UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
COLEGIADO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JULIA ALVES FRAGA DE ARAUJO

AVALIAÇÃO DE VOLUMES DE REGULARIZAÇÃO PARA CURSOS D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MATEUS

VITÓRIA
2014

JULIA ALVES FRAGA DE ARAUJO

AVALIAÇÃO DE VOLUMES DE REGULARIZAÇÃO PARA CURSOS D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MATEUS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.
Orientador: José Antônio Tosta dos Reis

VITÓRIA
2014

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, José Antônio Tosta dos Reis, pelo extremo profissionalismo, paciência, dedicação e disponibilidade para atender qualquer dúvida que surgiu ao longo do período de estudo.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo aos estudos. Aos meus familiares, que nunca duvidaram no meu potencial.

Aos meus amigos, que sempre me acompanharam e se fizeram presentes nas minhas realizações.

Aos meus amigos da UFES, que tornaram o ambiente de estudo mais agradável durante todos os anos juntos e me ajudaram profundamente nos momentos mais difíceis desse caminho.

A Universidade Federal do Espírito Santo, por ser a base do meu conhecimento acadêmico. Pela oportunidade de conviver com professores e alunos e funcionários extremamente competentes.

A University of Nebraska-Lincoln e todas as pessoas incríveis que conheci durante o período de intercâmbio. Ao Biological Systems Engeneering Department, pelo aprendizado e oportunidade de estágio.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuiram na realização desse trabalho.

RESUMO

A inadequada gestão dos recursos hídricos e as diferentes características físicas, climáticas e ambientais das diversas regiões do país, podem agravar problemas relacionados com a escassez de água, mesmo em um país que apresenta enorme disponibilidade hídrica como o Brasil. Para garantia de atendimento das demandas a construção de reservatórios de regularização tem constituído prática comum no País. O presente trabalho apropriou volumes de reservação a partir de dois diferentes métodos empíricos - método da Simulação e método baseado nas Diferenças em relação a sequência de deflúvios mínimos - em cinco seções fluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio São Mateus. Adicionalmente, foram considerados os registros da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande para avaliação dos efeitos sobre o dimensionamento do reservatório da incorporação da precipitação e da evaporação. Na sequência, a partir dos registros da estação fluviométrica Barra do Rio Preto, foi avaliada a influência do tamanho da série histórica de vazões sobre o volume do reservatório. Os resultados indicaram que método da Simulação gerou menores volumes de reservação que o método baseado nas diferenças em relação a sequências de deflúvios mínimos. A incorporação da precipitação e evaporação produziu, para a área de estudo, aumento discreto do volume de reservação. O tamanho da série histórica pode produzir variações significativas no volume de reservação; nesse contexto, a utilização de séries históricas mais extensas tende a gerar volumes de reservação mais consistentes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

2. OBJETIVOS 13

2.1. Objetivo geral 13

2.2. Objetivos específicos 13

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14

3.1. Recursos hídricos e escassez hídrica 14

3.2. Regularização de vazões em corpos d'água 15

3.3. Exemplos de aplicações de métodos de regularização de vazões em corpos d'água 18

3.4. Métodos empíricos de dimensionamento de reservatórios 20

3.4.1. MÉTODO DA SIMULAÇÃO 21

3.4.2. MÉTODO BASEADO NAS DIFERENÇAS EM RELAÇÃO A SEQUÊNCIAS DE DEFLÚVIOS MÍNIMOS 22

4. ÁREA DE ESTUDO 24

5. METODOLOGIA 26

5.1. Dados hidrológicos 26

5.2. *Software SisCAH* 31

5.3. Dados fisiográficos 32

5.4. Métodos empregados para apropriação dos volumes de reservação 34

5.5. Cenários de simulação de demandas 35

5.6. Avaliação da influência do tamanho das séries históricas 36

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 37

6.1. Vazões médias de longo período e curvas de permanência 37

6.2. Volumes de reservação 39

6.2.1. Volumes estimados pelos métodos da sequências de deflúvios mínimos e da simulação sem incorporação de precipitação e evaporação 39

6.2.2. Volumes estimados pelo método da simulação com incorporação de precipitação e evaporação 42

6.3. Avaliação da influência do tamanho da série histórica 49

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 54

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56

ANEXO A – REGISTROS FLUVIOMÉTRICOS..... 61

ANEXO B – REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS 66

ANEXO C – REGISTROS EVAPORIMÉTRICOS 71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacia hidrográfica do Rio São Mateus 25

Figura 2- Localização das estações fluviométricas selecionadas..... 27

Figura 3 - Localização geográfica das estações pluviométricas selecionadas 29

Figura 4 - Localização geográfica da estação meteorológica selecionadas.... 30

Figura 5 - Cartas MDE utilizadas no estudo 33

Figura 6 - Curva de permanência da estação fluviométrica Fidelândia – Montante 38

Figura 7 - Curva de permanência da estação fluviométrica Ataléia..... 38

Figura 8 - Curva de permanência da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 38

Figura 9 - Curva de permanência da estação fluviométrica Barra do Rio Preto 39

Figura 10 - Curva de permanência da estação fluviométrica Barra de São Francisco..... 39

Figura 11 - Área inundada (cota 40) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 42

Figura 12 - Área inundada (cota 45) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 43

Figura 13 - Área inundada (cota 50) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 43

Figura 14 - Área inundada (cota 55) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 44

Figura 15 - Área inundada (cota 60) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 44

Figura 16 - Área inundada (cota 65) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 45

Figura 17 - Área inundada (cota 70) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 45

Figura 18 - Área inundada (cota 75) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 46

Figura 19 - Área inundada (cota 80) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 46

Figura 20 - Área inundada (cota 85) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 47

Figura 21 - Linha de tendência que correlaciona área e volume de inundação para a estação fluviométrica de São João da Cachoeira Grande 48

Figura 22 – (i) Volumes acumulados x demandas acumuladas para a série histórica da estação fluviométrica Barra do Rio Preto no intervalo de 2001 a 2005 51

Figura 23 - (ii) Volumes acumulados x demandas acumuladas para a série histórica da estação fluviométrica Barra do Rio Preto no intervalo de 1991 a 2005 52

Figura 24 - (iii) Volumes acumulados x demandas acumuladas para a série histórica da estação fluviométrica Barra do Rio Preto no intervalo de 1996 a 2005 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características das estações fluviométricas selecionadas 27

Tabela 2 -Características das Estações Pluviométricas selecionadas 28

Tabela 3 – Estações hidrológicas e período comum de dados históricos..... 31

Tabela 4 - Vazões médias de longo período para as estações fluviométricas selecionadas 37

Tabela 5 - Valores da vazão Q_{90} para as estações fluviométricas selecionadas 37

Tabela 6 - Volumes de reservação (em Hm3) estimados para a estação fluviométrica Fidelândia – Montante..... 40

Tabela 7 - Volumes de reservação (em Hm3) estimados para a estação fluviométrica Ataléia 40

Tabela 8 - Volumes de reservação (em Hm3) estimados para a estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 40

Tabela 9 - Volumes de reservação (em Hm3) estimados para a estação fluviométrica Barra do Rio Preto..... 40

Tabela 10 - Volumes de reservação (em Hm3) estimados para a estação fluviométrica Barra de São Francisco..... 41

Tabela 11- Características da estação fluviométrica de São João da Cachoeira Grande 48

Tabela 12 - Volumes de reservação (em Hm3) estimados para a estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande 49

Tabela 13 - Volumes de reservação simulados de acordo com o intervalo proposto para a série histórica de vazões 50

LISTA DE ABREVIAÇÕES

ANA	Agência Nacional de Águas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	*Environmental Systems Research Institute*
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
SisCAH	Sistema Computacional para Análise Hidrológica
SRTM	*Shuttle Radar Topography Mission*
TIN	*Triangulated Irregular Network*

1. INTRODUÇÃO

O entendimento do processo de armazenamento de águas é fundamental para a gestão de recursos hídricos. Segundo Cavalcante Filho (2007) estudos climatológicos demonstram que o maior problema na gestão dos recursos hídricos está na má distribuição das chuvas, assim como no inadequado aproveitamento do escoamento superficial dos corpos d'água.

Historicamente, a implantação de reservatórios de regularização tem sido o principal instrumento na busca da sustentabilidade hídrica nas regiões onde os recursos hídricos são limitados ou apresentam uma distribuição temporal desfavorável. De acordo com Studart (2006), uma das principais funções da regularização de cursos d'água é a de fornecer uma vazão constante, ou não muito variável no tempo.

A construção de reservatórios de regularização pode ser necessária para atingir diferentes objetivos, dentre eles o atendimento às necessidades de abastecimento urbano ou rural, a geração de energia, o combate às inundações ou para o controle de estiagem, a recreação, a navegação, etc. (BARBOSA JR., 2012).

De acordo com Campos (1996), o dimensionamento de um reservatório é um processo de decisão, que envolve conhecimentos das condições ambientais, econômicas, sociais, etc. Portanto, é importante destacar que, como o custo do reservatório é um dos itens mais altos em relação ao custo total de um projeto de regularização de um curso d'água, o dimensionamento inadequado pode inviabilizar economicamente o projeto (FONTANELA, 2010).

Diferentes métodos podem ser empregados para a determinação dos volumes de reservatórios, dentre os quais merecem destaque o Método de Rippl, Método da Simulação, e Método Baseado nas Diferenças em Relação a Sequências de Deflúvios Mínimos, dentre outros. Estes métodos, sumariamente apresentados e discutidos por Dornelles, Tassi e Goldenfum (2010) e Tucci (2004), ainda que trabalhem sobre uma mesma base de registros hidrológicos ou fisiográficos, podem produzir valores discrepantes entre si. Assim, a determinação da vazão regularizada por reservatórios tem

sido objeto de vários estudos e busca avaliar qual o método mais apropriado para determinação dos volumes reservados (SCARE, 2003).

Este trabalho tem por objetivo avaliar, a partir de diferentes métodos, volumes de regularização para cursos d'água da bacia hidrográfica do rio São Mateus, importante sistema hídrico da porção norte do estado do Espírito Santo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar, a partir de diferentes métodos, volumes de reservação em cursos d'água da bacia hidrográfica do rio São Mateus.

2.2. Objetivos específicos

- Apropriar volumes de reservação a partir dos métodos da Simulação e das Diferenças em Relação a Sequências de Deflúvios Mínimos;
- Confrontar os resultados associados aos diferentes métodos de estimativa de volumes de regularização;
- Avaliar a influência do tamanho das séries históricas e da incorporação do processo de evaporação sobre os volumes de reservação estimados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Recursos hídricos e escassez hídrica

Em termos mundiais, o Brasil se encontra em situação privilegiada quanto à disponibilidade de água, principalmente de água doce. O Brasil é o país com maior disponibilidade hídrica renovável per capita do planeta (LANNA, 2001). Porém, como a distribuição interna é desigual, diversas regiões apresentam problemas de escassez hídrica. Mesmo dentro de um estado existem baciais com graus de escassez diferentes, que podem ser agravados pela maior aglomeração populacional e atividade econômica da região (SCARE, 2003). Além da escassez quantitativa, Camara (2003) destaca que a disponibilidade hídrica do país tem sido também comprometida pela perda de sua qualidade.

A percepção da escassez faz com que a água passe a ser considerada um recurso natural com valor econômico, estratégico e social. Assim, existe a necessidade do planejamento dos recursos hídricos, que visam ao atendimento das demandas, analisando as disponibilidades desses recursos e a sua alocação entre usos múltiplos, de forma a obter os máximos benefícios econômicos e sociais, com a mínima degradação ambiental (SETTI *et al.,* 2001).

De acordo com Camara (2003), o crescimento da variedade de usos múltiplos de água na sociedade moderna contribui para o aumento de conflitos, que são somente solucionados com o estabelecimento de regras operacionais complexas no âmbito da gestão de recursos hídricos.

Ainda, de acordo com Camara (2003), algumas intervenções estruturais ou não-estruturais podem ser empregadas para a gestão dos recursos hídricos. As intervenções estruturais modificam o regime hidrológico no espaço e no tempo, como por exempo, a construção de barragens. Já as intervenções não-estruturais estão relacionadas a instrumentos de gestão, como a outorga e a cobrança do uso da água.

Moreira (2001) destaca que o investimento em intervenções estruturais com o objetivo de aumentar a disponibilidade de água foi a primeira alternativa de

gestão das águas no país. Entretanto, essas soluções criaram outros problemas como os grandes desperdícios devido ao aumento da oferta sem estímulo ao uso racional da água.

A partir da década de 90, surge a necessidade de implementar medidas mais eficientes para o uso racional dos recursos hídricos. Práticas como manejo, gerenciamento e monitoramento ambiental se tornaram destaque nesse novo modo de gestão (MOREIRA, 2001).

No Brasil existem diferentes critérios para a adoção de vazões de referência para a outorga de água. De acordo com Silva *et al*. (2006), a variabilidade desses critérios está relacionada com as características individuais de cada bacia hidrográfica e é um procedimento adequado para proteção dos rios, uma vez que as alocações de água são geralmente estabelecidas a partir de uma vazão de base de pequeno risco. Vergara *et al*. (2013) ressaltam que, no Brasil, adota-se como referência a vazão mínima, procedimento que busca diminuir os possíveis riscos de escassez por usos desordenados. No entanto, os limites estabelecidos pelos critérios de outorga são usualmente dilatados quando da construção de reservatórios de regularização ao longo dos cursos d'água.

3.2. Regularização de vazões em corpos d'água

Como as vazões de cursos d'água são aleatórias, muitas são as situações em que a disponibilidade hídrica natural pode não ser suficiente para suprir as demandas em determinados períodos de tempo. De acordo com Nunes (2013), o uso de práticas de regularização é uma das medidas mais eficazes para promover o desenvolvimento sustentável e permitir a melhor utilização dos recursos hídricos superficiais.

Assim, em situações em que a vazão demandada é superior à disponibilidade, faz-se necessária a reservação das águas de épocas de excesso para suprir a carência de água nos períodos de estiagem. A vazão garantida para atendimento da demanda é usualmente denominada vazão regularizada (WENDLAND, 2001).

De acordo com Barbosa Jr. (2012), a regularização das vazões naturais envolve, invariavelmente, o represamento das águas através da construção de reservatórios, geralmente formados por barragens implantadas nos cursos d'água. Os reservatórios são comumente usados quando existir a necessidade de redistribuição da água no espaço e no tempo e tem como objetivo aumentar a vazão disponível para aumentar a garantia de abastecimento de água (NUNES, 2013).

Para Silva *et al.* (2013) e Barbosa Jr. (2012), a principal característica dos reservatórios é o multiuso. O armazenamento criado com a construção de barragens pode ser usado para controle de enchentes e de períodos de escassez, conservação da água, aumento de vazão, geração de energia elétrica, navegação e recreação. Nesse contexto, segundo os referidos autores, as variáveis de decisão, funções, objetivos e restrições variam de acordo com diferentes tipos de problemas associados à reservação.

A implantação de reservatórios de regularização modifica a permanência das vazões nos rios e altera a garantia do suprimento de água a jusante do mesmo. Como as vazões a montante e a jusante do reservatório são alteradas, existe a necessidade de se analisar comportamentos diferentes quanto à garantia de abastecimento com usos múltiplos. Segundo Asfora e Cirilo (2005), ocorre um aumento do valor da vazão mínima disponível a jusante e este valor tende a se aproximar do valor da vazão média.

O conceito de confiabilidade do reservatório é, provavelmente, um dos aspectos mais importantes envolvidos na tomada de decisões significativas sobe as políticas de recursos hídricos (SILVA *et al.,* 2013). Em nível de planejamento, geralmente utilizam garantias de fornecimento da vazão regularizada de 100 a 80%. Por exemplo, a garantia de 100% indica que em qualquer intervalo de tempo a vazão regularizada correspondente poderá ser obtida a partir do reservatório, independente da severidade da estiagem (LEÃO; FERNANDES; GALVÍNCIO, 2011). Segundo Reis (2002), a quantidade outorgável deveria ter uma disponibilidade de referência associada a uma confiabilidade, a fim de não se criar um cenário de aparente controle ao tomador de decisão, uma vez que a garantia associada à oferta pode ser uma

condição suficiente para o processo de outorga, mas não suficiente para o bom desempenho do sistema.

A ocorrência das vazões em corpos d'água é dependente de muitos fatores, como precipitação, evaporação, infiltração, vazamentos, dentre outros. Adicionalmente, a demanda também pode ser variável. Assim, não é possível prever com precisão o tamanho do reservatório de água necessário para suprir as demandas nos períodos de escassez. Ainda, de acordo com Amorim e Pereira (2008), o período de coleta dos dados históricos também é extremamente importante para a precisão no dimensionamento, uma vez que quanto mais longo o período analisado, mais eficiente será o dimensionamento.

De acordo com Tucci (2004), a apropriação dos volumes de reservação pode gerar duas situações ineficientes: o superdimensionamento das reservas, elevando o custo de projeto, ou o subdimensionamento das reservas, necessitando racionamento de água durante o período seco. O dimensionamento ótimo do reservatório seria aquele encontrado entre as duas situações críticas citadas. Segundo Amorim e Pereira (2008), o cálculo é realizado na tentativa de atender toda a demanda pelo maior período possível e com o menor custo de implantação.

Os métodos de dimensionamento de reservatórios de regularização, estudados por Cavalcante Filho (2007) e Nunes (2013), podem ser classificados em empíricos, analíticos e experimentais.

Os métodos empíricos utilizam o conceito de período crítico da série histórica, que pode ser descrito como aquele em que o reservatório passa da condição de cheio para vazio pela primeira vez. Como exemplo de método empírico encontra-se o método de Rippl, que pode ser considerado o primeiro grande marco no dimensionamento de reservatórios para controle de estiagem (NUNES, 2013).

O método de Rippl ou Diagrama de Massas é um procedimento gráfico em que são utilizados os volumes acumulados ao longo de um ano hidrológico. A partir do gráfico de volumes acumulados é possível a determinação da vazão num tempo qualquer, uma vez que as vazões constituem as tangentes do referido gráfico (BARBOSA JR., 2012). Segundo Cavalcante Filho (2007), o método

apresenta algumas limitações como, por exemplo, a não incorporação da evaporação. Apesar disso, o método de Rippl garante bons resultados de dimensionamento em regiões em que o regime chuvoso é bem determinado e a evaporação é relativamente pequena.

Os métodos analíticos de dimensionamento de reservatórios assumem que as vazões seguem leis de probabilidade, que podem ser as distribuições log-normal ou gama, os modelos auto-regressivos, dentre outros. A partir dessas leis, estimam-se o desempenho do reservatório através de cálculos analíticos. Como limitação, apresentam a impossibilidade de manipulação de regras de operação complexas (CAVALCANTE FILHO, 2007; NUNES, 2013).

Por fim, de acordo com Cavalcante Filho (2007) e Nunes (2013), os métodos experimentais assumem que as vazões seguem certa lei de probabilidade, permitindo a geração de séries sintéticas de vazões e a execução da operação simulada do reservatório. Uma grande vantagem dessa classe de métodos de dimensionamento de reservatório é a versatilidade da técnica de simulação. No entanto, o esforço computacional requerido para o funcionamento dos métodos experimentais é considerado a principal limitação de seu uso.

