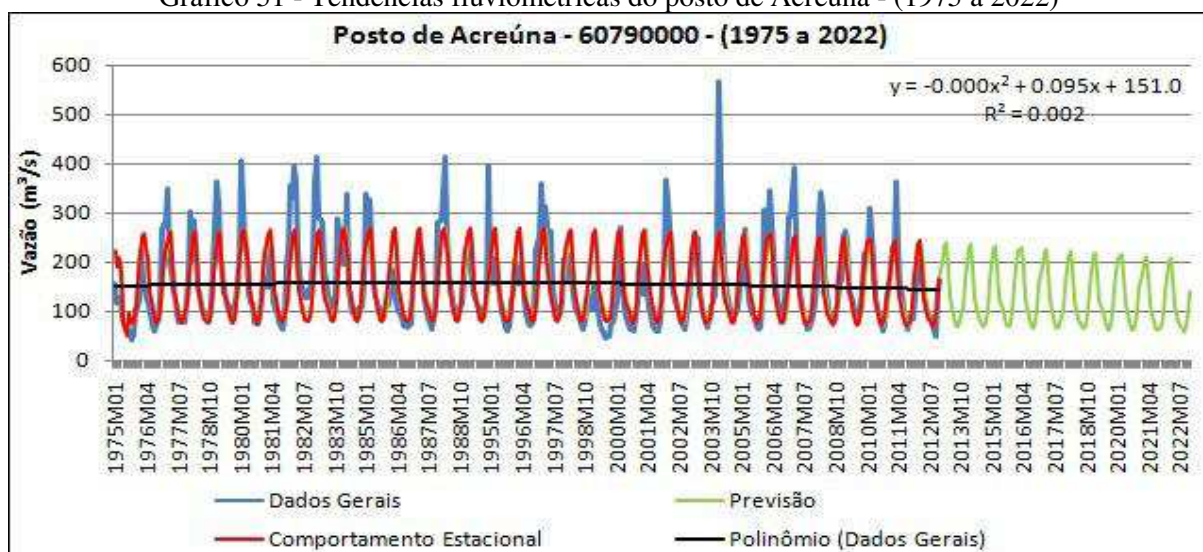


Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Por fim, tiveram dois postos que expressaram comportamento inicial de tendência de aumento e em sequência comportamento de tendência de redução até o final da previsão da série histórica em 2022. Tais postos foram Acreúna e Montividiu, situados na margem goiana do Rio Paranaíba.

O posto de Acreúna - (GO) demonstrou tendência de aumento e posterior redução no regime de vazões, conforme ilustrado no gráfico 51.

Gráfico 51 - Tendências fluviométricas do posto de Acreúna - (1975 a 2022)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Em 1975 os valores estacionados de vazão média durante a estação chuvosa - outubro a março - eram de (86,4 m³/s a 207,7 m³/s) e ao decorrer do período de estiagem - abril a setembro eram de (171,8 m³/s a 76,1 m³/s). Já em 1989, seguindo esta mesma abordagem, vemos significativo aumento nas médias variando de (90,2 m³/s a 269,0 m³/s) e (213,5 m³/s a 79,4 m³/s). Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se um aumento de 77% nas vazões em 1989, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Em 1995 os valores estacionados de vazão média durante a estação chuvosa - outubro a março - eram de (90,0 m³/s a 268,8 m³/s) e ao decorrer do período de estiagem - abril a setembro eram de (213,4 m³/s a 79,3 m³/s). Já em 2012, encontra-se significativa diminuição nas médias variando de (80,8 m³/s a 242,6 m³/s) e (192,4 m³/s a 71,2 m³/s). Diante da prospecção realizada, constata-se que o regime fluviométrico continuará em queda até 2022. Em comparação aos dados do início desta nova sequência (1990), verifica-se uma redução de 77,1% nas vazões em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

O gráfico 52 sinaliza que a altura pluviométrica anual registrada em 1975 foi de 793,8 mm, enquanto que de 1987 a 1889 os valores totais anuais de chuva foram de 1.512,3 mm, 1.251,7

e 1.738,3 mm, demonstrando que a tendência de aumento no regime de vazões se relaciona com o maior volume de chuva. O ano de 1995 apresentou 1.306,6 mm de precipitação média anual, enquanto que os anos de 2010 a 2012 registraram 1.334,5 mm, 1.371,5 mm e 999,0 mm, significando que a tendência de redução no regime de vazões não seguiu o mesmo comportamento do aumento das chuvas.

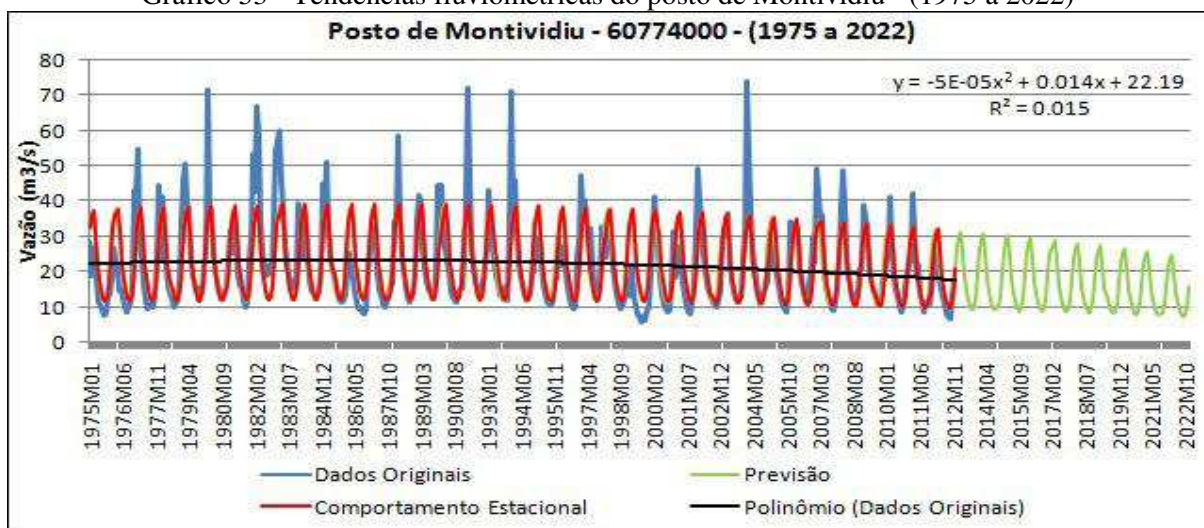
Gráfico 52 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Acreúna (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

O gráfico 53 também expressa comportamento de aumento e redução na disponibilidade hídrica verificada no posto fluviométrico de Montividiu - (GO).

Gráfico 53 - Tendências fluviométricas do posto de Montividiu - (1975 a 2022)



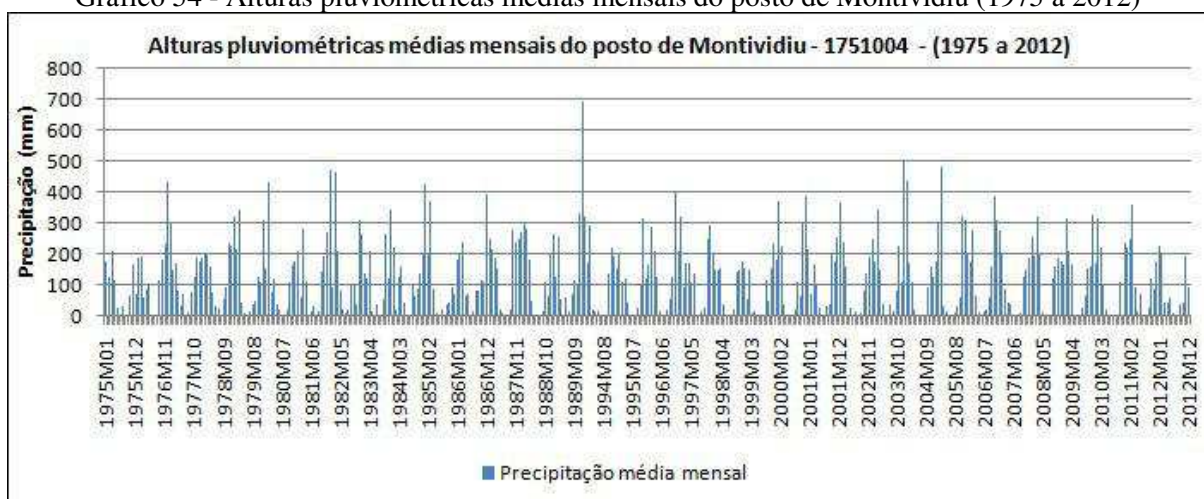
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Pode-se constatar que em 1975 as vazões médias estacionadas durante a estação chuvosa, de outubro a março eram de (12,5 m³/s a 37,4 m³/s) e ao decorrer do período de estiagem, de abril a setembro eram de (30,3 m³/s a 11,5 m³/s), enquanto que em 1990 os valores registrados foram de (13,0 m³/s a 39,0 m³/s) e (31,5 m³/s a 11,9 m³/s) nestes mesmos períodos, testificando assim, as taxas de aumento. Em comparação aos dados do início da série (1975), verifica-se um aumento de 95,8% em 1990, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

Agora em 1991, verifica-se que as vazões médias estacionadas durante a estação chuvosa, de outubro a março eram de (12,9 m³/s a 38,9 m³/s) e ao decorrer do período de estiagem, de abril a setembro eram de (31,5 m³/s a 11,9 m³/s), enquanto que em 2012 os valores registrados foram de (10,5 m³/s a 32,0 m³/s) e (25,8 m³/s a 9,7 m³/s) nestes mesmos períodos, testificando assim, as taxas de redução. Até 2022, os resultados do comportamento estacional em prospecção, permanecem com tendência de redução, chegando a atingir os respectivos valores (8,1 m³/s a 24,9 m³/s e 20,1 m³/s a 7,5 m³/s). Em comparação aos dados do início da nova sequência de dados (1991), verifica-se uma redução de 63% em 2022, tanto no período de chuvas, quanto no de estiagem.

De acordo com o gráfico 54 vemos que em 1975 a precipitação média anual foi de 1.005,2 mm e no intervalo de 1988 e 1990 a precipitação média anual foi de 1.639,7 mm, 1.474,6 mm e 2.103,6, já em 2012. O que permite sinalizar as chuvas, como elemento influenciador na tendência de aumento do regime fluviométrico. Em 1991, a altura pluviométrica anual foi de 1.395,1 e de 2010 a 2012 as precipitações totais anuais foram de 1.276,8 mm, 1.491,2 mm e 960,6 mm. Demonstrando que o aumento das chuvas, não acompanhou a redução das vazões até o final da série histórica em 2012.

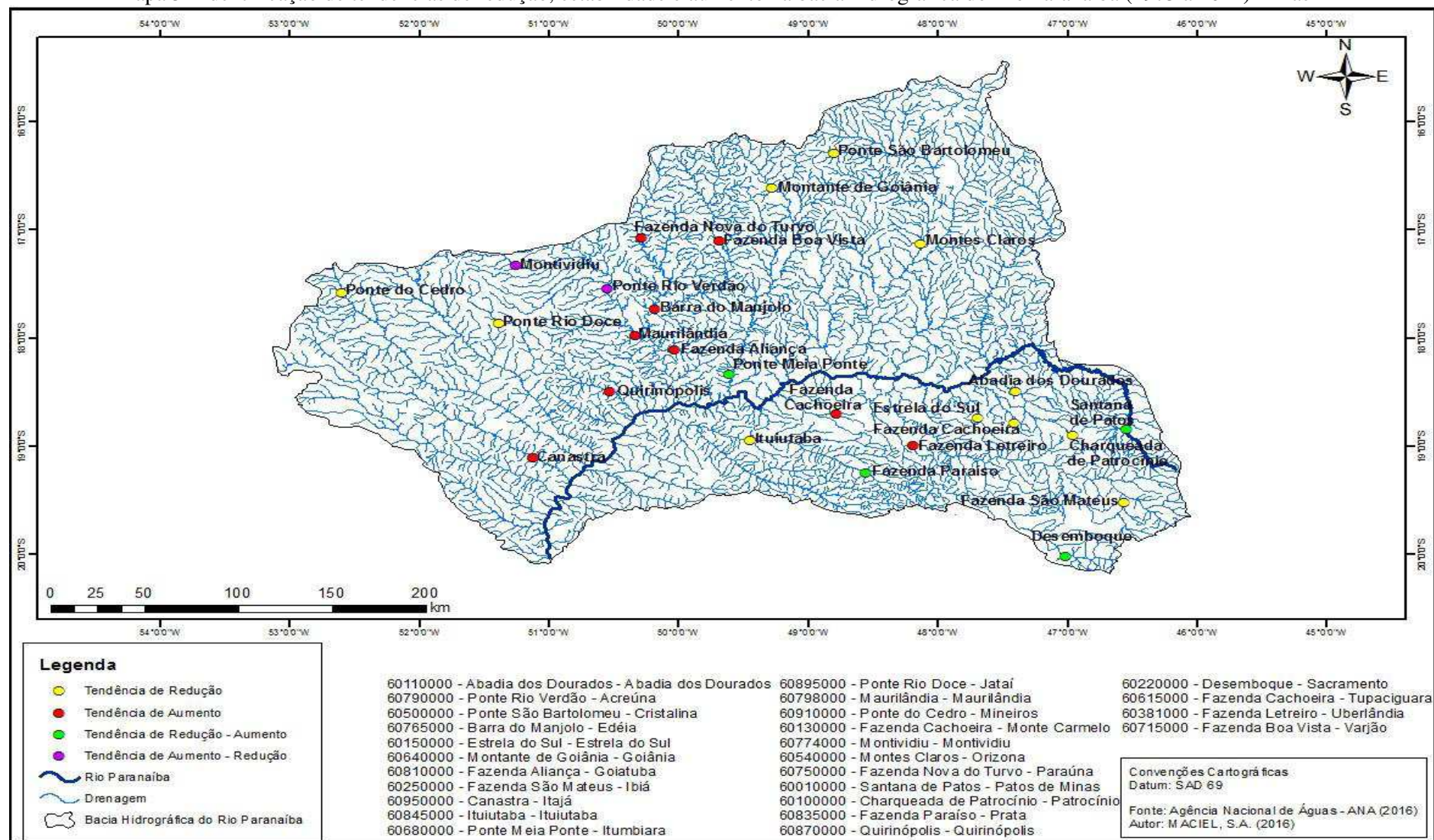
Gráfico 54 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Montividiu (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Afim de espacializar os resultados obtidos perante o comportamento das tendências das vazões médias mensais encontradas nos postos fluviométricos situados ao longo da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, acrescenta-se o mapa 5. Em termos de percentagens fica evidenciado que 42,3% são de postos que apresentaram tendência de redução, 34,6% são de postos que tendem ao aumento, 15,4% registraram inicialmente tendência de redução e a posteriori de aumento e 7,7% sinalizaram primeiramente tendência de aumento e após redução do regime fluvial.

