

RALF LANDIM REITH

**ANÁLISE DA SATISFAÇÃO DAS
MÚLTIPLAS DEMANDAS DE ÁGUA
DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA BARIRI - SP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em
Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

São Carlos
2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

R379a Reith, Ralf Landim
Análise da satisfação das múltiplas demandas de água
do reservatório da usina hidrelétrica Bariri - SP / Ralf
Landim Reith ; orientador Frederico Fábio Mauad. — São
Carlos, 2010.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e
Automação) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2010.

1. Reservatórios. 2. Bariri. 3. MIKE BASIN. 4. Usina
hidrelétrica. I. Título.

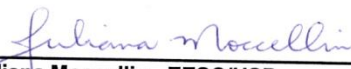
FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Ralf Landim Reith

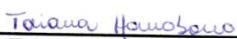
Título: "Análise da Satisfação das Múltiplas Demandas de Água do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Bariri - SP"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 30 / 11 / 2010,

com NOTA 8,5 (oito, cinco), pela comissão julgadora:



Dra. Juliana Moccellini - EESC/USP



Msc. Taiana Homobono - EESC/USP



Prof. Associado Homero-Schiabel
Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica
EESC/USP

Agradecimentos

Agradeço e dedico este trabalho a muitas pessoas que foram importantes para a sua realização:

Ao Professor Dr. Frederico Fábio Mauad, pela oportunidade e pelo tempo dedicado às minhas dúvidas;

À toda equipe do STI, em especial Roberto Ragonezi, Ricardo Cerra e Evandro Gonçalves por compreenderem meus atrasos;

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, em especial Carlos Goldenberg, Dennis Brandão, Edson Gesualdo, Evandro Rodrigues e Jerson Vargas;

Aos meus colegas e amigos da faculdade que de alguma forma, direta ou indiretamente, me ajudaram durante o curso;

A todos os meus amigos que durante estes meses compreenderam meu afastamento;

Por fim, principalmente aos meus pais, Carlos Reith e Isabel Reith, e a minha namorada, Natália lemma, pelo carinho, paciência, suporte material e psicológico para que eu me dedicasse exclusivamente a minha graduação.

A todos vocês, muito obrigado!

Sumário

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	viii
Lista de Siglas	ix
Resumo	x
Abstract	xi
1. Introdução	1
2. Objetivos	2
3. Revisão Bibliográfica.....	3
3.1. Conflitos pelo Uso da Água.....	3
3.2. A Gestão de Recursos Hídricos.....	4
3.3. Legislação Federal Referente à Gestão dos Recursos Hídricos	5
3.4. Legislação Estadual Referente à Gestão dos Recursos Hídricos em São Paulo .	8
3.5. Técnicas de Análise de Sistemas de Recursos Hídricos.....	8
3.6. Sistemas de Suporte a Decisão	9
4. Características Gerais da Área Estudada.....	12
4.1. Características da UGRHI – 13.....	12
4.1.1. Localização e Vizinhança	12
4.1.2. Sub-Bacias	14
4.1.3. Clima	15
4.1.4. Geologia, Geomorfologia e Pedologia	16
4.1.5. Balanço Hídrico	16
4.1.6. Caracterização Sócio-Econômica.....	18
4.2. Características da Bacia de Contribuição do Reservatório de Bariri	19
4.2.1. A Usina Hidrelétrica Álvaro Souza de Lima – Bariri	19
4.2.2. Caracterização do Reservatório de Bariri	20
4.2.3. Demanda de Recursos Hídricos	25

4.2.4.	Dados de Precipitação.....	25
4.2.5.	Aspectos Sócio-Econômicos	25
5.	Metodologia	26
5.1.	Caracterização do Modelo Computacional MIKE BASIN	26
5.1.1.	Prioridades de Usuários.....	28
5.1.2.	Rios	28
5.1.3.	Reservatórios	28
5.1.4.	Abastecimento Urbano e Industrial	29
5.1.5.	Usinas Hidrelétricas.....	29
5.2.	Modelagem da UHE Bariri	29
6.	Modelagem do Reservatório da UHE Bariri.....	31
7.	Resultados.....	34
8.	Conclusões	36
	Referências Bibliográficas.....	37

Lista de Figuras

Figura 1 - Arquitetura de um SSD.....	10
Figura 2 - Localização da UGRHI - 13 no Estado de São Paulo.	13
Figura 3 - UGRHI - 13 detalhada.	14
Figura 4 - Sub-Bacias da UGRHI – 13.	15
Figura 5 - UHE Bariri.....	20
Figura 6 - Localização do reservatório da UHE Bariri e seus principais tributários.....	22
Figura 7 - Relação entre cota e volume para o reservatório da UHE Bariri.	23
Figura 8 - Relação entre cota e área para o reservatório da UHE Bariri.....	23
Figura 9 - Vazão média anual afluente ao reservatório de Bariri (1931 a 2008).....	24
Figura 10 - Conceito do modelo MIKE BASIN.....	26
Figura 11 - Tela Inicial do ArcView GIS 3.3 com o pacote MIKE BASIN 2000.....	27
Figura 12 - Rede de Fluxo.	31
Figura 13 - Vazão mensal afluente ao reservatório de Barra Bonita (1966 a 2008).....	33
Figura 14 - Vazão mensal afluente ao reservatório da UHE Bariri (1966 a 2008).	33
Figura 15 - Resultado da Simulação para UHE Bariri.	34
Figura 16 - Resultado da Simulação para o Reservatório da UHE Bariri.....	35

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Balanço Hídrico da UGRHI – 13.....	17
Tabela 2 - Classificação da Disponibilidade Hídrica.....	17
Tabela 3 - Relação Demanda/Disponibilidade da UGRHI – 13.	18
Tabela 4 - Características da UHE Bariri.	19
Tabela 5 - Características morfométricas do Reservatório da UHE Bariri.	21
Tabela 6 - Demandas Hídricas na área de estudo em 2008.	25
Tabela 7 - Componentes da Rede de Fluxo.....	32

Lista de Siglas

ANA	Agência Nacional de Águas
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CRHEA	Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DHI	<i>Danish Hydrualic Institute</i>
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FIAPI	Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SSD	Sistemas de Suporte a Decisão
SNIRH	Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UHE	Usina Hidrelétrica
USP	Universidade de São Paulo

Resumo

Neste trabalho de conclusão de curso foram estudados vários temas relacionados à gestão de recursos hídricos, dentre eles as técnicas de análise aplicáveis, modelos matemáticos, conflitos pelos múltiplos usos da água e legislação tanto federal quanto estadual. A UGRHI – 13 foi detalhadamente estudada visando conhecer suas características administrativas, climáticas, hídricas e sócio-econômicas, com ênfase na região onde esta localizada o reservatório da Usina Hidrelétrica Álvaro de Souza Lima (UHE Bariri). Foram pesquisados e analisados os dados de demandas para diversos usos da água e os conflitos para um cenário real atual no reservatório da UHE, por meio do *software* MIKE BASIN 2000, avaliando-se o atendimento às demandas hídricas requeridas para os diversos setores usuários presentes. Os resultados finais mostram a satisfação da geração de energia e o atendimento as demandas hídricas superficiais do reservatório.