De acordo com Cavalcante Filho (2007), Nunes (2013) e Margon (2013), o método de Monte Carlo – um dos métodos experimentais recorrentemente empregados para o dimensionamento de reservatórios - baseia-se na execução de um número elevado de simulações, cujo valor varia de acordo com a complexidade do modelo. A simulação estocástica oferece meios para a geração de inúmeras sequências sintéticas, que são independentes da série histórica, mas que apresentam as mesmas propriedades estatísticas. A análise do desempenho do reservatório permite ao planejador tomar uma decisão baseada na análise probabilística do fenômeno estudado.

3.3. Exemplos de aplicações de métodos de regularização de vazões em corpos d'água

Pedrosa (2009) utilizou o Método do Diagrama Triangular para propor a ampliação da Barragem de Limeira II, localizada próxima à divisa entre os

Estados de Alagoas e Pernambuco. Por ocasião do estudo, a Barragem de Limeira II atendia exclusivamente ao Sistema Adutor de Estrela de Alagoas e Minador do Negrão; no entanto, sua capacidade de armazenamento não era suficiente para o abastecimento de água bruta para épocas de longa estiagem. Segundo Pedrosa (2009), o método do Diagrama Triangular foi escolhido devido à sua simplicidade e por apresentar vantagens como a rápida análise de erros nos parâmetros estatísticos, bem como o fornecimento simultâneo de uma avaliação dos volumes regularizados e das perdas médias por evaporação e sangria. Com os resultados obtidos no dimensionamento hidrológico foi possível concluir que uma ampliação na cota da barragem de 2.2 m aumentaria a oferta hídrica o suficiente para atender os objetivos propostos.

Mannich, Kaviski e Mine (2011) utilizaram três técnicas de determinação de curvas de regularização para a estação fluviométrica Porto Amazonas, localizada no Rio Iguaçu, Paraná. A regularização foi avaliada: **(i)** através da série histórica, utilizando o método de Rippl, **(ii)** via simulação com séries sintéticas, utilizando o método de Monte Carlo, e **(iii)** por meio de uma abordagem teórica desenvolvida por Gomide (1986). Mannich, Kaviski e Mine (2011) expuseram algumas limitações dos métodos estudados. De forma geral, para os métodos que utilizam dados históricos, existe a deficiência de não se considerar as incertezas das vazões e, consequentemente, os resultados encontrados só seriam válidos se as mesmas vazões ocorressem no futuro. Como alternativa, aplicam-se métodos experimentais, como o de Monte Carlo, em que várias séries sintéticas são geradas a fim de atrelar probabilidades de falha no volume de reservação ao longo de um determinado intervalo de tempo. O objetivo do trabalho de Mannich, Kaviski e Mine (2011) era comparar os resultados obtidos pelo método proposto por Gomide com os demais métodos propostos. O método estabelecido por Gomide foi escolhido por apresentar simplicidade na determinação do volume do reservatório de regularização de baixos níveis fluviométricos. Os resultados mostraram-se muito similares àqueles obtidos através dos métodos de Monte Carlo e Rippl.

Silva *et al.* (2013) criaram um programa computacional para calcular o volume útil de armazenamento de reservatórios utilizando o método Picos Sequenciais, que utiliza extensas séries hidrológicas. O programa proposto por Silva *et al.*

(2013) foi aplicado a uma série histórica de vazões médias mensais referentes a um período de 30 anos de monitoramento fluviométrico do Rio Corrente, curso d'água localizado na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. De acordo com os referidos autores, o trabalho realizado não teve como objetivo o planejamento e construção de um reservatório de regularização, uma vez que os dados de vazão do Rio Corrente foram utilizados apenas para a verificação e aplicação do programa computacional que foi desenvolvido. Silva *et al.* (2013) concluíram que o programa computacional apresentou-se como uma importante ferramenta para a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos.

Nunes (2013) utilizou duas estações fluviométricas pertencentes à bacia do Rio Entre Ribeiros e seis estações fluviométricas situadas na bacia do Rio Preto para avaliação de volumes de regularização. Foram apropriados dados históricos mensais de 1968 a 2005 para todas as estações estudadas. Nunes (2013) estabeleceu um coeficiente de regularização que indica a proporção entre a vazão regularizada e a vazão média no período considerado. O volume de reservação foi obtido através do método das Diferenças acumuladas, por meio do qual é possível estimar a menor capacidade útil de um reservatório que atenda ao período de estiagem mais crítico do intervalo de tempo analisado. A autora apresentou uma modificação no método a fim de associar um fator de frequência (período de retorno) ao dimensionamento do reservatório. Para alcançar a independência do ano de inicio da série histórica disponível foi proposta a criação de séries sintéticas. Nunes (2013) concluiu que para valores de coeficiente de regularização maiores ou iguais a 0.75 a criação de séries sintéticas foi eficiente para simular o volume do reservatório com períodos de retorno maiores ou iguais ao número de anos das séries históricas usadas.

3.4. Métodos empíricos de dimensionamento de reservatórios

Dentre os diferentes métodos empíricos de dimensionamento de reservatórios, o método da Simulação e o método baseado nas Diferenças em relação à sequência de deflúvios mínimos serão descritos nas seções subsequentes.

Esses métodos serão aplicados no presente trabalho, para o dimensionamento de reservatórios, conforme procedimentos descritos no capítulo reservado para Metodologia.

3.4.1. MÉTODO DA SIMULAÇÃO

No método da Simulação é realizado um balanço de massa pela contabilização de entradas e saídas do reservatório. Desta forma, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito, em um determinado dia ou mês, conforme explicam detalhadamente Tucci (2004) e Fontanela (2010). Para a aplicação do método, o balanço de massa é estabelecido conforme equação (01).

$$S_{(t+1)} = S_{(t)} + q_{(t)} - D_{(t)} - E_{(t)} + P_{(t)} \quad (01)$$

Na equação (01) $S_{(t)}$ representa o armazenamento no início do intervalo de tempo t, $q_{(t)}$ o deflúvio afluente durante o intervalo t, $D_{(t)}$ a descarga operada visando ao suprimento da demanda durante o intervalo de tempo t, $E_{(t)}$ a evaporação do reservatório durante o intervalo de tempo t e $P_{(t)}$ a chuva sobre o reservatório durante o intervalo de tempo t.

Segundo Tucci (2004), a evaporação e a precipitação são dependentes da área do espelho líquido, calculada em função do volume armazenado no reservatório. Outras perdas são comparativamente pequenas e são usualmente negligenciadas (MCMAHON; MEIN, 1978).

Duas hipóteses são consideradas para aplicação do método da Simulação: **a)** o reservatório estará cheio no início da contagem do tempo e **b)** os dados históricos são representativos para as condições futuras. Assim, o volume do reservatório é definido como o maior déficit obtido quando do balanço de massa para o local onde o reservatório será construído.

É importante destacar que o método da Simulação é usado para dimensionar o armazenamento útil do reservatório e não o seu armazenamento real. Assim, é necessário acrescentar o chamado volume morto do reservatório, associado às exigências dos equipamentos de captação de água e para acomodar sedimentos.

A principal vantagem do método da Simulação, detalhadamente apresentado e discutido por Tucci (2004), é a flexibilidade de poder incorporar demandas temporalmente variáveis. Outra vantagem explicitada por McMahon e Mein (1978) é a simplicidade do procedimento que mostra claramente o comportamento da água armazenada.

Uma limitação do método da Simulação é que a determinação do volume de reservação é baseada em séries históricas e a sequência de vazões analisadas pode não ser representativa. Além disso, séries não contínuas podem ser de difícil manipulação devido a dificuldades de atribuir a condição de reservatório inicial depois de uma falha na série histórica de vazões (MCMAHON; MEIN, 1978).

3.4.2. MÉTODO BASEADO NAS DIFERENÇAS EM RELAÇÃO A SEQUÊNCIAS DE DEFLÚVIOS MÍNIMOS

Supondo-se que o reservatório esteja cheio no inicio do seu funcionamento, no instante mais crítico de operação do reservatório toda a sua capacidade de armazenamento terá sido utilizada. Desta forma, computando-se as diferenças entre os volumes totais a serem supridos e os deflúvios totais em cada período crítico alternativo seriam obtidas as capacidades de armazenamento útil necessárias, sempre se aceitando a suposição que o reservatório esteja cheio quando do início da sua operação (TUCCI, 2004). O maior valor de capacidade útil definirá aquela necessária para suprir a demanda durante toda a sequência de vazões.

Segundo Tucci (2004), este método tem a vantagem de automatizar o cálculo das capacidades sem necessidade de iterações, como no método de Simulação. Nesse método não é considerada a evaporação, mas pode-se considerar um valor mensal constante aproximado de evaporação que será subtraído dos deflúvios.

Outra vantagem do método baseado nas Diferenças em relação a sequências de deflúvios mínimos é que existe a possibilidade de considerar o risco de não atendimento à demanda, ou seja, é possível atrelar probabilidades ao método.

De acordo com Tucci (2004), o método baseia-se nos dados mais severos dentro do período selecionado, mas pode-se também identificar outros períodos sucessivamente mais críticos e, assim, utilizando-se ferramentas estatísticas, calcula-se o risco de não atendimento à demanda local.

4. ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio São Mateus apresenta uma superfície de aproximadamente 13482 km^2, sendo 7710 km^2 no estado do Espírito Santo e 5772 km^2 no estado de Minas Gerais. Suas nascentes, localizadas em Minas Gerais, conformam dois braços: o rio Cotaxé, com 244 km de extensão e o rio Cricaré, com 188 km. A união desses dois rios dentro da cidade de São Mateus é o que justifica o nome da bacia. A bacia abrange 23 municípios, sendo 11 no Espírito Santo e 12 em Minas Gerais (FIGUEIREDO *et al*., 2008).

A principal causa da degradação dessa bacia é o desmatamento indiscriminado. Além disso, verifica-se a construção de estradas mal projetadas e não conservadas e a ausência quase absoluta de práticas conservacionistas na implantação e manutenção das áreas de cultivo (FIGUEIREDO *et al*., 2008), aspectos que recorrentemente comprometem a adequada disponibilidade de água em diferentes pontos da bacia.

A região da bacia hidrográfica do Rio São Mateus tem, basicamente, dois tipos climáticos: o tropical úmido (chuvoso), nas proximidades do litoral, e o tropical sub-úmido, com estação seca no inverno, nas cabeceiras. O índice pluviométrico anual médio, por sua vez, varia de 1300 mm, na faixa litorânea, a 800 m, perto das nascentes (ANA, 2014).

A Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus está representada graficamente na Figura 1.

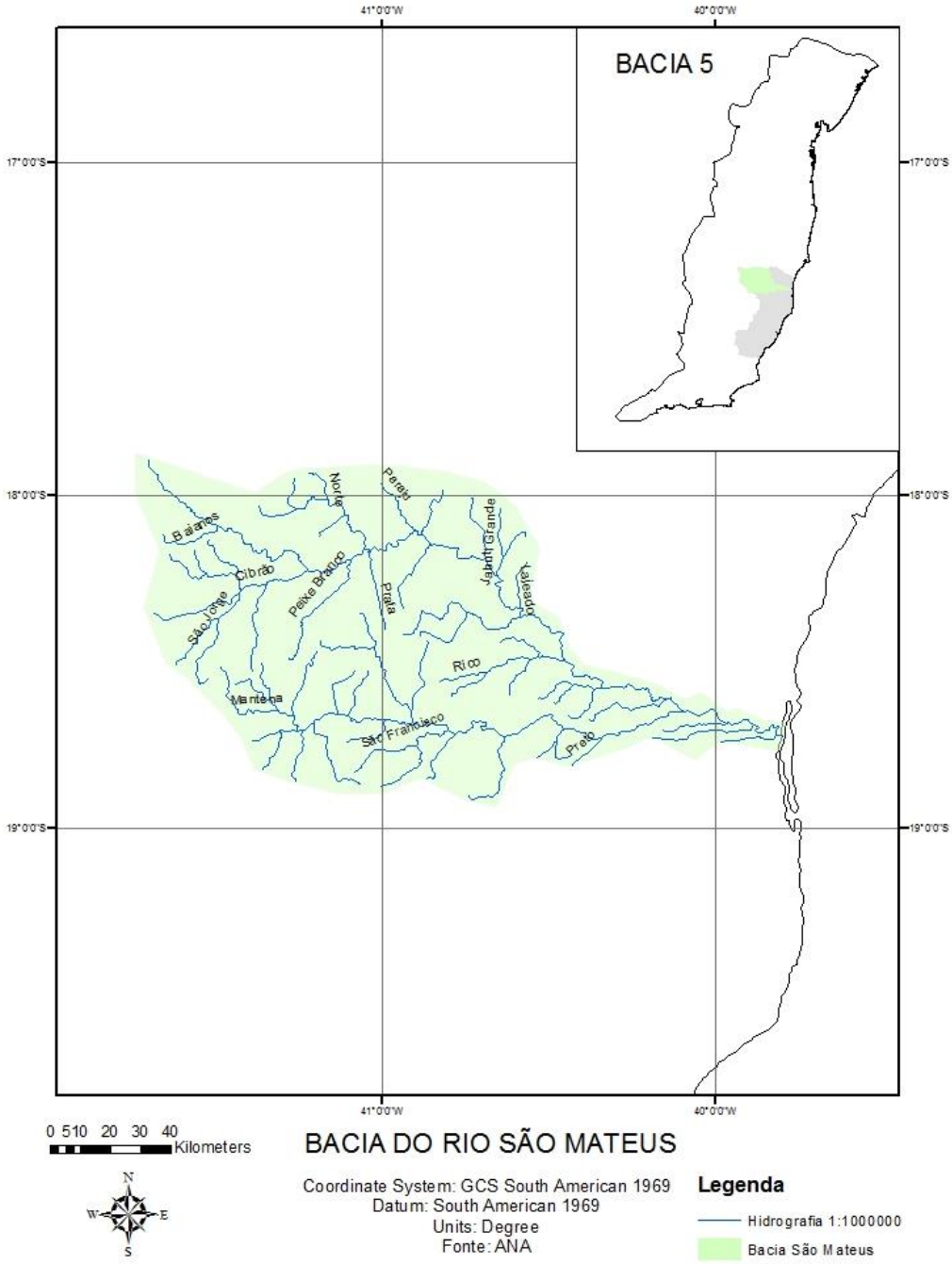

Figura 1 - Bacia hidrográfica do Rio São Mateus

5. METODOLOGIA

O trabalho proposto avaliou a aplicação de dois diferentes métodos empíricos de dimensionamento de reservatórios: o método da simulação e o método baseado nas diferenças em relação a sequência de deflúvios mínimos.

A descrição dos dados hidrológicos e fisiográficos, a apresentação dos cenários de simulação avaliados e os softwares empregados quando da aplicação dos referidos métodos de dimensionamento dos reservatórios conformam o escopo das seções subsequentes.

5.1. Dados hidrológicos

Os dados pluviométricos e fluviométricos empregados no presente estudo foram obtidos a partir do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados evaporimétricos foram apropriados a partir do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para a condução do estudo, foram escolhidas cinco estações fluviométricas em operação na bacia hidrográfica do rio São Mateus. A extensão da série histórica e a disponibilidade de dados consistidos de vazão constituiram os critérios empregados para a seleção das estações fluviométricas. Somente foram consideradas estações que apresentaram séries históricas de dados consistidos com extensão mínima de dez anos.

A Tabela 1 reúne nome, código de identificação na ANA, coordenadas geográficas, altitude, curso d`água e estado da Federação das estações fluviométricas selecionadas. A Figura 2 ilustra a localização geográfica da região de estudo, rede de drenagem, e a localização das estações fluviométricas selecionadas.

Tabela 1- Características das estações fluviométricas selecionadas

CÓDIGO	NOME	RIO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTURA	ESTADO
55779000	Fidelândia – Montante	Rio São Mateus/Braço Norte	-18:11:37	-41:14:55	250 m	MG
55790000	Ataléia	Rio Santa Cruz	-18:2:43	-41:6:44	250 m	MG
55850000	São João da Cachoeira Grande	Rio São Mateus/Braço Norte	-18:33:50	-40:20:10	38 m	ES
55895000	Barra do Rio Preto	Rio São Mateus/Braço Sul	-18:41:37	-40:52:55	162 m	ES
55900000	Barra de São Francisco	Rio São Francisco	-18:45:11	-40:53:33	192 m	ES

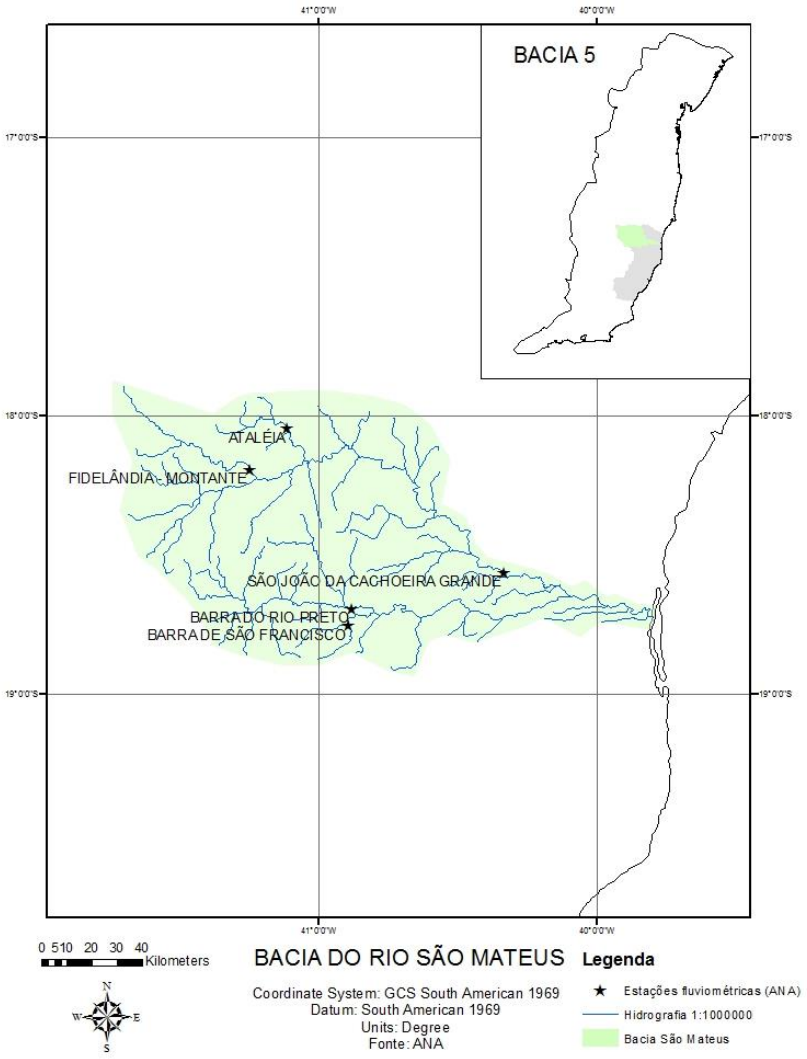

Figura 2- Localização das estações fluviométricas selecionadas

A aplicação do método da Simulação envolveu a utilização de dados de precipitação e evaporação. Neste trabalho, para se incluir a influência da chuva sobre o volume final dos reservatórios, foram escolhidas quatro estações pluviométricas em operação na bacia do rio São Mateus. A seleção das estações pluviométricas foi feita considerando-se a proximidade geográfica das estações fluviométricas relacionadas na Tabela 1 e a presença de totais mensais precipitados para um período de, no mínimo, dez anos consecutivos.

