



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TATIANA GUSMÃO DE MENDONÇA PEREIRA**

**REGIME HIDROLÓGICO DO RIO SÃO FRANCISCO FACE  
ÀS SÉRIES ATUAIS**

RECIFE, 2016

*TATIANA GUSMÃO DE MENDONÇA PEREIRA*

**REGIME HIDROLÓGICO DO RIO SÃO FRANCISCO FACE ÀS SÉRIES ATUAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo

Coorientador: Thiago Franklin Santos de Almeida

RECIFE, 2016

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

P436r      Pereira, Tatiana Gusmão de Mendonça.  
              Regime hidrológico do Rio São Francisco face às séries atuais / Tatiana  
Gusmão de Mendonça Pereira. -2016.  
              57 folhas, il.

              Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo.  
              Coorientador: Thiago Franklin Santos de Almeida.  
              TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Graduação em Engenharia Civil, 2016.  
              Inclui Referências e Apêndice.

              1. Engenharia Civil. 2. Vazão. 3. Mudanças climáticas.      4. Condição  
              hidrológica. 5. Curva de permanência. 6. Preenchimento de falhas.  
              7. Rio São Francisco. I. Azevedo, José Roberto Gonçalves de  
              (Orientador). II. Almeida, Thiago Franklin Santos de (Coorientador).  
              III. Título.

              624 CDD (22. ed.)                      UFPE/BCTG/2016-220



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL**

**CANDIDATO(S):** 1 – Tatiana Gusmão de Mendonça Pereira  
2 –

**BANCA EXAMINADORA:**

**Orientador:** José Roberto Gonçalves de Azevedo

**Coorientador:** Thiago Franklin Santos de Almeida

**Examinador 1:** Paulo Frassinete de Araújo Filho

**Examinador 2:** Bruno Marcionilo Silva

**TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:**

Regime hidrológico do rio São Francisco face às séries atuais

**LOCAL:**

**DATA:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ **HORÁRIO DE INÍCIO:** \_\_\_\_\_.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: 8,3 (deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1)  **aprovado(s) (nota  $\geq 7,0$ )**, pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo,  $3,0 \leq \text{nota} < 7,0$ , será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2)  **reprovado(s). (nota  $< 3,0$ )**

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 05 de AGOSTO de 2016

Orientador:

Coorientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato 1:

Candidato 2:

*Dedicatória*

*Aos meus pais Otávio e Thelma,  
aos meus irmãos Rômulo e Fernanda,  
a Thomaz e aos demais familiares.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por olhar por mim e permitir que eu chegasse até aqui, colocando pessoas maravilhosas no meu caminho.

Ao meu orientador Prof. José Roberto pela paciência, ensinamentos transmitidos e disponibilidade para encaminhar este trabalho.

À Projetec – Projetos Técnicos Ltda. que propiciou o amadurecimento profissional e colocou no meu caminho pessoas essenciais para o meu crescimento.

À minha família que se fez sempre presente, dando força, apoiando, aconselhando e ajudando a encontrar o caminho certo.

Aos grandes amigos que fiz durante o curso, pelo ombro cedido, pelo incentivo e horas de estudo compartilhadas.

A todas as pessoas que colaboraram de alguma forma durante este trabalho e minha vida.

**PEREIRA, T. G. M. (2016). Regime Hidrológico do rio São Francisco face às séries atuais. Trabalho de Conclusão do Curso, graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife / PE.**

### **RESUMO**

O fornecimento de água é fundamental para qualquer desenvolvimento humano, pois além de proporcionar qualidade de vida para a população, propicia o desenvolvimento econômico em todos os níveis de produção. Para definir quais são os principais responsáveis por cada parcela de consumo de água é preciso estudar o quanto é utilizado por cada setor. É importante quantificar todos os usos consuntivos, assim como as variações causadas por fatores climáticos, seja na elevada taxa de evaporação em reservatórios de água, seja na redução da precipitação ao longo do ano. Este trabalho teve por objetivo determinar o regime hidrológico do rio São Francisco através da metodologia apresentada por Genz & Luz (2012) utilizando as séries hidrológicas atuais. Ao contrário do realizado por Genz & Luz (2012), foi selecionado o posto linimétrico de Pão de Açúcar como posto de referência do Baixo São Francisco, por este apresentar maior série histórica e com menos falhas. Os resultados sugerem que toda análise hidrológica deve ser feita com dados atualizados, para evitar variações em função de mudanças climáticas, assim como levar em consideração os demais fatores externos que possam vir a alterar o regime de vazões.

Palavras-chaves: Vazão. Mudanças Climáticas. Condição Hidrológica. Curva de Permanência. Preenchimento de Falhas. Rio São Francisco.

**PEREIRA, T. G. M. (2016). Hydrological regime of São Francisco river due the current series. Final Course Work, graduation in Civil Engineering, Department of Civil Engineering and Environmental (DECIV), Center of Technology and Geosciences (CTG), Federal University of Pernambuco (UFPE). Recife / PE.**

#### **ABSTRACT**

The water supply is fundamental for any human development, as well as providing life quality for the population, it provides the economic development in all productions levels. To define which are the main responsables for each parcel of water consumption is necessary to study how much is used in each sector. It is important to quantify all the consumptive uses, as well as the variations caused by climatic factors, in case of high evaporation rate in water reservoir, or in case of rainfall reduction throughout the year. This study aimed to determine the hydrological regime of São Francisco river through the methodology presented by Genz & Luz (2012) using current hydrological series. Instead of the performed by Genz & Luz (2012), it was selected the limnimetric station of Pão de Açúcar as the reference station of Baixo São Francisco because it presents a greater historical series and less gaps. The results suggest that all hydrologic analysis should be done with updated data, to avoid variations in function of climate change, as well to consider other external factors that may change the flow regime.

Keywords: Streamflow. Climate Changes. Hydrological Condition. Flow Duration Curve. Gap Filling. São Francisco River.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regiões Fisiográficas, Hidrelétricas e Hidrovias na RH São Francisco. ....	13
Figura 2 - Bacia Hidrográfica do São Francisco e Estações Fluviométricas estudadas. ....	18
Figura 3 - Programa utilizado para preenchimento de falhas. ....	19
Figura 4 - Formato do documento de texto para preenchimento de falhas. ....	20
Figura 5 - Métodos para preenchimento de falhas. ....	20
Figura 6 - Exemplo de Curva de Permanência. ....	24
Figura 7 - Exemplo de Curvas de Permanência obtidas para um período com diferentes classes hidrológicas. ....	26
Figura 8 - Exemplo de Curvas de Permanência obtidas para classes hidrológicas e diferentes períodos. ..	26
Figura 9 - Variação das Anomalias de MRP+BQR e Pão de Açúcar. ....	27
Figura 10 - Variação das Vazões Médias Anuais. ....	28
Figura 11 - Vazões Anuais Médias e Média de Longo Termo no período de 1931-1994 para MRP+BQR. .	29
Figura 12- Vazões Anuais Médias e Média de Longo Termo no período de 1995-2015 para MRP+BQR. .	29
Figura 13 - Botão de ativação da Macro. ....	30
Figura 14 - Subséries preenchidas através da macro. ....	31
Figura 15 - Curvas de Permanência para as classes hidrológicas em diferentes períodos com série de 1934-2006. ....	33
Figura 16 - Curvas de permanência obtidas para diferentes classes hidrológicas nos mesmos períodos: a) 1934-2006, b) 1963-2006, c) 1979-2006, d) 1995-2006. ....	34
Figura 17 - Curvas de Permanência para um mesmo período com classes hidrológicas diferentes com série de 1934-2006. ....	36
Figura 18 - Curvas de permanência obtidas em diferentes períodos para as mesmas classes hidrológicas: a) Seco, b) Médio, c) Úmido, d) Muito Úmido. ....	36
Figura 19 - Curvas de Permanência de MRP+BQR para as classes hidrológicas em diferentes períodos: a) 1931-2015, b) 1931-1961, c) 1963-2015, d) 1979-2015, e) 1995-2015. ....	39
Figura 20 - Curvas de Permanência de MRP+BQR para o mesmo período com classes hidrológicas diferentes: a) Muito Úmidos, b) Úmidos, c) Médios, d) Secos, e) Muito secos. ....	41
Figura 21 - Curvas de Permanência de PA para as classes hidrológicas em diferentes períodos: a) 1931-2015, b) 1931-1961, c) 1963-2015, d) 1979-2015, e) 1995-2015. ....	43
Figura 22 - Curvas de Permanência de PA para o mesmo período com classes hidrológicas diferentes: a) Muito Úmidos, b) Úmidos, c) Médios, d) Secos, e) Muito secos. ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das Regiões Fisiográficas do Rio São Francisco.....	14
Tabela 2 - Exemplo de tabela para elaboração da Curva de Permanência. ....	22
Tabela 3 – Exemplo de tabela para elaboração da Curva de Permanência (continuação). ....	23
Tabela 4 - Limites entre classes de Classes Hidrológicas.....	25
Tabela 5 - Divisão dos períodos a serem estudados. ....	25
Tabela 6 - Vazão Anual Média e Desvio Padrão para cada período.....	27
Tabela 7 - Quantidade de anos por classe hidrológica em cada série. ....	28

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>v</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Justificativa e Motivação</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2 Objetivos Gerais e Específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Características da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Mudanças climáticas na BHSF</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 Condições Hidrológicas entre os anos de 1939 e 2006</b> .....	<b>15</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Determinação da Curva de Permanência</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 Condição Hidrológica da Bacia</b> .....	<b>24</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>27</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>48</b>
<b>APÊNDICE A – Planilhas com Vazões Médias Anuais, Anomalias e Classificação Hidrológica para MPR+BQR e Pão de Açúcar para todos os períodos</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a sobrevivência e para o funcionamento de diversas atividades, as quais influenciam diretamente na economia da sociedade. O problema da escassez de água é recorrente no Brasil e, principalmente nas regiões semiáridas, pois apresentam baixa precipitação ao longo do ano e de forma irregular.

Frequentemente é feita a afirmação de que a construção de barragens está diretamente associada à redução de vazões em rios. No entanto, a variação climática e os usos consuntivos da água também devem ser analisados e quantificados, a fim de realizar uma análise da demanda hídrica e determinar a parcela de participação associada a cada um destes fatores.

Segundo Tucci (2000), os processos hidrológicos são aleatórios, não permitindo conhecer a evolução dos valores de vazão em uma seção fluvial, por exemplo. Da mesma maneira, Asfora & Cirilo (2005) apud Genz & Luz (2012) dizem que o regime de vazões é caracterizado como sendo estocástico no tempo e no espaço, ou seja, representa uma família de variáveis aleatórias. Dessa forma, a determinação da disponibilidade hídrica sempre estará associada à possibilidade de falha.

Com a grande variedade dos usos da água, aumento da demanda e demais condicionantes da escassez (contaminação, desperdício e redução do potencial natural de fornecimento), a situação em relação ao déficit da disponibilidade hídrica vem se acentuando e, assim, aumentam os conflitos relacionados. Este trabalho procura aplicar os conhecimentos da hidrologia e da estatística a fim de buscar respostas para os problemas relacionados à escassez de água.

### 1.1 Justificativa e Motivação

A análise de forma distinta acerca dos usos da água é de extrema importância quando se deseja realizar um balanço hídrico. Torna-se bastante relevante distinguir os efeitos climáticos dos demais fatores que alteram o regime de vazões, a fim de obter uma maior precisão dos resultados.

A importância deste trabalho está na apresentação das vantagens de se estudar separadamente os efeitos causadores da variação do regime de vazões. Por meio da comparação entre curvas de permanência entre séries de vazões, que abrangem o

período pré e pós a construção de barragens, é possível observar as alterações nos valores das séries ao longo do tempo e fazer uma relação com os efeitos climáticos.

## **1.2 Objetivos Gerais e Específicos**

Este trabalho tem como objetivo determinar as condições hidrológicas atuais em um trecho do rio São Francisco, situado entre dois postos fluviométricos, um a montante e outro a jusante do complexo de usinas hidrelétricas da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). Este complexo que se encontra entre as regiões fisiográficas do Médio e Baixo São Francisco.

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

- Analisar as séries históricas de vazão, disponibilizadas no site Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), face às alterações climáticas ao longo dos anos.
- Elaborar planilhas eletrônicas com Macros (Visual Basic) para calcular as diversas variáveis utilizadas nesse estudo de uma forma mais rápida e confiável.
- Verificar o Comportamento Hidrológico do rio São Francisco ao longo dos últimos 85 anos (1931-2015) em dois pontos do seu curso.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1 Características da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco

Segundo o Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (PBHSF) (2004-2013), a bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF) divide-se em quatro regiões fisiográficas (Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco). Ela ainda se divide em 12.821 sub-bacias, a fim de densificar a quantidade de informações da bacia como um todo, uma vez que esta apresenta uma área de drenagem de 636.920 km<sup>2</sup>, correspondendo a 8% do território nacional, e o rio São Francisco (SF) possui uma extensão de 2.863 km.

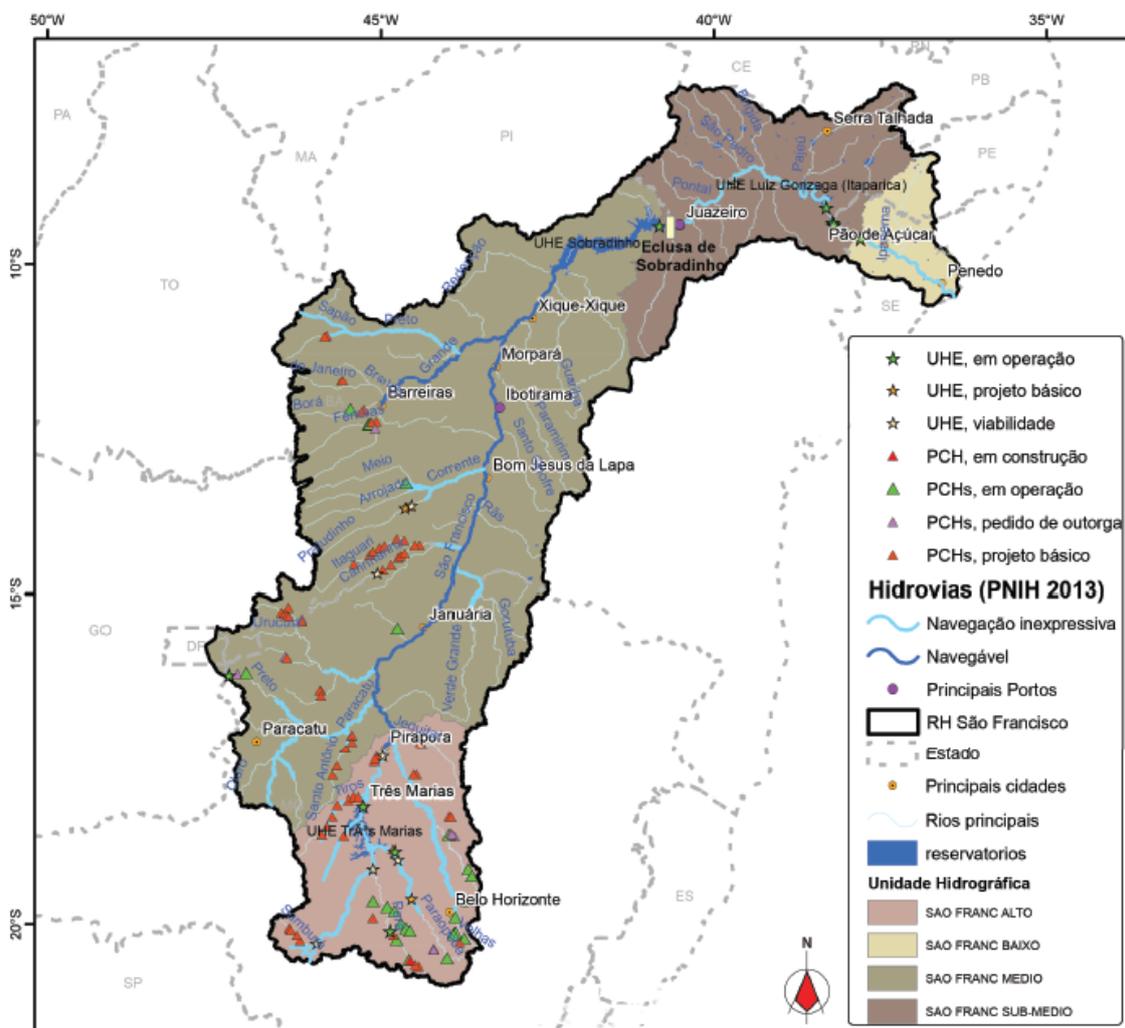


Figura 1 - Regiões Fisiográficas, Hidrelétricas e Hidrovias na RH São Francisco.  
Fonte: ANA, 2015.

A área de estudo do presente trabalho está situada entre o Médio e o Baixo SF. Como pode ser observado na *Tabela 1*, o Médio e o Submédio SF são consideradas as duas

maiores RF da BHSF, representando, quando somadas, cerca de 80% da área total da bacia.

Tabela 1 - Características das Regiões Fisiográficas do Rio São Francisco.

CARACTERÍSTICAS	REGIÕES FISIográfICAS			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Área (km <sup>2</sup> )	100.384	402.530	110.445	25.524
Trecho Principal (km)	1.003	1.152	568	140
Contribuição da vazão natural média (%)	41,7	54,6	1,9	1,8
Vazão média anual máxima (m <sup>3</sup> /s)	1.303	4.393	4.660	4.680
Estação	Pirapora	Juazeiro	Pão de Açúcar	Foz
Mês	fevereiro	fevereiro	-	março
Vazão média anual mínima (m <sup>3</sup> /s)	637	1.419	1.507	1.536
Estação	Pirapora	Juazeiro	Pão de Açúcar	Foz
Mês	agosto	setembro	setembro	setembro
Faixa de precipitação anual (mm)	2.000 a 1.100	1.400 a 600	800 a 350	1.500 a 350
Precipitação média anual (mm)	1.372	1.052	693	957
Temperatura média (°C)	23	24	27	25
Insolação média anual (h)	2.400	2.600 a 3.300	2.801	2.800
Evapotranspiração média anual (mm)	1.000	1.300	1.550	1.500

Fonte: Adaptado do PRHSF, 2004 e PRHSF, 2015.

## 2.2 Mudanças climáticas na BHSF

A questão das mudanças climáticas é algo recente no cotidiano das pessoas, principalmente quando se trata do semiárido brasileiro. Segundo o CGEE (2014), o clima varia de diversas maneiras, seja de uma escala sazonal até uma escala centenária, ou maiores.

O problema da seca na região hidrográfica do SF não está na falta de chuva e, sim na irregularidade de sua incidência (Rebouças, 1997). Os valores médios de precipitação esperados para um ano podem ocorrer num único mês ou se distribuir nos meses de período chuvoso, que variam de três a cinco meses. Através dos dados de precipitação, é possível analisar grande parte do comportamento hidrológico de uma bacia, como por exemplo fazer uma estimativa da vazão.

Pelo fato do Submédio e do Baixo São Francisco estarem localizados, na sua maior parte, no semiárido brasileiro, eventos críticos de seca são frequentes. A característica destas regiões é a forte intermitência das chuvas e dos rios, sendo a precipitação média anual de 1.003 mm, muito abaixo da média nacional de 1.761 mm. Todos os 206

municípios da região hidrográfica do SF apresentaram mais de 10 eventos de seca entre os anos de 2003 e 2013 (ANA, 2015).

A seca que o Nordeste Brasileiro vem enfrentando, desde 2012, refletiu, inclusive, no abastecimento humano. Cerca de 21% das sedes municipais passaram por situações de racionamento, ou de estado de alerta em 2013. Como forma de remediar, as cidades buscam outras alternativas para o abastecimento, como por exemplo, utilização de carros-pipa e a perfuração de poços (ANA, 2015).