Palavras-Chave: Bariri; Reservatório; MIKE BASIN; Usina Hidrelétrica

Abstract

This paper was done to analyze the data about current demands for many users of water related with Bariri hydroelectric power plant in the state of São Paulo. The main objective was to provide results based on technical and scientific criteria that allowed a right analysis of the proper use of water. To make this study, it was needed to know the urban and industrial demands of water, watering animals, irrigation, and how much are the demands for electric power generation. The software used in the analysis was the mathematical model MIKE BASIN 2000, a quantitative simulation software that uses optimization techniques in a georeferenced database in the evaluation of many scenarios. It was possible to identify the water availability to meet many uses of water resources against growing demands and the different hydrological conditions, minimizing conflicts on its multiple uses.

Keywords: Bariri; reservoir; MIKE BASIN; hydropower plant

1. Introdução

A água, recurso natural renovável dotado de valor econômico, é de grande importância para manutenção da vida. Para a humanidade, o uso da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e social de uma região. Além disso, a sociedade moderna ampliou consideravelmente a diversidade de usos da água, acarretando o aparecimento de demandas conflitantes.

O desenvolvimento econômico, aliado ao crescimento populacional, são considerados agentes causadores da redução da disponibilidade hídrica de uma localidade, forçando a necessidade de obter água em regiões cada vez mais distantes.

O problema da falta de água em quantidade e qualidade satisfatória é um dos maiores desafios do século 21. A escassez de água causa conflitos entre os diversos usuários fazendo necessária a elaboração de planos de gestão que minimizem os conflitos entre os múltiplos usos da água.

No cenário mundial, não só as populações que habitam regiões áridas do mundo, mas também as que habitam regiões de clima tropical e temperado vem discutindo as questões relacionadas à demanda e oferta de água.

No cenário brasileiro, este problema deixou de ser exclusivo apenas da região nordeste, passando a atingir várias regiões do país. Atualmente o Brasil conta com uma lei que tem como um de seus objetivos assegurar a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade satisfatórias para as gerações futuras. A lei cita como instrumentos de gestão os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes segundo seus usos, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pela utilização dos recursos hídricos e o sistema nacional de informação sobre recursos hídricos.

2. Objetivos

A meta principal deste trabalho foi estudar o histórico de satisfação das demandas hídricas do reservatório da UHE Bariri, através de simulação utilizando o software MIKE BASIN 2000, desenvolvido pelo *Danish Hydrualic Institute* da Dinamarca, fornecido pelo Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da USP de São Carlos.

Conseqüentemente, o aprofundamento nos conhecimentos que cercam o tema, visando à boa qualidade da simulação e a correta interpretação dos resultados, surgiu como meta secundária do trabalho.

3. Revisão Bibliográfica

As decisões relacionadas aos recursos hídricos são de caráter complexo e devem ser tomadas por gestores capacitados, com domínio sobre os diversos conhecimentos que cercam o assunto e com auxílio de um sistema de apoio.

3.1. Conflitos pelo Uso da Água

Água é um recurso finito e esta intrinsecamente ligada ao crescimento econômico e social. Fins humanos, irrigação, industrial e recreação, constituem os principais usos da água que dependem de quantidades suficientes para sua realização. Tais usos associados ao crescimento demográfico e aumento do uso intensivo de água podem afetar na quantidade de água disponível para consumo (FRANCZYK; CHANG, 2008).

A atenção pelos direitos do uso da água tem aumentado nos últimos anos em decorrência da escassez hídrica e da competição pelo uso desse recurso. A delineação dos direitos de uso dos recursos hídricos é uma tarefa que se torna complexa à medida que os gestores levam em consideração os usos múltiplos da água (DICK; BAKKER, 2001).

A gestão dos usos múltiplos dos mananciais constitui um desafio tanto para a administração pública quanto para as organizações civis, sendo que a questão consiste em saber como garantir os usos múltiplos com prioridade para o abastecimento público, quando a degradação dos recursos hídricos tem chegado a um ponto crítico, cuja origem é eminentemente social e técnica (DELL PRETTE, 2002).

Segundo Lanna (1997) os conflitos de uso das águas podem ser classificados em conflitos de destinação de uso, conflitos de disponibilidade qualitativa e conflitos de disponibilidade quantitativa. O primeiro acontece quando a água é utilizada para fins que não estão citados em leis ou decisões políticas fundamentadas no desejo da sociedade. Os conflitos de disponibilidade qualitativa é o caso típico de uso em corpos de água poluídos. Os conflitos de disponibilidade quantitativa referem-se a situações decorrentes do esgotamento da disponibilidade quantitativa devido ao uso intensivo.

Segundo Damázio (2000 apud MACEDO e SILVA, 2003), o conflito pelo uso das águas pode apresentar alguns componentes, tais como: decisores (grupo de pessoas que podem ser prejudicadas ou beneficiadas pelas possíveis soluções do conflito), opções

(ações que podem ser tomadas ou não pelo decisor), estratégias (decisão do decisor), estágios (situação que se encontra a decisão do conflito), estados ou cenários (conjunto de estratégias selecionadas por cada decisor), dentre outros.

