

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

NATALE CHIERICE JÚNIOR

**ANÁLISE DA CHUVA E VAZÃO NA BACIA**

**HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim

Rio Claro – SP

2013

## Ficha Catalográfica

551.5 C533a Chierice Júnior, Natale  
Análise da chuva e vazão na bacia hidrográfica do Rio Pardo / Natale Chierice Júnior. - Rio Claro, 2013  
133 f. : il., figs., tabs., quadros

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Paulo Milton Barbosa Landim

1. Meteorologia. 2. Correlação entre chuva e vazão. 3. Exutório. 4. Isolinhas. I. Título.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim  
(Departamento de Geologia Aplicada IGCE UNESP/Rio Claro)

Prof. Dr. João Afonso Zavattini  
(Departamento de Geografia IGCE UNESP/Rio Claro)

Prof. Dr. Edson Gomes de Oliveira  
(Departamento de Geologia Aplicada IGCE UNESP/Rio Claro)

Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço  
(Área de Geologia Ambiental UNESP/Sorocaba)

Prof. Dr. Laércio Aparecido Lucas  
(Área de Ciências Exatas AFA/Pirassununga)

Aluno: Natale Chierice Júnior

**Resultado: Aprovado**

Rio Claro 02 de maio de 2013

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus familiares, em especial, à  
minha esposa, Roseli, minhas filhas,  
Regiane e Natália e meus novos  
filhos, Luiz Carlos e Tiago.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim, do Departamento de Geologia Aplicada, meu Orientador, que muito me ajudou e acompanhou nesta pesquisa;

Ao Prof. Dr. João Afonso Zavattini, do Departamento de Geografia da UNESP de Rio Claro, que muito me ensinou e incentivou;

À minha querida esposa Roseli, que sempre me incentivou e apoiou nessa difícil tarefa;

Aos amigos da AFA Rosângela, Ferrarinho, Maria de Lourdes, Laércio, Luciano, Lula, Alessandro, Missiato, Conceição, Luciane e João Paulo pelo apoio, disponibilidade e incentivo;

À Comissão Permanente do Magistério da Aeronáutica – COPEMA, da Academia da Força Aérea, pelos afastamentos concedidos para elaboração deste Trabalho;

Aos Docentes do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, do Departamento de Geologia Aplicada, da UNESP de Rio Claro – SP, pelos ensinamentos transmitidos e a todos os Funcionários pelo apoio, em especial à Rosângela, Cristina, Nilza, Maria e Judite.

A todos aqueles que colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A presente pesquisa foi realizada com a finalidade de analisar e comparar chuva e vazão que ocorreram na bacia hidrográfica do Rio Pardo, no período de 1974 a 1999, visando avaliar o grau de relação entre a chuva, nesse período, com a vazão do rio principal da bacia, o Pardo. Para desenvolvimento dessa pesquisa foram utilizados como objeto de estudo a vazão diária, média mensal e anual do Rio Pardo e a chuva mensal e anual da bacia desse rio. Para tanto, foram escolhidos trinta e nove séries de dados pluviométricos, referentes aos dados obtidos de postos pluviométricos, distribuídos internamente e externamente à bacia, área de estudo desta Pesquisa. Na área interna, foram vinte e oito postos distribuídos por toda a área da bacia e na externa foram onze, desde que não ultrapassassem dez quilômetros de distância dos limites da área da bacia. As trinta e nove séries escolhidas, de um total de cento e dez, obtidas do Banco de Dados Hidrológicos do Estado de São Paulo, foram aquelas que apresentaram um número menor de falhas de dados e com período concomitante ao período de 1974 a 1999. A série de dados fluviométricos do posto do Rio Pardo, próximo ao exutório da bacia, foi obtida do Banco de Dados do DAEE, enquanto que as outras séries desse mesmo rio foram obtidas do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Às séries de chuva e vazão foi aplicado o Método da Dupla Massa, para verificar a consistência delas. As vazões médias anuais e do período foram estimadas por meio das precipitações médias anuais do período e comparadas com as do posto próximo ao exutório. Dessa comparação resultou um fator de correção que, ao ser aplicado aos valores estimados, criou uma nova relação entre chuva média, na bacia e vazão média no exutório. As curvas de permanência mostraram que a vazão do Rio Pardo respondeu, com o mesmo sinal, às chuvas anuais que ocorreram nos anos seco, habitual e chuvoso. Esses foram selecionados por meio de três procedimentos, em que dois foram visuais e um estatístico. Os dois primeiros envolveram uma planilha cromática e mapas de isolinhas das chuvas anuais do período, com escalas definidas pelo Método de Sturges e, o segundo, o Método Aglomerativo Hierárquico, com o Coeficiente de Ward. Os períodos, de alta ocorrência de chuvas anuais – 1974 a 1983, e de baixa ocorrência – 1984 a 1999, estavam visíveis na planilha cromática. Esses períodos interferiram no volume escoado do Rio Pardo, com mudança na vazão média diária o que, foi notado, à jusante do rio, um ano depois do início do período seco e, à montante, no mesmo ano. Pelo Método de Pettitt, foram obtidos os locais do rio e as datas, em que ocorreu essa mudança. As análises realizadas revelaram que as vazões diárias diminuíram 20%, à montante do Rio Pardo, depois de 1984, à jusante, depois de 1985 e que, na relação chuva e vazão, 13,3% do volume médio precipitado (entrada) na bacia escoou pelo exutório (saída).

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica do Rio Pardo, chuva, vazão, exutório, isolinhas, Análise de Agrupamentos.

## ABSTRACT

This research was conducted with the purpose of analyzing and comparing rainfall and runoff that occurred in the basin of the Pardo River, within 1974 and 1999 to assess the degree of relationship between rainfall during this period, with the flow of the main river basin, the Pardo River. In order to develop this research we used as study object the daily flow, monthly and annual average of the Pardo River and monthly and annual rainfall in the basin of this river. In this case thirty-nine rainfall series data were chosen, for the data obtained from rain gauge stations distributed internally and externally to the basin the study area of this search. In the inner area twenty-eight stations were distributed within the basin area and eleven external, since it did not exceed ten kilometers away from the limits of the basin area. The thirty-nine series selected from a total of one hundred and ten, obtained from the Hydrological Database from the State of São Paulo, these were the ones which had fewer data failures and concomitant period the period 1974-1999. The fluviometric data series from the station of Pardo River, near the mouth of the basin, were obtained from the DAEE Database, while the other series of this same river were obtained from the National Electric System Operator - ONS. To the series of rainfall and runoff the Dual Mass method was applied to check the consistency of them. The annual flows average and from the period were estimated using the annual average rainfall for the period and compared with the next one close to the mouth of the basin. From this comparison a correction factor resulted that, when applied to estimate values, it created a new relationship between average rainfall in the basin and the average runoff from the mouth of the basin. The retention curves showed that the flow of the Pardo River replied, with the same sign, of the annual rainfall that occurred in the dry, normal and wet years that were selected through three procedures, in which two were visual and one was statistical. The first two involved a color spreadsheet and contour maps of annual runoff for the period, with scales defined by Sturges Method and the second involved the Agglomerative Hierarchical Method, with the Ward Coefficient. Periods of high annually rainfall - from 1974 to 1983, and low occurrence - from 1984 to 1999, were visible in the chromatic spreadsheet. These periods interfered in volume disposed of the Pardo River, with changes in the average of the daily flow that was noticed, downstream of the river, a year after the dry season and the amount in the same year. Using the Pettitt Method, we obtained the venues of the river and the dates in which this change occurred. The analyzes revealed that the daily flow rate decreased by 20% in the amount of the Pardo River after 1984, downstream after 1985 and that, in relation rainfall and flow 13.3% of the average precipitated volume (input) in the basin drained by the mouth of the basin (output).

**Keywords:** Pardo River basin, rainfall, runoff, mouth of the basin, isolines, Cluster Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema de bacia hidrográfica.....	27
<b>Figura 2</b> - Divisão do Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos.....	33
<b>Figura 3</b> - Municípios do Estado de São Paulo com sede dentro e fora da bacia hidrográfica do Rio Pardo (UGRHI - 04).....	34
<b>Figura 4</b> - Sub-bacias do Rio Pardo.....	36
<b>Figura 5</b> - Posto pluviométrico de Santa Cruz das Palmeiras (C4-029).....	52
<b>Figura 6</b> - Posto pluviométrico de Cássia dos Coqueiros (C4-102).....	53
<b>Figura 7</b> - Postos pluviométricos da bacia do Rio Pardo, ordenados no sentido de norte para sul e de leste para oeste.....	54
<b>Figura 8</b> - Localização dos postos fluviométricos distribuídos ao longo do curso do Rio Pardo.....	55
<b>Figura 9</b> - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Caconde. ....	56
<b>Figura 10</b> - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Euclides da Cunha.....	56
<b>Figura 11</b> - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Armando de Salles Oliveira.....	56
<b>Figura 12</b> - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Clube de Regatas.....	57
<b>Figura 13</b> - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Fazenda Bela Vista.....	57
<b>Figura 14</b> - Média, mediana, moda, 1º quartil, 3º quartil e valores mínimo, médio e máximo das chuvas anuais que ocorreram na bacia no período de 1974 a 1999.....	58
<b>Figura 15</b> - Histograma com barras azuis representativas da média aritmética da chuva anual na bacia, em cada ano do período e barra vermelha representativa da média do período.....	59
<b>Figura 16</b> - Histograma com barras azuis representativas da média aritmética da chuva anual no período, em cada posto pluviométrico e barra vermelha representativa da média do período.....	60
<b>Figura 17</b> - Dendrograma, organizado por cores, dos anos de chuvas anuais que ocorreram na bacia do Rio Pardo, no período de 1974 a 1999, obtido por meio da Análise de Agrupamentos, pelo método aglomerativo hierárquico, pela técnica de agrupamento do Método de Ward.....	62
<b>Figura 18</b> - Frequência relativa e frequência absoluta (números acima das colunas) de ocorrências de chuvas totais anuais na bacia do Rio Pardo no período de 1974 a 1999.....	65

<b>Figura 19</b> - Mapas de isolinhas da chuva total anual em todos os 39 postos da bacia no período 1974-1999 cujos intervalos de classe foram estimados pelo Método de Sturges.....	71
<b>Figura 20</b> - Valores mínimo, médio, máximo, mediano, 1º quartil, 3º quartil e moda da vazão diária nos 5 postos fluviométricos no período de 1974 a 1999.....	76
<b>Figura 21</b> - Histograma dos dados estatísticos da vazão diária ocorrida no Rio Pardo por todo o período de 1974 a 1999.....	78
<b>Figura 22</b> - Diagramas de dispersão entre as vazões diárias de postos fluviométricos e respectivos coeficientes de determinação.....	80
<b>Figura 23</b> - Curvas da vazão mínima, média e máxima no posto de Caconde.....	81
<b>Figura 24</b> - Curvas da vazão mínima, média e máxima no posto Fazenda Bela Vista.....	82
<b>Figura 25</b> - Vazão média anual estimada e vazão média anual medida.....	84
<b>Figura 26</b> - Reta de regressão da vazão média anual estimada acumulada (y) pela vazão média anual medida acumulada (x).....	86
<b>Figura 27</b> - Histograma das vazões médias anuais estimadas ajustadas e medidas.....	87
<b>Figura 28</b> - Resíduos obtidos, subtraindo-se a vazão média anual estimada ajustada da vazão média anual medida.....	88
<b>Figura 29</b> - Curvas das vazões médias anuais estimadas ajustadas e medidas, no posto Fazenda Bela Vista, no período de 1974 a 1999.....	89
<b>Figura 30</b> – Painéis temporais espaciais das vazões diárias que ocorreram nos postos fluviométricos 1, 2, 3, 4 e 5 e das chuvas anuais que ocorreram nos postos pluviométricos 33, 30, 29, 23, 19,16, 13, 11, 9 e 6, no período de 1974 a 1999.....	91
<b>Figura 31</b> - Gráfico das vazões diárias no posto fluviométrico Caconde com ruptura da média em 22 de maio de 1984 e nível de significância menor que 5%. ....	92
<b>Figura 32</b> - Gráfico das vazões diárias no posto Clube de Regatas com ruptura da média em 15 de junho de 1985 com nível de significância menor que 5%.....	93
<b>Figura 33</b> - Gráfico das vazões diárias no posto Fazenda Bela Vista com ruptura da média em 15 de junho de 1985 com nível de significância menor que 5%.....	93
<b>Figura 34</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1995, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.....	97
<b>Figura 35</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1995, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.....	97
<b>Figura 36</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1995, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.....	98

<b>Figura 37</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1995, com intervalos de classe sugeridos pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras. ....	98
<b>Figura 38</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1995, com intervalos de classe sugeridos pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.....	99
<b>Figura 39</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1995, com intervalos de classe sugeridos pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.....	99
<b>Figura 40</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1983, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.....	102
<b>Figura 41</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1983, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.....	102
<b>Figura 42</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1983, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.....	103
<b>Figura 43</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1983, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras. ....	103
<b>Figura 44</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1983, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.....	104
<b>Figura 45</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1983, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.....	104
<b>Figura 46</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1999, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.....	107
<b>Figura 47</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1999, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.....	107

<b>Figura 48</b> - Curva de permanência da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1983, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo. ....	108
<b>Figura 49</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1999, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras. ....	108
<b>Figura 50</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1999, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das colunas. ....	109
<b>Figura 51</b> - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1999, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.....	109
<b>Figura 52</b> - Curvas de tendência de potência, nos postos, Caconde Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista, referentes os anos de 1983 – “ano chuvoso”, 1995 – “ano habitual e 1999 – “ano seco” .....	111
<b>Figura 53</b> - Curvas de tendência de potência nos anos de 1983 – “ano chuvoso”, 1995 – “ano habitual e 1999 – “ano seco”, referentes aos postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista.....	112
<b>Figura 54</b> - Painéis temporais espaciais, para cada ano padrão, das vazões médias mensais das séries fluviométricas referentes aos postos 1, 2, 3, 4 e 5 do Rio Pardo, com intervalos de classes estimados pelo Método de Sturges. ....	113
<b>Figura 55</b> - Painéis temporais espaciais, para cada ano padrão, das chuvas médias mensais das séries pluviométricas referentes aos postos pluviométricos, 33, 30, 29, 23, 19, 16, 13, 11, 9, 6, com intervalos de classes estimados pela Regra de Sturges.....	115

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Sub-bacias do Rio Pardo e respectivas áreas de drenagem. ....	35
<b>Tabela 2</b> - Dados pluviométricos mensais, conforme Banco de Dados do DAEE.....	40
<b>Tabela 3</b> - Dados fluviométricos mensais, conforme Banco de Dados do DAEE. ....	41
<b>Tabela 4</b> - Postos pluviométricos da bacia do Rio Pardo, ordenados no sentido de norte para sul e de leste para oeste. ....	43
<b>Tabela 5</b> - Postos fluviométricos ordenados no sentido da montante para a jusante (de sudeste para noroeste) do Rio Pardo.. ....	44
<b>Tabela 6</b> - Posto pluviométrico C3-035 com as falhas (amarelo) nos meses de, março, maio e dezembro, substituídas pelas médias (vermelho) do período. ....	51
<b>Tabela 7</b> - Distribuição de frequência absoluta de chuva anual do período de 1974 a 1999, de acordo com os intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges. As frequências absolutas em negrito representam a moda dos intervalos de classes. ....	64
<b>Tabela 8</b> - Intervalos de classe com amplitude estimada pela Regra de Sturges e frequências absoluta e relativa.....	65
<b>Tabela 9</b> - Dados estatísticos da vazão diária nos postos fluviométricos do Rio Pardo no período de 1974 a 1999. ....	77
<b>Tabela 10</b> - Correlação das vazões diárias (coeficiente de Pearson). ....	79
<b>Tabela 11</b> - Dados de chuva na bacia e vazão no exutório do Rio Pardo, desde 1974 a 1999. ....	85
<b>Tabela 12</b> - Equações de potência ajustadas às curvas de permanência geradas para os postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista nos anos padrão.....	110
<b>Tabela 13</b> - Coeficientes de determinação referentes às curvas ajustadas às curvas de permanência geradas para os postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista nos anos padrão.....	110
<b>Tabela 14</b> - Vazões mínimas e máximas das vazões médias mensais das séries fluviométricas referentes aos postos 1, 2, 3, 4 e 5 do Rio Pardo, nos anos 1983, 1995 e 1999. ....	114
<b>Tabela 15</b> - Chuvas mínimas e máximas das chuvas mensais ocorridas em toda região da bacia, nos anos 1983, 1995 e 1999. ....	114

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Intervalos de classes, com amplitudes estimadas pela Regra de Sturges, associados à escala cromática e frequências relativas. Classificação dos anos padrão. ....	66
<b>Quadro 2</b> - Planilha cromática com a ocorrência de chuva anual em todos os 39 postos da bacia no período 1974-1999 com amplitude, de intervalos de classe, estimada pela Regra de Sturges. ....	70

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 Justificativas .....	18
1.2 Objetivo Geral .....	19
1.3 Objetivos Específicos .....	19
1.4 Estrutura do trabalho .....	20
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
2.1 Revisão bibliográfica .....	21
2.2 Conceitos fundamentais .....	24
2.2.1 Ciclo hidrológico .....	24
2.2.2 Bacia hidrográfica .....	26
2.2.3 Precipitação atmosférica .....	28
2.2.4 Tipos de chuva .....	28
2.2.4.1 Precipitação frontal ou ciclônica .....	29
2.2.4.2 Precipitação orográfica .....	30
2.2.4.3 Precipitação convectiva .....	30
2.2.5 Medida de chuva .....	30
<b>3 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	32
3.1 Generalidades .....	32
3.2 Localização da área de estudo .....	33
3.3 Municípios com sede dentro e fora da bacia .....	34
3.4 Características da bacia do Rio Pardo .....	35
3.5 Sub-bacias do Rio Pardo .....	35
3.5.1 Sub-bacia 1: Ribeirão São Pedro/Ribeirão da Floresta .....	36
3.5.2 Sub-bacia 2: Ribeirão da Prata/Ribeirão Tamanduá .....	36
3.5.3 Sub-bacia 3: Médio Pardo .....	37
3.5.4 Sub-bacia 4: Rio Canoas .....	37
3.5.5 Sub-bacia 5: Rio Tambaú/Rio Verde .....	37
3.5.6 Sub-bacia 6: Alto Pardo .....	38
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	39
4.1 Materiais .....	40
4.1.1 Banco de dados pluviométricos e fluviométricos .....	40
4.1.2 Escolha dos postos pluviométricos .....	42
4.1.2.1 O BcDAEE-2000 .....	42
4.1.3 Escolha dos postos fluviométricos .....	44

4.2 Métodos .....	45
4.2.1 Análise de correlação .....	45
4.2.2 Método da Dupla Massa .....	45
4.2.3 Análise de Cluster Aglomerativa Hierárquica .....	46
4.2.4 Regra de Sturges .....	47
4.2.5 Mapas de Isolinhas .....	47
4.2.6 Método de Pettitt .....	48
4.2.7 Curvas de Permanência .....	49
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
5.1 Séries pluviométricas e fluviométricas .....	50
5.1.1 Seleção dos postos pluviométricos .....	50
5.1.2 Análise de consistência das séries pluviométricas .....	52
5.1.3 Séries pluviométricas inconsistentes .....	53
5.1.4 Ordenação e distribuição espacial dos postos pluviométricos .....	54
5.1.5 Análise de consistência das séries fluviométricas .....	55
5.2 Estatística descritiva da chuva na bacia do Rio Pardo .....	57
5.2.1 Quartis e medida de tendência central .....	57
5.2.2 Chuva média anual em cada ano do período .....	58
5.2.3 Chuva média anual em cada posto pluviométrico .....	60
5.2.4 Anos com as mesmas características pluviométricas .....	61
5.3 Escolha dos anos padrão .....	62
5.3.1 Uso do Método de Sturges .....	62
5.3.2 Análise da chuva anual nos anos do período 1974-1999 .....	67
5.3.3 Análise regional da chuva anual na bacia do Rio Pardo no período 1974-1999 .....	68
5.3.4 Seleção dos anos padrão .....	74
5.4 Dados estatísticos da vazão no Rio Pardo .....	75
5.4.1 Estatística descritiva da vazão no Rio Pardo .....	75
5.4.1.1 Vazão diária em todos os postos fluviométricos .....	75
5.4.1.2 Vazão diária em cada posto fluviométrico .....	77
5.4.2 Vazão mínima, média e máxima .....	81
5.5 Relações entre chuva e vazão na bacia do Rio Pardo .....	82
5.5.1 Valores estimados de vazão por meio da chuva anual .....	82
5.5.1.1 Conversão de unidades .....	82
5.5.1.2 Valores estimados de vazão no posto Fazenda Bela Vista .....	84
5.5.1.3 Valores ajustados de vazão no posto Fazenda Bela Vista .....	86
5.5.1.4 Vazões estimadas ajustadas e medidas no posto Fazenda Bela Vista .....	88
5.5.2 Efeitos dos períodos seco e chuvoso na vazão do Rio Pardo .....	90

5.5.3 Mudança de comportamento de vazão provocada por períodos seco e chuvoso.....	92
5.6 Análise da chuva e vazão nos anos padrão.....	94
5.6.1 Curvas de permanência e histogramas de vazão.....	94
5.6.2 Vazão diária em 1995 - “ano habitual”.....	95
5.6.2.1 Análise da vazão.....	95
5.6.3 Vazão diária em 1983 - “ano chuvoso”.....	100
5.6.3.1 Análise da vazão.....	100
5.6.4 Vazão diária em 1999 - “ano seco”.....	105
5.6.4.1 Análise da vazão com curvas de permanência e histogramas.....	105
5.6.4.2. Análise da vazão diária nos anos padrão com curvas de tendências.....	110
5.6.5 Vazão mensal nos anos padrão.....	112
5.6.6 Chuva mensal nos anos 1983 1995 e 1999.....	114
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>117</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>130</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água do Planeta, recurso natural indispensável a todas as formas de vida, está quase toda concentrada nos oceanos. Apenas uma pequena parte, menos de 3%, está nos continentes, sendo a maior parte desta sob a forma de gelo e neve ou abaixo da superfície, como água subterrânea. Somente, cerca de 1% de toda água terrestre está diretamente disponível ao homem e a outros organismos, sob a forma de lagos e rios, ou como umidade presente no solo, na atmosfera e como componente dos mais diversos organismos. Na sua constante movimentação, a água muda de estado, de posição com relação à Terra, em um ciclo que se convencionou chamar de ciclo hidrológico, cujas linhas principais são a precipitação, o escoamento superficial ou subterrâneo e a evaporação mantendo, no decorrer do tempo, uma distribuição equilibrada em que fica evidente a constância do nível médio dos mares. A quantidade das reservas de água disponíveis em oceanos, geleiras, águas subterrâneas, rios e lagos, biosfera e atmosfera tem relativa importância na dinâmica do ciclo da água. A atmosfera, apesar de armazenar uma ínfima quantidade de água disponível no planeta, dá origem à precipitação que é uma fase fundamental na dinâmica do ciclo hidrológico. Outra quantidade pequena de reserva, que está nas camadas superiores do solo, normalmente não saturadas, é de grande importância no ciclo hidrológico, no fenômeno de infiltração. Nos oceanos, a quantidade de água armazenada é tão significativa quanto o seu papel no ciclo hidrológico (PINTO et al, 1976), (EMÍDIO, 2008) (TUCCI, 2009).

O componente fundamental de análise do ciclo hidrológico é a bacia hidrográfica que é definida por uma área de captação natural de água da precipitação, a qual faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica é composta, basicamente, de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem, formada por cursos de água que confluem em uma seção fluvial única, denominada exutório. A precipitação que cai sobre as vertentes infiltra-se parcialmente nos solos até haver saturação superficial desses, momento em que começam a decrescer as taxas de infiltração e a surgir crescentes escoamentos superficiais, se a precipitação persistir. Esses escoamentos têm como destino imediato as redes de drenagem, que se encarrega de transportá-la à seção de saída da bacia (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2000), (TUCCI, 2009).

A água da chuva, que se precipita sobre uma bacia hidrográfica, sofre interferência de muitos fatores até atingir um curso d'água. São fatores de natureza fisiográfica, climatológica e ação antrópica. Mesmo assim, parte do volume precipitado de água em uma bacia deve escoar pelo seu exutório, visto que a bacia hidrográfica é um sistema

em que o volume de entrada é a água precipitada e o volume de saída é a água que escoou pelo exutório, desconsiderando-se os volumes evaporados, evapotranspirados e os infiltrados profundamente (TUCCI, 2009). Portanto, a chuva precipitada e a água escoada em uma bacia têm uma relação que, apesar de não ser linear, permite admitir que grandes anomalias de precipitação resultem em anomalias de vazão de rios de mesmo sinal. Isto acontece porque às vazões integram a variabilidade espacial e temporal da precipitação dentro da bacia hidrográfica. A variabilidade em vazões de rios é importante por estar diretamente ligada ao gerenciamento e ao uso dos recursos hídricos de uma bacia, principalmente quando se trata da disponibilidade de água para uso urbano, no caso da captação para uso nas cidades, no meio rural, no caso de irrigação, na geração de energia elétrica entre outras atividades (MARENGO, 2005).

Para melhor compreensão da relação entre precipitação e vazão escolheu-se a bacia hidrográfica do Rio Pardo, localizada no Estado de São Paulo.

### **1.1 Justificativas**

Com a comparação do fenômeno da vazão ao da precipitação que é o componente alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e, portanto, um fator importante para os processos de escoamentos superficiais e subterrâneos, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos e vazão, o que se busca são resultados para solucionar questões que envolvem o gerenciamento de recursos hídricos, tais como a avaliação da disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica e sua variação de ano para ano. Com essa comparação buscase, também, estabelecer uma relação com as quantidades de águas superficiais e subterrâneas escoadas. A relação entre a chuva e a vazão pode revelar informações para melhor compreender o comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica e, assim, adequar métodos e soluções que estabeleçam formas específicas no uso da água (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2000). Segundo Sinelli (1987), o uso crescente da água para produção agrícola e a perfuração desordenada de poços são dados que devem ser analisados, para auxiliar na racionalização da exploração e da proteção desses recursos. Na maioria das cidades situadas na bacia do Rio Pardo, a principal fonte de abastecimento é a água subterrânea, extraída dos aquíferos, Serra Geral, Botucatu e Pirambóia.

Estabelecer uma relação da chuva que ocorreu na bacia do Rio Pardo, por um longo período, com a vazão do seu rio principal, possibilita compreender o comportamento

hidrológico dessa região e, assim, por meio dessas informações, explorarem, de forma racional, os recursos hídricos dessa bacia.

Outras justificativas que despertaram interesse em explorar a relação da chuva com a vazão, nessa região, foram a quantidade existente de postos pluviométricos, distribuídos por toda a bacia, satisfazendo a Organização Meteorológica Mundial – OMM (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2000) e a existência de séries fluviométricas sem falhas, referentes à vazão do rio principal da bacia, o Pardo, por um longo período (1974 a 1999), com uma delas abordando os dados de um posto, localizado próximo ao exutório da bacia, o que permitiu comparar a chuva precipitada na bacia (entrada) com a vazão em seu exutório (saída).

Esse trabalho contribui para a compreensão da relação da chuva na bacia do Rio Pardo com a vazão do seu principal rio, em um longo período (1974 a 1999), buscando informações qualitativas e quantitativas para uma melhor gestão dos recursos hídricos da região.

## **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo principal deste trabalho é analisar e comparar a chuva e a vazão que ocorreram na bacia hidrográfica do Rio Pardo, no período de 1974 a 1999, visando avaliar o grau de relação entre a chuva nesse período com a vazão do rio principal, o Pardo.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- a) Aplicar o método da Dupla Massa para verificar a consistência das séries pluviométricas e fluviométricas e para conseguir um fator de correção para as vazões estimadas;
- b) Usar o Método de Sturges para classificar a pluviosidade da região;
- c) Escolher os anos habituais e excepcionais (secos e chuvosos) usando análise de agrupamentos, distribuição de frequências e mapas de isolinhas das chuvas anuais que ocorreram no período de 1974 a 1999;
- d) Analisar, pelo Método de Pettitt, a mudança de tendência das séries fluviométricas;
- e) Verificar, por meio de curvas de permanências, a porcentagem de tempo em que uma vazão é igualada ou superada;

f) Utilizar a análise de correlação, para explicar a relação entre chuva e vazão no período analisado.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

O desenvolvimento deste trabalho seguirá as seguintes etapas: 1- Introdução, na qual serão apresentadas, a dinâmica da água no Planeta, as justificativas da escolha da área e do período estudado, o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura do trabalho; 2- Fundamentação Teórica, na qual serão revisados assuntos que envolvem a relação entre chuva e vazão e os conceitos teóricos de ciclo hidrológico, bacia hidrográfica, precipitação atmosférica e tipos e medidas de chuvas; 3- Área de Estudo, na qual serão apresentadas a região escolhida, sua localização, suas características gerais, sua área de drenagem e os municípios com sede dentro e fora dessa região; 4- Materiais e Métodos: nessa etapa serão apresentadas a fonte dos dados pluviométricos e fluviométricos, a localização geográfica dos postos de onde esses dados foram obtidos, a forma e condições de escolha dos dados e a descrição dos métodos utilizados; 5- Análise e Discussão de Resultados, na qual serão apresentadas a seleção dos postos pluviométricos e fluviométricos, a análise da consistência e tratamento estatístico dos dados, a aplicação dos métodos estatísticos e programas computacionais, a escolha dos anos de chuvas excepcionais (secos e chuvosos) e habituais, a estimação de vazão por meio da chuva na região e a análise dos resultados obtidos; 6- Conclusão, na qual os comentários emitidos permitirão concluir a respeito do trabalho proposto e por meio deles comprovar que o objetivo proposto foi alcançado; 7- Referências Bibliográficas e Anexos, é a etapa em que serão apresentadas as referências bibliográficas necessárias à fundamentação do trabalho e os anexos, que tratam dos dados anuais de chuva nos postos selecionados e dos gráficos, que comprovam a consistência desses dados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada, a revisão bibliográfica que trata dos assuntos que envolvem a relação entre chuva e vazão e, também, alguns conceitos teóricos de ciclo hidrológico, bacia hidrográfica, precipitação atmosférica e tipos de chuva e sua medida.

### 2.1 Revisão bibliográfica

Apesar da dinâmica da água na natureza estar hoje tão generalizadamente aceita, em tempos remotos e até épocas mais recentes a origem da água das nascentes e dos rios se constituía em um problema bastante controvertido. Antes do final do século XVII, acreditava-se que a água das nascentes não poderia ser originada das chuvas, pois se supunha que elas fossem insuficientes e que a terra era muito impermeável para possibilitar a infiltração e a percolação dessas águas (LIMA, 2008). Muitas outras suposições a respeito da dinâmica da água foram criadas e após um período de muitas especulações, que se estendeu até por volta de 1400 os períodos que marcaram a evolução desses estudos foram classificados e denominados como: período de observação (1400-1600), o período de medições (1600-1700), o período de experimentação (1700-1800), período de modernização, (1800-1900), período de empirismo (1900-1930), período de racionalismo (1930-1950) e o período de teorização (1950-), segundo Chow (1964) apud Lima (2008). Cada período, de acordo com sua característica, contribuiu para o desenvolvimento da pesquisa e aprimoramento das ideias e a teoria de que a água subterrânea deriva, na sua maior parte, da infiltração da água da chuva prevalece até hoje. Todos esses períodos foram relevantes para o entendimento da dinâmica da água na natureza e dois deles serão citados por estarem relacionados ao trabalho que está sendo desenvolvido.

No século XVII, as medições de chuva e vazão foram realizadas na bacia do Rio Sena em Paris (França) com o objetivo de relacionar esses fenômenos cujos resultados obtidos segundo Lima, (2008, p. 7) estão apresentados a seguir:

[...] PIERRE PERRAULT (França): mediu a chuva (a primeira medição da chuva é atribuída a Kantilya, na Índia, por volta de 400 AC) durante 3 anos, a área aproximada de toda a bacia do Sena, bem como a vazão do rio. Concluiu que a quantidade de água recebida pela bacia através das chuvas era cerca de 6 vezes a quantidade descarregada pelo Rio Sena. Mediu também a taxa de evaporação da água em tanques de evaporação primitivos;

MARIOTTE (França): computou a descarga do Sena em Paris pela medição da largura, profundidade e velocidade do rio a cotas médias. A velocidade foi medida pelo método de flutuadores. Reconhecendo que a velocidade superficial é maior que a velocidade média, Mariotte dividiu o resultado por três, chegando, basicamente, aos mesmos resultados de Perrault;

O interesse despertado em analisar os fenômenos da natureza vem de longa data e nesse resumo histórico já se observa que muitos pesquisadores buscavam entender e relacionar os fenômenos hidrológicos chuva e vazão. Na citação acima, observa-se o interesse em medir a chuva e a vazão do rio, durante um período, na bacia do Rio Sena, em Paris. A conclusão a que chegou o pesquisador é que o volume de água escoado representava aproximadamente 16,6% do volume de água precipitado na bacia.

No período da teorização foi quando se deu a aplicação dos modelos matemáticos no estudo dos processos hidrológicos. Nesse período, as pesquisas se voltaram para o desenvolvimento de modelos que dessem ênfase aos processos hidrológicos mais representativos da realidade, para buscar respostas às questões emergentes da época.

Os primeiros modelos de chuva-vazão que surgiram, a partir da década de 30, do século passado, desconsideravam as condições não lineares do processo e, que depois deste período, com o advento dos computadores, essas condições começaram a ser consideradas nos novos modelos que surgiam. O escoamento superficial e subterrâneo, a precipitação, a evaporação e a infiltração passaram a ser tratados, nesses novos modelos, com suas características não lineares. Mesmo assim, apesar de apresentarem bons resultados, a necessidade de interpretação dos algoritmos, a quantidade de parâmetros a serem calibrados e a necessidade de levantamento de dados em campo foram os fatores limitadores desses novos modelos.

Collischonn (2001), na sua Tese de Doutorado intitulada “**Simulação hidrológica de grandes bacias**”, realizou um estudo para o desenvolvimento e validação de um modelo hidrológico distribuído, utilizado para representar os processos de transformação de chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas com áreas superiores a 10.000 km<sup>2</sup>. No modelo foram considerados os processos de balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos: superficial, sub-superficial e subterrâneo e o escoamento na rede de drenagem em toda a bacia hidrográfica além da variabilidade espacial. O modelo foi aplicado na bacia do Rio Taquari - Antas, no Rio Grande do Sul, na bacia do Rio Taquari, no Mato Grosso do Sul, e na bacia do Rio Uruguai, entre Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O tamanho dessas bacias variou entre, aproximadamente, 30.000 km<sup>2</sup> e 75.000 km<sup>2</sup>.

Quanto às vazões, esse mesmo autor relacionou a chuva ocorrida na bacia com a vazão. Segundo Collischonn (2001, p. 141):

[...] A vazão subterrânea reage lentamente, atingindo o valor máximo anual ao final do período chuvoso, e o valor mínimo anual entre novembro e dezembro. No período de um ano não é possível verificar mudanças muito significativas na vazão subterrânea, porém vários anos de chuvas inferiores ou superiores à média podem mudar completamente o comportamento da bacia, e o principal tipo de escoamento afetado é o subterrâneo. A vazão superficial reage rapidamente à precipitação e é responsável pelos picos de vazão. Ao final do período chuvoso a vazão superficial se reduz a zero, e toda a vazão do rio é oriunda do escoamento subterrâneo.

O autor apontou a alteração das vazões observadas entre o início da década de 70 e a década de 80, como uma característica marcante na hidrologia da bacia do Rio Taquari, no Estado do Mato Grosso do Sul. As vazões médias diárias no período de 1969 a 1984, quando dispostas em um hidrograma revelaram um aumento nas vazões máximas e mínimas, ao longo da década de 70. No ano de 1969, variaram entre 110 e 350 m<sup>3</sup>/s; no ano de 1975, variaram entre 192 e 800 m<sup>3</sup>/s e, na década de 80 a faixa de vazões vai de 320 a 1400 m<sup>3</sup>/s. Segundo o autor, uma das causas da variabilidade das vazões na bacia do Rio Taquari, no Estado do Mato Grosso do Sul é a variabilidade das chuvas anuais e outra segunda causa potencial é a mudança de uso do solo ocorrida na região, durante a década de 1970.

Em estudo realizado pelo DAEE, modelos que relacionavam chuva e vazão por meio de uma relação linear possibilitaram estimar a vazão, a partir da precipitação ocorrida em uma bacia hidrográfica. Essa relação linear foi estabelecida entre a vazão média pluriannual  $\bar{Q}$  em uma dada seção de um curso de água de uma bacia hidrográfica com o total anual médio  $\bar{P}$  precipitado nessa bacia, por meio de uma reta de regressão linear. Na obtenção da equação dessa reta, foi necessária a elaboração de um mapa de isoietas para o cálculo da precipitação média pluriannual como também da área de drenagem que aquela seção do curso de água abrangia (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, c2000).

Na relação entre chuva e vazão, Moraes e Genovez (1997), no trabalho intitulado **Análise de intervenção das séries temporais de vazão dos principais rios da bacia do Rio Piracicaba**, utilizaram a modelagem da vazão considerando a precipitação e a intervenção nas vazões através da operação de barragens. Entre 1930 e 1995 verificaram uma mudança de comportamento das séries históricas de vazão dos rios estudados por meio do Método de Pettitt com o qual, calcularam a mudança na média da série de vazão antes e depois de uma dada intervenção nessas vazões e o tempo em que houve essa mudança (ruptura). No estudo

realizado, as alterações no comportamento das séries temporais de vazões detectadas pelo Método de Pettitt coincidiram com o histórico conhecido da operação das barragens.

A mudança no comportamento do escoamento de um curso de água no exutório de uma bacia, detectada pelo Método de Pettitt, pode estar relacionada com a mudança de comportamento de chuva por certo período (MORAES, et al, 1997).

Se, na aplicação do teste de Pettitt, é observada uma mudança na média de uma longa série de vazão medida no exutório de uma bacia, então isso pode significar que, por um determinado período, a chuva que ocorreu na região aumentou ou diminuiu. Essa possibilidade existe visto que longos períodos de seca fazem diminuir a vazão no exutório enquanto longos períodos de chuva fazem-na aumentar (COLLISCHONN, 2001).

## **2.2 Conceitos fundamentais**

### **2.2.1 Ciclo hidrológico**

A Hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na Terra, observando sua distribuição na atmosfera, na superfície terrestre e no subsolo como também suas propriedades físicas e químicas, e sua relação com o meio ambiente (TUCCI, 2009).

Os fenômenos meteorológicos que mais interessam à Hidrologia se processam na Troposfera, que é a camada inferior da atmosfera. No Equador, essa camada se estende desde a superfície até a altura máxima de dezoito quilômetros e nos polos até nove. A Troposfera é caracterizada por movimentos constantes do ar tanto no sentido horizontal – vento, como no sentido vertical – corrente de ar (VILLELA; MATTOS, 1975). Numa fase do ciclo hidrológico, a água presente na atmosfera sob forma de vapor, através da dinâmica das massas de ar, é transferida para a superfície terrestre na forma de precipitação.

A hidrologia terrestre trata especialmente do escoamento superficial, ou seja, da água em movimento sobre o solo. Sua finalidade primeira é o estudo dos processos físicos que têm lugar entre a precipitação e o escoamento superficial e o seu desenvolvimento ao longo dos rios (PINTO et al, 1976). No ciclo hidrológico terrestre o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica, que é uma área de captação natural de água da precipitação a qual faz convergir os escoamentos para o exutório, seu único ponto de saída.

No trajeto em direção à superfície terrestre, a chuva já sofre evaporação; se cai sobre um solo com cobertura vegetal, parte do volume precipitado sofre interceptação de

folhas e caules. Se atingir o solo, a água da chuva pode se infiltrar, escoar superficialmente, evaporar e percolar. A água da chuva, que percola pelos espaços porosos do solo, pode se tornar água subterrânea, que abastece os rios ou emergem como nascentes e aquela que não se infiltra no solo saturado escoar superficialmente para os rios e lagos movendo-se para os oceanos (PRESS, 2006). O escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação, que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação, como pelas águas subterrâneas.

Os fatores que influenciam no escoamento superficial podem ser de natureza fisiográfica, ligados à natureza física da bacia ou de natureza climática, relacionados à precipitação. Quanto maior a intensidade de uma chuva, mais rápido o solo atinge a sua saturação, provocando excesso de água que escoará superficialmente; a duração da chuva também influencia no escoamento, pois, para chuvas de intensidade constante, a chance de escoamento aumenta quanto maior for a duração. A precipitação antecedente também influencia no escoamento superficial, pois uma precipitação que ocorre quando o solo já está úmido, devido a uma chuva anterior recente, terá facilidade de escoamento.

Dentre os fatores fisiográficos os mais importantes estão relacionados com a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração do solo e a topografia da bacia. A área influencia muito no escoamento, devido a sua extensão estar relacionada com a quantidade de água captada, pois a captação de água de chuva em uma grande área é maior do que em uma menor área. A porosidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, pois quanto mais poroso é o solo, maior é a quantidade de água absorvida e, conseqüentemente, os escoamentos superficiais diminuem ou deixam de acontecer.

As obras hidráulicas construídas em uma bacia podem também interferir no escoamento superficial de uma bacia hidrográfica. As barragens, ao acumularem a água em seu reservatório, reduzem as vazões máximas do escoamento superficial e retardam a sua propagação, enquanto que a retificação de um rio pode aumentar a velocidade de escoamento superficial.

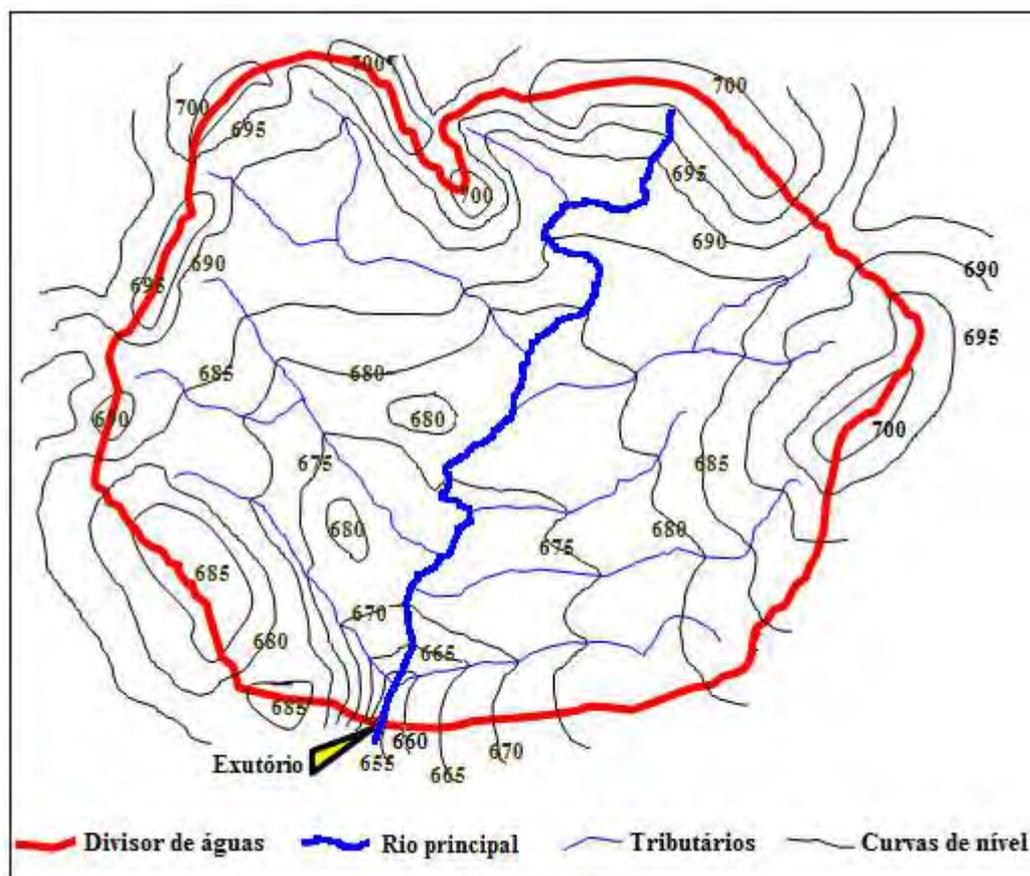
O escoamento superficial, em uma bacia, pode ser quantificado por meio da vazão que é o volume escoado, por unidade de tempo. Essa grandeza é normalmente expressa em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) ou em litros por segundo (l/s). A vazão média diária é obtida calculando-se a média aritmética das vazões ocorridas durante o dia, quando se dispõem de um aparelho registrador – linígrafo. O mais comum é a média das vazões das 7 e 17 horas que são os momentos em que se efetua a leitura no linímetro. A vazão por unidade

de área da bacia hidrográfica também é uma forma de expressar a capacidade de uma bacia de produzir escoamento superficial e serve como elemento comparativo entre bacias. É comum ter como dados, que caracterizam uma bacia, as vazões máximas, médias, mínimas em intervalos de tempo que podem ser a hora, o mês e o ano.