### **2.3 Condições Hidrológicas entre os anos de 1939 e 2006**

A pesquisa elaborada por Genz & Luz (2012) consistiu em avaliar os efeitos climáticos sobre o regime de vazões em um rio altamente impactado por grandes barragens. Ele mostra a importância de escolher com cuidado séries de vazões que, apesar de serem mais convenientes, ao contrário de obter dados de precipitação, as estimativas podem conter erros provenientes da imprecisão do medidor de fluxo, do número de amostras, da variabilidade da velocidade do rio sobre a seção transversal, da incerteza da estimativa, entre outros.

Para determinar o quanto a variação climática interfere no regime de vazões em um rio com grande influência de barragens, primeiramente necessita-se analisar as vazões sem a influência das grandes obras hídricas.

A maneira de evitar o uso de modelagens para obter dados de vazões consiste em utilizar séries históricas de vazões suficientemente extensas, tanto para períodos antes e depois da construção de barragens, como em locais a montante e a jusante do trecho de rio estudado.

O critério primário adotado, *Hydrological Condition of the basin* (HyC), ou Condição Hidrológica da bacia, consiste em caracterizar a variabilidade hidrológica por meio da classificação de eventos anuais, onde estes são separados em classes hidrológicas em “muito secos”, “secos”, “médios”, “úmidos” e “muito úmidos”. O método HyC busca analisar o regime de vazões anuais em torno da vazão média anual ( $Q_m$ ) por meio da normalização da série através do cálculo da “Anomalia” (parâmetro da climatologia), a qual mostra-se relevante ao fazer a comparação de dados entre estações fluviométricas. Para aceitar ou rejeitar um evento, Genz & Luz (2012) adotam a média  $\pm 1\sigma$  (desvio

padrão) como forma de definir a faixa de variação, ou a mediana entre os valores correspondentes aos percentuais de 25% e 75%.

Para classificar eventos anuais e adotar os limites entre a divisão de classes, utilizando  $Q_m$  como referência, é necessário avaliar os eventos situados nas fronteiras entre duas classes. Tal situação ocorre, geralmente, em eventos de elevada magnitude e baixa duração, condicionando a adoção de elevada classe hidrológica.

A Curva de Permanência, ou *Flow Duration Curve* (FDC), é a relação da intensidade e frequência dos dados de vazão de uma série histórica. É considerado como um método bastante informativo, pois permite a visualização do comportamento do regime de vazões de maneira clara. A obtenção da curva de permanência é importante por ser menos sensível à duração do tempo de registro da série.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida neste trabalho foi direcionada para a análise do regime hidrológico em um rio de grande porte, composto por um complexo de usinas hidrelétricas. Sendo assim, serão estudadas as séries históricas de vazão de três postos fluviométricos situados na BHSF, mais especificamente dois a montante e um a jusante das barragens de Sobradinho e Xingó, respectivamente.

#### 3.1 Determinação da Curva de Permanência

A utilização de curvas de permanência para análise de regimes de vazões é uma alternativa muito eficiente, uma vez que elas são de fácil entendimento e expressam graficamente as condições hidrológicas de determinado curso d'água. Os resultados encontrados apontam, principalmente, características quanto a disponibilidade e potencialidade hídrica em bacias hidrográficas.

Por meio das séries de vazões diárias, disponibilizadas no site Hidroweb da ANA, e com auxílio de planilhas eletrônicas do *software* Microsoft Excel, foi possível determinar a curva de permanência para cada posto fluviométrico estudado.

##### 3.1.1. Escolha dos Postos Fluviométricos e Preenchimento de Falhas

A etapa de escolha dos postos é de grande importância, pois irá interferir na qualidade dos resultados, e deve obedecer alguns critérios preestabelecidos. Primeiramente, quanto mais próximo das barragens localizarem-se os postos, menor será a influência de fatores externos ao trecho estudado. Este critério tem como objetivo, por exemplo, evitar a influência de afluentes que não contribuem com as condições hidrológicas do trecho estudado, assim como prevenir que ocorram grandes alterações no regime devido à perda de água (evaporação e usos consuntivos). Dessa forma, os postos elegíveis deveriam estar situados nas proximidades do montante da barragem de Sobradinho e da jusante da barragem de Xingó, a fim de aumentar a precisão dos resultados.

A série ainda deve apresentar uma quantidade suficiente de dados, com o propósito de abranger anos de diversas características climáticas e não obter resultados tendenciosos. A extensão ideal das séries varia de autor para autor. Richter et al. (1997) apud Genz & Luz (2012) considera que, para representar as condições hidrológicas naturais de um rio, 20 anos de dados são suficientes.

O próximo passo foi analisar a série histórica de vazões de cada posto selecionado, verificar a extensão da mesma e realizar preenchimentos de falhas, quando necessário.

A montante do reservatório de Sobradinho, foram escolhidos dois postos, Morpará e Boqueirão, porém ambos necessitaram de preenchimento de falhas. A justificativa para tal escolha pode ser observada na *Figura 2*, uma vez que Morpará é o último posto fluviométrico a montante do reservatório, ainda situado no curso do rio São Francisco. Entre este posto e Sobradinho, há a contribuição do afluente rio Grande, que possui a estação fluviométrica Boqueirão. Sendo assim, para obter uma maior precisão dos resultados, foi feita a soma das vazões diárias destes dois postos dando origem a uma única série.

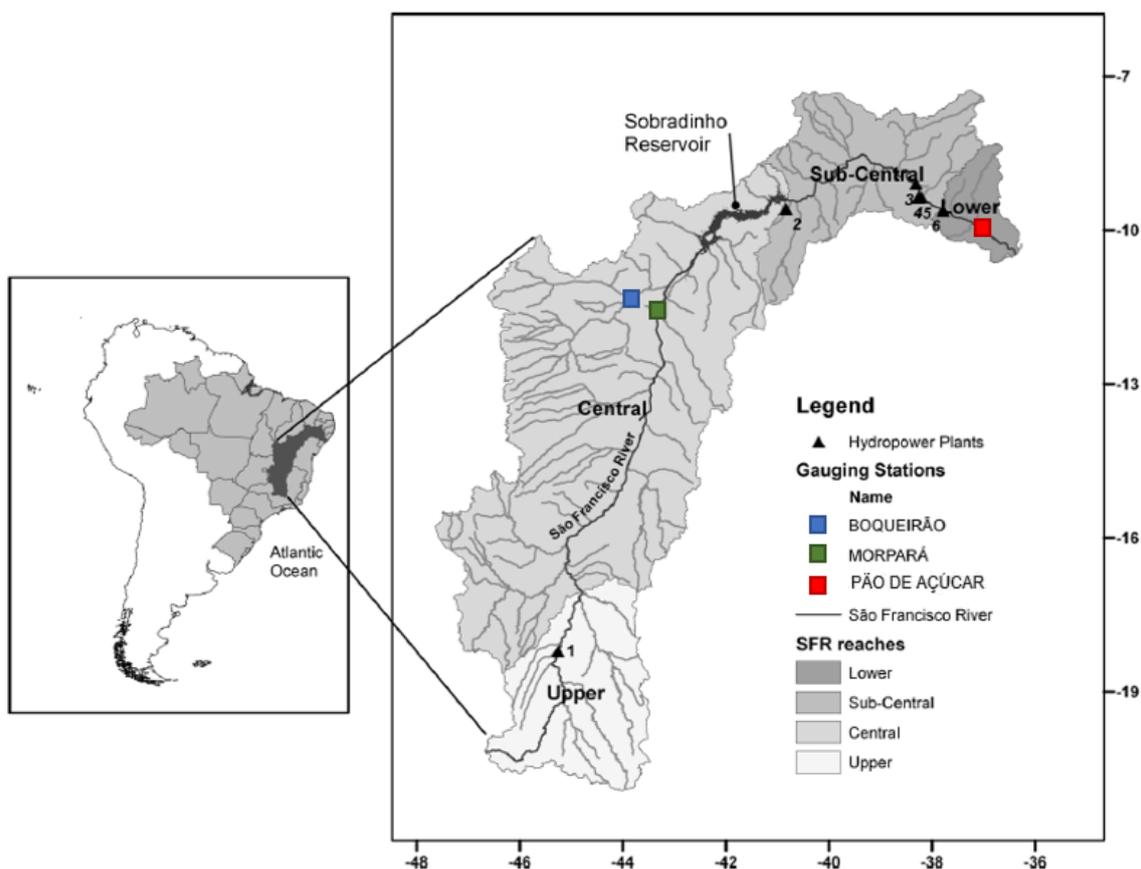


Figura 2 - Bacia Hidrográfica do São Francisco e Estações Fluviométricas estudadas.  
Fonte: Adaptado de Genz & Luz (2012)

Para os dados que apresentaram falhas em ambas as séries entre os anos 1931 e 1954, foram utilizados os dados do posto Juazeiro, localizado a jusante de Sobradinho. Esta consideração pode ser feita sem que haja alterações significativas nos resultados, pois os dados utilizados são de antes da construção das barragens e também pelo fato de o posto Juazeiro ser equivalente à junção das séries de Morpará e Boqueirão (MRP+BQR). O

posto Juazeiro não foi escolhido para o estudo, pois, após a construção de Sobradinho, este passou a refletir os efeitos da regularização por estar situado imediatamente a jusante dessa barragem, fazendo com que os valores da série de vazões fugissem do padrão dos demais postos (MRP+BQR) situados a montante. Tal posto também não foi utilizado para a análise das séries de jusante, uma vez que foram analisados apenas os postos situados a montante de Xingó.

Para a escolha do posto a jusante da barragem de Xingó, foram analisados os postos Pão de Açúcar, Traipu e Piranhas. Nos três casos as séries são extensas o suficiente, porém apresentaram falhas, sendo necessário realizar o preenchimento. Desta forma, o posto Pão de Açúcar foi escolhido para ser estudado devido a sua localização, próxima da UHE Xingó, e por apresentar a menor quantidade de falhas.

O preenchimento de falhas foi feito através de métodos estatísticos, conforme foi apresentado por Azevedo e Malta (2001) (*Figura 3*). Como os postos utilizados estão bem próximos um dos outros, não foi levado em consideração o tempo de viagem da água entre os mesmos. Para realizar o preenchimento de determinada série, além dos dados do posto Pão de Açúcar, necessita-se dispor de dados de um ou mais postos situados próximos, para garantir o mesmo comportamento hidrológico entre séries. Utilizando as informações dos postos Traipu e Piranhas, foi possível realizar o preenchimento das três séries. O ideal é que, em um período com falhas, pelo menos um dos postos analisados possua dados, do contrário será necessário utilizar uma metodologia específica para estes casos.



Figura 3 - Programa utilizado para preenchimento de falhas.

O primeiro passo consiste em criar um documento de texto contendo as informações do posto e dos dados de vazão, como pode ser visto na *Figura 4*. Nos dias com falha, para entendimento do programa, necessita-se preencher com o número -1111.

Deve-se anexar ao programa os arquivos de texto de todos os postos analisados. Em seguida, realiza-se o preenchimento de falhas pelos métodos apresentados na *Figura 5*, exceto o método do Vetor Regional, que serve apenas para dados pluviométricos. Como resultado, são geradas séries de vazões para cada um dos métodos, onde a série final preenchida foi obtida a partir da média das vazões diárias de cada método.

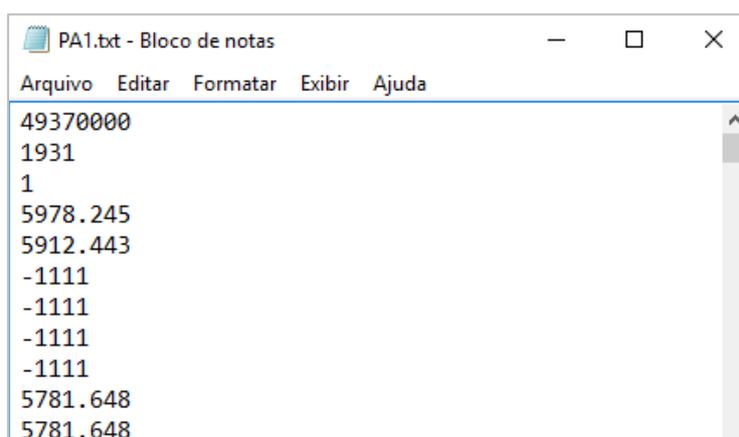


Figura 4 - Formato do documento de texto para preenchimento de falhas.

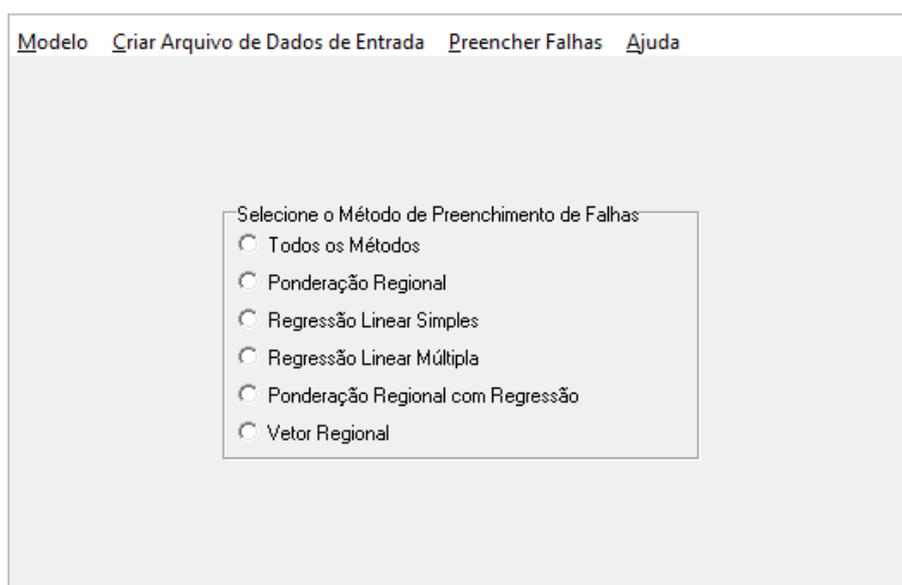


Figura 5 - Métodos para preenchimento de falhas.

Na existência de falha coincidente entre todas as séries analisadas, ou seja, acontecer de na mesma data todos os postos apresentarem falha, o programa não consegue operar, sendo necessário mudar a metodologia do preenchimento. Neste caso, após realizar um preenchimento parcial das falhas através do programa, utilizou-se o cálculo da vazão

média de longo termo. Esta representa a média aritmética da série histórica de vazões diárias, geralmente determinada para cada mês do ano.

Seguindo estes princípios, utilizando a série parcialmente preenchida, calculou-se a vazão média de longo termo para o mês da falha, assim como para os meses anterior e posterior (ambos sem falhas), utilizando todos os anos da série. Logo, se por acaso o mês da falha for fevereiro, calcula-se a média mensal de fevereiro para toda a série, assim como para janeiro e março (ambos sem falhas). Em seguida, encontrou-se a proporção entre os meses anterior e posterior com relação ao mês da falha.

Em suma, as séries analisadas para montante de Sobradinho e jusante de Xingó corresponderam às séries dos postos MRP+BQR e Pão de Açúcar, respectivamente.

O próximo passo é encontrar a vazão média mensal dos meses adjacentes à falha e relacionar com as porcentagens, anteriormente encontradas, resultando em uma nova vazão para estes meses. A média entre eles corresponderá a vazão utilizada para preencher o mês com ausência de dados.

### 3.1.2. Cálculo da Probabilidade de Ocorrência de Vazões

Após escolhidas as estações e preenchidas as falhas, calculou-se a probabilidade de ocorrência de cada vazão. Para isto, utilizando-se de planilhas eletrônicas do software Microsoft Excel, ordenou-se a coluna com valores de vazões em ordem decrescente e, em uma outra coluna, foi colocado o número ordenando a sequência de vazões (1, 2, 3, ..., n). Na coluna adjacente foi feito o cálculo da probabilidade para ocorrência de vazões pela relação:

$$Prob = \frac{i}{n+1} \quad (1)$$

Onde:

- Prob = probabilidade acumulada;
- i = número de ordem da vazão;
- n = último número de ordem da sequência de vazão.

Na *Tabela 2* pode ser observado um exemplo da disposição das colunas citadas e os resultados da probabilidade para cada valor de vazão. Na *Figura 6*, a seguir, apresenta-se a curva de permanência gerada a partir da mesma tabela. Seguindo esta metodologia, foram geradas as curvas de permanência para cada posto.

Tabela 2 - Exemplo de tabela para elaboração da Curva de Permanência.

<b>Data</b>	<b>Ordem</b>	<b>Q<sub>dia</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Prob.</b>	<b>Data</b>	<b>Ordem</b>	<b>Q<sub>dia</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Prob.</b>
27/fev/79	<b>1</b>	18 595	1%	15/mar/79	<b>43</b>	12 968	26%
26/fev/79	<b>2</b>	18 590	1%	17/fev/92	<b>44</b>	12 867	26%
28/fev/79	<b>3</b>	18 546	2%	07/mar/92	<b>45</b>	12 820	27%
01/mar/79	<b>4</b>	18 444	2%	16/mar/79	<b>46</b>	12 438	28%
25/fev/79	<b>5</b>	18 390	3%	18/fev/79	<b>47</b>	12 385	28%
02/mar/79	<b>6</b>	18 339	4%	20/fev/80	<b>48</b>	12 371	29%
03/mar/79	<b>7</b>	18 180	4%	19/fev/80	<b>49</b>	12 367	29%
24/fev/79	<b>8</b>	18 143	5%	08/mar/92	<b>50</b>	12 356	30%
04/mar/79	<b>9</b>	17 970	5%	21/fev/80	<b>51</b>	12 347	31%
05/mar/79	<b>10</b>	17 713	6%	22/fev/80	<b>52</b>	12 324	31%
23/fev/79	<b>11</b>	17 706	7%	18/fev/80	<b>53</b>	12 234	32%
06/mar/79	<b>12</b>	17 356	7%	23/fev/80	<b>54</b>	12 210	32%
07/mar/79	<b>13</b>	17 005	8%	16/fev/92	<b>55</b>	12 133	33%
22/fev/79	<b>14</b>	16 984	8%	17/fev/80	<b>56</b>	12 102	34%
08/mar/79	<b>15</b>	16 558	9%	24/fev/80	<b>57</b>	12 102	34%
21/fev/79	<b>16</b>	16 085	10%	25/fev/80	<b>58</b>	11 999	35%
09/mar/79	<b>17</b>	16 020	10%	17/mar/79	<b>59</b>	11 988	35%
25/fev/92	<b>18</b>	15 922	11%	09/mar/92	<b>60</b>	11 909	36%
26/fev/92	<b>19</b>	15 906	11%	16/fev/80	<b>61</b>	11 908	37%
27/fev/92	<b>20</b>	15 790	12%	26/fev/80	<b>62</b>	11 835	37%
24/fev/92	<b>21</b>	15 702	13%	27/fev/80	<b>63</b>	11 664	38%
28/fev/92	<b>22</b>	15 628	13%	15/fev/80	<b>64</b>	11 593	38%
10/mar/79	<b>23</b>	15 536	14%	28/fev/80	<b>65</b>	11 543	39%
23/fev/92	<b>24</b>	15 479	14%	10/mar/92	<b>66</b>	11 506	40%
29/fev/92	<b>25</b>	15 374	15%	18/mar/79	<b>67</b>	11 496	40%
22/fev/92	<b>26</b>	15 298	16%	15/fev/92	<b>68</b>	11 414	41%
01/mar/92	<b>27</b>	15 091	16%	29/fev/80	<b>69</b>	11 357	41%
11/mar/79	<b>28</b>	15 033	17%	17/fev/79	<b>70</b>	11 330	42%
21/fev/92	<b>29</b>	15 002	17%	01/mar/80	<b>71</b>	11 169	43%
20/fev/79	<b>30</b>	14 990	18%	14/fev/80	<b>72</b>	11 141	43%
02/mar/92	<b>31</b>	14 817	19%	11/mar/92	<b>73</b>	11 088	44%
20/fev/92	<b>32</b>	14 600	19%	19/mar/79	<b>74</b>	11 022	44%
12/mar/79	<b>33</b>	14 538	20%	02/mar/80	<b>75</b>	10 979	45%
03/mar/92	<b>34</b>	14 429	20%	07/mar/83	<b>76</b>	10 949	46%
19/fev/92	<b>35</b>	14 095	21%	08/mar/83	<b>77</b>	10 944	46%
04/mar/92	<b>36</b>	14 056	22%	06/mar/83	<b>78</b>	10 896	47%
13/mar/79	<b>37</b>	13 985	22%	09/mar/83	<b>79</b>	10 854	47%
19/fev/79	<b>38</b>	13 704	23%	03/mar/80	<b>80</b>	10 848	48%
05/mar/92	<b>39</b>	13 622	23%	05/mar/83	<b>81</b>	10 789	49%
18/fev/92	<b>40</b>	13 503	24%	10/mar/83	<b>82</b>	10 765	49%
14/mar/79	<b>41</b>	13 485	25%	12/mar/92	<b>83</b>	10 714	50%
06/mar/92	<b>42</b>	13 199	25%	04/mar/80	<b>84</b>	10 665	50%

Tabela 3 – Exemplo de tabela para elaboração da Curva de Permanência (continuação).