Para resolução do problema de conflito, o primeiro passo é identificar o tipo do mesmo através do levantamento de suas origens, causas, efeitos e os atores sociais, e assim propor medidas para sua solução. Tais medidas podem ser estruturais, quando se vê a necessidade da construção de estruturas, buscando a modificação do rio, e as medidas que lidam não com a modificação de um rio, mas com a convivência harmoniosa junto ao mesmo, são as não estruturais, indispensáveis para alcance do sucesso de qualquer projeto na gestão das águas. Essa visão dos conflitos sob a ótica das medidas estruturais e não-estruturais tem o intuito de facilitar o processo decisório tornando-o mais claro e otimizado, a partir da identificação das soluções mais apropriadas e compatíveis com o conflito já devidamente identificado (MACEDO e SILVA, 2003)

3.2. A Gestão de Recursos Hídricos

A gestão de recursos hídricos se faz necessário de modo a disciplinar o desperdício e a poluição associada a todas as formas de utilização dos recursos hídricos. Nesse contexto, a proposta de gestão dos recursos hídricos considera a importância da água para a manutenção da vida humana e dessedentação de animais associada à diminuição da disponibilidade e da deterioração da qualidade (FARCALANZA, 2002).

Segundo Theodoro; Figueiredo e Beke (2004), a gestão ambiental, na qual se encontra inserida a gestão dos recursos hídricos, caracteriza-se por ser o conjunto de ações que envolvem as políticas públicas, o setor produtivo e a sociedade, visando o uso racional e sustentável dos recursos ambientais, englobando ações de caráter político, legal, administrativo, econômico, científico, tecnológico, de geração de informações e de articulação entre estes diferentes níveis de atuação. As principais funções da gestão ambiental são: o Planejamento definido com o intuito de determinar ações efetivas de gestão; a Organização que trata das relações entre os atores envolvidos no processo decisório de modo a atingir os objetivos propostos; a Direção que trata do comportamento dos atores envolvidos e o Controle que tem por finalidade a comparação entre os índices de desempenho com os padrões previamente estabelecidos.

Segundo Tundisi (2003), no final do século XX, novas iniciativas na legislação de recursos hídricos e na organização das instituições responsáveis direta e indiretamente pelo assunto começaram a ser implementadas em muitos países. Essas ações decorreram no reconhecimento de que sem evolução na legislação e sem novas formas de gestão dos recursos hídricos é impossível implantar os avanços da tecnologia e da participação dos atores sociais.

3.3. Legislação Federal Referente à Gestão dos Recursos Hídricos

A lei 9.433, sancionada em 8 de Janeiro de 1997 pelo então presidente Fernando Henrique Cardoso, define a então Política Nacional de Recursos Hídricos e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Antes desta lei, a experiência brasileira na gestão dos recursos hídricos teve início pelo Decreto nº 24.643 em 10 de Julho de 1934, que estabeleceu o Código das Águas.

Segundo Lacorte (1994) o código das águas veio atender as novas necessidades urbano-industriais que na época começaram a mudar o foco do meio rural para o meio urbano e para tal fazia-se necessário a viabilização de geração de energia elétrica por meio de hidrelétricas.

Segundo Pioltine (2009), o Código das Águas define os tipos de propriedade da água como sendo águas públicas, comuns e particulares. Às águas publicas podem ser de uso comum ou dominial. As águas publicas de uso comum são os mares territoriais incluindo golfos, baías, enseadas e portos, os cursos de água, canais, lagos e lagoas navegáveis ou não, as fontes e reservatórios públicos e também as nascentes. As águas publicas dominiais são todas as águas situadas em terrenos que também o sejam, quando as mesmas não forem de domínio público de uso comum ou não forem comuns. As águas comuns são os cursos de água não navegáveis ou flutuáveis. As águas particulares são as nascentes e todas as águas situadas em terrenos que também o sejam, quando as mesmas não estiverem classificadas entre as águas comuns de todos, as águas publicas ou as águas comuns.

Em seu artigo nº 51, o Código das Águas aborda o assunto dos usos múltiplos da água dizendo que as condições de derivação do recurso hídrico em regulamento administrativo, deveria ser realizada de modo a conciliar com outros usos que a água possa ser utilizada. No artigo nº 71 determina que o uso da água para fins de

necessidades humanas terá sempre prioridade em relação aos outros usos. O artigo nº 36 diz que “O uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, conforme as leis e regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem”. O artigo nº 109 deixa claro que a ninguém é lícito contaminar as águas que não consomem acarretando prejuízos a terceiros. O artigo nº 110 diz que “os trabalhos para a salubridade das águas serão executados à custa dos infratores, que, além da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e pelas multas que lhes forem impostas nos regulamentos administrativos. O artigo nº 43 diz que “As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública e, não se verificando, de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes” e também determina que toda concessão ou autorização terá um prazo de trinta anos. O artigo nº 46 esclarece que a concessão ou autorização não dá a propriedade da água para o usuário, e sim apenas o direito do usuário em utilizar um determinado volume de água por um prazo determinado.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída em 8 de Janeiro de 1997, é baseada nos seguintes fundamentos:

- I. A água é um bem de domínio público;
- II. A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III. Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV. A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar os usos múltiplos da água;
- V. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos;
- VI. A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Os instrumentos de gestão utilizados pela Política Nacional de Recursos Hídricos, descritos no artigo nº 5, para atingir seus objetivos são:

- Planos de Recursos Hídricos
- Enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes da água

- Outorga de direito de uso dos recursos hídricos
- Cobrança do Uso de Recursos Hídricos
- Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos

Os planos de recursos hídricos são planos diretores que visem fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos mesmos.

O enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes da água tem por objetivo assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é um mecanismo que permite o conhecimento e o controle por parte do administrador público das quantidades de água utilizadas pelos usuários. Sua importância reside na capacidade de atenuar, ou mesmo eliminar, os conflitos de uso, via de regra, motivados pela escassez de água em algumas bacias ou regiões hidrográficas (FERNANDEZ; GARRIDO, 2002).

A cobrança do uso de recursos hídricos tem por objetivos básicos o reconhecimento da água como bem econômico e incentivar o uso racional dos recursos hídricos, além de obter dinheiro para investimentos em projetos e pesquisas contemplados pelos Planos de Recursos Hídricos. Os mecanismos de cobrança, assim como os valores a serem cobrados são de responsabilidade dos Comitês de Bacia Hidrográfica.

O Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informação sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. O SNIRH deve reunir, dar consistência e divulgar dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil, além de atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território nacional e fornecer subsídios para elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

A lei nº 9.984, sancionada pelo Governo Federal em 7 de Julho de 2000, dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas. A ANA é uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de implementar, em sua esfera de atribuições, a Política Nacional de Recursos Hídricos, integrando o Sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos. Dentre as atribuições da ANA destacam-se a outorga, por intermédio de autorização o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União, implementar a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos e organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

3.4. Legislação Estadual Referente à Gestão dos Recursos Hídricos em São Paulo

Os recursos hídricos são citados na constituição do Estado de São Paulo na Seção II dos artigos 205 a 213. No artigo nº 205 é assegurado à utilização do uso racional dos recursos hídricos com prioridades primeiras para o consumo humano, assim como são citados os usos múltiplos e a gestão descentralizada. O artigo nº 208 estabelece a proibição de lançamento de efluentes urbanos e industriais em corpos de água sem os corretos tratamentos, visando manter uma boa qualidade da água.