### **2.2.2 Bacia hidrográfica**

A bacia hidrográfica (Figura 1) compõe-se, basicamente, de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que defluem em uma seção fluvial única, denominada exutório. Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em sub-bacias e cada uma delas pode ser considerada uma bacia hidrográfica. Os divisores topográficos ou divisores de água são os topos dos terrenos que separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes, formando uma linha fechada, a qual é ortogonal às curvas de nível do mapa e desenhada a partir da seção fluvial do exutório, em direção às maiores cotas ou elevações. A rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é formada pelo rio principal e pelos seus tributários, constituindo-se em um sistema de transporte de água e sedimentos, enquanto a sua área de drenagem é dada pela superfície da projeção vertical da linha fechada dos divisores de água sobre um plano horizontal, sendo geralmente expressa em hectares (ha) ou quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>). O volume de água que passa pelo exutório, na unidade de tempo, é a vazão ou descarga da bacia, geralmente representada por Q (NAGHETTINI, [20--?]).

**Figura 1-** Esquema de bacia hidrográfica.



Fonte: Adaptado de A bacia hidrográfica (NAGHETTINI, [20--?])

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico no qual a entrada é o volume de água precipitado (chuva) e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e também os infiltrados profundamente. O papel hidrológico da bacia hidrográfica é o de transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída, no tempo. O escoamento pode ser mais lento ou mais rápido, este facilmente identificável pela forte elevação das vazões, em curto espaço de tempo, que, após atingir um pico, decresce também rapidamente, mas em tempo maior que o da elevação. A este escoamento rápido é atribuído o nome de escoamento superficial, embora esta designação seja cientificamente inexata, dada as inúmeras oportunidades de infiltração, afloramentos de águas sucessivas, nos diferentes caminhos que a água pode percorrer até fazer parte do escoamento que passa no exutório. Em termos práticos, a separação entre escoamento rápido, ou superficial, e escoamento lento, ou subterrâneo, é conveniente, porque permite quantificar e analisar separadamente o escoamento geralmente de maior magnitude

numa cheia, e o escoamento superficial, que é explicado mais facilmente numa relação de causa e efeito com precipitação (TUCCI, 2009).

### **2.2.3 Precipitação atmosférica**

A precipitação atmosférica é o fenômeno que transfere a água da atmosfera para a superfície terrestre, em estado sólido ou líquido. São consideradas precipitações atmosféricas a chuva, o granizo, e a neve. No Brasil, a chuva é a forma mais importante de precipitação, embora existam regiões com ocorrências de precipitações na forma de granizo e eventualmente, na forma de neve. Esse fenômeno, elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico, é importante nos processos de escoamento superficial, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão dos rios e outros (GARCEZ, 1988). A precipitação, sua distribuição e modo de ocorrência é um fator climático importante. Outro é a evaporação, responsável direta pela redução do escoamento superficial, por retirar da superfície líquida grande quantidade de água e a incorporá-la na atmosfera. Esses fatores, juntamente com as características físicas, geológicas, topográficas de uma região definem o regime hidrológico dessa região (VILLELA; MATTOS, 1975).

A precipitação antes de atingir o solo pode ser interceptada por vegetações. A quantidade de água interceptada por uma floresta densa varia de 8% a 35% da precipitação total anual, de acordo com Dunne & Leopold, (1978) apud Fetter (2001).

No estudo de planejamento, de longo prazo, do uso de uma bacia hidrográfica, a precipitação é um dado básico por não sofrer menor influência direta de atividades antrópicas provocadas na alteração do meio. A forma de precipitação que será tratada neste trabalho é a chuva, já que outras formas pouco contribuem para o regime hidrológico de uma região (VILLELA; MATTOS, 1975).

### **2.2.4 Tipos de chuva**

Os principais fatores climáticos que influenciam no regime hidrológico de uma região são a precipitação, sua distribuição e modos de ocorrência, a evaporação, a temperatura, a umidade e o vento, principalmente pela influência que exercem sobre a precipitação e a evaporação.

A umidade atmosférica, apesar de ser necessária, não é suficiente para a formação das precipitações. Outros requisitos são necessários, tais como o resfriamento do ar, a

presença de grupos higroscópicos, para que haja condensação e um mecanismo de crescimento de gotas. Reunidas essas condições, o vapor de água contido na atmosfera condensa-se, possibilitando a ocorrência de precipitações. Isso acontece devido ao aquecimento, por condução, do ar úmido das camadas mais baixas da atmosfera, que se torna mais leve que o ar da vizinhança e, por isso, sofre uma ascensão adiabática. Nessa ascensão, ele se expande e se resfria na razão de 1°C por 100 metros, até atingir a condição de saturação (nível de condensação). A partir desse nível, em condições favoráveis, e com a existência de núcleos higroscópicos, o vapor de água se condensa formando minúsculas gotas em torno desse núcleo. Entretanto, essas gotas não possuem massa suficiente para vencer a resistência do ar, mantendo-se em suspensão até que, por um processo de crescimento, ela atinja tamanho suficiente para precipitar. Vencendo a resistência do ar, elas se deslocam em direção ao solo onde as gotas maiores adquirem maior velocidade do que as gotas menores. Nesse trajeto, as gotas maiores alcançam as gotas menores que são incorporadas às maiores, aumentando mais ainda seu tamanho.

O resfriamento dinâmico ou adiabático (resfriamento do ar, sem haver troca de calor com o meio externo a ele) é a principal causa da condensação e é responsável pela maioria das precipitações. Assim, o movimento vertical das massas de ar é um requisito importante para a formação das precipitações, que podem ser classificadas de acordo com as condições que produzem o movimento vertical do ar. Considerando-se essa classificação, existem três tipos principais de precipitação: ciclônica, orográfica e convectiva (VILLELA; MATTOS, 1975). Contudo esses tipos não mutuamente exclusivos, podendo se sobrepor para dar origem a tipos mais complexos de chuva (EMÍDIO, 2008).

#### **2.2.4.1 Precipitação frontal ou ciclônica**

As precipitações ciclônicas estão associadas ao movimento de massas de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão. Essas diferenças de pressão são causadas por aquecimento desigual da superfície terrestre. Nas regiões de convergência na atmosfera, o ar mais quente e úmido é violentamente impulsionado para cima, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, de forma a produzir chuvas. São chuvas de grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média. Essas precipitações podem vir acompanhadas por ventos fortes, com circulação ciclônica. Podem produzir cheias em grandes bacias. No Brasil, as chuvas frontais são muito frequentes nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e, por vezes, no Nordeste (EMÍDIO, 2008).

#### **2.2.4.2 Precipitação orográfica**

Quando ventos quentes e úmidos, soprando geralmente do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e se resfriam adiabaticamente, havendo condensação do vapor, formação de nuvens e ocorrência de chuvas. São chuvas de pequena intensidade e grande duração, que cobrem pequena área. Quando o vento consegue ultrapassar a barreira montanhosa, do lado oposto projeta-se a sombra pluviométrica, dando lugar às áreas secas ou semi-áridas, causadas pelo ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta oposta. A precipitação orográfica apresenta distribuição e localização irregular, podendo ocorrer em muitas regiões do mundo e, no Sudeste do Brasil, são especialmente importantes ao longo da Serra do Mar.

#### **2.2.4.3 Precipitação convectiva**

Quando em tempo calmo, o ar úmido for aquecido na vizinhança do solo, podem-se criar camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. Perturbado o equilíbrio, forma-se uma brusca ascensão local de ar menos denso que atingirá seu nível de condensação, com formação de nuvens e, muitas vezes, precipitações. São as chuvas convectivas, características das regiões equatoriais, onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, podendo ocorrer nas regiões temperadas por ocasião do verão. Geralmente provocam fortes tempestades apresentando chuvas com alta intensidade e de pequena duração, acompanhadas de descargas elétricas, ventos fortes e muitas vezes estão associadas a granizo, São restritas a áreas pequenas, mas podem provocar enchentes e inundações significativas em áreas urbanas.

#### **2.2.5 Medida de chuva**

A medida da chuva é realizada por meio do volume precipitado de água em uma determinada área, durante um período. Existem padrões para essas medidas, que são as grandezas que caracterizam uma chuva: altura, duração e intensidade.

Altura pluviométrica (h): é a espessura média da lâmina d'água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação, admitindo-se que essa água não evaporasse, não infiltrasse, nem se escoasse para fora dos limites da região. A unidade de medição habitual é o

milímetro de chuva, definido como a quantidade de chuva correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície (TUCCI, 2009).

Duração (t): é o período de tempo durante o qual a chuva cai. As unidades, normalmente, são o minuto ou a hora.

Intensidade (i): é a precipitação por unidade de tempo, obtida como a relação  $i = h/t$ . Expressa-se normalmente em mm/h (GARCEZ, 1988).

A chuva é avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos denominados pluviômetros ou pluviógrafos que registrem essa altura, no decorrer do tempo.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à maior parte da bacia hidrográfica do Rio Pardo localizada no Estado de São Paulo, denominada de UGRHI 04. Neste capítulo é apresentada uma descrição geral da área localizada em terras paulistas, abordando os municípios com sede dentro e fora dessa área. As características gerais, área de drenagem e localização da UGRHI 04 e de suas sub-bacias, também, serão assuntos aqui tratados.

#### 3.1 Generalidades

A bacia hidrográfica do Rio Pardo está situada na região sudeste brasileira, abrangendo parte da porção nordeste do Estado de São Paulo e pequena área do Planalto Sul de Minas. Pertence à bacia do Alto Paraná, em virtude de ser o Rio Pardo afluente do Rio Grande, um dos formadores do Rio Paraná.

O Rio Pardo tem suas nascentes no Planalto Sul de Minas, (nasce na Serra do Cervo, Município de Ipuíúna MG) e dirige-se para o Rio Grande acompanhando a inclinação do relevo. Adentra o Estado de São Paulo no Município de Caconde, corta o Município de São José do Rio Pardo e avança rumo a noroeste, passando por importantes Municípios, entre eles Mococa, Jardinópolis, Ribeirão Preto, Sertãozinho, Viradouro e Barretos. Tem grande aproveitamento hidroelétrico, formando as represas Caconde, Euclides da Cunha e Armando de Salles Oliveira e é o maior afluente do Rio Grande pela margem esquerda, no qual se lança, após um curso de cerca de 550 km. Apesar de nascer em Minas Gerais, 84% do seu curso desenvolve-se no Estado de São Paulo. Seu maior afluente é o Rio Mogi Guaçu, que também nasce em território mineiro. Dada a disposição geral da bacia do Rio Pardo, que apresenta largura da ordem de 50 km, em cuja posição aproximadamente central corre o Rio Pardo, com seu traçado bastante irregular e sinuoso, os seus afluentes, tanto da margem direita como da esquerda, são de porte relativamente pequeno, com extensão, em geral, não muito superior a 30 km. Os principais cursos de água integrantes da bacia, além do Rio Pardo, são os rios Canoas (que nasce em MG) e Araraquara e os Ribeirões São Pedro, da Floresta e da Prata, pela margem direita, e os rios Tambaú, Verde e da Fartura e o Ribeirão Tamanduá, pela margem esquerda. O Rio Pardo possui declividade média de 3 m/km (ou 0,3%), sendo mais acentuada nos primeiros 70 km, com cerca de 4 m/km (ou 0,4%).

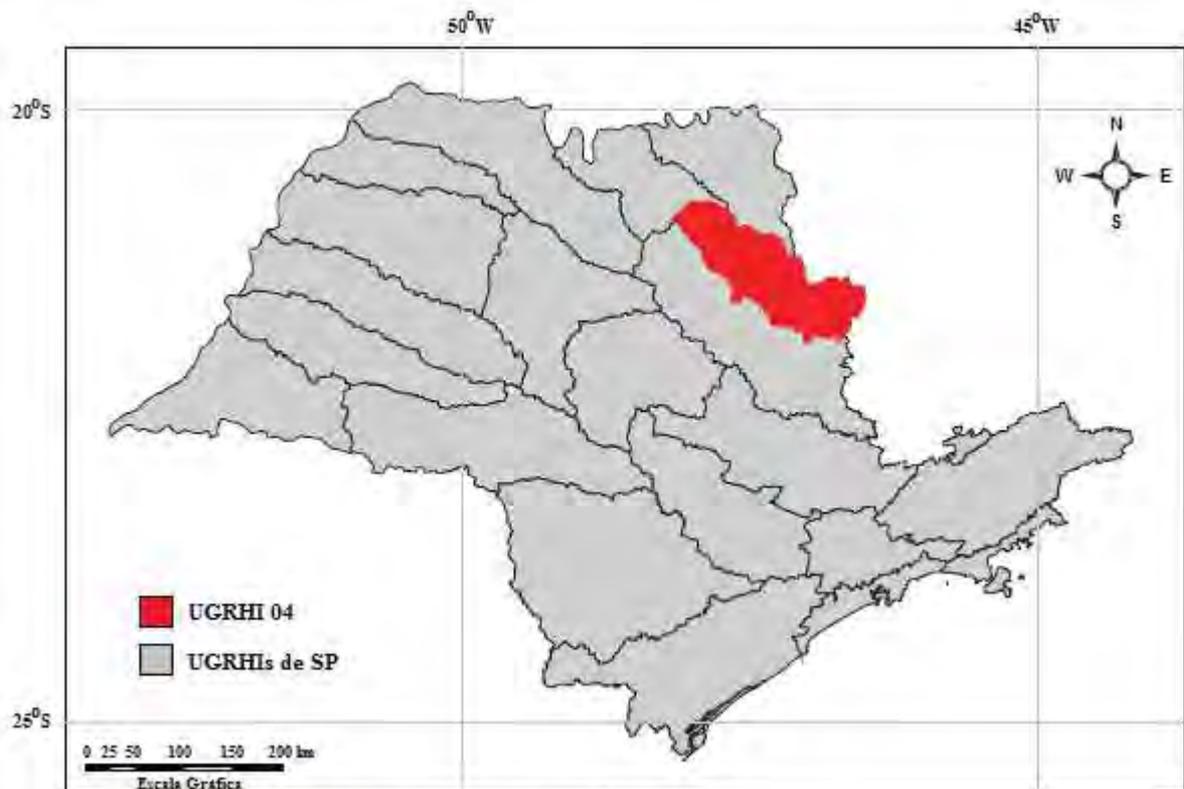
O Estado de São Paulo está dividido, de acordo com Lei Estadual nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994, em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHIs

(Figura 02), sendo cada uma delas estruturada de acordo com o conceito de bacia hidrográfica, em que os recursos hídricos convergem para um corpo de água principal, de forma que na análise dos resultados consideram-se os acontecimentos do trecho do rio inserido na respectiva UGRHI. No caso do Rio Pardo, a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos é a UGRHI 04, que corresponde à parte paulista da Bacia Hidrográfica desse rio.

### 3.2 Localização da área de estudo

A área de estudo é a região da bacia do Rio Pardo localizada no Estado de São Paulo, definida por UGRHI 04 (Figura 2), que se encontra entre as coordenadas 22° 00' e 20° 45' de Latitude Sul e 48° 15' e 46°45' de Longitude Oeste de Greenwich e possui área de drenagem igual a 8991,02 km<sup>2</sup> (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2000) Neste trabalho, quando se fizer referência à bacia hidrográfica do Rio Pardo a região que estará sendo tratada é a UGRHI 04.

**Figura 2** - Divisão do Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos.



Fonte: Adaptado de Geociências (GROPPO et al, 2005)

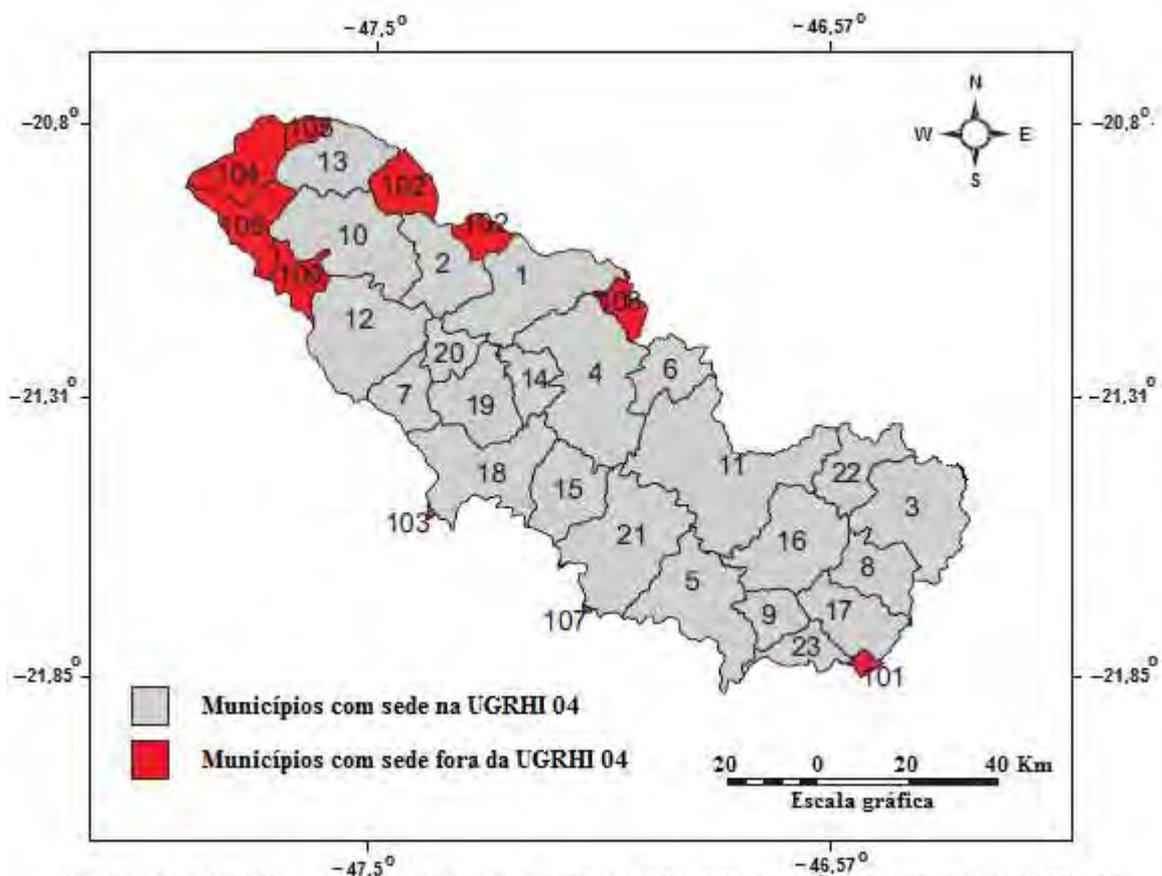
### 3.3 Municípios com sede dentro e fora da bacia

São 23 Municípios com sede na bacia do Rio Pardo (Figura 3):

1- Altinópolis, 2- Brodowski, 3- Caconde, 4- Cajuru, 5- Casa Branca, 6- Cássia dos Coqueiros, 7- Cravinhos, 8- Divinolândia, 9- Itobi, 10- Jardinópolis, 11- Mococa, 12- Ribeirão Preto, 13- Sales Oliveira, 14- Santa Cruz da Esperança, 15- Santa Rosa de Viterbo, 16- São José do Rio Pardo, 17- São Sebastião da Gramma, 18- São Simão, 19- Serra Azul, 20- Serrana, 21- Tambaú, 22- Tapiratiba e 23- Vargem Grande do Sul.

Os Municípios com sede em outras Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) são 9 (Figura 3): 101- Águas da Prata, 102- Batatais, 103- Luis Antônio, 104- Morro Agudo, 105- Orlândia, 106 Pontal, 107- Santa Rita do Passa Quatro, 108- Santo Antônio da Alegria e 109- Sertãozinho (SÃO PAULO (Estado), [2008?]).

**Figura 3** - Municípios do Estado de São Paulo com sede dentro e fora da bacia hidrográfica do Rio Pardo (UGRHI - 04).



Fonte: Adaptado de Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004-2007 SP (SÃO PAULO (Estado), [2008?])

### 3.4 Características da bacia do Rio Pardo

A bacia do Rio Pardo tem sua economia baseada na agropecuária, indústria, comércio e serviços. Com a agropecuária ocupando 75% do território, destacam-se as culturas de cana-de-açúcar e laranja, além das pastagens, que ocupam aproximadamente 22% da área da bacia. Existem áreas de culturas irrigadas como cebola, batata e milho, que têm importância econômica e no consumo de água. Sendo Ribeirão Preto a principal cidade da UGRHI 04, com 605.114 habitantes, segundo o censo 2010 do IBGE, (o que corresponde a aproximadamente 56% da população da bacia), naturalmente concentra as atividades econômicas da região. Isso tem levado a um intenso uso da água subterrânea, principalmente para o abastecimento público, o que tem sido motivo de enorme preocupação, em razão da cidade de Ribeirão Preto se encontrar localizada na zona de recarga do Aquífero Guarani (SÃO PAULO (Estado), [1996?]).

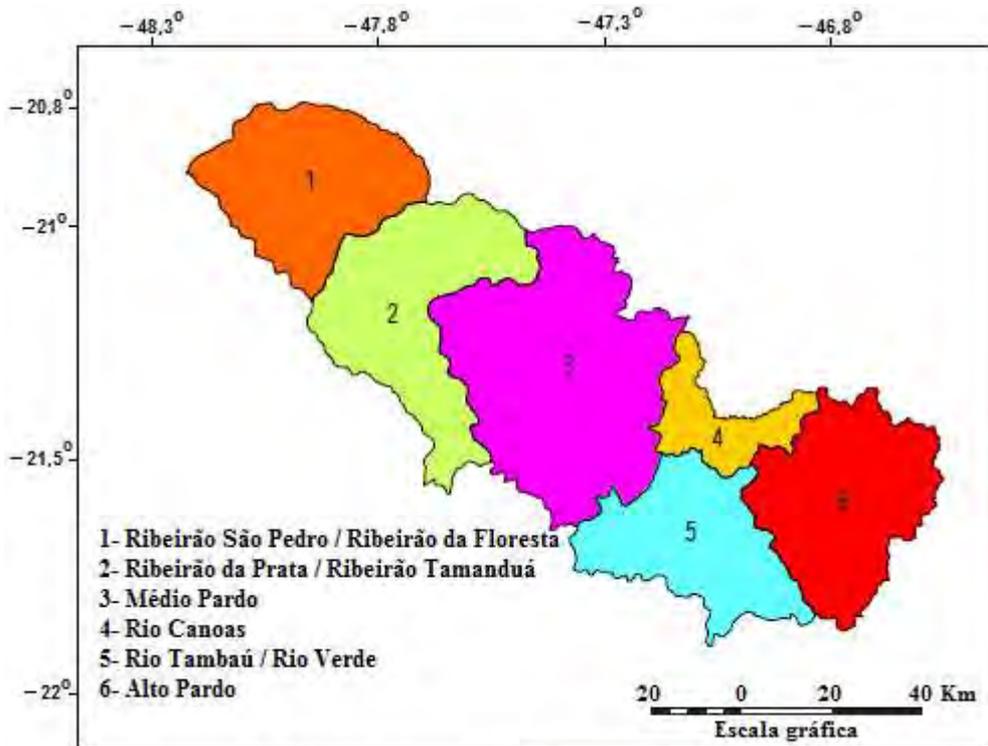
### 3.5 Sub-bacias do Rio Pardo

A área de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Pardo no Estado de São Paulo com o total de 8.991,02 km<sup>2</sup> e das suas sub-bacias (Tabela 1) foram definidas por critérios hidrológicos, com limites definidos a partir dos divisores principais e das bacias de captação dos rios de maior porte. Além dos aspectos hidrológicos também foram considerados os sócio-econômicos. Conforme ilustrado na Figura 4, as seis sub-bacias recebem ou o nome do curso d'água principal ou os nomes de uma ou duas drenagens principais que a compõem (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2000).

**Tabela 1** - Sub-bacias do Rio Pardo e respectivas áreas de drenagem.

N	SUB-BACIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )	% da UGRHI 4
1	Ribeirão São Pedro/Ribeirão da Floresta	1451,80	16,10
2	Ribeirão da Prata/Ribeirão Tamanduá	1680,84	18,70
3	Médio Pardo	2533,78	28,20
4	Rio Canoas	516,80	5,80
5	Rio Tambaú/Rio Verde	1271,38	14,10
6	Alto Pardo	1536,42	17,10
	TOTAL	8991,02	100

Fonte: Relatório 40 670 (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2000)

**Figura 4** - Sub-bacias do Rio Pardo.

Fonte: Adaptado do Relatório número 40670 (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2000)

### 3.5.1 Sub-bacia 1: Ribeirão São Pedro/Ribeirão da Floresta

Situada no extremo noroeste da bacia do Rio Pardo, essa sub-bacia é constituída pelas águas do Baixo Rio Pardo e pelos Ribeirões São Pedro, da Floresta e Lambari, pelos Córregos das Contendas, das Antas e Santa Bárbara, além de outras drenagens de menor porte. Tem seu limite de montante um pouco abaixo da foz do Ribeirão Preto, no Rio Pardo. Seu relevo varia desde um pouco abaixo da cota 550 m, em toda a extensão do vale do Rio Pardo, dentro da sub-bacia, até a cota 885 m, nas cabeceiras do Ribeirão São Pedro.

### 3.5.2 Sub-bacia 2: Ribeirão da Prata/Ribeirão Tamanduá

Localiza-se na porção centro-noroeste da bacia do Rio Pardo e tem como drenagens principais, além do Rio Pardo, os Ribeirões da Prata e Tamanduá, respectivamente, pela margem direita e esquerda do Pardo. Apresenta desníveis no relevo muito parecidos com os da sub-bacia 1 (Ribeirão São Pedro/Ribeirão da Floresta), variando desde cotas pouco inferiores a 500 m, no vale do Rio Pardo (na metade oeste da sub-bacia), até aproximadamente 890 m. As exceções situam-se na extremidade sudeste, na divisa com a sub-

bacia 3, a leste de São Simão (nas cabeceiras do Ribeirão Tamanduá), onde a cota máxima é de 979 m. Nesta sub-bacia, situa-se a cidade mais importante da bacia do Rio Pardo, Ribeirão Preto, que se constitui em grande polo que exerce influência sobre as diversas cidades da região.

### **3.5.3 Sub-bacia 3: Médio Pardo**

A sub-bacia Médio Pardo situa-se na porção central e é a de maior expressão em área, dentro da Bacia do Rio Pardo. O Rio Pardo apresenta extensão de aproximadamente 63 km, no seu interior, e tem como afluentes principais, pela margem direita, os Rios Araraquara e Cubatão e o Ribeirão da Boiada e, pela margem esquerda, os Ribeirões Quebra Cuiá, das Águas Claras e da Prata. Apresenta maior variação de altitudes comparada às sub-bacias 1 e 2, com cotas desde abaixo de 550 m (ao longo do vale do Rio Pardo, em toda a sua extensão, na sub-bacia) até a cota 1.130 m, a norte de Cássia dos Coqueiros. É, também, a sub-bacia com o maior número de áreas urbanas em seu interior.

### **3.5.4 Sub-bacia 4: Rio Canoas**

A sub-bacia Rio Canoas é, dentre as seis sub-bacias, a de menor expressão em área, na bacia do Rio Pardo, situando-se em sua porção centro-leste. É constituída unicamente pela bacia do Rio Canoas, afluente do Rio Pardo pela margem direita e tem a maior parte de sua bacia hidrográfica no Estado de Minas Gerais. Na área da sub-bacia, tem como afluentes principais o Ribeirão São João e o Córrego da Aguadinha, pelas margens esquerda e direita, respectivamente. Seu relevo varia da cota 550 m (aproximadamente, no vale do Rio Canoas) e a cota 1.017 m, leste da sub-bacia (no limite com a sub-bacia 6, a oeste de Tapiratiba). A cidade de Mococa é a única área urbana situada nessa sub-bacia.

### **3.5.5 Sub-bacia 5: Rio Tambaú/Rio Verde**

Essa sub-bacia localiza-se no sul-sudeste da Bacia do Rio Pardo e é composta por um pequeno trecho do Rio Pardo e pelos Rios Tambaú e Verde, afluentes da margem esquerda do Pardo. As demais drenagens, que compõem a sub-bacia, tanto pela margem direita como esquerda do Rio Pardo, são de pequena envergadura. As altitudes presentes na sub-bacia variam desde cotas inferiores a 550 m (junto ao leito do Rio Pardo) até pouco mais

de 1.200 m, no seu extremo sudeste e limite com a sub-bacia 6, a leste de Vargem Grande do Sul. Apesar da pequena extensão do Rio Pardo na sub-bacia, dois eixos de barragem estão presentes em sua área: Euclides da Cunha e Armando de Salles Oliveira.

### **3.5.6 Sub-bacia 6: Alto Pardo**

A sub-bacia Alto Pardo localiza-se no extremo sudeste da Bacia do Rio Pardo, nos limites com o Estado de Minas Gerais. Compõe-se de um significativo trecho do Rio Pardo, encravado em área de relevo bastante acidentado, cujos afluentes principais são os rios Fartura e do Peixe, pela margem esquerda, e Rio Bom Jesus e Ribeirão Conceição, pela margem direita. As altitudes variam de aproximadamente 650 m (no leito do Rio Pardo, junto ao limite oeste da sub-bacia) a pouco mais de 1.550 m (no extremo sudeste, no limite com Minas Gerais), o que a torna a sub-bacia de relevo mais acentuado da Bacia do Rio Pardo. Embora compreenda a porção das terras mais altas da bacia do Rio Pardo, ainda não se trata das porções mais altas, pois estas se situam em terras mineiras. Além da Cidade de São José do Rio Pardo, principal cidade situada nessa sub-bacia, destacam-se ainda outras quatro cidades: São Sebastião da Gramma, Divinolândia, Caconde e Tapiratiba. Nessa sub-bacia localiza-se o reservatório de Graminha, cujo eixo se situa no leito do Rio Pardo, a sul da cidade de Caconde, e cujo reservatório adentra para o Estado de Minas Gerais.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A precipitação, principal informação da entrada de água em uma bacia, é uma variável do ciclo hidrológico, com características que dependem do tipo, da intensidade, da persistência e da distribuição espacial e temporal. Outra variável é o escoamento que se origina das precipitações, influenciado pela forma e topografia da bacia hidrográfica e pela permeabilidade e capacidade de infiltração do solo. O volume de água escoado, na unidade de tempo, é a vazão que, quando medida no exutório permite medir a saída da água da bacia hidrográfica.

A chuva e a vazão serão os objetos de estudo deste trabalho, das quais serão consideradas apenas as características da distribuição espacial e temporal para a chuva e a área da bacia para a vazão do rio principal da bacia, o Rio Pardo.

Neste capítulo serão abordados os órgãos público (DAEE) e privado (ONS) de onde os dados pluviométricos e fluviométricos foram obtidos e o software BcDAEE-2000, para localização e identificação dos postos que tratam desses dados. O estudo das chuvas e vazões ocorridas no período de 1974 a 1999 será aqui explorado utilizando-se a Estatística Descritiva e os seguintes métodos ou análises: a Análise de Regressão Linear (SPIEGEL, 1977) para relacionar chuva e vazão, o Método da Dupla Massa (TUCCI, 2009) para analisar a consistência dos dados e estabelecer uma relação entre a chuva e a vazão médias anuais, a Análise de Agrupamentos, pelo método aglomerativo hierárquico, com o coeficiente de Ward (HAIR et al, 2005) para agrupar anos em que as chuvas têm as mesmas características pluviométricas, o Método de Sturges (STURGES, 1926) para classificar intervalos de classes, a Análise por Gráficos de Isolinhas (SURFER, 2002), para verificar o comportamento espaço-temporal da chuva anual e da vazão diária e mensal (TUCCI, 2009), o Método de Pettitt (PETTITT, 1979) para verificar mudanças de tendência (ruptura) em uma série temporal de vazão e a Análise por Curvas de Permanência (BUSSAB; MORETTIN, 2002) para verificar a porcentagem de tempo em que a vazão é igualada ou superada.

Para operar os dados de chuva e vazão, usaram-se os seguintes programas computacionais: Surfer (SURFER, 2002), Excel (EXCEL 2010), Xlstat (XLSTAT, 2011) e o BcDAEE 2000 (SÃO PAULO, 1988).

## 4.1 Materiais

### 4.1.1 Banco de dados pluviométricos e fluviométricos

Os dados pluviométricos e uma parte dos dados fluviométricos utilizados neste estudo foram obtidos no Banco de Dados Hidrológicos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (Estado), [20--?]), disponíveis na forma diária e mensal. Na forma diária, os dados de vazão estão representados pela média da coleta diária e, na forma mensal, os dados de chuva estão representados pela somatória dos valores diários. Os postos pluviométricos e fluviométricos estão identificados por nome, prefixo, local onde estão instalados, altitude desse local e bacia hidrográfica às quais pertencem. A chuva diária, a chuva mensal (Tabela 2), as máximas mensais, a pluviosidade máxima diária, a pluviosidade acumulada mensal e a pluviosidade máxima média mensal são os dados que constam no banco de dados pluviométricos. A vazão média diária, a vazão máxima mensal, a vazão média mensal (Tabela 3), a vazão mínima mensal, o gráfico de vazão mensal, a cota diária, a curva chave, a seção transversal e o resumo de medição de vazão são os dados que constam no banco de dados fluviométricos.

**Tabela 2** - Dados pluviométricos mensais, conforme Banco de Dados do DAEE.

Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo												
Pesquisar por:		Prefixo	Tipo de Dados:									
Prefixo DAEE		C4-007	Chuva mensal		OK							
Município	Prefixo	Nome	Altitude	Latitude	Longitude	Bacia	Prefixo ANA					
Cravinhos	C4-007	Cravinhos	700 m	21°22'	47°43'	Tamandua	02147014					
<a href="#">Download da Série Histórica (1838 até 2004)</a>												
CHUVA MENSAL (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1974	240,2	67,4	298,6	28,6	5,1	72,1	0,0	0,0	39,5	108,0	122,6	408,7
1975	116,9	242,4	60,3	73,3	1,9	0,3	32,3	0,0	77,2	86,5	441,0	155,2
1976	127,0	322,9	177,6	83,1	73,1	20,4	111,7	94,5	122,6	168,6	210,4	219,2
1977	310,7	50,4	59,1	253,0	11,6	44,9	7,4	9,4	157,4	67,0	208,5	276,5
1978	183,9	72,2	103,1	15,2	144,7	29,3	54,8	0,0	30,3	61,7	302,2	261,8
1979	188,6	148,0	84,1	106,8	131,2	0,0	39,8	53,4	151,0	93,4	188,4	325,2
1980	199,6	304,7	93,0	73,4	13,4	103,0	0,0	14,5	120,6	44,2	215,5	308,0
1981	382,7	68,3	143,0	34,9	19,6	49,0	0,7	3,7	46,2	287,5	124,6	283,8
1982	300,9	155,8	338,3	82,0	49,5	99,5	28,9	9,6	34,5	259,1	217,6	419,7
1983	230,4	323,1	174,8	183,3	176,2	55,7	68,4	0,0	---	160,0	140,1	324,7

Fonte: Adaptado de Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (Estado), [20--?])

**Tabela 3** - Dados fluviométricos mensais, conforme Banco de Dados do DAEE.

**Banco de Dados Fluviométricos do Estado de São Paulo** Dúvi

Pesquisar por: Prefixo Tipo de Dados:  
 Prefixo DAEE 5B-011 Vazões méd. mensais

Município	Prefixo	Nome	Latitude	Longitude	Área (Km <sup>2</sup> )	Curso d'Água
Pontal	5B-011	Fazenda Bela Vista	20°54'31"	48°05'19"	12445,00	Pardo.r

[Download na Série Histórica dos Dados de Vazão \(1973 até 2004\)](#)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m <sup>3</sup> /s)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1973	--	--	--	--	--	--	--	--	--	97,47	--	223,81
1974	437,12	248,85	353,48	255,33	157,86	143,53	118,49	100,87	103,57	101,22	121,19	291,48
1975	232,33	309,58	247,54	194,23	149,96	127,38	120,45	87,14	76,36	90,62	174,21	214,33
1976	194,78	346,44	456,67	357,12	222,80	222,17	211,41	194,32	218,84	201,97	246,90	340,69
1977	589,88	457,50	258,94	318,00	203,73	167,61	128,03	103,06	124,82	123,35	149,62	244,95
1978	320,27	208,48	193,93	137,15	127,90	133,62	106,41	87,44	87,37	95,94	171,15	212,61
1979	216,86	283,87	209,52	135,55	148,65	130,61	105,34	179,54	192,60	117,35	123,71	215,84
1980	311,07	366,73	248,36	269,73	180,11	155,31	139,75	130,15	132,54	128,40	158,55	294,00
1981	527,06	340,86	195,30	137,41	123,06	130,90	126,37	133,15	120,51	200,25	287,42	460,59
1982	436,67	385,81	493,59	331,01	243,10	212,05	186,08	185,31	176,01	226,69	180,56	392,71
1983	597,66	782,94	558,34	371,29	311,10	437,13	271,50	221,69	344,24	395,85	340,22	510,03

Fonte: Adaptado de Banco de Dados Fluviométricos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (Estado), [20--?])

A outra parte dos dados fluviométricos, não encontrados no banco de dados hidrológicos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (Estado), [20--?]), foi obtida no Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Esses dados fazem parte das séries históricas de vazões naturais que o setor elétrico tem adotado para identificar a vazão que ocorreria em uma seção do rio, se não houvesse as ações antrópicas na sua bacia contribuinte, tais como regularizações de vazões realizadas por reservatórios, desvios de água, evaporações em reservatórios e usos consuntivos (irrigação, criação animal e abastecimentos urbano, rural e industrial). A vazão natural é obtida por meio de um processo de reconstituição, que considera a vazão observada no local e as informações relativas às ações antrópicas na bacia.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico é uma pessoa jurídica de direito privado, sob a forma de associação civil, sem fins lucrativos, criado em 26 de agosto de 1998, pela Lei nº 9.648/98, com as alterações introduzidas pela Lei nº 10.848/04 e regulamentado pelo Decreto nº 5.081/04 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, c2013). O Operador Nacional do Sistema Elétrico é responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional – SIN, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica –

ANEEL. Os dados obtidos nessa entidade referem-se às Usinas Hidrelétricas de Caconde, Euclides da Cunha e Armando de Salles Oliveira, todas localizadas no Rio Pardo. A Usina Hidrelétrica Euclides da Cunha entrou em operação no ano de 1960 e está localizada no Município de São José do Rio Pardo. A Usina Hidrelétrica de Caconde está localizada em Caconde, teve suas obras iniciadas em 1958 e entrou em operação no ano de 1966. A Usina Hidroelétrica Armando de Salles Oliveira, também conhecida como Usina Limoeiro, localiza-se no Município de São José do Rio Pardo, pela margem esquerda, e Mococa, pela margem direita, entrou em operação no ano de 1958.

#### **4.1.2 Escolha dos postos pluviométricos**

##### **4.1.2.1 O BcDAEE-2000**

O BcDAEE-2000 é um software que foi desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica: Convênio DAEE – USP contendo o banco de dados, pluviométricos e fluviométricos, atualizados até o ano 2000. Nele é possível gerar um mapa do Estado de São Paulo, em que se identificam e localizam os postos, fluviométricos e pluviométricos. Nesse mapa, o software possibilita exibir todas as vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, a hidrografia dessas Unidades, os postos pluviométricos e fluviométricos, com suas respectivas identificações. Essas possibilidades, usadas para geração desses mapas, podem ser utilizadas separadamente ou combinadas. As distâncias, nesse mapa do Estado de São Paulo, podem ser estimadas por meio de uma circunferência, gerada a partir de um ponto. Todo ponto que for atingido pela circunferência dista de seu centro o valor do raio. O software permite atribuir valores ao raio, desde que não ultrapasse 200 km. Por meio desse recurso foi possível identificar todos os postos vizinhos à bacia do Rio Pardo que satisfizessem a condição de estarem a menos de 10 quilômetros distantes do limite da bacia (SÃO PAULO (Estado), 1988).

**Tabela 4** - Postos pluviométricos da bacia do Rio Pardo, ordenados no sentido de norte para sul e de leste para oeste.

N	Município	Prefixo	Nome	Alt.	Lat.	Long.	Bacia
1	Orlândia	B4-015	Orlândia	680 m	20°44'	47°53'	Agudo
2	Morro Agudo	B5-004	Morro Agudo	540 m	20°44'	48°03'	Agudo
3	Sales Oliveira	B4-012	Faz. Conquista	750 m	20°48'	47°46'	Sta. Barbara
4	Batatais	B4-040	Batatais	860 m	20°53'	47°37'	Tomba Carro
5	Pontal	B4-060	Cândia	540 m	20°54'	47°59'	Pardo
6	Pitangueiras	B5-054	Fazenda Três Barras	490 m	20°54'	48°12'	Turvo
7	Altinópolis	C4-039	Altinópolis	1030 m	21°01'	47°24'	Araraquara
8	Jardinópolis	C4-054	Jardinópolis	580 m	21°01'	47°46'	Pardo
9	Pontal	C5-024	Pontal	500 m	21°01'	48°02'	Turvo
10	Brodósqui	C4-086	Faz. Ponta da Serra	580 m	21°05'	47°39'	Pardo
11	Sertãozinho	C4-104	Cruz das Posses	540 m	21°05'	47°54'	Pardo
12	Sto. Antonio da Alegria	C4-001	Sto. Antonio da Alegria	820 m	21°06'	47°09'	Sapucaí
13	Ribeirão Preto	C4-075	Clube de Regatas	512m	21°06'	47°45'	Pardo
14	Cajuru	C4-099	Laje	800 m	21°13'	47°18'	Araraquara
15	Ribeirão Preto	C4-034	Ribeirão Preto	580 m	21°13'	47°52'	Preto
16	Sta. C. da Esperança	C4-105	Santa Cruz da Esperança	600 m	21°17'	47°26'	Pardo
17	Cajuru	C4-088	Faz. Graciosa	650 m	21°19'	47°22'	Pardo
18	Cravinhos	C4-032	Fazenda das Flores	720 m	21°20'	47°47'	Onça
19	São Simão	C4-052	Faz. São Lourenço	580 m	21°22'	47°26'	Pardo
20	Cravinhos	C4-007	Cravinhos	700 m	21°22'	47°43'	Tamanduá
21	Mococa	C4-069	Sítio Esplanada	660 m	21°23'	47°05'	Canoas
22	Mococa	C3-040	Faz. Açude	840 m	21°26'	46°51'	Canoas
23	Sta. Rosa de Viterbo	C4-043	Usina Amália	580 m	21°26'	47°20'	Pardo
24	São Simão	C4-087	Bento Quirino	600 m	21°26'	47°35'	Tamanduá
25	Mococa	C4-040	Mococa	600 m	21°27'	47°00'	Canoas
26	Tapiratiba	C3-030	Tapiratiba	740 m	21°28'	46°45'	Soledade
27	Tapiratiba	C3-024	Itaiquara	820 m	21°28'	46°49'	Guaxupe
28	São Simão	C4-091	Prainha do Tamanduá	610 m	21°30'	47°36'	Tamanduá
29	Caconde	C3-014	Caconde	880 m	21°32'	46°38'	Bom Jesus
30	Tambaú	C4-079	Faz. Mominhos	610 m	21°32'	47°13'	Pardo
31	Sta. Rosa de Viterbo	C4-0103	Bom Sucesso	740 m	21°33'	47°23'	Pardo
32	Luis Antonio	C4-096	Luis Antônio	670 m	21°35'	47°42'	Onça
33	S Jose do Rio Pardo	C3-035	São José do Rio Pardo	660 m	21°36'	46°54'	Pardo
34	Tambaú	C4-093	Tambaú	730 m	21°42'	47°17'	Tambaú
35	Casa Branca	C4-072	Casa Branca	700 m	21°47'	47°03'	Lambari
36	Águas da Prata	C3-043	São Roque da Fartura	1310 m	21°50'	46°45'	Fartura
37	Vargem G. do Sul	C3-009	Vargem Grande do Sul	750 m	21°50'	46°54'	Rio Verde
38	Águas da Prata	C3-034	Águas da Prata	940 m	21°57'	46°42'	Prata
39	S.J da Boa Vista	C3-031	São João da Boa Vista	740 m	21°57'	46°48'	Jaguari Mirim

Fonte: Adaptado de Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo, (SÃO PAULO (Estado), [20--?])