A Tabela 2 apresenta as estações pluviométricas selecionadas indicando, adicionalmente, código, município e estado de instalação da estação, coordenadas geográficas e altitude. A Figura 3 ilustra a localização geográfica da região de estudo, rede de drenagem, assim como a localização das estações pluviométricas selecionadas. É relevante registrar que os dados pluviométricos da estação Barra de São Francisco foram utilizados para o dimensionamento do volume final dos reservatórios associados às estações fluviométricas de Barra de São Francisco e Barra do Rio Preto.

Tabela 2 -Características das estações pluviométricas selecionadas

CÓDIGO	NOME	LATITUDE	LONGITUDE	ALTURA	ESTADO
01840004	Barra de São Francisco	-18:45:13	-40:53:37	192 m	ES
01840020	São João da Cachoeira Grande	-18:33:53	-40:20:12	100 m	ES
01841007	Fidelândia – Montante	-18:12:11	-41:14:54	210 m	MG
01841008	Ataléia	-18:2:49	-41:6:52	-	MG

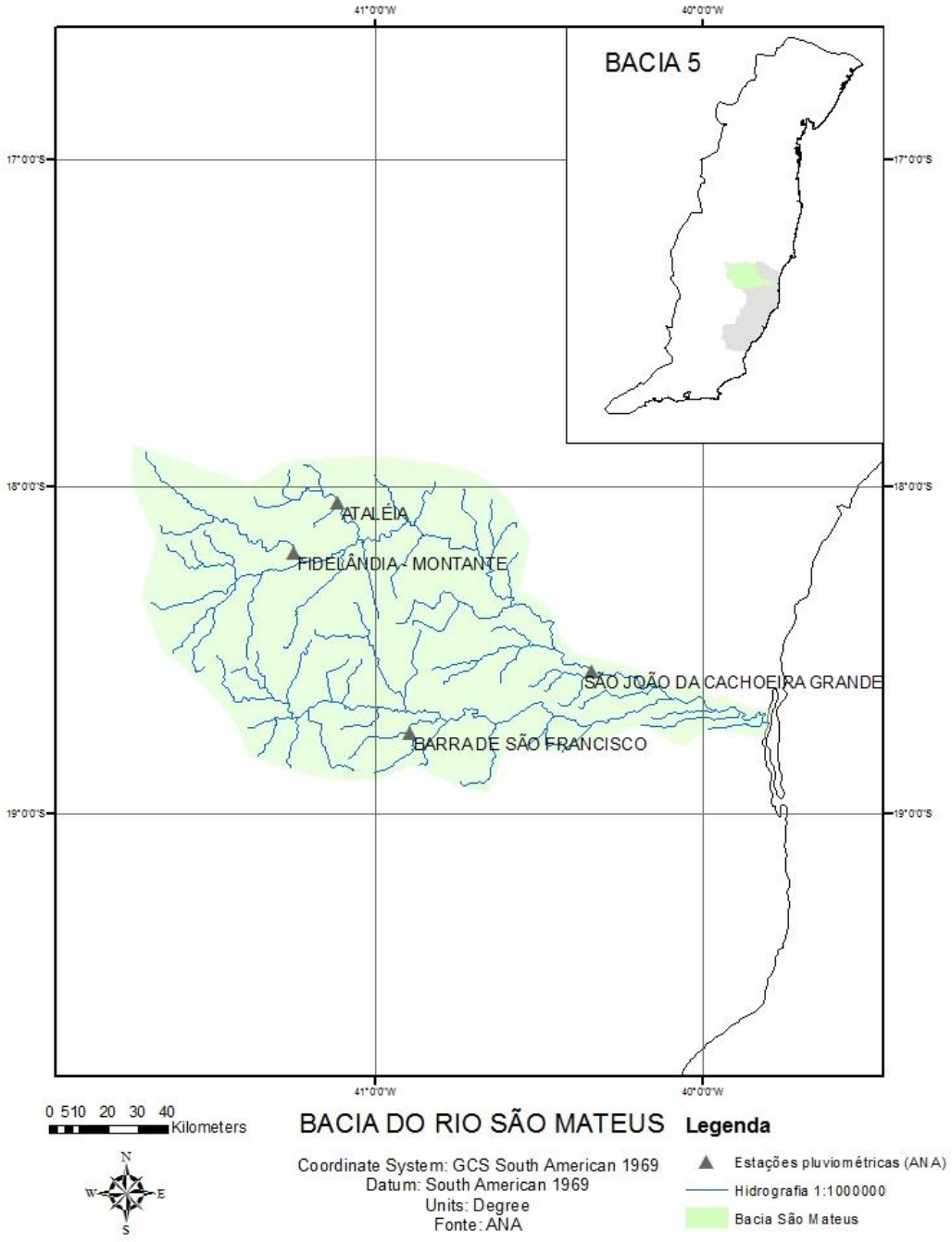

Figura 3 - Localização geográfica das estações pluviométricas selecionadas

Os dados evaporimétricos foram obtidos da estação meteorológica de São Mateus, em operação nas proximidades da foz do rio São Mateus. A referida estação está instalada na latitude -18,7º e longitude -39,85º e numa altitude de

aproximadamente 25 metros. A Figura 4 ilustra a localização da estação meteorológica selecionada.

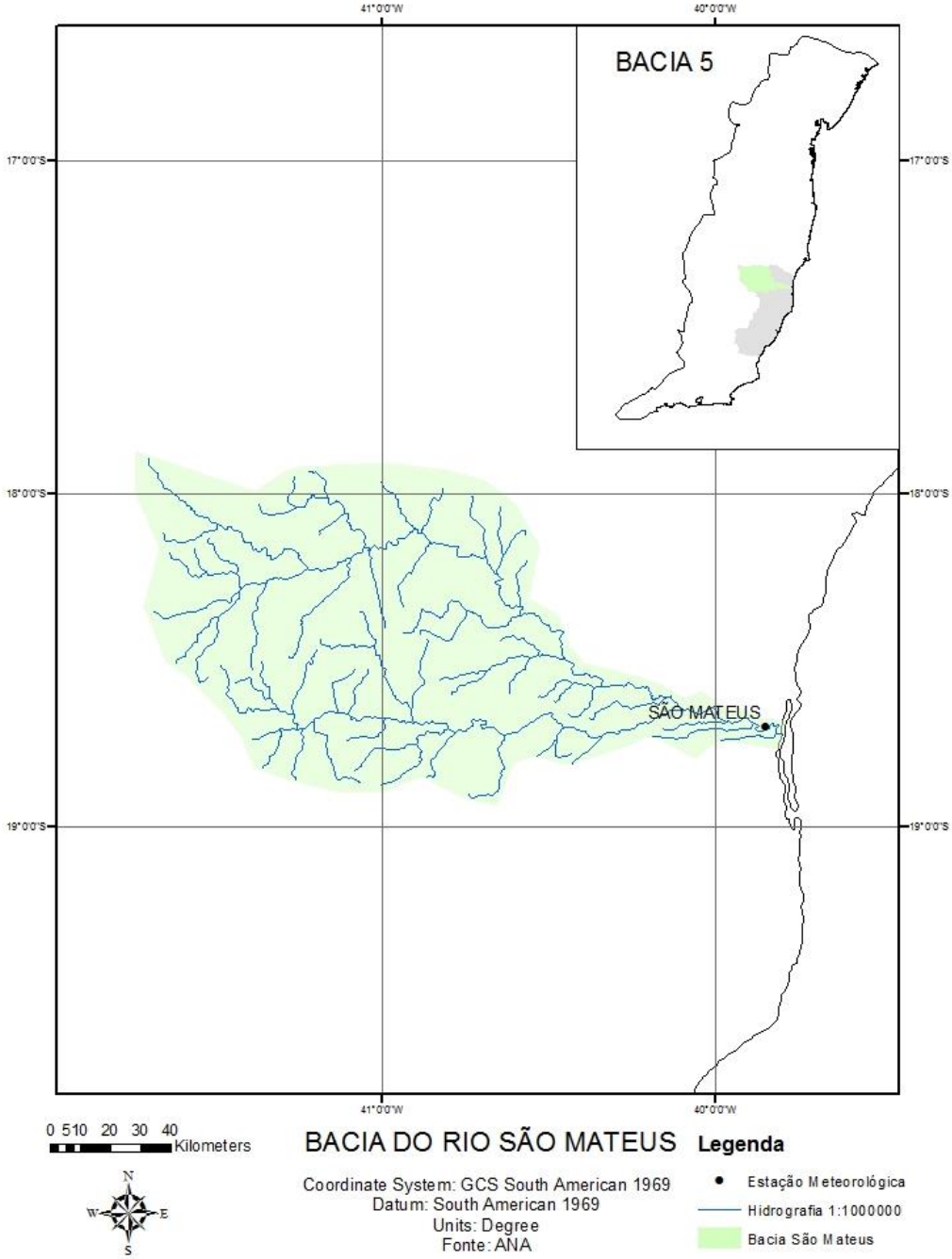

Figura 4 - Localização geográfica da estação meteorológica selecionadas

Após a escolha das estações fluviométricas, pluviométricas e meteorológica, foi necessária a seleção de um intervalo de tempo comum entre todos os registros disponíveis. Para cada estação fluviométrica escolhida determinou-se o maior

período de operação em comum com as estações pluviométricas e meteorológica selecionadas. Os períodos considerados para a aplicação dos métodos de dimensionamento de reservatórios, por par de estações fluviométricas e pluviométricas, estão indicados na Tabela 3. Como a estação meteorológica de São Mateus começou a operar no ano de 1969, seus registros apresentaram-se suficientes para a combinação com quaisquer dos pares de estações fluviométricas e pluviométricas estabelecidos.

Tabela 3 – Estações hidrológicas e período comum de dados históricos

ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA	ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	INTERVALO
Fidelândia – Montante	Fidelândia – Montante	[1996-2005]
Ataléia	Ataléia	[1971-2005]
São João da Cachoeira Grande	São João da Cachoeira Grande	[1995-2005]
Barra do Rio Preto	Barra de São Francisco	[1971-2005]
Barra de São Francisco	Barra de São Francisco	[1988-2005]

Os métodos de dimensionamento empregados neste trabalho demandam vazões médias mensais, totais mensais precipitados e totais mensais evaporados. Naquelas situações em que as séries históricas selecionadas apresentaram falhas, procedeu-se da seguinte forma:

- Para os meses em que não se dispunha da vazão média empregou-se a vazão média mensal de longo período associada àquele mês;
- Para os meses em que não se dispunha do total mensal precipitado empregou-se o total mensal precipitado médio de longo período;
- No caso da estação meteorológica, os meses com falhas foram complementados utilizando-se normais climatológicas da estação São Mateus.

5.2. *Software SisCAH*

Para a manipulação dos dados hidrológicos foi empregado o Sistema Computacional para Análise Hidrológica (SisCAH), programa de domínio

público desenvolvido e disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa.

O *software* SisCAH foi utilizado para a condução das seguintes tarefas:

- Pré-processamentos das séries históricas de vazão, com subsequente seleção dos períodos empregados para o dimensionamento dos reservatórios (períodos indicados na Tabela 3);
- Determinação, por estação fluviométrica, das vazões médias de longo período. Segundo Tucci (2004), a vazão média de longo período ou vazão média de longa duração pode ser definida como a média das vazões da série de dados disponíveis e corresponde à máxima vazão possível a ser regularizada em qualquer curso d'água, abstraindo-se as perdas.
- Construção, por estação fluviométrica, da curva de permanência de vazões. Conforme observa Vergara *et al*. (2013), a curva de permanência indica a porcentagem de tempo que um determinado valor de vazão é igualado ou ultrapassado durante o tempo de observação. Dessa maneira, a curva de permanência permite visualizar a potencialidade natural de um corpo d'água, uma vez que destaca a vazão mínima e o grau de permanência de qualquer valor da vazão
- Apropriação, a partir de cada curva de permanência estabelecida, da vazão com permanência mínima de 90% (Q_{90}).

5.3. Dados fisiográficos

A partir do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA, foi obtido o arquivo no formato *shapefile* da Bacia Atlântico Trecho Leste (Bacia 5). Este *shapefile* foi utilizado para a determinação da localização geográfica das estações hidrológicas e da rede de drenagem da bacia do Rio São Mateus. Os modelos obtidos na ANA estão em Sistemas de Coordenadas Geográficas América do Sul 1969 e Datum América do Sul 1969.

Adicionalmente, foram empregados *shapes* SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para a determinação da relação entre o volume reservado e a área do espelho d'água de cada reservatório dimensionado. Estes *shapes* foram obtidos a partir do monitoramento por satélite da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Segundo Penha e Silva (2012), o sensor SRTM consiste de um sistema de radar lançado a bordo da *Space Shuttle Endeavour* durante 11 dias de missão em fevereiro de 2000. Tal sistema teve missão de mapear a topografia global, com dados de 90 m de resolução espacial e 16 bits. Vale ressaltar que os modelos digitais de terreno, que foram disponíveis gratuitamente, são uma aproximação da realidade, e estão propensos a vários erros e incertezas.

As cartas de Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizadas para o desenvolvimento do estudo foram as seguintes: SE-24-V-C; SE-24-V-D; SE-24-Y-A; SE-2-Y-B; SE-24-Y-C e SE-24-Y-B. Os modelos estão em Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum WGS84. A Figura 5 indica a composição das cartas empregadas para a conformação da área de estudo.

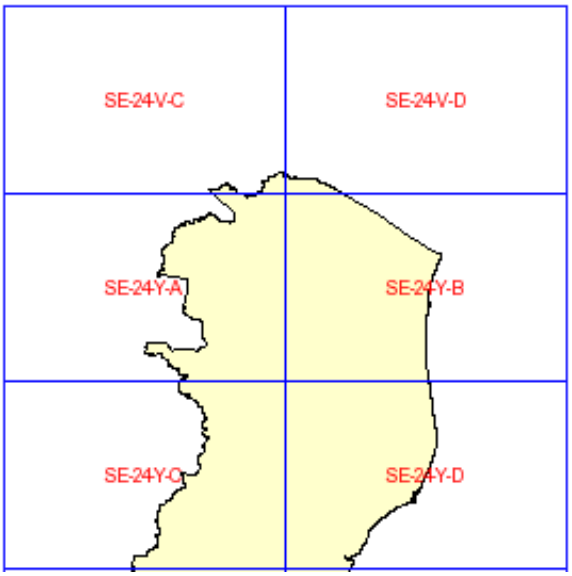

Figura 5 - Cartas MDE utilizadas no estudo

Todos os procedimentos que envolveram o tratamento e manipulação de *shapefiles* foram realizados com o auxílio do software *ArcGIS* 10.1, desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI).

5.4. Métodos empregados para apropriação dos volumes de reservação

Para a apropriação dos volumes de reservação, foram empregados os métodos da Simulação e das Diferenças em relação a sequências de deflúvios mínimos, previamente apresentados na seção 3.3. A aplicação do método da Simulação com incorporação de afluxos referentes a precipitação e defluxos associados à evaporação ficou limitada à seção fluvial estabelecida pela estação de São João da Cachoeira Grande.

Para a incorporação da precipitação e da evaporação no Método da Simulação foi preciso estabelecer uma função matemática entre área do espelho d'água e o volume armazenado no reservatório. Como esta função matemática é dependente da topografia do local, assumiu-se a construção de uma barragem nas proximidades da estação fluviométrica de São João da Cachoeira Grande. Nesse contexto, o *software ArcGIS* 10.1 permitiu calcular, a partir da análise das curvas de nível no entorno da referida estação fluviométrica, diferentes volumes de reservação e áreas do espelho d'água correspondente e, consequentemente, estabelecer a função área versus volume de reservação.

Nessa etapa do trabalho, as cartas no modelo SRTM foram manipuladas pelo programa *ArcGIS* 10.1 e foram unidas em uma única imagem utilizando-se a ferramenta *Mosaic to New Raster*. As imagens obtidas da EMBRAPA estão em coordenadas geográficas sobre o Datum planimétrico WGS1984 e zona 24S. No entanto, como citado por Ferreira *et al.* (2012), para estudos sobre bacias hidrográficas recomenda-se o uso de uma projeção cartográfica equivalente, ou seja, aquela que mantém as distorções das áreas proporcionais. Dessa forma, aplicou-se a projeção UTM sobre o mosaico utilizando-se a ferramenta *Project Raster* a fim de alterar o seu sistema de coordenadas. Adicionalmente, utilizou-se a ferramenta *Fill*, com o objetivo de se eliminar pequenas imperfeições, como depressões e picos, no modelo digital. Em seguida, com o *raster* já ajustado, utilizou-se a ferramenta *Contour* (Spatial Analyst) para a criação de curvas de nível com intervalo de cinco metros de espaçamento.

A partir da cota de instalação da estação fluviométrica, assumiu-se um aumento da soleira da barragem de cinco em cinco metros, com o objetivo de se apropriar a área de espelho d'água e seu respectivo volume. Nesta etapa de

manipulação do MDE foi necessária a criação de polígonos. Cada polígono correlacionou uma altura distinta da barragem com uma área superficial de alagamento. Para o cálculo do volume de cada polígono gerado foi necessária a interpolação das curvas de nível, criando uma estrutura de grade triangular (TIN) que representa uma superfície por meio de conjuntos de faces triangulares. A partir disso, utilizou-se a ferramenta *Polygon Volume* para se determinar a área e o volume correspondente. Adicionalmente, a área de cada polígono também foi calculada pela ferramenta *Calculate Geometry*, a fim de se verificar a semelhança dos resultados originalmente obtidos.

5.5. Cenários de simulação de demandas

A vazão média de longo período indica a disponibilidade hídrica na bacia e representa a máxima vazão passível de ser regularizada na construção de um reservatório. Assim, foram consideradas as seguintes perspectivas de regularização quando do dimensionamento dos reservatórios:

- Garantia de atendimento de 50% (cinquenta por cento) da vazão média de longo período, com manutenção de uma vazão à jusante dos reservatórios de 50% (cinquenta por cento) da vazão $Q_{90.}$
- Garantia de atendimento de 75% (setenta e cinco por cento) da vazão média de longo período, com manutenção de uma vazão à jusante dos reservatórios de 50% (cinquenta por cento) da vazão $Q_{90.}$

Para a operacionalização das estimativas de volumes de reservação foi utilizada a planilha eletrônica do Microsoft Excel. É relevante registrar que os volumes de reservação estabelecidos com auxílio do método da Simulação foram obtidos com auxílio da Programação Não Linear, técnica de otimização disponível na planilha eletrônica Microsoft Excel a partir da ferramenta *Solver*. O volume inicial de reservação foi definido como variavél de decisão e a função objetivo foi definida de forma a minimizar o volume de reservação através do conceito de período crítico. Sendo assim, determinou-se que em algum momento o reservatório atingiria o volume mínimo igual a zero, de tal forma que o volume inicial fosse ajustado a fim de atingir essa otimização. Como no

método da Simulação o reservatório deve estar cheio no início, o volume inicial será o volume de reservação.