Mapa 5 - Identificação de tendências de redução, estabilidade e aumento na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1975 a 2022) - Brasil



Fonte de dados: IBGE (2016); ANA (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa possibilitaram entender a relação existente entre a chuva e a vazão em uma bacia hidrográfica. Neste processo, os métodos estatísticos foram importantes para observar a variabilidade pluviométrica e como esta repercute no escoamento das águas.

Sabe-se que além da quantidade das chuvas, outros fatores externos ao ciclo da água, como por exemplo, fatores fisiográficos relacionados a bacia de estudos (área, forma, topografia, permeabilidade), o uso e a ocupação do solo, tipologia dos solos, obras hidráulicas presentes, captações superficiais, dentre outras, podem interferir no regime de vazões de cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba - Brasil. Todavia, nesta dissertação não foram objetivo de análise para compreensão do aumento ou redução da disponibilidade hídrica.

Dentre as características referentes ao comportamento pluviométrico na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, destaca-se a média anual de 1.468,4 mm, variando espacialmente entre 1.317,4 mm em Tupaciguara - (MG) e 1.672,2 mm em Sacramento - (MG).

Há na bacia de estudos, a presença de uma sazonalidade climática marcante, com dois períodos característicos bem definidos, sendo um de outubro a março, dito chuvoso, e outro de estiagem, de abril a setembro. A estação chuvosa compreende 85,2% da pluviosidade anual e o período de estiagem 14,8% do total pluviométrico anual.

O regime fluviométrico acompanhou o mesmo comportamento pluviométrico. Tendo durante a estação chuvosa, um aumento nos valores médios de vazões que foram de 28,4 m³/s em outubro a 88,1 m³/s em março e uma diminuição nos valores médios de vazões, dentro do período de estiagem de 69,6 em abril a 24,6 m³/s em setembro.

Diante dos valores médios das vazões específicas mensais, a média geral anual para toda a bacia foi de $0,018 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Os valores tendem a aumentar progressivamente de outubro a abril, variando de $0,010 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,022 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Os maiores picos ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro com $0,030 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, cada. Esse período coincide com a estação chuvosa, onde o acumulado de precipitação alcança média de 191,5 mm. Nos meses de maio a junho, as vazões específicas médias mensais reduzem consideravelmente de $0,016 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ a $0,008 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, respectivamente. Este comportamento é reflexo da influência do início da estiagem, onde o escoamento fluvial é restrito ao fluxo basal. Em julho, a vazão específica atinge $0,010 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, voltando registrar este mesmo valor apenas em outubro, mês este, que marca o início da estação chuvosa.

Pelo uso dos pluviogramas e fluviogramas, diante da média geral de 1975 a 2012 para todos os postos, percebeu-se que os picos e as baixas de precipitações incidem diretamente no regime de vazões, devendo-se considerar somente o retardo do aumento da vazão em relação ao início das chuvas. Todavia, algumas estações de estudo apresentaram em certos meses, comportamento diferenciado das demais. O que pode ser justificado pela consistência dos dados coletados em cada uma delas, pelo diferente período de retardo ou pelas condições extrínsecas a precipitação que influenciam neste mesmo processo.

A Correlação Linear de Pearson, novamente mostrou a relação existente entre as variáveis chuva e vazão. Entre todos os postos estudados, a correlação foi forte e positiva, indicando que a medida que ocorre um aumento no total mensal médio de precipitação o volume de vazões também é maior. Uma vez que, houveram algumas disparidades na correlação, quando comparados somente os meses, recomenda-se que em trabalhos futuros possa ser abordado também o período de retardo na aplicação desta metodologia, para poder identificar a variação nestes resultados.

A variabilidade na precipitação pode ser melhor observada ao se comparar ano a ano na série histórica, fato este comprovado também no método do Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP), que permitiu a identificação de períodos que vão desde a muito úmidos a estiagens severas. Tal variabilidade, influencia o regime de vazões, provocando redução ou aumento no seu volume. Desta forma, espera-se que as próximas pesquisas possam enquadrar uma análise mais detalhada, levando em consideração estas variações anuais.

Dentre as metodologias destinadas a identificação de tendências e a previsão em séries temporais, a Decomposição das Séries se demonstrou essencialmente satisfatória para análise dos resultados, uma vez que, permitiu a identificação dos componentes estacionais, tendências de redução, estabilidade ou aumento e a prospecção futura dos dados.

Os resultados avaliados mostraram redução no regime de vazões em 11 postos, sendo seis deles encontrados na margem mineira do Rio Paranaíba: Abadia dos Dourados, Estrela do Sul, Ibiá, Ituiutaba, Monte Carmelo e Patrocínio e cinco deles dispostos na margem goiana do rio: Cristalina, Goiânia, Jataí, Mineiros e Orizona. Nove postos apresentaram tendência de aumento: Edéia - (GO), Goiatuba - (GO), Itajá - (GO), Maurilândia - (GO), Paraúna - (GO), Quirinópolis - (GO), Tupaciguara - (MG), Uberlândia - (MG) e Varjão - (GO). Quatro postos fluviométricos sinalizaram inicialmente tendência de redução e posteriormente tendência de aumento: Itumbiara - (GO), Patos de Minas - (MG), Prata - (MG) e Sacramento - (MG). E dois postos expressaram primeiramente tendência de aumento e depois tendência de redução: Acreúna - (GO) e Montividiu - (GO).

Quanto as tendências de redução encontradas nos postos fluviométricos da bacia, quando comparadas ao regime pluviométrico, verificou-se que o aumento paulatino na quantidade de precipitações nos últimos anos, anteriores a 2012, não foram suficientes para aumentar também o volume de vazões na área de estudos.

Sobre as tendências de aumento no regime de vazões, ao compará-las com a atuação das chuvas, testificou-se que seu aumento progressivo, esteve associado a maior quantidade pluviométrica perceptível na área de estudos nos últimos anos, anteriores a 2012, quando comparadas ao início da série histórica em 1975.

Se analisarmos também todos os anos de 1975 a 2012, veremos que anos com volume de precipitação máxima, tanto na estação chuvosa, quanto no período de estiagem, repercutiram diretamente no aumento das vazões, verificado em diversos postos selecionados na bacia como, Abadia dos Dourados - (MG), Goiânia - (GO), Patrocínio - (MG), Quirinópolis - (GO), Varjão - (MG), e demais.

Ressalta-se que além desta metodologia utilizada nesta pesquisa para análise de tendências em séries temporais, existem ainda outros diversos métodos de aplicabilidade, recomenda-se que trabalhos futuros possam desenvolvê-los afim de promover avanços nessa temática.

Um dos problemas enfrentados durante o desenvolvimento da dissertação foram as falhas encontradas nas séries históricas. Uma vez que, as mesmas não foram suficientes para prejudicar a veracidade dos resultados, optou-se por não corrigi-las. A inexistência de postos pluviométricos e fluviométricos também foram insuficientes para aplicação de metodologias que cumprissem com êxito este processo. Por isso, reforça-se aqui a importância da manutenção e aumento da rede de postos brasileira, por parte das autoridades competentes.

Enfim, sugere-se que novos projetos possam também abordar a relação da chuva-vazão em bacias hidrográficas, aplicando métodos e análises diversas. Podendo englobar agora, além da quantidade, a intensidade das chuvas, o período de retardo, demais fatores influenciadores neste processo extrínsecos a dinâmica da pluviosidade, etc. É importante frisar ainda, a necessidade de trabalhos que possam se realizar em função da espacialidade, por exemplo

com a utilização de mapas, que envolvam as variáveis em questão, objetivando proporcionar outros entendimentos a cerca do fenômeno estudado.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (Brasil) - ANA (2016). **HidroWeb** - Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

Agência Nacional de Águas (Brasil) . **Diagnóstico da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba: Parte A**. 2011. Disponível em: <<http://cbhparanaiba.org.br/prh-paranaiba/documentos-de-apoio>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba**. 2013. Disponível em: <<http://cbhparanaiba.org.br/prh-paranaiba/plano>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba: Resumo Executivo**. 2013. Disponível em: <<http://cbhparanaiba.org.br/prh-paranaiba/resumo-executivo>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003. 165 p.

AYOADE, J. O.. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

BALLINI, Rosangela. **Análise e previsões de vazões utilizando modelos de séries temporais, redes neurais e redes neurais nebulosas**. 2000. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000217827>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

BARBALHO, Valéria Maria de Souza. **Sistemas baseados em conhecimento e lógica difusa para simulação do processo chuva-vazão**. 2001. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/cat_view/28-doutorado/56-2001?Itemid=>>. Acesso em: 19 jan. 2016.

BAYER, Débora Missio; CASTRO, Nilza Maria dos Reis; BAYER, Fábio Mariano. **Modelagem e Previsão de Vazões Médias Mensais do Rio Potiribu Utilizando Modelos de**

Séries Temporais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p.229-239, 2012. Disponível em:
<https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/636dfdef3c015e1007b44179d105f39a_c4f897d67103f828a397238fb315b4c9.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2016.

BAYER, Fabio Mariano. Wavelets e modelos tradicionais de previsão: um estudo comparativo.. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 28, n. 2, p.40-61, 2010. Disponível em:
<http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v28/v28_n2/A3_Fabio_Adriano.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2016.

BERTONI, Juan C.; TUCCI, Carlos E. M.. Precipitação. In: TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. Cap. 5. p. 177-241.

BETTINI, Cláudio. Conceitos básicos de Geoestatística. In: MEIRELLES, Margareth Simões Penello. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília - Df: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. Cap. 4. p. 191-234.

BLAIN, Gabriel Constantino; BRUNINI, Orivaldo. Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer Adaptado e Índice Padronizado de Precipitação no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 22, n. 1, p.105-111, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n1/a11v22n1.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

BLAIN, Gabriel Constantino; BRUNINI, Orivaldo. Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p.695-705, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v64n4/a20v64n4.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

BRAVO, Juan Martín; COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Otimização de Regras de Operação de Reservatórios com Incorporação da Previsão de Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p.181-196, 2008. Disponível em:
<https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/ae1b5d38063eea545c0640f88f0b50ae_8058bf1028e0a49a885ff61c9c30c205.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2016.

BRUNI, Adriano Leal. **SPSS aplicado à pesquisa acadêmica**. São Paulo: Atlas, 2009.
CHAVES, Patrícia Malcher. **Estudo observacional sobre os eventos de seca meteorológica e hidrológica na região de Marabá - PA no sudeste da Amazônia Oriental**. 2011. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

Disponível em:

<http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/6857/1/Dissertacao_EstudoObservacionalEventos.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2016.

CLARKE, Robin T. Hidrologia Estatística. In: TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ufrgs/abrh, 2004. Cap. 17. p. 659-702.

COELHO, Gustavo Brasileiro. **Análise e simulação do processo de transformação de chuva em vazão com suporte de Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: <Análise e simulação do processo de transformação de chuva em vazão com suporte de Sistema de Informações Geográficas (SIG)>. Acesso em: 25 jan. 2016.

COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos E. M.. Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 1, n. 6, p.95-118, 2001. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/b0a907b2f768dd79ee670aedd81b1e87_a70d73b3aa2ef8d5a8926eab4d2513e3.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2016.

CHORLEY, Richard J.; HAGGETT, Peter. **Modelos físicos e de informação em geografia**. Rio de Janeiro: Editora da Universidade de São Paulo, 1975.

CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística Fácil**. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 2001. 224 p.

CRESPO, Ângela Peres; SILVA, Ana Paula Soares da; NERY, Jonas Teixeira. Caracterização da precipitação pluvial em Ourinhos, SP. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...**. São Paulo: SBGFA, 2005. p. 521 - 531. Disponível em: <<http://www.ourinhos.unesp.br/Home/Pesquisa/GruposdeEstudo/Clima/Simposios/101.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

Empresa de Pesquisa Energética. **Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos aproveitamentos hidroelétricos da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba**. 2006. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/MeioAmbiente_5/Produto 2 - Caracterização - Relatório.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2016.

FERNANDES, Diego Simões; HEINEMANN, Alexandre Bryan; PAZ, Rosidalva Lopes; AMORIN, André de Oliveira; CARDOSO, Aparecida Socorro. **Índices para a Quantificação da Seca**. Santo Antônio de Góias: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 48 p.

Disponível em:

<http://www.simehgo.sectec.go.gov.br/downloads/publicacoes/artigos/doc_244.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2016.

FERNANDES, Luiz Gustavo Leão. **Utilização de redes neurais na análise e previsão de séries temporais**. 1995. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/25774>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

FILL, Heinz Dieter; STEINER, Alexandre Arns. Estimativa do Hidrograma Instantâneo e da Vazão Máxima de Enchentes a Partir de Vazões Médias Diárias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p.17-27, 2003. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/4ff4b08a3af76f676761fb69d0e30c4e_20efa970604366bd73feb81c7192c6f6.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2016.

FLAUZINO, Fabrício Silvério et al. Geotecnologias Aplicadas à Gestão dos Recursos Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 22, p.75-91, abr. 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327197006>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de Andrade; TOLEDO, Geraldo Luciano. **Estatística Aplicada**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1938. 267 p.

GALVANI, Emerso; PEREIRA, Antonio Roberto; KLOSOWSKI, Élcio Silvério. Relações entre o índice de oscilação sul (IOS) e o total mensal de chuva em Maringá-Pr. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 20, n. 4, p.531-535, 1998. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/3124/2332>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1967. 249 p.