### 4.1.3 Escolha dos postos fluviométricos

Os postos fluviométricos usados neste trabalho são cinco (Tabela 5) e estão assim distribuídos, ao longo do curso do Rio Pardo: o posto Caconde que tem por coordenadas geográficas a latitude de 21°34' e longitude de 46°37', localizado no Município de Caconde, distando em linha reta, aproximadamente, 29 km do posto Euclides da Cunha; o posto Euclides da Cunha, que tem por coordenadas geográficas a latitude de 21°36' e longitude de 46°56', localizado no Município de São José do Rio Pardo, distando em linha reta, aproximadamente, 17 km do posto Armando de Salles Oliveira; o posto Armando de Salles Oliveira, que tem por coordenadas geográficas a latitude de 21°37' e longitude de 47°01', localizado no Município de São José do Rio Pardo, distando em linha reta, aproximadamente, 93 km do posto Clube de Regatas; o posto Clube de Regatas, que tem por coordenadas geográficas a latitude de 21°06' e longitude 47°45', localizado no Município de Ribeirão Preto, distando em linha reta, aproximadamente, 40 km do posto Fazenda Bela Vista e o posto Fazenda Bela Vista que tem por coordenadas geográficas a latitude 20°54' e longitude 48°05', localizado no Município de Pontal, distando em linha reta, aproximadamente, 10 km do exutório da bacia.

Os postos fluviométricos escolhidos estão distribuídos ao longo do curso do Rio Pardo e foram ordenados no sentido da montante para a jusante: 1 - Caconde, 2 - Euclides da Cunha, 3 - Armando de Salles Oliveira, 4 - Clube de Regatas e 5 - Fazenda Bela Vista. Nas séries referentes a esses postos fluviométricos não ocorreram falhas de dados no período analisado e, também, não foram inconsistentes conforme é mostrado na próxima subseção.

**Tabela 5** - Postos fluviométricos ordenados no sentido da montante para a jusante (de sudeste para noroeste) do Rio Pardo.

N	Município	Nome do Posto	Latitude	Longitude
1	Caconde	Caconde	21°34'	46°37'
2	São José do Rio Pardo	Euclides da Cunha	21°36'	46°56'
3	São José do Rio Pardo	Armando de Salles Oliveira	21°37'	47°01'
4	Ribeirão Preto	Clube de Regatas	21°06'	47°45'
5	Pontal	Fazenda Bela Vista	20°54'	48°05'

Fonte: Adaptado de Banco de Dados Fluviométricos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (Estado), [20--?])

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Análise de correlação

Na análise do comportamento simultâneo de duas variáveis, o diagrama de dispersão permite visualizar o grau de associação entre elas e a tendência de variação conjunta que apresentam. A medida dessa variação ou covariação, observada em um diagrama de dispersão, é a correlação entre essas variáveis e que, numericamente, é verificada por meio do coeficiente de correlação, o qual representa o grau de associação entre elas. Para medir a intensidade da relação entre duas variáveis  $x$  e  $y$ , pode-se utilizar o coeficiente de correlação de Karl Pearson, conhecido por  $R$ , e definido pela fórmula matemática:

$$R = \frac{(\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{[\sum(x_i - \bar{x})^2] \cdot [\sum(y_i - \bar{y})^2]}} \quad (4.1)$$

em que  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  representam, respectivamente, a média aritmética dos  $i$  valores de  $x$  e  $y$  considerados na análise.

O coeficiente de correlação, adimensional, varia entre  $-1$  e  $+1$  e estabelece a relação entre as duas variáveis  $x$  e  $y$ . Quando é positivo, significa que os valores de  $y$  aumentam quando  $x$  é crescente, se é negativo, significa que os valores de  $y$  diminuem quando  $x$  é crescente. Se  $R = 1$  indica uma perfeita associação positiva, se  $R = -1$  uma perfeita associação negativa e se  $R = 0$  não existe correlação entre as duas variáveis (GERARDI; SILVA, 1981).

Esse coeficiente foi utilizado, neste trabalho, para avaliar a correlação das vazões médias anuais, obtidas por estimacão das chuvas que ocorreram na bacia, com as vazões médias anuais medidas no seu exutório e das vazões diárias, registradas em um posto fluviométrico, com as vazões diárias registradas em cada um dos demais postos fluviométricos, restantes, distribuídos pelo leito do Rio Pardo.

### 4.2.2 Método da Dupla Massa

O Método da Dupla Massa, desenvolvido pelo U.S. Geological Survey – USGS, apud Tucci (2009), é comumente usado no Brasil para verificar o grau de homogeneidade em séries mensais ou anuais. O método consiste em construir um gráfico cartesiano, relacionando

os totais anuais (ou mensais) acumulados do posto a consistir (nas ordenadas) e a média acumulada dos totais anuais (ou mensais) de todos os postos da região (nas abscissas), hipoteticamente considerada homogênea do ponto de vista hidrológico (OLIVEIRA et al, 2010). Se os valores do posto a consistir são proporcionais aos observados na base de comparação, os pontos devem estar alinhados em uma única reta. A declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre ambas as séries. Anormalidades no posto pluviométrico, decorrentes de mudança do local ou das condições de operação do aparelho, de erros sistemáticos, de mudanças climáticas ou de modificação no método de observação podem ser identificadas pela análise de dupla massa. Nesses casos, os pontos não se alinham segundo uma única reta, podendo apresentar mudança na declividade, o que determina duas ou mais retas. Para se considerar a existência de mudança na declividade é prática comum exigir a ocorrência de pelo menos cinco pontos sucessivos alinhados segundo a nova tendência (TUCCI, 2009).

#### **4.2.3 Análise de Cluster Aglomerativa Hierárquica**

Classificar conjuntos de dados em grupos discretos, com características semelhantes, é uma necessidade que facilita a análise e a interpretação de resultados. Nesse sentido, a literatura estatística apresenta alguns métodos de classificação dos quais o método multivariado da análise de agrupamentos, usando o método aglomerativo hierárquico, é o que será utilizado neste trabalho. Segundo Landim (2010, p.60):

[...] Métodos por agrupamento hierárquicos: a partir da matriz inicial de dados obtém-se uma matriz simétrica de similaridade e inicia-se a detecção de pares de caso com a mais alta similaridade, ou a mais baixa distância; para essa combinação, segundo níveis hierárquicos de similaridade, escolhe-se entre os diversos procedimentos aglomerativo de tal modo que cada ciclo de agrupamento obedeça a uma ordem sucessiva no sentido do decréscimo de similaridade.

Das diversas medidas de similaridade e dos diversos métodos de agrupamento, existentes, optou-se por usar a medida de distância euclidiana e o método aglomerativo hierárquico, com o coeficiente de Ward (WARD, 1963). Buscou-se, com esse método, classificar os anos com mesmas características pluviométricas por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011) (HAIR et al, 2005).

Considerou-se, neste estudo, uma matriz inicial de dados de chuva em que os elementos de cada linha representaram as chuvas anuais que ocorreram em cada ano, em todos os postos pluviométricos. Para representação gráfica do resultado final dos diversos agrupamentos utilizou-se o dendrograma (LATTIN; CARROLL; GREEN, 2011).

#### **4.2.4 Regra de Sturges**

A distribuição de frequências é um método com que se agrupa um conjunto de dados em intervalos de classes, para melhor visualizar esse conjunto, sem precisar levar em conta os valores individuais desses dados. Das regras existentes para o cálculo da quantidade de intervalos de classes, em uma distribuição de frequências, optou-se pelo Método de Sturges que estima essa quantidade pela fórmula:

$$k = 1 + 3,3 \log N \quad (4.2)$$

na qual,  $\log$  é o logaritmo na base 10 e  $N$  é o número total de frequências. A amplitude desses intervalos de classes foi obtida dividindo-se a amplitude total dos dados de uma série única por  $k$  (STURGES, 1926).

Nas distribuições de frequências que trataram de chuvas anuais, vazões mensais e vazões diárias, as quantidades de intervalos foram estimadas pelo Método de Sturges.

#### **4.2.5 Mapas de Isolinhas**

Os mapas de isolinhas foram traçados (SURFER, 2002) com o objetivo de analisar o comportamento regional das chuvas anuais, na bacia do Rio Pardo. Para cada ano do período estudado, traçou-se um mapa de isolinhas das chuvas anuais que ocorreram nos postos pluviométricos selecionados, distribuídos por toda a bacia. A distribuição da pluviosidade, que ocorreu no período estudado por toda a bacia, foi feita usando-se intervalos de classes com amplitude sugerida pelo Método de Sturges. A esses intervalos de classes foram associadas cores para representarem a pluviosidade na bacia e, por meio do software Surfer 8, usando interpolação pelo inverso do quadrado da distância, geraram-se mapas de isolinhas (LANDIM, MONTEIRO, CORSI, 2002). Com as cores refletindo a pluviosidade da bacia, fez-se uma classificação visual dos anos excepcionais (secos e chuvosos) e habituais.

Esse recurso, além de ressaltar a visão espacial da chuva na bacia, auxiliou na classificação dos anos padrão.

#### 4.2.6 Método de Pettitt

O teste não paramétrico de Pettitt utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney (BUSSAB; MORETTIN, 2002), no qual se verifica se duas amostras  $Y_1, \dots, Y_t$  e  $Y_{t+1}, \dots, Y_T$  são da mesma população (GROPPO et al, 2005).

A grande vantagem do Método de Pettitt (PETTITT, 1979) é não requerer que, os dados obedeçam qualquer distribuição de probabilidade para sua aplicação e, tem a propriedade de apontar, em uma série temporal, o valor de ruptura de uma tendência como também o local (tempo) da série onde ela ocorreu.

A estatística  $U_{t,T}$ , faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda, e pode ser escrita pela fórmula (XLSTAT, 2011):

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^T D_{ij} \quad (4.3)$$

com  $D_{ij}$  igual a:

$$D_{ij} = \begin{cases} -1 & \text{para } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{para } (x_i - x_j) = 0 \\ 1 & \text{para } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

A estatística  $U_{t,T}$  é então calculada para os valores de  $1 \leq t \leq T$  e a estatística  $k(t)$  do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de  $U_{t,T}$  para o caso de duas caudas. Esta estatística localiza o ponto onde houve uma mudança brusca (*changing point*) em uma série temporal e o ponto onde houve essa mudança é o valor onde ocorre o máximo valor de  $k(t)$ . Esse máximo valor tem um nível de significância  $\alpha$  que é calculado utilizando-se o método de Monte Carlo (XLSTAT, 2011) (BUSSAB; MORETTIN, 2002).

#### 4.2.7 Curvas de Permanência

A curva de permanência é equivalente a um histograma de frequências relativas acumuladas das vazões de uma determinada seção de um rio e pode ser elaborada a partir de dados diários ou mensais. Na obtenção dessa curva, o primeiro procedimento é obter os intervalos de classe das vazões que se quer analisar. A amplitude desses intervalos é obtida dividindo-se a diferença do valor máximo e mínimo de vazão pelo número de intervalos que se deseja. Acha-se, para cada intervalo, a frequência relativa, que é obtida pela divisão do número de vezes em que as vazões ocorrem naquele intervalo pelo número total de vazões. Depois de associar cada frequência relativa ao limite inferior do intervalo, ordenam-se os intervalos do maior limite inferior para o menor limite inferior obedecendo a correspondência entre os limites inferiores e a frequência relativa. Com essa ordenação, finaliza-se o processo, calculando os valores acumulados das frequências relativas, iniciando-se pelo maior limite inferior. No plano cartesiano, ao eixo horizontal (eixo dos x) se associa as frequências relativas acumuladas e ao vertical (eixo dos y) os limites inferiores dos intervalos de classe. Os pares de pontos (x,y) definem a curva de permanência, no plano cartesiano de eixos x e y (NAGHETTINI; PINTO, 2007), (BUSSAB; MORETTIN, 2002).

Quando a vazão é superada em 90% do tempo ( $x = 0,9$ ), denominada de  $Q_{90}$  ela é utilizada como referência para legislação na área de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, em muitos Estados brasileiros (NAGHETTINI; PINTO, 2007) e quando superada em 95% do tempo ( $x = 0,95$ ) é chamada de  $Q_{95}$  é utilizada para definir Energia Assegurada de uma usina Hidrelétrica. A curva de permanência também é útil para diferenciar o comportamento de rios e para avaliar o efeito de modificações como desmatamento, reflorestamento, construção de reservatórios e extração de água para uso consuntivo (COLLISCHONN, 2010).

No estudo do comportamento da vazão, optou-se por traçar as curvas de permanência da vazão diária de postos fluviométricos. A elas foram associadas curvas de tendências de potências que são modelos não lineares de regressão (BUSSAB; MORETTIN, 2002) que facilitam observar a variabilidade da vazão, entre os extremos máximos e mínimos, em função da porcentagem de tempo em que o rio apresenta vazões em determinados intervalos.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Além da análise estatística, aplicada aos dados de chuva e vazão, outros métodos, citados a seguir, foram utilizados neste trabalho. Por meio do Método de Sturges (STURGES, 1926), criou-se uma escala de cores associada à pluviosidade da bacia do Rio Pardo, que foi utilizada na elaboração de uma planilha cromática e de mapas de isolinhas de chuvas anuais. Essa planilha, os Mapas de Isolinhas (SURFER, 2002) e o Método Aglomerativo Hierárquico com o Coeficiente de Ward (HAIR et al, 2005) foram utilizados na análise do comportamento da chuva anual, na bacia e na escolha dos anos padrão. O Método de Pettitt foi aplicado para analisar mudanças de tendências na vazão (PETTITT, 1979) e as Curvas de Permanência (NAGHETTINI; PINTO, 2007), para verificar a porcentagem de tempo em que a vazão é igualada ou excedida.

### **5.1 Séries pluviométricas e fluviométricas**

#### **5.1.1 Seleção dos postos pluviométricos**

Por meio do software BcDAEE-2000, gerou-se o mapa do Estado de São Paulo, com suas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos contendo todos os postos pluviométricos existentes em cada Unidade. Os postos internos e vizinhos à bacia do Rio Pardo (UGRHI-04) puderam ser contados e o resultado dessa contagem foi igual a 87 postos internos e 23 postos vizinhos, com até dez quilômetros de raio distantes da fronteira da bacia.

Dentre os postos pluviométricos internos e vizinhos à bacia do Rio Pardo escolheram-se aqueles que apresentavam séries com o menor número possível de falhas e com período coincidente ao do posto fluviométrico Fazenda Bela Vista. Esse posto foi escolhido por estar próximo ao exutório da bacia e o objetivo dessa coincidência de períodos foi comparar o volume de água precipitado (entrada) em toda a bacia, com o volume de água escoado (saída) pelo exutório. Satisfazendo a essas condições selecionaram-se 41 postos no período de 1974 a 1999 e descartaram-se 69 postos de um total de 110. Dos postos escolhidos, poucos não apresentavam falhas em suas séries pluviométricas.

As falhas mensais presentes em cada posto pluviométrico foram preenchidas pela média aritmética das chuvas mensais restantes do mês que apresentava essas falhas no período analisado (Tabela 6). Optou-se por utilizar a média das chuvas mensais, porque muitos dos postos vizinhos, que seriam utilizados no preenchimento das falhas de um posto também

apresentavam falhas. Essas condições impossibilitaram de usar-se o mesmo método em todos os postos, conforme é recomendado pela literatura (TUCCI, 2009).

Onde foi possível aplicar os métodos da ponderação regional e da regressão linear, observou-se que os resultados, obtidos por esses métodos, eram poucos discrepantes dos resultados obtidos pela média. Essa condição e a padronização foram os fatores que levaram à escolha da média aritmética.

**Tabela 6** - Posto pluviométrico C3-035 com as falhas (amarelo) nos meses de, março, maio e dezembro, substituídas pelas médias (vermelho) do período.

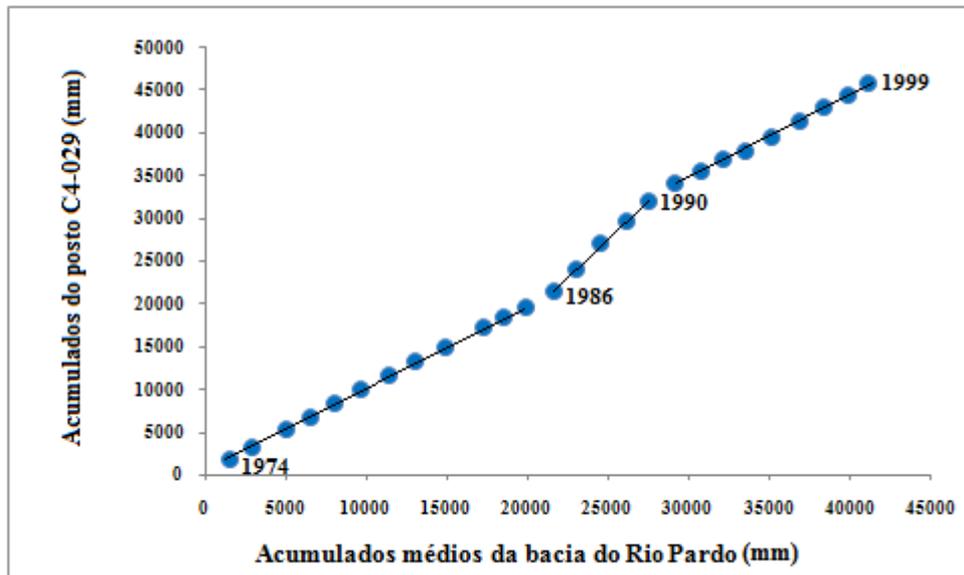
Município	Prefixo	Nome				Altitude	Lat	Longitude			Bacia	
S José do Rio Pardo	C3-035	São José do Rio Pardo				660 m	21°36'	46°54'			Pardo	
período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1974	263,8	115,1	164,2	73,6	16,4	117,5	0,2	14,3	29,8	108,8	162,9	405,8
1975	99,6	327,7	155,5	57,5	3,7	1,5	24,1	0	68	75,8	359,6	156,1
1976	150,1	301,1	300,6	74,6	132,1	40,1	94,5	128,1	173,7	104,3	190,6	276,5
1977	651,8	38,4	145,1	178,5	1,1	43,2	8,1	37,5	77,5	93,1	235,1	236,9
1978	181,3	113	146,9	64,6	123,8	22,9	53,8	2,5	71,1	59,3	348,9	251,7
1979	119,3	180,3	114,9	45,1	101,6	0	50,6	34	178,8	91,9	150	294,1
1980	345,6	338,4	67,1	142,4	13	109,2	0,4	2,2	80	87,6	256,7	335,4
1981	249,7	76,1	193,3	49,9	14,9	77,2	0,4	8,5	25,3	191,4	243,1	375,1
1982	222,1	127,5	288	52,8	59,9	64,9	37,5	29,4	42,5	247,3	161,6	275,8
1983	350,5	267,7	163,9	179,9	196,3	78,6	55	1,5	232	206,9	194,2	418,6
1984	219	46	70,9	109,6	49,8	0	0	134,2	109	19,8	143,5	310,1
1985	349	112,6	215,5	123,9	36,3	1,2	1,3	7,8	42,4	41,8	185,4	169,6
1986	387,6	217,8	178,2	94,1	123,1	0	48,1	110,8	20,6	59,8	165,2	395,9
1987	346,6	164,4	67,7	149,4	106,8	21,6	11,7	5	74,8	114,2	255,2	149,8
1988	230,6	237,3	184	116,2	101,3	31,8	4,5	0	3,8	170	70,1	199,3
1989	179,4	222	102,3	56,8	24,9	26,4	67,2	29,2	98,5	57,7	242,7	326,9
1990	226,8	158	182,7	18,2	78,7	3	17,8	78,1	55,3	107,2	86,7	191,8
1991	290,3	234,2	379,6	108,4	20,9	2,4	12,7	0	47,2	161,9	101,4	337,3
1992	229,2	81,5	204	79,8	73,1	0	46,3	8,5	148,2	269,1	311,5	152,4
1993	169,9	230,5	100,1	107,1	89,6	44,8	4,6	45,6	152,2	39,7	177	163,7
1994	241,5	169	213,5	33,9	95,4	18	14,4	0	0	130,2	189,5	320,6
1995	264	513	142	83,1	62,6	19,2	31,2	0	13	189	147	305
1996	342	170,5	237,3	61	69,7	28,6	0	18,3	119,7	124,3	253,4	305,2
1997	383,5	110,4	63	24,8	113,6	116,6	14,3	0	40,7	67,2	183,7	242,2
1998	183,3	267,4	77,5	79,7	67,1	6,3	0	27,2	28,1	142,3	64,7	380
1999	296,2	181,6	103,2	78,7	36,5	34,3	10	0	97,8	20,5	59,5	193,8
<b>média</b>	<b>268,2</b>	<b>192,4</b>	<b>163,9</b>	<b>86,3</b>	<b>69,7</b>	<b>35</b>	<b>23,4</b>	<b>27,8</b>	<b>78,1</b>	<b>114,7</b>	<b>190</b>	<b>275,8</b>

Fonte: Adaptado de Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo, (SÃO PAULO (Estado), [20--?])

### 5.1.2 Análise de consistência das séries pluviométricas

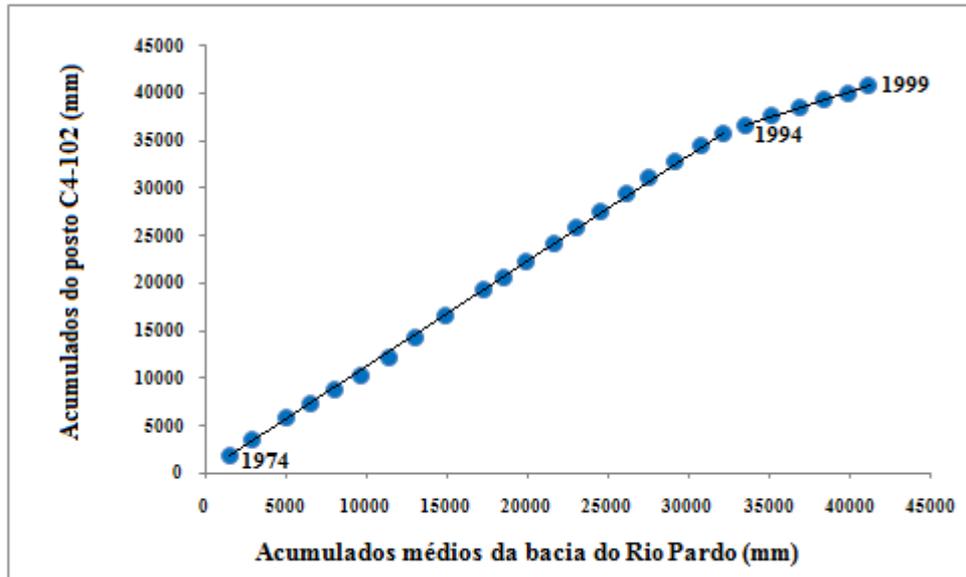
Para verificar se o método de preenchimento de falhas adotado neste trabalho ou se os erros que possam ter ocorrido, durante a coleta de dados, não interferiram no grau de homogeneidade dos dados disponíveis, em cada um dos 41 postos, usou-se o Método da Dupla Massa. Esse método foi aplicado às séries de chuvas anuais correspondentes aos 41 postos selecionados, no período de 1974 a 1999. Os resultados obtidos, a partir desse estudo, mostraram que os valores acumulados em cada uma das 39 séries a consistir foram proporcionais aos respectivos valores acumulados da média da bacia e duas séries não foram. Isso foi observado nos gráficos gerados por meio da planilha eletrônica (EXCEL, 2010), em que os pontos do plano, que faziam a correspondência dos respectivos valores acumulados, estavam alinhados segundo uma única reta. Os gráficos correspondentes a esses 39 postos está no Anexo B e as duas séries, cuja proporcionalidade dos valores acumulados não aconteceu, estão representados nas Figuras 5 e 6.

**Figura 5** - Posto pluviométrico de Santa Cruz das Palmeiras (C4-029).



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 6** - Posto pluviométrico de Cássia dos Coqueiros (C4-102).



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

### 5.1.3 Séries pluviométricas inconsistentes

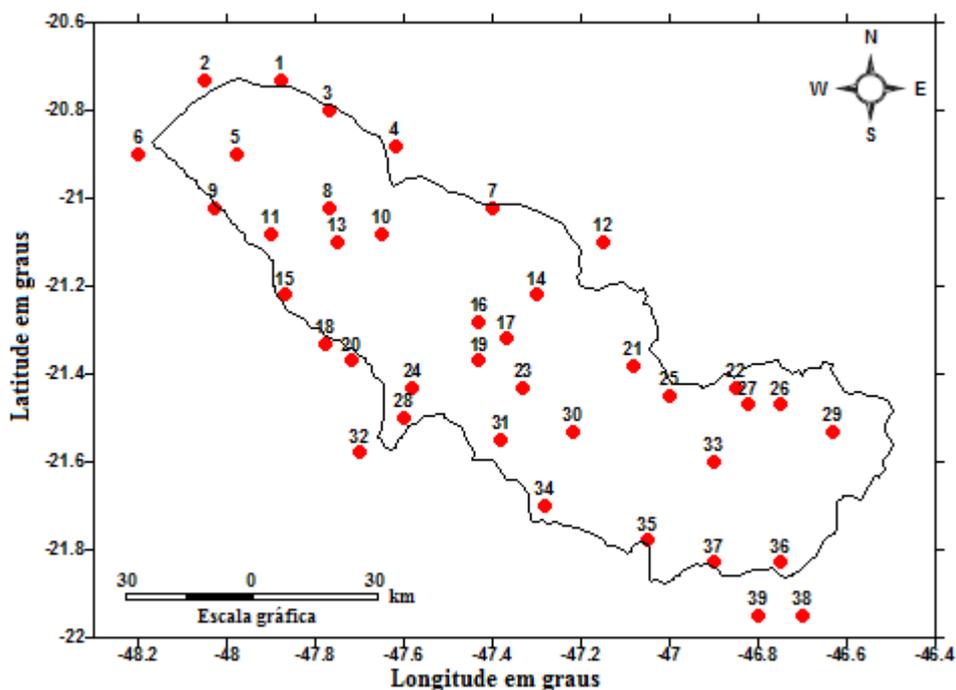
Na aplicação do Método da Dupla massa, observou-se que das 41 séries pluviométricas escolhidas, as séries do posto C4 - 029 – Santa Cruz das Palmeiras e do posto C4-102 – Cássia dos Coqueiros apresentaram dados com mudança de tendência. No posto Santa Cruz das Palmeiras, a declividade da reta de 1974 a 1985 e de 1991 a 1999 permaneceu a mesma, mudando de 1986 a 1990 (Figura 5). No posto Cássia dos Coqueiros, a alteração da declividade ocorreu a partir do ano de 1994 (Figura 6).

Para se considerar a existência de mudança na declividade, considerou-se a prática comum que é a de exigir a ocorrência de, pelo menos, cinco pontos (anos) sucessivos alinhados segundo a nova tendência. Em função dessa mudança de declividade da reta, sendo cinco anos consecutivos em Santa Cruz das Palmeiras e seis em Cássia dos Coqueiros, optou-se por excluir as séries pluviométricas referentes a esses dois postos. Conseqüentemente, das quarenta e uma séries escolhidas restaram trinta e nove.

### 5.1.4 Ordenação e distribuição espacial dos postos pluviométricos

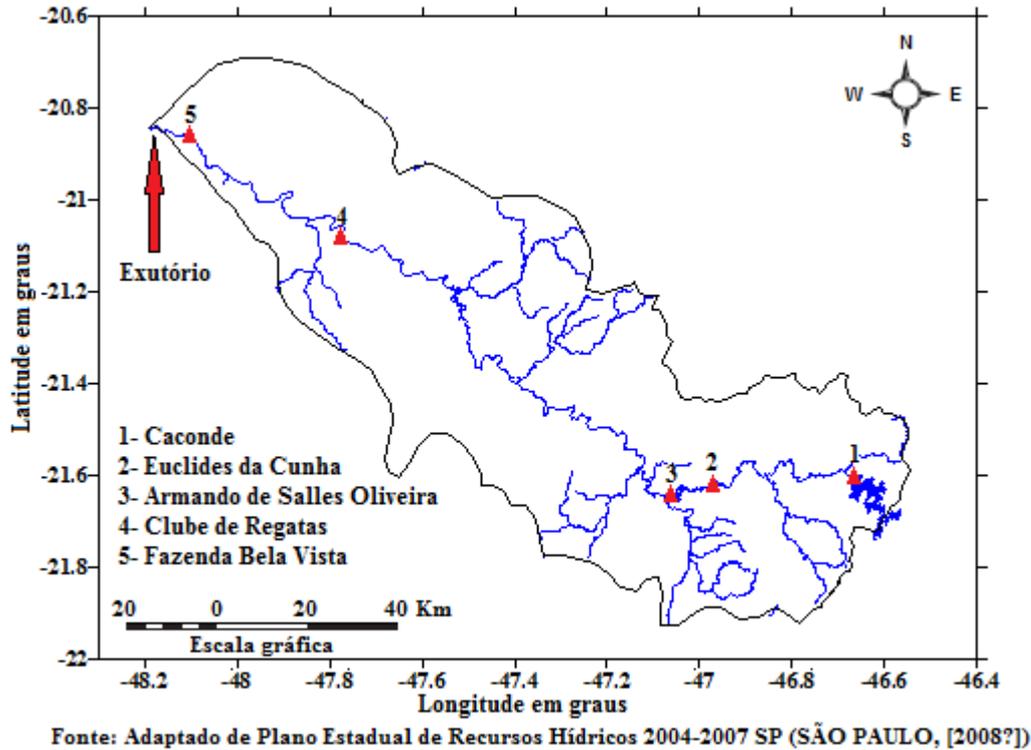
Os 39 postos pluviométricos internos e vizinhos da bacia do Rio Pardo foram ordenados obedecendo-se ao sentido do aumento da latitude (de Norte para Sul) e da longitude (de Leste para Oeste). Dessa forma, o posto 1 corresponde à latitude de  $20^{\circ}44'$  Sul e longitude de  $47^{\circ}53'$  Oeste. O posto 2, que se encontra a oeste do primeiro, tem a mesma latitude ( $20^{\circ}44'$ ) com maior longitude Oeste ( $48^{\circ}03'$ ). O posto 3, por se encontrar ao sul e à leste do posto 2, tem maior latitude Sul ( $20^{\circ}48'$ ) e menor longitude Sul. Portanto, existe uma ordem numérica que considera o aumento da latitude, de Norte para Sul, e da longitude, de Leste para Oeste. Este procedimento, utilizado para ordenar os trinta e nove postos pluviométricos considerados nesta pesquisa (Figura 7), foi o mesmo utilizado por Zandonadi (2009) em sua Dissertação de Mestrado intitulada “**As chuvas na bacia do Paraná: aspectos espaciais, temporais e rítmicos**”. Obedecendo a essa classificação e ao georreferenciamento de cada posto, utilizou-se o software Surfer 8, para a distribuição espacial deles na bacia do Rio Pardo (Figura 7).

**Figura 7** - Postos pluviométricos da bacia do Rio Pardo, ordenados no sentido de norte para sul e de leste para oeste.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do Surfer 8 (SURFER, 2002)

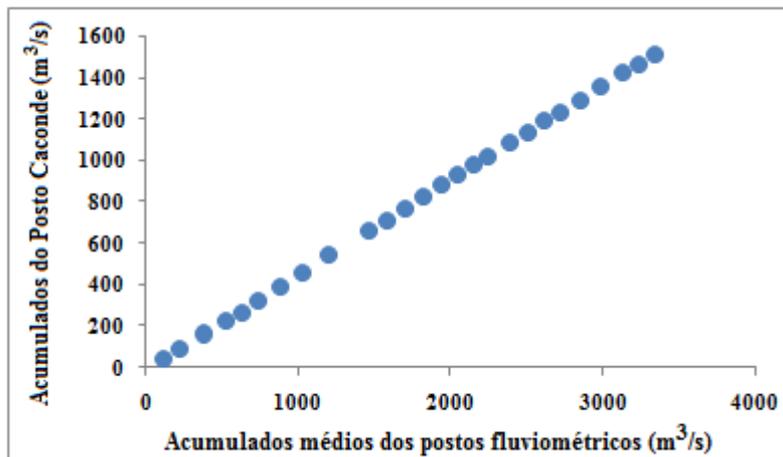
**Figura 8** - Localização dos postos fluviométricos distribuídos ao longo do curso do Rio Pardo.



### 5.1.5 Análise de consistência das séries fluviométricas

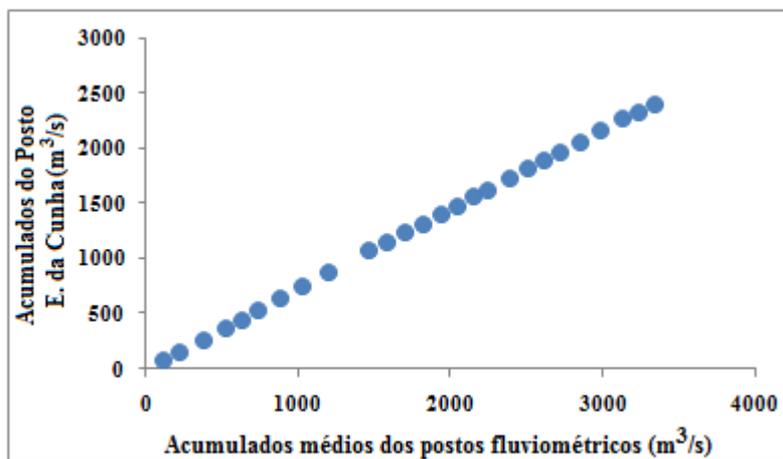
Para verificar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis de vazão usou-se o Método da Dupla Massa. Para isso calcularam-se os valores médios das vazões anuais médias acumuladas das séries correspondentes aos postos fluviométricos escolhidos e utilizou-se a série, assim formada, como base de comparação. Construiu-se um gráfico, relacionando as vazões anuais médias acumuladas do posto a consistir (nas ordenadas) e os valores médios das vazões anuais médias acumuladas dos postos escolhidos, hipoteticamente consideradas homogêneas do ponto de vista hidrológico (TUCCI, 2009). Observou-se que, no período 1974 a 1999, todas as séries dos postos a consistir foram proporcionais à série considerada homogênea, visto que os pontos se alinharam segundo uma única reta (Figuras 9, 10, 11, 12 e 13).

**Figura 9** - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Caconde.



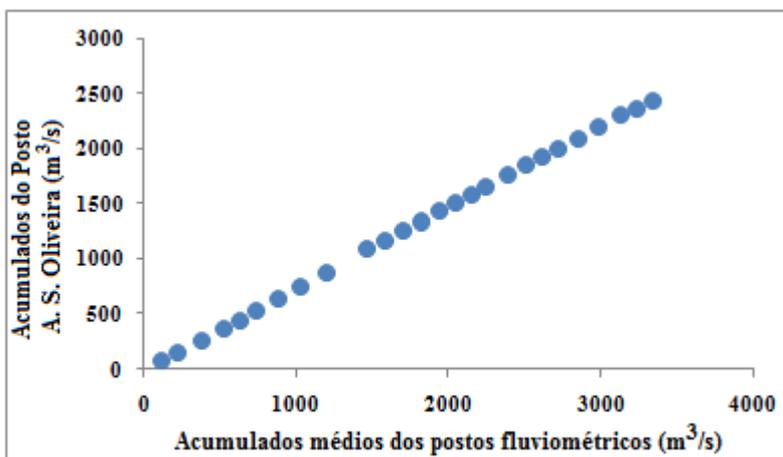
Fonte: Elaborado por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 10** - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Euclides da Cunha.



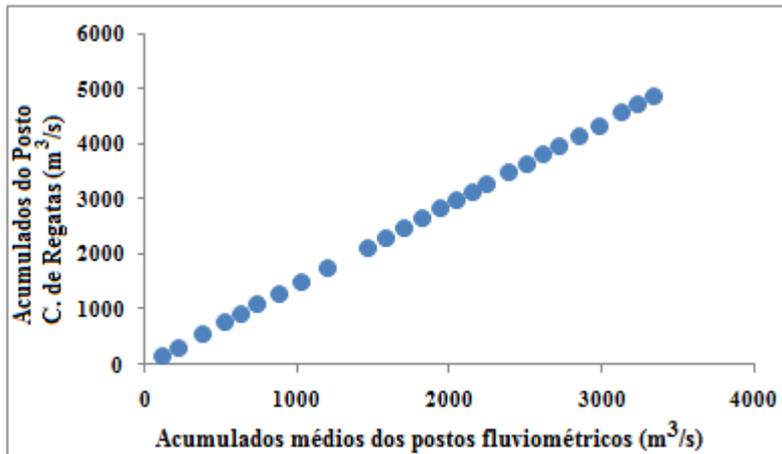
Fonte: Elaborado por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 11** - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Armando de Salles Oliveira.



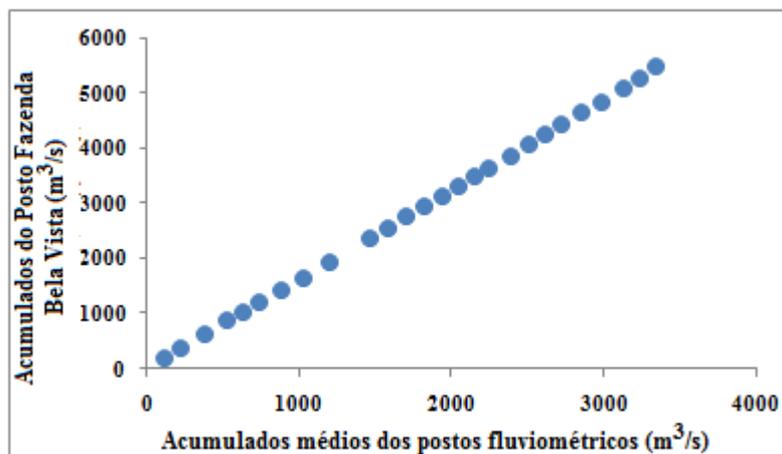
Fonte: Elaborado por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 12** - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Clube de Regatas.



Fonte: Elaborado por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 13** - Método da Dupla Massa aplicado ao posto fluviométrico de Fazenda Bela Vista.



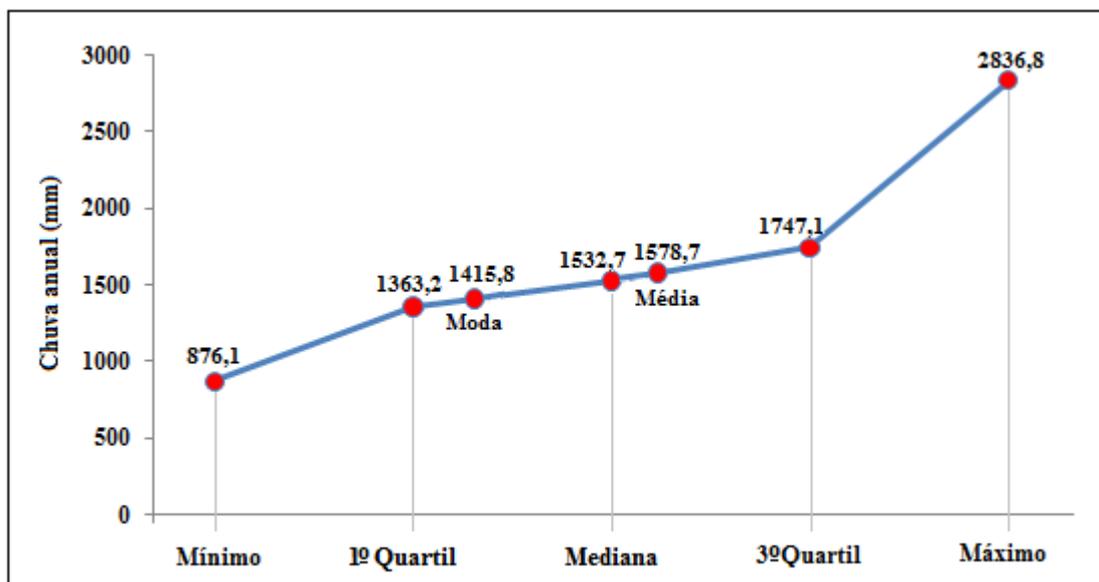
Fonte: Elaborado por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

## 5.2 Estatística descritiva da chuva na bacia do Rio Pardo

### 5.2.1 Quartis e medida de tendência central

No tratamento estatístico dos dados foram calculadas as medidas de tendência central, ou seja, a média aritmética (ANEXO A), a mediana e a moda da chuva anual do período de 1974 a 1999. Também foram calculados o valor mínimo, o valor máximo, o 1º quartil, 2º quartil (ou mediana) e o 3º quartil (Figura 14). As fórmulas utilizadas para calcular essas medidas podem ser encontradas em SPIEGEL (1977).

**Figura 14** - Média, mediana, moda, 1º quartil, 3º quartil e valores mínimo, médio e máximo das chuvas anuais que ocorreram na bacia no período de 1974 a 1999.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

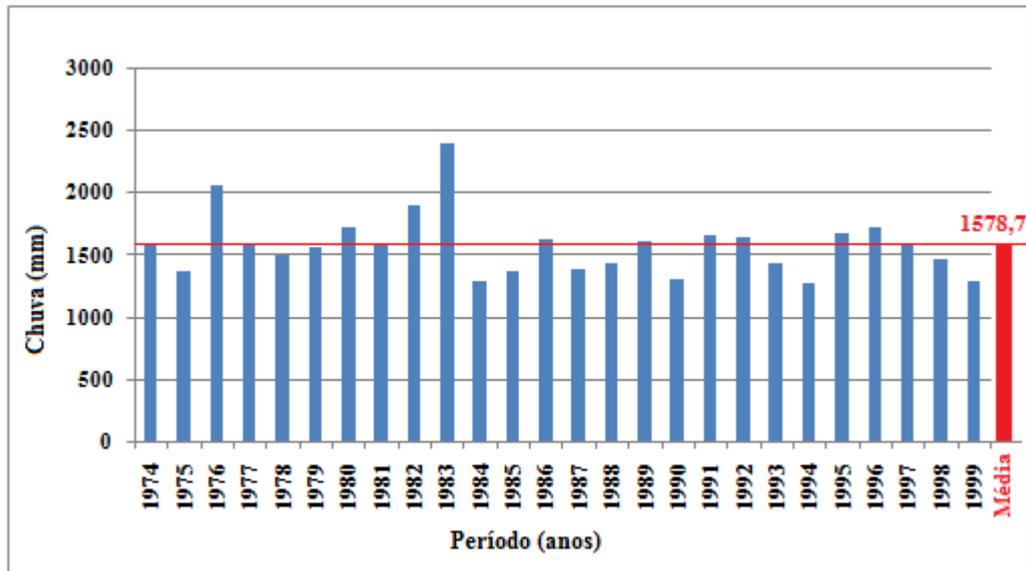
As chuvas anuais que ocorreram na bacia, no período de 1974 a 1999, oscilaram entre o valor mínimo de 876,1 mm e o valor máximo de 2836,8 mm, que são considerados os valores extremos de ocorrência de chuva na bacia e nesse período. A diferença desses extremos, cujo valor é igual a 1960,7 mm, define a amplitude total do intervalo de ocorrências de chuvas no período. No intervalo interquartil, com amplitude igual a 383,9 mm, encontram-se 50% dos dados de chuvas que oscilaram entre valores menores que 1747,1 mm e maiores que 1363,2 mm. Dos dados restantes, 25% são valores de chuvas maiores que 1747,1 mm, pertencentes ao intervalo de amplitude 1089,7 mm. Os outros 25% são menores que 1363,2 mm e pertencem ao intervalo de amplitude 487,1 mm. O valor da chuva anual que mais se repetiu entre os 1014 valores medidos, em todos os postos, por todo o período foi igual a 1415,8 mm (moda) e a média de todos esses valores igual a 1578,7 mm (SPIEGEL, 1977), (LANDIM, 2003).

### 5.2.2 Chuva média anual em cada ano do período

Os dados de chuvas, coletados nos 39 postos pluviométricos distribuídos pela bacia do Rio Pardo, geraram 39 séries pluviométricas diárias das quais se calcularam os totais anuais de chuva, para cada posto desde 1974 a 1999. Para cada ano, calculou-se a média

aritmética da chuva anual ocorrida em todos os postos da bacia e a média do período, cujo valor encontrado foi igual a 1578,7 mm. Essas duas médias estão representadas em um histograma (Figura 15).