Para a operacionalização do método baseado nas Diferenças em relação a sequências de deflúvios mínimos, considerou-se uma série histórica de vazão mensal com extensão n de meses. Inicialmente, calculou-se a diferença entre a demanda e a vazão afluente, a cada mês, e identificou-se qual a maior diferença encontrada dentro da série histórica avaliada. Em seguida, utilizou-se a soma de dois meses consecutivos para determinar a maior diferença entre a demanda e a vazão de entrada e, assim, sucessivamente. Esse procedimento foi feito até que a soma dos meses fosse igual a extensão da série histórica. O volume do reservatório foi o maior valor encontrado para a diferença em relação aos deflúvios.

5.6. Avaliação da influência do tamanho das séries históricas

O presente trabalho buscou avaliar, adicionalmente, a influência da extensão das séries históricas no volume total dos reservatórios de regularização dimensionados. Para essa etapa do trabalho foi escolhida a estação fluviométrica de Barra do Rio Preto e empregado o Método da Simulação, excluindo-se a influência dos processos de evaporação e precipitação.

Para a condução da análise proposta, foram construídas séries históricas de diferentes tamanhos, iniciando-se com os cinco anos mais recentes da série histórica; em seguida, foram considerados os dez anos mais recentes e assim sucessivamente, até se utilizar toda a série histórica da estação de Barra do Rio Preto (série histórica com extensão de 35 anos). Essa avaliação gerou sete séries históricas diferentes. Para cada série histórica, utilizou-se o *software SisCAH* para se recalcular a curva de permanência e a vazão média de longo período. Por fim, calculou-se o volume necessário de reservação que seria associado a cada extensão de série histórica

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Vazões médias de longo período e curvas de permanência

Utilizando-se o *software SisCAH* foram apropriados os valores das vazões médias de longo período das diferentes estações fluviométricas selecionadas, conforme valores reunidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Vazões médias de longo período para as estações fluviométricas selecionadas

CÓDIGO	NOME	VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO
55779000	Fidelândia – Montante	3,5 m^3/s
55790000	Ataléia	5,5 m^3/s
55850000	São João da Cachoeira Grande	39,6 m^3/s
55895000	Barra do Rio Preto	20,3 m^3/s
55900000	Barra de São Francisco	1,8 m^3/s

As curvas de permanência de cada estação fluviométrica, também estabelecidas com auxílio do *software SisCAH,* estão reunidas nas figuras de 6 a 10. A partir das curvas de permanência foram apropriadas as vazões Q_{90} de cada estação pluviométrica. Os valores de Q_{90} encontrados estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores da vazão Q_{90} para as estações fluviométricas selecionadas

CÓDIGO	NOME	VAZÃO Q_{90}
55779000	Fidelândia – Montante	0,3 m^3/s
55790000	Ataléia	0,8 m^3/s
55850000	São João da Cachoeira Grande	4,4 m^3/s
55895000	Barra do Rio Preto	4,2 m^3/s
55900000	Barra de São Francisco	0,4 m^3/s

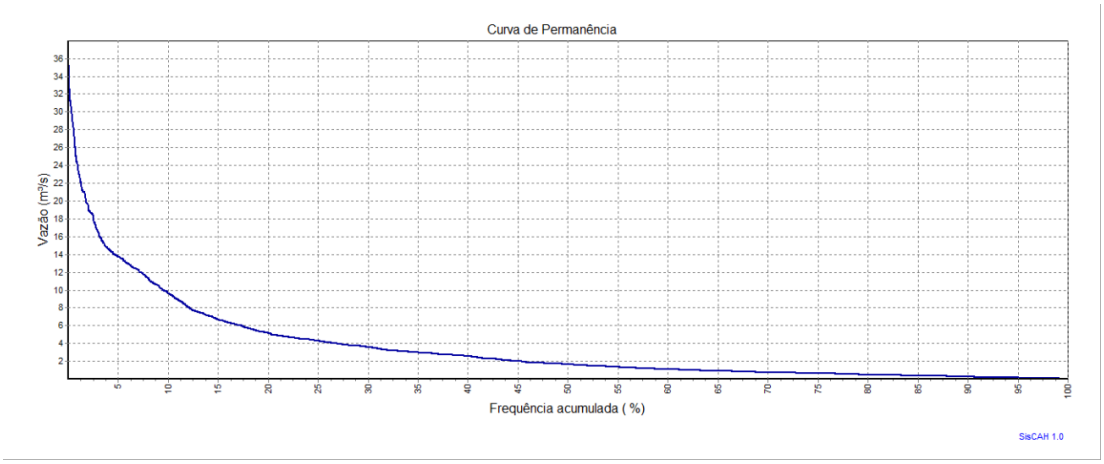

Figura 6 - Curva de permanência da estação fluviométrica Fidelândia – Montante

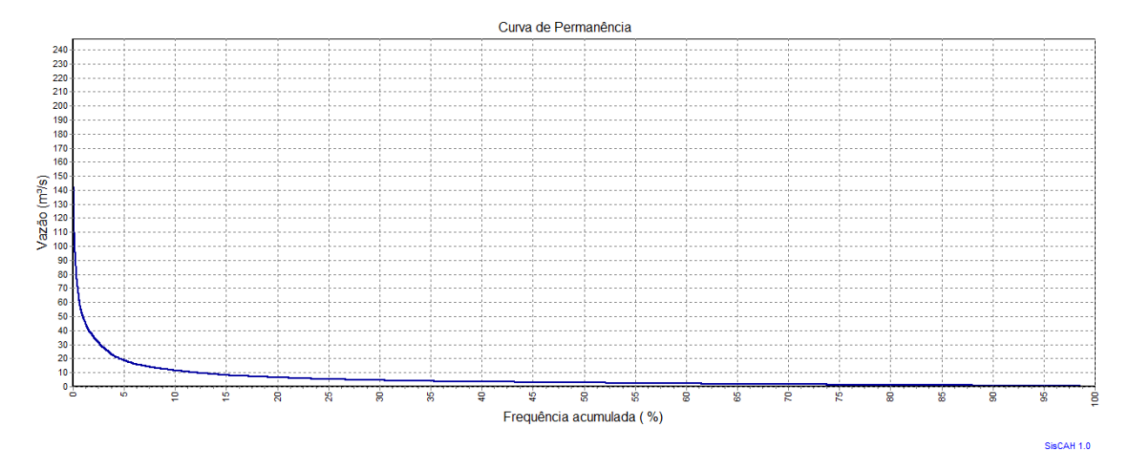

Figura 7 - Curva de permanência da estação fluviométrica Ataléia

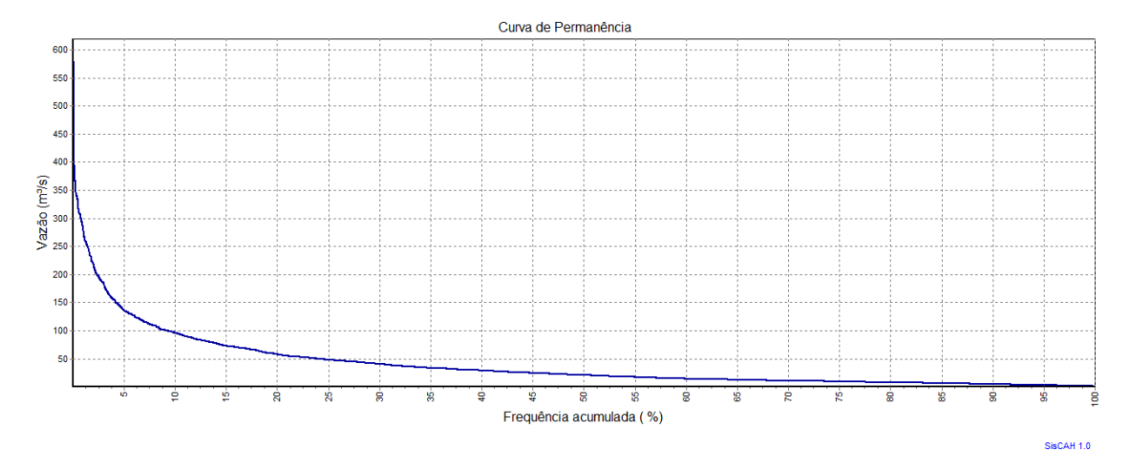

Figura 8 - Curva de permanência da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

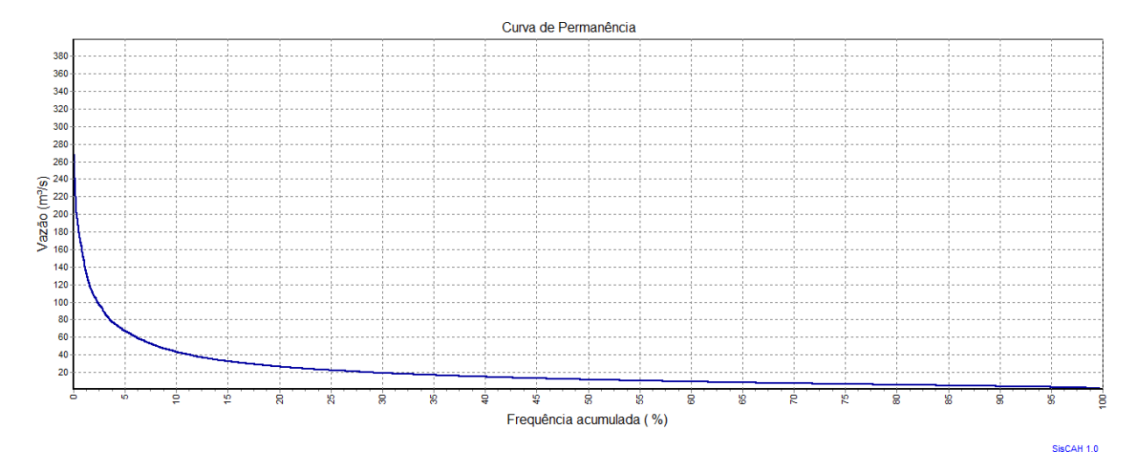

Figura 9 - Curva de permanência da estação fluviométrica Barra do Rio Preto

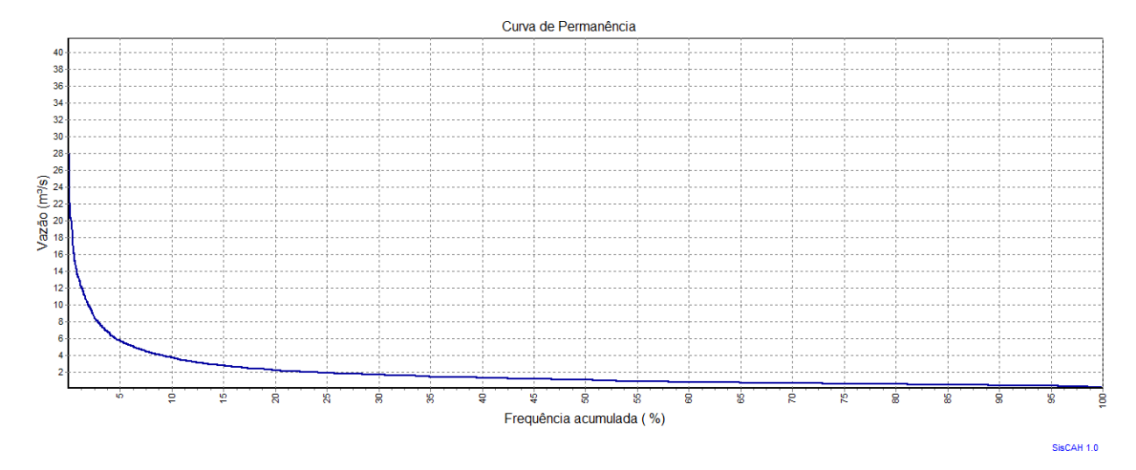

Figura 10 - Curva de permanência da estação fluviométrica Barra de São Francisco

6.2. Volumes de reservação

6.2.1. Volumes estimados pelos métodos da sequências de deflúvios mínimos e da simulação sem incorporação de precipitação e evaporação

Os volumes estimados a partir dos métodos da sequência de deflúvios mínimos e da simulação sem incorporação de totais mensais precipitados e evaporados estão reunidos, por estação fluviométrica, nas tabelas de 6 a 10. Estas tabelas apresentam os volumes reservados para garantia de atendimento de vazões

equivalentes a 50% e 75% da vazão média de longo período, assegurada a manutenção de 50% da vazão Q_{90} a jusante de cada ponto de reservação.

Tabela 6 - Volumes de reservação (em Hm^3) estimados para a estação fluviométrica Fidelândia – Montante

MÉTODO	VAZÃO REGULARIZADA	
	50% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO	75% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO
Simulação	22,13	111,09
Deflúvios mínimos	52,58	113,95

Tabela 7 - Volumes de reservação (em Hm^3) estimados para a estação fluviométrica Ataléia

MÉTODO	VAZÃO REGULARIZADA	
	50% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO	75% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO
Simulação	23,89	59,13
Deflúvios mínimos	74,52	276,46

Tabela 8 - Volumes de reservação (em Hm^3) estimados para a estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

MÉTODO	VAZÃO REGULARIZADA	
	50% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO	75% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO
Simulação	120,72	1364,66
Deflúvios mínimos	418,42	1364,66

Tabela 9 - Volumes de reservação (em Hm^3) estimados para a estação fluviométrica Barra do Rio Preto

MÉTODO	VAZÃO REGULARIZADA	
	50% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO	75% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO
Simulação	123,29	799,74
Deflúvios mínimos	255,87	833,70

Tabela 10 - Volumes de reservação (em Hm^3) estimados para a estação fluviométrica Barra de São Francisco

MÉTODO	VAZÃO REGULARIZADA	
	50% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO	75% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO
Simulação	4,70	35,21
Deflúvios mínimos	21,68	84,96

A partir da simples inspeção das tabelas de 6 a 10 apresentam-se como relevantes as seguintes considerações:

- Em todas as seções fluviométricas analisadas seriam necessários reservatórios de regularização, mesmo para atendimento das menores demandas de água (captações de 50% da vazão média de longo período, acrescida de vazão residual de 50% da vazão $Q_{90.}$);
- Os volumes de reservação estimados pelos métodos da simulação e da sequência de deflúvios mínimos apresentaram-se substancialmente diferentes, independentemente da seção fluviométrica ou da vazão de regularização consideradas. Os maiores valores de reservação foram estimados pelo método da sequência dos deflúvios mínimos. A única exceção foi observada no volume de reservação associado a estação de São João da Cachoeira Grande e para atendimento de 75% da vazão média de longo período;
- Ainda que tenha conduzido os menores volumes de reservação, o método da simulação apresentou-se mais sensível à variação na vazão de regularização. Aumento da vazão de regularização de 50% para 75% da vazão média de longo período produziu volumes de reservação de 5 (volume associado a estação de Fidelândia – Montante) a 11 vezes maiores (estação de São João da Cachoeira Grande). No método da sequência de deflúvios mínimos, a maior variação no volume de reservação, para a mesma variação na vazão de regularização, foi de 4 vezes (volume associado a estação de Barra de São Francisco). A única exceção a esta regra foi observada nos volumes de reservação associados à estação de Ataléia.

Tucci (1997) observa que o método da sequência de deflúvios mínimos tem a vantagem de automatizar o cálculo das capacidades sem necessidade de iterações, como no método da Simulação. No entanto, é concebido a partir da suposição de que o reservatório de regularização esteja cheio no início do período crítico, aspecto que, dependendo da conformação da série histórica, pode majorar os volumes reservados.

6.2.2. Volumes estimados pelo método da Simulação com incorporação de precipitação e evaporação

Conforme indicado na seção 5.4, a avaliação de volumes de reservação com incorporação dos efeitos associados a evaporação e precipitação ficou limitada à estação fluviométrica de São João da Cachoeira Grande.

As figuras de 11 a 20 apresentam as possíveis áreas de inundação associadas a uma barragem eventualmente construída no entorno da estação fluviométrica de São João da Cachoeira Grande, considerando variações do nível d'água entre as cotas 40 e 85 metros.