GROSS, Joceli Augusto; CASSOL, Roberto. Índice de anomalia de chuva do estado do Rio Grande do Sul. **Ambiência**, Guarapuava, v. 11, n. 3, p.529-543, 2015. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3300/pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

GUEDES, Roni Valter de Souza; MACEDO, Maria José Herculano; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 23, p.55-65, 2012. Disponível em: <<http://www.abes->

dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/23-08_Materia_6_artigos308.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2016.

GUEDES, Roni Valter de Souza et al. Identificação e classificação espaço-temporal de eventos críticos chuvosos ou secos ocorridos em Pernambuco. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 1, n. 28, p.413-428, 2015. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/viewFile/17167/pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

_____. **Hidro: Sistema de Informações Hidrológicas. Versão 1.2.** Brasília - DF: ANA, 2015.

HOLTZ, Antonio Carlos Tatit. Precipitação. In: PINTO, Nelson L. de Sousa et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. Cap. 2. p. 27-35.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa - BDMEP**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 7 mar. 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo demográfico**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Mapas**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/basescartogr%E1ficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

LAJINHA, Teresa; GUERREIRO, Maria João. **Análise de correlação entre o escoamento e o Índice de Precipitação Padronizado SPI (Standardized Precipitation Index) na bacia hidrográfica do Rio Lima**. 2006. 8-39FCT2006-3.pdf. Disponível em: <<http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/538/1/28-39FCT2006-3.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

LANNA, Antonio Eduardo. Elementos de Estatística e Probabilidades. In: TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. Cap. 4. p. 79-176.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck et al. Variabilidade espaço-temporal da vazão específica média no estado de Goiás. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília - Df. **Anais**. Brasília - Df: Sist, 2008. p. 1 - 6.

LÓPEZ, Maria Fernanda Pita. Sequías en la cuenca del Guadalquivir. In: OLCINA, A. Gil; GIL, A. Morales. **Causas y consecuencias de las sequías en España**. 33. ed. Alicante: Papeles de Geografía, 2001. p. 303-343. Disponível em: <http://www.upo.es/ghf/giest/documentos/clima_y_territorio/Pita_sequiasencuencaguadalquivir.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2015.

LÓPEZ, Maria Fernanda Pita. Un nouvel indice de sécheresse pour les domaines méditerranéens: Application au bassin du Guadalquivir (sudeste de l'Espagne).. **L'association Internationale de Climatologie**, Nice, v. 13, p.225-234, 2000. Disponível em: <http://www.upo.es/ghf/giest/documentos/clima_y_territorio/Pita_unnouvelindexdesecheresse.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2015.

MACHADO, Fernando Weigert. **Modelagem chuva-vazão mensal utilizando redes neurais artificiais**. 2005. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidrológica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/093-Fernando_Weigert_Machado.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2016.

MARTINS, Alécio Perini; ROSA, Roberto. Caracterização climática da bacia do rio Paranaíba a partir da rede de estações de superfície automática do INMET (2001-2011), utilizando ferramentas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 2, n. 5, p.1303-1316, 2012. Disponível em: <<http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/013.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

MARTINS, José Augusto. Escoamento Superficial. In: PINTO, Nelson L. de Sousa et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. Cap. 3. p. 36-55.

MARTINS, José Augusto. Escoamento Superficial. In: PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto. **Hidrologia de superfície**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1973. Cap. 3. p. 36-43.

MCKEE, Thomas B.; DOESKEN, Nolan J.; KLEIST, John. Drought monitoring with multiple time scales. In: 9 TH AMS CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9., 1995, Dallas. **Anais...**. Dallas: Preprints, 1995. p. 15 - 20. Disponível em: <<http://ccc.atmos.colostate.edu/droughtmonitoring.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2015.

MCKEE, Thomas B.; DOESKEN, Nolan J.; KLEIST, John. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: EIGHTH CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anaheim. **Anais...**. Anaheim: Preprints, 1993. p. 17 - 22. Disponível em: <<http://ccc.atmos.colostate.edu/relationshipofdroughtfrequency.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2015.

MORE, Rosemary J.. Os modelos hidrológicos e a geografia. In: CHORLEY, Richard J.; HAGGETT, Peter. **Modelos físicos e de informação em geografia**. Rio de Janeiro: Editora da Universidade de São Paulo, 1975. p. 104-198.

MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Cléia M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Egard Blucher, 2006. 538 p.

PAULO, Ana Maria Ambrósio. **Metodologias de caracterização e previsão das secas: modelação espacial e temporal**. 2004. 254 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2004. Disponível em: <<http://repositorio.ipsantarem.pt/handle/10400.15/1115>>. Acesso em: 04 fev. 2016.

PINTO, Jorge Antonio de Oliveira. **Avaliação de métodos para regionalização de curva de permanência de vazões para a bacia do Rio das Velhas**. 2006. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola de Engenharia da Ufmg, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8APMNM/avalia__o_de_m_todos.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 jan. 2016.

PINTO, Nelson L. de Sousa. Introdução. In: PINTO, Nelson L. de Sousa et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. Cap. 1. p. 1-6.

PRUSKI, Fernando F. et al. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p.247-253, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v8n2-3/v8n2a13.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

OLIVEIRA, Luiz F. C. de; FIOREZE, Ana P.. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p.9-15, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n1/a02v15n01.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2016.

OLIVEIRA, Luiz F. C. de; FIOREZE, Ana P.. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p.9-15, out. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000100002>. Acesso em: 29 fev. 2016.

RENNÓ, Camilo Daleles; SOARES, João Vianeí. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. In: MEIRELLES, Margareth Simões Penello. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília - Df: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 529-556.

RENNÓ, Camilo Daleles. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. 2004. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos, 2004. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/~camilo/camilo_tese.pdf. Acesso em: 25 jan. 2016.

RIGHETTO, Antonio Marozzi. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: Eesc-usp, 1998. 840 p.

ROSA, Ricardo Granés Tavares Duarte. **Índices de seca: aplicação ao continente português**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <http://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/4488>. Acesso em: 04 fev. 2016.

ROSA, Roberto; SANO, Edson Eyji; ROSENDO, Jussara dos Santos. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p.333-351, 2014. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/viewFile/24180/pdf_89. Acesso em: 17 fev. 2016.

SANTOS, João Filipe; PORTELA, Maria Manuela. **Caracterização de secas em bacias hidrográficas de Portugal Continental: aplicação do índice de precipitação padronizada, SPI, a séries de precipitação e de escoamento**. 2010. Disponível em: <http://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/1307>. Acesso em: 05 fev. 2016.

SANTOS, Maria João Janota dos. **Caracterização e monitorização de secas**. 1988. Disponível em: http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/caract_secas.pdf. Acesso em: 05 fev. 2016.

SANTOS, Roberval dos et al. Estimativa do Hidrograma de Projeto com Base na Incerteza dos Parâmetros do Modelo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p.29-41, 2001. Disponível em: https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/b85ac991a99fc969438ccca564fd7c58_12e5c5172106458b6f12f2240096d971.pdf. Acesso em: 19 jan. 2016.

SILVA, Luciana Roberto Sarmiento da. **Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas**. 2010. 241 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília., Brasília - Df, 2010. Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/7232/1/2010_LucianaRobertaSarmientodaSilva.pdf. Acesso em: 25 jan. 2016.

_____. **SisCAH: Sistema Computacional para Análise Hidrológicas. Versão 1.0.** Viçosa - MG: GPRH, 2009.

_____. **SPSS Statistics. Versão 17.0.** WinWrap Basic: 2008.

SPIEGEL, Murray R. **Estatística.** 3. ed. São Paulo: Pearson Malron Books, 1993. 643 p.

TIBONI, Conceição Gentil Rebelo. **Estatística básica:** para cursos de administração. ciências contábeis, tecnológicos e de gestão. São Paulo: Atlas, 2010. 332 p.

TUCCI, Carlos E. M.; MENDES, Carlos André. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.** Brasília: Sqa, 2006. 302 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2016.

TUCCI, Carlos E. M.. **Modelos Hidrológicos.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2005. 678 p.

TUCCI, Carlos E. M.. Parâmetros do Hidrograma Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.195-199, 2003. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/arroiodiluvio/conteudo-antigo/copy_of_sobre-o-arroio-diluvio/parametros.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2016.

TUCCI, Carlos E. M.. **Regionalização de vazões.** Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2002. 256 p.

TUCCI, Carlos E. M.. Escoamento Superficial. In: TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. Cap. 11. p. 391-441.

TUCCI, Carlos E. M.. Regionalização de vazões. In: TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. Cap. 15. p. 573-619.

TUCCI, Carlos E. M.. Vazão máxima e hidrograma de projeto. In: TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 3. ed. Porto Alegre: Ufrgs/abrh, 2004. Cap. 14. p. 527-572.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2009. 271 p.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. 2. ed. Brasília: Inmet, Gráfica e Editora Pax, 2001. 532 p.

VARELA, Jairson Jorge Silva. **Chuvas Intensas no Arquipélago de Cabo Verde**. 2007. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/124401/112.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 fev. 2016.

VILLELA, Swami M.; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mcgraw-hill, 1975. 245 p.

VIVAS, Eduardo; MAIA, Rodrigo. Caracterização das principais situações de seca históricas em Portugal Continental: A importância da utilização de indicadores. In: JORNADAS DE HIDRAULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE, 2., 2007, Porto. **Anais...** . Porto: Feup, 2007. p. 51 - 61. Disponível em: http://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_2as/6_EVivas&RMaia;.pdf. Acesso em: 04 fev. 2016.

WISLER, Chester O.; BRATER, Ernest F.. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1964. 484 p.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 216 p.

ZAVATTINI, João Afonso; BOIN, Marcos Norberto. **Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013. 151 p.

ANEXOS

Anexo 1 - Dados de precipitação com falhas e excluídos da série histórica (1975-2012)

Nº	Código do Posto	Município de Instalação	Latitude (S)	Longitude (W)	Anos excluídos
1	1847003	Abadia dos Dourados	18°29'28"	47°24'23"	-
2	1750003	Acreúna	17°32'29"	50°33'22"	1990 a 1994
3	1647002	Cristalina	16°00'25"	47°36'20"	-
4	1750000	Edéia	17°43'56"	50°10'51"	-
5	1847001	Estrela do Sul	18°44'17"	47°41'24"	-
6	1649013	Goiânia	16°40'25"	49°15'50"	-
7	1850001	Goiatuba	18°06'17"	50°01'53"	1991; 2005 e 2006
8	1946004	Ibiá	19°28'30"	46°32'31"	1997
9	1951001	Itajá	19°08'11"	51°32'04"	2008
10	1949006	Ituiutaba	19°02'07"	49°41'48"	-
11	1849016	Itumbiara	18°20'22"	49°36'41"	-
12	1751001	Jataí	17°51'23"	51°23'48"	1994; 2007 a 2009
13	1850003	Maurilândia	17°58'47"	50°20'14"	1997; 1999
14	1752003	Mineiros	17°34'46"	52°36'05"	2007
15	1847000	Monte Carmelo	18°43'14"	47°31'28"	1999
16	1751004	Montividiu	17°21'53"	51°04'36"	1990 a 1992
17	1748005	Orizona	17°07'48"	48°08'03"	1991
18	1750001	Paraúna	17°04'45"	50°17'22"	1991; 1993; 2002 e 2003
19	1846007	Patos de Minas	18°50'28"	46°33'03"	1988
20	1946005	Patrocínio	19°04'14"	46°47'45"	1988
21	1949002	Prata	19°21'35"	49°10'49"	-
22	1850002	Quirinópolis	18°30'04"	50°31'19"	1991 a 1993; 1999 e 2000; 2002 a 2004
23	2047037	Sacramento	20°00'49"	47°01'09"	-
24	1848004	Tupaciguara	18°41'54"	48°46'55"	-
25	1948006	Uberlândia	18°59'18"	48°11'25"	1987 e 1988
26	1749001	Varjão	17°06'20"	49°41'27"	1991; 1999

Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Anexo 2 - Dados de vazão com falhas e excluídos da série histórica (1975-2012)

Nº	Código do Posto	Município de Instalação	Latitude (S)	Longitude (W)	Anos excluídos
1	60110000	Abadia dos Dourados	18°29'28"	47°24'23"	-
2	60790000	Acreúna	17°32'29"	50°33'22"	1990 a 1993
3	60500000	Cristalina	16°32'15"	47°48'02"	1999
4	60765000	Edéia	17°43'56"	50°10'51"	2003
5	60150000	Estrela do Sul	18°44'17"	47°21'24"	-
6	60640000	Goiânia	16°36'49"	49°16'47"	1975
7	60810000	Goiatuba	18°06'17"	50°01'53"	-
8	60250000	Ibiá	19°31'03"	46°34'12"	2001; 2007
9	60950000	Itajá	19°06'01"	51°08'57"	2009; 2012
10	60845000	Ituiutaba	18°56'27"	49°26'59"	1990; 1992
11	60680000	Itumbiara	18°20'20"	49°36'39"	-
12	60895000	Jataí	17°51'39"	51°23'24"	1991; 2001; 2007; 2009 a 2011
13	60798000	Maurilândia	17°58'04"	50°19'57"	1991 a 1993
14	60910000	Mineiros	17°34'46"	52°36'05"	2006
15	60130000	Monte Carmelo	18°46'51"	47°24'29"	1980 a 1982; 1992 a 1995; 2005
16	60774000	Montividiu	17°21'33"	51°04'31"	1992
17	60540000	Orizona	17°07'47"	48°08'00"	1999; 2008 a 2010
18	60750000	Paraúna	17°04'45"	50°17'22"	2001; 2007
19	60010000	Patos de Minas	18°50'28"	46°33'03"	-
20	60100000	Patrocínio	18°54'04"	46°57'57"	-
21	60835000	Prata	19°14'13"	48°34'00"	1991 a 1994; 2010
22	60870000	Quirinópolis	18°29'54"	50°31'43"	1991 e 1992; 2001 a 2003; 2005
23	60220000	Sacramento	20°00'50"	47°01'02"	-
24	60615000	Tupaciguara	18°41'54"	48°46'50"	2007
25	60381000	Uberlândia	18°59'18"	48°11'25"	1975; 1987 e 1988;
26	60715000	Varjão	17°06'25"	49°41'18"	2009