**Figura 15** - Histograma com barras azuis representativas da média aritmética da chuva anual na bacia, em cada ano do período e barra vermelha representativa da média do período.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

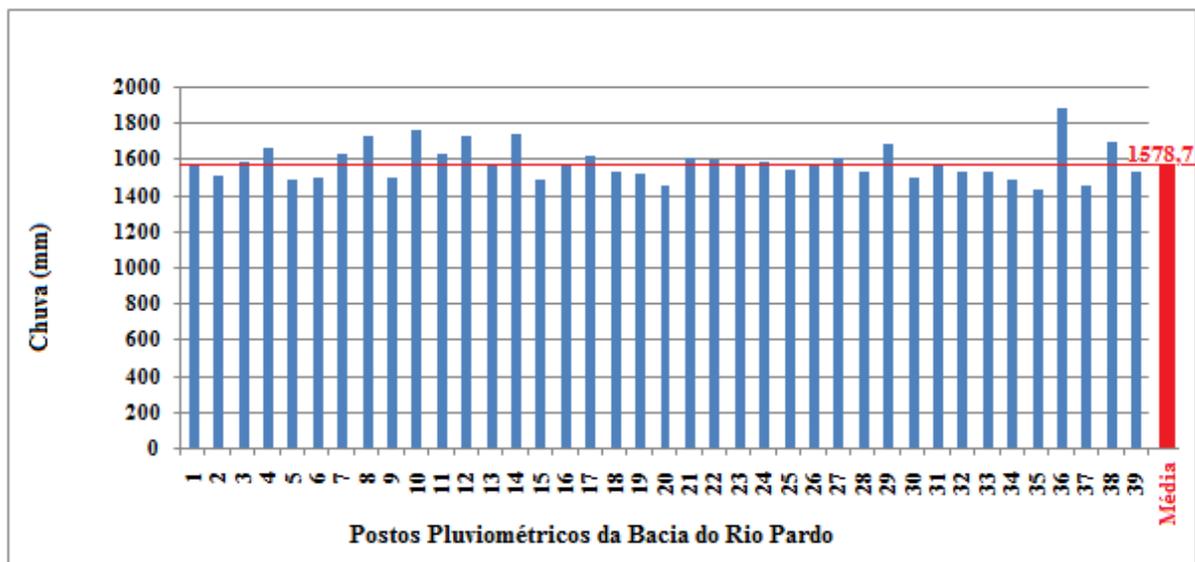
Observa-se no histograma da Figura 15, que a barra representativa do ano 1983 (2400,5 mm) é maior que todas as outras. A barra imediatamente menor a essa é representativa do ano de 1976, (2063,9 mm), seguida da barra do ano de 1982 (1899,3 mm). Isso revela que o maior volume médio precipitado de água na região, no período de estudo, ocorreu no ano de 1983 seguido de valores menores que este volume, nos anos de 1976 e 1982.

As menores barras são representativas dos anos 1994 (1283 mm), 1984 (1287,9 mm), 1999 (1293,7 mm) e 1990 (1305,7 mm), revelando que, nesses anos, o volume médio precipitado de água, na região, foi o menor do período. As barras representativas dos anos restantes têm tamanho próximo da barra em vermelho, demonstrando que os valores dos volumes médios precipitados nesses anos estão mais próximos, por falta ou por excesso, da média (1578,7 mm) do período de toda bacia.

### 5.2.3 Chuva média anual em cada posto pluviométrico

Com o objetivo de saber o comportamento regional da chuva na bacia, calculou-se, para cada posto da bacia, a média aritmética da chuva anual, ocorrida nos 26 anos do período 1974 a 1999. Essas médias e a média do período foram representadas num histograma, a fim de serem comparadas (Figura 16).

**Figura 16** - Histograma com barras azuis representativas da média aritmética da chuva anual no período, em cada posto pluviométrico e barra vermelha representativa da média do período.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

No histograma da Figura 16, observa-se que a barra representativa do posto 36 é maior que todas as outras. Em seguida, nas barras menores que essa, um decréscimo é verificado, na ordem em que estão escritos, nas barras representativas dos postos 10, 14, 8, 12, e 29. Isso revela que o maior volume médio precipitado de água na região, nesses 26 anos, ocorreu no posto 36 (1882,4 mm) seguido de valores menores que este volume, nos postos 10, 14, 8, 12, e 29, com chuvas anuais oscilando entre 1683 mm e 1756 mm. Dentre todas as barras, as menores são representativas dos postos 35, 20, 37, 34, 15, 5, 6, 9, 30 e 2 o que revela que neles ocorreram os menores volumes de água médio precipitado na bacia, com valores de chuva oscilando entre 1430 mm e 1505 mm. As barras representativas dos postos restantes têm tamanhos próximos aos da barra em vermelho, mostrando que, neles a chuva média oscilou entre 1505 mm e 1683 mm, valores próximos da média do período (1578,7 mm).

#### 5.2.4 Anos com as mesmas características pluviométricas

O agrupamento dos anos com características semelhantes foi realizado por meio de um software estatístico (XLSTAT, 2011), à matriz formada por elementos que representam as chuvas anuais que ocorreram em todos os postos pluviométricos e em todo período de estudo. Esses 1014 elementos, ( $39 \times 26 = 1014$ ) distribuídos em 39 linhas e 26 colunas (ANEXO A) estão assim configurados: cada linha é constituída de 26 colunas em que cada coluna representa a chuva anual que, ocorreu em cada ano do período, naquele posto.

Para comparar a pluviosidade de cada ano do período com a pluviosidade dos demais anos, optou-se por construir agrupamentos desses anos, de acordo com suas características pluviométricas. Na representação bidimensional dessa análise, utilizou-se o dendrograma, resultado da aplicação da Análise de Agrupamentos, pelo método aglomerativo hierárquico, pela técnica de agrupamento do método de Ward cujo objetivo é formar grupos heterogêneos entre si, contendo cada grupo anos de chuvas anuais com máxima homogeneidade, com relação à variância. Com esse método, os anos com chuvas anuais similares são interligados, agrupados entre si para produzir um dendrograma (Figura 17), cuja interpretação está na distância euclidiana (LANDIM, 2010). Essa distância é medida pela dissimilaridade, representada numa escala no eixo vertical, em que os valores quanto mais próximos de zero, indicam maior proximidade entre os grupos os quais estão representados no eixo horizontal.

Os quatro grupos de anos encontrados, agrupados de acordo com as características das chuvas anuais, que ocorreram nos 39 postos de coleta de dados distribuídos pela bacia nesses 26 anos, estão descritos a seguir:

**G1:** 1983;

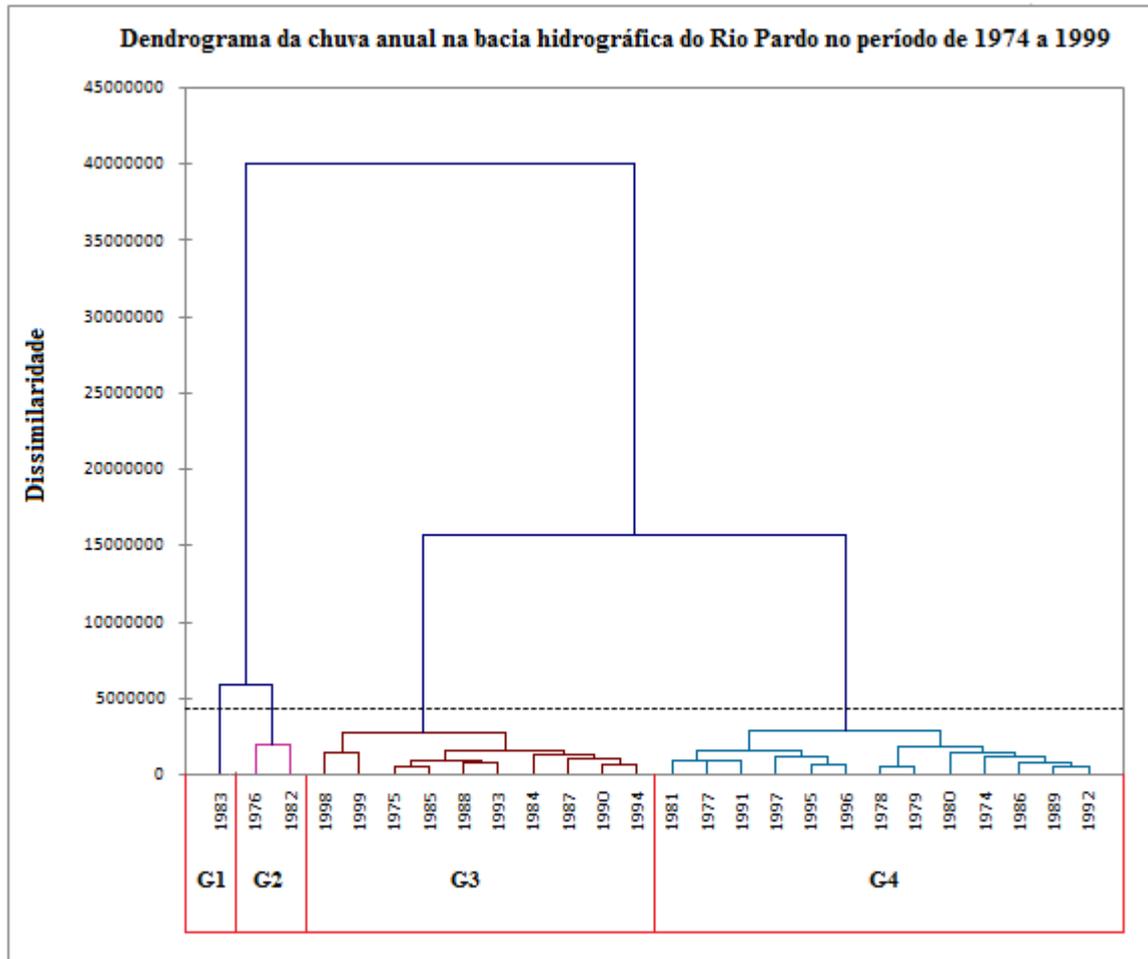
**G2:** 1976, 1982;

**G3:** 1975, 1984, 1985, 1987, 1988, 1990, 1993, 1994, 1998, 1999 e

**G4:** 1974, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1986, 1989, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997.

O objetivo desses agrupamentos é auxiliar na escolha dos anos padrão, assunto que será explorado na seção seguinte.

**Figura 17** - Dendrograma, organizado por cores, dos anos de chuvas anuais que ocorreram na bacia do Rio Pardo, no período de 1974 a 1999, obtido por meio da Análise de Agrupamentos, pelo método aglomerativa hierárquico pela técnica de agrupamento do Método de Ward.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

### 5.3 Escolha dos anos padrão

#### 5.3.1 Uso do Método de Sturges

As chuvas que ocorreram na bacia, no período de 1974 a 1999, variaram entre os extremos de um intervalo com valor mínimo igual a 876,1 mm e valor máximo igual a 2836,8 mm. Esses extremos definiram um intervalo de classe, no qual estão distribuídas as 1014 chuvas anuais ocorridas no período, cuja amplitude total desse intervalo é igual a 1960,7 mm, obtida pela diferença desses extremos. A diferença entre quaisquer duas das 1014

medidas de chuvas anuais, que ocorreram nesse período, em toda região, não excederam 1960,7 mm. A disposição dos dados de chuvas existentes, nesse intervalo, não permitiu fazer observações conclusivas devido à quantidade de dados. Com o objetivo de melhor observar em um histograma, a ocorrência dessas chuvas na bacia, dividiu-se a amplitude total em amplitudes menores. Essas novas amplitudes definiram intervalos de classes com extremos que limitam somente os valores de chuvas anuais compreendidos entre eles. Assim, a chuva, que antes era observada em um único intervalo, passou a ser observada em mais intervalos com pouca perda de detalhes de informação. Isso facilita a melhor visualização de um fenômeno. Para estimar o número de classes que tornasse possível melhorar as observações sobre as chuvas anuais, que ocorreram no período analisado, optou-se pelo Método de Sturges (STURGES; 1926) que, para essa finalidade, estima o número de classes com pouca perda de detalhes (ZAVATTINI; BOIN, 2013).

Com um número de ocorrências igual a 1014, obteve-se um valor para  $k$  igual a 11. Com este valor obteve-se a amplitude dos 11 intervalos de classe, dividindo-se a amplitude total (1960,7 mm) pelo número de classes ( $k = 11$ ). Conseqüentemente, cada um dos 11 novos intervalos deverá ter amplitude igual a 178 mm.

As chuvas totais anuais, que ocorreram no período, foram classificadas e, a cada intervalo de classe, se fez corresponder um número representativo da frequência de chuva, criando assim uma tabela de frequências absolutas (Tabela 7). As frequências absolutas indicam o número de vezes em que ocorreu a chuva total anual, naquele intervalo de classe. Isso facilita o entendimento do comportamento pluviométrico anual, na área de estudo, como também auxilia na escolha dos anos padrão, para que, com eles, seja possível fazer futuras análises nas vazões que ocorreram no Rio Pardo. Por meio dessas frequências absolutas, criou-se uma tabela de frequências relativas, dividindo-se frequência absoluta, de cada classe pela frequência total (Tabela 8).

**Tabela 7** - Distribuição de frequência absoluta de chuva anual do período de 1974 a 1999, de acordo com os intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges. As frequências absolutas em negrito representam a moda dos intervalos de classes.

Intervalos de classes	Anos do período																										
	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	
876 — 1054	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	1	1	1
1054 — 1232	1	5	0	0	1	0	0	1	0	0	<b>16</b>	8	0	8	1	0	10	0	0	4	8	0	1	1	4	<b>20</b>	
1232 — 1410	6	<b>21</b>	0	7	9	8	2	8	1	0	12	<b>17</b>	3	<b>14</b>	<b>20</b>	2	<b>20</b>	2	0	<b>15</b>	<b>17</b>	1	2	4	11	10	
1410 — 1588	12	10	0	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	10	9	2	0	7	12	<b>15</b>	12	12	<b>18</b>	6	<b>15</b>	<b>19</b>	14	9	9	7	12	<b>15</b>	6	
1588 — 1766	<b>13</b>	1	3	13	11	11	10	<b>12</b>	5	0	3	1	13	2	4	13	2	12	12	3	0	<b>19</b>	10	<b>15</b>	4	1	
1766 — 1944	6	2	6	4	3	4	<b>12</b>	9	<b>16</b>	1	0	1	6	2	2	6	0	8	7	2	0	8	<b>14</b>	3	3	0	
1944 — 2122	1	0	<b>20</b>	0	0	1	5	0	12	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	5	3	0	0	
2122 — 2300	0	0	5	1	0	1	0	0	1	7	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	
2300 — 2478	0	0	4	0	0	0	0	0	1	<b>16</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2478 — 2656	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2656 — 2837	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

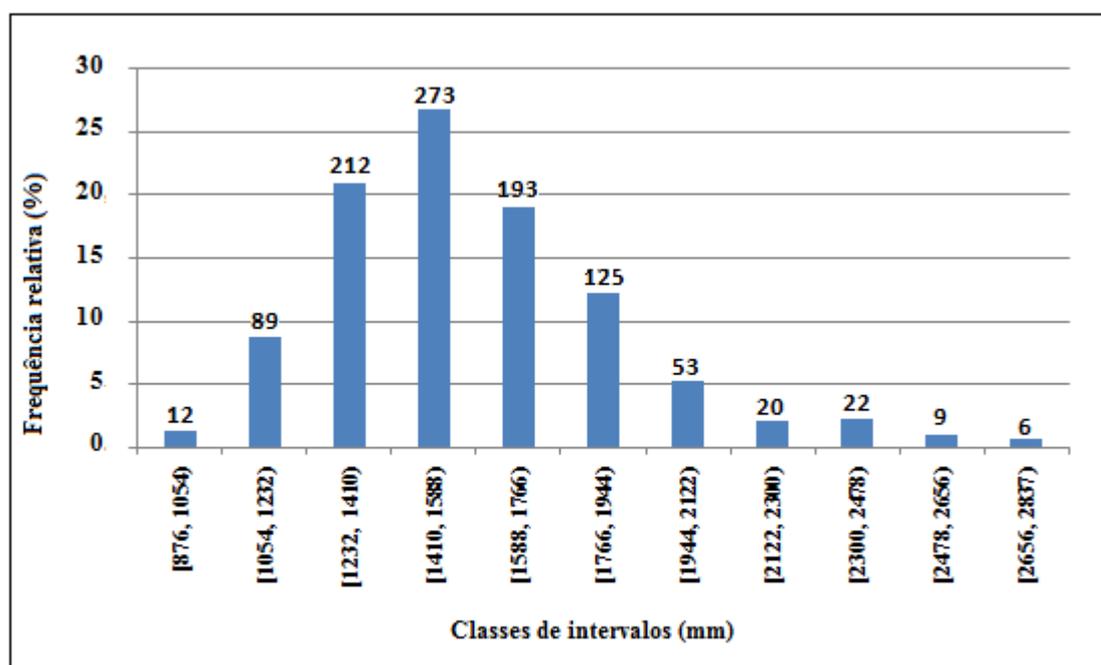
**Tabela 8** - Intervalos de classe com amplitude estimada pela Regra de Sturges e frequências absoluta e relativa.

Intervalos de classes	Frequências absolutas	Frequências relativas
876 — 1054	12	1,20%
1054 — 1232	89	8,80%
1232 — 1410	212	20,90%
1410 — 1588	273	26,90%
1588 — 1766	193	19,00%
1766 — 1944	125	12,30%
1944 — 2122	53	5,20%
2122 — 2300	20	2,00%
2300 — 2478	22	2,20%
2478 — 2656	9	0,90%
2656 — 2837	6	0,60%
<b>Total</b>	<b>1014</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Com as frequências, absoluta e relativa, elaborou-se um histograma (Figura 18).

**Figura 18** - Frequência relativa e frequência absoluta (números acima das colunas) de ocorrências de chuvas totais anuais na bacia do Rio Pardo no período de 1974 a 1999.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

A classificação da ocorrência de chuvas e do volume precipitado de água foi baseada nas frequências absolutas e relativas das chuvas anuais, do período de estudo, nas modas de frequências, em cada ano do período analisado (Tabela 7) e no histograma de frequências (Figura 18).

Para classificar a ocorrência da chuva, nesses 26 anos de estudo, e assim visualizar melhor o fenômeno da chuva, optou-se por atribuir cores aos intervalos de classes. Atribuiu-se, então, a cor verde, em três tonalidades, aos intervalos de classes com alta ocorrência de chuvas e, para a baixa ocorrência, a cor vermelha, a cor amarela e a cor azul em seis tonalidades. A tonalidade escura foi utilizada para representar um volume maior de água precipitada que a tonalidade clara.

Quanto ao volume precipitado de água, a cor azul foi usada para identificar grandes volumes, a cor verde volumes intermediários, a cor amarela para poucos volumes e a vermelha para volumes menores ainda. Obedecendo a esse procedimento, a cor azul, em seis tonalidades, foi atribuída às pluviosidades maiores que 1766 mm, a cor verde, em três tonalidades, para pluviosidades entre 1232 mm e 1766 mm, a cor amarela para pluviosidades entre 1054 mm e 1232 mm e a cor vermelha para pluviosidades menores que 1054 mm (Quadro 1).

Quanto aos anos padrão, classificou-se o “ano habitual” com a cor verde, o “ano chuvoso” , com a cor azul e o “ano seco” com as cores vermelha e amarela (Quadro 1), (ZANDONADI, 2009) .

**Quadro 1** - Intervalos de classes, com amplitudes estimadas pela Regra de Sturges, associados à escala cromática e frequências relativas. Classificação dos anos padrão.

Intervalos de classes	Frequência relativa	Anos padrão (%)	Anos padrão
876– 1054	1,20%	10%	"ano seco"
1054– 1232	8,80%		
1232– 1410	20,90%	66,8%	"ano habitual"
1410– 1588	26,90%		
1588– 1766	19,00%		
1766– 1944	12,30%	23,2%	"ano chuvoso"
1944– 2122	5,20%		
2122– 2300	2,00%		
2300– 2478	2,20%		
2478– 2656	0,90%		
2656– 2837	0,60%		

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os intervalos de classes, representantes da pluviosidade na bacia, associados às cores, vermelha, amarela, verde (em 3 tonalidades), e azul (em 6 tonalidades), elaborou-se uma planilha cromática (QUADRO 2) para que, com o auxílio dessas cores, fosse possível visualizar e assim classificar a ocorrência das chuvas anuais, no período e, conseqüentemente, poder identificar os anos padrão.

### **5.3.2 Análise da chuva anual nos anos do período 1974-1999**

Observou-se no dendrograma (Figura 17), que a maior distância, dentre aquelas dos grupos criados de acordo com Análise de Cluster Aglomerativa Hierárquica pela técnica de agrupamento do Método de Ward é a do grupo G1 que é formado por um único elemento: o ano de 1983. As distâncias menores entre os grupos, G2, G3 e G4 sugerem um comportamento nos anos que compõem esses grupos diferentes daquele apresentado no ano de 1983. Os detalhes nos comportamentos dos anos desses grupos serão observados por meio das análises nas planilhas cromáticas e nos mapas de isolinhas.

Na planilha cromática (Quadro 2), observou-se que no ano de 1983 houve predominância da cor azul, em todos os postos; no ano de 1976 a predominância da cor azul claro e no ano de 1982 a presença das cores azul claro e verde escuro. De acordo com a escala proposta de classificação de anos padrão optou-se por classificá-los como “ano chuvoso”. No ano de 1999 observou-se a predominância da cor amarela na maioria dos postos, no ano de 1984 a presença da cor amarela em uma quantidade menor de postos e no ano de 1994 a presença da cor amarela e vermelha em uma quantidade menor ainda de postos. A presença dessas cores permitiu classificar esses anos como “ano seco”.

Nos anos de 1974, 1977, 1978, 1979, 1986, 1988, 1989, 1992, 1993, 1995 e 1997, observou-se a predominância da cor verde, na maioria dos postos. A presença dessas cores permitiu classificá-los como “ano habitual”.

Quanto aos anos restantes, a planilha não ofereceu informação visual para a classificação desses anos, pelo fato de os postos apresentarem cores diferentes e esparsas. Diante disso, optou-se pelo dendrograma como um recurso para auxiliar nessa escolha. A predominância dos anos classificados como “ano seco”, no grupo G2 e como “ano habitual” no grupo G3, permitiu classificá-los, respectivamente, por grupo de “ano seco” e de “ano habitual”. Prevalecendo a classificação visual dos anos, por meio da planilha cromática os anos restantes, **1975, 1980, 1981, 1985, 1987, 1990, 1991, 1996 e 1998** foram classificados observando o grupo a que pertencem. Dessa forma, os anos 1975, 1985, 1987, 1990, 1998,

que pertencem ao grupo G3, foram classificados como “ano seco” e os anos 1980, 1981, 1991, 1996, que pertencem ao grupo G4 com “ano habitual”.

Dessa forma os anos do período foram classificados da seguinte forma:

“ano chuvoso”: 1976, 1982, 1983

“ano seco”: **1975**, 1984, **1985**, **1987**, **1990**, 1994, **1998** e 1999

“ano habitual”: 1974, 1977, 1978, 1979, **1980**, **1981**, 1986, 1988, 1989, **1991**, 1992, 1993, 1995, **1996** e 1997.

Na planilha cromática (QUADRO 2), observou-se a presença de um número maior de células amarelas, no período de 1984 até 1999 do que no período de 1974 a 1983. Isso permitiu classificar esses períodos, respectivamente, de período seco e período chuvoso. Os reflexos desses períodos foram notados na vazão do Rio Pardo, com mudanças que ocorreram nos anos de 1985, a jusante do rio, e em 1984, a montante.

### **5.3.3 Análise regional da chuva anual na bacia do Rio Pardo no período 1974-1999**

Em busca de uma visão regional da pluviosidade na bacia utilizaram-se os mapas de isolinhas das chuvas anuais, que ocorreram na bacia nesses 26 anos (Figura 19). Eles foram gerados para cada ano do período, por meio do software Surfer 8 (SURFER, 2002), por interpolação pelo método do inverso do quadrado da distância, utilizando-se os dados de chuvas anuais das séries referentes aos 39 postos pluviométricos. À escala, utilizada nesses mapas, foram atribuídas as cores, vermelha, amarela, verde e azul, obedecendo a classificação dos intervalos de classe, conforme se observa no Quadro 1.

Sabendo que esses mapas mostram a distribuição espacial da chuva na bacia, em cada ano do período, a presença marcante da tonalidade azul escuro no mapa do ano de 1983 sugere a idéia de um ano muito chuvoso em toda a bacia. Já no mapa do ano de 1976, a presença da tonalidade azul clara em toda região da bacia, sugere um ano menos chuvoso, quando comparado ao ano de 1983. No mapa do ano de 1982, a tonalidade azul clara está presente em grande parte da bacia com exceção de uma área onde se observa a presença da tonalidade verde escuro, o que sugere assim, uma classificação como um ano bem menos chuvoso que o de 1983. Dentro da classificação proposta de anos padrão esses anos foram classificados como “ano chuvoso”.

Nos mapas dos anos de 1984, 1994 e 1999, a presença da cor amarela, em muitas regiões da bacia, permitiu classificá-los como “ano seco”.

A cor verde, predominante nos mapas dos anos 1974, 1977, 1978, 1979, 1981, 1986, 1989, 1991, 1992, 1995 e 1997, permitiu classificá-los como “ano habitual”.

Quanto aos mapas dos anos **1975, 1980, 1985, 1987, 1990, 1988, 1993, 1996 e 1998**, a presença das cores, azul, amarela e verde, em diferentes regiões da bacia impede de se fazer uma classificação visual. Na busca de um padrão de classificação, recorreu-se, novamente, ao dendrograma. Assim, com esses anos obedecendo à classificação proposta pelo agrupamento hierárquico, da mesma forma que se fez anteriormente com a planilha cromática, passam a compor os anos padrão os seguintes anos (em negrito):

“ano chuvoso”: 1976, 1982, 1983;

“ano seco”: **1975**, 1984, **1985, 1987, 1988, 1990, 1993**, 1994 e 1999 e

“ano habitual”: 1974, 1977, 1978, 1979, **1980**, 1981, 1986, 1989, 1991, 1992, 1995, **1996**, 1997 e **1998**.

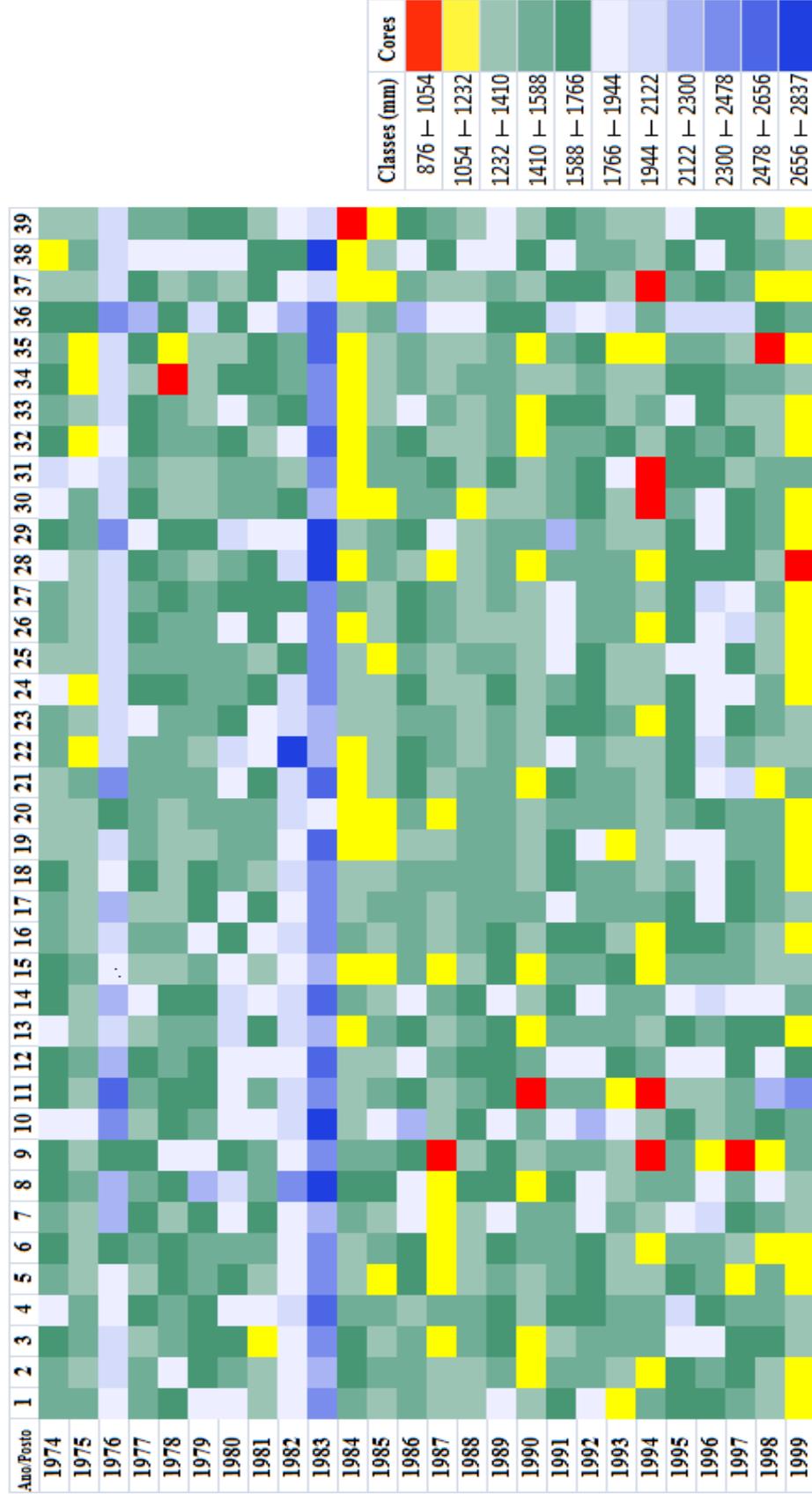
Os anos que não coincidiram com as regras aqui utilizadas, para classificação de anos padrão, foram os anos de 1988, 1993 e 1998. Pela planilha cromática, os anos de 1988 e 1993 foram classificados como “ano habitual” e 1998 como “ano seco”, enquanto que pelos mapas de isolinhas os anos de 1988 e 1993 foram classificados como “ano seco” e o ano de 1998 como “ano habitual”. Em uma observação mais minuciosa, na planilha cromática e nos mapas de isolinhas, optou-se por classificar esses três anos como “ano habitual”. Conseqüentemente, as classificações dos anos padrão, a serem adotadas para análise da chuva e vazão na bacia, ficaram definidas pelos seguintes anos:

“ano chuvoso”: 1976, 1982, 1983;

“ano seco”: 1975, 1984, 1985, 1987, 1990, 1994 e 1999 e

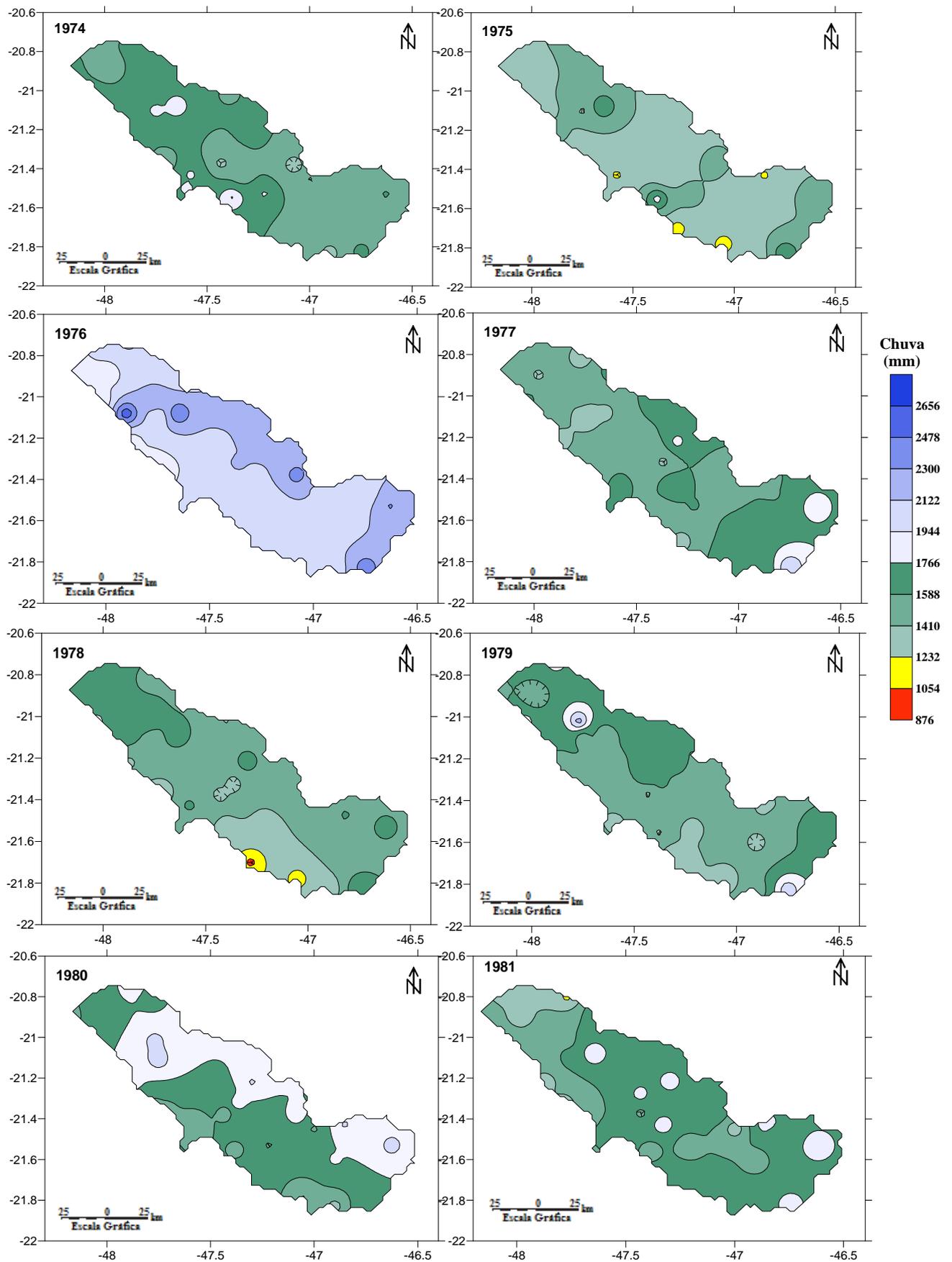
“ano habitual”: 1974, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1986, 1988, 1989, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996, 1997 e 1998.

**Quadro 2** - Planilha cromática com a ocorrência de chuva anual em todos os 39 postos da bacia no período 1974-1999 com amplitude, de intervalos de classe, estimada pela Regra de Sturges.



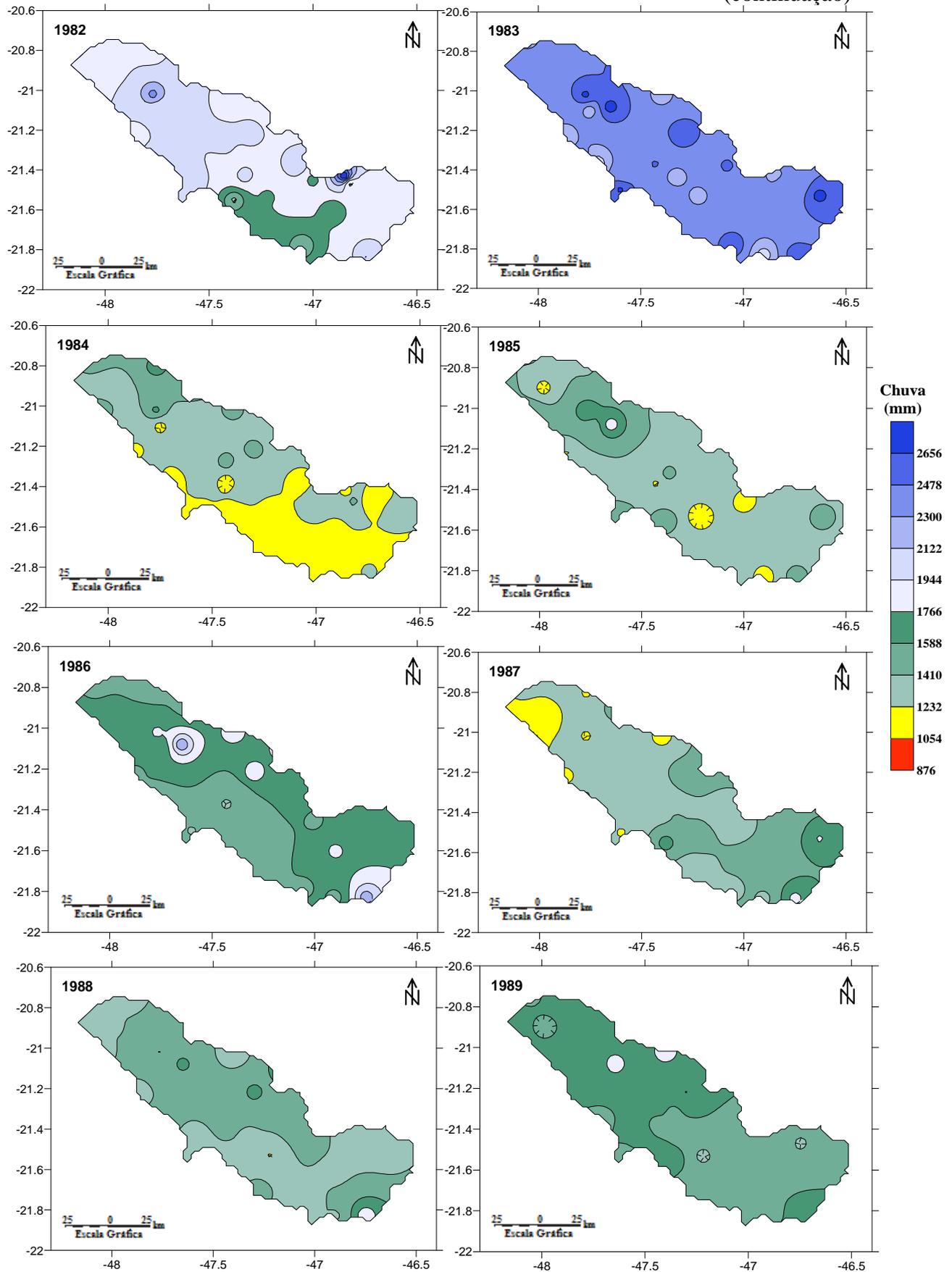
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 19** - Mapas de isolinhas da chuva total anual em todos os 39 postos da bacia no período 1974-1999 cujos intervalos de classe foram estimados pelo Método de Sturges. (continua)



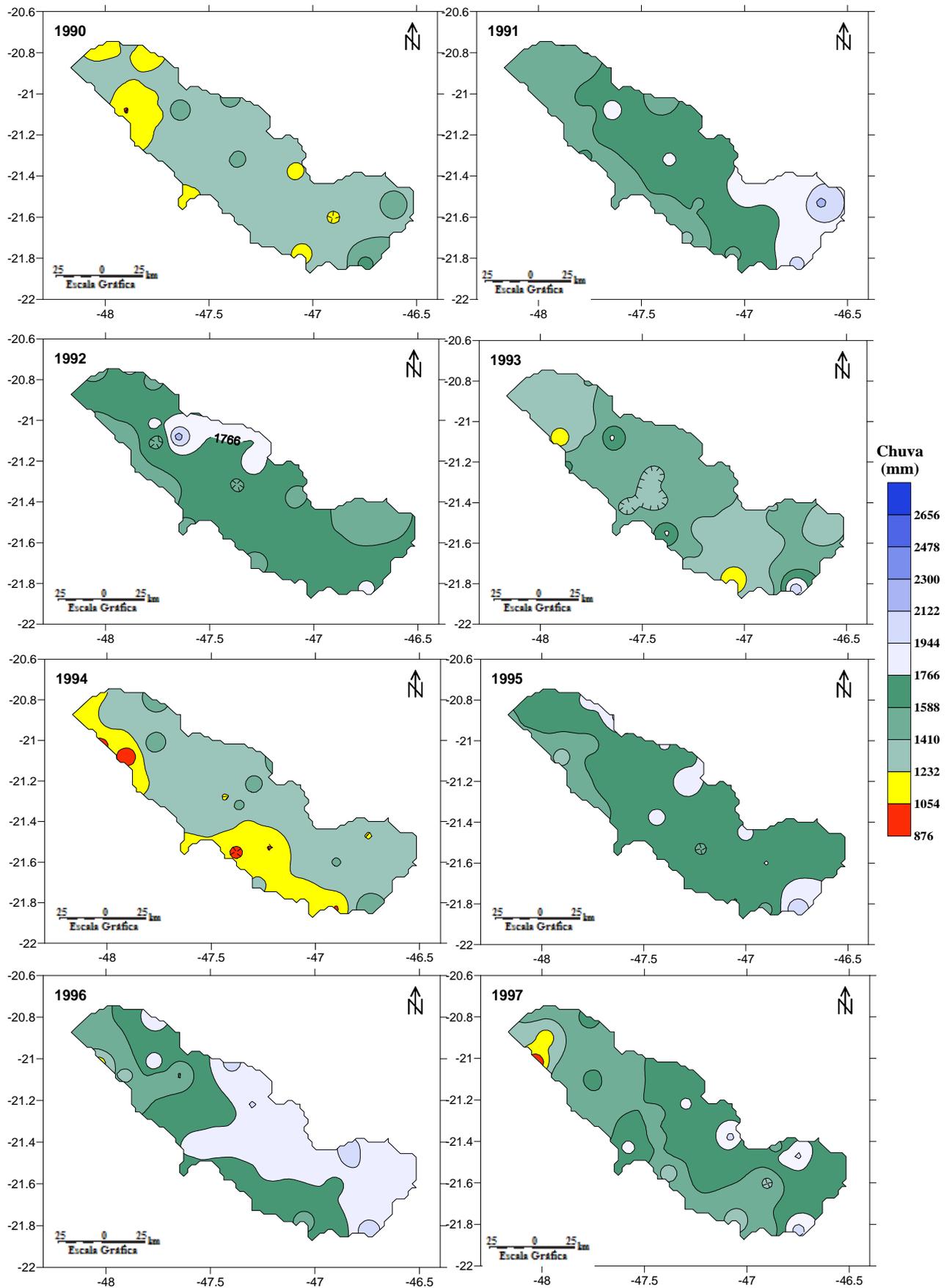
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do Surfer 8 (SURFER, 2002)

**Figura 19** - Mapas de isolinhas da chuva total anual em todos os 39 postos da bacia no período 1974-1999 cujos intervalos de classe foram estimados pelo Método de Sturges.  
(continuação)



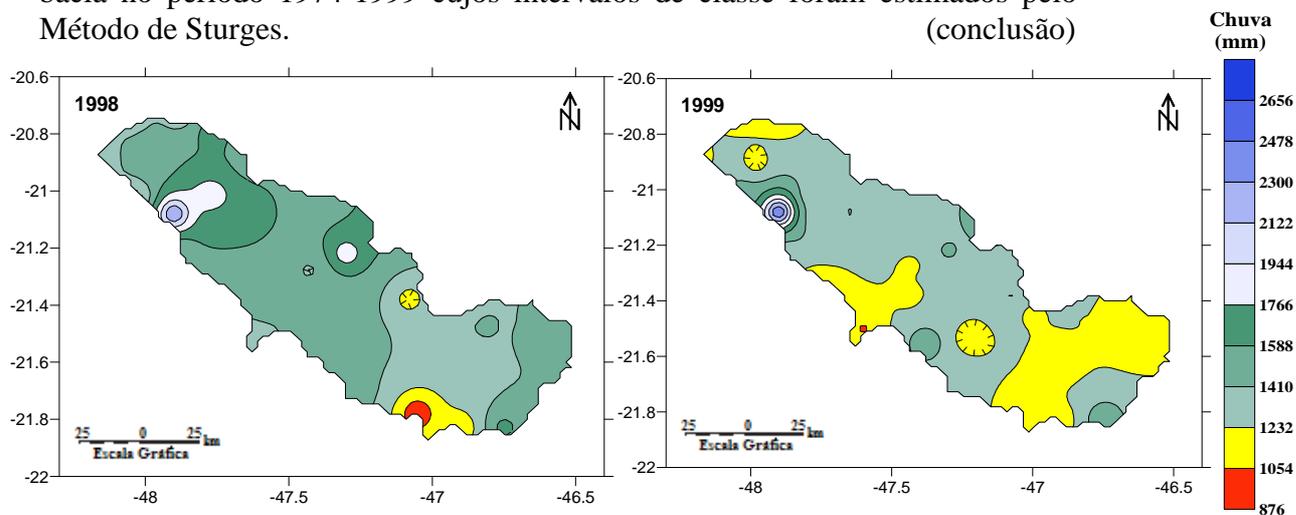
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do Surfer 8 (SURFER, 2002)

**Figura 19** - Mapas de isolinhas da chuva total anual em todos os 39 postos da bacia no período 1974-1999 cujos intervalos de classe foram estimados pelo Método de Sturges.  
(continuação)



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do Surfer 8 (SURFER, 2002)

**Figura 19** - Mapas de isolinhas da chuva total anual em todos os 39 postos da bacia no período 1974-1999 cujos intervalos de classe foram estimados pelo Método de Sturges. (conclusão)



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do Surfer 8 (SURFER, 2002)

### 5.3.4 Seleção dos anos padrão

Neste estudo, optou-se pela escolha dos anos 1995, 1999 e 1983 como representativos do padrão “habitual”, “seco” e “chuvoso”, respectivamente.