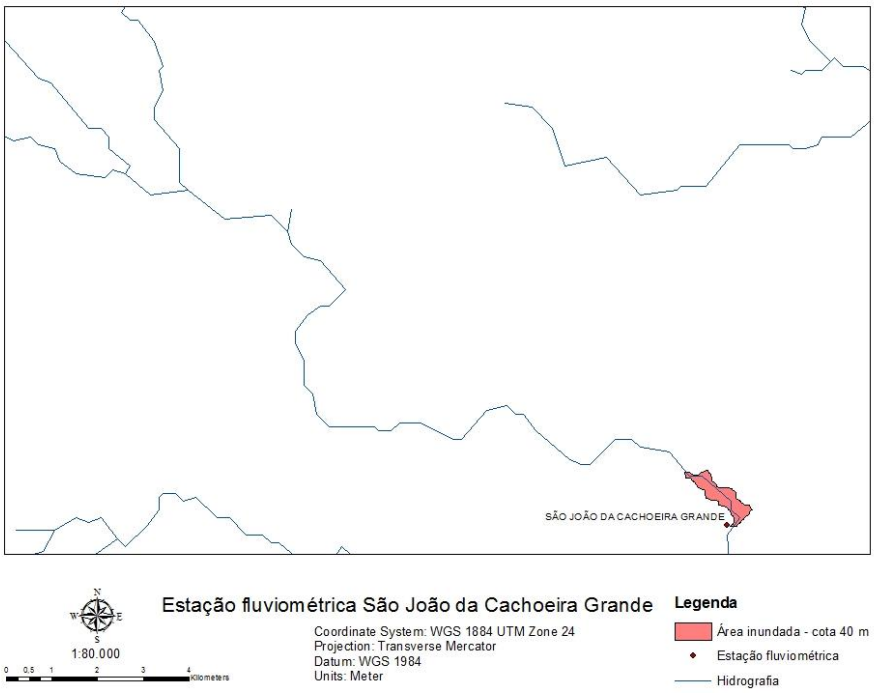

Figura 11 - Área inundada (cota 40 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

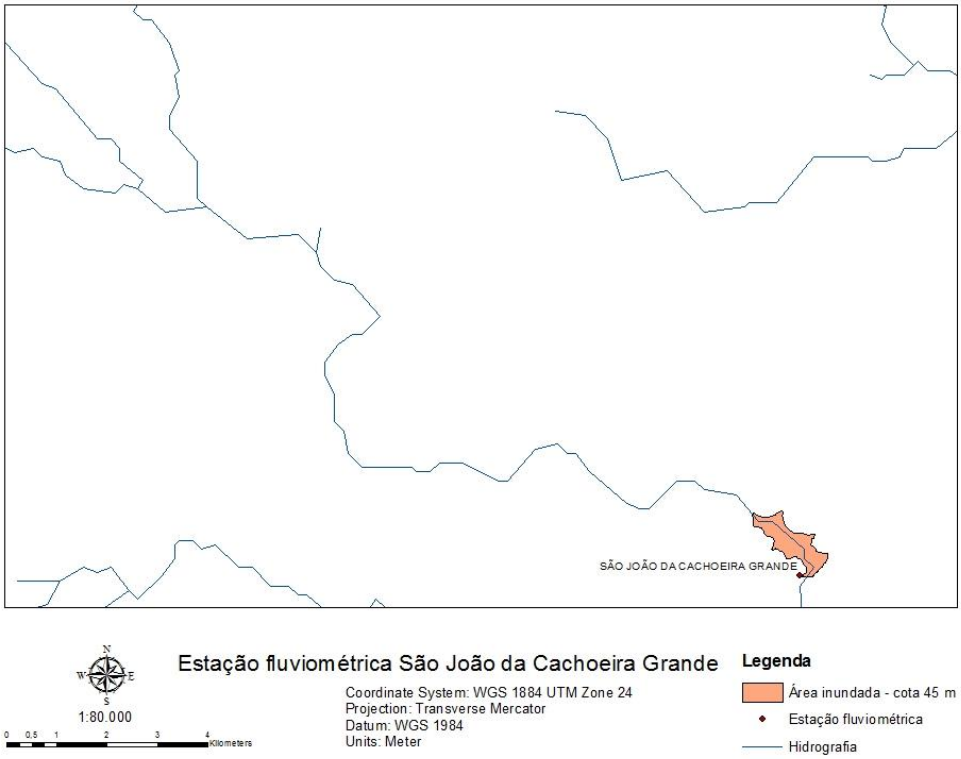

Figura 12 - Área inundada (cota 45 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

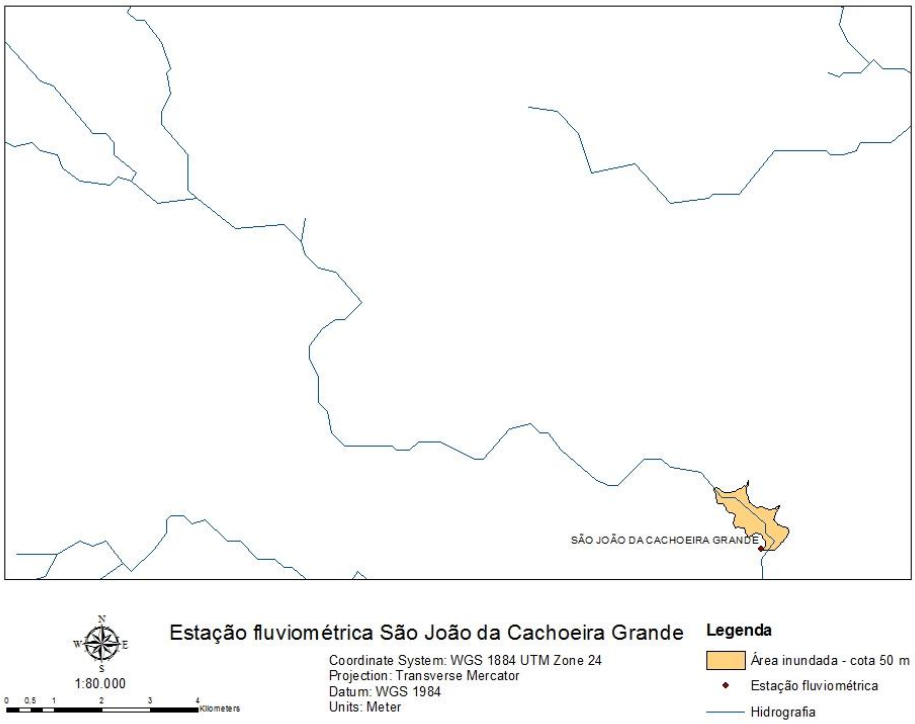

Figura 13 - Área inundada (cota 50 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

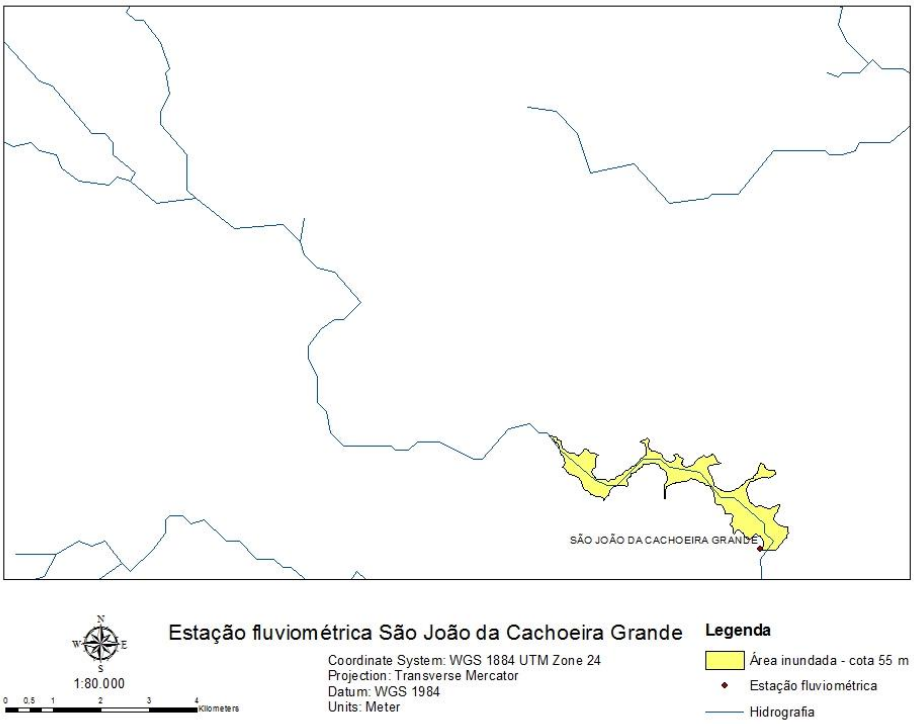

Figura 14 - Área inundada (cota 55 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

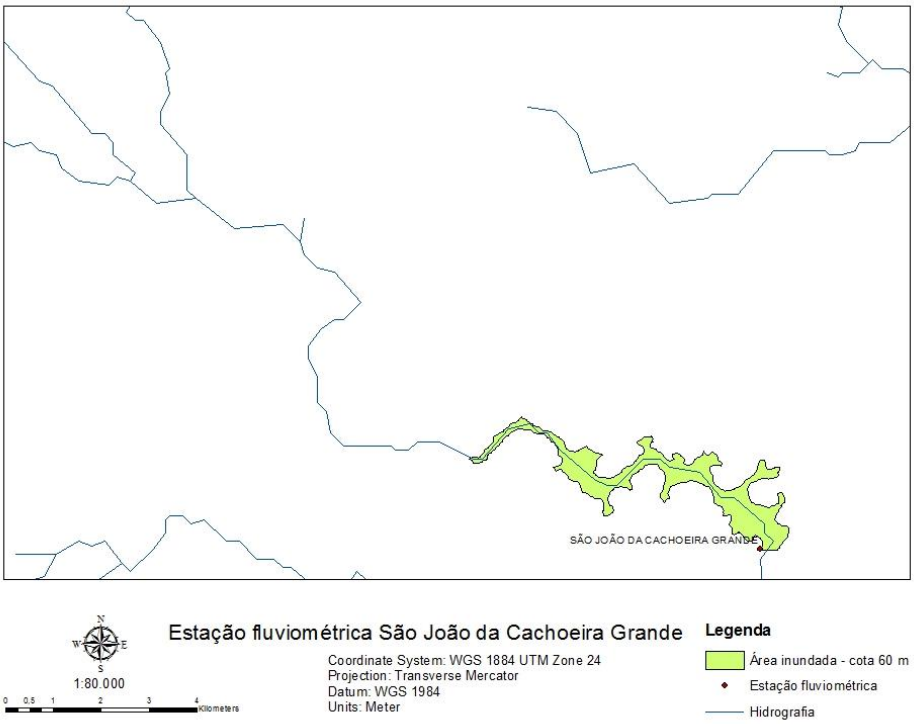

Figura 15 - Área inundada (cota 60 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

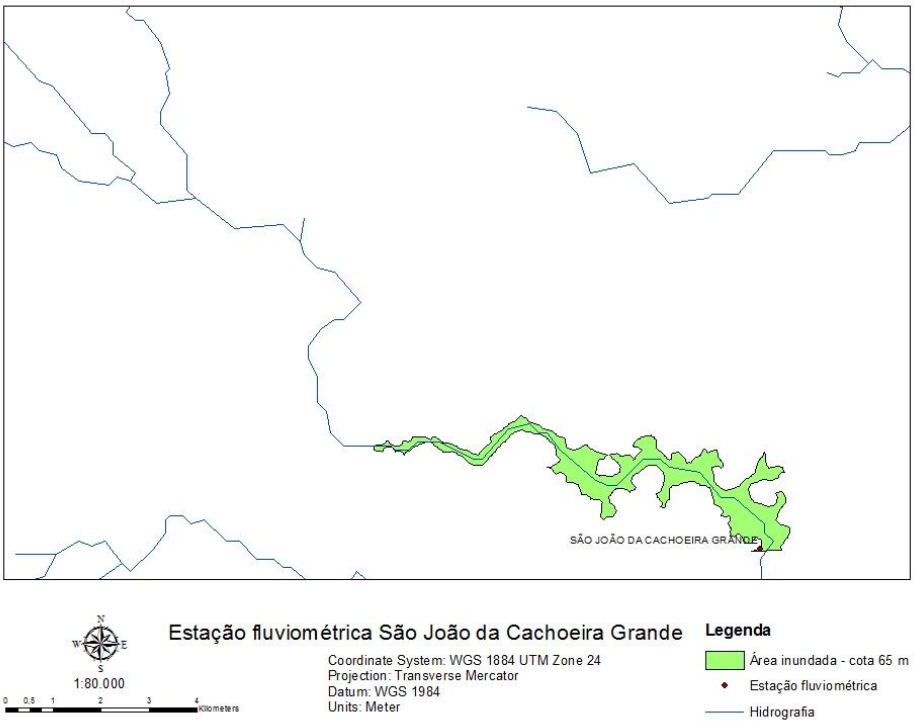

Figura 16 - Área inundada (cota 65 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

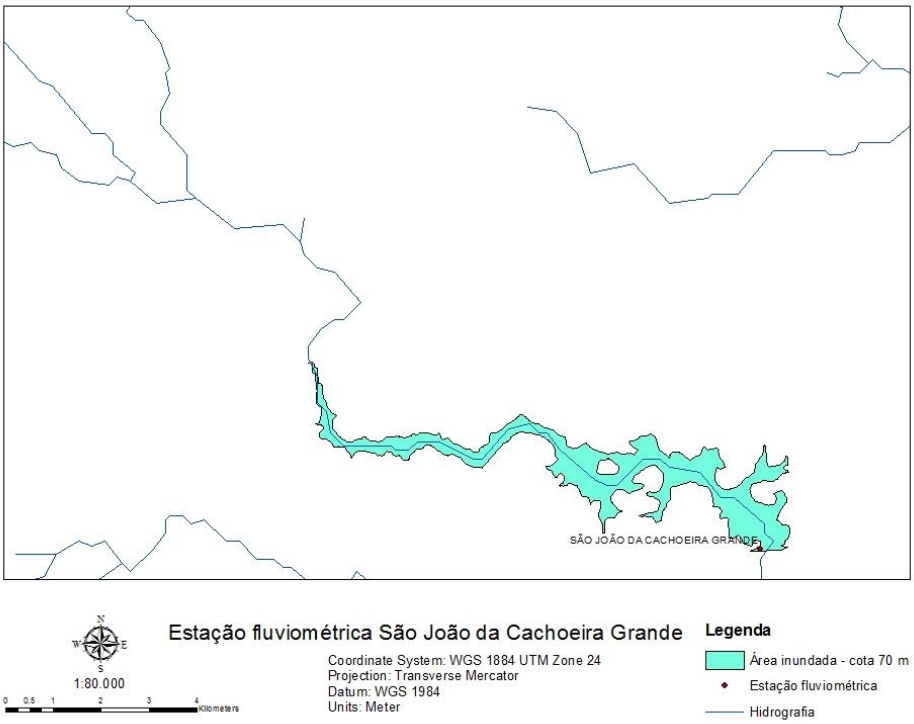

Figura 17 - Área inundada (cota 70 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

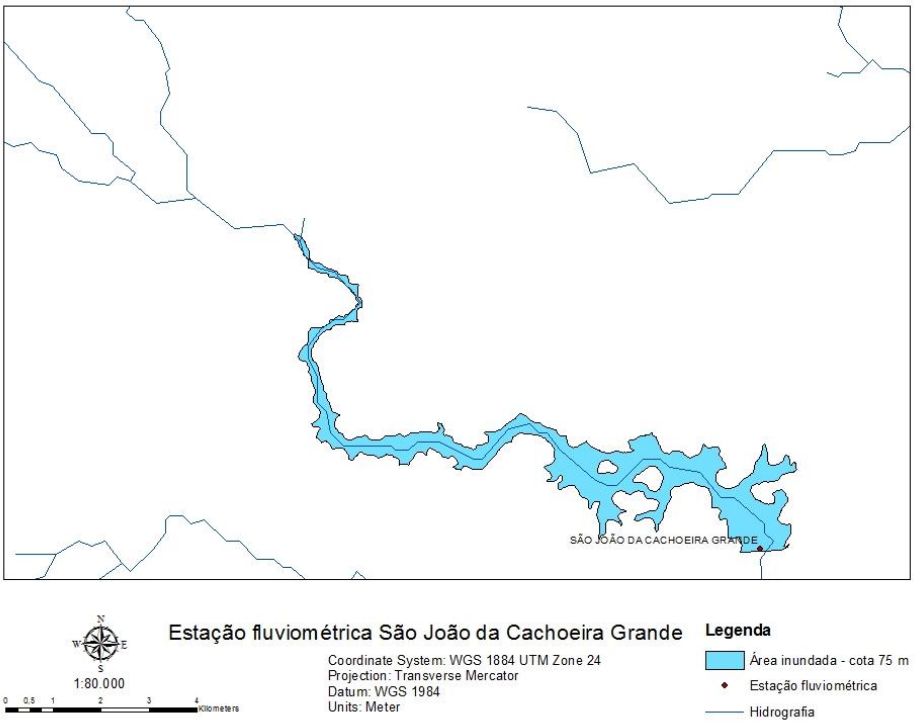

Figura 18 - Área inundada (cota 75 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

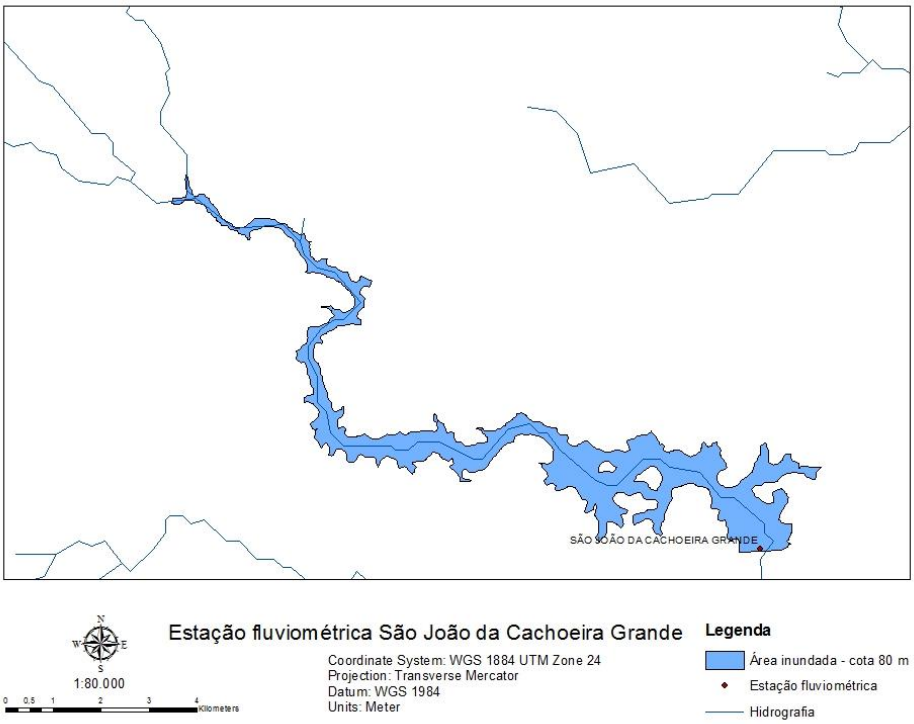

Figura 19 - Área inundada (cota 80 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

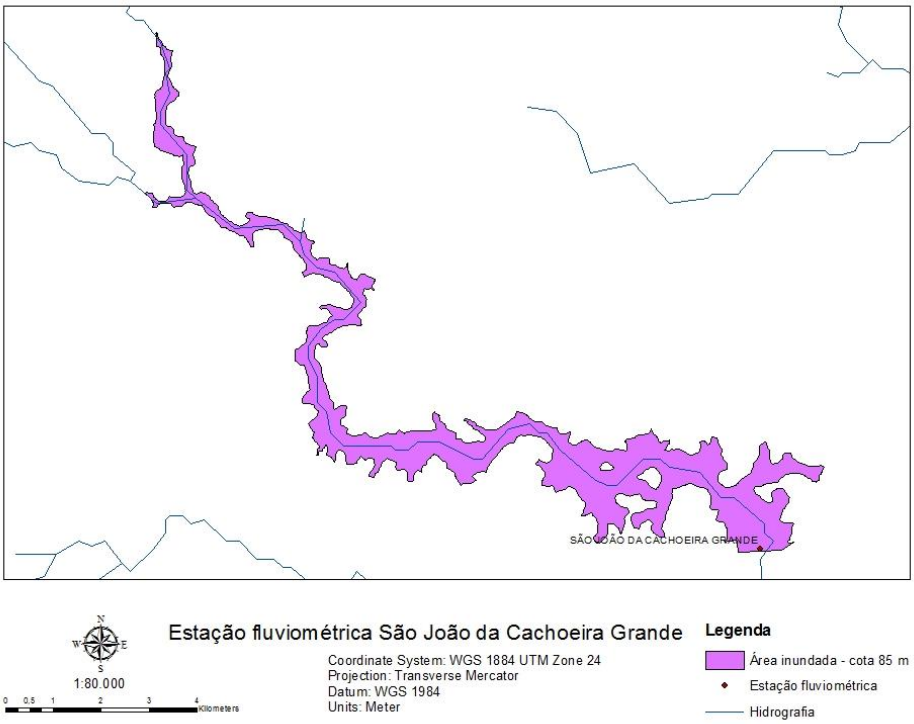

Figura 20 - Área inundada (cota 85 m) da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

A partir da determinação das áreas e volumes de inundação, apropriadas pelo *software ArcGIS* 10.1, foi possível obter uma função matemática que correlaciona essas variáveis. Com o auxílio do *Excel*, construi-se um gráfico de dispersão e ajustou-se uma linha de tendência. A Tabela 11 reúne áreas e volumes de inundação associados a estação de São João da Cachoeira Grande. A Figura 21 apresenta o gráfico de dispersão estabelecido com as referidas variáveis e correspondente linha de tendência.