Fonte: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

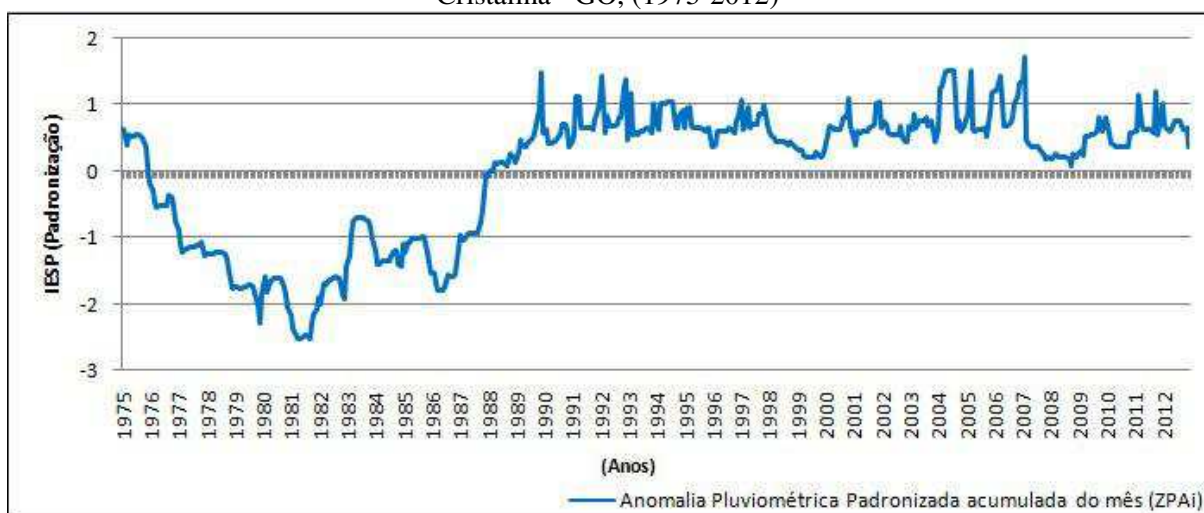
Anexos 3 - Gráficos de Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado aos postos pluviométricos situados nos municípios ao longo da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil (1975 a 2012)

Gráfico 55 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Acreúna - GO, (1975-2012)



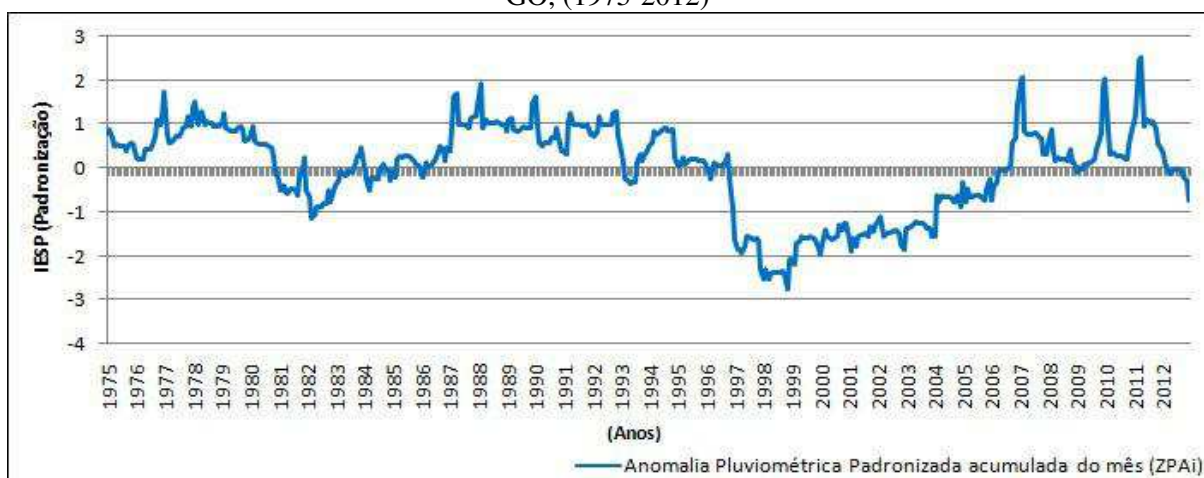
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 56 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Cristalina - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 57 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Edéia - GO, (1975-2012)



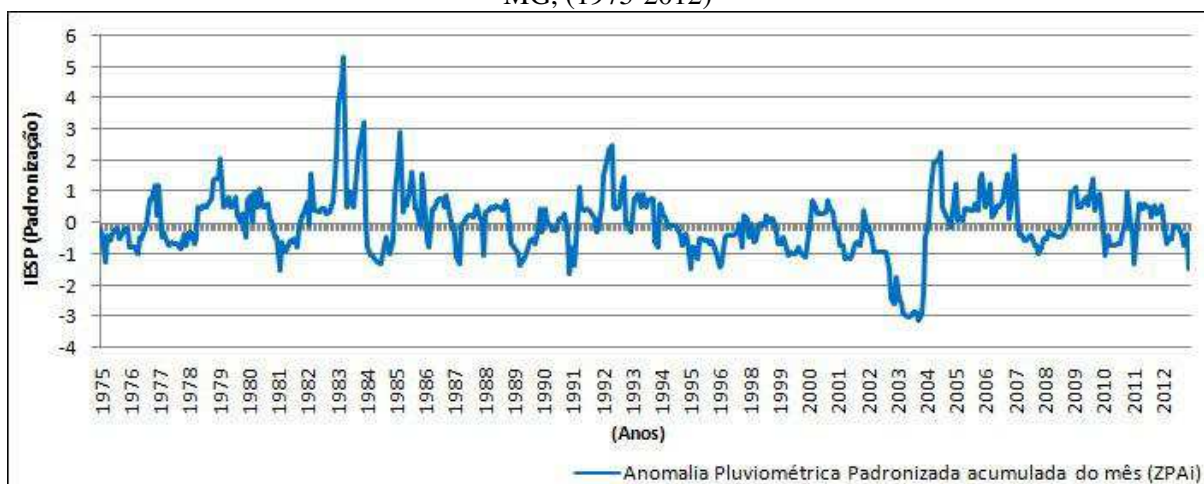
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 58 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Goiatuba - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 59 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Ibiá - MG, (1975-2012)



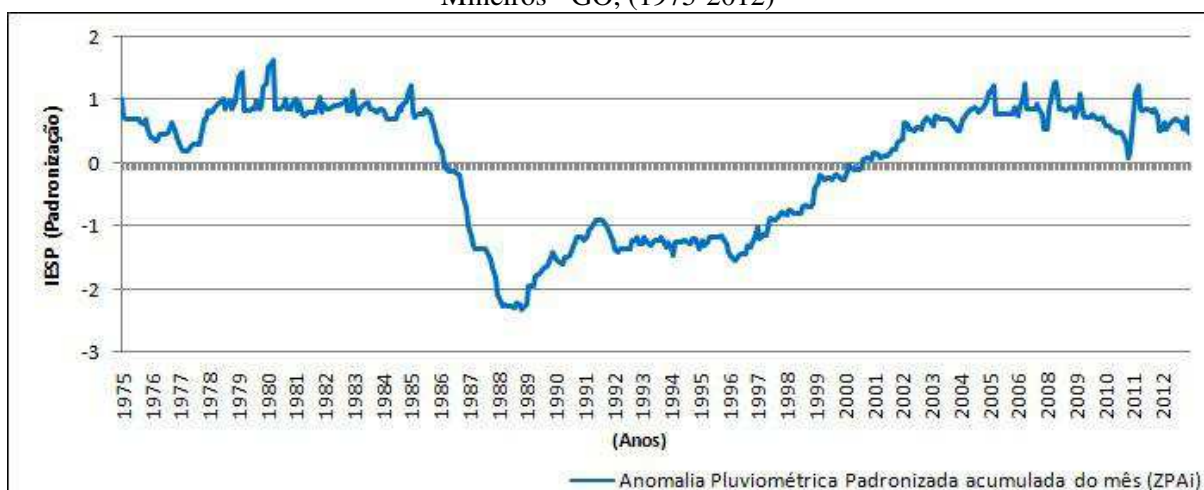
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 60 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Ituiutaba - MG, (1975-2012)



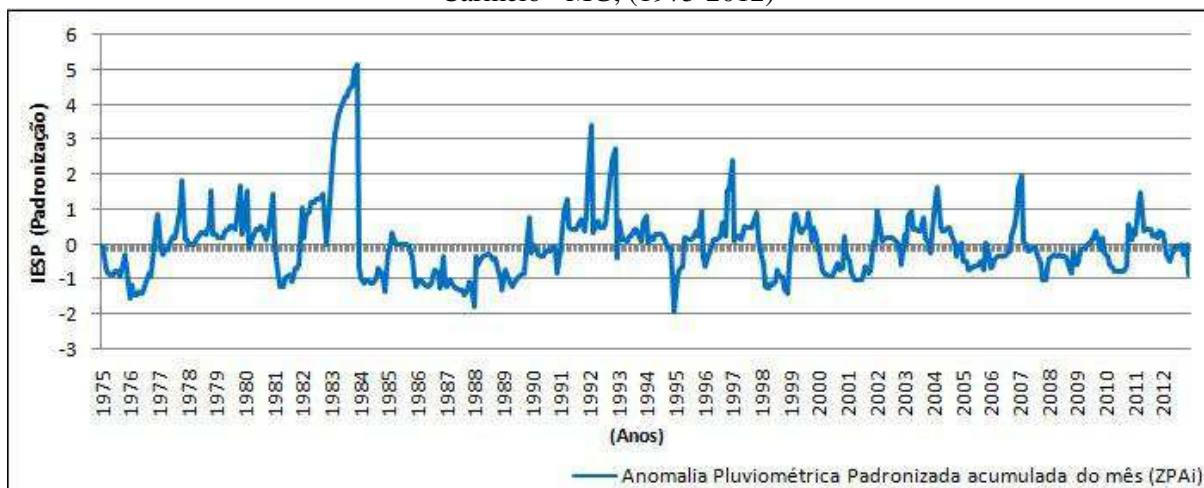
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 61 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Mineiros - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 62 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Monte Carmelo - MG, (1975-2012)



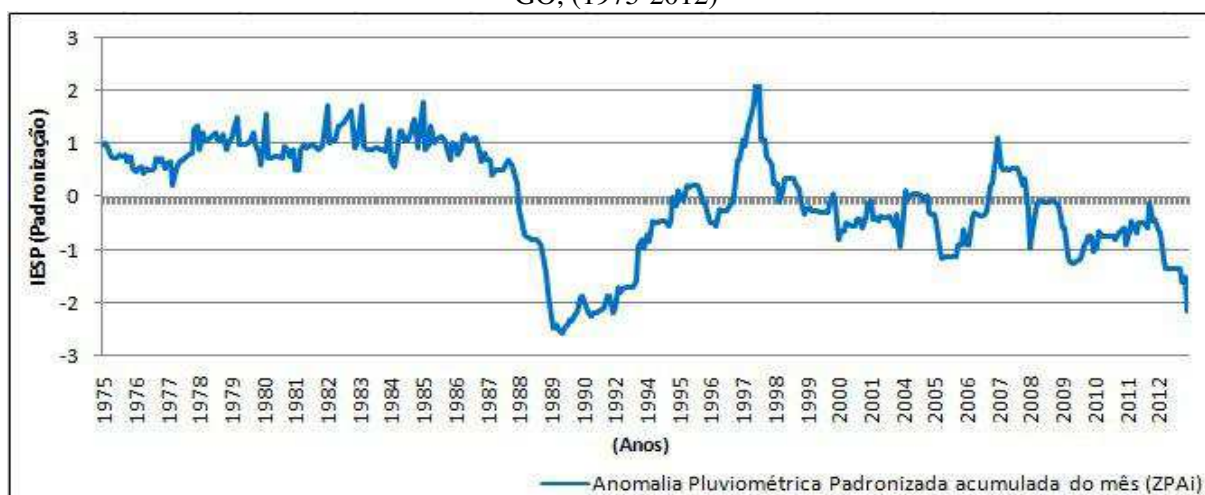
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 63 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Montividiu - GO, (1975-2012)



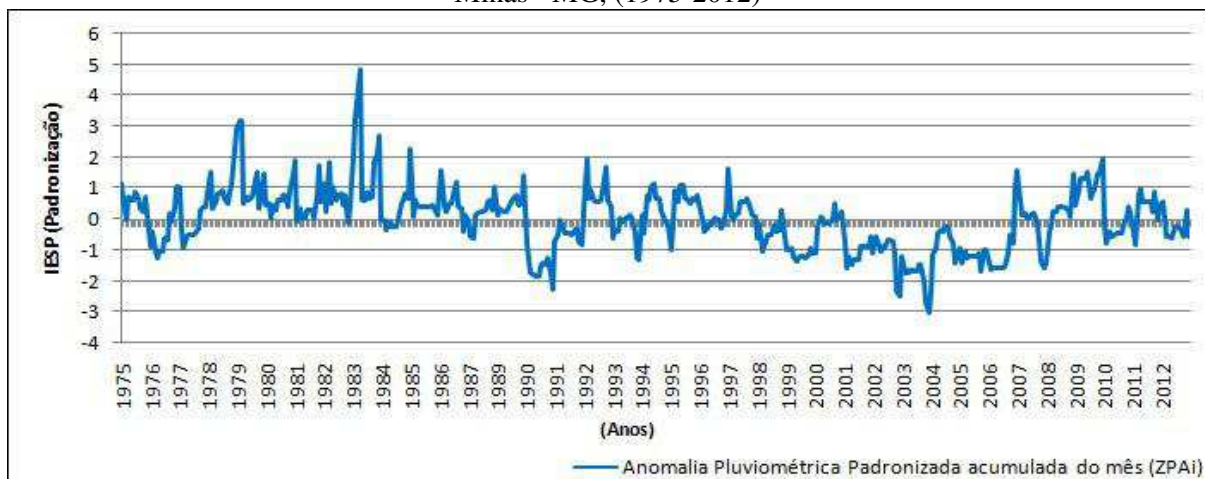
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 64 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Paraúna - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 65 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Patos de Minas - MG, (1975-2012)