Em se tratando do ano de 1983, a forte presença da tonalidade azul, no mapa de isolinhas e na planilha cromática, indicaram um ano muito chuvoso, com o maior volume de água precipitado, em toda bacia, atingindo a média anual de 2400,5 mm. A análise de agrupamentos apontou esse ano como excepcional, com diferentes características pluviométricas dos demais anos do período. Pelo seu comportamento não habitual no período e passível de acarretar inundações e deslizamentos em muitas regiões da bacia, optou-se por escolhê-lo para análise do comportamento da vazão do Rio Pardo.

O ano de 1999, classificado como “ano seco”, de acordo com as análises realizadas, apresentou um dos menores volumes de água precipitado na bacia, cuja média anual foi de 1293,7 mm. Essas características despertaram interesse em analisar o comportamento da vazão do Rio Pardo, em períodos de pouca chuva.

Dentre os anos classificados como habituais, optou-se pela escolha do ano de 1995. Nesse ano, o mapa de isolinhas (Figura 19), com a mesma tonalidade verde distribuída por quase toda região, deu indícios de uma distribuição uniforme da chuva, por toda a bacia. Na planilha cromática (Quadro 2), esse mesmo comportamento foi observado, pois a mesma tonalidade verde estava presente em muitos postos pluviométricos. A presença dessa tonalidade verde, que representa a chuva que aconteceu em toda bacia, oscilando entre os valores 1588 mm e 1766 mm, conforme escala definida pelo Método de Sturges foi a razão

dessa escolha. Buscou-se, com isso, analisar o comportamento da vazão do Rio Pardo, em que as chuvas contribuem de maneira uniforme em quase toda região da bacia.

#### **5.4 Dados estatísticos da vazão no Rio Pardo**

O principal segmento do ciclo hidrológico, que estuda o deslocamento da água na superfície da terra, é o escoamento que se origina, basicamente, da precipitação, que é a única forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. Assim, da precipitação que atinge o solo, parte fica retida ou em depressões ou em partículas sólidas, como película. Parte da água que não é retida ou se infiltra ou escoam superficialmente. Pode ocorrer que a água infiltrada venha, posteriormente, a aflorar na superfície como fonte para novo escoamento superficial. O escoamento superficial abrange, desde o excesso de precipitação que ocorre, logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação, como pelas águas subterrâneas.

O escoamento superficial, medido em determinado ponto de um rio, é conceituado como vazão, ou seja, é o volume de água que passa por uma determinada seção de um curso de água, num determinado intervalo de tempo.

Neste estudo, utilizou-se a vazão do Rio Pardo, principal rio da bacia, medida em cinco postos fluviométricos, distribuídos ao longo de seu percurso.

##### **5.4.1 Estatística descritiva da vazão no Rio Pardo**

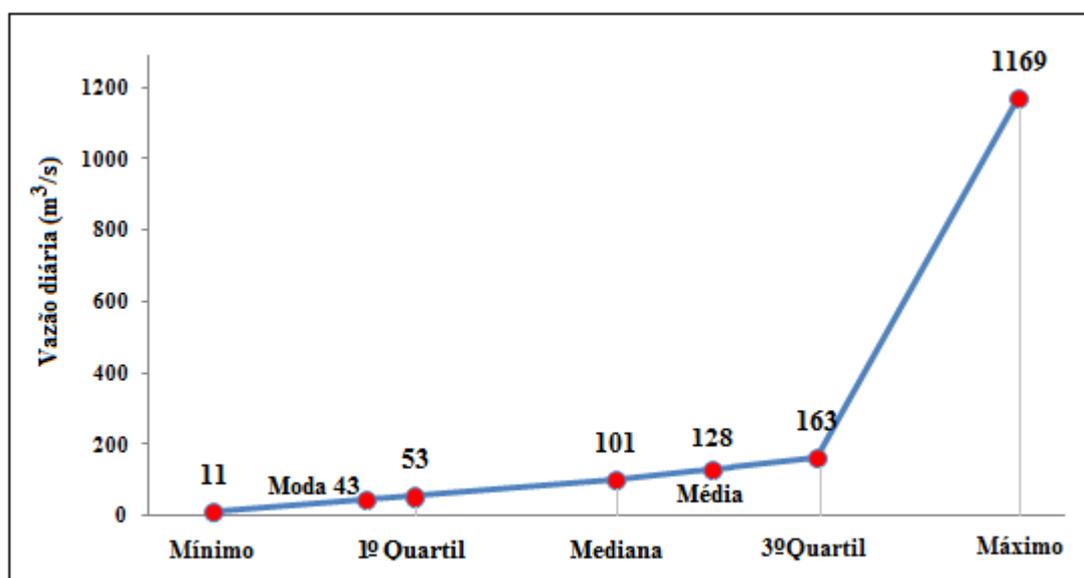
###### **5.4.1.1 Vazão diária em todos os postos fluviométricos**

No tratamento estatístico dos dados de vazão foram calculadas as medidas de tendência central da vazão diária dos 5 postos fluviométricos do Rio Pardo (TABELA 5), no período de 1974 a 1999. Também foram calculados o valor mínimo, o valor máximo, o 1º quartil, 2º quartil (ou mediana) e o 3º quartil. As fórmulas utilizadas para calcular essas medidas podem ser encontradas em SPIEGEL (1977).

As vazões diárias registradas nesses 5 postos fluviométricos, no período de estudo, oscilaram entre o valor mínimo de 11 m<sup>3</sup>/s e o valor máximo de 1169 m<sup>3</sup>/s, que são considerados os valores extremos de ocorrências de vazão diária no Rio Pardo. A diferença desses extremos, cujo valor é igual a 1158 m<sup>3</sup>/s, define a amplitude total do intervalo de ocorrências de vazões, no período. No intervalo interquartil (BUSSAB, MORETTIN,

2002), com amplitude igual a  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  encontram-se 50% dos dados de vazões que oscilaram entre valores menores que  $163 \text{ m}^3/\text{s}$  e maiores que  $53 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dos dados restantes, 25% são valores de vazões maiores que  $163 \text{ m}^3/\text{s}$ , pertencentes ao intervalo de amplitude  $1006 \text{ m}^3/\text{s}$ . Os outros 25% são menores que  $53 \text{ m}^3/\text{s}$  e pertencem ao intervalo de amplitude  $42 \text{ m}^3/\text{s}$ . O valor da vazão diária, que mais se repetiu dentre os 47480 valores medidos, em todos os postos, por todo o período, foi igual a  $43 \text{ m}^3/\text{s}$  (moda) e a média de todos esses valores igual a  $128 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 20).

**Figura 20** - Valores mínimo, médio, máximo, mediano, 1º quartil, 3º quartil e moda da vazão diária nos 5 postos fluviométricos no período de 1974 a 1999.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

#### 5.4.1.2 Vazão diária em cada posto fluviométrico

As vazões diárias, que ocorreram no Rio Pardo, oscilaram entre valores mínimos e máximos, conforme se observa na Tabela 9 e que são considerados os valores extremos de ocorrência de vazão diária, em cada posto fluviométrico do rio, nesses 26 anos. A diferença desses extremos define a amplitude total do intervalo da vazão diária, no período, ou seja, os postos de Caconde, Euclides da Cunha, Armando de Salles Oliveira, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista têm, respectivamente, amplitudes totais de 482 m<sup>3</sup>/s, 706 m<sup>3</sup>/s, 702 m<sup>3</sup>/s, 964,2 m<sup>3</sup>/s e 1102,6 m<sup>3</sup>/s. Nesses mesmos postos, 50% dos dados de vazão diária se encontram, respectivamente, entre 29 m<sup>3</sup>/s e 72 m<sup>3</sup>/s, 47 m<sup>3</sup>/s e 113 m<sup>3</sup>/s, 48 m<sup>3</sup>/s e 115 m<sup>3</sup>/s, 107,7 m<sup>3</sup>/s e 225,1 m<sup>3</sup>/s e 128,1 m<sup>3</sup>/s e 247,5 m<sup>3</sup>/s (TABELA 9), ou seja, metade dos dados de vazão diária, em cada posto fluviométrico, oscila entre esses valores. Dos dados restantes, em cada posto fluviométrico, 25% são valores de vazão diária maiores que os extremos superiores de cada intervalo e os outros 25% são valores menores que os extremos inferiores de cada um desses intervalos. Os valores de vazão diária que mais se repetem, em cada posto fluviométrico, são definidos pela moda e estão indicados na Tabela 9.

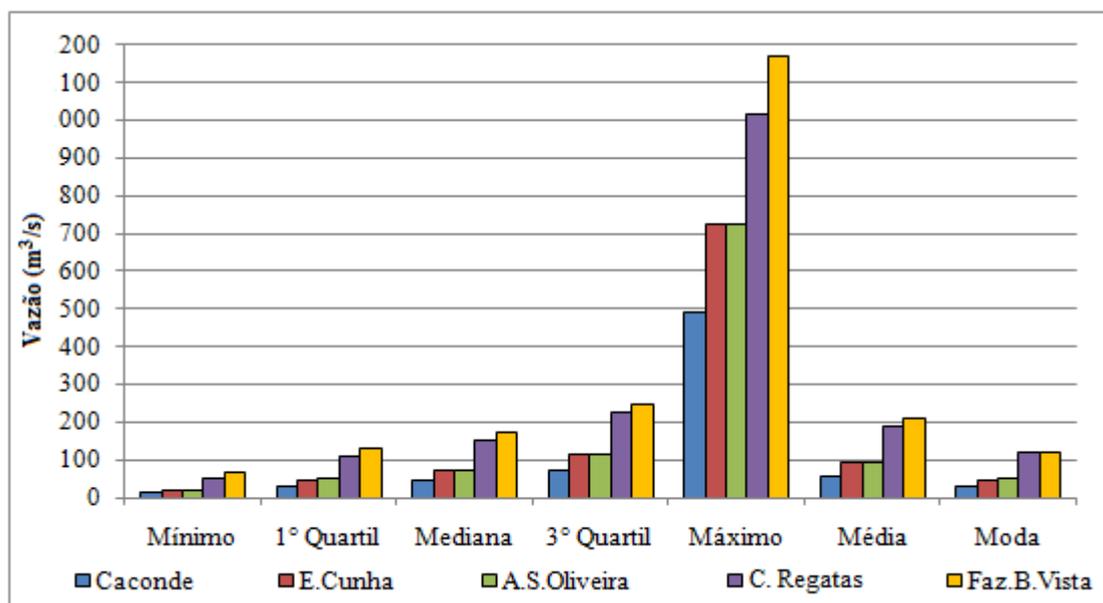
As medidas de tendência central, os quartis e os valores máximos e mínimos da vazão diária (BUSSAB, MORETTIN, 2002), em cada posto fluviométrico, nesses 26 anos, estão apresentados em um histograma (Figura 21) e nele se observa que essas medidas coincidem nos postos Euclides da Cunha e Armando de Salles Oliveira.

**Tabela 9** - Dados estatísticos da vazão diária nos postos fluviométricos do Rio Pardo no período de 1974 a 1999.

<b>Estatística (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caconde</b>	<b>E. Cunha</b>	<b>A. S. Oliveira</b>	<b>C. Regatas</b>	<b>Faz.B. Vista</b>
<b>Mínimo</b>	11	19	20	52,6	64,3
<b>Máximo</b>	493	725	722	1016,8	1166,9
<b>1º Quartil</b>	29	47	48	107,7	128,1
<b>Mediana</b>	44	71	72	149,9	171
<b>3º Quartil</b>	72	113	115	225,1	247,5
<b>Média</b>	58	91,9	93,3	186,8	210,3
<b>Moda</b>	29	43	51	118,5	118,5

Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 21** - Histograma dos dados estatísticos da vazão diária ocorrida no Rio Pardo por todo o período de 1974 a 1999.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

#### 5.4.2 Correlação das vazões nos postos fluviométricos do Rio Pardo

Para medir o grau de correlação das vazões diárias que ocorreram nos cinco postos fluviométricos do Rio Pardo (Tabela 5), no período de 1974 a 1999 utilizou-se o teste de correlação de Pearson com índice de significância igual a 0,05 (XLSTAT, 2011) (BUSSAB, MORETTIN, 2002), à matriz formada por 47480 elementos que representam as vazões diárias que ocorreram nos 9496 dias do período de estudo nesses 5 postos fluviométricos, isto é, o número das linhas (9496) representam todos os dias do período e o número das colunas (5) representam os postos fluviométricos utilizados.

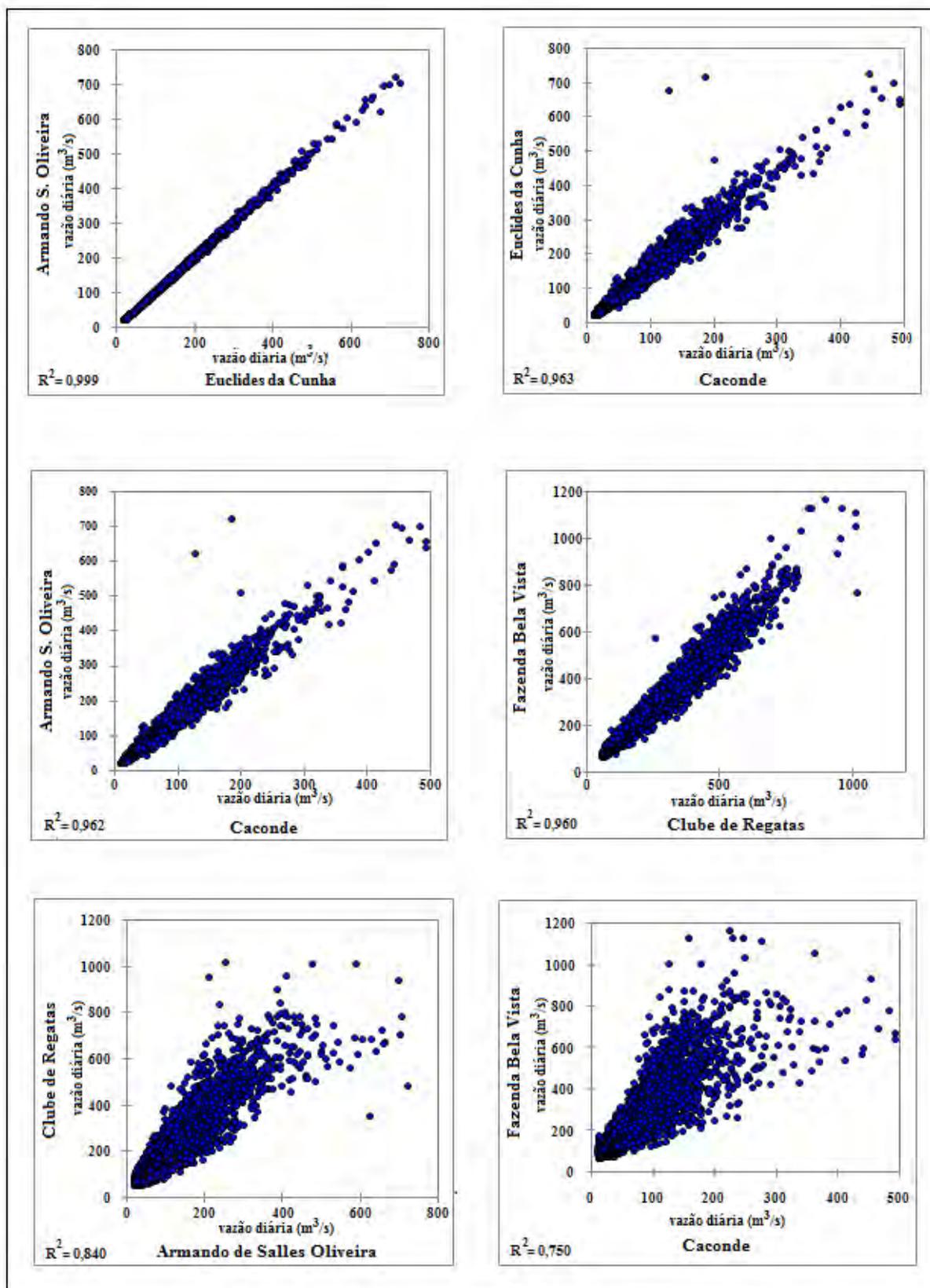
Com o resultado (Tabela 10) observou-se que as vazões correlacionadas apresentaram uma variação positiva como também certa dependência entre elas. Os valores numéricos, que representam a correlação entre as séries das vazões diárias em cada posto, tomadas duas a duas, estão muito próximos de 1, indicando forte dependência entre elas. A correlação da vazão foi maior, entre os postos mais próximos, e menores entre os postos mais distantes. O posto Fazenda Bela Vista é mais próximo do Clube Regatas do que dos demais e o posto Caconde mais próximo de Euclides da Cunha e este mais próximo de Armando de Salles Oliveira. Os valores numéricos, representativos da correlação entre as vazões, diminuíram em função do aumento da distância, ou seja, quanto maior a distância, menor o valor do coeficiente de correlação entre as vazões nos postos.

**Tabela 10** - Correlação das vazões diárias (coeficiente de Pearson).

<b>Postos Fluviométricos</b>	<b>Caconde</b>	<b>E. Cunha</b>	<b>A.S.Oliveira</b>	<b>C.Regatas</b>	<b>Faz. B.Vista</b>
<b>Caconde</b>	<b>1</b>	0,981	0,981	0,892	0,866
<b>E.Cunha</b>	0,981	<b>1</b>	1	0,912	0,886
<b>A.S.Oliveira</b>	0,981	1	<b>1</b>	0,917	0,892
<b>C.Regatas</b>	0,892	0,912	0,917	<b>1</b>	0,98
<b>Faz.B.Vista</b>	0,866	0,886	0,892	0,98	<b>1</b>

Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 22** - Diagramas de dispersão entre as vazões diárias de postos fluviométricos e respectivos coeficientes de determinação.



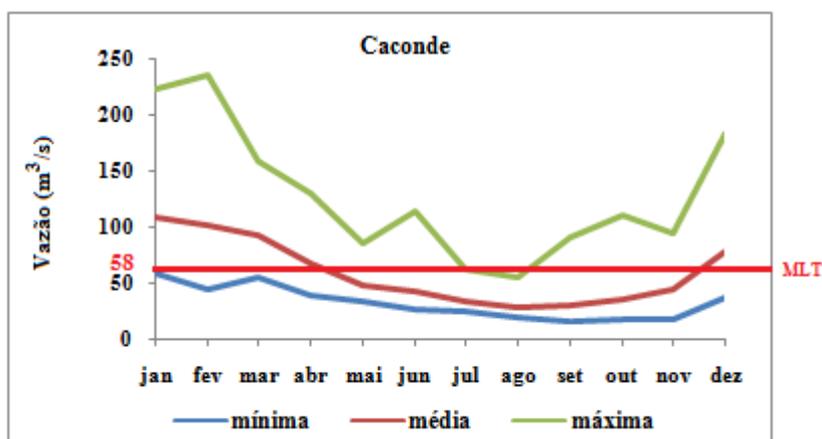
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

Outra maneira de analisar o comportamento dessas vazões diárias, para verificar se a variação positiva (ou negativa) de uma delas está associada a uma variação positiva (ou negativa) da outra, ou, mesmo se não há nenhuma forma de dependência entre elas, foi a elaboração de diagramas de dispersão. Neles, visualizou-se o grau de associação entre as vazões e a tendência de variação conjunta que elas apresentaram. Optou-se, aqui, por apresentar apenas alguns diagramas de dispersão obedecendo à ordem decrescente dos coeficientes de determinação (Figura 22).

#### 5.4.2 Vazão mínima, média e máxima

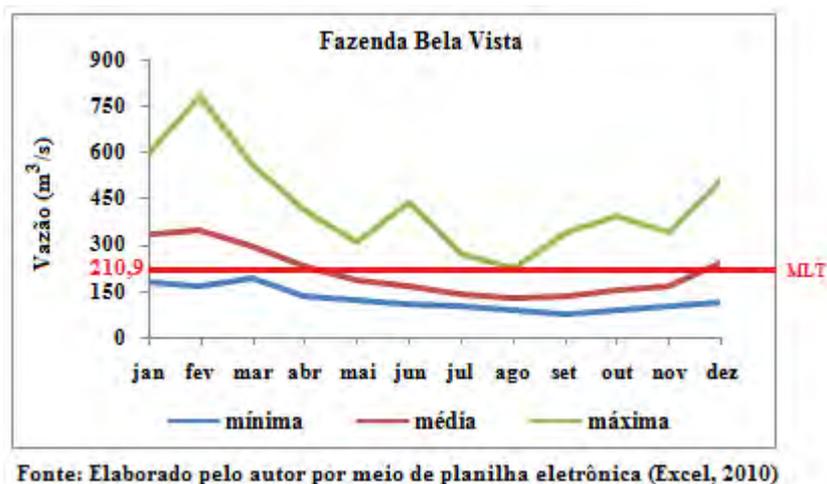
A análise do comportamento da vazão de um rio pode ser feita por meio da vazão mínima, média e máxima das vazões mensais do período. Cada valor mensal de vazão é obtido por meio da média aritmética das vazões diárias ocorridas naquele mês. A partir da curva gerada pela vazão média e da média de longo prazo, MLT (média aritmética das vazões diárias, ocorridas no período de 1974 a 1999), é possível definir o período seco e chuvoso. Quando a média mensal está abaixo da média de longo prazo o período é seco, em caso contrário o período é chuvoso. No caso do Rio Pardo, a MLT do período em estudo, nos postos fluviométricos Caconde, Euclides da Cunha, Armando de Salles Oliveira, Clube Regatas e Fazenda Bela Vista são, respectivamente, iguais a: 58 m<sup>3</sup>/s, 92,1 m<sup>3</sup>/s, 93,6 m<sup>3</sup>/s, 187,4 m<sup>3</sup>/s e 210,9 m<sup>3</sup>/s. As curvas das vazões médias em cada posto indicam que o período seco se inicia em meados de abril e termina em meados de novembro. As Figuras, 23 e 24, ilustram, respectivamente, as curvas de vazão mínima, média e máxima dos postos pluviométricos de Caconde e Fazenda Bela Vista.

**Figura 23** - Curvas da vazão mínima, média e máxima no posto de Caconde.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (Excel, 2010)

**Figura 24** - Curvas da vazão mínima, média e máxima no posto Fazenda Bela Vista.



## 5.5 Relações entre chuva e vazão na bacia do Rio Pardo

Bacia hidrográfica é a área de captação natural dos fluxos de água, originados a partir da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório. Essa relação entre chuva e vazão, estabelecida pela própria definição de bacia hidrográfica, é o assunto que será explorado nesse item.

### 5.5.1 Valores estimados de vazão por meio da chuva anual

Considerando-se que parte da chuva precipitada em uma bacia escoar para o seu exutório, o que se pretende é relacionar a chuva média anual, que ocorreu na bacia do Rio Pardo, no período de 1974 a 1999, com a vazão média anual no posto fluviométrico Fazenda Bela Vista. A escolha desse posto é devido à sua proximidade ao exutório o que permite comparar o volume médio anual precipitado (entrada) ao volume médio anual escoado (saída).

#### 5.5.1.1 Conversão de unidades

A altura pluviométrica é a espessura média da lâmina de água precipitada, que recobriria a região atingida pela precipitação, admitindo-se que essa água não evaporasse, não infiltrasse, nem se escoasse para fora dos limites da região. A unidade de medida habitual é o

milímetro de chuva, que corresponde ao volume de um litro de água por metro quadrado de superfície (TUCCI, 2009).

No período de um ano, se houvesse uma chuva de  $P$  mm, sobre uma bacia hidrográfica com  $A$  km<sup>2</sup> de área, a lâmina de água de altura  $P$  mm, distribuída uniformemente sobre essa bacia hidrográfica, equivaleria ao volume precipitado em um ano igual a (BARROS; ZAMBON, [20--?]):

$$Volume = A \cdot P \cdot km^2 \cdot mm \quad (5.1)$$

Fazendo-se as transformações necessárias de quilômetro (km) e milímetro (mm) em metros (m), tem-se:

$$Volume = A \cdot P \cdot 10^6 \cdot m^2 \cdot 10^{-3} \cdot m \quad (5.2)$$

Assim, o volume precipitado seria igual a:

$$Volume = A \cdot P \cdot 10^3 \cdot m^3 \quad (5.3)$$

A vazão equivalente a esse volume seria igual a:

$$Vazão = \frac{Volume}{1 \text{ ano}} \quad (5.4)$$

Essa vazão para um ano de 365 dias, cada dia com 24 horas e cada hora com 3600 segundos ( $s$ ) seria igual a:

$$Vazão = \frac{A \cdot P \cdot 10^3 \cdot m^3}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot s} \quad (5.5)$$

Com as transformações matemáticas necessárias, tem-se:

$$Vazão = \frac{A \cdot P \cdot m^3}{31536 \cdot s} \quad (5.6)$$

Como exemplo, a chuva média anual igual a 1590,6 mm, precipitada sobre uma bacia hidrográfica com área de drenagem igual a 8991,02 km<sup>2</sup> equivaleria a uma vazão média anual igual a:

$$Vazão = \frac{8991,02 \cdot 1590,6 \cdot m^3}{31536 \cdot s} \quad (5.7)$$

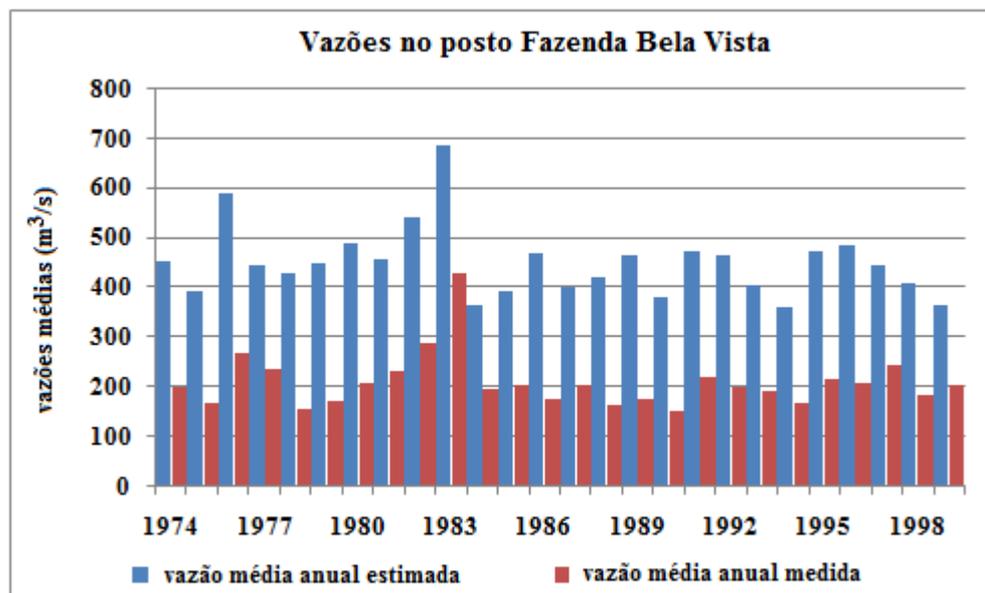
$$Vazão = 453,5 m^3/s \quad (5.8)$$

Considerando-se que os dados do exemplo anterior se referem aos da bacia hidrográfica do Rio Pardo no ano de 1974, o valor estimado de vazão média anual,  $453,5 m^3/s$ , é bem diferente do valor medido no posto Fazenda Bela Vista (próximo ao exutório),  $202,8 m^3/s$  (Tabela 11). Isso se deve ao fato de que parte da água precipitada em uma bacia se infiltra profundamente, evapora-se e escoar-se para fora dos limites dessa bacia.

### 5.5.1.2 Valores estimados de vazão no posto Fazenda Bela Vista

Para cada ano do período de chuva média anual da bacia, estimou-se, por meio da fórmula (5.6) a vazão média anual que deveria ocorrer no posto fluviométrico Fazenda Bela Vista, considerando-se a área de drenagem igual a  $8991,02 km^2$ . Os valores estimados e medidos nesse posto foram comparados e apresentaram diferenças visíveis entre eles (Figura 25).

**Figura 25** - Vazão média anual estimada e vazão média anual medida.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Tabela 11** - Dados de chuva na bacia e vazão no exutório do Rio Pardo, desde 1974 a 1999.

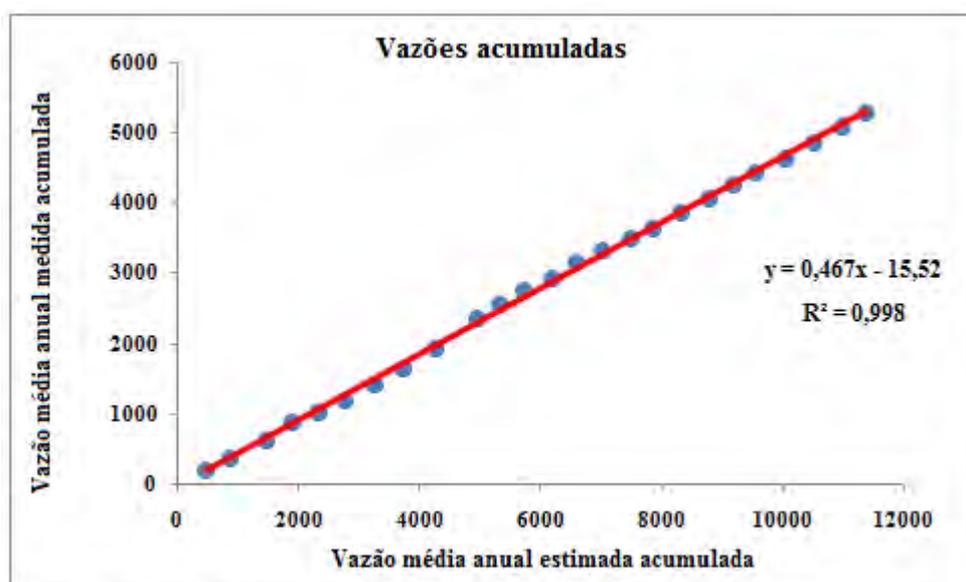
período (ano)	chuva média anual (mm)	Vazão média anual (m <sup>3</sup> /s)				
		estimada	medida	estimada ajustada	estimada acumulada	medida acumulada
1974	1590,6	453,5	202,8	211,8	453,5	202,8
1975	1385,3	395	168,7	184,5	848,5	371,5
1976	2070,5	590,3	267,8	275,7	1438,8	639,3
1977	1568	447	239,1	208,7	1885,8	878,4
1978	1506,2	429,4	156,9	200,5	2315,2	1035,3
1979	1572,3	448,3	171,6	209,4	2763,5	1206,9
1980	1717,4	489,6	209,6	228,6	3253,1	1416,5
1981	1600,7	456,4	231,9	213,1	3709,5	1648,4
1982	1905,2	543,2	287,5	253,7	4252,7	1935,9
1983	2406,3	686	428,5	320,4	4938,7	2364,4
1984	1282,6	365,7	195	170,8	5304,4	2559,4
1985	1374,9	392	203,1	183,1	5696,4	2762,5
1986	1643,1	468,5	175	218,8	6164,9	2937,5
1987	1416,8	403,9	204,5	188,6	6568,8	3142
1988	1485,4	423,5	166,2	197,8	6992,3	3308,2
1989	1640	467,6	177,8	218,4	7459,9	3486
1990	1336,5	381	154,5	177,9	7840,9	3640,5
1991	1663,8	474,4	219,5	221,5	8315,3	3860
1992	1634,8	466,1	200,6	217,7	8781,4	4060,6
1993	1422,6	405,6	192	189,4	9187	4252,6
1994	1269,1	361,8	168,3	169	9548,8	4420,9
1995	1661,7	473,8	215,9	221,3	10022,6	4636,8
1996	1706,7	486,6	209,2	227,2	10509,2	4846
1997	1564,2	446	245,9	208,3	10955,2	5091,9
1998	1444,2	411,7	186,2	192,3	11366,9	5278,1
1999	1282,3	365,6	206,3	170,7	11732,5	5484,4
<b>média plurianual</b>	1582,7	451,3	<b>210,9</b>	<b>210,7</b>		

Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

### 5.5.1.3 Valores ajustados de vazão no posto Fazenda Bela Vista

As razões dessas diferenças podem estar relacionadas às ações antrópicas, evaporações, evapotranspirações e infiltrações profundas. Com o objetivo de ajustá-las recorreu-se ao Método da Dupla Massa para estabelecer a relação entre as vazões médias anuais medidas e estimadas. Calcularam-se, então, os valores acumulados das vazões médias anuais medidas e estimadas e, para verificar a correlação entre essas variáveis, obteve-se a reta de regressão delas (Figura 26).

**Figura 26** - Reta de regressão da vazão média anual estimada acumulada (y) pela vazão média anual medida acumulada (x).



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

A equação dessa reta de regressão definida por:

$$\bar{Q}_{medida\ acumulada} = (0,467\bar{Q}_{estimada\ acumulada} - 15,52) m^3/s \quad (5.9)$$

relaciona, linearmente, a vazão média anual medida acumulada com a vazão média anual estimada acumulada, representados, respectivamente por,  $\bar{Q}_{medida\ acumulada}$  e  $\bar{Q}_{estimada\ acumulada}$  com um coeficiente de determinação igual a  $R^2 = 0,998$ . O coeficiente angular dessa reta de regressão estabelece a relação entre os valores das vazões médias anuais medidas, no posto Fazenda Bela Vista, e os valores das vazões médias anuais estimadas, indicando que a vazão média anual estimada ajustada pode ser obtida com 46,7% da vazão

média anual estimada. Usou-se esse coeficiente angular 0,467 (46,7%) para ajustar as vazões médias anuais estimadas. A essas vazões aplicou-se o fator de correção 0,467, para obter a vazão média anual estimada ajustada, por meio da fórmula:

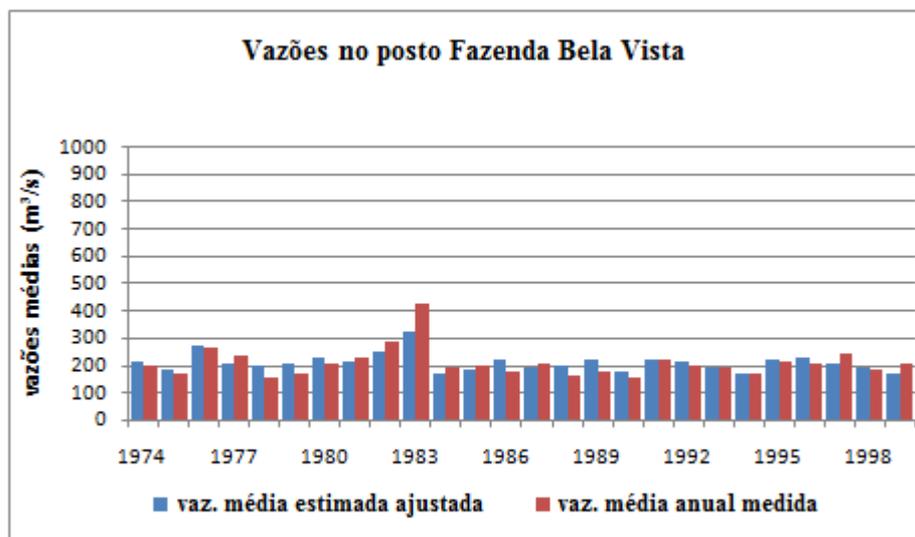
$$\bar{Q}_{estimada\ ajustada} = \frac{A \cdot P \cdot 0,467 \text{ m}^3}{31536 \cdot s} \text{ m}^3/s \quad (5.10)$$

Para a área de drenagem da bacia do Rio Pardo  $A = 8991,02 \text{ km}^2$  a fórmula (5.10) passa a ser escrita assim:

$$\bar{Q}_{estimada\ ajustada} = 0,13314 \cdot P \text{ m}^3/s \quad (5.11)$$

Com essa fórmula, obtiveram-se as vazões médias anuais estimadas ajustadas para todos os anos do período 1974-1999 (Tabela 11). As diferenças entre os valores medidos e estimados ajustados diminuíram visivelmente (Figura 27).

**Figura 27** - Histograma das vazões médias anuais estimadas ajustadas e medidas.

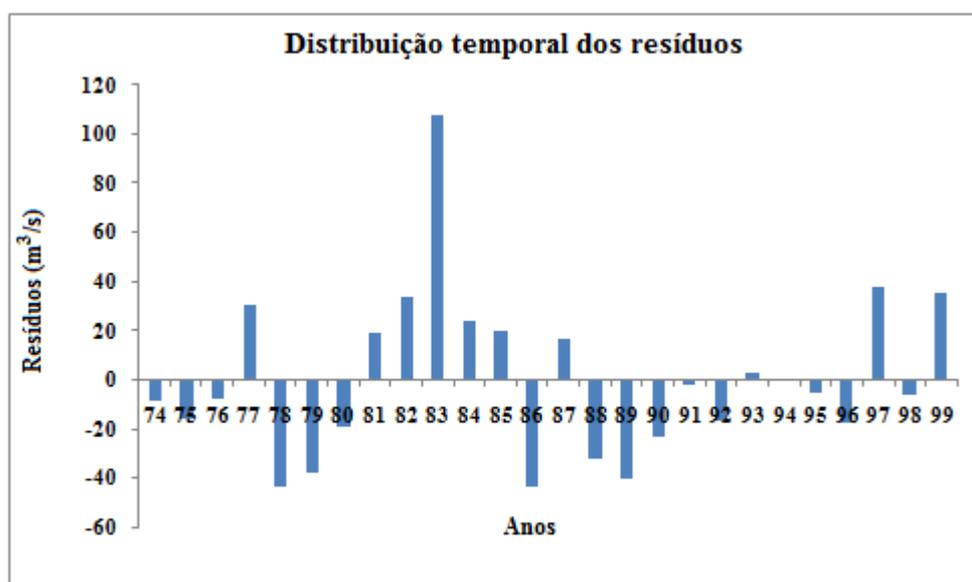


Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

Buscou-se pela análise de correlação estabelecer o grau de relação entre a vazão média anual estimada ajustada e a vazão média anual medida (LATTIN; CARROLL; GREEN 2011). O resultado foi um coeficiente de correlação igual a 0,846, obtido por meio do teste de correlação de Pearson com índice de significância igual a 0,05 (XLSTAT, 2011), (BUSSAB, MORETTIN, 2002). Com esse coeficiente, estabeleceu-se uma relação em que a vazão média

anual estimada ajustada no posto Fazenda Bela Vista pode ser obtida calculando-se 13,314% da chuva média anual ocorrida na bacia do Rio Pardo. Os resíduos obtidos, subtraindo-se a vazão média anual estimada ajustada da vazão média anual medida, mostraram a variabilidade dessa média, no período, indicando que, ela foi subestimada, nos maiores resíduos positivos e, superestimadas, nos menores resíduos negativos (Figura 28).

**Figura 28** - Resíduos obtidos, subtraindo-se a vazão média anual estimada ajustada da vazão média anual medida.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

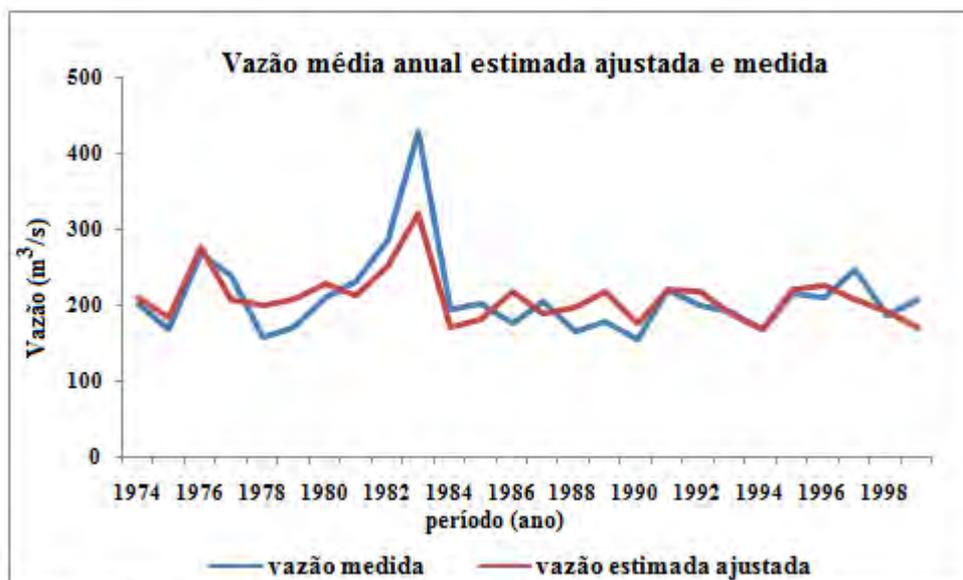
#### 5.5.1.4 Vazões estimadas ajustadas e medidas no posto Fazenda Bela Vista

O volume de água precipitado em uma bacia, excluídos os evaporados os transpirados e os infiltrados profundamente, escoam pelo exutório de uma bacia (TUCCI, 2009).

A chuva média anual, precipitada na bacia do Rio Pardo, transformada em vazão e representada pela vazão média anual estimada ajustada, quando comparada com a vazão média anual medida no posto Fazenda Bela Vista, que está muito próximo do exutório da bacia, demonstrou ter comportamento semelhante. Conforme se observa na Figura 29, as curvas representativas dessas duas vazões crescem e decrescem concomitantemente, na maioria dos anos do período e divergem em outros. Isso significa que, na maioria do período

analisado, a vazão responde à chuva com um mesmo sinal, ou seja, um volume maior precipitado corresponde a um volume maior escoado e vice-versa.

**Figura 29** - Curvas das vazões médias anuais estimadas ajustadas e medidas, no posto Fazenda Bela Vista no período de 1974 a 1999.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

Quando se compara a média plurianual das vazões médias anuais estimadas ajustadas, que é igual a  $210,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , com a das vazões médias anuais medidas, que é igual a  $210,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , ambas calculadas para o período 1974 a 1999, observa-se que são valores muito próximos o que permite entender que o método utilizado foi adequado. Por meio dele foi possível estabelecer uma relação entre a chuva média anual e a vazão média anual do período de 13,3%, ou seja, do volume médio anual que precipitou sobre a bacia do Rio Pardo, 13,3% escoaram pelo exutório.