Tabela 11- Características da estação fluviométrica de São João da Cachoeira Grande

COTA (m)	VOLUME (Hm^3)	ÁREA (Km^2)
40	0,54	29,69
45	0,74	39,31
50	0,89	45,75
55	2,41	106,89
60	3,44	142,22
65	4,58	175,32
70	6,09	212,00
75	7,63	241,80
80	8,91	260,57
85	9,64	268,48

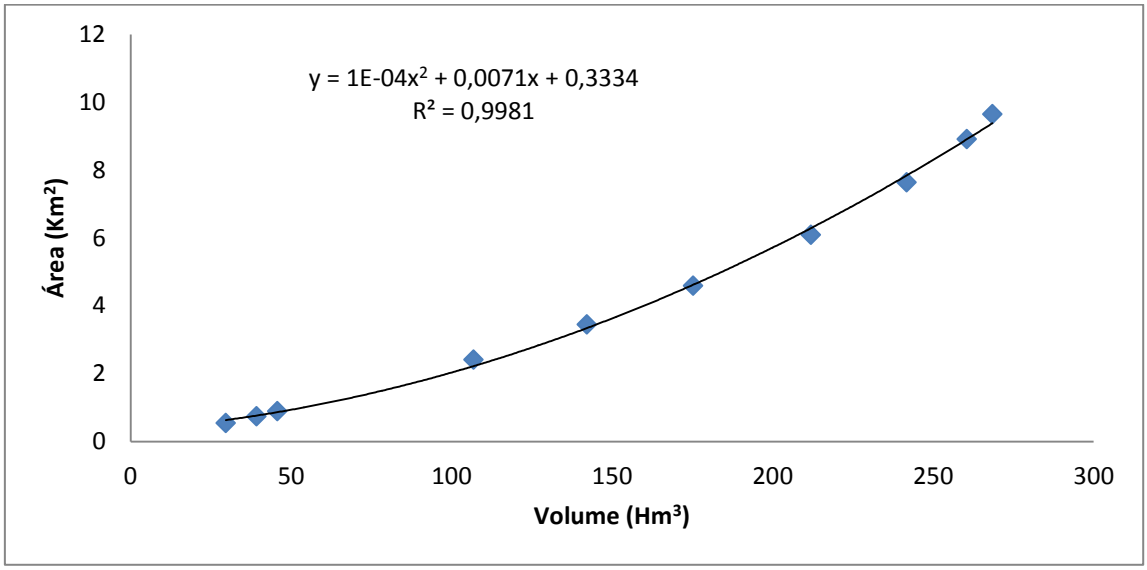

Figura 21 - Relação área versus volume de inundação para a estação fluviométrica de São João da Cachoeira Grande

Os valores obtidos no dimensionamento do reservatório, utilizando-se o método da simulação com incorporação de precipitação e evaporação, estão dipostos na Tabela 12.

Tabela 12 - Volumes de reservação (em Hm^3) estimados para a estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande

MÉTODO	VAZÃO REGULARIZADA	
	50% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO	75% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO
Simulação	120,72	1364,66
Simulação (PE)*	121,34	1427,60

*(PE) Incorporação da precipitação e evaporação.

Os valores resumidos na Tabela 12 indicam que a incorporação dos efeitos da evaporação e da precipitação produziram valores de reservação ligeiramente maiores que aqueles estimados sem a incorporação destes processos no balanço de massa conduzido pelo método da simulação.

A incorporação dos efeitos da evaporação e precipitação são usualmente relevantes para o dimensionamento dos reservatórios naquelas situações em que os totais evaporados superam, de maneira relevantes, os totais precipitados diretamente sobre os reservatórios. No entanto, a simples inspeção dos totais precipitados monitorados na estação de São João da Cachoeira Grande (Anexo B, Tabela B.3) e dos totais evaporados na estação de São Mateus (Anexo C, Tabela C.1), indica que, para o período objeto de simulação (1995 a 2005), as perdas por evaporação e os ganhos por precipitação foram equivalentes.

6.3. Avaliação da influência do tamanho da série histórica

A estação fluviométrica Barra do Rio Preto foi escolhida para a avaliação da influência do tamanho da série histórica porque apresenta a maior quantidade de dados mensais de vazão dentre as estações escolhidas. As diferentes séries históricas associadas à estação de Barra do Rio Preto foram geradas de tal modo que a primeira série apresentava extensão correspondente aos cincos anos mais recentes de operação da estação; a segunda, com os dez anos mais recentes, e assim, sucessivamente. Para cada série histórica estabelecida foram geradas novas curvas de permanência, novas vazões com permanência de 90% e novas vazões de longo período, conforme procedimento descrito no capítulo reservado para a Metodologia.

Os volumes de reservação estimados a partir de cada série histórica conformada para a estação de Barra do Rio Preto estão reunidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Volumes de reservação (em Hm^3) simulados de acordo com o intervalo proposto para a série histórica de vazões

INTERVALO	VAZÃO REGULARIZADA	
	50% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO	75% DA VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO
[1971-2005]	123,29	799,74
[1976-2005]	190,44	330,15
[1981-2005]	0,00	0,00
[1986-2005]	0,00	568,38
[1991-2005]	0,00	0,00
[1996-2005]	0,00	129,92
[2001-2005]	134,29	258,03

De acordo com os resultados resumidos na Tabela 13 é possível observar que, quando consideradas as séries históricas de vazões médias mensais monitoradas entre os anos de 1981e 2005; 1986 e 2005; 1991 e 2005; 1996 e 2005 não seria necessária a construção do reservatório de regularização para garantir o atendimento de 50% da vazão média de longo período, com manutenção de uma vazão à jusante dos reservatórios de 50% da vazão de referência $Q_{90.}$ Para a garantia de atendimento de 75% da vazão média de longo período, conservado o vertimento de 50% da vazão Q_{90}, não haveria necessidade de construção do reservatório de regularização entre 1981 e 2005 e entre 1991 e 2005.

De acordo com a Tabela 13, poderiam ocorrer, dependendo da série histórica considerada, três situações distintas: **i)** em algum momento do intervalo de análise a demanda acumulada seria maior que a volume afluente acumulado, surgindo a necessidade da construção de um reservatório de regularização; **ii)** em nenhum momento proposto a demanda acumulada seria maior que o volume afluente acumulado e não haverá reservatório; **iii)** para a demanda igual a 50% da vazão média de longo período, com manutenção de uma vazão à jusante dos reservatórios de 50% da vazão de referência $Q_{90,}$ não haveria situação em que a demanda acumulada seria superior ao volume afluente

acumulado, não existindo necessidade de reservação; no entanto, quando a demanda correspondesse a 75% da vazão média de longo período, com manutenção de uma vazão à jusante dos reservatórios de 50% da vazão de referência Q_{90}, surgiria a necessidade da construção de um reservatório. As figuras 22, 23 e 24 representam as situações **i)**, **ii)** e **iii)**, respectivamente.

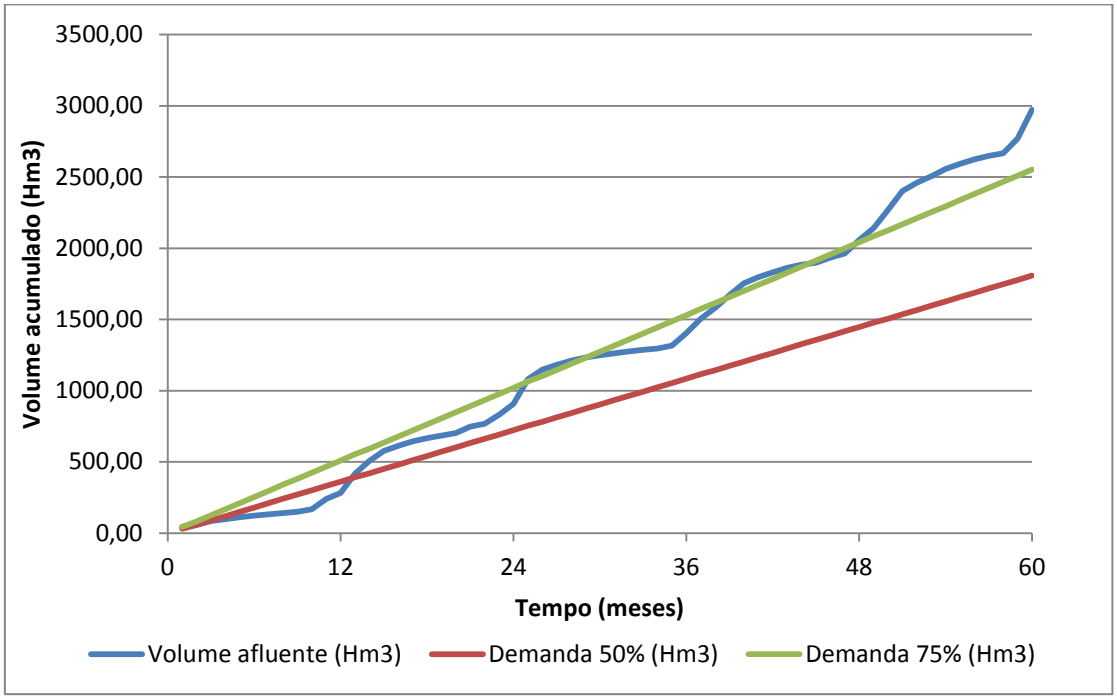

Figura 22 – (i) Volumes acumulados versus demandas acumuladas para a série histórica da estação fluviométrica Barra do Rio Preto no período de 2001 a 2005

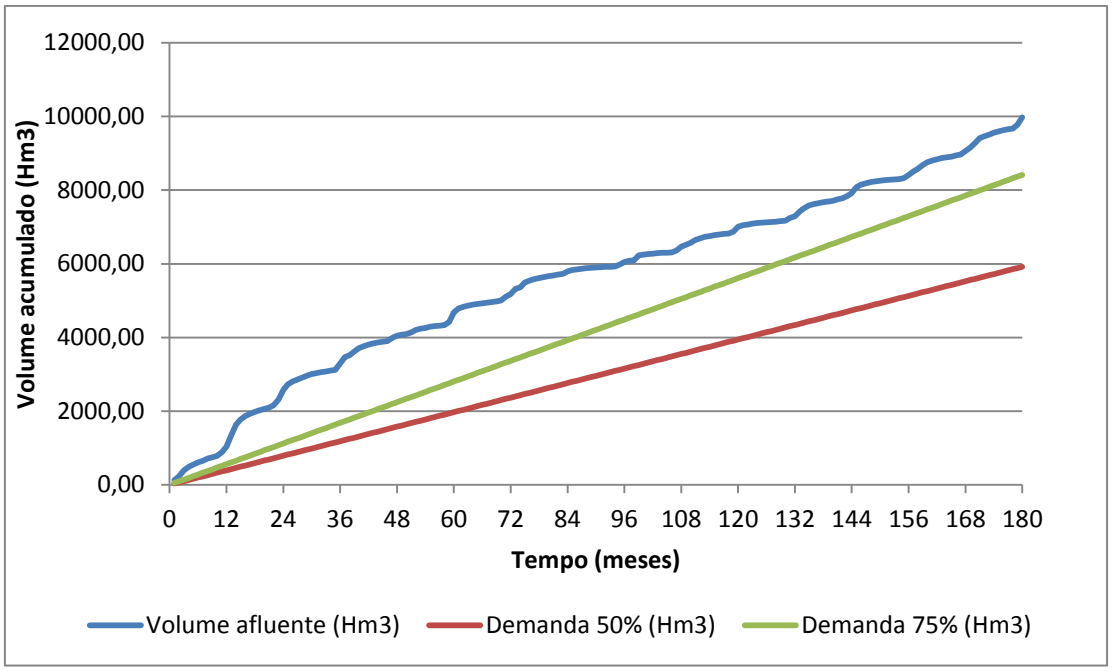

Figura 23 - (ii) Volumes acumulados versus demandas acumuladas para a série histórica da estação fluviométrica Barra do Rio Preto no período de 1991 a 2005

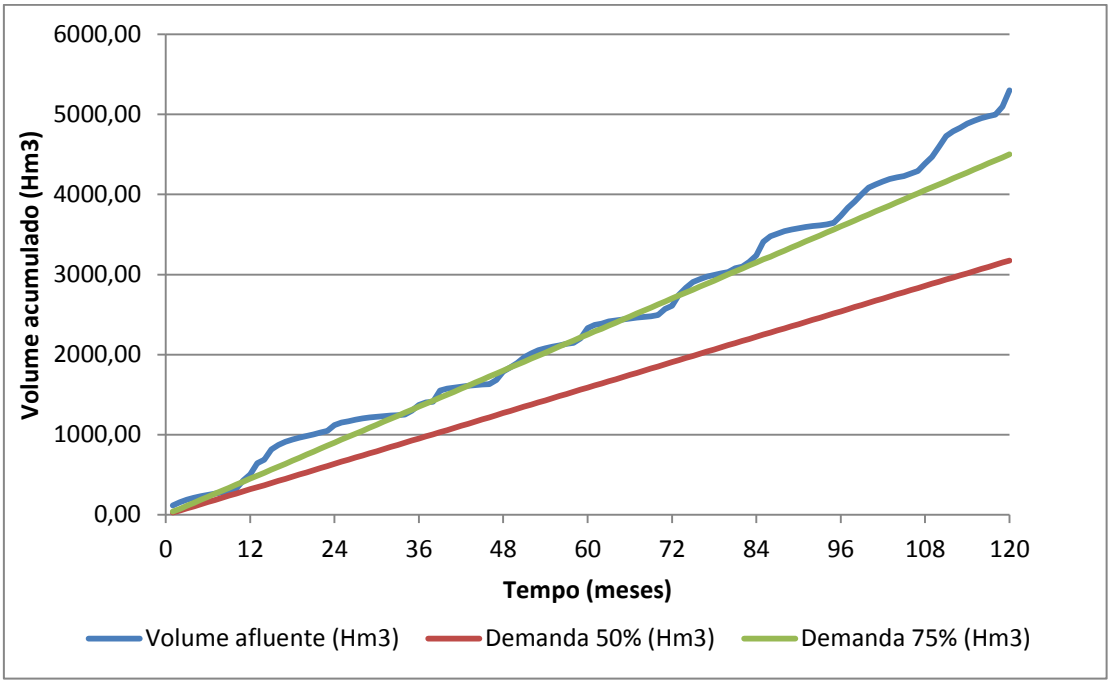

Figura 24 - (iii) Volumes acumulados versus demandas acumuladas para a série histórica da estação fluviométrica Barra do Rio Preto no período de 1996 a 2005

Os resultados resumidos na Tabela 13 e graficamente representados pelas figuras 22, 23 e 24 indicam a estreita dependência que os métodos de apropriação de volumes de reservação apresentam das séries de registros hidrológicos. Como na estação de Barra do Rio Preto foram observadas estiagens entre os anos de 1971 e 1980, entre 1986 e 1990 e entre 2001 e 2005, a incorporação das vazões monitoradas nestes períodos induziu a necessidade de reservação, necessidade que não se estabeleceria quando consideradas as séries históricas que não envolveram os referidos períodos.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As principais conclusões do presente trabalho podem ser assim sinalizados:

- Os volumes de reservação estimados pelo método da Simulação apresentaram-se inferiores àqueles estimados pelo método da Sequência de Deflúvios Mínimos, independentemente do valor assumido para a vazão de regularização;
- A incorporação dos efeitos da evaporação e da precipitação produziu maiores volumes de reservação. No entanto, função dos dados de precipitação (estação pluviométrica de São João da Cachoeira Grande) e da evaporação (estação climatológica de São Mateus) utilizados, o uso dos totais evaporados e dos totais precipitados não alterou os volumes de reservação em mais de 5%;
- Os volumes de reservação estimados foram dependentes da extensão da série histórica de vazões empregada no processo de dimensionamento. Séries históricas que incorporaram estiagens mais severas conduziram, invariavelmente, aos maiores volumes de reservação. Neste contexto, apresentaram-se como mais consistentes os volumes estimados com séries históricas mais extensas.

Como recomendações do presente trabalho sugere-se:

- Replicar as metodologias de avaliação de volumes de reservação para bacia hidrográfica que apresente modelo digital do terreno estabelecido com maior precisão. Ainda que no presente estudo a ferramente *Fill*, disponível no *software* ArcGIS 10.1, tenha sido empregada para correção de picos e depressões, sua aplicação sem a adequada verificação de campo pode produzir a eliminação tanto dos erros de altitude quanto as depressões reais existentes, produzindo modelos que não se apresentam confiáveis para a descrição da morfologia da bacia hidrográfica. Este aspecto pode ser determinante para a deformação dos resultados associados ao método da Simulação com inclusão dos eventos de precipitação e evaporação, uma vez que a apropriação dos

totais evaporados e dos totais precipitados depende da área do espelho d'água, cujo valor varia com o volume de reservação;

- Replicar as metodologias de avaliação de volumes de reservação para bacia hidrográfica que disponha de maior número de estações climatológicas. No presente estudo, os registros de evaporação foram obtidos a partir da estação climatológica de São Mateus, estação instalada junto a linha de costa e distante algumas dezenas de quilômetros das estações fluviométricas e pluviométricas consideradas para aplicação do método da Simulação;
- Estudar, previamente a aplicação das metodologias de avaliação de volumes de reservação, as séries históricas de vazões. Bacias que apresentem elevados níveis de regularização dos cursos d'água demandam a reconstituição das séries históricas de vazões previamente à aplicação das metodologias para apropriação dos volumes de reservação.
- Estabelecer diferentes cenários de confiabilidade do sistema utilizando o método baseado nas Diferenças em relação a sequência de deflúvios mínimos, selecionando os períodos mais críticos da série histórica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.53-66, abr./jun. 2008.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Espírito Santo.** Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br/cd4/es.doc>. Acesso em: 30 nov. 2014.

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,** Recife, v. 2, n. 2, p.27-38, jul./dez. 2005.

BARBOSA JR., A. R. **Regularização de vazão**. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula_6/Regularizacao%20de%20Vazoes.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2014.

CAMARA, A. C. F. C.. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB).** 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CAMPOS, N. **Dimensionamento de Reservatórios**: O método do Diagrama Triangular de Regularização. Fortaleza: Edições UFC, 1996. 56 p.

CAVALCANTE FILHO, E. C. **Regularização de vazões em reservatórios através dos modelos mensal e bi-sazonal:** a duração da estação seca e a proposta da evaporação equivalente. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A.. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. **Rbrh – Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** Porto Alegre, v. 15, n. 2, p.59-68, abr./jun. 2010.

EMBRAPA. **Brasil em Relevo.** Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>. Acesso em: 30 nov. 2014.