A lei nº 7.663, sancionada em 30 de Dezembro de 1991, estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

3.5. Técnicas de Análise de Sistemas de Recursos Hídricos

A Análise de Sistemas de Recursos Hídricos é uma tarefa complexa na busca de soluções para problemas na Engenharia de Recursos Hídricos, a partir da abordagem sistêmica e do uso de técnicas computacionais agregadas à modelagem matemática. A análise de tais sistemas mostra dois propósitos referentes aos recursos hídricos: simular o comportamento da realidade que eles representam e otimizar a decisão que atuam sobre a realidade (PORTO; AZEVEDO, 1997).

Pegden (1990) afirma que “a simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

Diferente da simulação, a programação matemática consiste de problemas de otimização onde uma função objetivo deve ser minimizada ou maximizada, respeitando um conjunto de restrições.

A gestão integrada dos recursos hídricos contempla o aspecto do ciclo da água nas esferas ecológicas, climatológicas, hidrológicas, sociais e econômicas. A principal tarefa para uma gestão integrada dos recursos hídricos se refere à conciliação da disponibilidade hídrica qualitativa e quantitativa com as características de qualidade e quantidade requeridas por uma determinada demanda. Nesse contexto, os modelos de simulação realizam a tarefa de representar o sistema de modo que se possa estudar o comportamento quando algumas variáveis são modificadas (KOCH; GRUNEWALD, 2000).

Ferramentas de otimização são utilizadas para facilitar a tomada de decisão em planejamento, projeto e operação em larga escala de sistemas de recursos hídricos. Essas ferramentas têm sido um dos principais componentes dos SSD, não somente aplicado a recursos hídricos superficiais, mas também na gestão de aquíferos, operação de reservatórios, controle de poluição no meio ambiente, geração hidrelétrica, irrigação, etc. A aplicação de otimização tem se tornado uma tarefa desafiadora em recursos hídricos devido ao grande número de variáveis de decisão envolvidas e, também, devido a natureza probabilística das múltiplas variáveis de entrada nos modelos que descrevem os processos em recursos hídricos (DATTA; HARIKRISHNA, 2004).

3.6. Sistemas de Suporte a Decisão

Um sistema de suporte a decisões é um sistema baseado em computador que auxilia o tomador de decisões a utilizar dados e modelos para resolver problemas não estruturados. Um dos SSDs mais freqüentemente utilizados é um pacote de planilha. Um tomador de decisões constrói um modelo e examina o impacto da mudança em determinadas variáveis ou suposições (LUCAS, 2006).

Segundo Lucas (2006), os sistemas de suporte a decisão dividem-se em sistemas orientados a dados e sistemas orientados a modelos. Um sistema orientado a dados fornece ferramentas para a manipulação e análise de dados. Diversos tipos de testes estatísticos podem ser executados e os dados podem ser combinados de diferentes

maneiras para exibição. Um sistema baseado em modelos geralmente possui algum tipo de modelo matemático de decisão sendo apoiado.

Segundo Porto e Azevedo (1997), do ponto de vista teórico, para a integração e gerenciamento da qualidade e quantidade de água não há grandes dificuldades, porém na prática tal tarefa é complexa e raramente realizada, sendo caracterizada por ser um dos maiores desafios a ser alcançado por engenheiros e técnicos que trabalham com recursos hídricos.

A tomada de decisão a respeito de sistemas de recursos hídricos deve considerar obrigatoriamente aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais. Os conflitos pelos recursos hídricos aumentam à medida que as demandas crescem, aumentando também a complexidade dos sistemas de recursos hídricos (PORTO; AZEVEDO, 1997).

A arquitetura de um SSD é mostrada na Figura 1, onde se pode identificar como componentes básicos a base de dados, a base de modelos e a interface de diálogo. Os tomadores de decisão devem ter plena consciência de que o SSD não tem por finalidade tomar decisões e sim auxiliar a tomada de decisão (PIOLTINE, 2009).

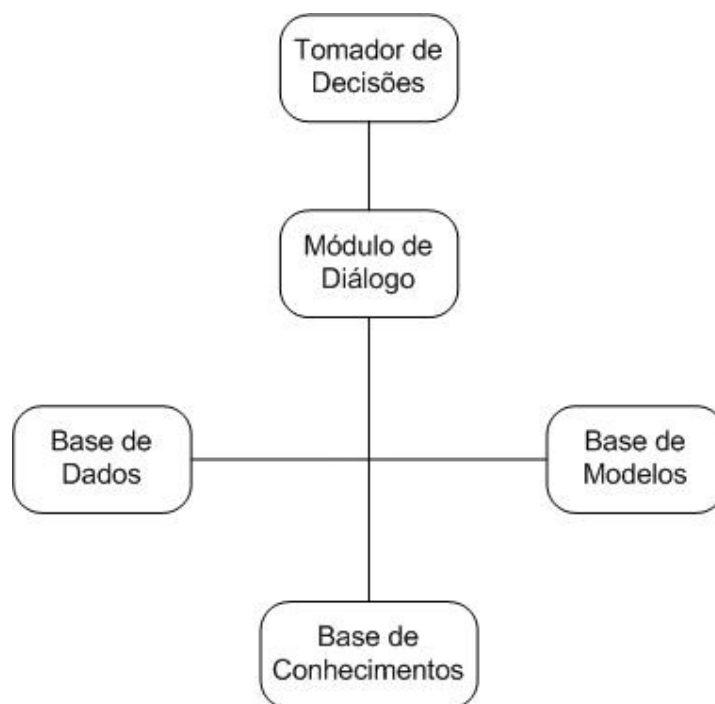


Figura 1 - Arquitetura de um SSD.

Fonte: PORTO; AZEVEDO, 1997

O Módulo de Diálogo realiza a comunicação entre usuário e computador sendo responsável pelo recebimento das instruções e por processá-las sob a forma de consultas (PORTO; AZEVEDO, 1997).