<b>Data</b>	<b>Ordem</b>	<b>Q<sub>dia</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Prob.</b>	<b>Data</b>	<b>Ordem</b>	<b>Q<sub>dia</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Prob.</b>
14/fev/92	<b>85</b>	10 654	51%	20/fev/82	<b>126</b>	9 620	75%
20/mar/79	<b>86</b>	10 623	51%	19/fev/82	<b>127</b>	9 575	76%
11/mar/83	<b>87</b>	10 620	52%	07/jan/90	<b>128</b>	9 571	77%
13/fev/80	<b>88</b>	10 619	53%	21/fev/82	<b>129</b>	9 566	77%
04/mar/83	<b>89</b>	10 597	53%	18/jan/90	<b>130</b>	9 562	78%
05/mar/80	<b>90</b>	10 537	54%	14/fev/79	<b>131</b>	9 557	78%
16/fev/79	<b>91</b>	10 519	54%	11/fev/80	<b>132</b>	9 553	79%
12/jan/90	<b>92</b>	10 472	55%	18/fev/82	<b>133</b>	9 507	80%
11/jan/90	<b>93</b>	10 471	56%	16/mar/92	<b>134</b>	9 504	80%
12/mar/83	<b>94</b>	10 451	56%	12/fev/92	<b>135</b>	9 495	81%
13/jan/90	<b>95</b>	10 422	57%	23/mar/79	<b>136</b>	9 458	81%
06/mar/80	<b>96</b>	10 381	57%	28/fev/83	<b>137</b>	9 440	82%
13/mar/92	<b>97</b>	10 376	58%	17/mar/83	<b>138</b>	9 440	83%
10/jan/90	<b>98</b>	10 361	59%	22/fev/82	<b>139</b>	9 439	83%
03/mar/83	<b>99</b>	10 354	59%	14/mar/80	<b>140</b>	9 407	84%
14/jan/90	<b>100</b>	10 293	60%	17/fev/82	<b>141</b>	9 365	84%
07/mar/80	<b>101</b>	10 282	60%	23/fev/82	<b>142</b>	9 288	85%
13/mar/83	<b>102</b>	10 230	61%	19/jan/90	<b>143</b>	9 284	86%
08/mar/80	<b>103</b>	10 208	62%	13/fev/79	<b>144</b>	9 261	86%
21/mar/79	<b>104</b>	10 183	62%	18/mar/83	<b>145</b>	9 241	87%
09/jan/90	<b>105</b>	10 175	63%	06/jan/90	<b>146</b>	9 239	87%
15/jan/90	<b>106</b>	10 166	63%	10/fev/80	<b>147</b>	9 211	88%
09/mar/80	<b>107</b>	10 110	64%	17/mar/92	<b>148</b>	9 209	89%
14/mar/92	<b>108</b>	10 077	65%	27/fev/83	<b>149</b>	9 158	89%
12/fev/80	<b>109</b>	10 068	65%	16/fev/82	<b>150</b>	9 153	90%
02/mar/83	<b>110</b>	10 065	66%	24/mar/79	<b>151</b>	9 139	90%
13/fev/92	<b>111</b>	10 045	66%	15/mar/80	<b>152</b>	9 107	91%
14/mar/83	<b>112</b>	10 039	67%	11/fev/92	<b>153</b>	9 086	92%
10/mar/80	<b>113</b>	10 038	68%	19/mar/83	<b>154</b>	9 048	92%
16/jan/90	<b>114</b>	9 993	68%	15/fev/82	<b>155</b>	9 041	93%
15/fev/79	<b>115</b>	9 964	69%	20/jan/90	<b>156</b>	9 039	93%
11/mar/80	<b>116</b>	9 940	69%	09/mar/07	<b>157</b>	9 026	94%
08/jan/90	<b>117</b>	9 892	70%	10/mar/07	<b>158</b>	9 021	95%
15/mar/83	<b>118</b>	9 826	71%	05/jan/90	<b>159</b>	9 009	95%
12/mar/80	<b>119</b>	9 816	71%	08/mar/07	<b>160</b>	9 006	96%
22/mar/79	<b>120</b>	9 814	72%	24/fev/82	<b>161</b>	8 999	96%
15/mar/92	<b>121</b>	9 812	72%	11/mar/07	<b>162</b>	8 981	97%
17/jan/90	<b>122</b>	9 800	73%	26/fev/83	<b>163</b>	8 978	98%
01/mar/83	<b>123</b>	9 734	74%	12/fev/79	<b>164</b>	8 977	98%
13/mar/80	<b>124</b>	9 647	74%	18/mar/92	<b>165</b>	8 968	99%
16/mar/83	<b>125</b>	9 643	75%	07/mar/07	<b>166</b>	8 952	99%

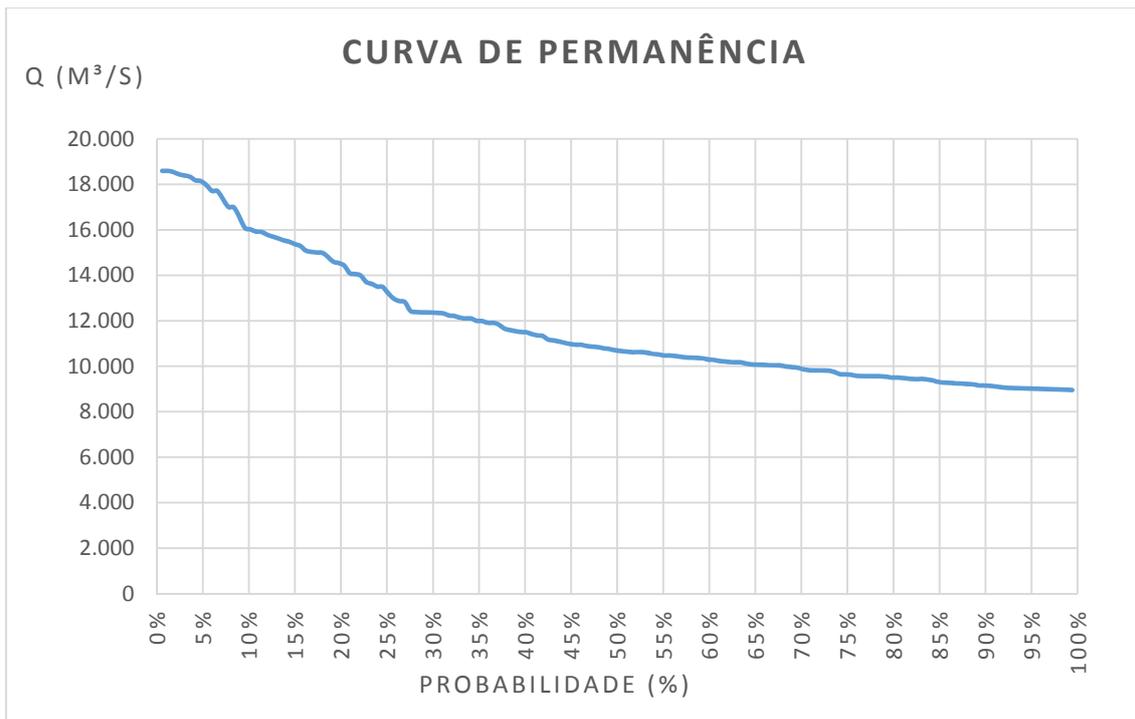


Figura 6 - Exemplo de Curva de Permanência.

### 3.2 Condição Hidrológica da Bacia

O primeiro passo para definir a condição hidrológica da bacia, ou *Hydrological Condition of the basin* (HyC), e classificar os anos da série de vazões em: muito seco, seco, médio, úmido e muito úmido. Para isto, é necessário analisar a vazão anual média ( $Q_m$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) da vazão média anual ( $Q_i$ ). Os limites entre as classes hidrológicas são definidos adotando-se um valor para o desvio padrão.

Este método analisa a variação da  $Q_i$  em relação a  $Q_m$ , por meio de um parâmetro conhecido, na climatologia, por “Anomalia”, a qual é calculada de acordo com a equação (3). O uso da anomalia é importante quando necessita-se comparar dados entre estações fluviométricas. Uma vez que as anomalias foram definidas e um desvio padrão foi adotado, foi possível estabelecer as classes hidrológicas, de acordo com a *Tabela 4*.

$$Anomalia = \frac{Q_i - Q_m}{\sigma} \quad (3)$$

Onde:

- $Q_i$  = vazão média anual ( $m^3/s$ );
- $Q_m$  = vazão anual média ( $m^3/s$ );
- $\sigma$  = desvio padrão ( $m^3/s$ ).

Tabela 4 - Limites entre classes de Classes Hidrológicas.

Limites	Classe Hidrológica
Anomalia < -1,5	Muito Seco
-1,5 < Anomalia < -0,5	Seco
-0,5 < Anomalia < 0,5	Médio
0,5 < Anomalia < 1,5	Úmido
Anomalia > 1,5	Muito Úmido

Fonte: Genz & Luz (2012).

Para aceitar ou rejeitar um evento, Genz & Luz (2012) adota a média  $\pm 1\sigma$  como padrão para definir a faixa de variação, ou a mediana entre os valores de vazão correspondente aos percentuais de 25% e 75%. Estes limites de variação foram estabelecidos com o propósito apenas de aceitar ou rejeitar um evento, enquanto o método HyC foi proposto para classificar eventos anuais.

A classificação dos anos foi feita utilizando Macros em planilhas eletrônicas, mais especificamente por meio de algoritmos em Visual Basic para garantir certa agilidade e obter resultados mais confiáveis. A partir dos valores das anomalias foram classificados os anos de “muito seco” a “muito úmido”. A Macro consiste em criar subséries de vazão, de acordo com as classes hidrológicas, e calcular a probabilidade de ocorrência para cada dado das séries. Esta análise foi feita para os postos MRP+BQR e Pão de Açúcar, nos períodos apresentados na Tabela 5. Nesta mesma tabela ainda estão as razões pelas quais foram subdivididos os períodos, resultando em séries menores.

Tabela 5 - Divisão dos períodos a serem estudados.

Períodos	Resultantes das divisões
1931-2015	Série completa
1931-1962	Anos sem a presença de barragens
1963-2015	Anos após construção da barragem de Três Marias
1979-2015	Anos após construção da barragem de Sobradinho
1995-2015	Anos após construção da barragem de Xingó

A partir das informações obtidas, foram gerados dois tipos de gráficos para a classificação hidrológica. No primeiro (*Figura 7*), para cada um dos períodos, cada curva representa uma classe hidrológica. No segundo (*Figura 8*), para cada classe hidrológica, cada curva representa um período.

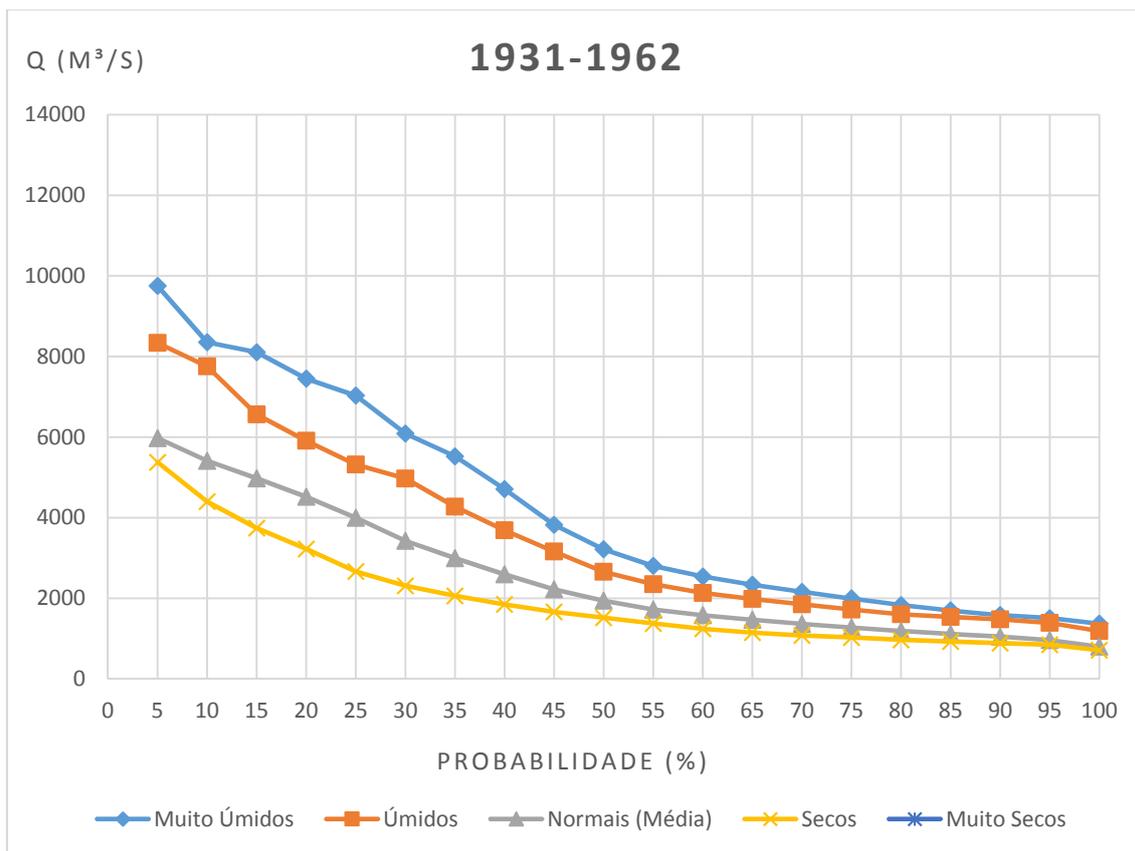


Figura 7 - Exemplo de Curvas de Permanência obtidas para um período com diferentes classes hidrológicas.

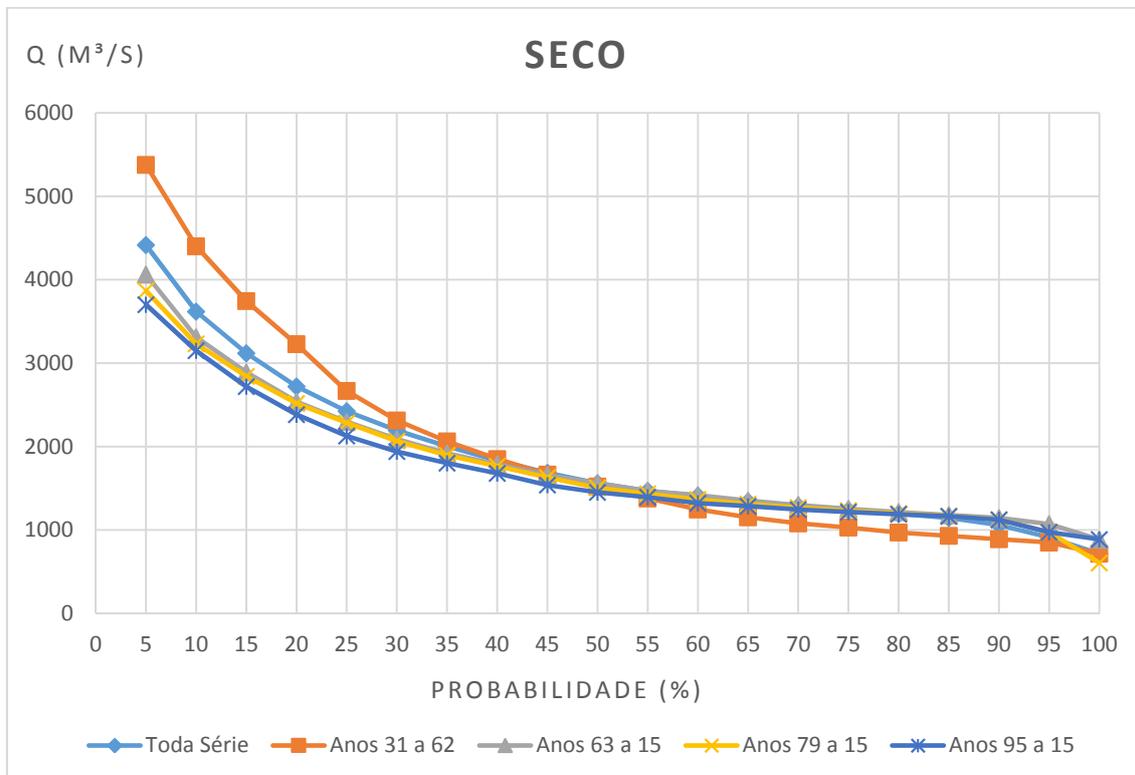


Figura 8 - Exemplo de Curvas de Permanência obtidas para classes hidrológicas e diferentes períodos.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando a série de vazões de MRP+BQR e de Pão de Açúcar, para os períodos previamente estabelecidos, foram encontradas as vazões médias anuais ( $Q_i$ ) de ambas. Em seguida, calculou-se o valor médio das vazões anuais ( $Q_m$ ), e o desvio padrão ( $\sigma$ ) de cada um dos períodos a serem analisados (Tabela 6), que permitiu encontrar o valor das respectivas anomalias e, conseqüentemente, classificar os anos de cada uma das séries (Apêndice A). A Figura 9 apresenta graficamente os valores das anomalias para cada ano.

Tabela 6 - Vazão Anual Média e Desvio Padrão para cada período.

Período	MRP+BQR		PÃO DE AÇÚCAR	
	$Q_m$ (m <sup>3</sup> /s)	$\sigma$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_m$ (m <sup>3</sup> /s)	$\sigma$ (m <sup>3</sup> /s)
1931-2015	2.622,81	732,90	2.680,56	928,01
1931-1962	2.768,08	756,71	3.217,10	833,30
1963-2015	2.535,11	710,99	2.356,62	832,53
1979-2015	2.547,43	801,82	2.230,66	892,86
1995-2015	2.180,38	478,56	1.739,95	366,32

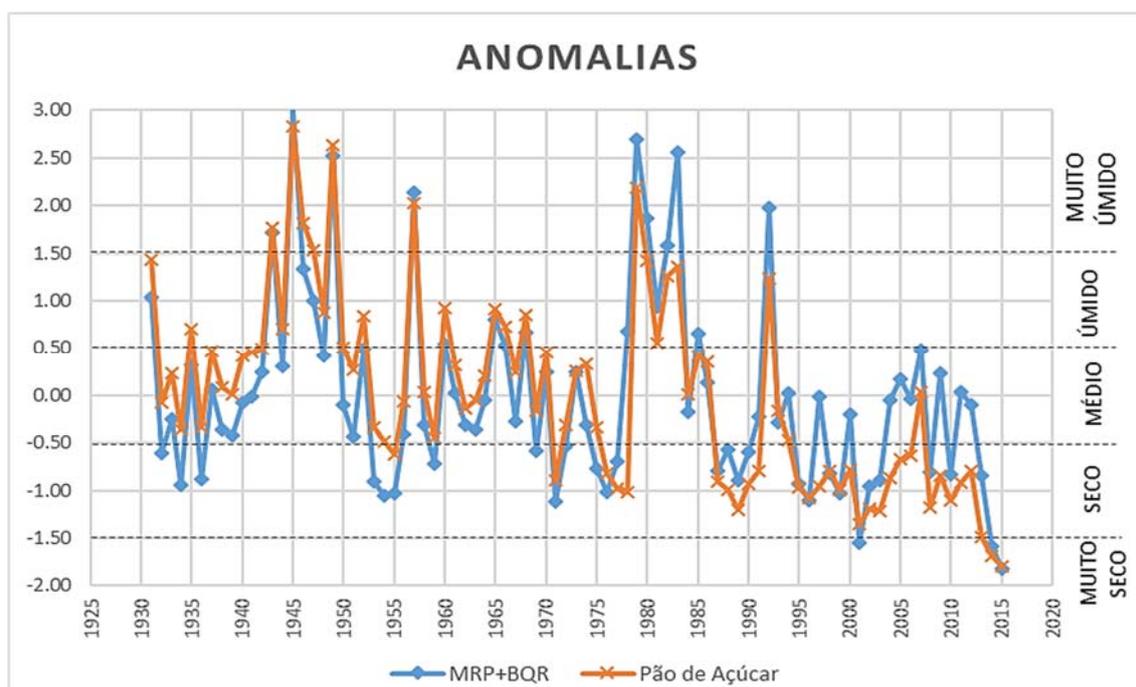


Figura 9 - Variação das Anomalias de MRP+BQR e Pão de Açúcar.