FIGUEIREDO, P. C.; OLIVEIRA, A. G.; CARDOSO, P. A.; D'ÁVILA, M.; MATTOS, V. S. ***O. Proposta de instituição do comitê da bacia hidrográfica do rio São Mateus***. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/alexandre/CTIL_CTIG_29_07_2009/6sao_mateus.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2014.

FONTANELA, L. **Avaliação de metodologias para dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial.** 2010. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense , Criciúma, 2010.

GOMIDE, F. L. S. **Teoria Estocástica dos Reservatórios aplicada ao planejamento de sistemas hidrelétricos**. Curitiba – PR. Paginação irregular. Tese (titular), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná – DHS/UFPR, 1986.

LANNA, A. E. **Elementos de estatística e probabilidades**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2001. p. 79-176.

LEÃO, J. C.; FERNANDES, R. J. A. R.; GALVÍNCIO, J. D. **Determinação da vazão regularizada de reservatórios de grande porte, na bacia do rio Canindé** – PI. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,* Alagoas, 2011.

MANNICH, M.; KAVISKI, E.; MINE, M. R. M. **Regularização de vazões intra-anual: comparação de métodos**. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,* Alagoas, 2011.

MARGON, I. F.. **Simulação computacional da qualidade da água do rio Santa Joana (ES) com auxílio do método de Monte Carlo.** 2013. 97 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

MCMAHON, T. A.; MEIN, R. G.. **Reservoir capacity and yield.** Amsterdam: Elsevier, 1978. 212 p.

NUNES, A. A. **Reservatórios de acumulação de água: novas propostas para o dimensionamento e representação dos seus efeitos.** 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Séries históricas de vazão.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>. Acesso em: 25 nov. 2014.

PEDROSA, V. A.. **Estudo de ampliação da barragem Limeira II utilizando o método triangular de regularização.** 2009. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/8ae76544208c85fb832935836bb8c373_94129f52074ba42c29b879f2920d6952.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2014.

PENHA, A. L. T.; SILVA, D. C. Correção de erro de altitude em MDS ASTER-GDEM em delimitação de bacia hidrográfica. In: *IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação,* Recife, 2012.

REIS, L. G. M. **Avaliação dos critérios de outorga associados a políticas de operação de reservatório na bacia do rio Moxotó, semi-árido**

brasileiro. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002

SCARE, R. F.. **Escassez de água e mudança institucional:** análise da regularização dos recursos hídricos no Brasil. 2003. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. C.; **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Agência Nacional de Energia Elétrica; Agências Nacionais de Águas, 3ª ed., Brasília, 2001.

SILVA, A. M. *et al.* Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,**Campina Grande, v. 10, n. 2, p.374-380, nov. 2006.

SILVA, R. T.; *et al*. Software for calculation of reservoir active capacity with the sequent-peak algorithm. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 33, n. 2, p.501-510, jun. 2013.

STUDART, T. M. C. **Hidrologia.** Disponível em: <http://www.barramentos.ufc.br/Hometiciana/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_12_Regularizacao_de_Vazoes.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 3ª Ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.

VERGARA, F. E. *et al*. Proposta de vazão de referência Q_{90} para o rio Formoso na bacia do Araguaia. **Engenharia Ambiental,** Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 1, p.84-102, jan./fev. 2013.

WENDLAND, E. Regularização de vazões: **Controle de estiagens.** Disponível em: <http://albatroz.shs.eesc.usp.br/~ew/SHS-403/2_semestre/aula_9-11_reg.PDF>. Acesso em: 16 fev. 2014

ANEXO A – REGISTROS FLUVIOMÉTRICOS

Tabela A.1 – Registros fluviométricos da estação Fidelândia – Montante

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1996	3.0	1.9	1.1	1.1	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	7.5	4.6
1997	7.9	2.4	7.6	4.8	2.4	1.7	1.1	0.8	0.6	1.6	1.0	7.7
1998	3.3	1.0	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	2.2	4.9
1999	1.4	0.1	4.9	1.3	0.6	0.3	0.5	0.2	0.1	0.1	3.4	11.7
2000	5.9	6.6	7.5	4.2	3.1	1.5	1.3	1.1	1.3	0.4	4.1	8.4
2001	2.1	0.5	0.8	0.3	0.3	0.6	0.7	0.7	0.6	1.7	12.4	8.1
2002	14.0	13.0	8.0	4.5	3.2	2.9	2.8	1.4	3.3	1.5	8.8	4.2
2003	8.7	3.4	1.3	2.4	1.4	1.0	0.9	0.7	0.6	0.3	2.2	**8.1**
2004	6.2	4.8	8.4	10.6	3.7	2.6	2.7	1.7	1.0	2.0	1.9	15.3
2005	6.6	14.9	14.1	5.5	5.7	5.7	4.1	3.1	2.1	1.5	9.3	22.0
Média	**6.1**	**2.9**	**6.2**	**3.3**	**1.9**	**1.3**	**1.0**	**0.8**	**0.6**	**1.0**	**3.8**	**8.1**

Dados faltosos que foram completados com a média mensal

Tabela A.2 – Registros fluviométricos da estação Ataléia

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1971	2.0	1.3	2.8	5.0	1.5	2.0	2.5	1.2	1.2	3.6	36.0	35.7
1972	8.1	2.7	4.3	4.0	1.7	1.6	2.1	1.3	2.5	4.5	24.1	16.2
1973	4.8	2.9	12.2	6.1	2.4	1.8	1.8	1.1	0.9	3.8	11.1	8.9
1974	12.2	7.7	12.3	5.9	4.0	3.0	2.0	1.4	1.1	**3.1**	2.9	2.2
1975	6.8	3.4	1.4	1.9	1.0	1.0	1.3	0.8	0.7	3.4	16.3	2.5
1976	0.4	4.8	0.6	0.2	0.5	0.3	1.0	0.7	2.1	4.0	23.2	22.8
1977	15.1	9.0	3.8	2.9	4.2	2.1	2.4	1.1	1.1	3.6	9.9	11.3
1978	18.6	20.4	15.8	15.8	7.1	4.8	7.6	5.1	3.7	8.5	3.5	5.9
1979	24.7	50.6	18.4	9.3	5.3	4.0	3.7	3.3	2.6	4.1	4.5	5.7
1980	10.2	11.9	5.3	8.6	5.3	5.0	3.3	3.1	2.6	3.1	3.4	11.6
1981	6.1	5.5	23.9	12.4	8.9	5.6	3.9	4.6	2.9	8.0	32.7	9.4
1982	19.7	8.7	9.9	6.7	5.0	4.2	3.9	4.5	3.8	3.1	2.4	4.8
1983	28.0	15.9	10.2	6.6	5.0	3.8	3.3	2.9	4.9	9.6	5.7	8.7
1984	3.5	3.3	3.0	4.1	2.2	1.9	1.9	2.1	2.5	3.3	2.9	8.6
1985	33.5	7.2	5.3	3.5	2.7	2.4	2.1	2.3	2.0	7.1	7.5	7.7
1986	9.4	3.8	2.6	2.0	2.2	2.6	1.8	1.6	1.2	4.2	4.7	4.0
1987	3.2	1.4	4.8	1.9	1.7	1.0	1.0	1.0	1.1	0.5	8.9	12.1
1988	6.2	3.2	3.1	1.5	1.1	1.2	1.1	1.0	0.5	2.7	2.9	7.3
1989	1.2	1.7	2.2	0.9	0.8	1.5	0.9	1.5	1.5	3.1	8.7	18.2
1990	3.5	1.9	1.0	1.5	0.9	0.8	1.6	1.3	1.3	2.5	3.4	3.5
1991	10.3	6.1	8.4	4.8	3.6	3.4	4.3	4.9	3.1	2.8	5.4	5.7
1992	25.1	24.2	9.9	6.1	4.1	3.8	3.9	3.5	**1.4**	7.6	17.5	28.3
1993	14.0	7.9	5.3	4.5	3.9	4.7	3.2	3.0	2.3	2.4	2.3	9.0
1994	6.1	2.3	8.2	5.1	3.1	2.5	2.2	1.4	1.1	1.8	7.8	8.4
1995	2.6	1.9	1.5	4.5	2.2	1.5	1.9	1.2	0.9	1.6	4.5	11.0
1996	3.8	3.5	2.1	1.9	1.0	1.1	0.9	0.9	1.7	1.1	13.9	6.0
1997	8.2	4.3	9.5	7.2	4.0	2.5	1.9	1.4	1.3	2.0	0.9	12.1
1998	3.1	1.3	1.1	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.7	6.6	8.2
1999	1.3	0.6	8.0	2.3	1.1	0.7	1.7	0.6	0.3	0.3	9.2	21.1
2000	13.3	10.8	11.4	6.7	5.0	2.4	2.2	1.8	2.5	1.0	5.2	10.3
2001	2.5	0.9	1.8	0.9	1.1	1.5	1.1	1.1	1.0	3.0	20.6	5.5
2002	18.9	24.3	11.1	5.9	3.9	3.1	3.0	2.5	4.8	2.2	10.0	4.2
2003	8.3	3.8	1.8	2.2	1.5	1.1	1.3	1.1	0.9	1.3	2.2	4.3
2004	7.5	7.7	12.7	10.8	4.3	2.8	2.8	1.6	1.1	3.8	3.1	12.4
2005	12.8	15.4	13.5	6.5	5.4	5.8	3.8	3.4	2.3	1.7	10.5	40.3
Média	**8.1**	**4.3**	**5.3**	**4.5**	**2.7**	**2.4**	**2.1**	**1.4**	**1.4**	**3.1**	**6.6**	**8.7**

Dados faltosos que foram completados com a média mensal

Tabela A.3 – Registros fluviométricos da estação São João da Cachoeira Grande

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1995	18.1	13.2	13.9	55.3	20.1	12.1	16.3	10.1	5.4	10.3	33.7	103.0
1996	44.6	18.4	12.7	14.3	9.0	7.9	5.3	5.1	11.9	7.4	81.7	43.0
1997	89.7	25.5	84.8	44.2	29.3	18.0	13.0	9.6	8.2	12.4	10.3	76.0
1998	33.2	9.3	8.2	9.4	5.1	3.1	2.8	2.5	1.9	2.1	38.2	58.3
1999	17.2	2.0	95.5	14.7	7.5	5.8	9.9	4.0	2.1	1.6	57.2	126.0
2000	69.2	79.6	96.8	67.1	46.8	25.8	22.1	17.4	17.4	9.5	43.5	102.0
2001	34.5	11.2	23.2	11.9	11.8	13.4	9.6	9.0	7.4	18.7	101.0	58.1
2002	191.0	136.0	88.1	49.5	35.6	31.1	28.0	21.5	38.7	20.2	75.1	50.8
2003	116.0	50.8	22.7	22.8	15.6	10.2	10.6	10.7	8.8	7.2	19.0	50.0
2004	107.0	93.2	108.0	127.0	53.0	38.3	34.9	21.4	11.7	22.8	33.5	147.0
2005	91.9	122.0	105.0	60.2	53.3	61.0	38.8	34.6	23.5	11.9	63.7	239.0
Média	**69.2**	**25.5**	**84.8**	**44.2**	**20.1**	**13.4**	**13.0**	**10.1**	**8.8**	**10.3**	**43.5**	**76.0**

Tabela A.4 – Registros fluviométricos da estação Barra do Rio Preto

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1971	9.58	5.35	10.6	9.16	5.44	6.27	6.3	7.72	5.04	9.61	67.5	59.5
1972	26.6	15.3	17.2	12.4	7.88	6.5	7.62	6.67	7.41	8.54	27.3	31
1973	14.6	10.1	32	13.5	9.03	6.18	6.15	4.12	3.38	18.6	17.7	16.6
1974	32.9	20.9	17	15.7	11.3	8.19	6.46	5.11	4.27	6.89	11.3	14
1975	38.8	14.4	8.93	12.6	5.95	4.99	4.84	3.85	3.31	15.5	40.7	14.8
1976	5.34	17.2	4.51	2.67	4.01	2.83	3.45	2.71	4.64	8.23	22.7	55.7
1977	60.2	30.1	12.1	8.29	10.3	7.19	7.1	4.52	4.36	7.26	12.1	21.2
1978	30.1	28.6	18.8	24.8	12.1	11.1	20.4	13.6	9.66	24.4	12.9	30.5
1979	86.1	147	73.9	38.6	21.8	16.2	13.2	11.6	10.1	11.5	32	25.6
1980	63.6	41.2	22	33.1	23	18	14.1	11.7	9.72	8.19	14.6	75.2
1981	49.6	29.6	53.1	53.9	32	26	18.4	16.8	11.9	20.2	81	40.5
1982	76	35.8	38.4	44.3	29	21.8	18.4	20.3	15.4	12.9	11.3	12.9
1983	56.3	52.6	37.9	22.7	21.5	13.4	11.3	9.52	13	20.7	21.3	68.8
1984	17.6	15.9	12.8	16.5	9.08	7.26	6.91	7.68	9.36	16.2	17.4	60.6
1985	152	56.9	34.1	20.3	16.7	14.3	13	12.6	11.3	16.4	29.4	46.8
1986	49.4	17.1	12.4	10.7	10	11.4	9.46	15.2	8.19	8.79	16.4	23.2
1987	20	9.44	23	11.9	7.86	7.3	5.95	5.25	5.64	3.84	33.5	36.1
1988	27.3	10.6	12.2	7.08	5.58	5.63	4.73	4.03	2.37	9.58	10.8	23.3
1989	5.15	11.6	12.6	4.56	3.61	8.09	4.73	4.45	4.08	4.9	19.7	56
1990	20.5	15.5	9.86	7.43	7.91	7.3	6.5	5.63	6.6	10.2	14	15.7
1991	46	44.8	60.6	34.5	23.9	22.4	17.8	21	13.8	11.9	39.4	57.8
1992	115	119	53.7	35.5	23.7	18.6	17.4	12.9	12.6	27.5	60.3	95.3
1993	56.6	33.3	18.7	21.5	18.7	14.8	11.2	9.61	7.2	9.09	8.1	64.5
1994	65.4	21.1	39.5	31.9	20.7	15	12.7	10.1	7.76	7.46	32.3	23.2
1995	8.74	7.59	16.7	27.4	11.2	7.82	12.4	5.74	3.08	8.19	32.5	95.3
1996	42.8	17.1	11.2	9.68	7.6	6.46	6.05	5.6	7.69	9.05	39.9	27.8
1997	52.9	18.2	47.4	21.5	15.1	11	8.85	7.73	7.17	9.32	7.91	26.4
1998	12.6	5.71	8	6.24	4.04	3.52	2.96	2.64	1.51	2.53	19.4	27.1
1999	11.9	2.9	51.4	9.27	5.76	4.1	4.86	2.91	1.91	2.02	19.5	38.9
2000	20.2	22.3	27.1	18.7	14.1	8.81	7.73	6.59	7.9	3.73	21.2	47.9
2001	16.1	6.17	10.2	4.86	4.74	4.64	3.35	3.5	3.66	6.09	28.2	15.6
2002	50.9	36.7	26	13.6	11.9	8.66	7.27	6.31	17.8	7.07	24.3	29
2003	64.1	28	12.7	11.5	8	5.97	5.44	4.83	3.88	3.86	7.94	32.2
2004	37.8	30.9	33.8	31.8	15.8	13	11.9	8.28	5.3	13	11.4	35.1
2005	31.6	52.9	49.4	22.5	16.8	19.7	13.3	12.4	9.6	6.56	39.5	76
Média	**37.8**	**20.9**	**18.8**	**15.7**	**11.2**	**8.19**	**7.62**	**6.67**	**7.2**	**9.05**	**21.2**	**32.2**

Tabela A.5 – Registros fluviométricos da estação Barra de São Francisco

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1988	2.9	0.8	1.1	0.7	0.5	0.6	0.7	0.7	0.5	1.1	1.2	3.7
1989	0.9	1.8	2.0	1.0	0.7	1.7	0.8	0.7	0.6	0.8	2.0	4.6
1990	1.2	1.4	1.2	1.0	0.7	0.7	0.7	0.6	0.8	0.9	1.1	1.9
1991	5.6	2.5	4.8	2.0	1.8	1.5	1.4	1.5	1.0	1.3	3.4	5.2
1992	10.5	10.2	4.9	3.3	2.2	2.1	2.1	1.6	1.7	3.0	6.7	8.0
1993	5.7	3.3	2.1	2.3	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	2.0	1.0	4.8
1994	4.5	1.8	3.0	2.8	1.7	1.8	1.3	1.2	1.1	1.1	1.8	1.5
1995	0.7	0.9	1.4	2.3	0.9	0.7	1.1	0.8	0.5	1.1	3.0	6.9
1996	2.8	1.2	1.1	1.1	0.8	0.8	0.7	0.6	0.8	0.6	3.6	1.6
1997	3.0	1.6	4.8	1.6	1.2	1.0	0.8	0.8	0.6	0.9	0.6	1.9
1998	0.8	0.3	0.9	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.4	1.7	2.0
1999	1.1	0.5	3.4	0.9	1.0	0.7	0.7	0.5	0.4	0.4	2.3	4.2
2000	2.6	3.2	2.1	1.0	0.9	0.6	0.6	0.5	1.3	0.4	1.3	3.4
2001	1.1	0.3	1.2	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	3.6	2.2
2002	5.6	2.3	1.6	1.0	1.1	0.9	0.7	0.7	1.2	0.5	1.8	2.0
2003	4.3	1.7	0.9	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	3.3
2004	4.6	2.9	3.1	2.3	1.3	1.2	1.2	0.7	0.5	1.2	1.1	3.4
2005	3.7	6.9	7.1	3.2	2.4	2.6	1.9	1.8	1.5	0.9	4.5	6.6
Média	**2.9**	**1.7**	**2.0**	**1.1**	**0.9**	**0.8**	**0.8**	**0.7**	**0.7**	**0.9**	**1.8**	**3.4**