### 5.5.2 Efeitos dos períodos seco e chuvoso na vazão do Rio Pardo

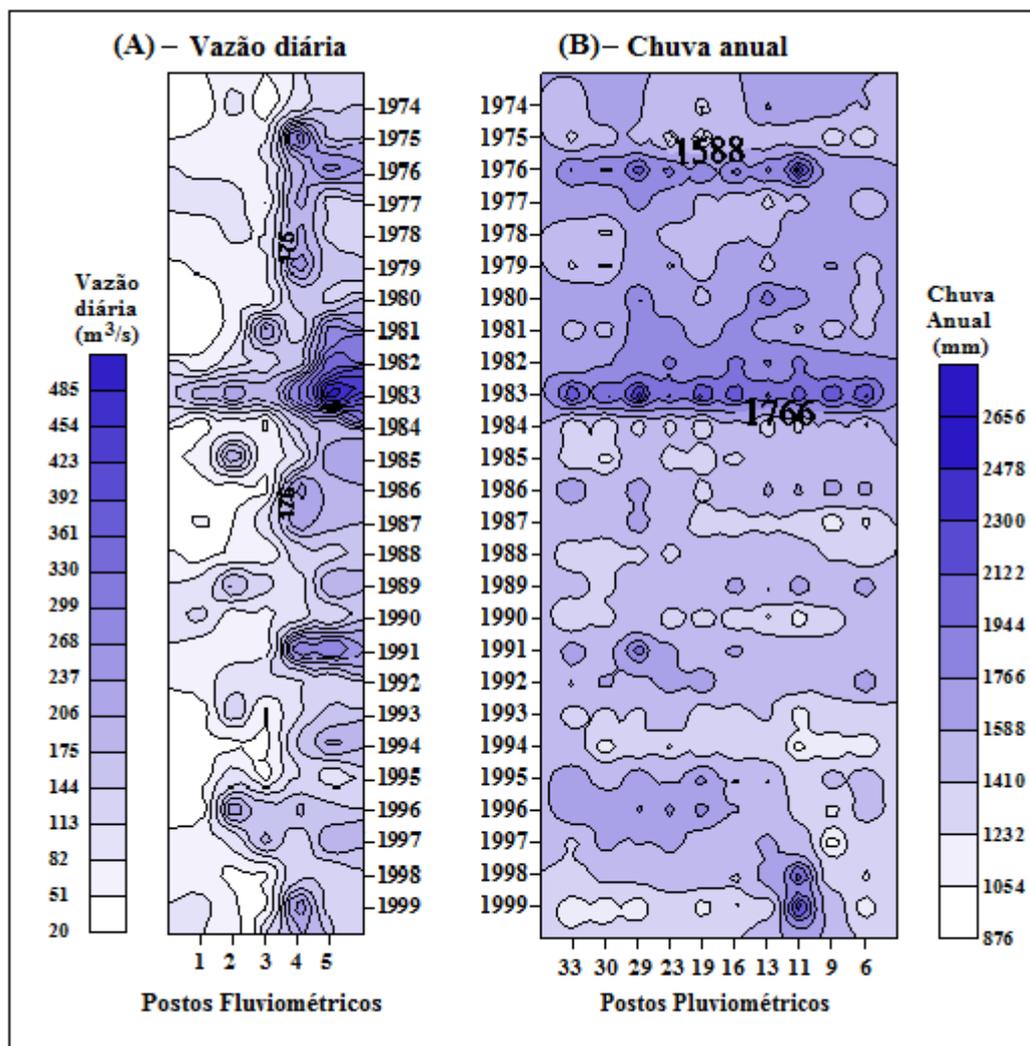
As séries das chuvas anuais e das vazões diárias foram utilizadas para gerar dois painéis temporais espaciais (ZAVATINNI; BOIN, 20103), por meio da interpolação pelo método do inverso do quadrado da distância com uso do Surfer 8 (SURFER, 2002). Com as vazões diárias, que ocorreram nos 5 postos fluviométricos (TABELA 5), distribuídos ao longo do Rio Pardo, gerou-se um painel (Figura 30-A), considerando-se como variável de interpolação a vazão diária, como ordenadas dessas variáveis os anos em que ocorreram essas vazões e como abscissas os postos fluviométricos. De forma semelhante utilizaram-se as chuvas anuais que ocorreram nos postos pluviométricos, 33, 30, 29, 23, 19, 16, 13, 11, 9 e 6 próximos ao leito do Rio Pardo, para gerar o outro painel (Figura 30-B). Considerou-se, para isso, a chuva anual como variável de interpolação, os postos pluviométricos escolhidos como abscissas e os anos em que ocorreram essas chuvas como ordenadas. Na escolha desses postos pluviométricos levaram-se em consideração as chuvas que ocorreram na bacia, no sentido de noroeste para sudoeste, próximas ao leito do Rio Pardo, e que tivessem o mesmo sentido da vazão desse rio.

Nos painéis os postos fluviométricos e pluviométricos escolhidos, obedecem ao sentido de sudoeste para nordeste que está de acordo com a posição dos postos no eixo das abscissas: da esquerda para a direita, ou seja, o crescimento dos números dos postos fluviométricos e o decréscimo dos pluviométricos obedecem ao sentido de sudoeste para nordeste.

No painel das chuvas anuais (Figura 30-B), de 1974 a 1983 observa-se a presença da tonalidade azul escuro e de 1984 a 1999, a tonalidade azul claro, na maioria dos postos pluviométricos indicando, respectivamente, um período mais chuvoso e menos chuvoso. Também na planilha cromática (Quadro 2) isso é observado, com o ano de 1983 separando o período mais chuvoso, 1974 a 1983, de um período mais seco, 1984 a 1999. No painel das vazões diárias (Figura 30-A), esses dois períodos também são notados mostrando a resposta da vazão a eles. A presença de mais cores azul escuro no período de 1974 a 1983 do que no outro (1984 a 1999) evidencia um crescimento nas vazões.

O Método de Pettitt, explanado na subseção seguinte, confirma essa mudança de comportamento da vazão, dando razões para estabelecer a influência dos períodos seco e chuvoso, na vazão do rio principal da bacia, o Rio Pardo.

**Figura 30** – Painéis temporais espaciais das vazões diárias que ocorreram nos postos fluviométricos 1, 2, 3, 4 e 5 e das chuvas anuais que ocorreram nos postos pluviométricos 33, 30, 29, 23, 19,16, 13, 11, 9 e 6, no período de 1974 a 1999.

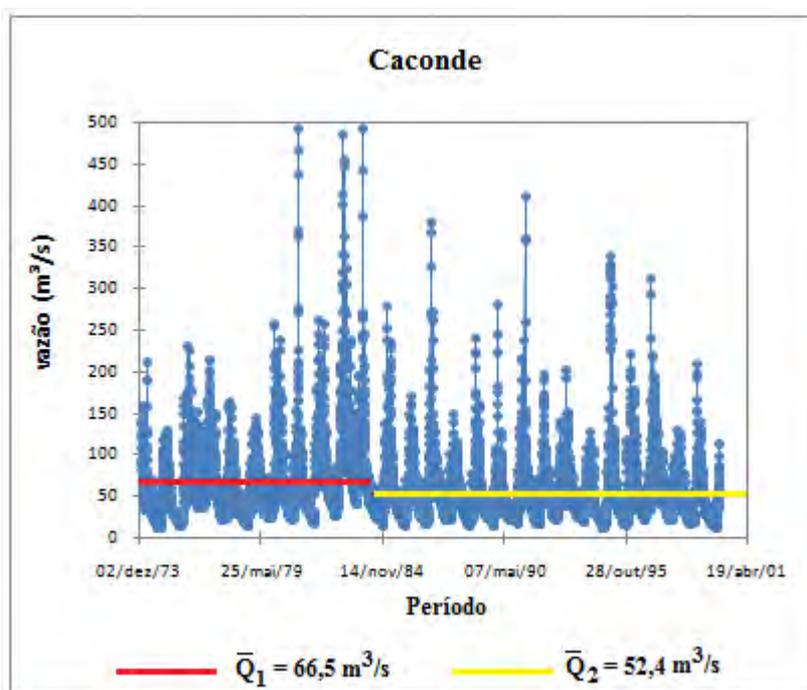


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do Surfer 8 (SURFER, 2002)

### 5.5.3 Mudança de comportamento de vazão provocada por períodos seco e chuvoso

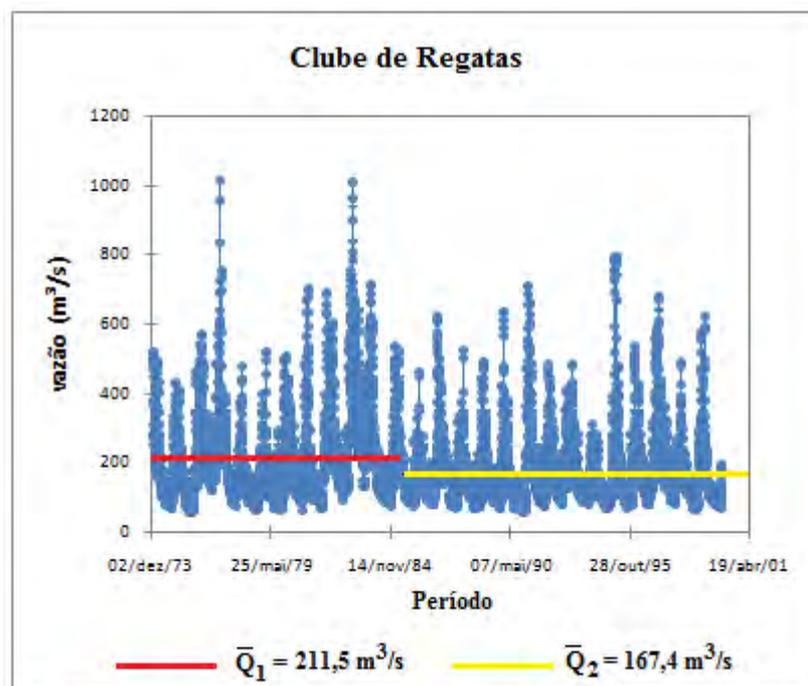
O teste de Pettitt é reconhecido, na literatura, como uma ferramenta que identifica, sobretudo, rupturas, de tendências, em uma série temporal com um determinado nível de significância. Neste trabalho, o nível de significância considerado foi de 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e o número de simulações, usando o Método de Monte Carlo (BUSSAB; MORETTIN, 2002), foram 10000 (XLSTAT, 2011). Verificou-se, por meio desse teste, que as séries de vazão diária dos postos fluviométricos de Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista não puderam ser consideradas homogêneas, ao longo do tempo, uma vez que em todas elas, ocorreu uma alteração na média. No posto de Caconde (Figura 31), localizado a montante do Rio Pardo, a alteração da média, de  $66,5 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $52,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , ocorreu em 22 de maio de 1984. No posto Clube de Regatas, a alteração da média ocorreu de  $211,5 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $167,4 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 32), e no posto de Fazenda Bela Vista ocorreu de  $234,2 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $191,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 33). Em ambos localizados, à jusante do rio, essas alterações ocorreram em 15 de junho de 1985, um ano depois da alteração ocorrida no posto de Caconde. Em cada posto, as médias diminuíram, aproximadamente, 20%.

**Figura 31** - Gráfico das vazões diárias no posto Caconde com ruptura da média em 22 de maio de 1984 e nível de significância menor que 5%.



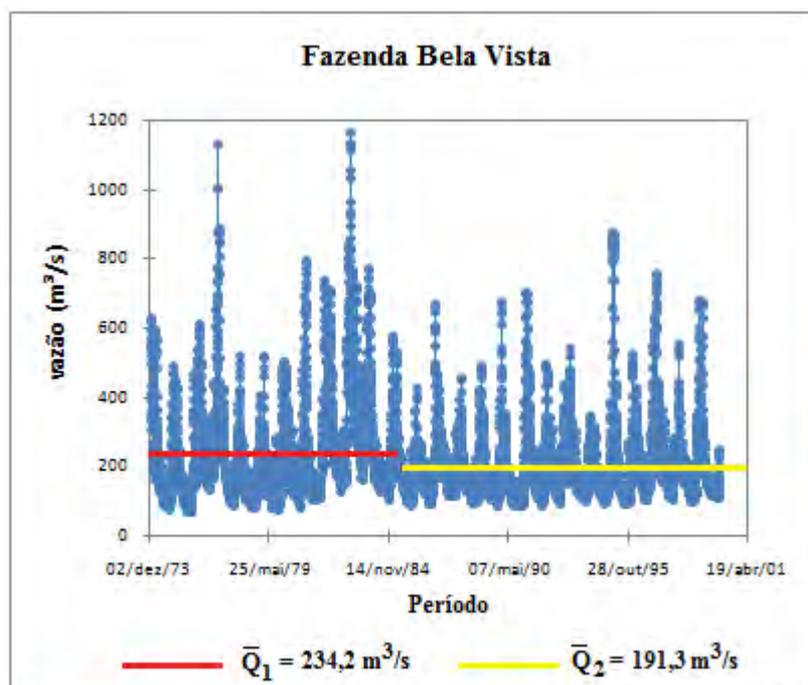
Fonte: Elaborado pelo autor por meio software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 32** - Gráfico das vazões diárias no posto Clube de Regatas com ruptura da média em 15 de junho de 1985 com nível de significância menor que 5%.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 33** - Gráfico das vazões diárias no posto Fazenda Bela Vista com ruptura da média em 15 de junho de 1985 com nível de significância menor que 5%.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio software estatístico (XLSTAT, 2011)

## 5.6 Análise da chuva e vazão nos anos padrão

As chuvas e as vazões, que ocorreram na bacia do Rio Pardo nos anos 1983 - “ano chuvoso”, 1995 - “ano chuvoso” e 1999 - “ano seco” serão, nesta seção, analisadas e comparadas.

### 5.6.1 Curvas de permanência e histogramas de vazão

As curvas de permanência foram elaboradas classificando-se as vazões diárias dos postos fluviométricos do Rio Pardo em intervalos de classes com amplitudes sugeridas pelo Método de Sturges. O limite inferior de cada intervalo de classe foi relacionado à frequência relativa desse intervalo. Depois de criada essa relação para todos os intervalos de classes eles foram ordenados observando-se o decrescimento dos limites inferiores dessa relação. Acumularam-se os valores das frequências relativas obedecendo a essa ordem. A relação frequência acumulada e limite inferior geraram a curva de permanência. No plano cartesiano, o eixo horizontal representa as frequências relativas acumuladas, indicando o tempo em que a vazão é igualada ou excedida, e o eixo vertical representa os limites inferiores dos intervalos de classe, expressos na unidade  $m^3/s$ . Aos pontos do plano cartesiano associaram-se curvas de tendências exponenciais e suas respectivas equações e coeficientes de determinação (Tabela 12 e 13), (BUSSAB; MORETTIN, 2002).

No estudo da vazão, optou-se por dividir a amplitude total da vazão de cada posto em intervalos de classes com amplitudes de mesmo valor. A partir disto, calcularam-se as curvas de permanência e os histogramas da vazão diária, respeitando o valor máximo e mínimo de cada posto, para obtenção dos intervalos. Dividiu-se então a amplitude total das vazões de cada posto pluviométrico por 10 (STURGES, 1926), para obtenção das amplitudes desses intervalos.

Entre os cinco postos fluviométricos existentes, optou-se por calcular as curvas de permanência e os histogramas de vazão de três postos: Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista. Os outros dois postos, Euclides da Cunha e Armando de Salles Oliveira, foram descartados por apresentarem alto índice de correlação (Tabela 10) com as vazões diárias do posto de Caconde.

### 5.6.2 Vazão diária em 1995 - “ano habitual”

No ano de 1995, no posto Caconde, os valores mínimos e máximos de vazão diária, respectivamente, iguais a  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $339 \text{ m}^3/\text{s}$  definiram a amplitude de  $33 \text{ m}^3/\text{s}$ , em cada intervalo de classe; no posto Clube de Regatas, os valores mínimos e máximos de vazão diária, respectivamente, iguais a  $66 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $794 \text{ m}^3/\text{s}$  definiram a amplitude de  $73 \text{ m}^3/\text{s}$  em cada intervalo de classe e, no posto Fazenda Bela Vista, os valores mínimos e máximos de vazão, respectivamente, iguais a  $88 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $875 \text{ m}^3/\text{s}$  definiram a amplitude de  $79 \text{ m}^3/\text{s}$ , em cada intervalo de classe. Na elaboração dos histogramas, por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011), os valores mínimos das séries de vazão dos postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista foram substituídos, respectivamente, por  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $86 \text{ m}^3/\text{s}$  e os máximos, respectivamente, por  $342 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $795 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $876 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 5.6.2.1 Análise da vazão

A curva de permanência, referente ao ano de 1995, revelou que no posto de Caconde (Figura 34) 10% da vazão, ou seja, aproximadamente 36 dias do ano a marca de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (valor aproximado) foi atingida ou superada. O valor superado está limitado pela vazão igual à marca de  $339 \text{ m}^3/\text{s}$ . No tempo restante, a vazão oscilou entre essa marca de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  e a mínima de  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  sugerindo que, nesse intervalo, essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 37), referente a esse mesmo posto fluviométrico, as vazões diárias estão melhores detalhadas e nele se observou que nesses 90% das vazões diárias, que ocorreram no ano de 1995, 59% (213 vazões), variaram entre  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ , 20% (76 vazões) variaram entre  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $78 \text{ m}^3/\text{s}$  e 11% (41 vazões) entre  $78 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $111 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das vazões restantes acima de  $111 \text{ m}^3/\text{s}$ , aproximadamente 3% (12 vazões) excederam a marca de  $276 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esses dados demonstraram que, no ano de 1995, considerado nesse estudo como habitual, a vazão diária do Rio Pardo, que predominou em 90% do tempo, oscilou entre  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $111 \text{ m}^3/\text{s}$ . No tempo restante, ela oscilou entre  $111 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $342 \text{ m}^3/\text{s}$  quando os valores extremos aconteceram acima de  $276 \text{ m}^3/\text{s}$ . Com os resultados aqui observados, as vazões acima de  $276 \text{ m}^3/\text{s}$  podem ser consideradas, excepcionais e as vazões entre  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $111 \text{ m}^3/\text{s}$  habituais.

No posto Clube de Regatas, a curva de permanência (Figura 35) revelou que 10% da vazão, aproximadamente 36 dias do ano, a marca de  $350 \text{ m}^3/\text{s}$  (valor aproximado) foi igualada ou superada. O valor superado está limitado pela vazão de  $794 \text{ m}^3/\text{s}$ . No tempo

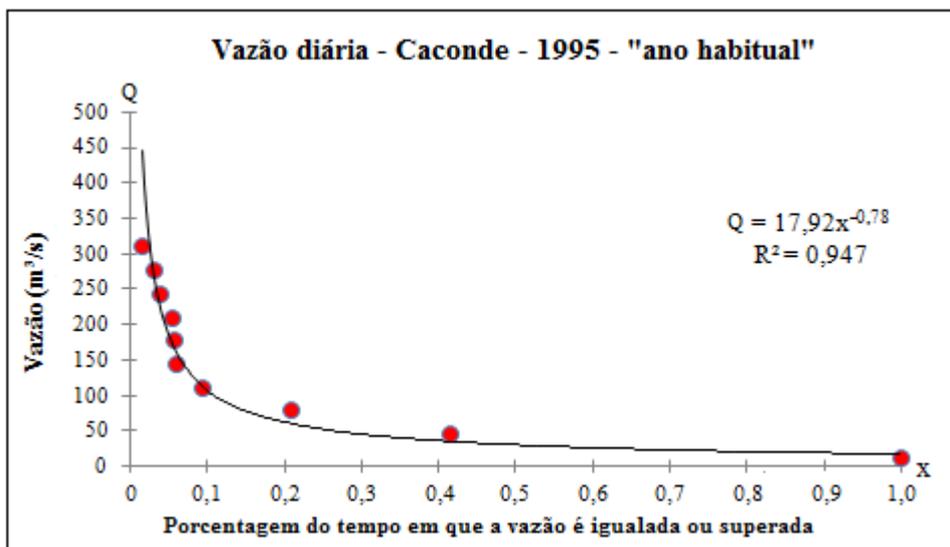
restante a vazão oscilou entre essa marca de 350 m<sup>3</sup>/s e a mínima do posto, que é igual a 66 m<sup>3</sup>/s sugerindo que nesse intervalo essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 38), referente a esse mesmo posto fluviométrico, as vazões diárias estão mais bem detalhadas e nele se observou que, nesses 90% das vazões diárias que ocorreram no ano de 1995, 53% (193 vazões) variaram entre 65 m<sup>3</sup>/s e 138 m<sup>3</sup>/s, 20% (74 vazões) variaram entre 138 m<sup>3</sup>/s e 211 m<sup>3</sup>/s, 10% (36 vazões) entre 211 m<sup>3</sup>/s e 284 m<sup>3</sup>/s e 6% (23 vazões) entre 284 m<sup>3</sup>/s e 357 m<sup>3</sup>/s. Das vazões restantes, acima de 357 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente 5% (17 vazões) excederam a marca de 722 m<sup>3</sup>/s. Esses dados demonstraram que, no ano de 1995, considerado nesse estudo como habitual, a vazão diária do Rio Pardo que predominou em 90% do tempo oscilou entre 65 m<sup>3</sup>/s e 357 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante ela oscilou entre 357 m<sup>3</sup>/s e 795 m<sup>3</sup>/s quando os valores extremos aconteceram acima de 722 m<sup>3</sup>/s. Com os resultados aqui observados, as vazões acima de 722 m<sup>3</sup>/s podem ser consideradas excepcionais e as vazões entre 65 m<sup>3</sup>/s e 357 m<sup>3</sup>/s, habituais.

No posto Fazenda Bela Vista, a curva de permanência (Figura 36) revelou que 10% da vazão, aproximadamente 36 dias do ano, a marca de 400 m<sup>3</sup>/s (valor aproximado) foi igualada ou superada. O valor superado está limitado pela vazão igual à marca de 875 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, a vazão oscilou entre essa marca de 400 m<sup>3</sup>/s e a mínima do posto, que é igual a 88 m<sup>3</sup>/s sugerindo que, neste intervalo essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 39), referente a esse mesmo posto fluviométrico as vazões diárias estão mais bem detalhadas e nele, se observou que, nesses 90% das vazões diárias que ocorreram no ano de 1995, 57% (208 vazões) variaram entre 86 m<sup>3</sup>/s e 165 m<sup>3</sup>/s, 20% (72 vazões) variaram entre 165 m<sup>3</sup>/s e 244 m<sup>3</sup>/s, 10% (37 vazões) entre 244 m<sup>3</sup>/s e 323 m<sup>3</sup>/s e 5% (17 vazões) entre 323 m<sup>3</sup>/s e 402 m<sup>3</sup>/s. Das vazões restantes, acima de 402 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente 4% (16 vazões) excederam a marca de 797 m<sup>3</sup>/s. Esses dados demonstraram que, no ano de 1995, considerado nesse estudo como habitual, a vazão diária do Rio Pardo que predominou em 90% do tempo oscilou entre 86 m<sup>3</sup>/s e 402 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, ela oscilou entre 402 m<sup>3</sup>/s e 876 m<sup>3</sup>/s quando os valores extremos aconteceram acima de 797 m<sup>3</sup>/s. Com os resultados aqui observados, as vazões acima de 797 m<sup>3</sup>/s podem ser consideradas excepcionais e as vazões entre 86 m<sup>3</sup>/s e 402 m<sup>3</sup>/s habituais.

Nos três postos abordados, em 90% do tempo, as vazões oscilaram entre intervalos que, em cada posto, delimitaram as vazões que mais aconteceram no ano de 1995. Observou-se que em, aproximadamente, 90% do tempo no posto Caconde as vazões oscilaram entre 12 m<sup>3</sup>/s e 111 m<sup>3</sup>/s, no posto Clube de Regatas entre 65 m<sup>3</sup>/s e 357 m<sup>3</sup>/s e no posto Fazenda Bela Vista entre 86 m<sup>3</sup>/s e 402 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, as maiores vazões

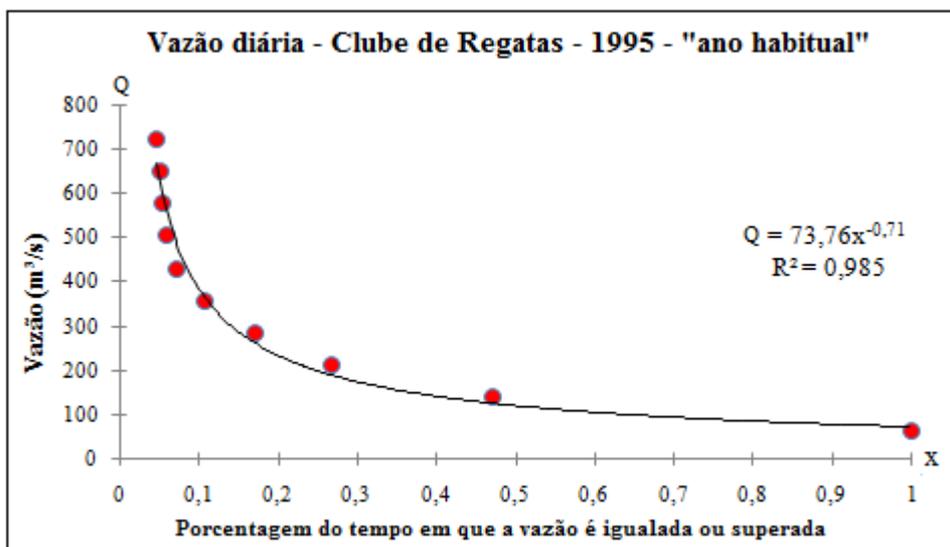
excederam a marca de 276 m<sup>3</sup>/s no posto Caconde, 722 m<sup>3</sup>/s no Clube de Regatas e 876 m<sup>3</sup>/s no posto de Fazenda Bela Vista.

**Figura 34** - Curva de permanência da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1995, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



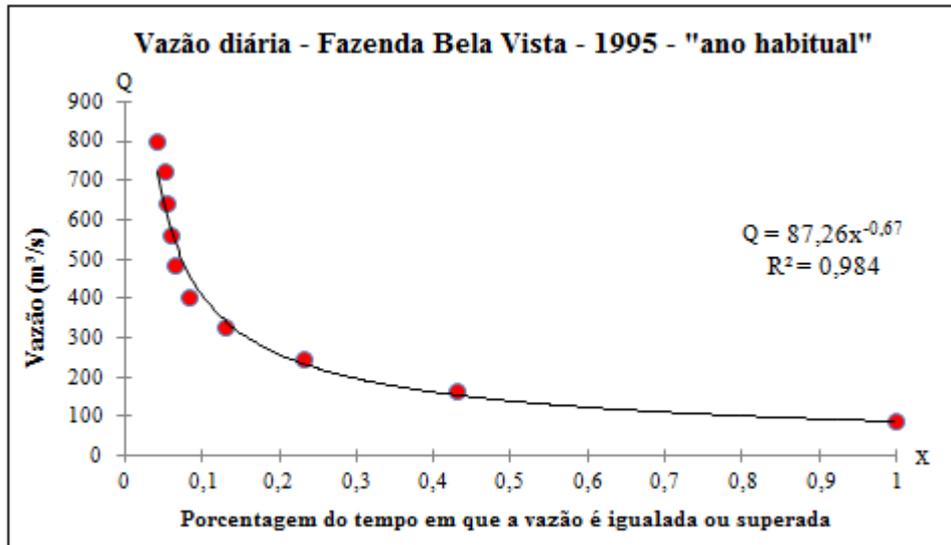
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 35** - Curva de permanência da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1995, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



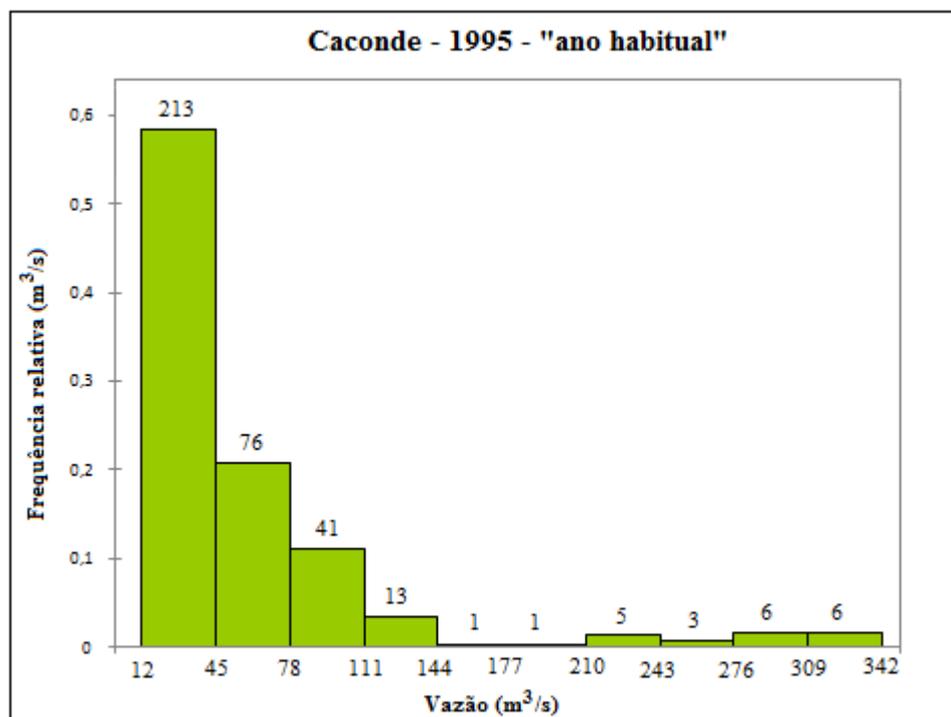
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 36** - Curva de permanência da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1995, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



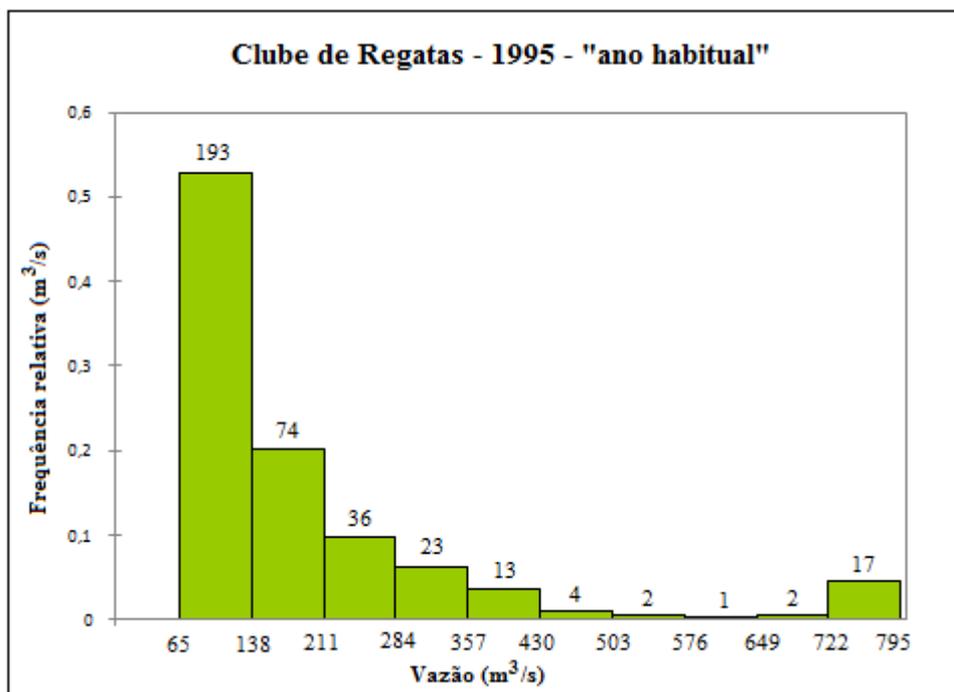
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 37** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1995, com intervalos de classe sugeridos pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.



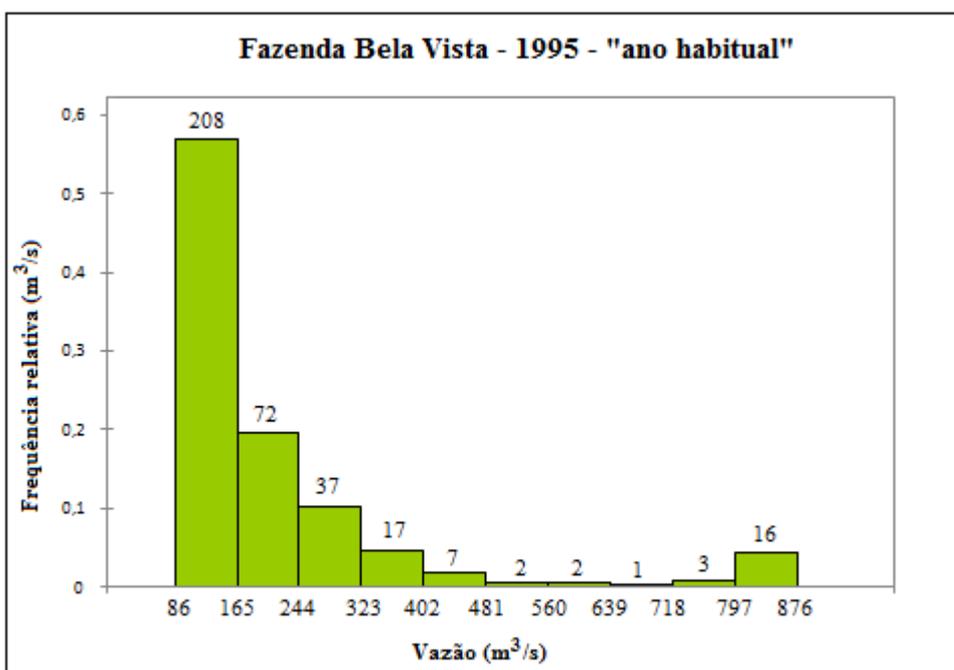
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 38** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1995, com intervalos de classe sugeridos pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 39** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1995, com intervalos de classe sugeridos pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

### 5.6.3 Vazão diária em 1983 - “ano chuvoso”

No ano de 1983, no posto Caconde, os valores mínimos e máximos de vazão diária, respectivamente, iguais a  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $493 \text{ m}^3/\text{s}$ , definiram a amplitude de  $46 \text{ m}^3/\text{s}$  em cada intervalo de classe; no posto Clube de Regatas, os valores mínimos e máximos de vazão diária, respectivamente, iguais a  $128,26 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1010,98 \text{ m}^3/\text{s}$ , definiram a amplitude de  $89 \text{ m}^3/\text{s}$  em cada subintervalo e, no posto da Fazenda Bela Vista, os valores mínimos e máximos de vazão, respectivamente, iguais a  $159,32 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1166,86 \text{ m}^3/\text{s}$  definiram a amplitude de  $101 \text{ m}^3/\text{s}$  em cada intervalo de classe. Na elaboração dos histogramas, por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011), os valores mínimos das séries de vazão dos postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista foram substituídos, respectivamente, por  $38 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $127 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $158 \text{ m}^3/\text{s}$  e os máximos, respectivamente, por  $494 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $1017 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1168 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 5.6.3.1 Análise da vazão

A curva de permanência, referente ao ano de 1983, revelou que no posto de Caconde (Figura 40) 10% da vazão, ou seja, aproximadamente 36 dias do ano a marca de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  (valor aproximado) foi atingida ou superada. O valor superado está limitado pela vazão igual à marca de  $493 \text{ m}^3/\text{s}$ . No tempo restante, a vazão oscilou entre essa marca de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  e a mínima de  $128,26 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que sugere que, nesse intervalo, essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 43) referente a esse mesmo posto fluviométrico, as vazões diárias estão mais bem detalhadas e nele se observou que, nesses 90% das vazões diárias que ocorreram no ano de 1983, 40% (145 vazões) variaram entre  $38 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $84 \text{ m}^3/\text{s}$ , 27% (100 vazões) variaram entre  $84 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ , 16% (58 vazões) entre  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $176 \text{ m}^3/\text{s}$  e 6% (21 vazões) entre  $176 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $222 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das vazões restantes acima de  $222 \text{ m}^3/\text{s}$ , aproximadamente 3% (9 vazões) excederam a marca de  $360 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esses dados demonstraram que, no ano de 1983, considerado nesse estudo como chuvoso, a vazão diária do Rio Pardo que predominou em 90% do tempo oscilou entre  $38 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $222 \text{ m}^3/\text{s}$ . No tempo restante ela oscilou entre  $222 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $498 \text{ m}^3/\text{s}$ , quando os valores extremos aconteceram acima de  $360 \text{ m}^3/\text{s}$ . Com os resultados aqui observados, as vazões acima de  $360 \text{ m}^3/\text{s}$  podem ser considerados excepcionais e as vazões entre  $38 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $222 \text{ m}^3/\text{s}$  habituais.

No posto Clube de Regatas, a curva de permanência (Figura 41) revelou que 10% da vazão, aproximadamente 36 dias do ano, a marca de  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (valor aproximado) foi

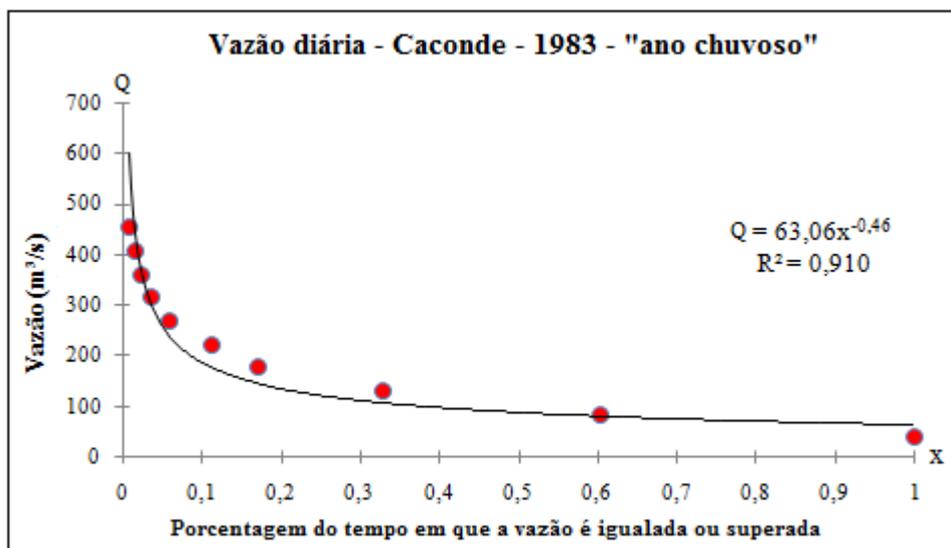
igualada ou superada. O valor superado está limitado pela vazão de 1010,98 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, a vazão oscilou entre essa marca de 600 m<sup>3</sup>/s e a mínima do posto, que é igual a 128,26 m<sup>3</sup> sugerindo que, nesse intervalo, essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 44), referente a esse mesmo posto fluviométrico, as vazões diárias estão mais bem detalhadas e nele observou-se que nesses 90% das vazões diárias, que ocorreram no ano de 1995, 8% (28 vazões) variaram entre 127 m<sup>3</sup>/s e 216 m<sup>3</sup>/s, 34% (125 vazões) variaram entre 216 m<sup>3</sup>/s e 305 m<sup>3</sup>/s, 23% (84 vazões) entre 305 m<sup>3</sup>/s e 394 m<sup>3</sup>/s, 12% (42 vazões) entre 394 m<sup>3</sup>/s e 483 m<sup>3</sup>/s e 9% (32 vazões) entre 483 m<sup>3</sup>/s e 572 m<sup>3</sup>/s. Das vazões restantes acima de 572 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente 3% (9 vazões) excederam a marca de 750 m<sup>3</sup>/s. Esses dados demonstraram que, no ano de 1983, considerado nesse estudo como chuvoso, a vazão diária do Rio Pardo, que predominou em 90% do tempo, oscilou entre 127 m<sup>3</sup>/s e 572 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, ela oscilou entre 572 m<sup>3</sup>/s e 1010,98 m<sup>3</sup>/s quando os valores extremos aconteceram acima de 750 m<sup>3</sup>/s. Conforme os resultados aqui observados, as vazões acima de 750 m<sup>3</sup>/s podem ser consideradas excepcionais e as vazões entre 127 m<sup>3</sup>/s e 572 m<sup>3</sup>/s habituais.

No posto Fazenda Bela Vista, a curva de permanência (Figura 42) revelou que 10% da vazão, aproximadamente 36 dias do ano, a marca de 650 m<sup>3</sup>/s (valor aproximado) foi igualada ou superada. O valor superado está limitado pela vazão igual à marca de 1166,86 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, a vazão oscilou entre essa marca de 650 m<sup>3</sup>/s e a mínima do posto, que é igual a 159,32 m<sup>3</sup> sugerindo que, nesse intervalo, essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 45) referente a esse mesmo posto fluviométrico as vazões diárias estão mais bem detalhadas e nele, se observou que, nesses 90% das vazões diárias que ocorreram no ano de 1983, 14% (52 vazões) variaram entre 158 m<sup>3</sup>/s e 259 m<sup>3</sup>/s, 33% (122 vazões) variaram entre 259 m<sup>3</sup>/s e 360 m<sup>3</sup>/s, 21% (78 vazões) entre 360 m<sup>3</sup>/s e 461 m<sup>3</sup>/s, 9% (33 vazões) entre 461 m<sup>3</sup>/s e 562 m<sup>3</sup>/s e 7% (25 vazões) entre 562 m<sup>3</sup>/s e 663 m<sup>3</sup>/s. Das vazões restantes acima de 663 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente 3% (10 vazões) excederam a marca de 865 m<sup>3</sup>/s. Esses dados demonstraram que, no ano de 1983, considerado nesse estudo como chuvoso, a vazão diária do Rio Pardo que predominou, em 90% do tempo, oscilou entre 158 m<sup>3</sup>/s e 663 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, ela oscilou entre 663 m<sup>3</sup>/s e 1168 m<sup>3</sup>/s quando os valores extremos aconteceram acima de 865 m<sup>3</sup>/s. De acordo com os resultados aqui observados, as vazões acima de 865 m<sup>3</sup>/s podem ser consideradas excepcionais e as vazões entre 158 m<sup>3</sup>/s e 663 m<sup>3</sup>/s habituais.

Nos três postos abordados, em 90% do tempo, as vazões oscilaram entre intervalos que, em cada posto, delimitaram as vazões que mais aconteceram no ano de 1983.

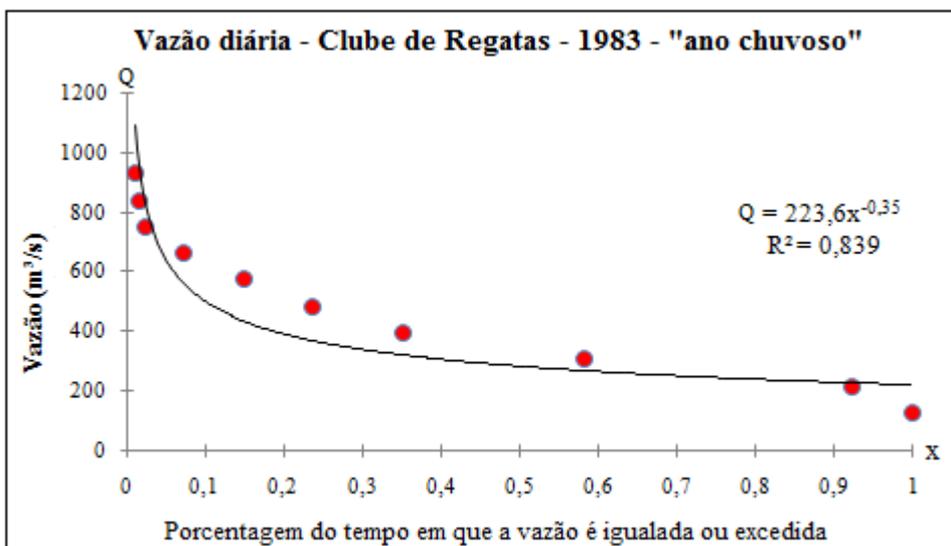
Observou-se que em, aproximadamente, 90% do tempo, no posto Caconde, as vazões oscilaram entre 38 m<sup>3</sup>/s e 222 m<sup>3</sup>/s, no posto Clube de Regatas entre 127 m<sup>3</sup>/s e 572 m<sup>3</sup>/s e no posto Fazenda Bela Vista entre 158 m<sup>3</sup>/s e 663 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, as maiores vazões excederam a marca de 360 m<sup>3</sup>/s, no posto Caconde, 750 m<sup>3</sup>/s no Clube de Regatas e 865 m<sup>3</sup>/s no posto Fazenda Bela Vista.