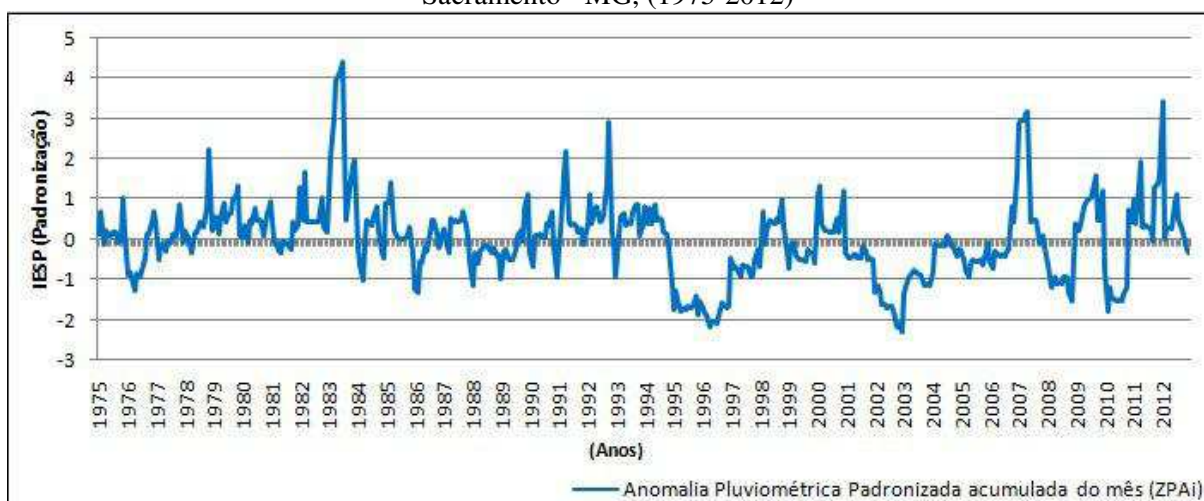
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 66 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município do Prata - MG, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 67 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Sacramento - MG, (1975-2012)



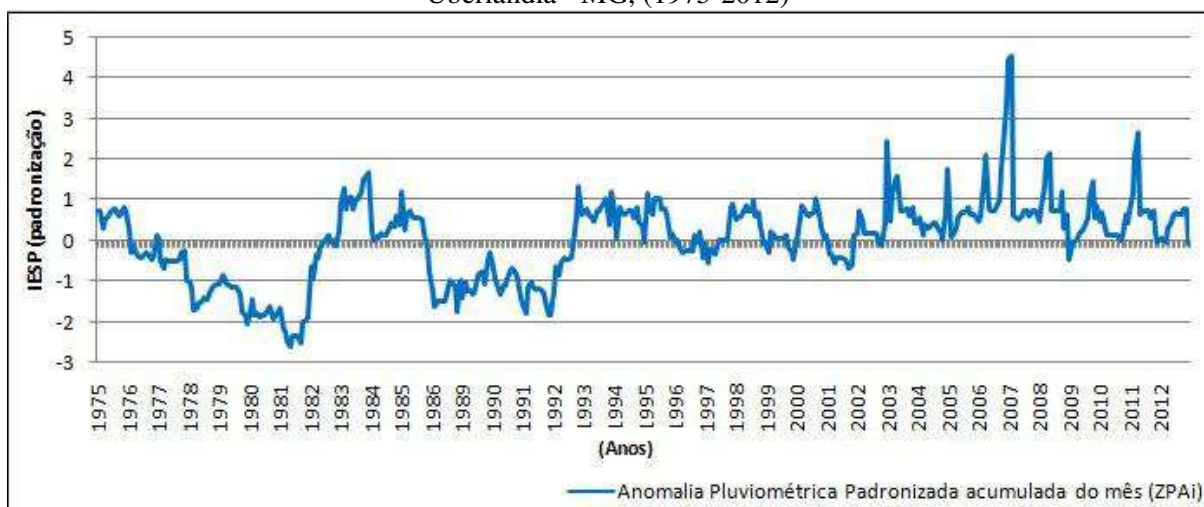
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 68 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Tupaciguara - MG, (1975-2012)



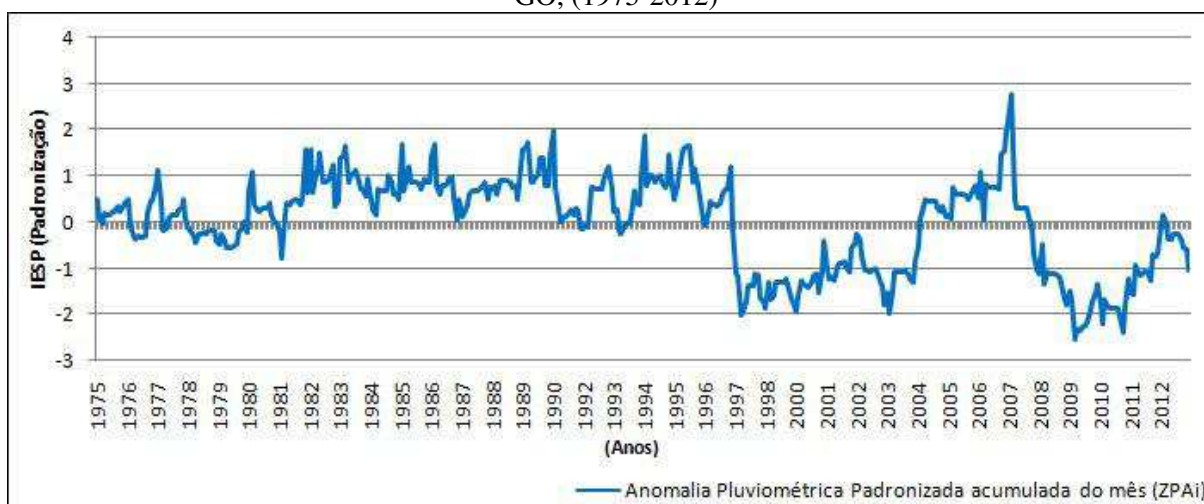
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 69 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Uberlândia - MG, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

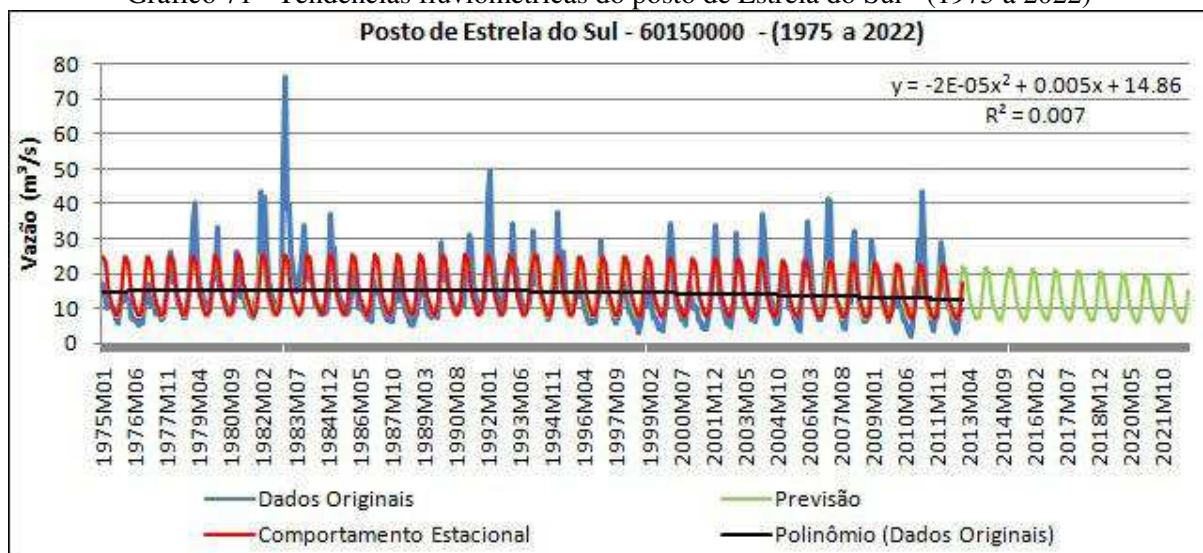
Gráfico 70 - Índice Padronizado de Estiagem Pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Paraúna - GO, (1975-2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

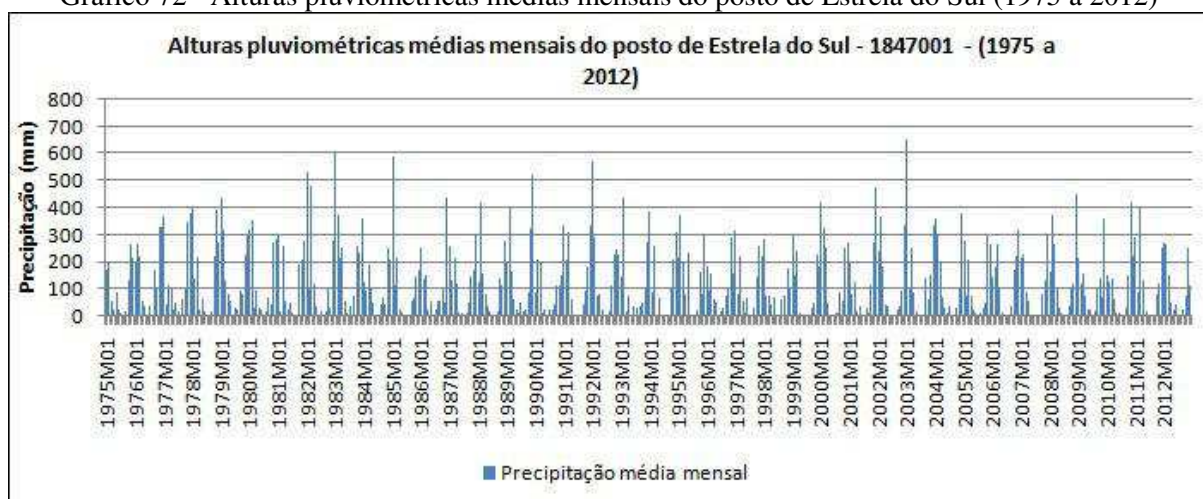
Anexos 4 - Gráficos de tendência de redução do regime fluviométrico entre 1975 a 2022 e alturas pluviométricas médias mensais (1975 a 2012) dos postos selecionados na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

Gráfico 71 - Tendências fluviométricas do posto de Estrela do Sul - (1975 a 2022)



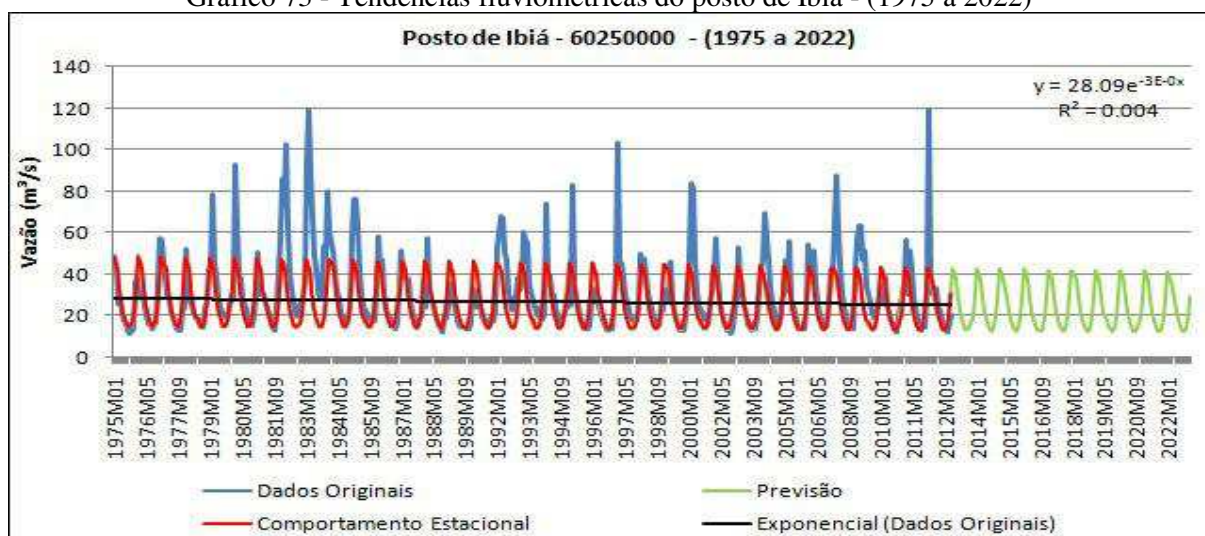
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 72 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Estrela do Sul (1975 a 2012)



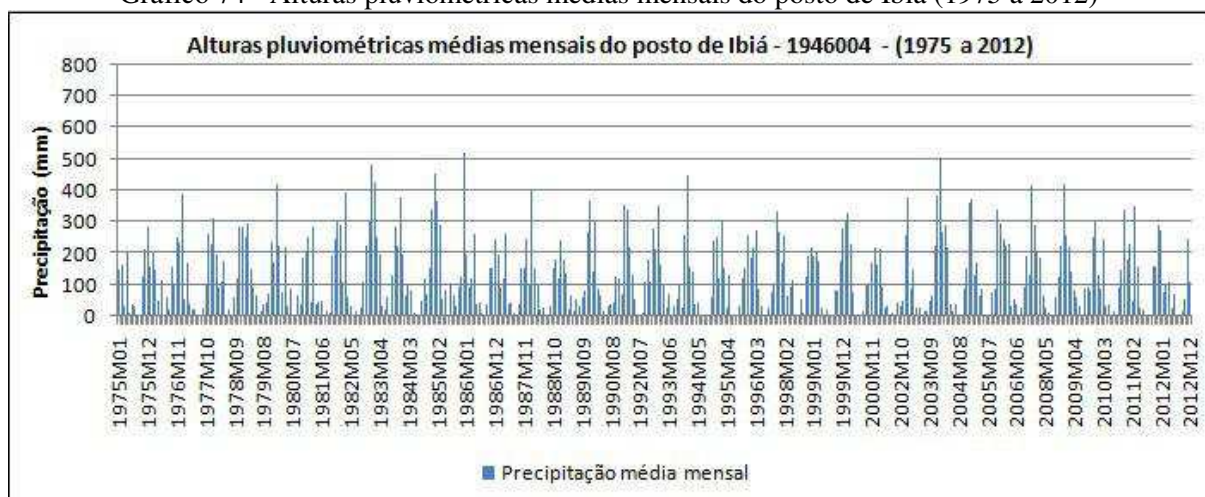
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 73 - Tendências fluviométricas do posto de Ibiá - (1975 a 2022)