Segundo Braga; Barbosa e Nakayama (1998), a interface usuário/sistema deve ser amigável no sentido de não promover barreiras que impeça o uso interativo do sistema.

A Base de Conhecimento permite acoplar ao SSD informações que geralmente não podem ser tratados pelos outros componentes, porém são indispensáveis para a tomada de decisão (PORTO; AZEVEDO, 1997).

Os modelos presentes na Base de Modelos fornecem recursos para análise em um SSD, utilizando representações matemáticas e algoritmos especialmente desenvolvidos para um determinado problema (BRAGA; BARBOSA; NAKAYAMA, 1998).

A Base de Dados recebe, identifica e armazena as séries de informações, na qual podem ser recuperadas a qualquer instante pelo usuário para análise e modelagem de sistemas. Outra característica importante é a de apresentar uma flexibilidade de modo que o usuário possa acrescentar alterar ou excluir dados de forma rápida e fácil (BRAGA; BARBOSA; NAKAYAMA, 1998).

Segundo Porto e Azevedo (1997), estes sistemas devem ser focados no problema a ser analisado e não obrigatoriamente na utilização das melhores e mais avançadas técnicas. Com isso, tem-se que o melhor SSD é aquele que, independente das técnicas e tecnologia utilizadas, induzi as melhores decisões.

Sistemas de Suporte a Decisão aplicados ao meio ambiente e recursos hídricos devem reunir os conhecimentos de especialistas em tais áreas e analisar conflitos que ocorrem ou que possam ocorrer com a projeção de cenários e apresentar os resultados de forma que se possa balizar a tomada de decisão por parte dos gestores (ROQUE, 2003).

4. Características Gerais da Área Estudada

A área estudada compreende o reservatório da usina hidrelétrica Álvaro de Souza Lima, também conhecida por UHE Bariri, localizada no estado de São Paulo e na UGRHI - 13.

A partir da localização citada, as informações contidas neste capítulo foram retiradas do Plano de Bacia da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos Nº13 – UGRHI 13 (Relatório – Minuta 340/08) e da Elaboração da Revisão do Plano da Bacia da UGRHI 13 – Relatório Técnico 402/08.

4.1. Características da UGRHI – 13

4.1.1. Localização e Vizinhança

A UGRHI -13 (Tietê/Jacaré) localiza-se no centro do Estado de São Paulo, conforme mostrado na Figura 2, fazendo parte da Diretoria regional do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) da Bacia do Baixo Tietê, na divisa com a Bacia do Médio Tietê. Ela faz limite a nordeste com a UGRHI – 9 (Mogi-Guaçu), a leste e a sudeste com a UGRHI – 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí), a sul com as UGRHI – 10 (Tietê/Sorocaba) e UGRHI – 17 (Médio Paranapanema) e a norte e oeste com a UGRHI – 16 (Tietê/Batalha).



Figura 2 - Localização da UGRHI - 13 no Estado de São Paulo.

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico 402/08

Dentro da UGRHI encontram-se 16 municípios totalmente inseridos (Areiópolis, Bariri, Boa Esperança do Sul, Bocaina, Boracéia, Brotas, Dourado, Gavião Peixoto, Itaju, Itapuú, Jaú, Macatuba, Nova Europa, Pederneiras, Ribeirão Bonito e Trabiju) e 18 municípios com partes de seus territórios em UGRHI adjacentes.

A UGRHI – 13 é apresentada visualmente detalhada na Figura 3.

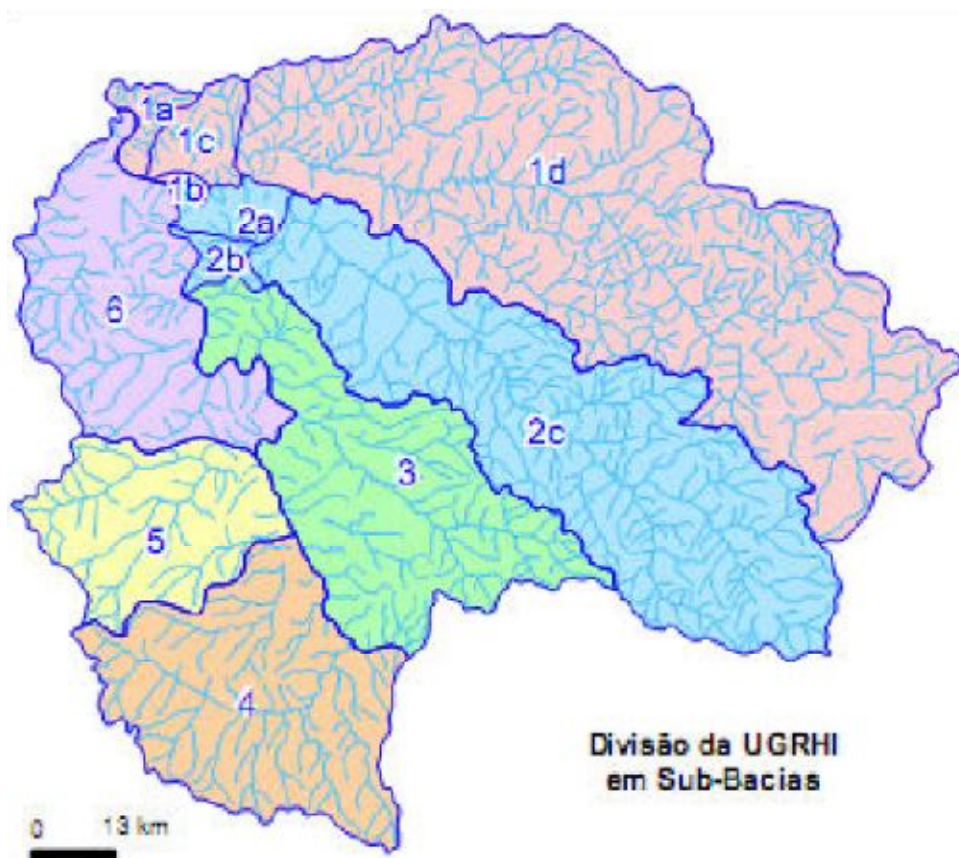


Figura 4 - Sub-Bacias da UGRHI – 13.

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico 402/08

4.1.3. Clima

O clima tropical, caracterizado por apresentar períodos secos e úmidos definidos, é predominante na UGRHI – 13. As Massas Equatoriais e Tropicais são as que mais atuam na área da Bacia.