Ao resumir na Tabela 7 as informações do gráfico anterior, pode-se perceber a predominância de anos médios e secos em ambos os postos. Sendo assim, observa-se que os últimos anos vêm apresentando um período de seca, independente da presença das barragens, uma vez que MRP+BQR não sofre com a regularização da barragem de

Sobradinho, assim como também não é afetado por Três Marias que, por estar muito distante, faz com que as condições hidrológicas sejam reestabelecidas antes de chegar ao posto fluviométrico estudado.

Uma outra constatação é que a partir de 1995 provavelmente as séries de precipitação e, conseqüentemente, de vazões estão abaixo das observadas nos períodos anteriores é que nesse estudo foram computados três anos classificados como “muito secos”, o que não foi observado no trabalho de Genz & Luz (2012).

Tabela 7 - Quantidade de anos por classe hidrológica em cada série.

Número de Anos					
CLASSIFICAÇÃO	Muito Úmido	Úmido	Médio	Seco	Muito Seco
MRP+BQR	9	10	37	26	3
PÃO DE AÇÚCAR	7	15	33	28	2
TOTAL DE ANOS	85				

O histograma das séries de MRP+BQR e Pão de Açúcar (*Figura 10*), indica o ano inicial de funcionamento das barragens de Três Marias (1963), Sobradinho (1979) e Xingó (1995). Ressaltando as informações anteriores, é possível observar uma tendência de redução das vazões ao longo dos anos, da mesma forma que ocorreu com os resultados relacionados à classificação climatológica. Como já havia sido citado, o clima varia em diferentes escalas temporais, sendo assim, estes resultados apontam que a diminuição das vazões pode estar diretamente associada às mudanças climáticas.

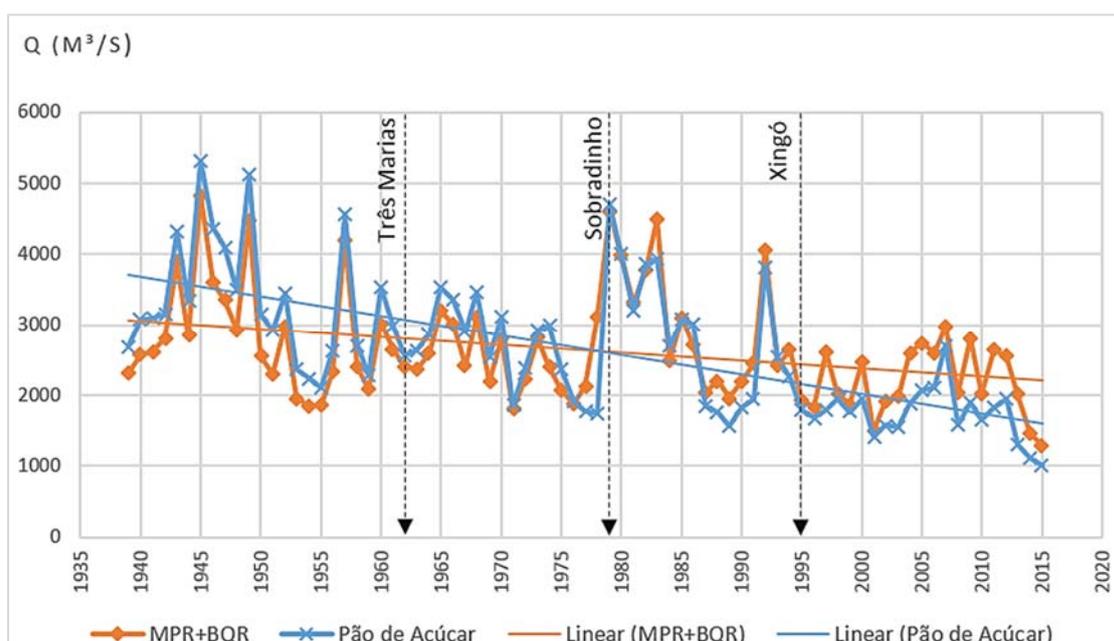


Figura 10 - Variação das Vazões Médias Anuais.

A Figura 10 ainda mostra a regularização das barragens até o ano de 1995 como tendo pouca influência nas vazões observadas no posto de Pão de Açúcar. A partir desta data, verifica-se que como o regime hidrológico foi baixo (possivelmente menores precipitações do histórico), observa-se uma maior diferença entre as séries a montante e jusante de Sobradinho. As linhas de tendência nas duas séries apontam um decréscimo de vazão média anual, tanto a montante como a jusante de Sobradinho.

Novamente, para constatar que a partir de 1995 o regime hidrológico a montante da barragem de Sobradinho (série de MRP+BQR) está bem abaixo do histórico anterior, foi dividida a série total em duas: uma de 1931 a 1994 e outra de 1995 a 2015. As figuras abaixo (*Figura 11 e Figura 12*) apresentam a referida série, bem como o valor da média de longo termo.

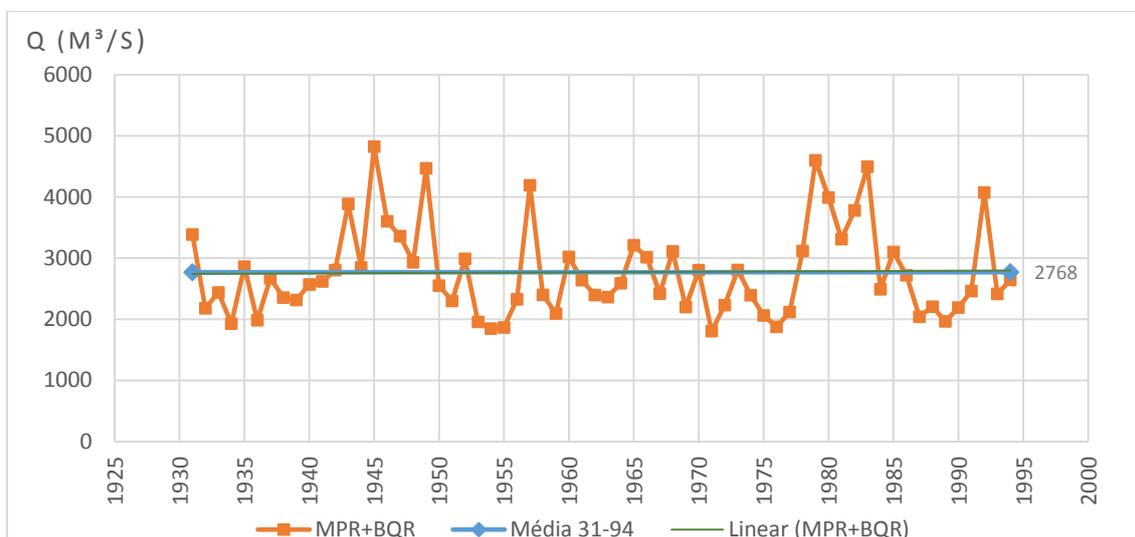


Figura 11 - Vazões Anuais Médias e Média de Longo Termo no período de 1931-1994 para MRP+BQR.

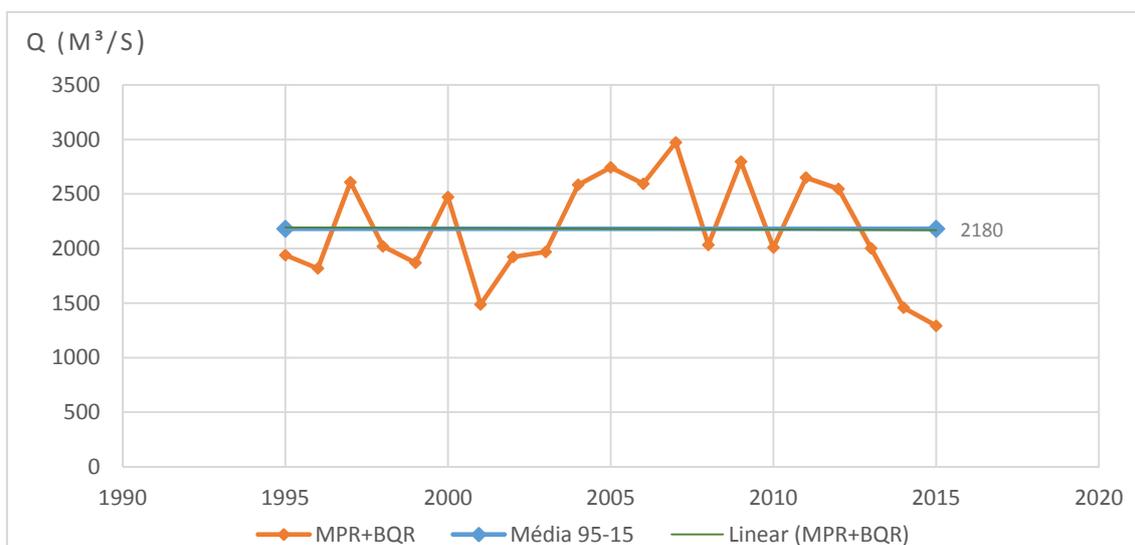


Figura 12- Vazões Anuais Médias e Média de Longo Termo no período de 1995-2015 para MRP+BQR.

Inicialmente chama-se a atenção de que, tanto para o primeiro como para o segundo período, as linhas de tendência são praticamente horizontais e quase coincidentes com a média de longo termo, o que aponta que não há nenhuma tendência de variação da vazão para o período atual, isto é, a tendência mostra que deve-se continuar a ter vazões abaixo da média de longo termo.

Quanto às médias, o primeiro período apresenta um valor médio de 2.768 m<sup>3</sup>/s e 2.180 m<sup>3</sup>/s para o período atual, o que representa uma redução de quase 600 m<sup>3</sup>/s nas vazões afluentes a Usina Hidrelétrica de Sobradinho (USB).

A visualização dos resultados torna-se mais clara quando se analisam as curvas de permanência. Para isto, foram divididas as séries completas em subséries de acordo com as classes hidrológicas, com o auxílio de uma Macro. Esta é ativada por um botão na planilha (*Figura 13*), e apresenta como resultado a separação da série de vazões para cada classe hidrológica (*Figura 14*).

Data	Ordem	M+B Q (m <sup>3</sup> /s)	Ano	M+B Toda	Ano	M+B Q (m <sup>3</sup> /s)	Anomalia	Classificação
01/jan/31	1	5509	1931	86	1931	3385	1.04	ÚMIDO
02/jan/31	2	5541	1931		1932	2178	-0.61	SECO
03/jan/31	3	5605	1931		1933	2438	-0.25	MÉDIO
04/jan/31	4	5637	1931		1934	1928	-0.95	SECO
05/jan/31	5	5701	1931		1935	2861	0.33	MÉDIO
06/jan/31	6	5765	1931		1936	1981	-0.88	SECO
07/jan/31	7	5765	1931		1937	2670	0.06	MÉDIO
08/jan/31	8	5765	1931		1938	2354	-0.37	MÉDIO
09/jan/31	9	5765	1931		1939	2314	-0.42	MÉDIO
10/jan/31	10	5733	1931		1940	2568	-0.08	MÉDIO
11/jan/31	11	5669	1931		1941	2616	-0.01	MÉDIO
12/jan/31	12	5605	1931		1942	2802	0.24	MÉDIO
13/jan/31	13	5478	1931		1943	3886	1.72	MUITO ÚMIDO
14/jan/31	14	5320	1931		1944	2848	0.31	MÉDIO
15/jan/31	15	5133	1931		1945	4824	3.00	MUITO ÚMIDO
16/jan/31	16	4916	1931		1946	3603	1.34	ÚMIDO
17/jan/31	17	4672	1931		1947	3358	1.00	ÚMIDO
18/jan/31	18	4310	1931		1948	2931	0.42	MÉDIO
19/jan/31	19	4103	1931		1949	4468	2.52	MUITO ÚMIDO
20/jan/31	20	3869	1931		1950	2550	-0.10	MÉDIO

Figura 13 - Botão de ativação da Macro.

W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
	<b>VERY WET</b>					<b>WET</b>					<b>AVERAGE</b>		
1	18595	conta =	3287		1	15922	conta =	3652		1	9590	conta =	13515
2	18590	inc =	164		2	15906	inc =	183		2	9585	inc =	676
3	18546	5	10065		3	15790	5	7205		3	9555	5	5921
4	18444	10	8297		4	15702	10	6203		4	9544	10	5221
5	18390	15	7402		5	15628	15	5517		5	9449	15	4644
6	18339	20	6730		6	15479	20	5042		6	9425	20	4061
7	18180	25	6088		7	15374	25	4489		7	9300	25	3513
8	18143	30	5446		8	15298	30	3939		8	9285	30	3055
9	17970	35	4736		9	15091	35	3500		9	9125	35	2650
10	17713	40	3828		10	15002	40	3058		10	9032	40	2315
11	17706	45	3314		11	14817	45	2697		11	9026	45	2063
12	17356	50	2917		12	14600	50	2402		12	9021	50	1857
13	17005	55	2624		13	14429	55	2222		13	9006	55	1702
14	16984	60	2378		14	14095	60	2043		14	8981	60	1607
15	16558	65	2212		15	14056	65	1893		15	8952	65	1527
16	16085	70	2071		16	13622	70	1788		16	8945	70	1463
17	16020	75	1977		17	13503	75	1706		17	8898	75	1401
18	15922	80	1910		18	13199	80	1622		18	8874	80	1323
19	15906	85	1823		19	13129	85	1553		19	8836	85	1242
20	15790	90	1688		20	13028	90	1494		20	8824	90	1139
21	15702	95	1549		21	12956	95	1412		21	8819	95	1017
22	15628	100	1190		22	12886	100	919		22	8818	100	802
23	15536				23	12867				23	8799		
24	15479				24	12827				24	8786		
25	15374				25	12820				25	8750		
26	15298				26	12723				26	8744		
27	15091				27	12587				27	8724		
28	15033				28	12494				28	8689		
29	15014				29	12356				29	8669		
30	15012				30	12321				30	8658		
31	15012				31	12208				31	8581		

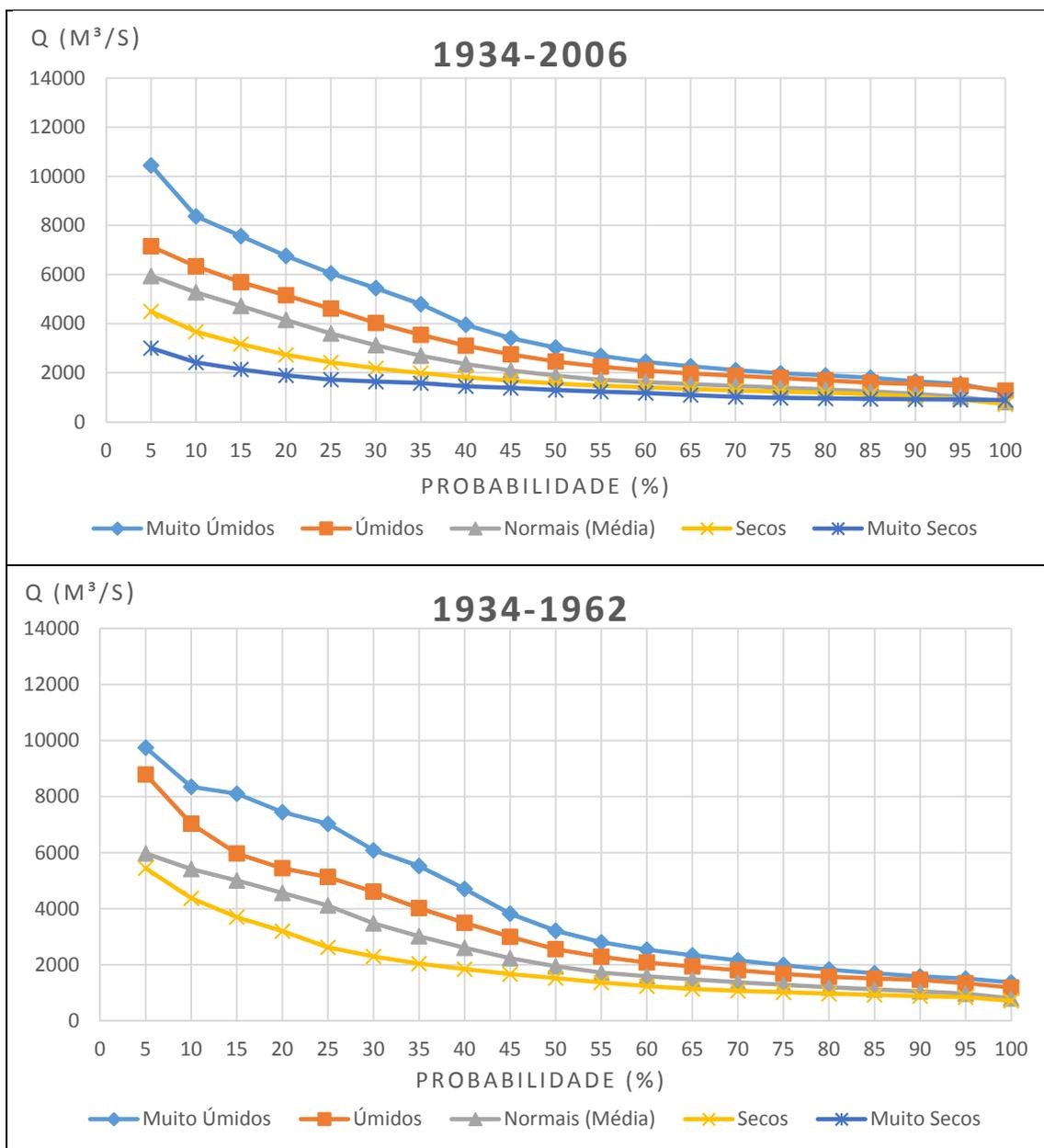
Figura 14 - Subséries preenchidas através da macro.

As curvas de permanência de MRP+BQR são apresentadas a seguir com série reduzida, de 1934 a 2006, a fim de comparar com os resultados obtidos por Genz & Luz (2012), com a inclusão do gráfico para o período de 1934 a 1962, o qual não apresenta interferência das barragens.

No primeiro caso (*Figura 15 e Figura 16*), para um mesmo período, as curvas são divididas pelas classes hidrológicas. A única diferença está nos gráficos do período de 1995 a 2006, uma vez que no presente trabalho foram encontradas curvas para todas as classes hidrológicas, diferentemente do trabalho de Genz & Luz (2012), onde os mesmos encontraram curvas apenas anos nas classes “média” e “seca”. A diferença pode ser explicada pelas séries utilizadas nos dois trabalhos. No de Genz & Luz (2012) os autores citam que utilizaram os dados disponibilizados pela ANA. Atualmente a ANA só fornece dados consistidos a partir do ano de 1933 para Boqueirão e 1954 para Morpará. Desta forma, nesse trabalho, como anteriormente já mencionado, a soma das séries para os referidos postos foi admitida igual à da série de Juazeiro, hipótese esta justificada por não haver influência de barragens e por não haver praticamente retirada significativa de água do rio. Além disso a vazão incremental entre as duas seções é

praticamente nula por não haver chuva significativa e nem afluentes de vazão considerável.