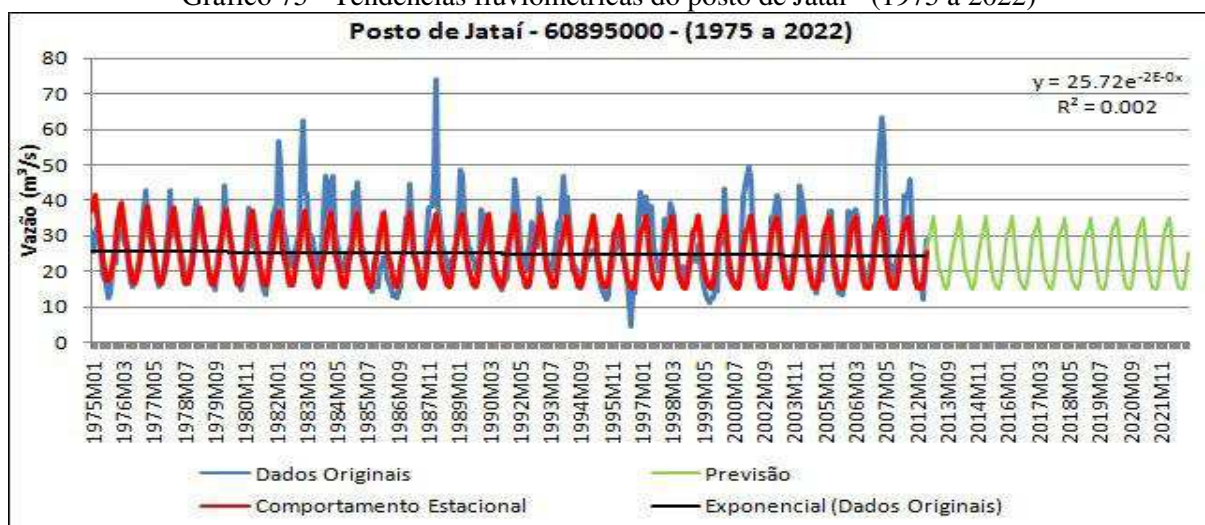
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 74 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Ibiá (1975 a 2012)



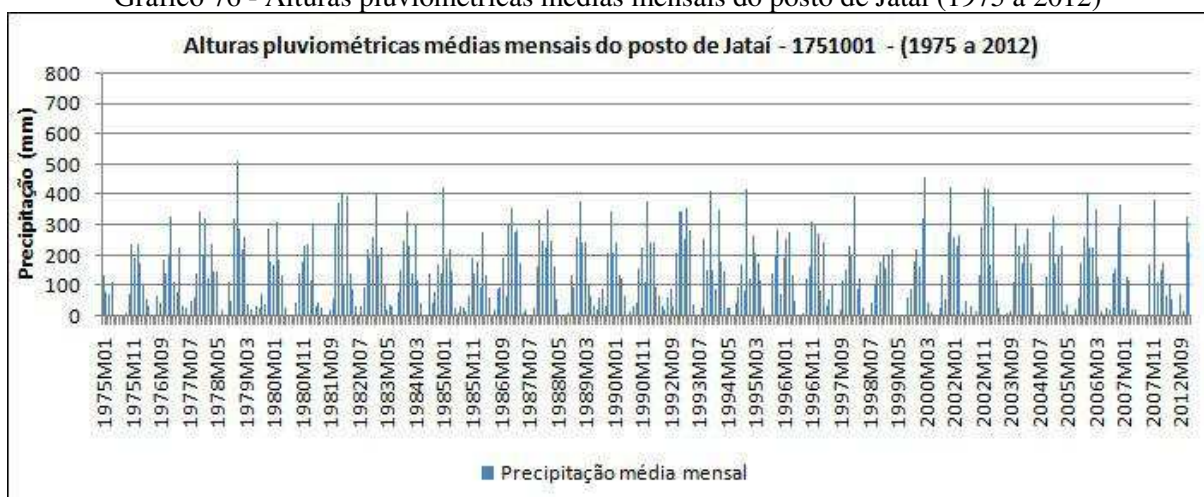
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 75 - Tendências fluviométricas do posto de Jataí - (1975 a 2022)



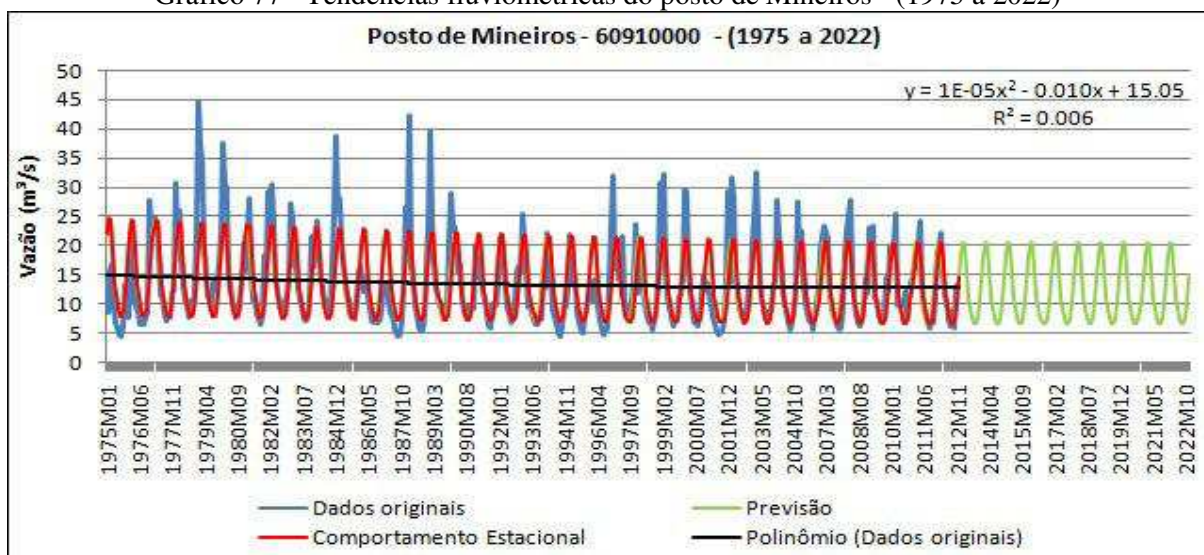
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 76 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Jataí (1975 a 2012)



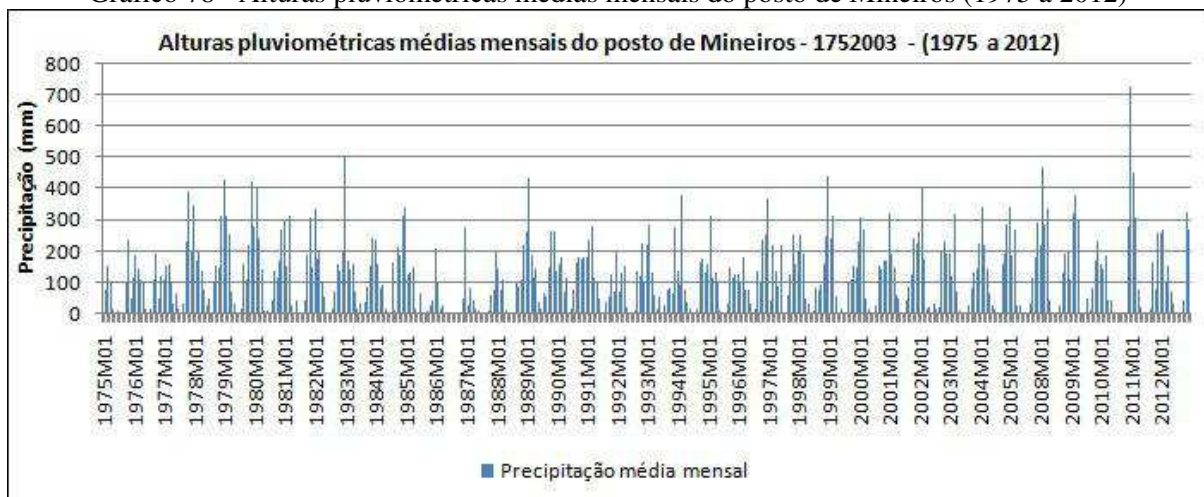
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 77 - Tendências fluviométricas do posto de Mineiros - (1975 a 2022)



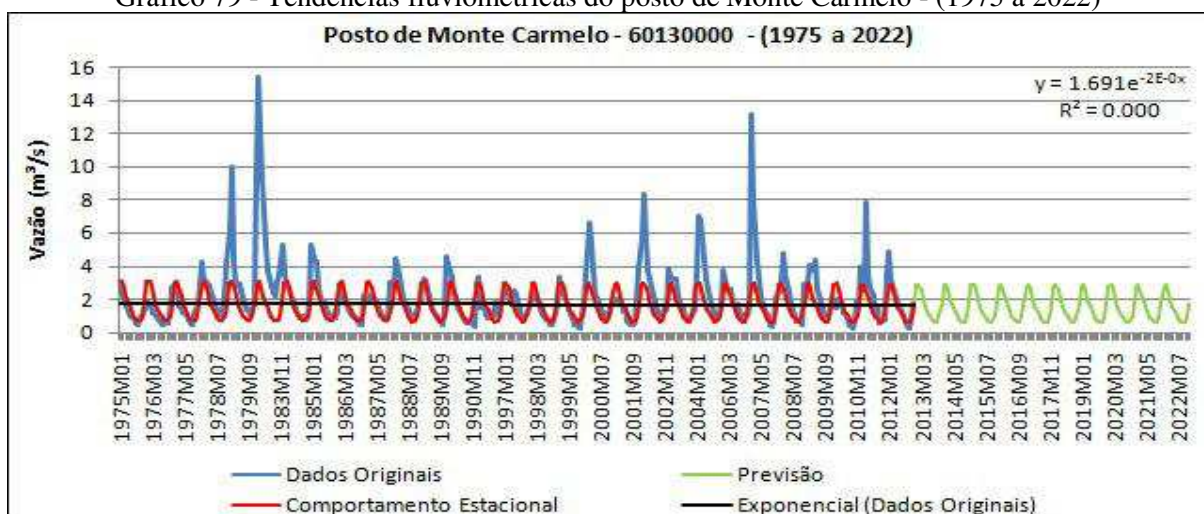
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 78 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Mineiros (1975 a 2012)



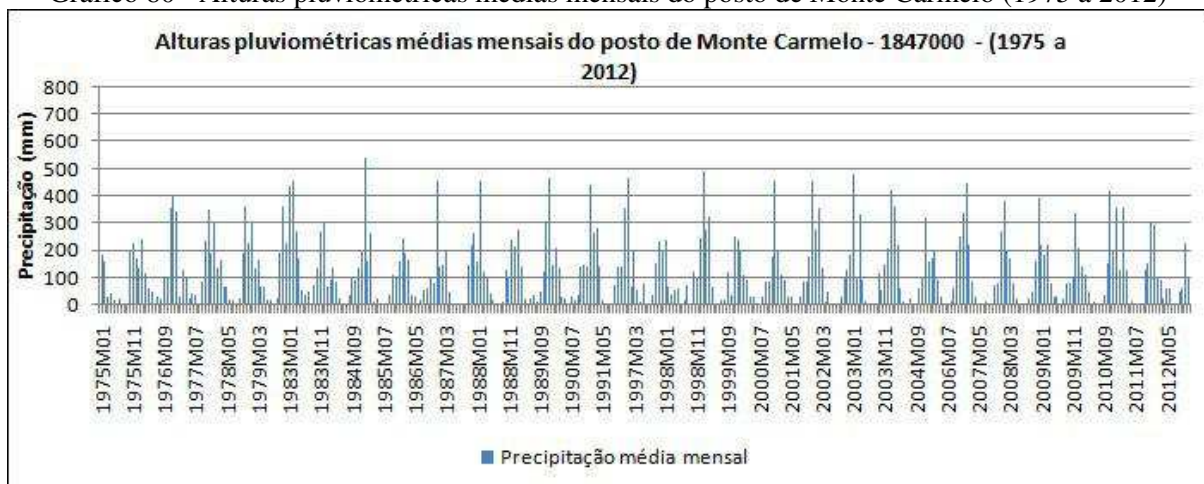
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 79 - Tendências fluviométricas do posto de Monte Carmelo - (1975 a 2022)



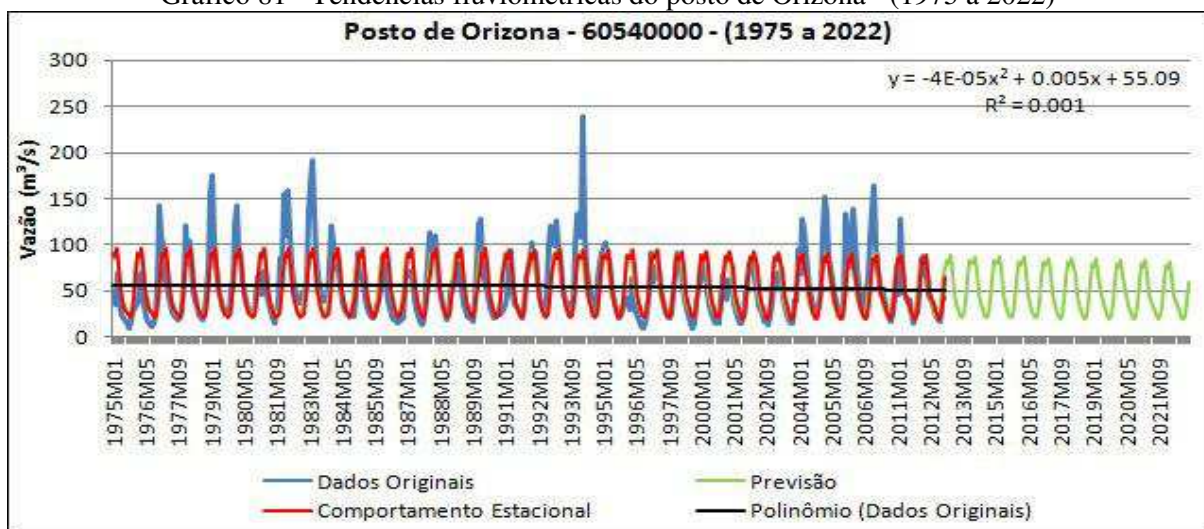
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 80 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Monte Carmelo (1975 a 2012)