ANEXO B – REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS

Tabela B.1 – Registros pluviométricos da estação Barra de São Francisco

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1971	119.4	192.6	121.8	110.2	23.0	55.8	0.0	14.5	26.0	240.0	301.2	297.9
1972	135.3	52.4	125.4	90.0	3.8	7.4	47.4	58.8	48.8	84.7	191.7	196.6
1973	112.7	29.4	222.7	35.5	34.3	12.5	40.5	1.2	12.8	146.2	146.4	102.1
1974	172.9	99.6	208.0	113.0	25.5	13.2	7.8	13.5	11.6	108.0	108.3	131.0
1975	275.5	94.0	78.0	94.4	21.5	18.9	22.1	16.9	23.5	161.8	167.1	104.3
1976	8.5	194.7	33.2	6.9	38.9	1.0	36.1	11.9	59.5	97.6	187.4	304.5
1977	279.7	59.5	1.0	22.2	69.9	20.8	12.3	0.0	21.7	110.2	223.0	141.3
1978	151.3	176.4	71.1	75.2	68.1	18.5	107.8	30.7	42.0	179.2	98.8	154.5
1979	369.7	212.6	175.1	78.9	1.9	23.6	24.9	24.1	32.2	55.3	210.1	274.9
1980	261.1	149.2	22.3	161.0	85.5	13.4	18.9	13.6	13.2	22.6	128.5	452.6
1981	238.1	176.6	230.6	84.7	53.5	41.3	7.4	40.8	1.6	170.6	340.5	77.0
1982	258.1	68.8	266.0	109.5	38.7	2.5	42.7	105.5	19.0	20.8	30.8	104.9
1983	329.3	317.3	136.8	25.1	34.1	9.2	28.1	1.3	162.7	93.3	136.4	352.8
1984	54.7	68.4	94.0	51.6	16.3	3.0	0.1	55.2	53.8	112.4	169.7	295.3
1985	554.7	96.6	21.7	48.5	7.0	10.6	23.0	23.1	21.2	188.2	194.5	314.5
1986	187.3	45.9	13.9	74.2	14.6	30.7	12.3	92.7	5.4	49.5	134.2	179.3
1987	85.4	50.7	265.0	28.0	15.4	7.2	3.2	23.8	27.5	63.2	242.0	197.6
1988	166.8	29.4	108.1	11.2	14.6	10.4	9.8	19.7	9.7	119.0	112.6	216.1
1989	39.8	171.8	75.3	12.5	**25.5**	**13.2**	**23.0**	**19.7**	**26.0**	**92.4**	**187.4**	**196.6**
1990	8.5	159.5	73.4	47.6	49.9	15.9	26.4	37.1	33.3	92.4	126.0	136.5
1991	260.7	138.3	217.4	17.5	97.3	29.6	69.2	48.5	33.7	50.0	163.7	279.6
1992	558.7	221.9	117.5	107.1	20.4	42.6	50.5	51.9	72.8	203.0	214.3	297.7
1993	180.6	39.9	2.9	33.4	28.0	33.6	25.9	5.9	11.3	102.3	47.8	395.2
1994	158.4	37.8	200.2	135.6	36.2	11.8	3.0	0.1	12.8	23.9	193.8	144.9
1995	33.9	13.1	136.5	103.7	14.6	0.0	92.0	12.0	13.7	97.6	194.9	478.8
1996	22.0	43.6	52.6	43.0	20.2	11.5	31.3	5.1	75.5	41.1	257.3	77.6
1997	212.8	111.9	236.9	19.5	18.5	0.0	3.2	16.8	31.8	68.7	76.8	110.0
1998	78.1	3.3	94.2	9.3	2.0	0.0	3.5	1.3	2.0	72.8	198.2	121.8
1999	57.5	68.0	300.6	14.8	19.0	7.1	27.8	7.8	7.2	23.2	210.3	224.3
2000	267.9	189.1	150.1	57.8	44.1	6.5	24.9	21.8	64.8	10.1	195.1	231.9
2001	34.7	15.3	47.3	22.0	63.9	16.8	5.5	27.3	56.4	62.0	298.4	223.8
2002	221.1	91.3	53.3	30.9	70.5	33.6	10.0	29.3	109.8	12.3	138.8	100.9
2003	**176.8**	**95.3**	**119.7**	**48.1**	**25.5**	**13.2**	**23.0**	**19.7**	**26.0**	**92.4**	**187.4**	**196.6**
2004	278.5	159.4	172.3	100.4	12.8	33.4	32.4	0.6	0.1	129.6	97.7	130.6
2005	196.2	237.9	236.6	39.8	81.3	70.2	17.0	38.1	33.9	23.7	243.9	157.9
Média	**176.8**	**95.3**	**119.7**	**48.1**	**25.5**	**13.2**	**23.0**	**19.7**	**26.0**	**92.4**	**187.4**	**196.6**

Dados faltosos que foram completados com a média mensal

Tabela B.2 – Registros pluviométricos da estação Barra de São Francisco

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1988	166.8	29.4	108.1	11.2	14.6	10.4	9.8	19.7	9.7	119.0	112.6	216.1
1989	39.8	171.8	75.3	12.5	**24.2**	**13.9**	**25.4**	**18.3**	**32.6**	**65.4**	**194.4**	**187.0**
1990	8.5	159.5	73.4	47.6	49.9	15.9	26.4	37.1	33.3	92.4	126.0	136.5
1991	260.7	138.3	217.4	17.5	97.3	29.6	69.2	48.5	33.7	50.0	163.7	279.6
1992	558.7	221.9	117.5	107.1	20.4	42.6	50.5	51.9	72.8	203.0	214.3	297.7
1993	180.6	39.9	2.9	33.4	28.0	33.6	25.9	5.9	11.3	102.3	47.8	395.2
1994	158.4	37.8	200.2	135.6	36.2	11.8	3.0	0.1	12.8	23.9	193.8	144.9
1995	33.9	13.1	136.5	103.7	14.6	0.0	92.0	12.0	13.7	97.6	194.9	478.8
1996	22.0	43.6	52.6	43.0	20.2	11.5	31.3	5.1	75.5	41.1	257.3	77.6
1997	212.8	111.9	236.9	19.5	18.5	0.0	3.2	16.8	31.8	68.7	76.8	110.0
1998	78.1	3.3	94.2	9.3	2.0	0.0	3.5	1.3	2.0	72.8	198.2	121.8
1999	57.5	68.0	300.6	14.8	19.0	7.1	27.8	7.8	7.2	23.2	210.3	224.3
2000	267.9	189.1	150.1	57.8	44.1	6.5	24.9	21.8	64.8	10.1	195.1	231.9
2001	34.7	15.3	47.3	22.0	63.9	16.8	5.5	27.3	56.4	62.0	298.4	223.8
2002	221.1	91.3	53.3	30.9	70.5	33.6	10.0	29.3	109.8	12.3	138.8	100.9
2003	**166.8**	**91.3**	**117.5**	**33.4**	**24.2**	**13.9**	**25.4**	**18.3**	**32.6**	**65.4**	**194.4**	**187.0**
2004	278.5	159.4	172.3	100.4	12.8	33.4	32.4	0.6	0.1	129.6	97.7	130.6
2005	196.2	237.9	236.6	39.8	81.3	70.2	17.0	38.1	33.9	23.7	243.9	157.9
Média	**166.8**	**91.3**	**117.5**	**33.4**	**24.2**	**13.9**	**25.4**	**18.3**	**32.6**	**65.4**	**194.4**	**187.0**

Dados faltosos que foram completados com a média mensal

Tabela B.3 – Registros pluviométricos da estação São João da Cachoeira Grande

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1995	7.7	4.3	79.8	166.4	41.7	13.3	52.6	13.2	22.2	51.3	138.8	249.2
1996	22.6	36.7	65.6	51.9	3.4	8.9	4.6	15.9	58.7	61.0	338.5	159.2
1997	208.7	113.5	221.5	75.8	37.4	0.5	5.4	6.1	33.1	69.9	69.4	218.7
1998	133.9	12.4	61.4	15.6	98.1	0.4	7.8	9.5	2.5	40.1	154.5	110.5
1999	43.1	34.6	219.2	34.7	7.9	23.7	74.2	2.2	8.8	19.2	347.4	119.5
2000	92.9	223.6	170.5	64.3	32.2	16.2	23.9	22.6	62.3	14.9	216.1	329.2
2001	63.5	55.5	72.4	24.2	101.0	30.0	19.8	39.8	17.7	115.5	495.3	181.6
2002	349.2	216.4	42.2	24.7	42.5	34.4	10.0	29.4	86.7	11.1	94.9	133.3
2003	**113.4**	**51.5**	**125.2**	**46.6**	**40.2**	**20.0**	**21.9**	**14.6**	**25.9**	**45.7**	**185.3**	**182.2**
2004	345.4	47.5	225.5	243.0	38.7	76.2	54.0	3.5	10.5	97.9	61.6	281.6
2005	181.1	184.4	305.1	41.2	131.1	97.0	25.2	62.9	29.6	25.8	232.6	182.7
Média	**113.4**	**51.5**	**125.2**	**46.6**	**40.2**	**20.0**	**21.9**	**14.6**	**25.9**	**45.7**	**185.3**	**182.2**

Dados faltosos que foram completados com a média mensal

Tabela B.4 – Registros pluviométricos da estação Fidelândia – Montante

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1996	13.7	78.7	23.8	69.8	3.7	8.3	19.4	1.6	46.2	45.7	233.7	98.2
1997	226.0	25.6	173.0	174.0	15.6	0.0	5.4	6.9	16.2	45.3	76.4	160.2
1998	67.1	16.6	10.9	9.0	10.1	0.0	0.0	0.0	5.9	48.0	140.9	100.6
1999	48.0	41.8	213.9	53.9	0.0	2.8	41.7	2.6	12.4	40.7	284.7	228.4
2000	89.2	119.9	199.9	27.4	30.9	3.9	22.8	19.1	31.4	3.1	226.1	278.6
2001	84.0	22.7	37.2	38.3	35.6	24.6	17.0	19.6	20.1	61.1	352.1	188.8
2002	178.0	242.5	55.6	28.1	13.7	12.4	15.6	54.8	75.6	7.9	213.1	213.8
2003	**89.2**	**78.7**	**161.9**	**38.3**	**13.7**	**8.3**	**19.4**	**6.9**	**20.1**	**45.7**	**213.1**	**213.8**
2004	193.9	141.6	161.9	89.5	13.7	17.5	43.8	0.7	0.7	118.7	59.8	254.1
2005	177.7	277.5	268.3	28.2	103.3	63.8	19.7	38.5	22.4	49.5	194.2	278.2
Média	**89.2**	**78.7**	**161.9**	**38.3**	**13.7**	**8.3**	**19.4**	**6.9**	**20.1**	**45.7**	**213.1**	**213.8**

Dados faltosos que foram completados com a média mensal

Tabela B.5 – Registros pluviométricos da estação Ataléia

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1971	78.3	38.4	127.2	199.7	15.9	27.5	103.7	25.1	21.3	89.5	316.6	134.1
1972	105.4	16.7	206.1	79.4	2.3	18.8	47.9	7.8	75.4	96.8	365.3	228.4
1973	84.9	61.8	248.3	48.5	43.8	7.3	44.8	0.1	4.5	158.5	212.2	100.0
1974	163.8	71.4	263.2	106.8	25.8	37.5	10.6	11.2	15.5	88.9	95.9	66.0
1975	157.6	89.3	80.2	61.2	27.3	22.3	45.4	2.1	34.4	105.9	285.5	71.2
1976	3.9	60.5	37.9	10.4	38.8	9.3	33.9	22.9	92.0	124.4	290.3	242.5
1977	234.0	143.7	7.1	77.9	92.0	21.8	34.8	0.1	35.3	174.4	225.7	138.2
1978	128.7	271.4	117.1	165.5	104.6	20.6	161.5	37.8	62.0	165.1	63.9	97.1
1979	442.0	293.9	142.9	43.8	4.4	16.6	25.9	41.9	18.8	105.0	88.1	176.3
1980	251.8	170.2	44.9	111.3	100.5	47.7	15.3	18.9	9.1	31.1	93.8	226.9
1981	128.6	125.9	304.2	60.6	103.3	40.1	17.6	62.1	1.7	187.8	335.2	43.2
1982	293.5	76.1	163.3	76.3	51.9	12.9	47.7	81.4	25.7	44.5	25.4	130.6
1983	344.9	183.6	122.8	14.8	40.2	8.5	31.4	8.8	123.5	124.5	184.8	184.5
1984	61.7	102.2	253.5	84.0	3.9	7.1	16.4	53.1	39.3	98.5	135.1	244.3
1985	477.2	47.5	159.6	30.3	12.8	17.3	18.5	17.4	21.1	215.2	252.2	158.3
1986	154.7	81.0	16.8	42.0	23.2	37.3	13.7	71.8	0.3	167.6	161.9	99.7
1987	109.4	23.4	208.6	30.7	18.8	5.9	10.8	9.1	71.5	42.1	335.8	222.2
1988	90.7	100.8	87.0	24.5	9.9	15.6	21.9	18.3	5.7	166.5	80.9	236.9
1989	28.0	181.6	118.9	13.6	26.8	47.2	1.4	66.2	25.9	103.2	194.3	351.6
1990	23.9	131.0	77.4	56.3	48.1	13.6	26.0	49.0	18.4	56.9	156.4	126.4
1991	257.6	153.7	216.9	57.6	53.0	39.8	94.8	45.0	26.0	42.4	160.7	172.6
1992	524.7	170.6	75.8	78.7	18.8	43.3	34.2	38.5	68.4	224.0	197.8	257.7
1993	136.2	82.1	10.4	61.4	39.0	76.1	8.7	13.5	4.2	33.5	51.6	256.6
1994	112.8	25.2	224.4	159.7	12.8	36.4	17.1	7.2	0.0	26.0	283.3	165.2
1995	43.8	28.6	52.7	198.2	34.6	0.2	53.5	19.6	17.2	97.1	157.2	229.9
1996	14.4	58.4	38.3	50.6	0.0	8.8	1.0	9.0	50.1	49.7	366.8	92.0
1997	183.2	127.8	188.6	132.4	31.4	2.8	4.0	1.4	25.0	25.2	20.4	205.2
1998	33.8	7.0	43.2	7.2	8.0	1.8	0.0	1.3	0.5	22.1	218.7	128.5
1999	11.3	99.3	221.3	42.4	8.4	25.0	65.5	11.1	19.4	45.9	276.6	172.5
2000	238.1	171.2	236.0	86.1	67.9	6.9	31.0	18.1	45.8	4.5	169.2	225.4
2001	71.7	38.9	49.7	29.3	98.5	36.2	37.6	31.3	35.8	100.7	367.3	145.9
2002	295.8	300.9	149.4	57.4	45.5	24.2	24.9	36.7	133.4	16.6	189.3	120.4
2003	**132.5**	**100.1**	**135.1**	**60.1**	**29.4**	**21.2**	**26.0**	**18.6**	**23.6**	**97.0**	**191.8**	**172.6**
2004	225.5	173.0	350.1	141.5	27.0	32.8	32.4	2.4	13.6	175.8	71.3	292.6
2005	143.5	217.5	245.7	59.5	111.6	50.2	23.8	39.0	22.1	39.0	209.8	500.8
Média	**132.5**	**100.1**	**135.1**	**60.1**	**29.4**	**21.2**	**26.0**	**18.6**	**23.6**	**97.0**	**191.8**	**172.6**

Dados faltosos que foram completados com a média mensal

ANEXO C – REGISTROS EVAPORIMÉTRICOS

Tabela C.1 – Registros evaporimétricos da estação São Mateus

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1971	96.1	104.5	**97.9**	69.5	76.0	58.5	62.2	63.0	64.0	69.5	52.0	89.0
1972	107.6	115.1	103.5	102	101.4	93.5	72.5	99	95	106	100.5	79.5
1973	128.8	95.5	**97.9**	64.5	77.5	61.5	73	123.9	101.5	88.8	87	99.9
1974	103.1	87.6	77.3	95.9	67.6	83.8	88.1	98.8	99.8	98.7	106.8	94.4
1975	95.9	88	97.2	85.2	89.9	66.6	80.7	78.6	84.6	68.4	90.2	98.2
1976	138.9	116.3	106.5	100.5	70.5	76.3	64.3	83.7	65.9	79.2	72.3	100.8
1977	96.9	87.2	123.2	90.4	73.2	62.4	66	99.9	89.1	82.4	98	90.2
1978	96.1	70.4	74.8	62.9	57.2	50.5	46.4	72.4	82.4	90.9	106.8	88.7
1979	66.5	**93.9**	**97.9**	**82.2**	**74.4**	**67.2**	**70.9**	**87.0**	**84.9**	**86.4**	**82.5**	**89.0**
1980	86.5	78.4	109.3	79.1	53.7	67.3	**70.9**	83.1	78.5	105.4	**82.5**	79.7
1981	99.7	92.2	80.7	73.4	56.7	45	59.1	71.3	99.1	60	58.3	98.7
1982	64.7	68.7	70.5	60.9	47.3	46.9	54.7	54.3	59.5	90.6	108.6	96.3
1983	80.2	65.1	91.6	77.2	61.5	58.7	76.8	96.2	61.2	86.3	80.9	92.4
1984	**102.1**	**93.9**	**97.9**	**82.2**	**74.4**	**67.2**	**70.9**	**87.0**	**84.9**	**86.4**	**82.5**	**89.0**
1985	**102.1**	**93.9**	**97.9**	**82.2**	**74.4**	**67.2**	**70.9**	**87.0**	**84.9**	**86.4**	**82.5**	**89.0**
1986	81.5	70.3	**97.9**	66.8	**74.4**	68.5	60.5	65.6	86.8	82.6	68.6	83.2
1987	100.1	90.7	68	61.1	80.4	78.5	67.4	87.3	**84.9**	109.2	62.5	79.8
1988	97.5	117.1	85	76.6	74.3	71.8	84	79.1	104	69.8	76.4	80.4
1989	115.6	102.9	95.4	91.4	86.8	63.1	80.3	79.2	83.6	71.7	70.5	60.6
1990	129.4	121	124.6	110.2	89.1	**67.2**	**70.9**	**87.0**	**84.9**	**86.4**	**82.5**	**89.0**
1991	**102.1**	**93.9**	**97.9**	**82.2**	**74.4**	**67.2**	**70.9**	**87.0**	**84.9**	**86.4**	53.5	53.5
1992	53.8	53.1	56.6	56.1	51.4	51.5	**70.9**	**87.0**	**84.9**	53.4	60	51.6
1993	83	61.8	100.3	71.7	61.8	44.7	52.6	68.3	85.9	80.5	81.4	62.1
1994	75.1	81.8	69.5	50.7	44.8	49.6	53.1	74.5	60	83.6	59.8	58.6
1995	88.2	96	86.6	53.6	50.2	55.1	35.2	57.3	75.9	70.4	76.6	59.7
1996	92.7	122.3	90.3	70.8	79.2	60.1	77.3	80.2	57.1	65.9	46.7	66
1997	64.1	**93.9**	53.6	**82.2**	46.1	70.5	60	78	**84.9**	78.4	78.2	58.4
1998	**102.1**	65.1	75.5	**82.2**	**74.4**	67.8	70.7	63.7	65.9	64.8	40	55.8
1999	79.6	73.7	66.1	75.2	77.8	65.3	62.5	84.3	89.4	124.1	78.1	69.4
2000	89.4	75.3	69.6	60.6	72.3	68.2	75.9	83.6	64.8	86	60.2	75.2
2001	88.9	100.5	78.8	80.3	74.6	57	**70.9**	**87.0**	**84.9**	**86.4**	**82.5**	**89.0**
2002	**102.1**	**93.9**	**97.9**	**82.2**	78.6	52.1	61.4	75	63.1	81	73.9	72.5
2003	66	78	90.3	75.4	75.9	68.3	65.3	73.8	79.3	96.6	75.7	72.5
2004	60	57.5	49.9	45	52.5	48.5	55.4	71.1	86.6	88	82.7	63.7
2005	75.6	62.3	56.2	56.3	57.4	40.4	54.5	60	68	91.1	50.3	61.2
Média	**89.2**	**87.2**	**80.7**	**72.6**	**72.3**	**62.0**	**64.3**	**78.3**	**80.9**	**82.6**	**75.7**	**77.4**

Dados faltosos que foram completados com a normal climatológica