Adicionalmente, é possível notar que em anos de baixa precipitação (1995-2006) as vazões apresentam uma leve variação, resultando na diminuição do espaçamento entre curvas e uma representação da curva praticamente na horizontal, que caracteriza um regime de vazões quase constante.



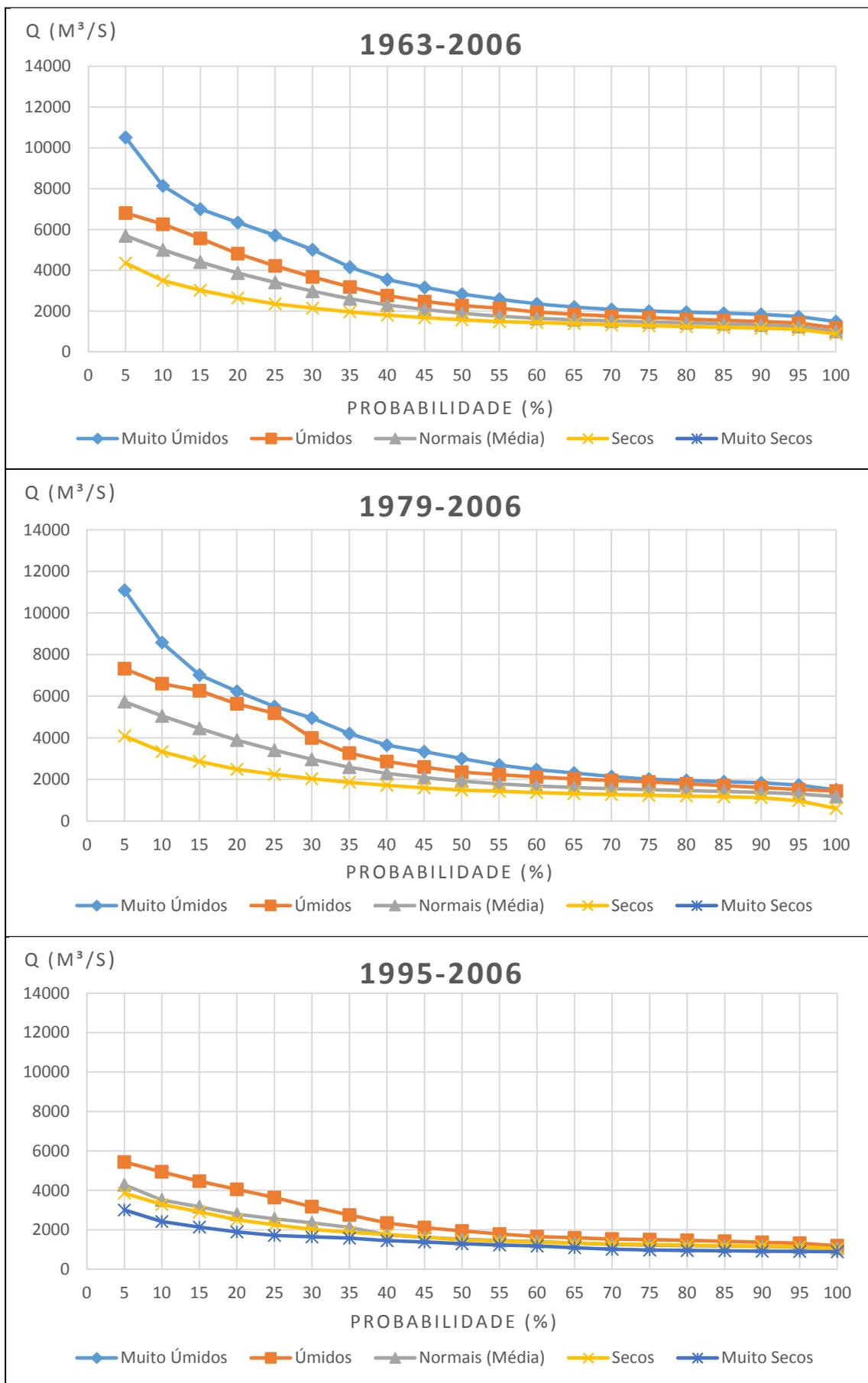


Figura 15 - Curvas de Permanência para as classes hidrológicas em diferentes períodos com série de 1934-2006.

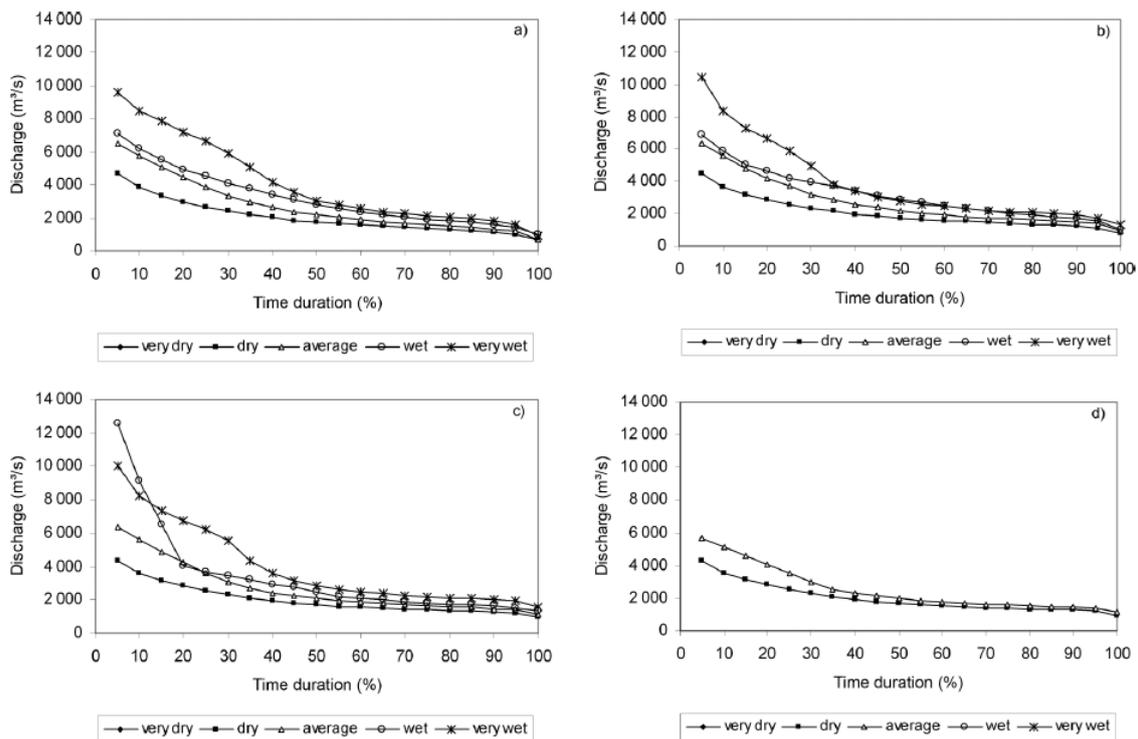
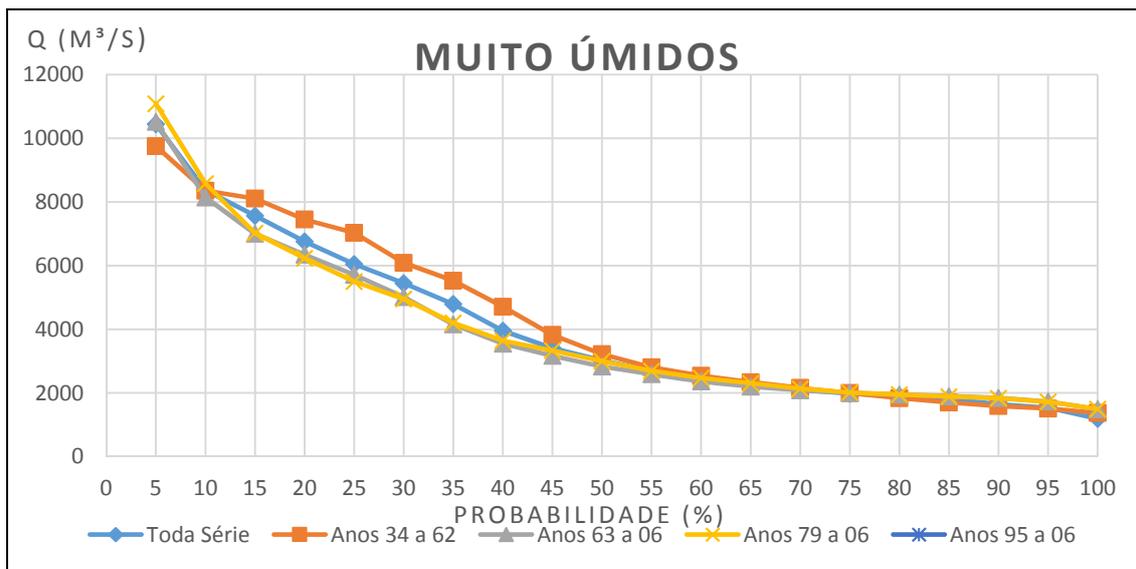
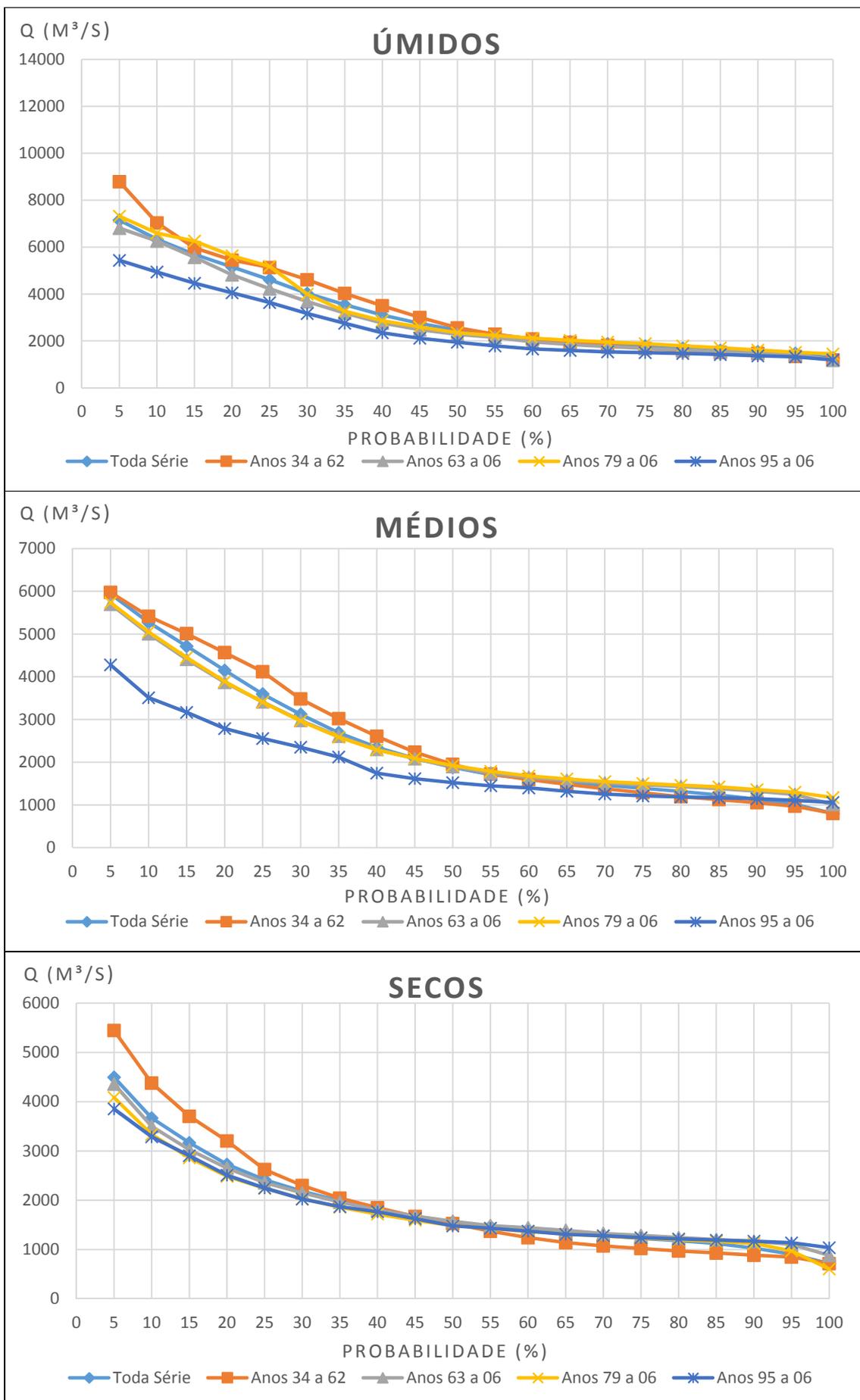


Figura 16 - Curvas de permanência obtidas para diferentes classes hidrológicas nos mesmos períodos: a) 1934-2006, b)1963-2006, c) 1979-2006, d) 1995-2006.

Fonte: Genz & Luz (2012).

No segundo caso (*Figura 17 e Figura 18*), os gráficos representam curvas de períodos distintos para uma mesma classe hidrológica. No presente estudo, para esta análise foi acrescentado o período de 1934 a 1962 a fim de representar o comportamento das curvas de permanência sem a influência das barragens.





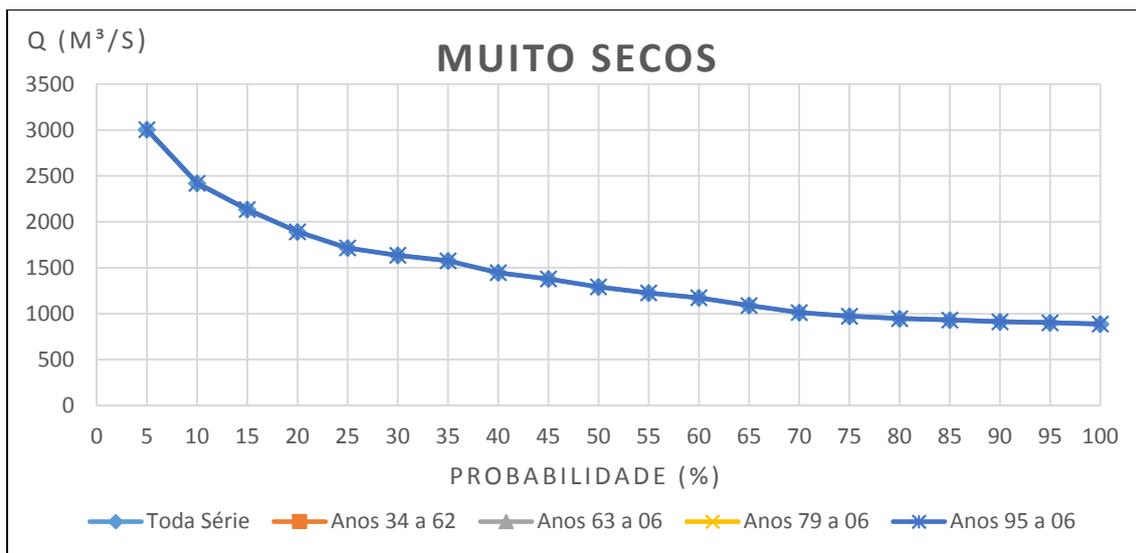


Figura 17 - Curvas de Permanência para um mesmo período com classes hidrológicas diferentes com série de 1934-2006.

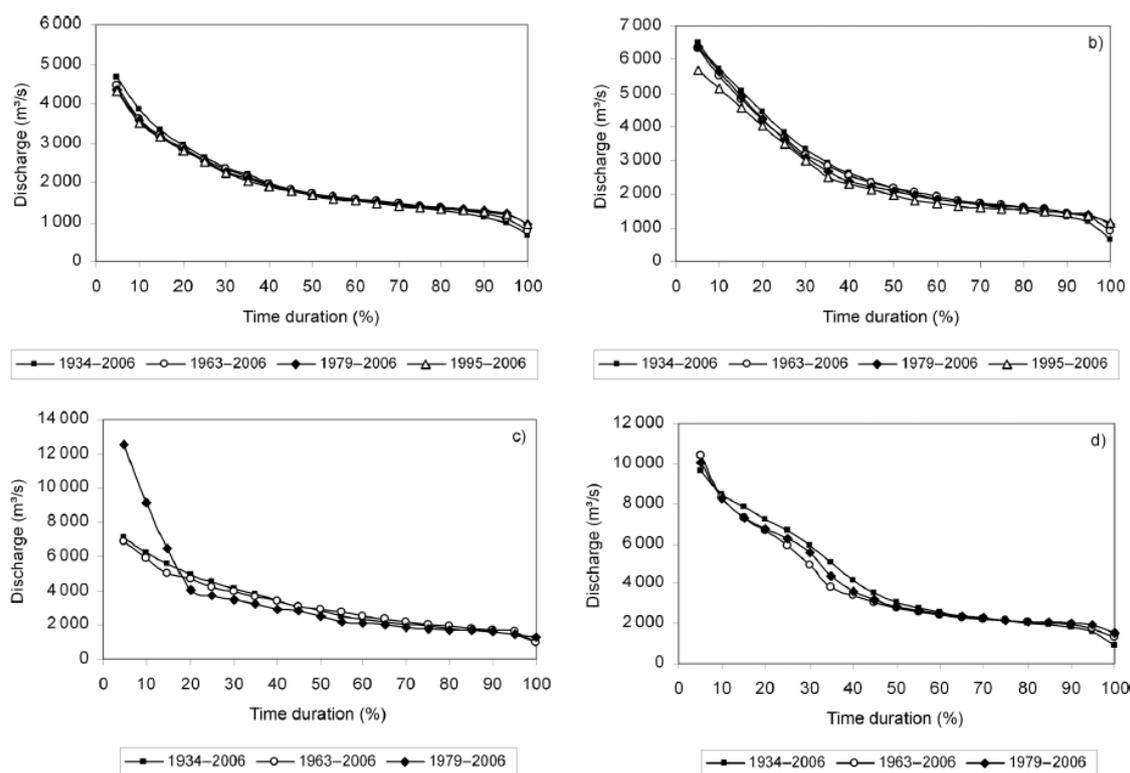


Figura 18 - Curvas de permanência obtidas em diferentes períodos para as mesmas classes hidrológicas: a) Seco, b) Médio, c) Úmido, d) Muito Úmido.

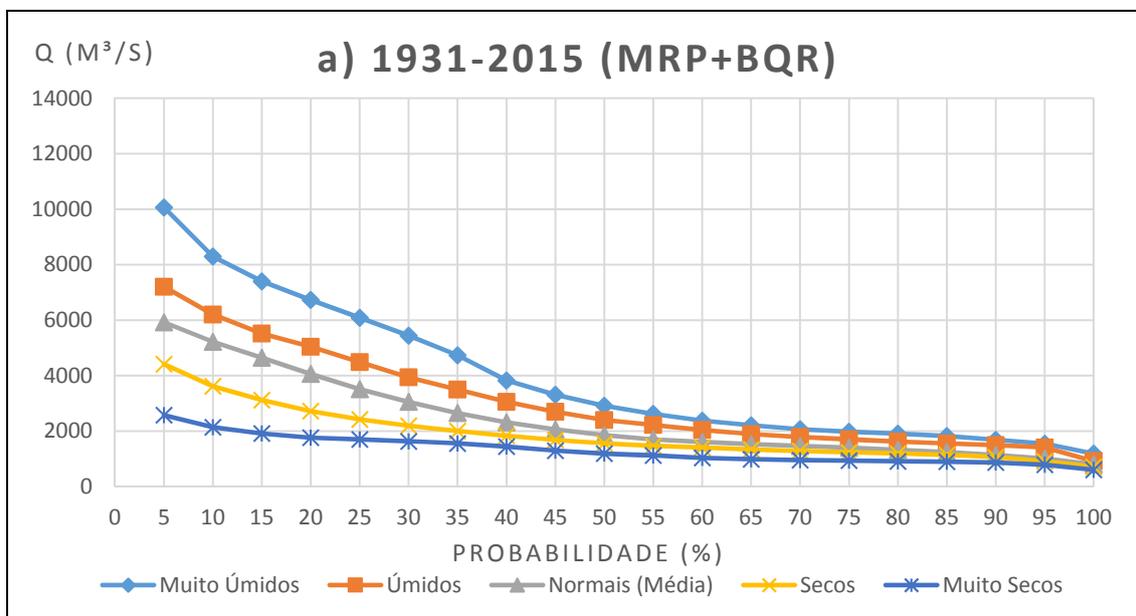
Fonte: Genz & Luz (2012).