De acordo com as classificações climáticas e dados de postos pluviométricos, a URGHI – 13 está compreendida na unidade Cuestas Basálticas, subunidade São Carlos/São Pedro, e na unidade Oeste, subunidade Vale Médio do Rio Tietê. A média pluviométrica da UGRHI – 13 está entre 1.500mm e 2.000mm por ano, onde o período mais chuvoso ocorre entre outubro e março, sendo que as chuvas se concentram mais entre Dezembro e Fevereiro, e o período mais seco vai de Abril a Setembro, apresentando picos entre Junho e Agosto.

4.1.4. Geologia, Geomorfologia e Pedologia

As unidades geológicas que afloram na área da UGRHI – 13 são os sedimentos clásticos predominantemente arenosos e as rochas ígneas basálticas do Grupo São Bento (Mesozóico da Bacia do Paraná), as rochas sedimentares do Grupo Bauru (pertencentes à Bacia do Bauru, do Cretáceo Superior), os sedimentos pertencentes à Formação Itaqueri e depósitos correlatos (das Serras de São Carlos e Santana), de idade cretácea e cenozóica, e pelos depósitos aluvionares associados à rede de drenagem, além dos coluviões e eluviões.

A UGRHI – 13 está inserida na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista e das Cuestas Basálticas, segundo subdivisão geomorfológica do estado de São Paulo.

Os solos da UGRHI – 13, no que se refere à profundidade e a organização do perfil, formam dois conjuntos principais:

- Solos pedologicamente desenvolvidos caracterizados por apresentarem horizontes superiores com alteração pronunciada dos minerais originais e desenvolvimento pedogenético bastante influenciado pelas condições climáticas da região, com tendência à latossolização ou podzolização dos perfis.
- Solos caracterizados por apresentar alteração incompleta dos minerais constituintes do substrato pedogenético, cujo desenvolvimento condiciona-se a situações específicas do meio em que se encontram, tais como: ambientes com drenagem interna deficiente, áreas de alta declividade, planícies fluviais e substrato essencialmente quartzoso.

4.1.5. Balanço Hídrico

De acordo com dados do DAEE (2008) as demandas cadastradas e registradas para a UGRHI – 13, o balanço hídrico se caracteriza da seguinte maneira conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Balanço Hídrico da UGRHI – 13.

Sub-Bacia	Disponibilidade Hídrica (m³/s)			Lançamentos (m³/s)	Demandas Cadastradas (m³/s)	
	$Q_{7,10}$	50% $Q_{7,10}$	Aquíferos Confinados		Captação	Poços
1	16,30	8,15	7,80	4,80	16,20	5,50
2	10,40	5,20	5,00	1,40	3,90	0,80
3	5,90	2,95	2,80	2,30	4,90	0,90
4	4,80	2,40	2,70	0,40	5,60	1,20
5	3,30	1,65	4,50	2,10	5,20	2,30
6	4,10	2,05	2,20	0,30	0,90	0,10
Total	44,80	22,4	22,00	11,30	36,70	10,80

Fonte: CPTI, 2008b

A Disponibilidade Hídrica Local, definida pela Deliberação nº 90 do CRH, é baseada na relação demanda/disponibilidade que considera como disponibilidade hídrica para cálculo a soma do volume disponível em aquíferos e a vazão $Q_{7,10}$. A classificação da Disponibilidade Hídrica Local pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação da Disponibilidade Hídrica.

Disponibilidade Hídrica Local	Demanda/Disponibilidade
Muito Alta	(< 0,25)
Alta	(0,25 – 0,4)
Média	(0,4 – 0,5)
Crítica	(0,5 – 0,8)
Muito Crítica	(> 0,8)

Fonte: Deliberação nº 90 do CRH

A UGRHI – 13 apresenta uma relação demanda/disponibilidade muito crítica em três das seis Sub-Bacias. Nas outras duas a relação melhora, atingindo os níveis crítico, médio e alto. De maneira geral, a UGRHI – 13 apresenta uma relação muito crítica de demanda/disponibilidade como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação Demanda/Disponibilidade da UGRHI – 13.

Sub-Bacia	Demanda (m ³ /s)	Disponibilidade* (m ³ /s)	Demanda/Disponibilidade
1	21,70	20,75	1,05
2	4,70	11,60	0,41
3	5,80	8,05	0,72
4	6,80	5,50	1,24
5	7,50	5,25	1,43
6	1,00	4,55	0,22
Total	47,50	55,70	0,85

*Disponibilidade = (50% $Q_{7,10}$ + Aquífero Confinado + Lançamentos)

Fonte: Fundamentos para Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos na Bacia do Tietê – Jacaré, 2009

4.1.6. Caracterização Sócio-Econômica

A UGRHI – 13 segue a tendência de crescimento do interior do estado de São Paulo, que foi baseada no avanço da cafeicultura no final do século XIX. O cultivo do café, bem como a expansão da ferrovia para o escoamento dessa produção, foram responsáveis pela formação de vários municípios pelo interior do estado de São Paulo. Na UGRHI – 13, o processo de ocupação foi mais intenso entre 1870, que corresponde ao início da atividade cafeeira, e 1929, início da crise do café.

A UGRHI – 13 apresenta uma economia bastante diversificada, com destaque para o complexo sucro-alcooleiro e plantio e processamento de cítricos.

A atividade sucro-alcooleira é formada pela produção do açúcar e do álcool, envolvendo a mesma matéria prima, a cana-de-açúcar, mas abastecendo mercados distintos: bem final de consumo ou insumo para a indústria de alimentos e insumo para a indústria química ou combustível para motores de automóveis. O complexo sucro-alcooleiro estende-se por quase toda área desta UGRHI.

O cultivo de citrus, notadamente laranja, concentra-se nas imediações de São Carlos e Araraquara, sendo que este último município destaca-se no processamento de cítricos.

Outros setores destacam-se na UGRHI – 13, tais como: bebidas e papel, nos municípios de Agudos, Araraquara e Bauru; calçados em Jaú; tecidos e metal mecânica,

em São Carlos; bordados, em Ibatinga; turismo, em Barra Bonita e Igaraçu do Tietê, com o aproveitamento da represa e da eclusa de Barra Bonita.

A UGRHI – 13 apresenta uma infra-estrutura de transporte privilegiada. Integra essa rede a hidrovía Tietê-Paraná, as rodovias Marechal Rondon e Washington Luiz, além de uma malha ferroviária eletrificada e em funcionamento. Várias outras rodovias cortam a área da UGRHI, interligando seus municípios.