**Figura 40** - Curva de permanência da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1983, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



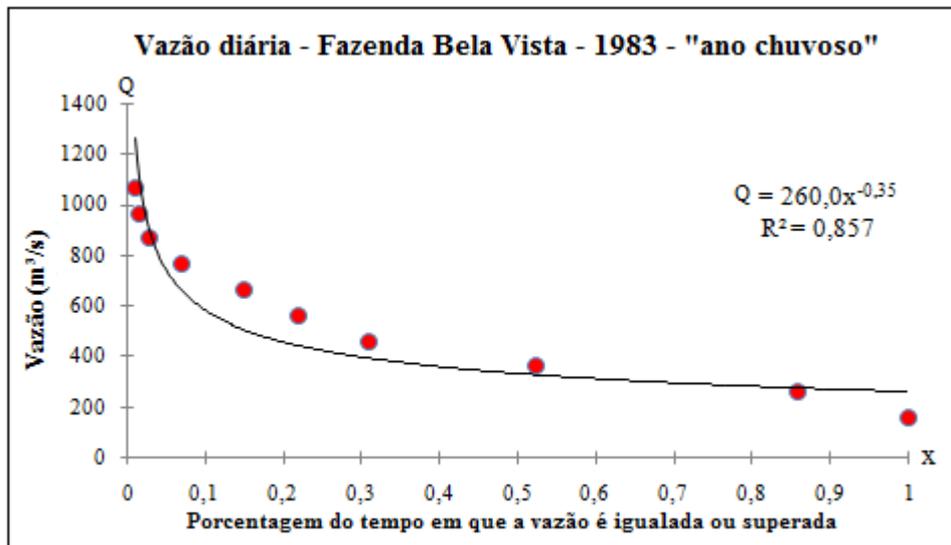
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 41** - Curva de permanência da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1983, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



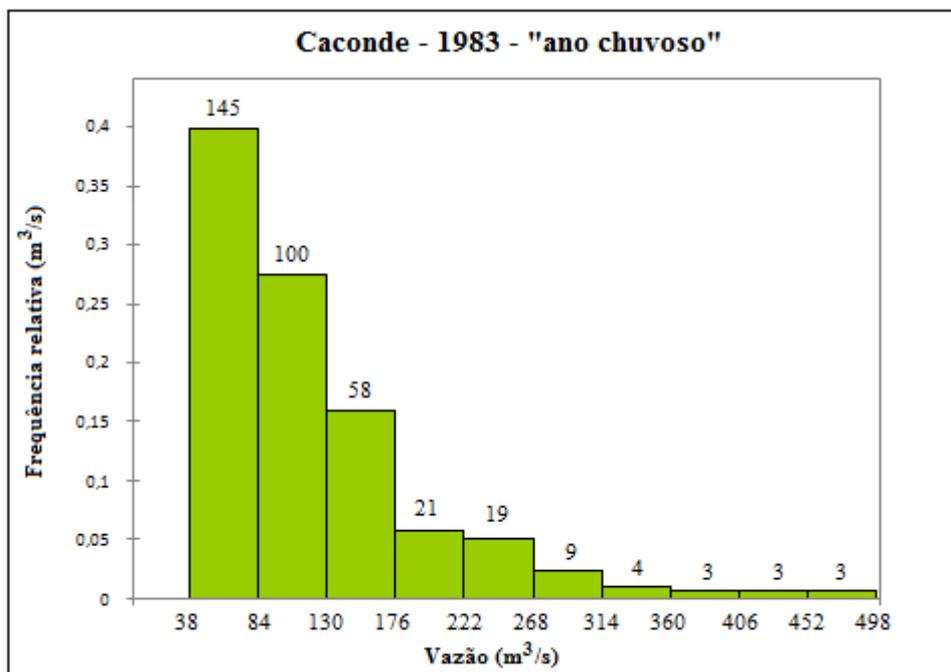
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 42** - Curva de permanência da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1983, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



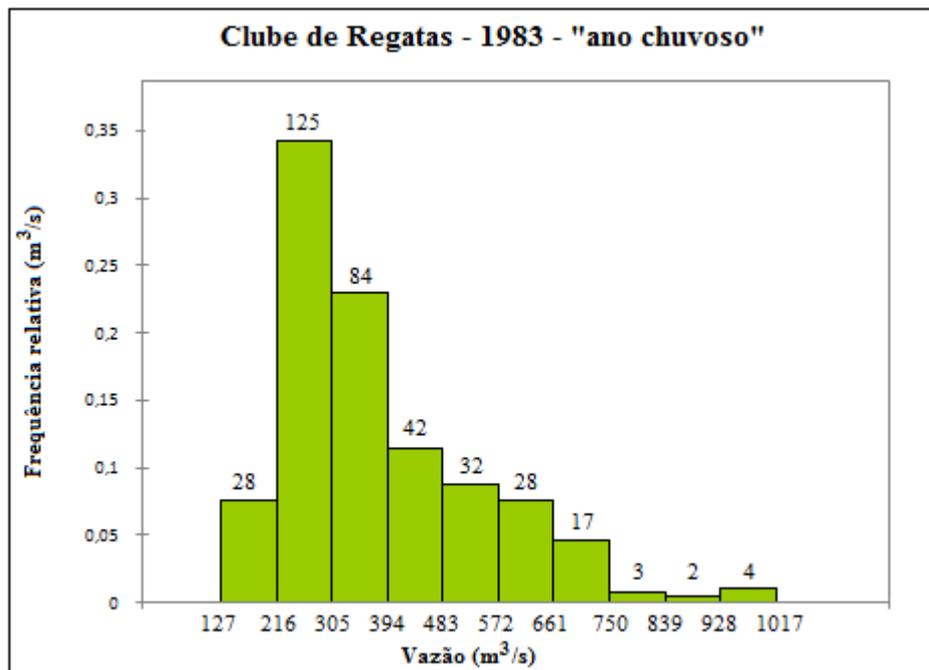
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 43** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1983, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.



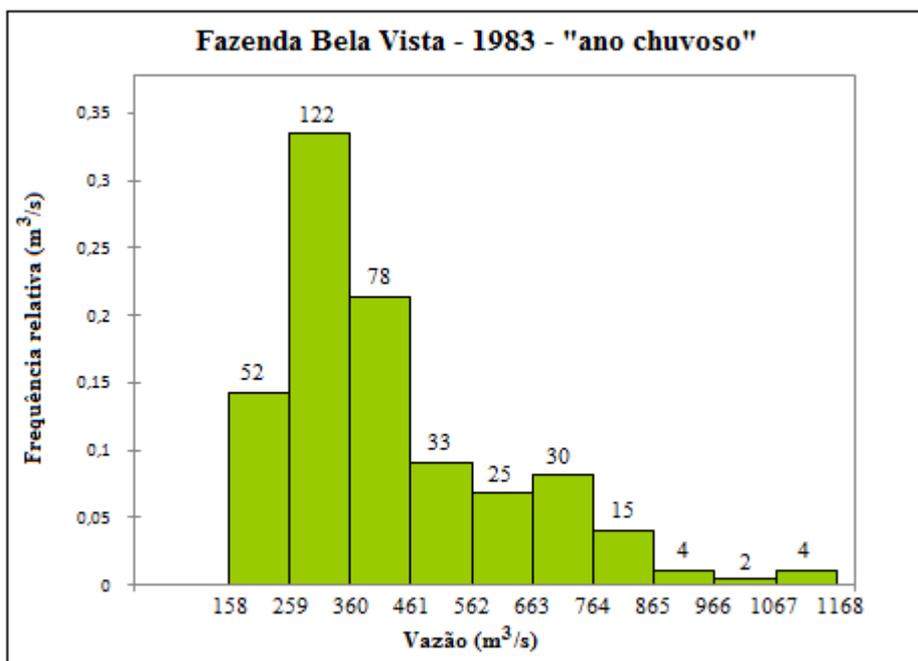
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 44** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1983, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 45** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1983, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

#### 5.6.4 Vazão diária em 1999 - “ano seco”

No ano de 1999, no posto Caconde, os valores mínimos e máximos de vazão diária, respectivamente, iguais a  $11 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $209 \text{ m}^3/\text{s}$ , definiram a amplitude de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  em cada subintervalo; no posto Clube de Regatas, os valores mínimos e máximos de vazão diária, respectivamente, iguais a  $64,1 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $620 \text{ m}^3/\text{s}$ , definiram a amplitude de  $56 \text{ m}^3/\text{s}$  em cada subintervalo e no posto Fazenda Bela Vista os valores mínimos e máximos de vazão, respectivamente, iguais a  $107,36 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $678,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , definiram a amplitude de  $57 \text{ m}^3/\text{s}$  em cada subintervalo. Na elaboração dos histogramas, por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011), os valores mínimos das séries de vazão dos postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista foram substituídos, respectivamente, por  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $63 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $107 \text{ m}^3/\text{s}$  e os máximos, respectivamente, por  $210 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $623 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $679 \text{ m}^3/\text{s}$ .

##### 5.6.4.1 Análise da vazão com curvas de permanência e histogramas

A curva de permanência, referente ao ano de 1999, revelou que, no posto de Caconde (Figura 46), 10% da vazão, ou seja, aproximadamente 36 dias do ano a marca de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  (valor aproximado) foi atingida ou superada. O valor superado está limitado pela vazão igual à marca de  $209 \text{ m}^3/\text{s}$ . No tempo restante, a vazão oscilou entre essa marca de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  e a mínima de  $11 \text{ m}^3/\text{s}$ , sugerindo que, nesse intervalo, essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 49) referente a esse mesmo posto fluviométrico, as vazões diárias estão mais bem detalhadas e nele se observou que, nesses 90% das vazões diárias que ocorreram no ano de 1999, 47% (173 vazões) variaram entre  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ , 20% (72 vazões) variaram entre  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , 12% (42 vazões) entre  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  e 12% (43 vazões) entre  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das vazões restantes acima de  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ , aproximadamente, 3% (9 vazões) excederam a marca de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esses dados demonstraram que no ano de 1999, considerado nesse estudo como seco, a vazão diária do Rio Pardo que predominou em 90% do tempo oscilou entre  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ . No tempo restante, ela oscilou entre  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $210 \text{ m}^3/\text{s}$  em que os valores extremos aconteceram acima de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ . De acordo com os resultados aqui observados, as vazões acima de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  podem ser considerados excepcionais e as vazões entre  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  habituais.

No posto Clube de Regatas, a curva de permanência (Figura 47) revelou que 10% da vazão, aproximadamente 36 dias do ano, a marca de  $280 \text{ m}^3/\text{s}$  (valor aproximado) foi igualada ou superada. O valor superado está limitado pela vazão de  $623 \text{ m}^3/\text{s}$ . No tempo

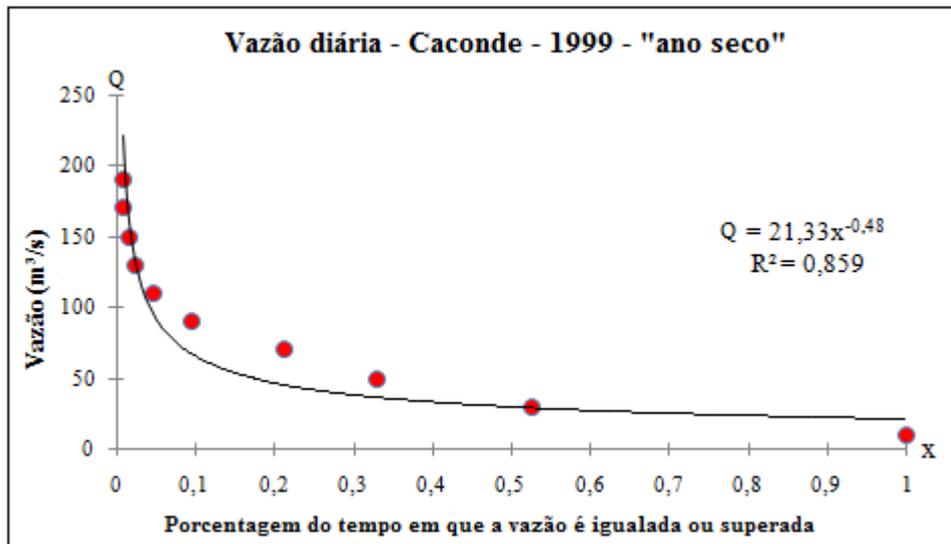
restante, a vazão oscilou entre essa marca de 280 m<sup>3</sup>/s e a mínima do posto, que é igual a 64,1 m<sup>3</sup>/s, sugerindo que, nesse intervalo, essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 50) referente a esse mesmo posto fluviométrico, as vazões diárias estão mais bem detalhadas e nele observou-se que, nesses 90% das vazões diárias que ocorreram no ano de 1999, 57% (207 vazões) variaram entre 63 m<sup>3</sup>/s e 119 m<sup>3</sup>/s, 14% (52 vazões) variaram entre 119 m<sup>3</sup>/s e 175 m<sup>3</sup>/s, 10% (36 vazões) entre 175 m<sup>3</sup>/s e 231 m<sup>3</sup>/s e 10% (37 vazões) entre 231 m<sup>3</sup>/s e 287 m<sup>3</sup>/s. Das vazões restantes acima de 287 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente, 3% (11 vazões) excederam a marca de 455 m<sup>3</sup>/s. Esses dados demonstraram que, no ano de 1999, considerado nesse estudo como seco, a vazão diária do Rio Pardo, que predominou em 90% do tempo, oscilou entre 63 m<sup>3</sup>/s e 287 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, ela oscilou entre 287 m<sup>3</sup>/s e 623 m<sup>3</sup>/s quando os valores extremos aconteceram acima de 455 m<sup>3</sup>/s. Segundo os resultados aqui observados, as vazões acima de 455 m<sup>3</sup>/s podem ser consideradas excepcionais e as vazões entre 63 m<sup>3</sup>/s e 287 m<sup>3</sup>/s habituais.

No posto Fazenda Bela Vista, a curva de permanência (Figura 48) revelou que 10% da vazão, aproximadamente 36 dias do ano, a marca de 330 m<sup>3</sup>/s (valor aproximado) foi igualada ou superada. O valor superado está limitado pela vazão igual a marca de 678,1 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, a vazão oscilou entre essa marca de 330 m<sup>3</sup>/s e a mínima do posto, que é igual a 107,36 m<sup>3</sup> sugerindo que neste intervalo essas foram as vazões do rio que mais aconteceram no ano. No histograma (Figura 51) referente a esse mesmo posto fluviométrico as vazões diárias estão mais bem detalhadas e nele se observou que, nesses 90% das vazões diárias, que ocorreram no ano de 1999, 57% (209 vazões) variaram entre 107 m<sup>3</sup>/s e 164 m<sup>3</sup>/s, 13% (48 vazões) variaram entre 164 m<sup>3</sup>/s e 221 m<sup>3</sup>/s e 12% (25 vazões) entre 221 m<sup>3</sup>/s e 278 m<sup>3</sup>/s e 12% (42 vazões) entre 278 m<sup>3</sup>/s e 335 m<sup>3</sup>/s. Das vazões restantes acima de 335 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente, 3% (9 vazões) excederam a marca de 563 m<sup>3</sup>/s. Esses dados demonstraram que, no ano de 1999, considerado nesse estudo como seco, a vazão diária do Rio Pardo que predominou em 90% do tempo, oscilou entre 107 m<sup>3</sup>/s e 335 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, ela oscilou entre 335 m<sup>3</sup>/s e 679 m<sup>3</sup>/s quando os valores extremos aconteceram acima de 563 m<sup>3</sup>/s. Com os resultados aqui observados, as vazões acima de 563 m<sup>3</sup>/s podem ser considerados excepcionais e as vazões entre 107 m<sup>3</sup>/s e 335 m<sup>3</sup>/s habituais.

Nos três postos abordados, em 90% do tempo, as vazões oscilaram entre intervalos que, em cada posto, delimitaram as vazões que mais aconteceram no ano de 1999. Observou-se que em, aproximadamente, 90% do tempo, no posto Caconde as vazões oscilaram entre 10 m<sup>3</sup>/s e 90 m<sup>3</sup>/s, no Clube de Regatas entre 63 m<sup>3</sup>/s e 287 m<sup>3</sup>/s e no posto Fazenda Bela Vista entre 107 m<sup>3</sup>/s e 335 m<sup>3</sup>/s. No tempo restante, as maiores vazões

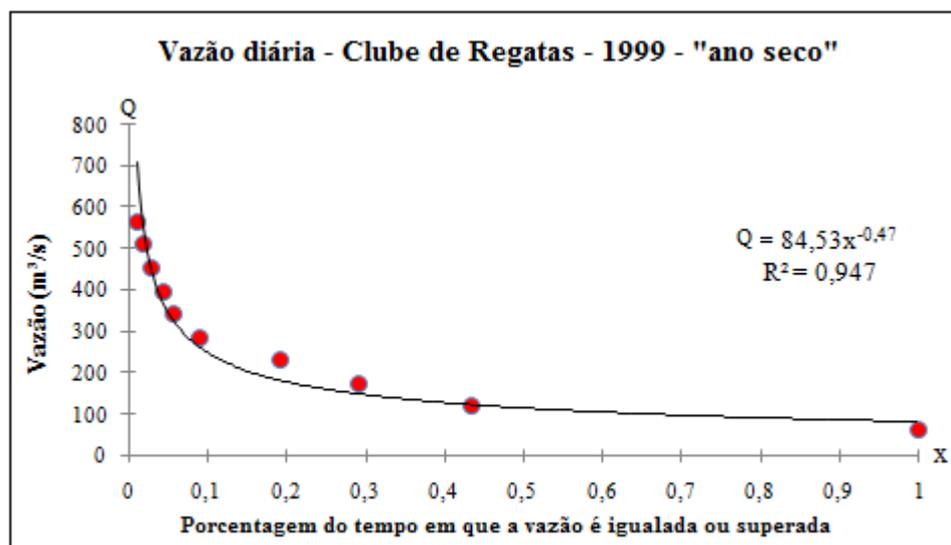
excederam a marca de 130 m<sup>3</sup>/s no posto Caconde, 455 m<sup>3</sup>/s no Clube Regatas e 563 m<sup>3</sup>/s no posto Fazenda Bela Vista.

**Figura 46** - Curva de permanência da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1999, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



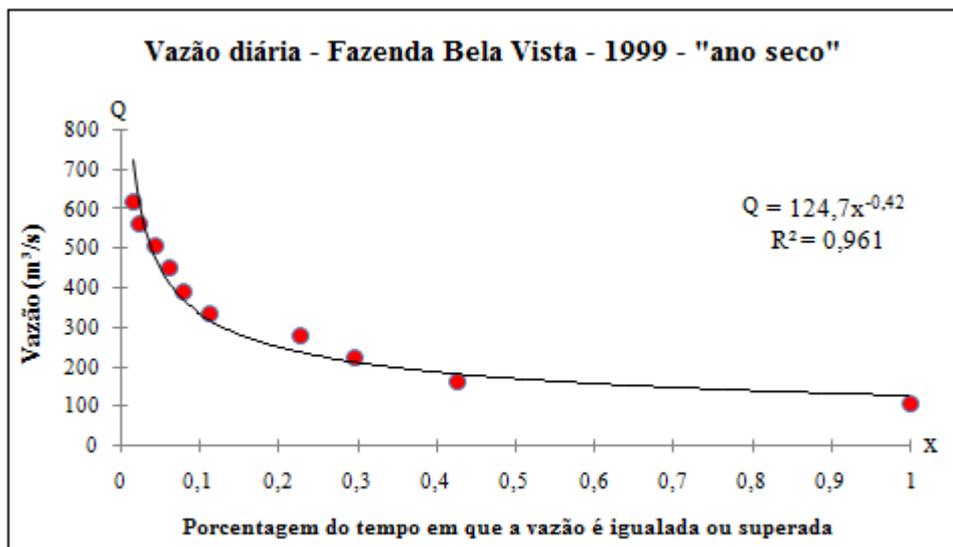
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 47** - Curva de permanência da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1999, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



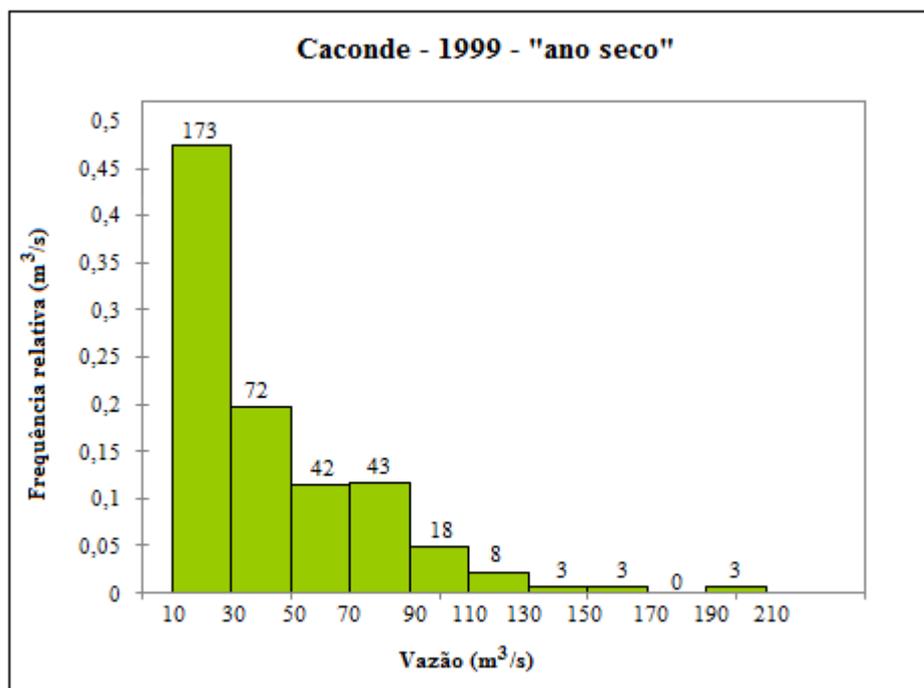
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 48** - Curva de permanência da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1983, com linha de tendência determinada pela equação de potência e respectivo coeficiente de determinação. A variável Q, na equação, representa a vazão e a variável x, a porcentagem do tempo.



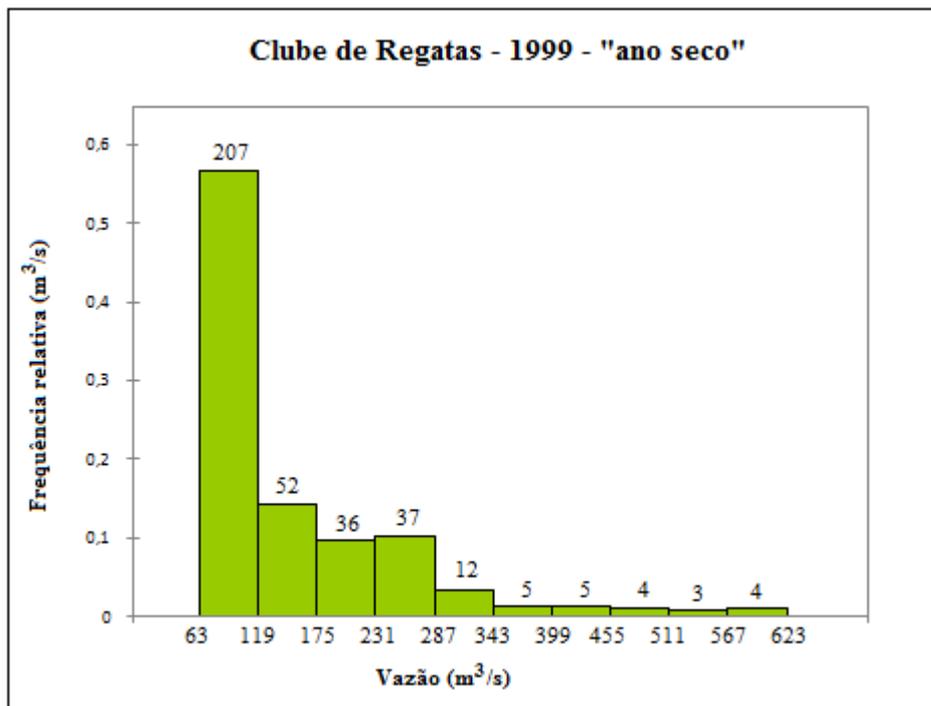
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 49** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Caconde, no ano de 1999, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.



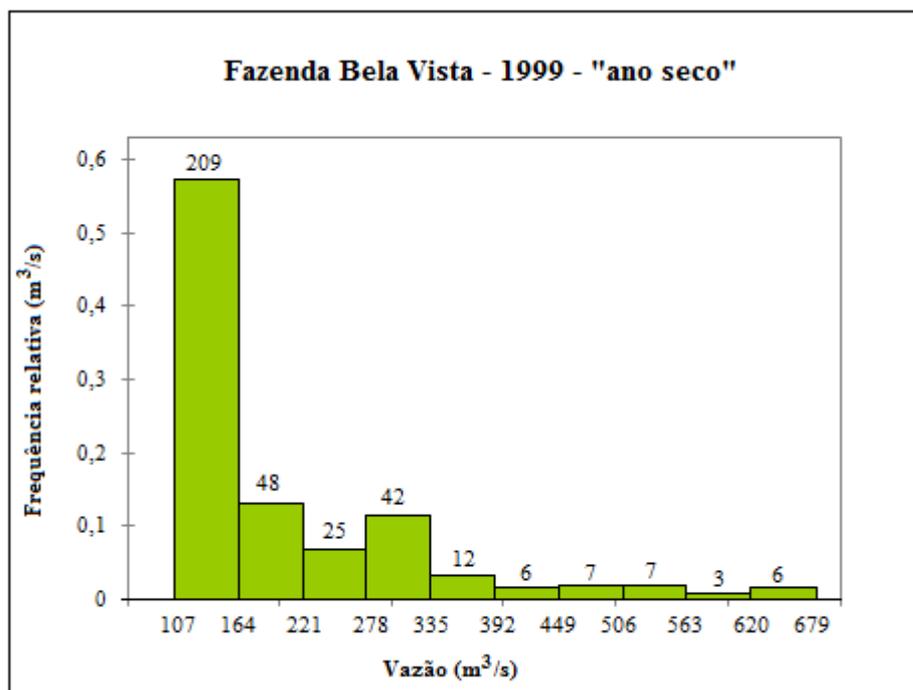
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 50** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Clube de Regatas, no ano de 1999, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das colunas.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

**Figura 51** - Histograma da distribuição de frequência relativa da vazão diária no posto Fazenda Bela Vista, no ano de 1999, com intervalos de classe estimados pelo Método de Sturges e com frequências absolutas representadas pelos números acima das barras.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de software estatístico (XLSTAT, 2011)

### 5.6.4.2. Análise da vazão diária nos anos padrão com curvas de tendências

A relação, expressa pela curva de permanência, entre as vazões diárias e as frequências com que essas vazões foram superadas ou igualadas, foi ajustada por curvas de tendências. Essas curvas estabeleceram uma relação analítica, por meio de equações de potências, entre as vazões diárias (Q) e as frequências relativas (x). Essas equações (TABELA, 12) e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) (TABELA, 13) foram calculados por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010) (BUSSAB; MORETTIN, 2002), usando-se as vazões diárias que ocorreram nos postos de Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista nos anos 1983 - “ano chuvoso”, 1995 - “ano habitual” e 1999 - “ano seco”. Nesses três postos fluviométricos, os coeficientes de determinação, referentes aos anos padrão oscilaram entre 0,839 e 0,985. Esses valores, próximos de 1, indicaram forte correlação entre a vazão diária (Q) e a frequência relativa (x), garantindo a representação satisfatória das curvas de permanência pelas curvas de tendências. Essa condição permitiu representar graficamente, por meio dessas equações, as curvas de permanência referentes a cada posto (Figura 52), nos três anos e a cada ano, nos três postos (Figura 53).

**Tabela 12** - Equações de potência ajustadas às curvas de permanência geradas para os postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista nos anos padrão.

Postos / Anos padrão	1983	1995	1999
<b>Caconde</b>	$Q = 63,06 x^{-0,46}$	$Q = 17,92 x^{-0,78}$	$Q = 21,33 x^{-0,48}$
<b>Clube de Regatas</b>	$Q = 223,6 x^{-0,35}$	$Q = 73,76 x^{-0,71}$	$Q = 84,53 x^{-0,47}$
<b>Fazenda Bela Vista</b>	$Q = 260,0 x^{-0,35}$	$Q = 87,26 x^{-0,67}$	$Q = 124,7 x^{-0,42}$

Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Tabela 13** - Coeficientes de determinação referentes às curvas ajustadas às curvas de permanência geradas para os postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista nos anos padrão.

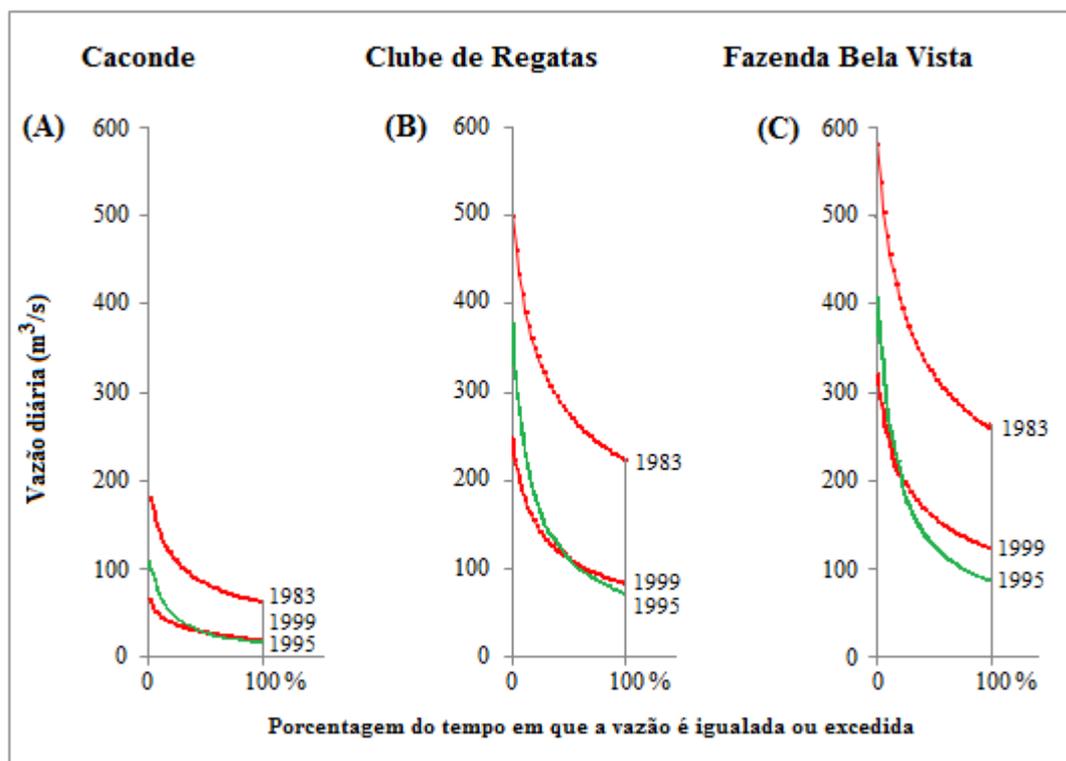
Postos / Anos padrão	1983	1995	1999
<b>Caconde</b>	0,91	0,947	0,859
<b>Clube de Regatas</b>	0,839	0,985	0,947
<b>Fazenda Bela Vista</b>	0,857	0,984	0,961

Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

Em cada posto, nos três anos analisados, observou-se que as vazões tinham comportamento semelhante, diferindo apenas no volume escoado, devido à localização de cada posto. A menor vazão atingida, no ano de 1999, apesar de ter sido um “ano seco”, superou a do ano de 1995, considerado “ano habitual” nesse estudo, nos 3 postos fluviométricos (Figura 52).

As inclinações acentuadas das curvas demonstraram que não houve efeitos de regularização da vazão, cujo efeito sobre a curva de permanência é torná-la mais horizontal, com valores mais próximos da mediana durante o maior tempo (COLLISCHONN, 2011).

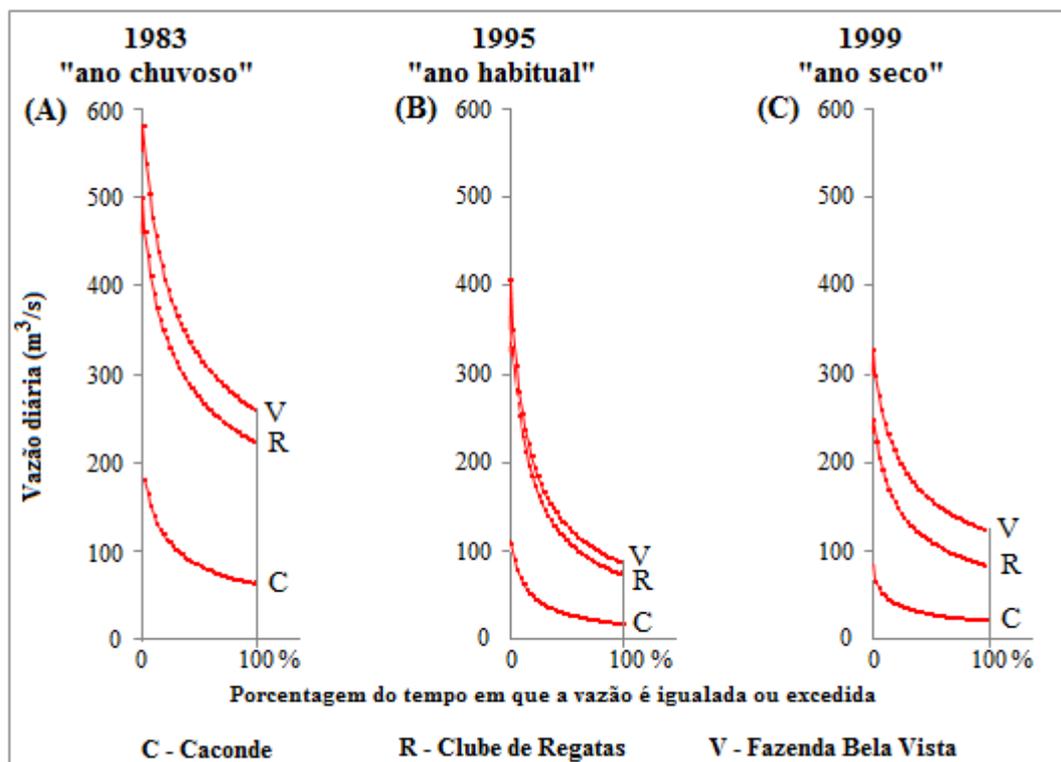
**Figura 52** - Curvas de tendência de potência, nos postos, Caconde Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista, referentes os anos de 1983 – “ano chuvoso”, 1995 – “ano habitual” e 1999 – “ano seco”.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

As vazões apresentaram comportamento semelhante nos anos de 1983, 1995 e 1999, mostrados pelas mesmas inclinações das curvas, nesses três anos. Os volumes máximos, escoados em cada posto, decresceram obedecendo à ordem dos anos 1983 - “ano chuvoso”, 1995 - “ano habitual” e 1999 - “ano seco” (Figura 53).

**Figura 53** - Curvas de tendência de potência nos anos de 1983 – “ano chuvoso”, 1995 – “ano habitual” e 1999 – “ano seco”, referentes aos postos Caconde, Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista.



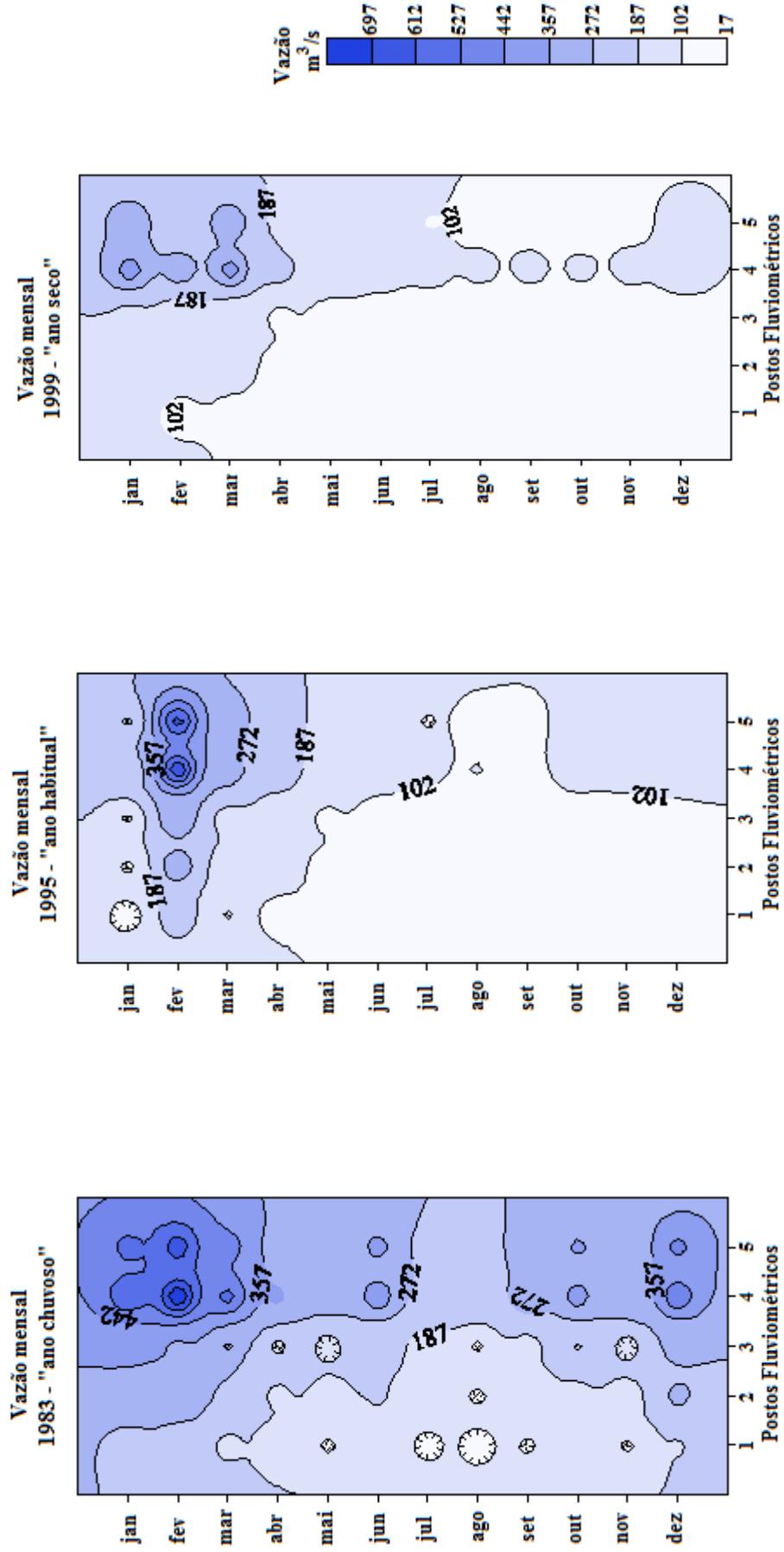
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

### 5.6.5 Vazão mensal nos anos padrão

Buscou-se comparar, por meio de painéis temporais espaciais, os anos de 1983, 1995 e 1999 (Figura 54), escolhidos para representar, respectivamente, os anos “ano chuvoso”, “ano habitual” e “ano seco”. Esses painéis foram gerados, por meio do Surfer 8 (SURFER, 2002), fazendo-se interpolação pelo método do inverso do quadrado da distância. Os dados interpolados foram as vazões médias mensais de cada ano padrão, as abscissas, os 5 postos fluviométricos, 1, 2, 3, 4, 5, e as ordenadas, os meses do ano.

Das vazões médias mensais ocorridas nesses três anos, calculou-se a amplitude total subtraindo a maior vazão, igual a  $783 \text{ m}^3/\text{s}$ , da menor, igual a  $17 \text{ m}^3/\text{s}$  (Tabela 14). Tomou-se essa medida para abranger todas as vazões mensais ocorridas, e dessa forma, poder comparar os resultados com o uso de uma mesma escala. O número de intervalos igual a 9 gerou a amplitude das classes igual a  $85 \text{ m}^3/\text{s}$  (STURGES, 1926).

**Figura 54** – Painéis temporais espaciais, para cada ano padrão, das vazões médias mensais das séries fluviométricas referentes aos postos 1, 2, 3, 4 e 5 do Rio Pardo, com intervalos de classes estimados pelo Método de Sturges



**Tabela 14** - Vazões mínimas e máximas das vazões médias mensais das séries fluviométricas referentes aos postos 1, 2, 3, 4 e 5 do Rio Pardo, nos anos 1983, 1995 e 1999.

vazão / ano	1983 - "ano chuvoso"	1995 - "ano habitual"	1999 - "ano seco"
mínima (m <sup>3</sup> /s)	46	18	17
máxima (m <sup>3</sup> /s)	783	699	407

Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

A presença da tonalidade azul escura em alguns meses do ano (Figura 54) revela uma contribuição maior do escoamento superficial, nesses meses, devido às chuvas que ocorrem na região. Essa contribuição diminui ou até desaparece indicada pela presença da tonalidade azul clara em alguns dos outros meses. Os anos em estudo parecem ter um comportamento fluviométrico semelhante, respeitando as características de cada ano padrão.

### 5.6.6 Chuva mensal nos anos 1983 1995 e 1999

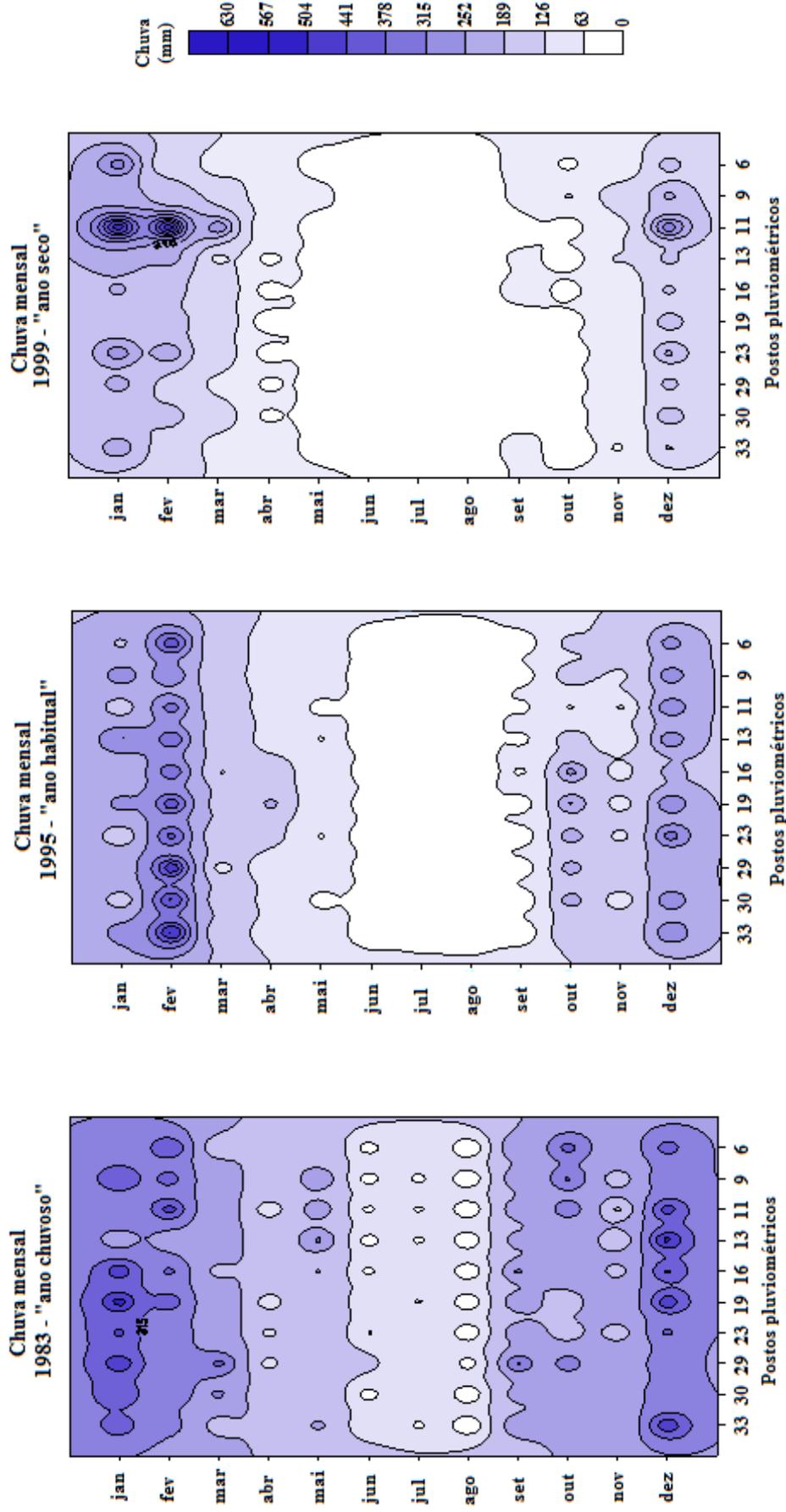
Por meio do painel temporal-espacial (ZAVATINI, BOIN, 2013) buscou-se, comparar as chuvas, nos anos de 1983 - “ano chuvoso”, 1995 - “ano habitual” e 1999 - “ano seco” (Figura 55). Escolheram-se os dados pluviométricos dos 10 postos, 33, 30, 29, 23, 19, 16, 13, 11, 9 e 6, por estarem próximos ao leito do Rio Pardo, obedecendo seu sentido de vazão, que é de sudeste para noroeste. Esses painéis foram gerados, por meio do Surfer 8 (SURFER, 2002), fazendo-se interpolação pelo método do inverso do quadrado da distância em que, as chuvas médias mensais foram as variáveis interpoladas, os 10 postos pluviométricos foram as abscissas e os meses do ano as ordenadas. Da amplitude total, igual a 688 mm e obtida pela diferença entre 688 mm e 0 mm (Tabela 15), estimou-se 11 intervalos de classes, cada um com 63 mm de amplitude (STURGES, 1926). Nos painéis, a ordem decrescente dos números dos postos define o sentido da vazão do rio, ou seja, de sudeste para noroeste.