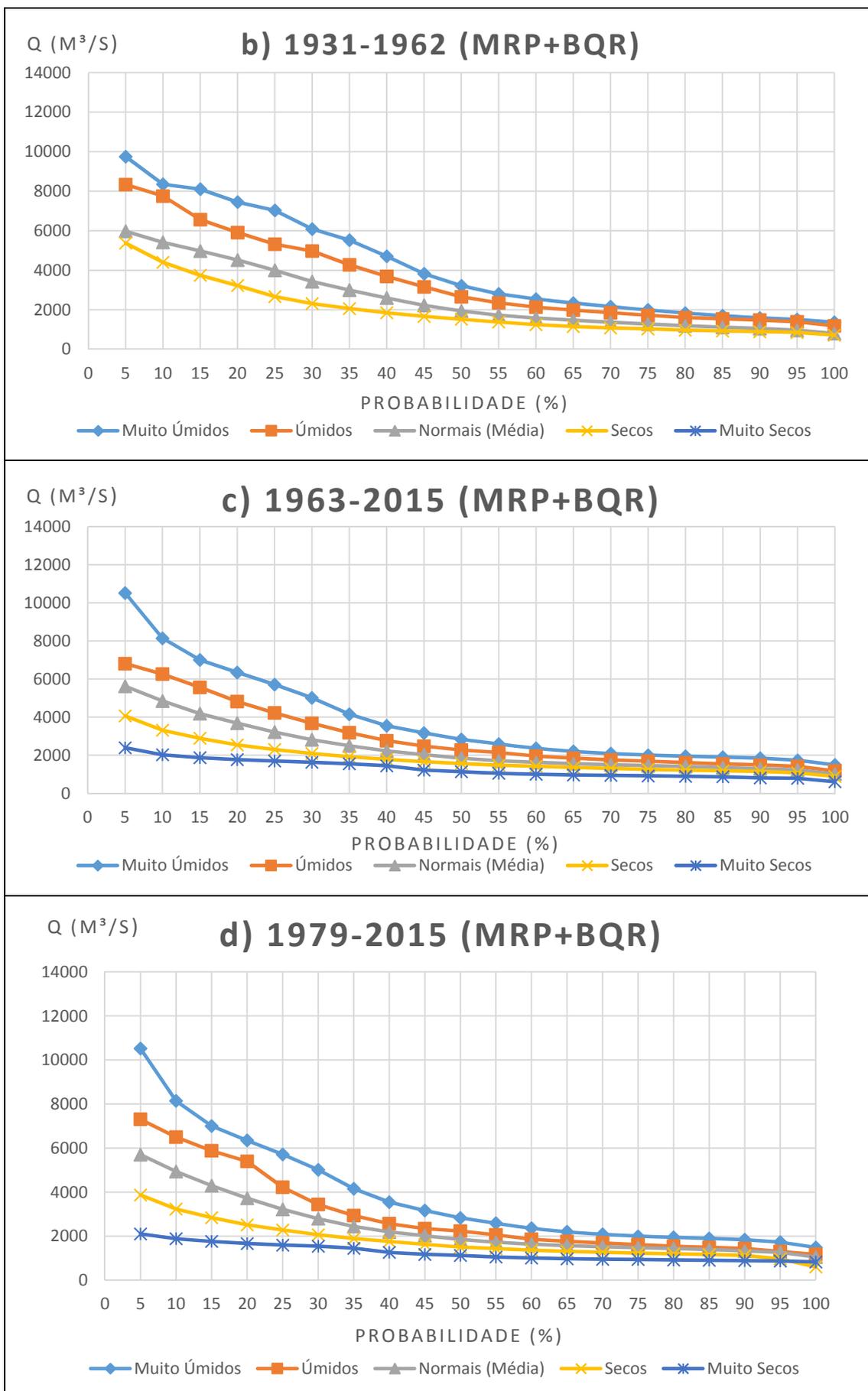
Diferentemente dos resultados de Genz & Luz (2012), nessa pesquisa foram encontradas vazões para a classe “muito secos” somente nos anos de 1995 a 2006. Além disso, neste mesmo período, foram encontrados anos com classes “úmido” e “muito úmido”, o que pode ser justificado pelo uso de séries distintas, como explicado

anteriormente. Outra diferença observada está no gráfico do período “úmido”, onde Genz & Luz (2012) apresenta vazões bem superiores às das demais séries para probabilidades de ocorrência acima de 10%, enquanto que nesse estudo isso não foi identificado. Finalmente, para o regime hidrológico normal (média), nesse estudo foram encontrados valores bem inferiores de vazões para o último período analisado com probabilidades de ocorrência de 55%, o que não foi obtido no outro estudo.

As figuras abaixo (*Figura 19, Figura 20, Figura 21 e Figura 22*) representam a atualização do estudo hidrológico para as séries atualmente disponíveis, ou seja, foram feitas as mesmas análises anteriores para as curvas de permanência, diferindo apenas na extensão da série, onde a atual possui dados de 1931 até 2015. Além disso as mesmas análises foram também realizadas para o posto Pão de Açúcar (PA).

No Apêndice A, para o posto MRP+BQR, pode ser observado para o período de 1995 a 2015 que foram encontradas as seguintes classes: 9 anos “médios”, 9 anos “secos” e 3 anos “muito secos”, caracterizando, portanto, como o período mais seco do histórico, reforçando que nos últimos anos, as vazões e, possivelmente as precipitações, estão bem abaixo das médias globais das referidas variáveis.





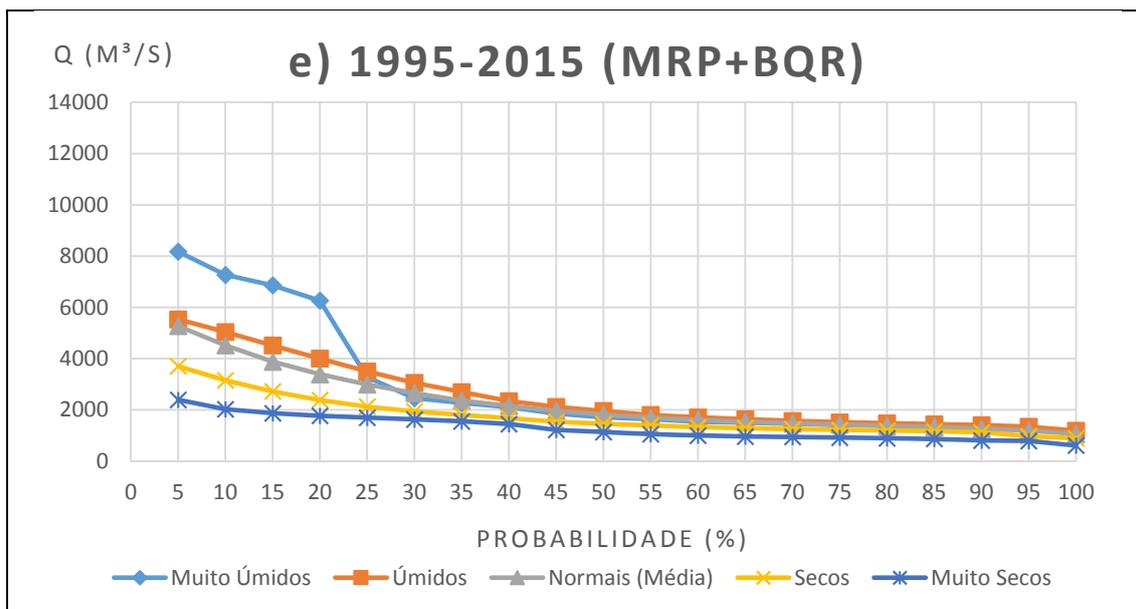
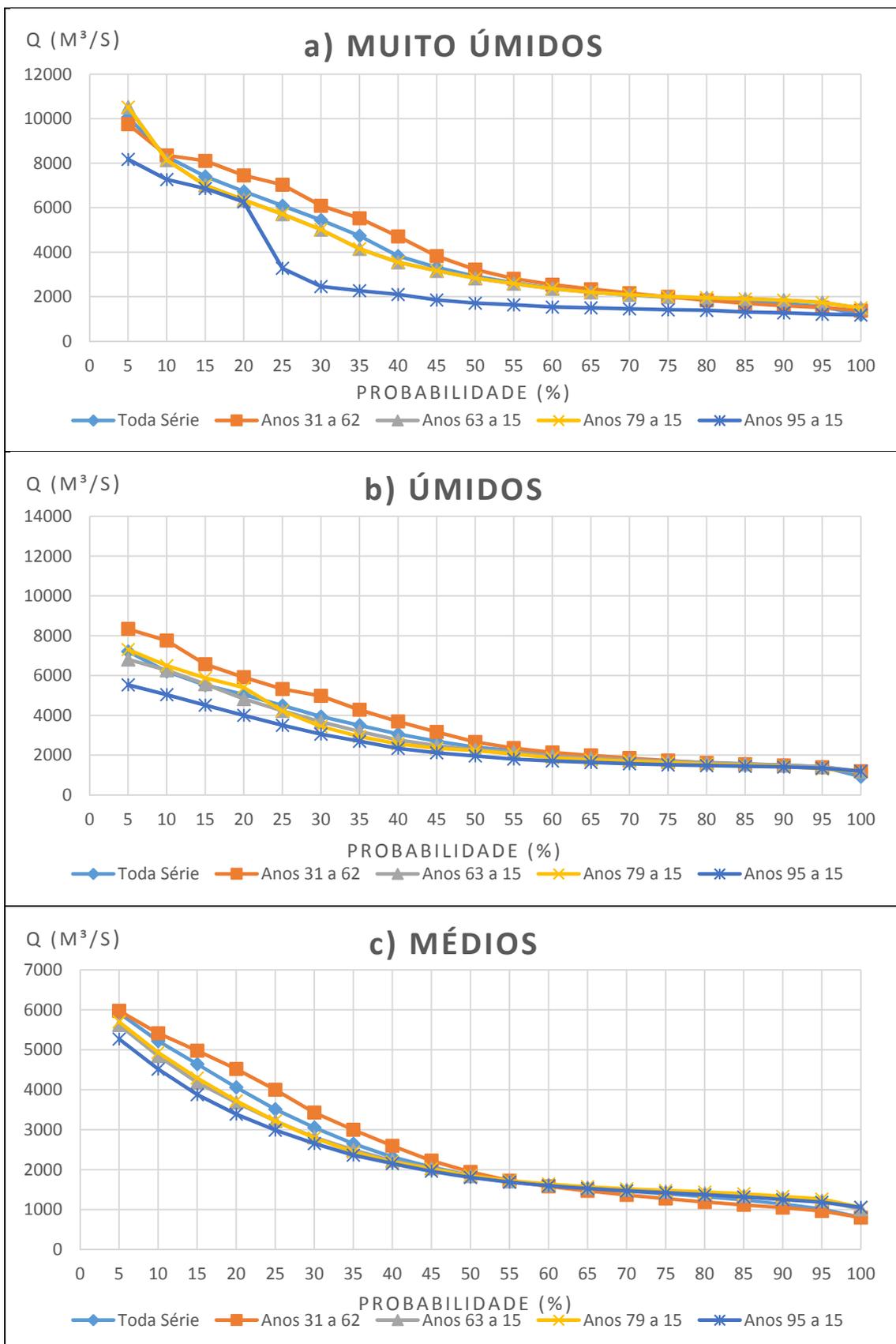


Figura 19 – Curvas de Permanência de MRP+BQR para as classes hidrológicas em diferentes períodos: a) 1931-2015, b) 1931-1961, c) 1963-2015, d) 1979-2015, e) 1995-2015.

No estudo hidrológico com os dados atualmente disponíveis puderam ser constatados para as curvas de permanência da *Figura 19* que:

- Para as séries totais, anterior de 1934 a 2006 e atual de 1931 a 2015, e também para as do primeiro período que vão de 1931 a 1962, não foram observadas modificações significativas.
- Para os demais períodos, que foram expandidos de 2006 até 2015, temos que:
  - ✓ Para os períodos expandidos iniciando em 1963 e 1979 (itens “c” e “d” da *Figura 19*), ocorreram anos classificados como “muito secos”, com as demais classes não apresentando significantes diferenças.
  - ✓ Para o último período, iniciando em 1995, que corresponde ao período de vazões mais baixas do histórico, surgiu o ano de 2007 classificado como “muito úmido”. Além disso, estes anos apresentam vazões, para as probabilidades de ocorrência abaixo de 25%, bem superiores a todas das demais séries.



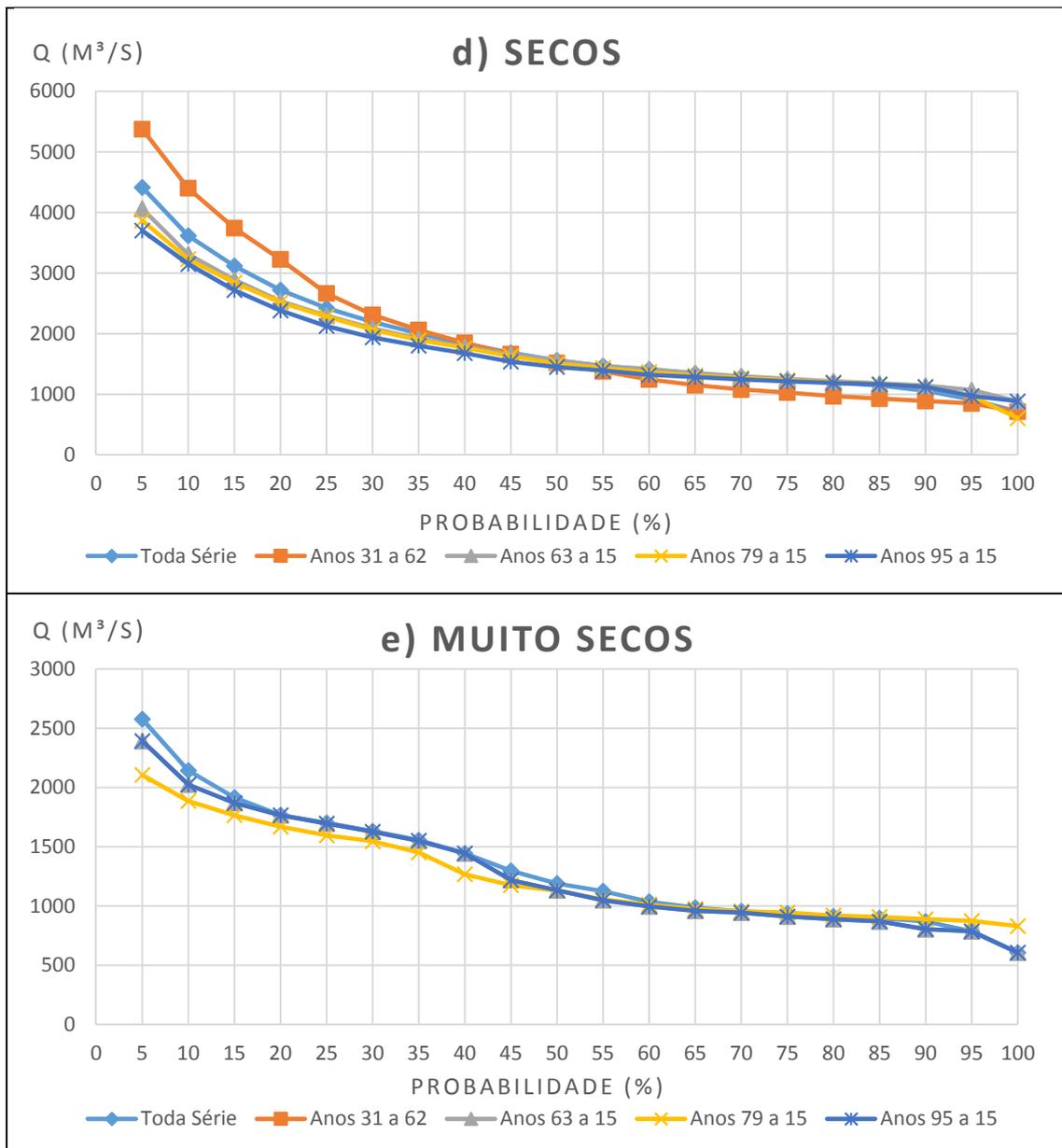


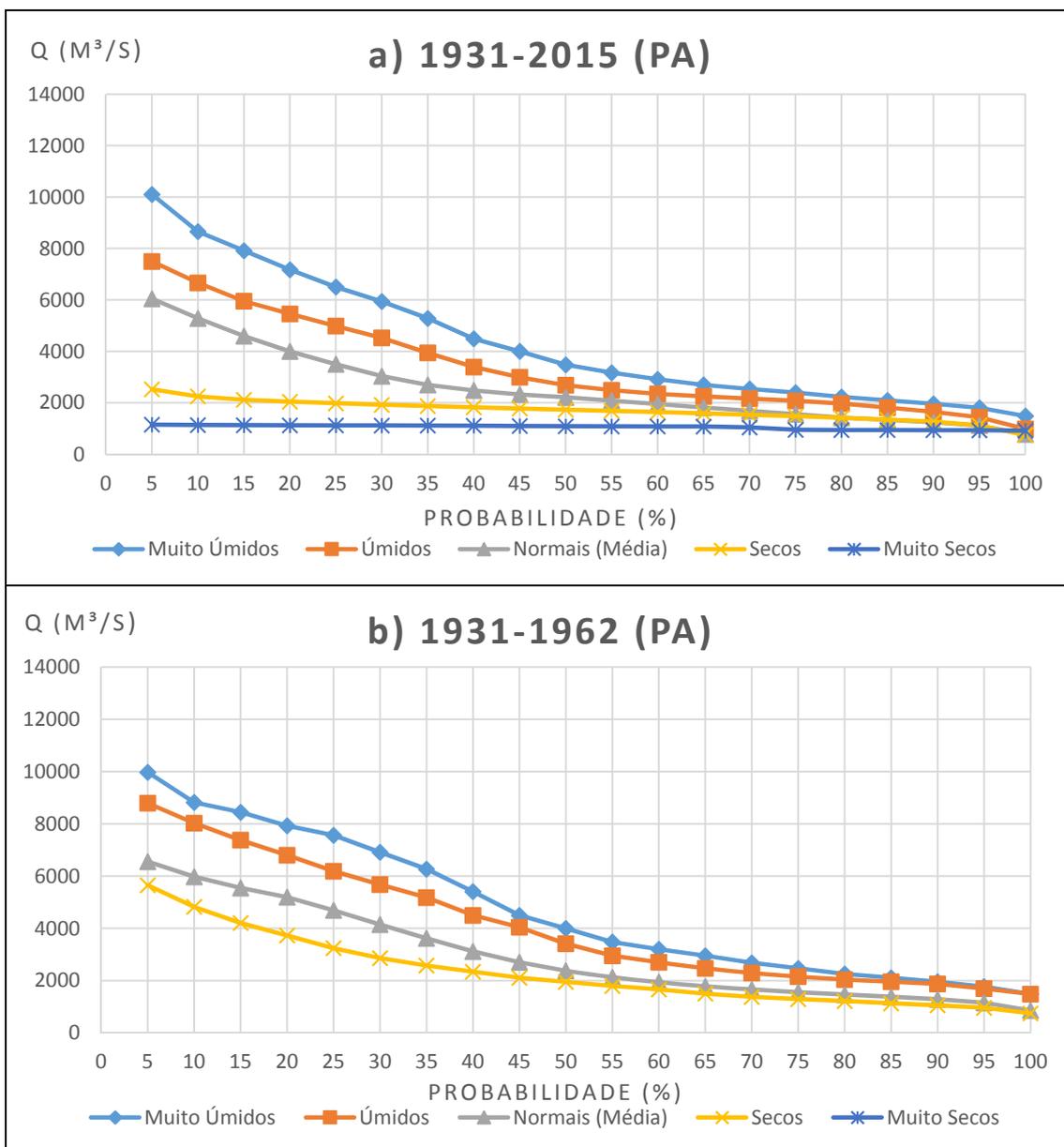
Figura 20 - Curvas de Permanência de MRP+BQR para o mesmo período com classes hidrológicas diferentes: a) Muito Úmidos, b) Úmidos, c) Médios, d) Secos, e) Muito secos.