A região é cortada pelo gasoduto Bolívia-Brasil, que atravessa os municípios de Iacanga, Gavião Peixoto, Ribeirão Bonito, Ibaté, Itirapina, Ibatinga, Boa Esperança do Sul, Araraquara e São Carlos.

4.2. Características da Bacia de Contribuição do Reservatório de Bariri

A região de estudo onde se realizou a simulação computacional para análise de atendimento às demandas requeridas compreende área de drenagem referente ao reservatório da UHE Bariri, que é formado pelos rios Jau, Bauru, Lençóis e Tietê.

4.2.1. A Usina Hidrelétrica Álvaro Souza de Lima – Bariri

A Usina Hidrelétrica Álvaro de Souza Lima, também chamada de Usina de Bariri, teve o início da operação em 05/10/1965. A Eclusa tem comprimento útil de 137 m, largura útil de 11 m, calado máximo de 2,50 m, desnível máximo de 24 m.

As características da UHE Bariri são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características da UHE Bariri.

Características	
Cota Máxima Útil (m)	427,50
Cota Mínima Útil (m)	426,50
Potência Instalada (MW)	136,8
Tensão Nominal (kV)	138
Barragem	Terra/Concreto

Fonte: AES Tietê (www.aestiete.com.br)

A Figura 5 mostra uma foto da UHE Bariri.

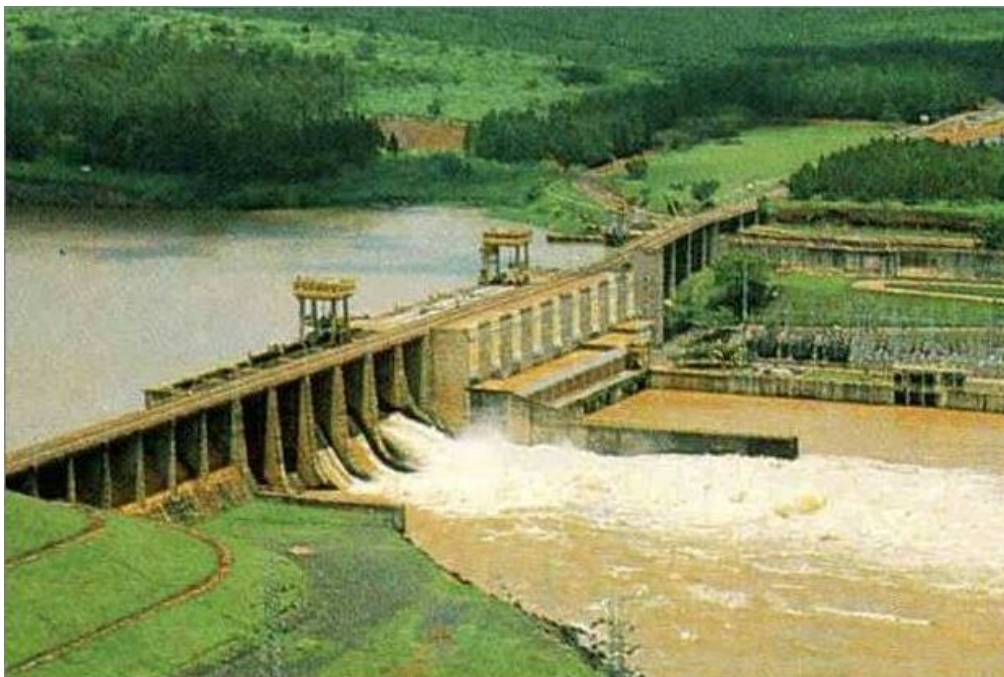


Figura 5 - UHE Bariri.

Fonte: <http://www.transportes.gov.br>

4.2.2. Caracterização do Reservatório de Bariri

O reservatório de Bariri é o segundo da série em cascata do rio Tietê. Medindo um total de 846 metros de comprimento, este reservatório foi concluído em 1969. Está situado no trecho a jusante do reservatório de Barra Bonita e a montante do reservatório de Ibitinga. As principais características do reservatório são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características morfométricas do Reservatório da UHE Bariri.

Características	
Área alagada (km²)	64
Profundidade média (m)	8,6
Volume total (10⁶. m³)	544
Tempo de residência (dias)	7-24
Vazão média anual (m³/s)	443
Ano de Conclusão	1969

Fonte: PIOLTINE (2009).

O reservatório possui como principais tributários as sub-bacias dos rios Jaú, Bauru, Lençóis e Tietê. A localização do reservatório, assim como seus principais tributários, pode ser vista na Figura 6.

Segundo Rezende (2003), a área de drenagem do reservatório de Bariri possui aproximadamente 3621,5 km², possuindo o equivalente a 1,8% destas áreas inundadas (aproximadamente 64 km²), envolvendo 18 municípios. Com cerca de 60 quilômetros de extensão, possui uma capacidade de armazenamento de aproximadamente quinhentos e quarenta quatro milhões de metros cúbicos (544.000.000 m³).



Figura 6 - Localização do reservatório da UHE Bariri e seus principais tributários.

Fonte: Google Maps

O reservatório possui como cota máxima operacional e mínima operacional 427,5 m e 427,0 m respectivamente. Isto se deve ao fato de haver restrições de montante para não prejudicar a travessia do *Ferry-Boat* Boracéia-Itapuí, localizada a montante da barragem (ONS, 2008).

Na Figura 7 e na Figura 8 são mostradas as curvas que relacionam a cota altimétrica com o volume do reservatório e a cota altimétrica com a área do reservatório respectivamente.