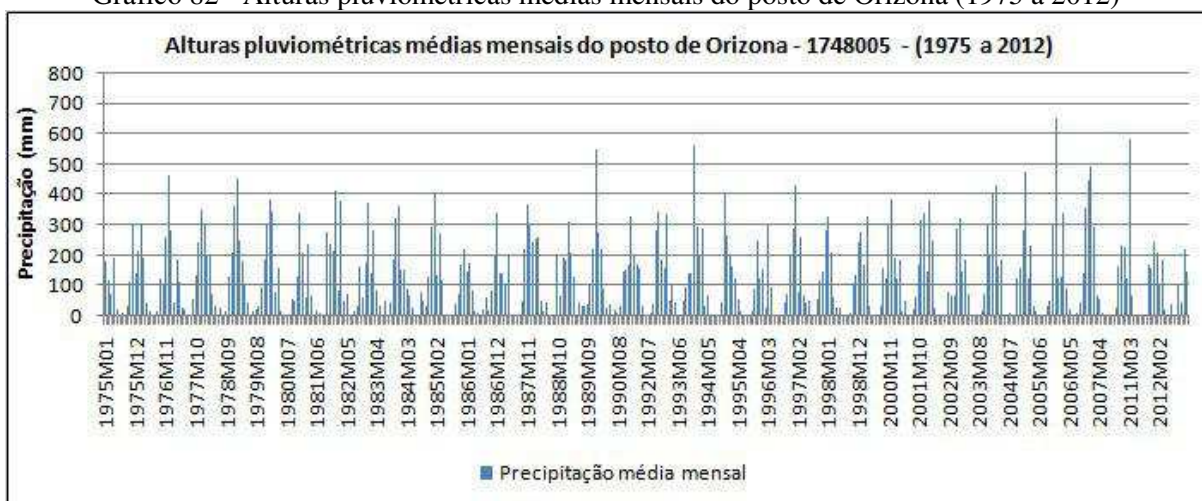
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 81 - Tendências fluviométricas do posto de Orizona - (1975 a 2022)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

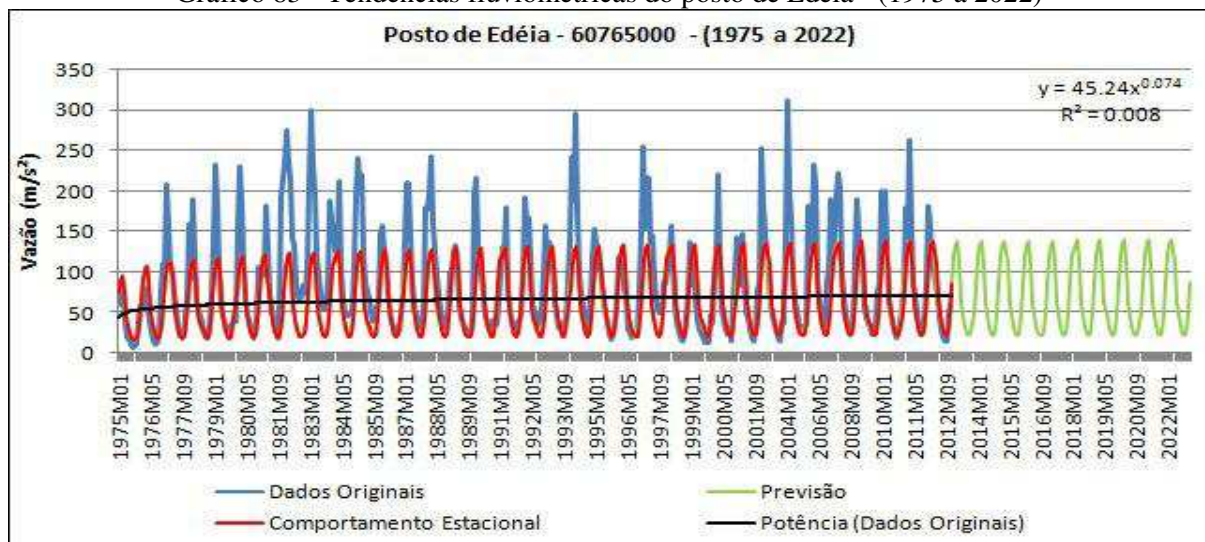
Gráfico 82 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Orizona (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

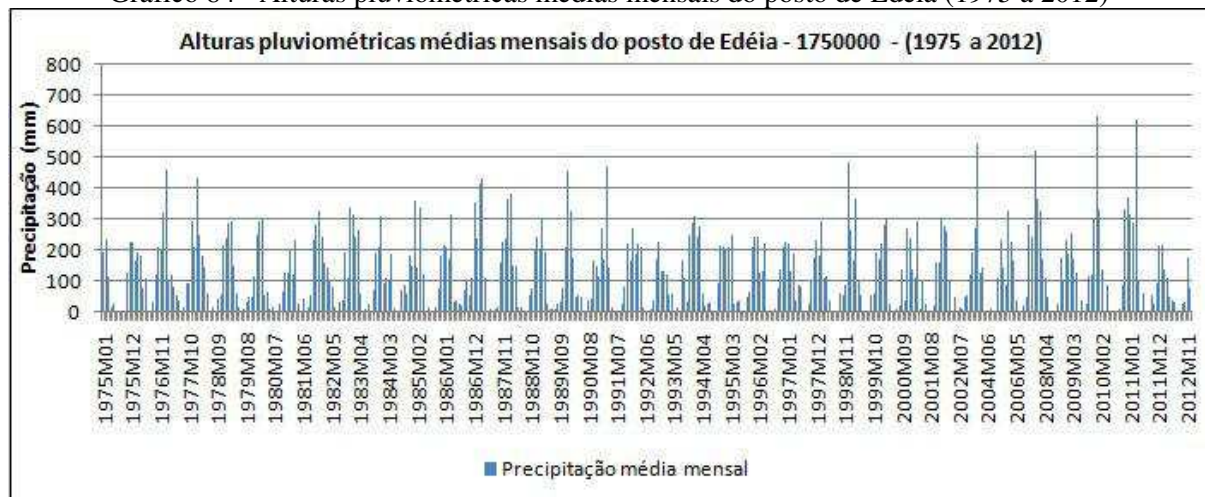
Anexos 5 - Gráficos de tendência de aumento do regime fluviométrico entre 1975 a 2022 e alturas pluviométricas médias mensais (1975 a 2012) dos postos selecionados na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

Gráfico 83 - Tendências fluviométricas do posto de Edéia - (1975 a 2022)



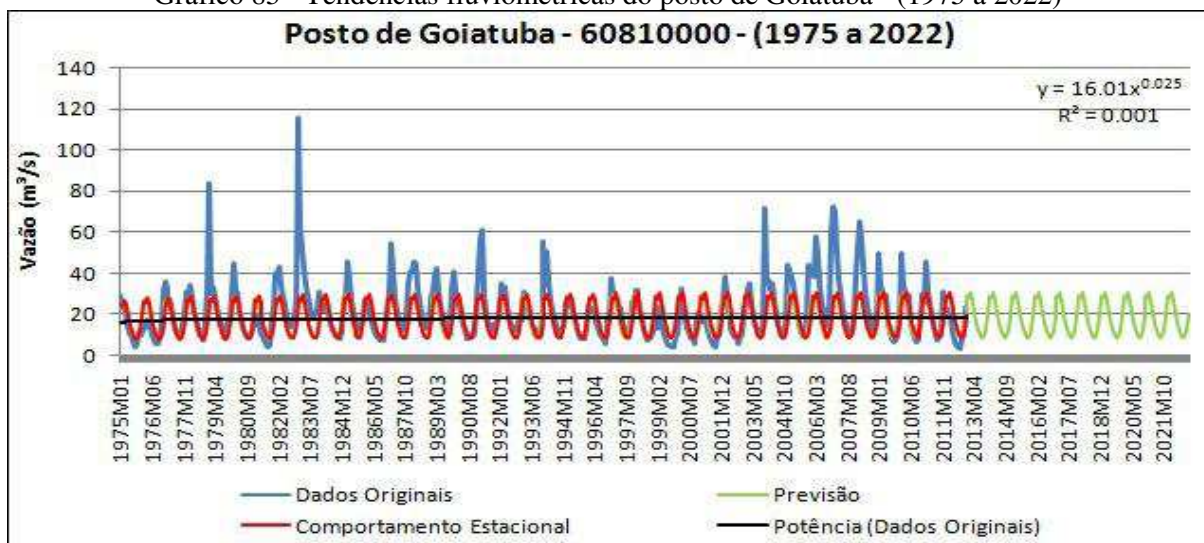
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 84 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Edéia (1975 a 2012)



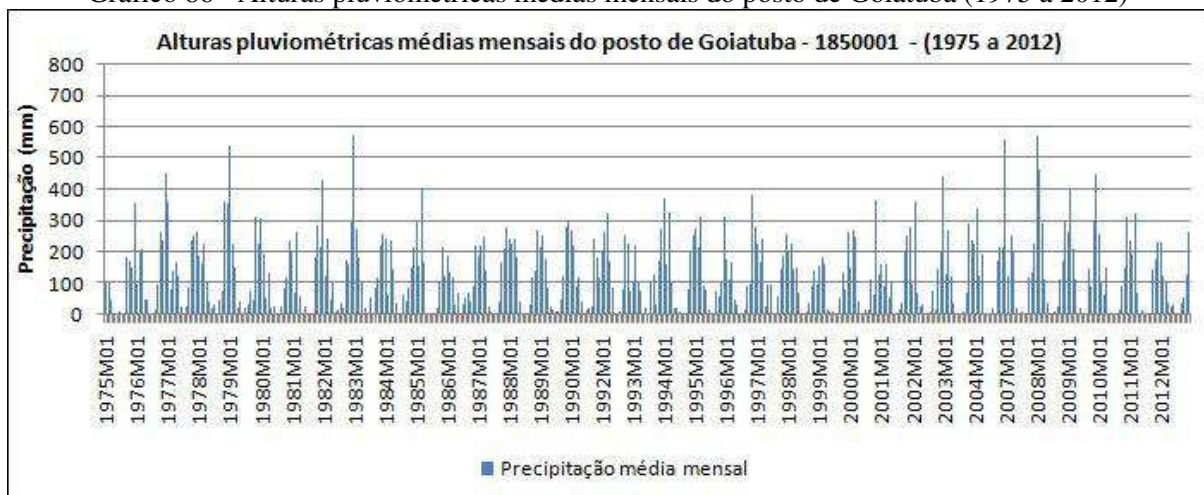
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 85 - Tendências fluviométricas do posto de Goiatuba - (1975 a 2022)



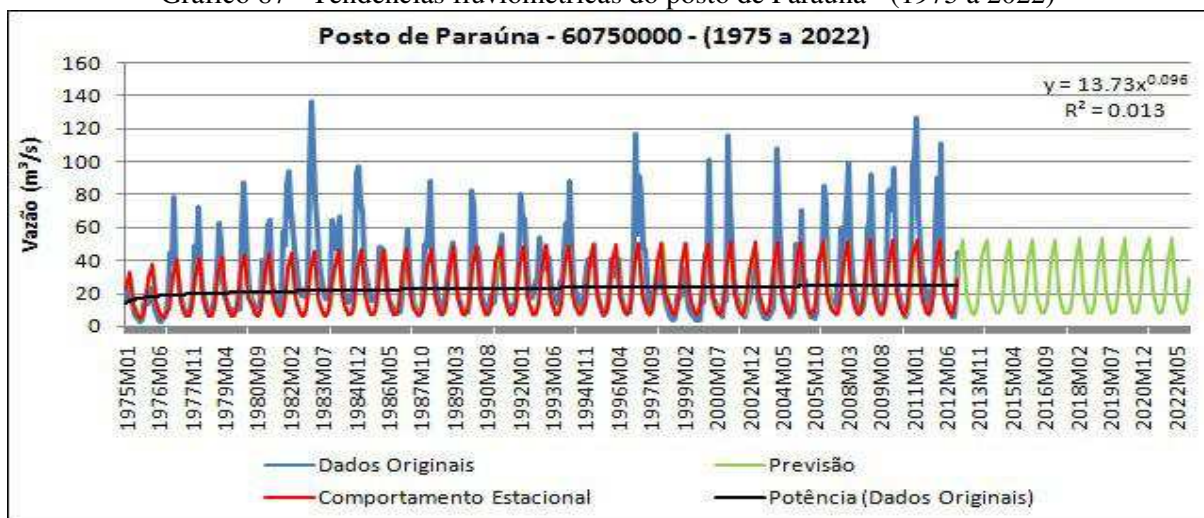
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 86 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Goiatuba (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 87 - Tendências fluviométricas do posto de Paraúna - (1975 a 2022)