A análise agora é feita por classes hidrológicas (*Figura 20*) e observando como varia cada um dos períodos analisados. Foram observadas as seguintes características:

- Para a classe “muito úmidos”, a série estendida de 1995 a 2015 apresentou valores discrepantes dos demais períodos para probabilidades entre 25% e 90%. Tal fato ocorreu devido ao ano de 2007 ser o único classificado como “muito úmido” entre os anos de 1995 a 2015, uma vez que este é considerado o período de vazões mais baixas do histórico.
- Para a classe “úmidos” as vazões do período pré-barragens ficam mais discrepantes dos demais períodos para a série estendida. Nessa mesma classe, os

anos finais do histórico apresentam, tanto para a série anterior (1995-2006) como para a estendida (1995-2015), vazões com probabilidade de ocorrência abaixo de 30% diferentes dos demais períodos.

- Para a classe “médios” a diferença obtida para os anos de 1995 a 2006 desaparece quando a série é estendida até 2015.
- Para a classe “secos” o único período que difere dos outros é o de pré-barragens (1931-1961), o que já era esperado por não haver a regularização de vazões.
- Para a classe “muito secos” o acréscimo do número de anos de 1 para 3 praticamente não alterou as curvas de permanência. (CP).



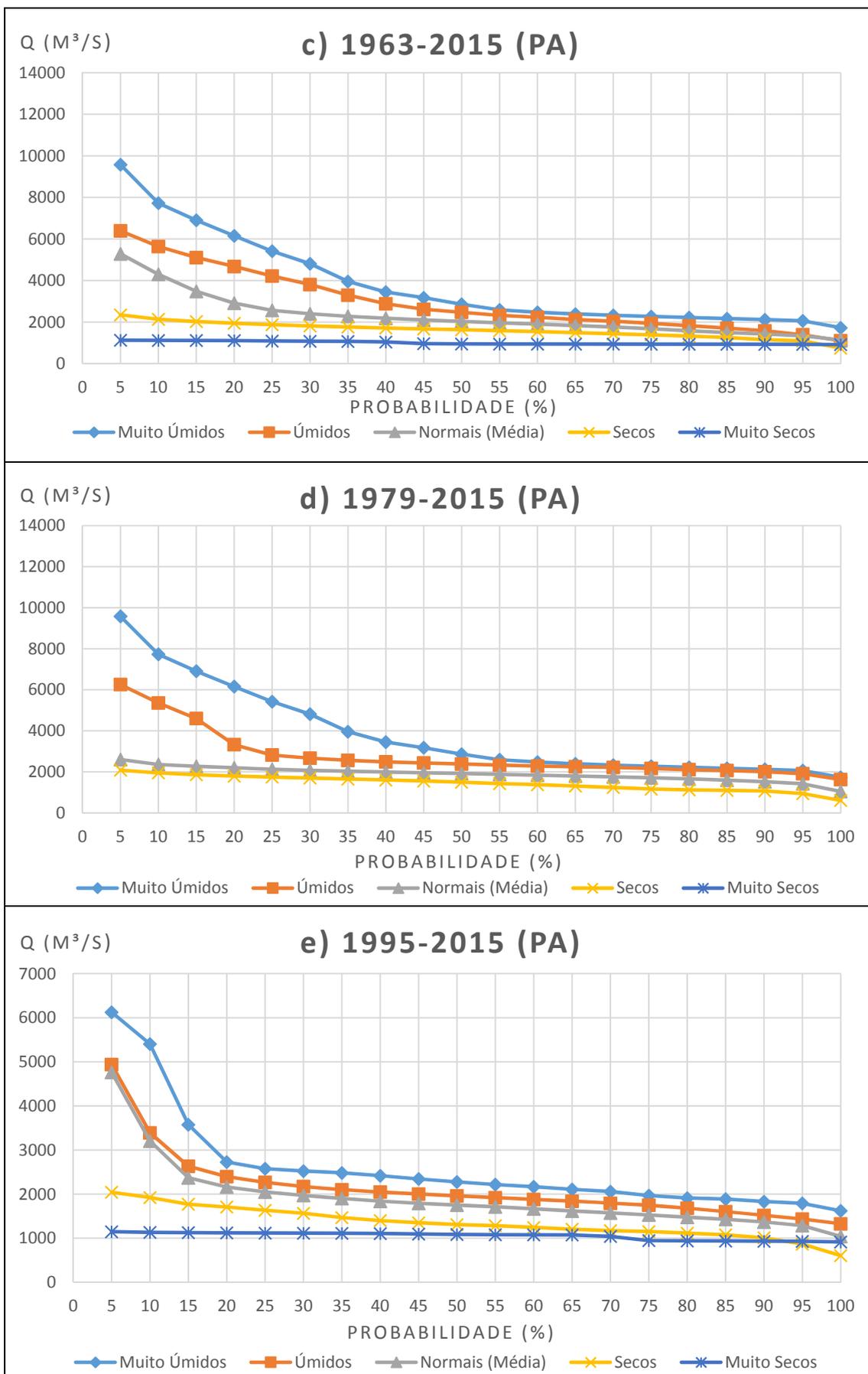
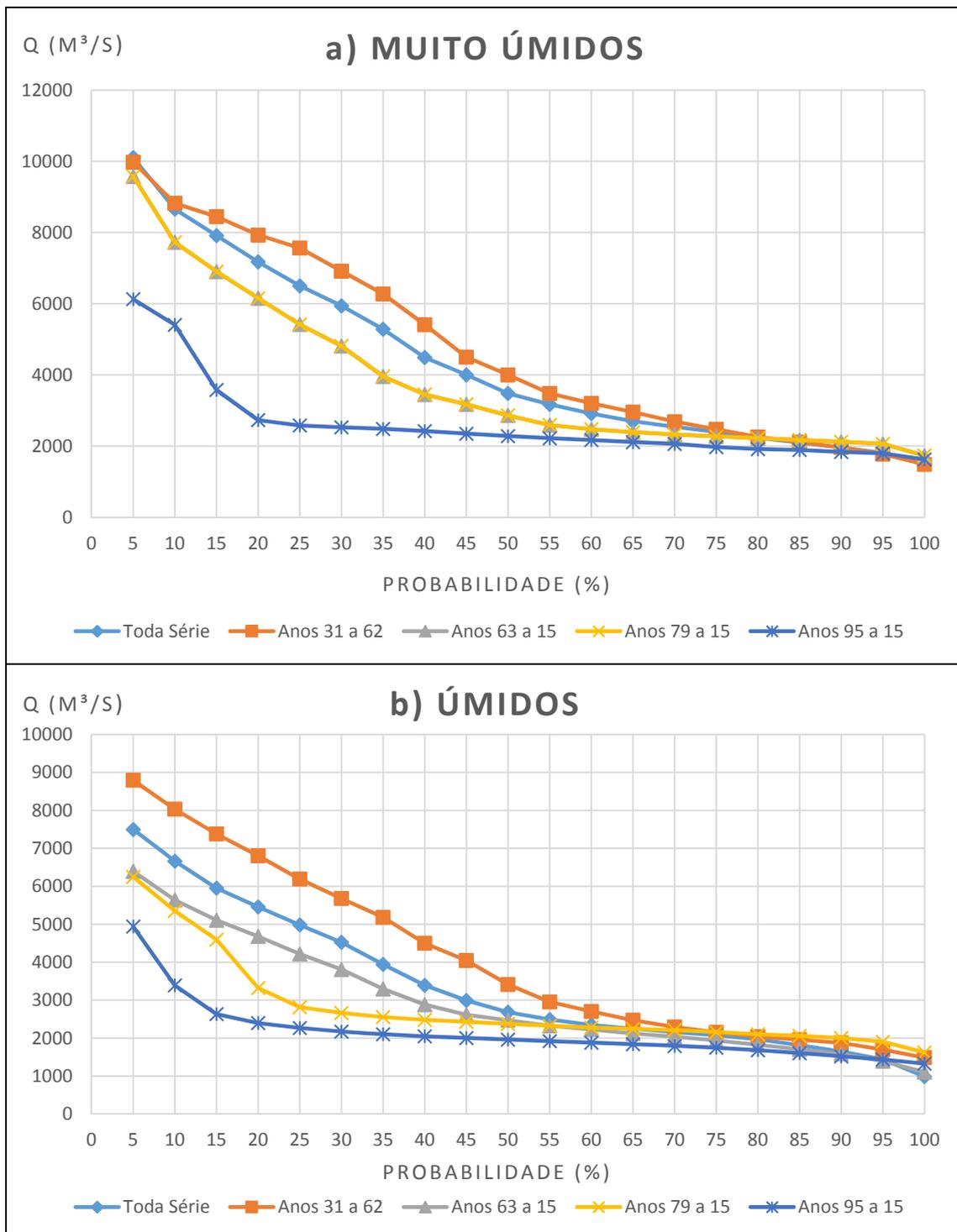


Figura 21 - Curvas de Permanência de PA para as classes hidrológicas em diferentes períodos: a) 1931-2015, b) 1931-1961, c) 1963-2015, d) 1979-2015, e) 1995-2015.

As curvas de permanência de Pão de Açúcar na *Figura 21* foram comparadas com as de MRP+BQR. Foram observadas as seguintes características:

- As curvas mostraram-se diferentes a partir do ano de 1979, quando a USB entrou em operação.



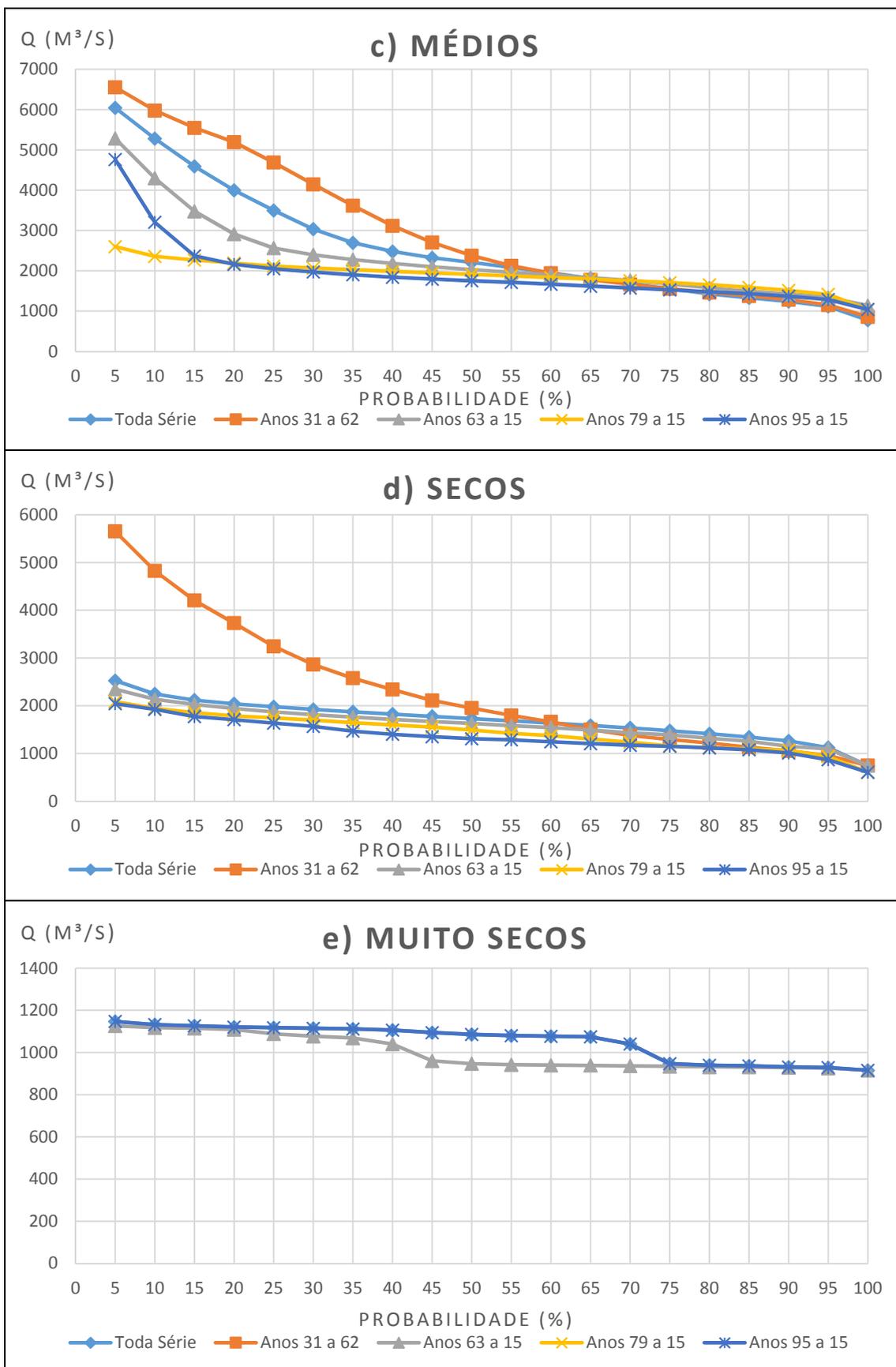


Figura 22 - Curvas de Permanência de PA para o mesmo período com classes hidrológicas diferentes: a) Muito Úmidos, b) Úmidos, c) Médios, d) Secos, e) Muito secos.

Analisando as classes hidrológicas das séries estudadas para o posto de Pão de Açúcar, foi constatado que:

- Para as classes “muito secos” e “secos” não há praticamente variação de vazão para os períodos estudados, com exceção para a classe “secos” para o período pré-barragens (1931-1962).
- Para as demais classes, as vazões com probabilidade de ocorrência acima de 50% apresentaram vazões próximas, independente do período analisado. Abaixo desta probabilidade, o período analisado, o tamanho da série e também a operação de barragens fazem variar significativamente as vazões esperadas.

A partir dos resultados encontrados, pode-se concluir que, com o passar dos anos, as características das curvas de permanência apresentam variações significativas, sendo estas dependentes das variações climáticas, assim como são afetadas pela presença de barragens de regularização.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo determinar as condições hidrológicas atuais em um trecho do rio São Francisco, onde está situado o complexo hidrelétrico da CHESF, utilizando dados de três postos fluviométricos, sendo dois a montante e um a jusante do complexo de usinas.

Os cálculos dos parâmetros deste trabalho foram feitos através de planilha eletrônica automatizada através de macros, escritas na linguagem do Visual Basic. A planilha eletrônica automatizada torna a obtenção dos resultados mais prática, assim como mais confiáveis.

Com os resultados encontrados e a comparação entre eles, chegou-se à conclusão de que toda análise hidrológica deve ser atualizada, uma vez que as séries históricas podem estar variando em função de mudanças climáticas. Ainda constatou-se que a entrada de operação de barragens de regularização altera as curvas de permanência.

Sendo assim, é recomendado, para trabalhos futuros, calcular e analisar os erros relativos entre os resultados obtidos para a condição hidrológica da bacia a fim de mostrar a eficiência deste método. Também é importante fazer uma análise quantitativa a respeito da influência das barragens na hidrologia da bacia, ou seja, fazer um levantamento da demanda para usos consuntivos, assim como analisar o efeito da evaporação nos reservatórios. Ainda recomenda-se utilizar série de vazões com base em anos hidrológicos ao invés de utilizar anos comerciais, como ocorreu neste trabalho.

Outra recomendação ainda pode ser feita para, quando for realizar o preenchimento de falhas, utilizar as subséries de vazões das classes hidrológicas, a fim de obter um resultado que leve em consideração a característica hidrológica dos anos. Dessa forma, de acordo com as subséries criadas a partir das classes hidrológicas, deve-se analisar àquela que contém ausência de dados, fazendo a média de longo termo para os mesmos meses iguais ao da falha.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil: Regiões Hidrográficas Brasileiras. 2015. p124-128. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/regioeshidrograficas.pdf>>. Acesso em 27 jun 2016.

Agência Nacional de Águas (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil. 2013. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/regioeshidrograficas.pdf>>. Acesso em 27 jun 2016.

ASFORA, M. C.; CIRILO, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias. Revista de Gestão de Água da América Latina, v.2, p.27-38, 2005.

AZEVEDO, J. R. G; MALTA, B. P. S. Desenvolvimento de um Modelo Computacional para Preenchimento de Falhas Pluviométricas. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2001, Sergipe. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2001.

CABRAL, L. S. L.; CRUZ, F. M. Análise estatística do regime de vazões do Rio Doce, no município de Governador Valadares (MG), e sua relação com a UHE Baguari. Disponível em: <[http://www.ifmg.edu.br/site\\_campi/g/images/arquivos\\_governador\\_valadares/LORENATCC.pdf](http://www.ifmg.edu.br/site_campi/g/images/arquivos_governador_valadares/LORENATCC.pdf)>. Acesso em 24 jul 2016.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Estudos relativos às mudanças climáticas e recursos hídricos para embasar o Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas. Fortaleza-CE, 2014. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20151106101148\\_5-setores\\_usuarios\\_adaptacao\\_resumo\\_e\\_arquivo\\_completo.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20151106101148_5-setores_usuarios_adaptacao_resumo_e_arquivo_completo.pdf)>. Acesso em 23 jun 2016.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo Hidrologia, Versão 7, IPH UFRGS. 2010.

GENZ, F.; LUZ, L.D. Distinguishing the effects of climate on discharge in a tropical river highly impacted by large dams. Hydrological Sciences Journal, 57:5, p. 1020-1034, 2012.

HIDROWEB Sistema de Informações Hidrológicas. Séries Históricas. Disponível em: <[hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br)>. Acesso em 25 mai 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - Censo Demográfico 2010: resultados do universo. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em 11 jun 2016.

MARTINS, D. M. F. et al. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n. 9, p. 1054-1061, 2011.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco de 2006. Disponível em <[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>. Acesso em 10 jun 2016.

Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do São Francisco (PBHSF) (2004-2013). Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Disponível em: <[cbhsaofrancisco.org.br](http://cbhsaofrancisco.org.br)>. Acesso em 27 jun 2016.

Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do São Francisco (PBHSF) (2016-2025). Disponível em: <[cbhsaofrancisco.org.br](http://cbhsaofrancisco.org.br)>. Acesso em 27 jun 2016.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141997000100007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100007)>. Acesso em 27 jun 2016.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 2a Edição, Editora Universidade/UFRGS, ABRH, Porto Alegre, 2000.