**Tabela 15** - Chuvas mínimas e máximas das chuvas mensais ocorridas em toda região da bacia, nos anos 1983, 1995 e 1999.

chuva / ano	1983 - "ano chuvoso"	1995 - "ano habitual"	1999 - "ano seco"
mínima (m <sup>3</sup> /s)	0	0	0
máxima (m <sup>3</sup> /s)	465	513	688

Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

**Figura 55** – Painéis temporais espaciais, para cada ano padrão, das chuvas médias mensais das séries pluviométricas referentes aos postos pluviométricos, 33, 30, 29, 23, 19, 16, 13, 11, 9, 6, com intervalos de classes estimados pela Regra de Sturges



A presença da tonalidade azul escura em alguns meses dos anos em estudo (Figura 55) definiu o período chuvoso da região. Nos meses restantes, a tonalidade azul clara definiu o período seco. Os anos em estudo pareceram ter um comportamento pluviométrico semelhante, respeitando as características de cada ano padrão.

## **6 CONCLUSÕES**

Das análises e dos resultados obtidos nessa Pesquisa foi possível observar o comportamento, no período estudado, da chuva e da vazão por meio dos anos padrão escolhidos, verificar a influência de períodos prolongados de pouca chuva, como também de muita chuva, na vazão do rio principal da bacia, o Rio Pardo, estimar quanto do volume médio precipitado na bacia escoou pelo exutório, relacionar a vazão média à chuva média anual e identificar postos com índices pluviométricos diferente dos demais postos da bacia, na maioria dos anos do período analisado.

### **Comportamento da chuva na bacia do Rio Pardo**

A Regra de Sturges, para classificação da chuva anual, ocorrida na bacia juntamente com o método multivariado da análise de agrupamento dos anos do período, usando-se o método aglomerativo hierárquico com o coeficiente de Ward e os mapas de isolinhas da chuva anual, ocorrida nos 26 anos do período de estudo, complementaram-se na escolha dos anos padrão. Os anos padrão 1983, 1995 e 1999, escolhidos para análise, tiveram a mesma classificação, nos 3 métodos utilizados. Essa coincidência garantiu que a escolha desses anos padrão fosse representativa dos períodos chuvoso, habitual e seco da bacia e permitiu concluir que, em 1983 (chuvoso), o volume precipitado de água, na bacia, foi excessivo; em 1999 (seco) foi escasso e, em 1995 (habitual), ocorreram os volumes que mais se repetiram, no período de estudo.

### **Influências da chuva no comportamento da vazão diária do Rio Pardo**

Por meio do Método de Pettitt (p. 92), verificou-se que a vazão diária dos postos fluviométricos escolhidos para análise, não teve comportamento homogêneo, nos 26 anos focalizados. No posto de Caconde, localizado à montante do Rio Pardo, a média dos dados diários de vazão, até meados de 1984, foi diferente dos dados restantes. Nos postos Fazenda Bela Vista e Clube de Regatas, essa mesma alteração da média ocorreu, aproximadamente, um ano depois, em meados de 1985. Nesses 3 postos, após essas datas, a média das vazões diárias sofreu um decréscimo de, aproximadamente, 20%. O local e a data da mudança dessa média podem estar associados às chuvas que ocorreram na bacia.

Na planilha cromática (p. 70) que representa as chuvas anuais do período em todos os 39 postos pluviométricos, dois períodos puderam ser identificados. Um, de 1984 a 1999, em que as chuvas foram mais escassas que no outro período: de 1974 a 1983. Observou-se que, no início do período seco (1984 a 1999), a vazão média foi alterada em meados de 1984, no posto mais à montante do rio, ou seja, no Posto de Caconde, enquanto que essa mudança só foi observada, aproximadamente, um ano depois nos postos à jusante, ou seja, nos postos Clube de Regatas e Fazenda Bela Vista.

A explicação de a vazão responder uns anos depois do início de um período seco ou chuvoso (p. 23) pode estar nas vazões subterrâneas, que reagem lentamente, e nas vazões superficiais, que reagem prontamente, ambas respeitando as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da bacia.

### **Valor estimado de vazão média por meio da chuva média anual**

Entre o valor estimado de vazão média anual, denominada nesse trabalho de vazão média anual estimada ajustada, e a chuva média anual, que ocorreram na bacia, foi estabelecida uma relação (p. 82). Dessa relação pôde-se concluir que, aproximadamente, 13,3% da chuva média anual precipitada na bacia escoaram pelo posto Fazenda Bela Vista, ou seja, do volume médio anual precipitado de água na bacia (entrada), 13,3% escoaram pelo seu exutório (saída).

Os valores medidos e estimados das vazões médias anuais do período, respectivamente iguais a 210,9 m<sup>3</sup>/s e 210,7 m<sup>3</sup>/s, atingiram marcas semelhantes, o que evidenciou a qualidade do método utilizado.

### **Comportamento das vazões diárias nos anos 1983, 1995 e 1999**

Nos anos 1983 – “ano-chuvoso”, 1995 – “ano habitual” e 1999 – “ano – seco”, as curvas de permanência, ajustadas por curvas de tendências, com alto coeficiente de determinação, permitiram avaliar o comportamento da vazão nesses anos (p. 111).

A mesma inclinação, presente nas curvas de tendências, referentes às vazões que ocorreram nos anos, “seco”, “chuvoso” e “habitual” mostrou um comportamento semelhante nesses 3 anos, respeitando-se as devidas proporções dos volumes escoados, em cada ano. As vazões diárias foram condizentes com as chuvas que ocorreram nos anos padrão selecionados. A curva referente ao “ano chuvoso”, sempre acima no gráfico, representando maior volume

escoado de água e a curva referente ao “ano seco”, sempre abaixo no gráfico, representando um menor volume. A curva referente ao “ano habitual”, com uma parte dela entre as outras duas curvas e outra parte coincidindo ou ficando levemente abaixo da curva do “ano seco”.

A inclinação das curvas e o comportamento da vazão coerente com os períodos, seco, chuvoso e habitual, revelaram que as vazões diárias responderam às chuvas que ocorreram de acordo com a classificação atribuída aos anos padrão escolhidos.

### **Efeitos orográficos na região onde estão localizados os postos pluviométrico 36 e 38**

Na planilha cromática (p. 70) que representa a pluviosidade anual de todos os postos pluviométricos nos 26 anos de estudo, observou-se que, os postos de número 36 e 38, apresentaram índices pluviométricos diferentes dos demais postos da bacia, na maioria dos anos do período analisado. Verificou-se que a região, onde estão localizados esses postos, está sob efeitos das chuvas orográficas. Trata-se do Município de Águas da Prata, nos Contrafortes da Mantiqueira, cuja altitude em que está o posto 36 é de 1310 m e do posto 38 é de 940 m.

As barreiras dos deslocamentos de massas de ar, provocadas pela serra, devem ter favorecido a condensação do vapor e a formação de nuvens, ocorrendo, com maior frequência, na região onde estão localizados esses postos, chuvas de pequena intensidade e grande duração.

### **Trabalhos futuros**

Em trabalhos futuros envolvendo a bacia do Rio Pardo, sugere-se que outros assuntos possam ainda ser explorados, tais como:

- classificação, com os mesmos dados deste trabalho, dos anos padrão usando-se mais classes, inserindo duas novas: tendente a seco e tendente a chuvoso;
- análise da relação entre a chuva e a vazão, em outros períodos e, assim, verificar, usando a mesma metodologia dessa Pesquisa, se as chuvas continuam a interferir na vazão do Rio Pardo de forma semelhante à que foi constatada neste trabalho;
- consideração, em um estudo semelhante, das características hidrogeológicas da bacia do Rio Pardo;
- avaliação do grau de interferência da extração de água para uso consuntivo na vazão do Rio Pardo, nesse mesmo período analisado.

Essas sugestões podem complementar o assunto aqui analisado e, assim, contribuir para um melhor entendimento nas alterações que possam ocorrer nos volumes, precipitados e escoados, de água na bacia do Rio Pardo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, M. T. L.; ZAMBON, R. C. **Hidrologia ambiental: ciclo hidrológico e balanço hídrico**. São Paulo: USP. [20--?]. Disponível em: <[https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=fc85e9de48&view=att&th=13cf3a2aed6315b5&attid=0.1&disp=inline&safe=1&zw&saduie=AG9B\\_P9FgrPvXn\\_Yj2rrGhmYvdk8&sadet=1361323464666&sads=o9JF7uohiA0PYONmGIYjngEZUa8](https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=fc85e9de48&view=att&th=13cf3a2aed6315b5&attid=0.1&disp=inline&safe=1&zw&saduie=AG9B_P9FgrPvXn_Yj2rrGhmYvdk8&sadet=1361323464666&sads=o9JF7uohiA0PYONmGIYjngEZUa8)>. Acesso em: 15 maio 2012.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Saraiva, 2002.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2001.

COLLISCHONN, W. Hidrologia Estatística. In: COLLISCHONN, W; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: UFRGS, 2011. p. 171- 204. Disponível em: <[http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila\\_hidrologia/cap\\_14 - Hidrologia Estatística.pdf](http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila_hidrologia/cap_14_-_Hidrologia_Estatistica.pdf)>. Acesso em 10 jan. 2010.

EMÍDIO, Z. P. O. **Impacto do balanço hídrico em diferentes tipos de solo: comparação entre dados de radar-pluviômetro e análise de tendência da chuva média em área agrícola**. 2008. 147f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

EXCEL<sup>®</sup>, versão 14, **Microsoft Corporation** ©, 2010

FETTER, C. W. **Applied hidrogeology**. 4. ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, 2001.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **BcDae2000: banco pluviométrico, fluviométrico e regionalização hidrológica do estado de São Paulo**. Versão 1.0. c2000. 1CD-ROM.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. N. **Quantificação em geografia**. São Paulo: Difel, 1981.

GROPPO, J. D.; MORAES, J. M.; BEDUSCHI, C. E.; MARTINELLI, L. A. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.

HAIR, J. F.; TATHAM, R. L.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005, 5. ed., 593 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Relatório número 40 670**. 2000. v.1. Disponível em: <[http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-PARDO/1523/relatorio\\_zero\\_cbh\\_pardo.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-PARDO/1523/relatorio_zero_cbh_pardo.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2011.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 2003, 2. ed., 253 p.

LANDIM, P. M. B. **Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados**. Rio Claro, SP: UNESP, 2010. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/MULTIVAR.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2011.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. Rio Claro: UNESP, 2002, 21p. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/Surfer.pdf>> Acesso em: 11 nov. 2011.

LATTIN, J. M.; CARROL J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: USP, 2008. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2012.

MACHADO, F. W. **Modelagem chuva-vazão mensal utilizando redes neurais artificiais**. 2005. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidrológica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.

MORAES, J. M; GENOVEZ, A. M.; Jefferson MORTATTI, J; BALLESTER, M. V.; KRUSCH, A. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. **Análise de intervenção das séries temporais de vazão dos principais rios da bacia do Rio Piracicaba**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V.2 n.2 jul/dez 1997, 65 – 79.

NAGHETTINI, M. C. **A bacia hidrográfica**. [20--?]. Disponível em: <[www.etg.ufmg.br/tim1/bacia%20hidrografica.doc](http://www.etg.ufmg.br/tim1/bacia%20hidrografica.doc)>. Acesso em: 20 set. 2011.

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

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Séries históricas de vazões**. c2013. Disponível em: <[http://www.ons.com.br/operacao/vazoes\\_naturais.aspx](http://www.ons.com.br/operacao/vazoes_naturais.aspx)>. Acesso em: 09 ago. 2011.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C. Applied statistics**, London, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

PINTO, N. L. S; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. ; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

PRESS, F. et al. **Para entender a terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

SÃO PAULO (Estado). Comitê PCJ. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004-2007 (SP): detalhamento das unidades de gerenciamento de recursos hídricos- UGRHIs: 04-07 UGRHI-04: UGRHI 04 - Pardo (PDF, 2.663 Kb)**. [2008?]. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/Paginas.php?CodPagina=521>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia. Assessoria de Recursos Hídricos. Regionalização hidrológica no Estado de São Paulo. **Águas e Energia Elétrica**, São Paulo, ano 5, n. 14, 1988. 1 CD.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Hidrologia**: informações sobre a rede hidrológica do Estado de São Paulo. c2011. Disponível em: <[www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=72%3Ahidrometeorologia&catid=43%3Ahidrometeorologia&Itemid=30](http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=72%3Ahidrometeorologia&catid=43%3Ahidrometeorologia&Itemid=30)>. Acesso em: 13 dez. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. **Bacia hidrográfica do Rio Pardo: UGRHI 4: Pardo**. [1996?]. Disponível em: <<http://www.grande.cbh.gov.br/UGRHI4.aspx>>. Acesso em: 13 jul. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo. **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. [20--?]. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?lig=podfp>>. Acesso em: 09 ago. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo. **Banco de Dados Fluviométricos do Estado de São Paulo**. [20--?]. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/flu>>. Acesso em: 08 out. 2011.

SINELLI, O. Estudos hidrogeológicos da bacia hidrográfica do Rio Pardo (SP). **Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 11, p. 1-8, 1987.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 21, n. 153, p. 65-66, mar. 1926.

SURFER<sup>®</sup>, versão 8, **Golden Software, Inc.**<sup>©</sup>, 2002

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. Brasília, DF: Agência Nacional das Águas, 2002. Disponível em: <<http://galileu.iph.ufrgs.br/Collischonn/ClimaRH/download/relclima.PDF>>. Acesso em: 09 ago. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963.

XLSTAT versão 2011 4.02 **Copyright Addinsoft**®, 2011.

ZANDONADI, L. **As chuvas na bacia do Paraná**: aspectos temporais, espaciais e rítmicos. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: Teoria e Prática De Pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013. 150 p.

**ANEXOS**

## ANEXO A

Dados de chuva anual, chuva média anual e chuva média do período de 1974 a 1999.

(continua)

N	Postos/Anos	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
1	B4-015	1580,4	1436,8	1908,3	1573,3	1679,2	1858,8	1916,9	1234,5	1807
2	B5-004	1555,1	1275,8	1954,5	1502,1	1790,9	1604,9	1533,1	1288,2	1859,3
3	B4-012	1645,4	1558,8	2100,3	1287,9	1505,1	1668,1	1643	1206,6	1860
4	B4-040	1769,2	1466,5	1936,2	1693,1	1545,2	1746	1934	1801,4	2057,5
5	B4-060	1463,8	1304,5	1883,8	1393,5	1648,5	1436,8	1715,9	1354,4	1865,1
6	B5-054	1596,4	1245	1753	1454,7	1626,9	1510,4	1446,9	1499,2	1788,2
7	C4-039	1564,3	1350,7	2267,5	1725,5	1404,1	1614,9	1784,2	1738,2	1889,1
8	C4-054	1701,3	1554,9	2226,6	1440,9	1757,2	2184,1	2009,6	1551,9	2366,3
9	C5-024	1666,2	1232,7	1758,7	1624,1	1798,2	1811,2	1653,8	1448,6	1854,6
10	C4-086	1850,3	1770,1	2473,2	1377,2	1710,3	1524,8	1793,7	1927,4	1948,7
11	C4-104	1693,4	1403,2	2580,1	1479,5	1740,3	1672,8	1842,4	1519,6	2044,9
12	C4-001	1591	1438,9	2237	1719,9	1569,8	1623,5	1904,2	1818,7	1869,8
13	C4-075	1800,4	1400,3	1993,3	1261,4	1480,8	1498,9	2110,7	1648	1972,7
14	C4-099	1738,3	1268,6	2226,2	1817,4	1681,7	1617,3	1963,3	1824,3	1980,8
15	C4-034	1711,1	1454,5	1839,4	1310,9	1385	1496,2	1800	1315,2	1830,5
16	C4-105	1548,3	1384,8	2057,5	1451,1	1550,5	1769,2	1710	1835,6	2028,5
17	C4-088	1475,4	1382,7	2180	1362,7	1336,8	1606,4	1860,9	1639,6	1930
18	C4-032	1599,2	1241,4	1773,8	1629	1406,7	1599,2	1544,7	1317,1	1971,5
19	C4-052	1348,5	1234,6	1963,9	1504	1378,5	1387,4	1495,9	1561,9	1819,7
20	C4-007	1390,8	1287,3	1731,1	1455,9	1259,2	1509,9	1489,9	1444	1995,4
21	C4-069	1350,6	1537,2	2383	1503,1	1448,7	1509,8	1832,1	1656,4	2061,9
22	C3-040	1569,5	1216,7	1990,1	1503,9	1415,8	1275,1	1972,6	1908,6	2835,2
23	C4-043	1482,2	1259,7	2060,2	1774,3	1469,7	1578,6	1613,8	1886,9	2013
24	C4-087	1790,4	1210,3	2074,8	1656,5	1638,7	1439,6	1428,6	1596	2080,3
25	C4-040	1405,2	1305,1	2118,8	1466,6	1421,5	1415,8	1569,5	1307,7	1707,9
26	C3-030	1519,3	1339,4	2065,7	1651,6	1524,6	1555,5	1860,2	1679,6	1800,8
27	C3-024	1451,5	1241,2	2036,3	1572,5	1626,6	1528,2	1765,2	1628,3	1714,7
28	C4-091	1799,4	1323	2084,4	1612,2	1410,8	1320,2	1483	1716,2	2113
29	C3-014	1592,4	1528,2	2308,2	1869,4	1631,7	1706	1991,8	1862,9	1940,5
30	C4-079	1779,7	1474,7	2018,9	1592,9	1321,2	1337	1581,9	1495,6	1741,7
31	C4-103	1955,4	1820,8	1980,6	1509	1324,4	1404,8	1554,4	1532,7	1371,9
32	C4-096	1747,3	1199,4	1936,3	1635,8	1415,8	1463,3	1756,1	1256,2	1863,4
33	C3-035	1472,4	1329,1	1966,3	1746,3	1439,8	1360,6	1778	1504,9	1609,3
34	C4-093	1603,9	1187,3	2012,4	1330,8	1024,3	1245,5	1650,4	1708,5	1586,5
35	C4-072	1429,7	1186,5	1992,2	1665	1164,2	1295,1	1407	1648,8	1422
36	C3-043	1657,2	1741,5	2410,7	2127,7	1748,9	2064,1	1673,5	1895,9	2128,5
37	C3-009	1383	1312,2	2058,3	1588,3	1281,8	1524,4	1360,9	1630,6	1774,9
38	C3-034	1175,1	1442,1	2100,8	1846,7	1779,1	1831,1	1908,1	1661,7	1750,4
39	C3-031	1343,3	1284,5	2050,8	1585,7	1429,4	1695,5	1601,4	1400,3	1818,5
	Média	1584,5	1375,2	2063,9	1571,9	1507	1571,6	1716,5	1588,5	1899,3

Fonte: Organizado pelo autor com os dados pluviométricos do DAEE, (SÃO PAULO, [20--?]).

Dados de chuva anual, chuva média anual e chuva média do período de 1974 a 1999.

(continuação)

N	Postos/Anos	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
1	B4-015	2407,9	1441,5	1304,9	1454,4	1385,7	1328,5	1794,8	1256,2	1613,7
2	B5-004	2236,6	1598,4	1437,2	1422,9	1312,8	1383,8	1532,8	1068,1	1477,8
3	B4-012	2438,4	1692,4	1391,9	1479,3	1217,4	1444,9	1664,1	1150,5	1402,8
4	B4-040	2502,1	1584,3	1551,8	1403,6	1557,5	1436,5	1601,4	1365,5	1691,2
5	B4-060	2346,8	1254,6	1162	1630,5	1132,7	1403,9	1530,6	1255,7	1472,8
6	B5-054	2393,4	1356,9	1477,3	1639,9	1175,8	1267,6	1712,6	1431,2	1503,1
7	C4-039	2207,7	1447,3	1371,1	1836,5	1163,5	1253,6	1838,4	1447,3	1447,3
8	C4-054	2699,9	1630,5	1760,9	1791,1	1214,7	1592,1	1685	1218,4	1611,3
9	C5-024	2415,1	1495,2	1576,5	1662,3	1029	1381,7	1594,5	1309,9	1452,2
10	C4-086	2744,2	1260,7	1866	2270,6	1311,2	1627,4	1854,6	1546	1913,5
11	C4-104	2364,9	1274,8	1429,5	1629,8	1267,6	1463	1750,5	1038,8	1574
12	C4-001	2499,6	1274,3	1335,2	1863,5	1547,8	1753,3	1609,6	1466,4	1858,7
13	C4-075	2202,5	1177,2	1444,1	1642,8	1318,1	1545,8	1608,5	1181,9	1526,8
14	C4-099	2612,2	1481,3	1344,6	1894,8	1573,3	1642	1770,1	1360,4	1606
15	C4-034	2206,5	1193,5	1221,4	1561,5	1191	1282,9	1700,3	1080,4	1413,8
16	C4-105	2401,5	1517,6	1328,2	1503,2	1278	1514,4	1703,7	1267,6	1670,7
17	C4-088	2474,2	1287,5	1481,2	1457,9	1326,4	1549,6	1536,9	1533,7	1865,6
18	C4-032	2359,1	1312,5	1267,5	1523,5	1483,4	1454,1	1578,1	1313,6	1660,7
19	C4-052	2492,1	1159,7	1208,7	1363	1305,7	1456,7	1537	1319,9	1590,7
20	C4-007	1897,1	1097,3	1230,4	1489,6	1207,5	1446,9	1469	1300,1	1445,2
21	C4-069	2499,5	1164,4	1340,7	1639,1	1376,7	1488,9	1568,4	1174,6	1760,8
22	C3-040	2238,1	1184,6	1235,8	1628,7	1500,6	1326,2	1559,3	1311,9	1813,5
23	C4-043	2182,2	1277,5	1253,5	1507,5	1417,2	1350,5	1518,6	1255,4	1643,1
24	C4-087	2409,9	1248,5	1367,2	1588,6	1255,4	1380,5	1750,2	1240,5	1540,6
25	C4-040	2449,6	1297,9	1143,6	1538,2	1270,5	1529,5	1547	1364,4	1937,6
26	C3-030	2312,5	1098,9	1262	1644	1578,4	1308,9	1366,5	1274,6	1853,7
27	C3-024	2350	1484,2	1271,7	1765,2	1542,8	1326,8	1486,8	1311,8	1909,3
28	C4-091	2682,2	1164,8	1497,7	1376,1	1211,5	1232,1	1518	1161,7	1430,4
29	C3-014	2706,3	1255,5	1486,1	1763,9	1780	1342,8	1569,8	1469,7	2153,6
30	C4-079	2246,3	1169,3	1099,6	1466,4	1434,2	1222,6	1353,8	1317,8	1575,6
31	C4-103	2379,3	1133,6	1555,6	1525,8	1682,2	1343,2	1764,1	1361	1515,6
32	C4-096	2481,6	1196,2	1532,7	1594,2	1410	1309,4	1486,1	1062,7	1531,4
33	C3-035	2345,1	1211,9	1286,8	1801,2	1467,2	1348,9	1434	1204,3	1696,3
34	C4-093	2346,2	1195,9	1259,6	1442	1277,4	1442,1	1429,7	1377,6	1363,7
35	C4-072	2606,8	1175,1	1374,5	1561,2	1384,4	1290,6	1552,9	1177	1555,4
36	C3-043	2558,9	1268,4	1488,7	2227	1823,5	1887,5	1709,9	1657,6	1999,4
37	C3-009	2034,3	1067	1152,6	1530,7	1375,5	1393	1425,5	1303,2	1702,3
38	C3-034	2836,8	1164,7	1404,9	1819,5	1591,9	1862,4	1809,8	1592	1903,2
39	C3-031	2054	933,6	1200,6	1692,5	1497,2	1407	1841,9	1394,6	1736
	<b>Média</b>	2400,5	1287,9	1369,3	1631,6	1381,4	1436,5	1609,4	1305,7	1651,8

Fonte: Organizado pelo autor com os dados pluviométricos do DAEE, (SÃO PAULO, [20--?]).

Dados de chuva anual, chuva média anual e chuva média do período de 1974 a 1999.

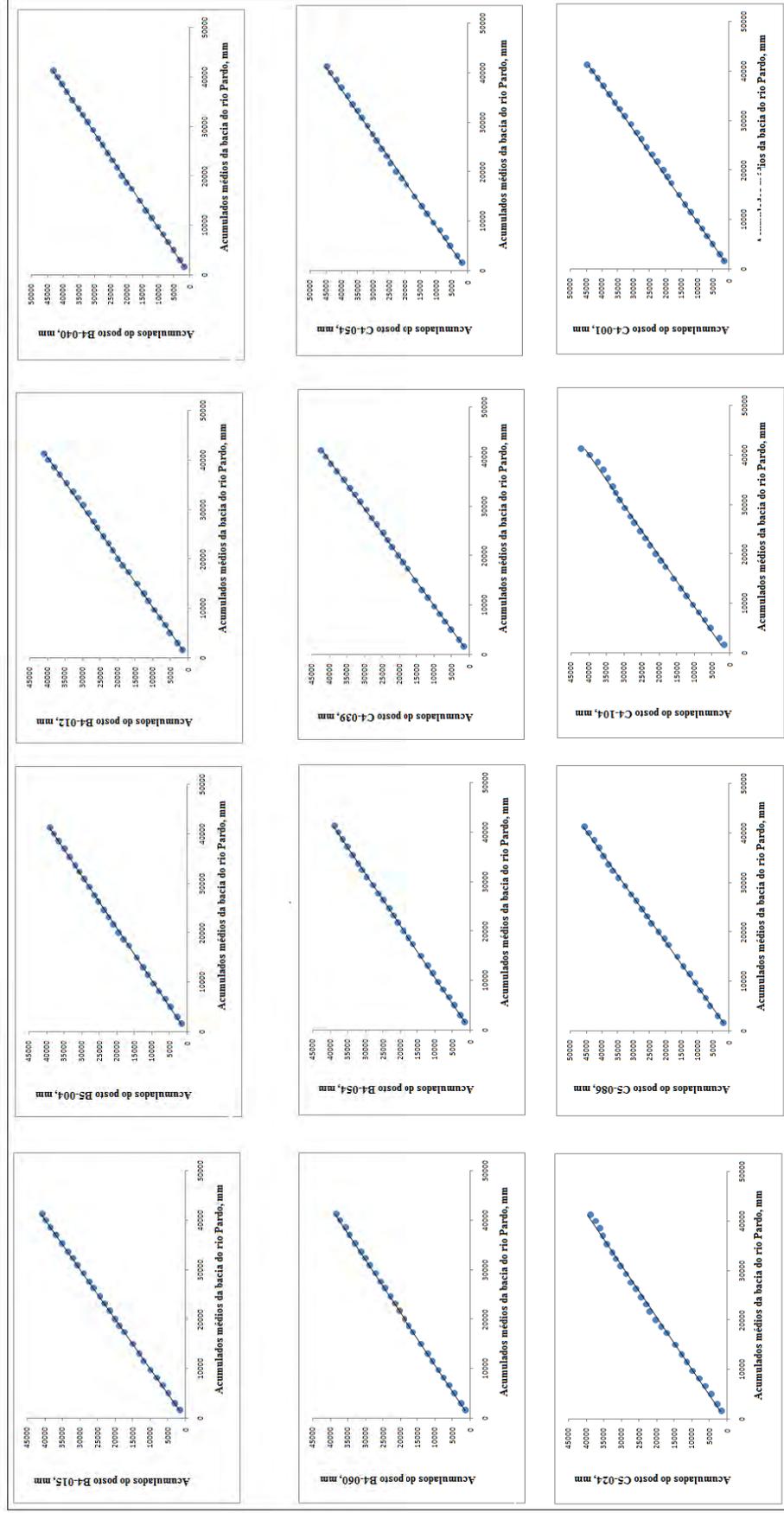
(conclusão)

N	Postos/Anos	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Média
1	B4-015	1613,7	1852,4	1197,1	1426,6	1728,3	1744,5	1517,7	1300,4	1065,5	1569,8
2	B5-004	1477,8	1464,4	1402,4	1159,8	1679,1	1433,2	1629,3	1330,1	1175,6	1504,2
3	B4-012	1402,8	1501,4	1415,9	1493,9	1818,2	1902,6	1673,4	1656,4	1236,3	1579
4	B4-040	1691,2	1741,8	1439,6	1412,9	2026,8	1716,8	1417	1420,6	1391,8	1661,9
5	B4-060	1472,8	1664,6	1236,9	1277,5	1657,6	1546,2	1150,3	1497,1	1164,6	1478,9
6	B5-054	1503,1	1757,5	1318,5	1089,6	1532,8	1514,6	1301,9	1206,4	1145,4	1490,2
7	C4-039	1447,3	1891,1	1427,9	1398,5	1773,8	2016,6	1670,9	1465,9	1364,3	1629,2
8	C4-054	1611,3	1808,2	1352,2	1570,7	1517,4	1919,8	1565,6	1933	1236,3	1726,9
9	C5-024	1452,2	1504,7	1340,8	1001,2	1506,4	1153,6	876,1	1183,2	1493,1	1493,2
10	C4-086	1913,5	2189,1	1797,7	1275,2	1637	1395,2	1438	1733,8	1415,7	1755,8
11	C4-104	1574	1478,6	1092,4	904,5	1298,6	1353,3	1526,2	2295,3	2463,7	1622,4
12	C4-001	1858,7	1899,2	1629,4	1540,5	1823,7	1875,1	1716,3	1775,7	1647	1726,5
13	C4-075	1526,8	1506,5	1434,4	1298,6	1618,5	1448,1	1683,7	1695,9	1228,6	1566,5
14	C4-099	1606	1882,2	1565,8	1458,3	1878,8	1961,2	1801,6	1889,4	1435,1	1741,3
15	C4-034	1413,8	1554,6	1634,1	1151,5	1489,9	1423,1	1435,7	1405,7	1359,3	1478,8
16	C4-105	1670,7	1592,5	1323,4	1213,2	1618	1612,9	1515,9	1378,1	1184,2	1575,3
17	C4-088	1865,6	1509,7	1546,2	1475,9	1632,8	1819,1	1743,1	1576,9	1306,3	1611,4
18	C4-032	1660,7	1453,4	1482,4	1292,6	1548,7	1785,5	1590,4	1472	1144,1	1530,9
19	C4-052	1590,7	1773,5	1229,7	1250,4	1890,2	1898,2	1504,1	1506,7	1120,4	1511,6
20	C4-007	1445,2	1416,5	1548,6	1360,5	1484,7	1722,2	1488,3	1414,8	1071,5	1448,2
21	C4-069	1760,8	1514,5	1427,3	1327,5	1762	1785,4	1979,9	1158,8	1414,8	1602,5
22	C3-040	1813,5	1519,5	1402,3	1349,9	1621,8	1994,9	1486,7	1386,4	1295,4	1597,8
23	C4-043	1643,1	1721,7	1442,4	1185	1589,2	1843,1	1670,5	1437,8	1362,4	1569,1
24	C4-087	1540,6	1730	1347,7	1303,3	1719,6	1881,2	1848,1	1465,2	1215,2	1584,9
25	C4-040	1937,6	1729,1	1293,1	1384,1	1798,8	1799,8	1608,6	1269,7	1195,3	1533,7
26	C3-030	1853,7	1473,2	1413,8	1213,9	1724	1855,3	1973,1	1408,6	1183,6	1574,7
27	C3-024	1909,3	1483,8	1482,7	1398,2	1726,7	2080,3	1874,1	1432,3	1227,1	1604,6
28	C4-091	1430,4	1557,4	1531,8	1121,6	1725,6	1710,6	1682	1273,3	1034,1	1529,7
29	C3-014	2153,6	1586,1	1352,2	1235,3	1725,9	1817	1596,7	1437,3	1066,2	1683,7
30	C4-079	1575,6	1628,6	1360,9	1041,7	1564,4	1801,7	1675,7	1452,7	1101,3	1494,5
31	C4-103	1515,6	1602,3	1792,9	994,2	1594,8	1642,5	1283,1	1573	1579,6	1568,3
32	C4-096	1531,4	1441,7	1645,2	1256	1730,9	1574	1611,5	1394,1	1218,2	1528,8
33	C3-035	1696,3	1603,6	1324,8	1426	1769,1	1730	1360	1323,6	1112,1	1525,1
34	C4-093	1363,7	1549,1	1397,4	1240,3	1651	1614,5	1584,8	1530,9	1384	1478,3
35	C4-072	1555,4	1717,2	1065,1	1130,2	1585,5	1498,8	1272,1	914	1126,7	1430,7
36	C3-043	1999,4	1837,2	2065	1569	2099,2	2065,8	2017,4	1642,5	1577,1	1882,4
37	C3-009	1702,3	1604,9	1322,7	1036,1	1533,1	1639,7	1491,7	1115,4	1161,3	1454
38	C3-034	1903,2	1581	1416,8	1401,2	1765	1880,8	1624,3	1468,2	1349,4	1691
39	C3-031	1736	1556,2	1278,6	1371,5	1792,5	1715,1	1683,1	1270,9	1202,4	1532,2
	Média	1651,8	1637,9	1430,2	1283	1683,1	1722,4	1578,7	1463,9	1293,7	1578,7

Fonte: Organizado pelo autor com os dados pluviométricos do DAEE, (SÃO PAULO, [20--?]).

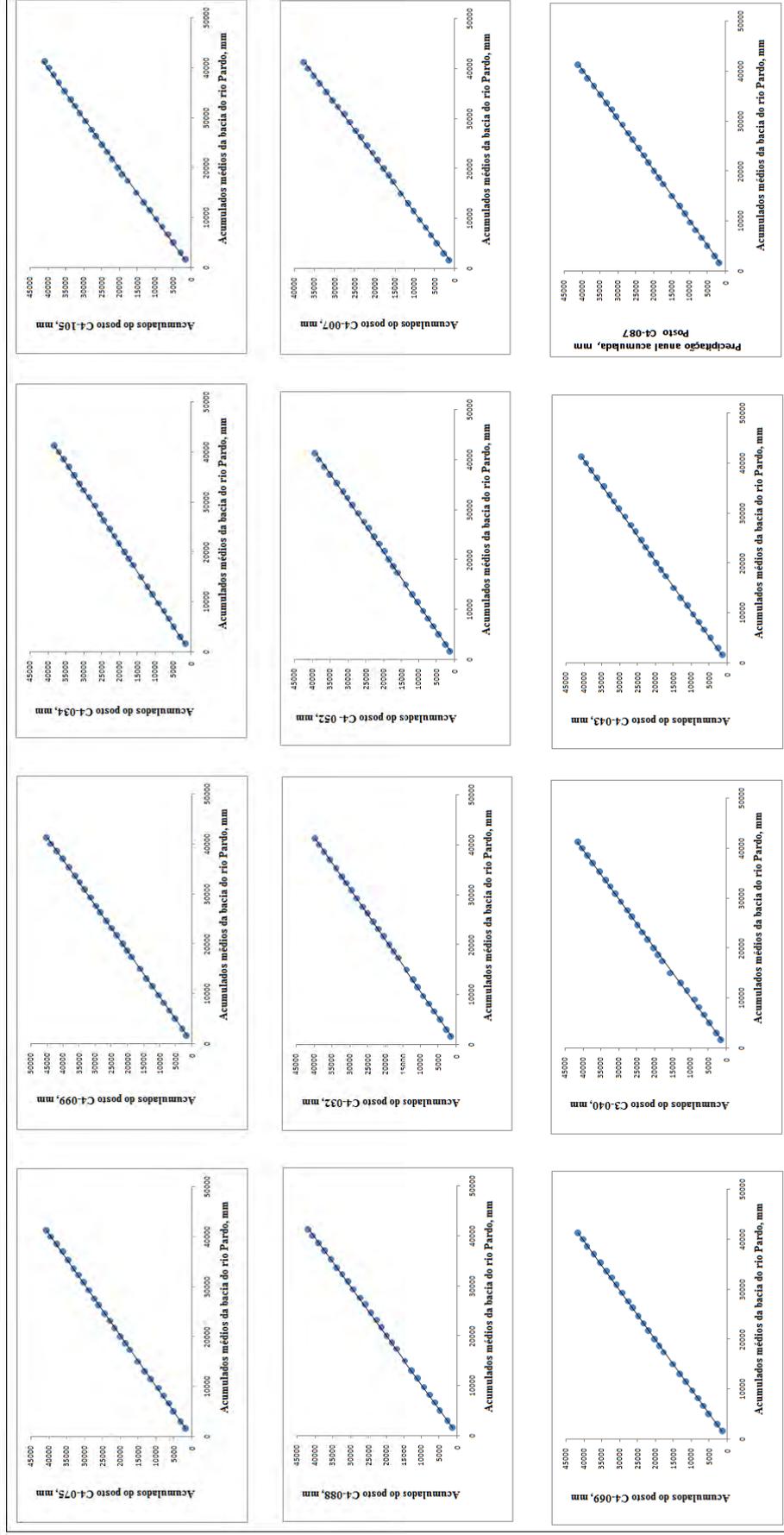
**ANEXO B**

Gráficos resultantes da aplicação do Método de Dupla Massa às séries correspondentes aos postos pluviométricos da bacia para verificação da consistência dessas séries (continua)



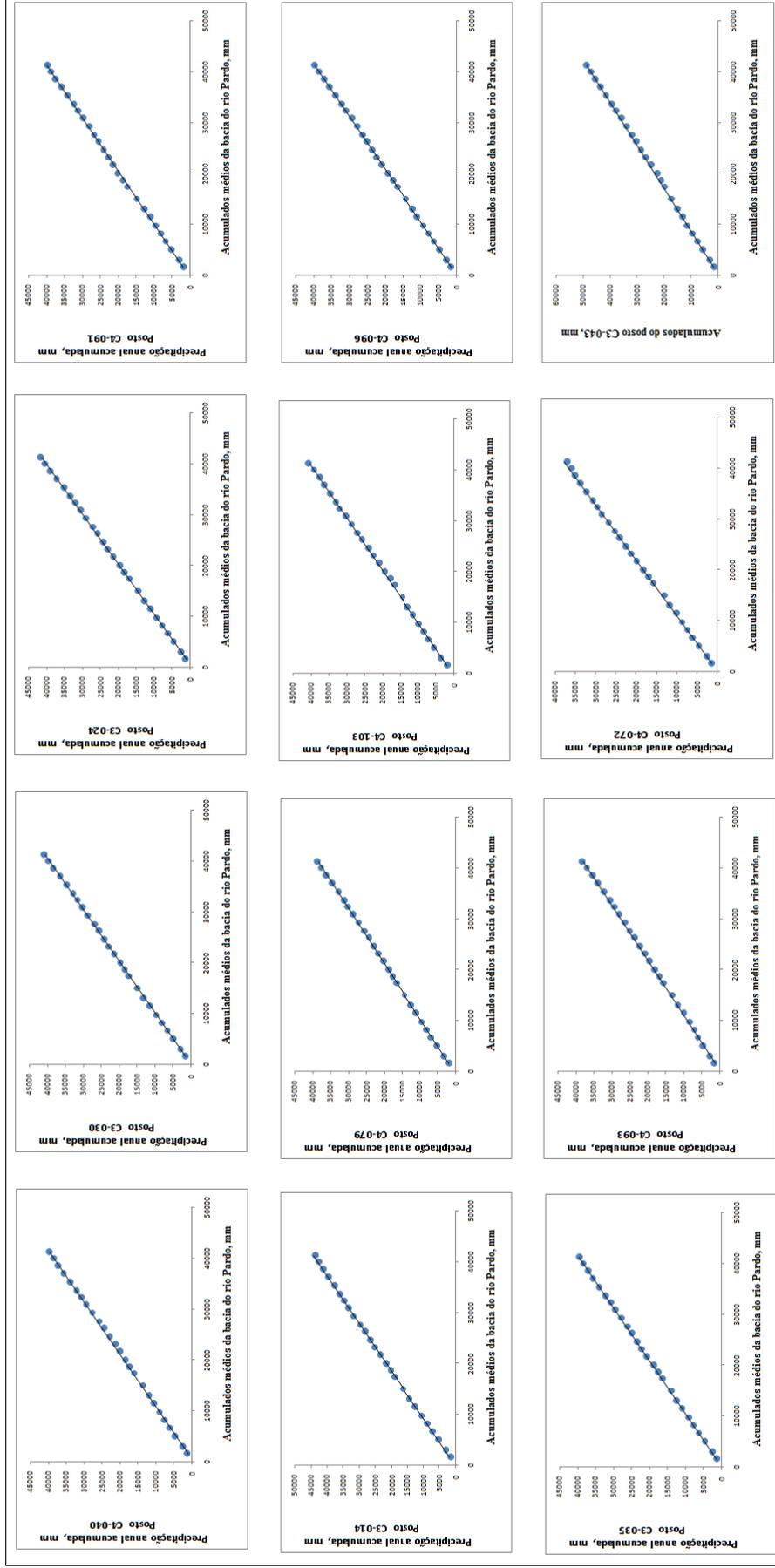
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

Gráficos resultantes da aplicação do Método de Dupla Massa às séries correspondentes aos postos pluviométricos da bacia para verificação da consistência dessas séries. (continuação)



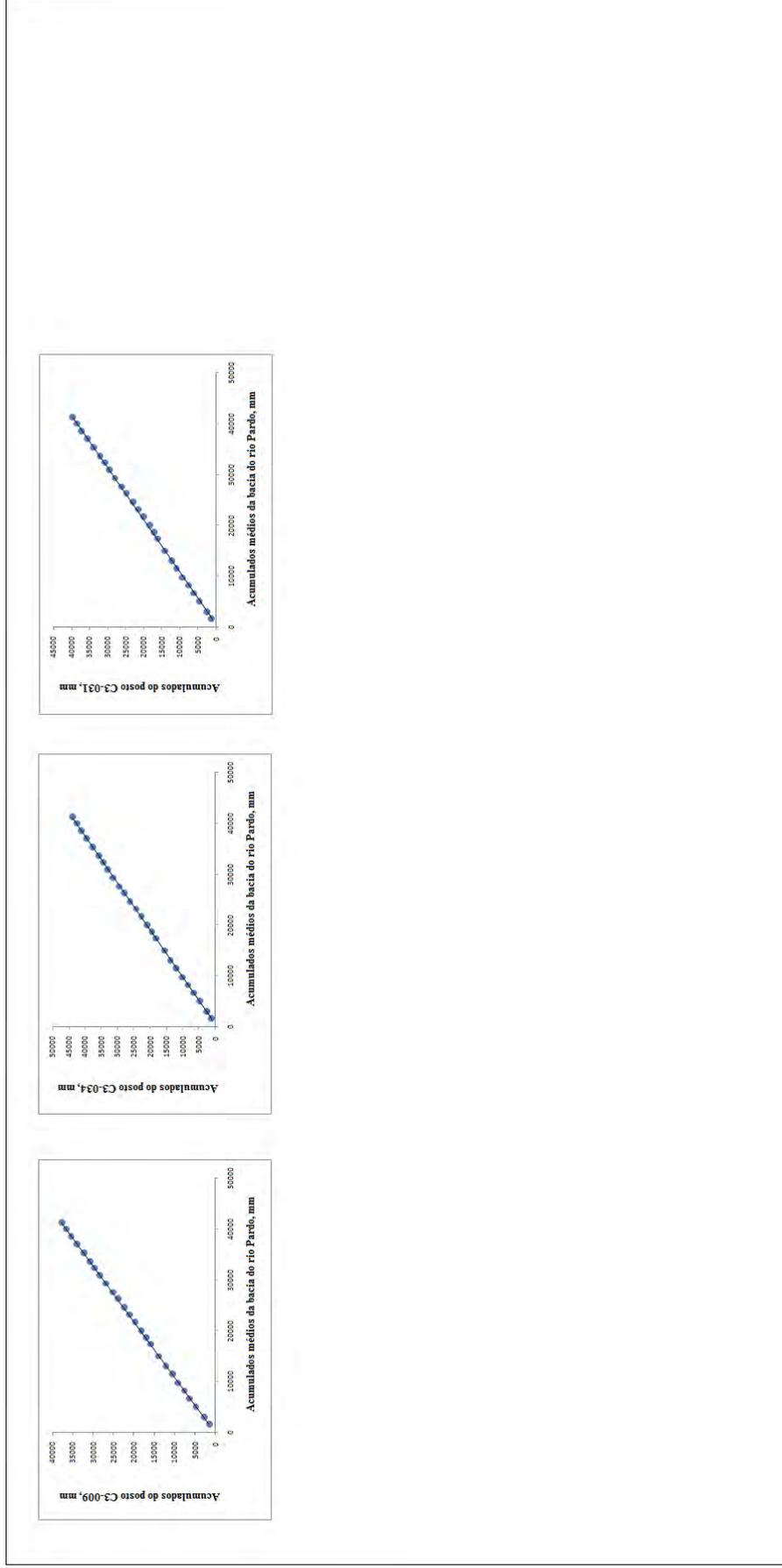
Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

Gráficos resultantes da aplicação do Método de Dupla Massa às séries correspondentes aos postos pluviométricos da bacia para verificação da consistência dessas séries (continuação)



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)

Gráficos resultantes da aplicação do Método de Dupla Massa às séries correspondentes aos postos pluviométricos da bacia para verificação da consistência dessas séries (conclusão)



Fonte: Elaborado pelo autor por meio de planilha eletrônica (EXCEL, 2010)