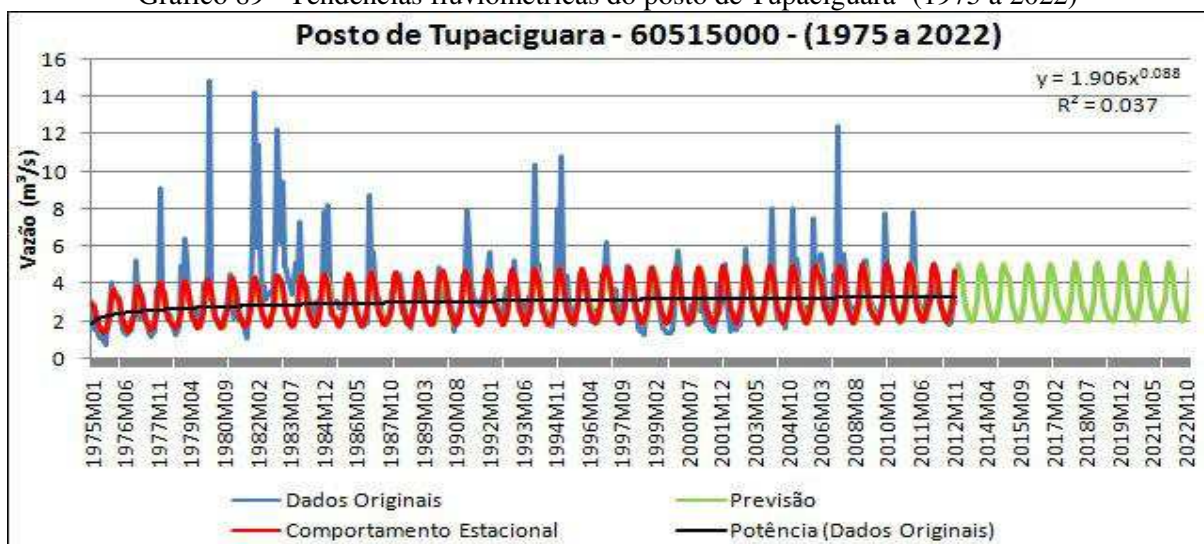
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 88 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Paraúna (1975 a 2012)



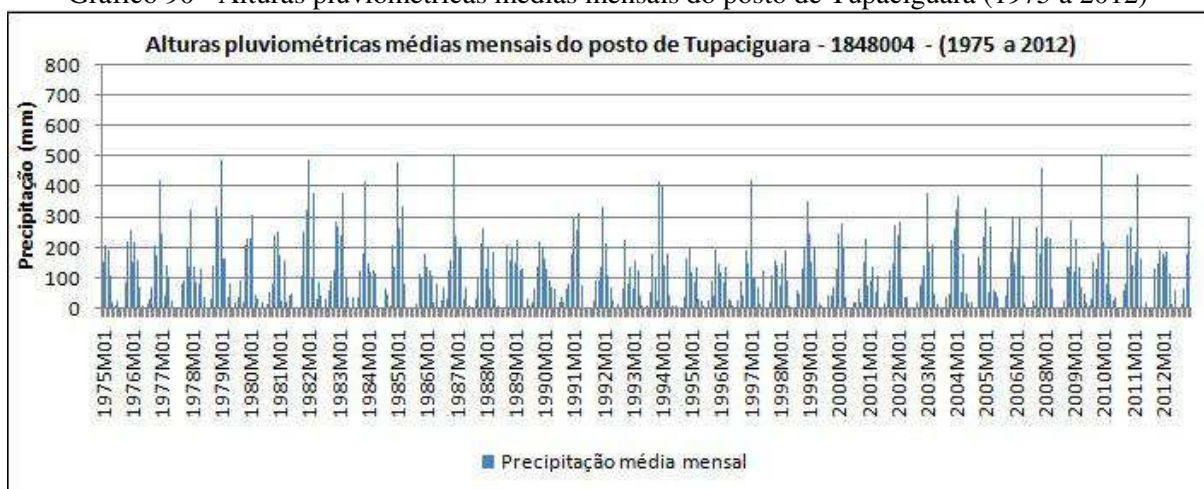
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 89 - Tendências fluviométricas do posto de Tupaciguara- (1975 a 2022)



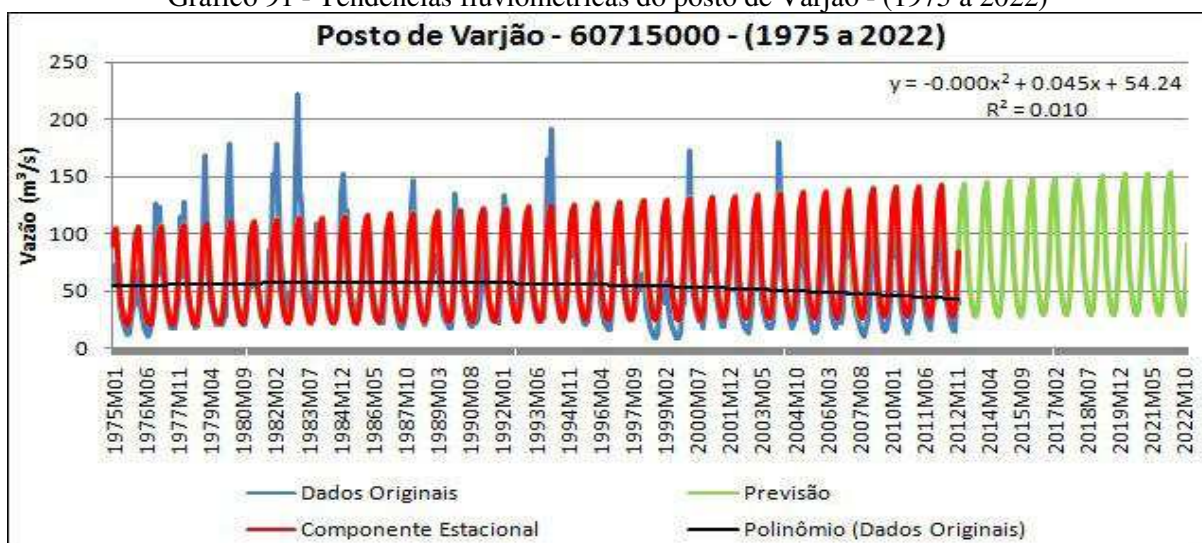
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 90 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Tupaciguara (1975 a 2012)



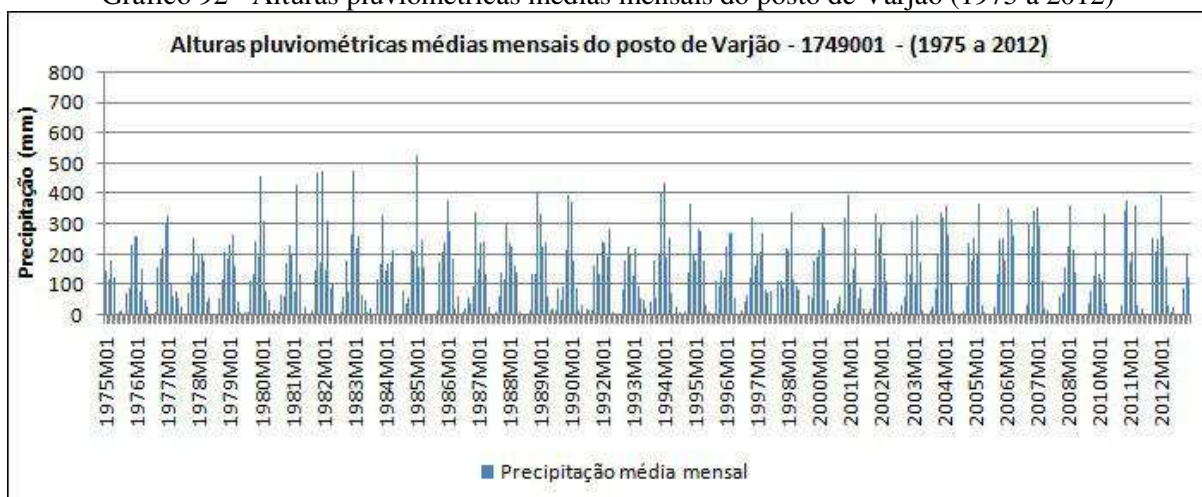
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 91 - Tendências fluviométricas do posto de Varjão - (1975 a 2022)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

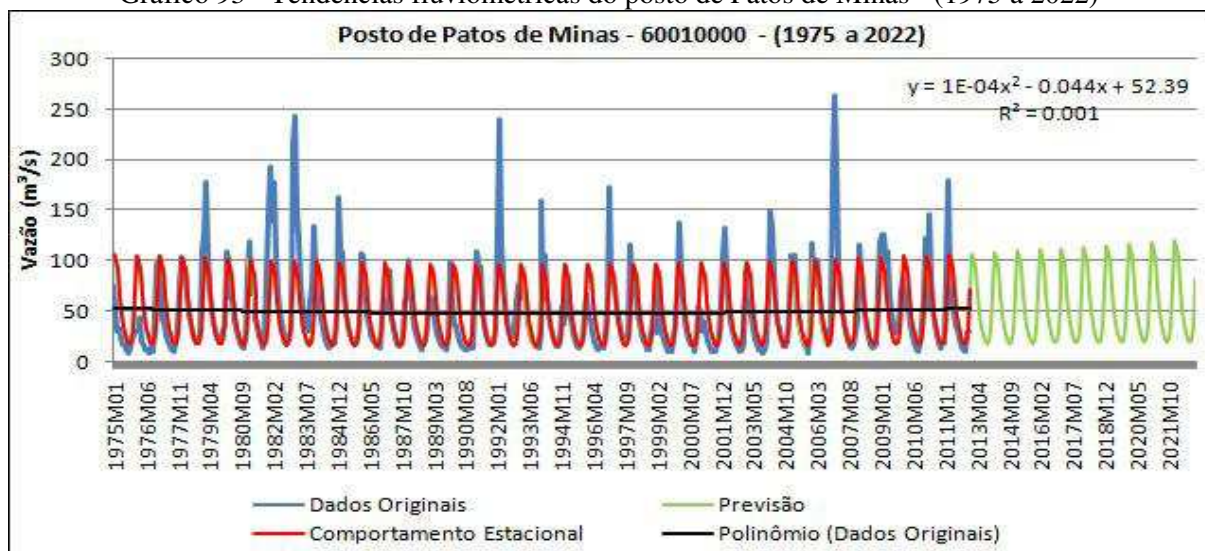
Gráfico 92 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Varjão (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Anexos 6 - Gráficos de tendência de redução e aumento do regime fluviométrico entre 1975 a 2022 e alturas pluviométricas médias mensais (1975 a 2012) dos postos selecionados na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil

Gráfico 93 - Tendências fluviométricas do posto de Patos de Minas - (1975 a 2022)



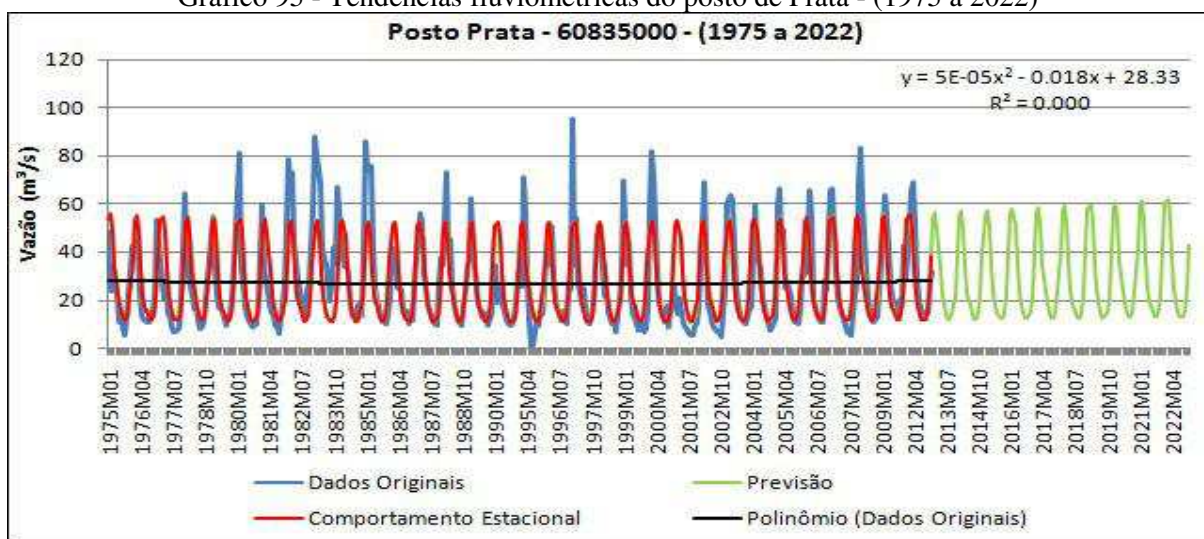
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 94 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Patos de Minas (1975 a 2012)



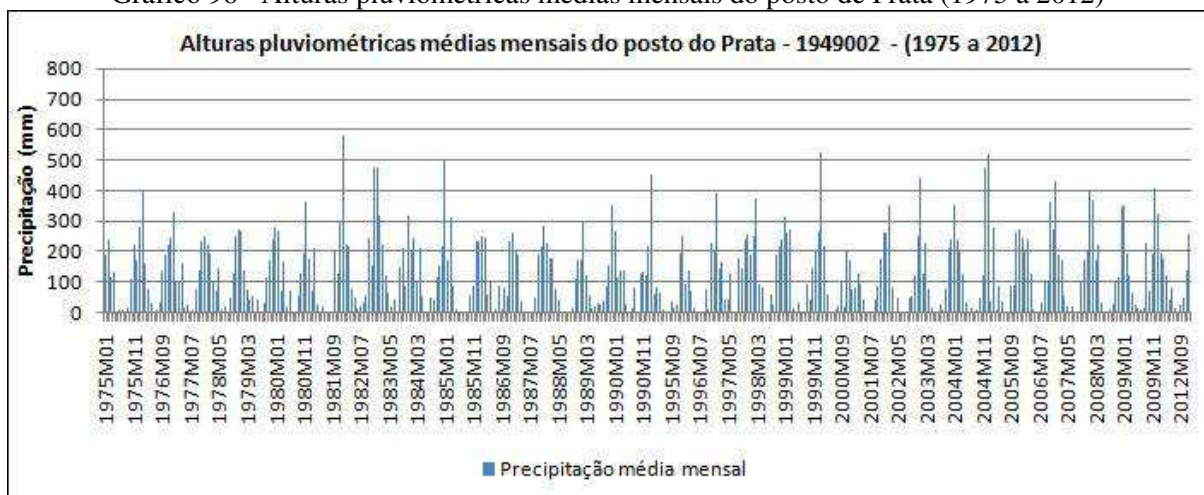
Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 95 - Tendências fluviométricas do posto de Prata - (1975 a 2022)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).

Gráfico 96 - Alturas pluviométricas médias mensais do posto de Prata (1975 a 2012)



Dados: ANA/HidroWeb (2016). Org. Maciel, S. A. (2016).