**APÊNDICE A – Planilhas com Vazões Médias Anuais, Anomalias e Classificação Hidrológica para MPR+BQR e Pão de Açúcar para todos os períodos**

- Período: 1931 a 2015

MRP+BQR				PÃO DE AÇÚCAR			
Ano	Qi (m³/s)	Anomalia	Classificação	Ano	Qi (m³/s)	Anomalia	Classificação
1931	3385	1.04	ÚMIDO	1931	4013	1.44	ÚMIDO
1932	2178	-0.61	SECO	1932	2605	-0.08	MÉDIO
1933	2438	-0.25	MÉDIO	1933	2892	0.23	MÉDIO
1934	1928	-0.95	SECO	1934	2342	-0.36	MÉDIO
1935	2861	0.33	MÉDIO	1935	3331	0.70	ÚMIDO
1936	1981	-0.88	SECO	1936	2372	-0.33	MÉDIO
1937	2670	0.06	MÉDIO	1937	3115	0.47	MÉDIO
1938	2354	-0.37	MÉDIO	1938	2764	0.09	MÉDIO
1939	2314	-0.42	MÉDIO	1939	2691	0.01	MÉDIO
1940	2568	-0.08	MÉDIO	1940	3073	0.42	MÉDIO
1941	2616	-0.01	MÉDIO	1941	3102	0.45	MÉDIO
1942	2802	0.24	MÉDIO	1942	3142	0.50	MÉDIO
1943	3886	1.72	MUITO ÚMIDO	1943	4320	1.77	MUITO ÚMIDO
1944	2848	0.31	MÉDIO	1944	3333	0.70	ÚMIDO
1945	4824	3.00	MUITO ÚMIDO	1945	5304	2.83	MUITO ÚMIDO
1946	3603	1.34	ÚMIDO	1946	4363	1.81	MUITO ÚMIDO
1947	3358	1.00	ÚMIDO	1947	4108	1.54	MUITO ÚMIDO
1948	2931	0.42	MÉDIO	1948	3496	0.88	ÚMIDO
1949	4468	2.52	MUITO ÚMIDO	1949	5123	2.63	MUITO ÚMIDO
1950	2550	-0.10	MÉDIO	1950	3150	0.51	ÚMIDO
1951	2300	-0.44	MÉDIO	1951	2931	0.27	MÉDIO
1952	2988	0.50	MÉDIO	1952	3454	0.83	ÚMIDO
1953	1956	-0.91	SECO	1953	2366	-0.34	MÉDIO
1954	1846	-1.06	SECO	1954	2236	-0.48	MÉDIO
1955	1865	-1.03	SECO	1955	2101	-0.62	SECO
1956	2325	-0.41	MÉDIO	1956	2622	-0.06	MÉDIO
1957	4194	2.14	MUITO ÚMIDO	1957	4556	2.02	MUITO ÚMIDO
1958	2398	-0.31	MÉDIO	1958	2709	0.03	MÉDIO
1959	2092	-0.72	SECO	1959	2270	-0.44	MÉDIO
1960	3018	0.54	ÚMIDO	1960	3540	0.93	ÚMIDO
1961	2639	0.02	MÉDIO	1961	2974	0.32	MÉDIO
1962	2395	-0.31	MÉDIO	1962	2550	-0.14	MÉDIO
1963	2362	-0.36	MÉDIO	1963	2635	-0.05	MÉDIO
1964	2589	-0.05	MÉDIO	1964	2877	0.21	MÉDIO
1965	3210	0.80	ÚMIDO	1965	3533	0.92	ÚMIDO
1966	3015	0.53	ÚMIDO	1966	3359	0.73	ÚMIDO
1967	2418	-0.28	MÉDIO	1967	2912	0.25	MÉDIO
1968	3109	0.66	ÚMIDO	1968	3466	0.85	ÚMIDO
1969	2198	-0.58	SECO	1969	2533	-0.16	MÉDIO
1970	2802	0.24	MÉDIO	1970	3106	0.46	MÉDIO

1971	1804	-1.12	SECO	1971	1854	-0.89	SECO
1972	2230	-0.54	SECO	1972	2386	-0.32	MÉDIO
1973	2805	0.25	MÉDIO	1973	2917	0.25	MÉDIO
1974	2393	-0.31	MÉDIO	1974	2993	0.34	MÉDIO
1975	2061	-0.77	SECO	1975	2365	-0.34	MÉDIO
1976	1877	-1.02	SECO	1976	1916	-0.82	SECO
1977	2118	-0.69	SECO	1977	1776	-0.98	SECO
1978	3115	0.67	ÚMIDO	1978	1739	-1.01	SECO
1979	4600	2.70	MUITO ÚMIDO	1979	4705	2.18	MUITO ÚMIDO
1980	3991	1.87	MUITO ÚMIDO	1980	4000	1.42	ÚMIDO
1981	3310	0.94	ÚMIDO	1981	3198	0.56	ÚMIDO
1982	3780	1.58	MUITO ÚMIDO	1982	3852	1.26	ÚMIDO
1983	4496	2.56	MUITO ÚMIDO	1983	3937	1.35	ÚMIDO
1984	2490	-0.18	MÉDIO	1984	2695	0.02	MÉDIO
1985	3100	0.65	ÚMIDO	1985	3068	0.42	MÉDIO
1986	2718	0.13	MÉDIO	1986	3016	0.36	MÉDIO
1987	2039	-0.80	SECO	1987	1835	-0.91	SECO
1988	2205	-0.57	SECO	1988	1756	-1.00	SECO
1989	1964	-0.90	SECO	1989	1568	-1.20	SECO
1990	2190	-0.59	SECO	1990	1819	-0.93	SECO
1991	2460	-0.22	MÉDIO	1991	1947	-0.79	SECO
1992	4071	1.98	MUITO ÚMIDO	1992	3823	1.23	ÚMIDO
1993	2413	-0.29	MÉDIO	1993	2530	-0.16	MÉDIO
1994	2640	0.02	MÉDIO	1994	2246	-0.47	MÉDIO
1995	1940	-0.93	SECO	1995	1786	-0.96	SECO
1996	1818	-1.10	SECO	1996	1684	-1.07	SECO
1997	2608	-0.02	MÉDIO	1997	1793	-0.96	SECO
1998	2020	-0.82	SECO	1998	1948	-0.79	SECO
1999	1870	-1.03	SECO	1999	1760	-0.99	SECO
2000	2472	-0.21	MÉDIO	2000	1950	-0.79	SECO
2001	1488	-1.55	MUITO SECO	2001	1424	-1.35	SECO
2002	1923	-0.96	SECO	2002	1573	-1.19	SECO
2003	1969	-0.89	SECO	2003	1553	-1.22	SECO
2004	2584	-0.05	MÉDIO	2004	1872	-0.87	SECO
2005	2744	0.17	MÉDIO	2005	2063	-0.67	SECO
2006	2594	-0.04	MÉDIO	2006	2098	-0.63	SECO
2007	2973	0.48	MÉDIO	2007	2710	0.03	MÉDIO
2008	2033	-0.80	SECO	2008	1584	-1.18	SECO
2009	2796	0.24	MÉDIO	2009	1897	-0.84	SECO
2010	2009	-0.84	SECO	2010	1654	-1.11	SECO
2011	2650	0.04	MÉDIO	2011	1826	-0.92	SECO
2012	2547	-0.10	MÉDIO	2012	1949	-0.79	SECO
2013	2002	-0.85	SECO	2013	1295	-1.49	SECO
2014	1457	-1.59	MUITO SECO	2014	1111	-1.69	MUITO SECO
2015	1291	-1.82	MUITO SECO	2015	1010	-1.80	MUITO SECO

- **Período: 1931 a 1962**

MRP+BQR				PÃO DE AÇÚCAR			
Ano	Qi (m <sup>3</sup> /s)	Anomalia	Classificação	Ano	Qi (m <sup>3</sup> /s)	Anomalia	Classificação
1931	3385	0.82	ÚMIDO	1931	4013	0.96	ÚMIDO
1932	2178	-0.78	SECO	1932	2605	-0.73	SECO
1933	2438	-0.44	MÉDIO	1933	2892	-0.39	MÉDIO
1934	1928	-1.11	SECO	1934	2342	-1.05	SECO
1935	2861	0.12	MÉDIO	1935	3331	0.14	MÉDIO
1936	1981	-1.04	SECO	1936	2372	-1.01	SECO
1937	2670	-0.13	MÉDIO	1937	3115	-0.12	MÉDIO
1938	2354	-0.55	SECO	1938	2764	-0.54	SECO
1939	2314	-0.60	SECO	1939	2691	-0.63	SECO
1940	2568	-0.26	MÉDIO	1940	3073	-0.17	MÉDIO
1941	2616	-0.20	MÉDIO	1941	3102	-0.14	MÉDIO
1942	2802	0.04	MÉDIO	1942	3142	-0.09	MÉDIO
1943	3886	1.48	ÚMIDO	1943	4320	1.32	ÚMIDO
1944	2848	0.11	MÉDIO	1944	3333	0.14	MÉDIO
1945	4824	2.72	MUITO ÚMIDO	1945	5304	2.50	MUITO ÚMIDO
1946	3603	1.10	ÚMIDO	1946	4363	1.37	ÚMIDO
1947	3358	0.78	ÚMIDO	1947	4108	1.07	ÚMIDO
1948	2931	0.22	MÉDIO	1948	3496	0.33	MÉDIO
1949	4468	2.25	MUITO ÚMIDO	1949	5123	2.29	MUITO ÚMIDO
1950	2550	-0.29	MÉDIO	1950	3150	-0.08	MÉDIO
1951	2300	-0.62	SECO	1951	2931	-0.34	MÉDIO
1952	2988	0.29	MÉDIO	1952	3454	0.28	MÉDIO
1953	1956	-1.07	SECO	1953	2366	-1.02	SECO
1954	1846	-1.22	SECO	1954	2236	-1.18	SECO
1955	1865	-1.19	SECO	1955	2101	-1.34	SECO
1956	2325	-0.59	SECO	1956	2622	-0.71	SECO
1957	4194	1.88	MUITO ÚMIDO	1957	4556	1.61	MUITO ÚMIDO
1958	2398	-0.49	MÉDIO	1958	2709	-0.61	SECO
1959	2092	-0.89	SECO	1959	2270	-1.14	SECO
1960	3018	0.33	MÉDIO	1960	3540	0.39	MÉDIO
1961	2639	-0.17	MÉDIO	1961	2974	-0.29	MÉDIO
1962	2395	-0.49	MÉDIO	1962	2550	-0.80	SECO

- **Período: 1963 a 2015**

MRP+BQR				PÃO DE AÇÚCAR			
Ano	Qi (m³/s)	Anomalia	Classificação	Ano	Qi (m³/s)	Anomalia	Classificação
1963	2362	-0.24	MÉDIO	1963	2635	0.33	MÉDIO
1964	2589	0.08	MÉDIO	1964	2877	0.63	ÚMIDO
1965	3210	0.95	ÚMIDO	1965	3533	1.41	ÚMIDO
1966	3015	0.67	ÚMIDO	1966	3359	1.20	ÚMIDO
1967	2418	-0.16	MÉDIO	1967	2912	0.67	ÚMIDO
1968	3109	0.81	ÚMIDO	1968	3466	1.33	ÚMIDO
1969	2198	-0.47	MÉDIO	1969	2533	0.21	MÉDIO
1970	2802	0.38	MÉDIO	1970	3106	0.90	ÚMIDO
1971	1804	-1.03	SECO	1971	1854	-0.60	SECO
1972	2230	-0.43	MÉDIO	1972	2386	0.04	MÉDIO
1973	2805	0.38	MÉDIO	1973	2917	0.67	ÚMIDO
1974	2393	-0.20	MÉDIO	1974	2993	0.76	ÚMIDO
1975	2061	-0.67	SECO	1975	2365	0.01	MÉDIO
1976	1877	-0.93	SECO	1976	1916	-0.53	SECO
1977	2118	-0.59	SECO	1977	1776	-0.70	SECO
1978	3115	0.82	ÚMIDO	1978	1739	-0.74	SECO
1979	4600	2.90	MUITO ÚMIDO	1979	4705	2.82	MUITO ÚMIDO
1980	3991	2.05	MUITO ÚMIDO	1980	4000	1.97	MUITO ÚMIDO
1981	3310	1.09	ÚMIDO	1981	3198	1.01	ÚMIDO
1982	3780	1.75	MUITO ÚMIDO	1982	3852	1.80	MUITO ÚMIDO
1983	4496	2.76	MUITO ÚMIDO	1983	3937	1.90	MUITO ÚMIDO
1984	2490	-0.06	MÉDIO	1984	2695	0.41	MÉDIO
1985	3100	0.80	ÚMIDO	1985	3068	0.85	ÚMIDO
1986	2718	0.26	MÉDIO	1986	3016	0.79	ÚMIDO
1987	2039	-0.70	SECO	1987	1835	-0.63	SECO
1988	2205	-0.46	MÉDIO	1988	1756	-0.72	SECO
1989	1964	-0.80	SECO	1989	1568	-0.95	SECO
1990	2190	-0.49	MÉDIO	1990	1819	-0.65	SECO
1991	2460	-0.11	MÉDIO	1991	1947	-0.49	MÉDIO
1992	4071	2.16	MUITO ÚMIDO	1992	3823	1.76	MUITO ÚMIDO
1993	2413	-0.17	MÉDIO	1993	2530	0.21	MÉDIO
1994	2640	0.15	MÉDIO	1994	2246	-0.13	MÉDIO
1995	1940	-0.84	SECO	1995	1786	-0.69	SECO
1996	1818	-1.01	SECO	1996	1684	-0.81	SECO
1997	2608	0.10	MÉDIO	1997	1793	-0.68	SECO
1998	2020	-0.72	SECO	1998	1948	-0.49	MÉDIO
1999	1870	-0.94	SECO	1999	1760	-0.72	SECO
2000	2472	-0.09	MÉDIO	2000	1950	-0.49	MÉDIO
2001	1488	-1.47	SECO	2001	1424	-1.12	SECO
2002	1923	-0.86	SECO	2002	1573	-0.94	SECO

2003	1969	-0.80	SECO	2003	1553	-0.97	SECO
2004	2584	0.07	MÉDIO	2004	1872	-0.58	SECO
2005	2744	0.29	MÉDIO	2005	2063	-0.35	MÉDIO
2006	2594	0.08	MÉDIO	2006	2098	-0.31	MÉDIO
2007	2973	0.62	ÚMIDO	2007	2710	0.42	MÉDIO
2008	2033	-0.71	SECO	2008	1584	-0.93	SECO
2009	2796	0.37	MÉDIO	2009	1897	-0.55	SECO
2010	2009	-0.74	SECO	2010	1654	-0.84	SECO
2011	2650	0.16	MÉDIO	2011	1826	-0.64	SECO
2012	2547	0.02	MÉDIO	2012	1949	-0.49	MÉDIO
2013	2002	-0.75	SECO	2013	1295	-1.28	SECO
2014	1457	-1.52	MUITO SECO	2014	1111	-1.50	SECO
2015	1291	-1.75	MUITO SECO	2015	1010	-1.62	MUITO SECO

- **Período: 1979 a 2015**

MRP+BQR				PÃO DE AÇÚCAR			
Ano	Qi (m³/s)	Anomalia	Classificação	Ano	Qi (m³/s)	Anomalia	Classificação
1979	4600	2.56	MUITO ÚMIDO	1979	4705	2.77	MUITO ÚMIDO
1980	3991	1.80	MUITO ÚMIDO	1980	4000	1.98	MUITO ÚMIDO
1981	3310	0.95	ÚMIDO	1981	3198	1.08	ÚMIDO
1982	3780	1.54	MUITO ÚMIDO	1982	3852	1.82	MUITO ÚMIDO
1983	4496	2.43	MUITO ÚMIDO	1983	3937	1.91	MUITO ÚMIDO
1984	2490	-0.07	MÉDIO	1984	2695	0.52	ÚMIDO
1985	3100	0.69	ÚMIDO	1985	3068	0.94	ÚMIDO
1986	2718	0.21	MÉDIO	1986	3016	0.88	ÚMIDO
1987	2039	-0.63	SECO	1987	1835	-0.44	MÉDIO
1988	2205	-0.43	MÉDIO	1988	1756	-0.53	SECO
1989	1964	-0.73	SECO	1989	1568	-0.74	SECO
1990	2190	-0.45	MÉDIO	1990	1819	-0.46	MÉDIO
1991	2460	-0.11	MÉDIO	1991	1947	-0.32	MÉDIO
1992	4071	1.90	MUITO ÚMIDO	1992	3823	1.78	MUITO ÚMIDO
1993	2413	-0.17	MÉDIO	1993	2530	0.34	MÉDIO
1994	2640	0.11	MÉDIO	1994	2246	0.02	MÉDIO
1995	1940	-0.76	SECO	1995	1786	-0.50	MÉDIO
1996	1818	-0.91	SECO	1996	1684	-0.61	SECO
1997	2608	0.08	MÉDIO	1997	1793	-0.49	MÉDIO
1998	2020	-0.66	SECO	1998	1948	-0.32	MÉDIO
1999	1870	-0.85	SECO	1999	1760	-0.53	SECO
2000	2472	-0.09	MÉDIO	2000	1950	-0.31	MÉDIO
2001	1488	-1.32	SECO	2001	1424	-0.90	SECO
2002	1923	-0.78	SECO	2002	1573	-0.74	SECO
2003	1969	-0.72	SECO	2003	1553	-0.76	SECO
2004	2584	0.05	MÉDIO	2004	1872	-0.40	MÉDIO
2005	2744	0.24	MÉDIO	2005	2063	-0.19	MÉDIO
2006	2594	0.06	MÉDIO	2006	2098	-0.15	MÉDIO
2007	2973	0.53	ÚMIDO	2007	2710	0.54	ÚMIDO
2008	2033	-0.64	SECO	2008	1584	-0.72	SECO
2009	2796	0.31	MÉDIO	2009	1897	-0.37	MÉDIO
2010	2009	-0.67	SECO	2010	1654	-0.65	SECO
2011	2650	0.13	MÉDIO	2011	1826	-0.45	MÉDIO
2012	2547	0.00	MÉDIO	2012	1949	-0.32	MÉDIO
2013	2002	-0.68	SECO	2013	1295	-1.05	SECO
2014	1457	-1.36	SECO	2014	1111	-1.25	SECO
2015	1291	-1.57	MUITO SECO	2015	1010	-1.37	SECO

- **Período: 1995 a 2015**

MRP+BQR				PÃO DE AÇÚCAR			
Ano	Qi (m³/s)	Anomalia	Classificação	Ano	Qi (m³/s)	Anomalia	Classificação
1995	1940	-0.50	SECO	1995	1786	0.12	MÉDIO
1996	1818	-0.76	SECO	1996	1684	-0.15	MÉDIO
1997	2608	0.89	ÚMIDO	1997	1793	0.15	MÉDIO
1998	2020	-0.33	MÉDIO	1998	1948	0.57	ÚMIDO
1999	1870	-0.65	SECO	1999	1760	0.05	MÉDIO
2000	2472	0.61	ÚMIDO	2000	1950	0.57	ÚMIDO
2001	1488	-1.45	SECO	2001	1424	-0.86	SECO
2002	1923	-0.54	SECO	2002	1573	-0.46	MÉDIO
2003	1969	-0.44	MÉDIO	2003	1553	-0.51	SECO
2004	2584	0.84	ÚMIDO	2004	1872	0.36	MÉDIO
2005	2744	1.18	ÚMIDO	2005	2063	0.88	ÚMIDO
2006	2594	0.86	ÚMIDO	2006	2098	0.98	ÚMIDO
2007	2973	1.66	MUITO ÚMIDO	2007	2710	2.65	MUITO ÚMIDO
2008	2033	-0.31	MÉDIO	2008	1584	-0.43	MÉDIO
2009	2796	1.29	ÚMIDO	2009	1897	0.43	MÉDIO
2010	2009	-0.36	MÉDIO	2010	1654	-0.24	MÉDIO
2011	2650	0.98	ÚMIDO	2011	1826	0.24	MÉDIO
2012	2547	0.77	ÚMIDO	2012	1949	0.57	ÚMIDO
2013	2002	-0.37	MÉDIO	2013	1295	-1.22	SECO
2014	1457	-1.51	MUITO SECO	2014	1111	-1.72	MUITO SECO
2015	1291	-1.86	MUITO SECO	2015	1010	-1.99	MUITO SECO