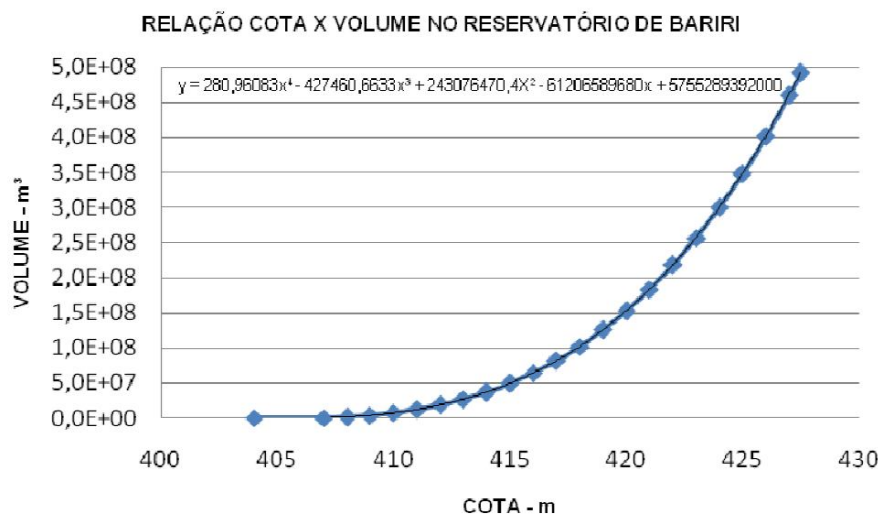


Figura 7 - Relação entre cota e volume para o reservatório da UHE Bariri.

Fonte: Levantamento batimétrico e geração da curva cota-área-volume da Represa de Bariri –
Convenio USP – AES Tietê

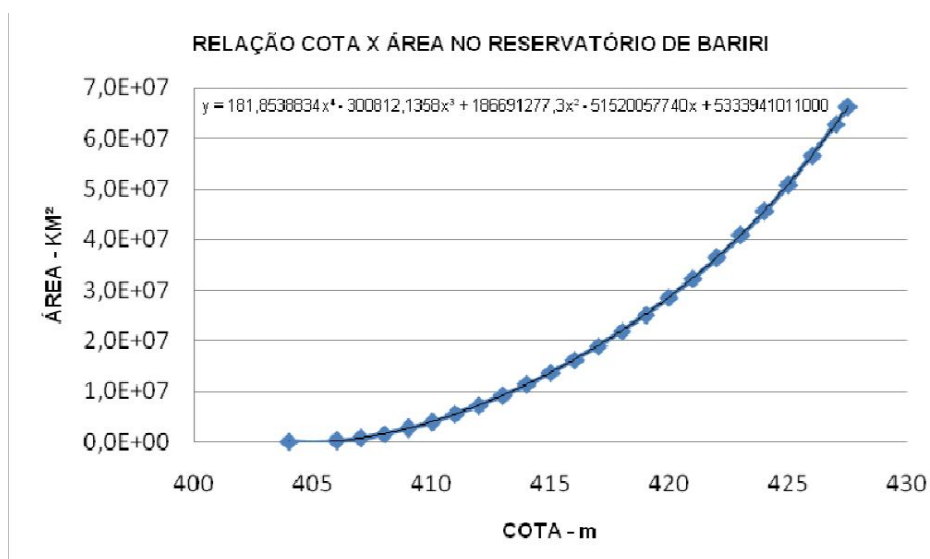


Figura 8 - Relação entre cota e área para o reservatório da UHE Bariri.

Fonte: Levantamento batimétrico e geração da curva cota-área-volume da Represa de Bariri –
Convenio USP – AES Tietê

O setor elétrico tem adotado o termo vazão natural para identificar a vazão que ocorreria em uma seção do rio, se não houvesse as ações antrópicas na sua bacia contribuinte. Tais como regularizações de vazões realizadas por reservatórios, desvios de

água, evaporações em reservatórios e usos consuntivos (irrigação, criação animal e abastecimento urbano, rural e industrial).

Os dados de vazão natural afluente ao reservatório de Bariri, durante o período de 1931 a 2008, foram obtidos pelas séries de vazões médias mensais divulgadas por ONS (2009) e com esses dados, foi elaborado o gráfico de vazão média anual do reservatório de Bariri, representado na Figura 9.

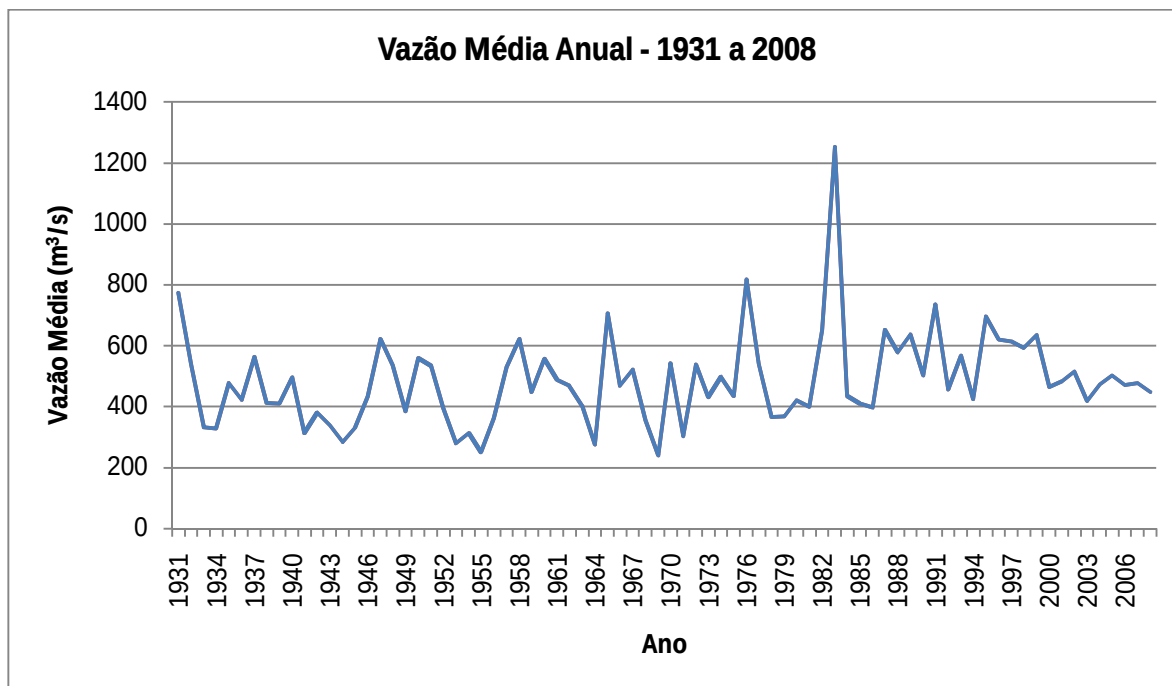


Figura 9 - Vazão média anual afluente ao reservatório de Bariri (1931 a 2008).

Fonte: Vazões Médias Anuais divulgadas pela ONS (2009)

Observa-se na Figura 9 que o menor valor de vazão média anual ocorreu no ano de 1969 com $241 \text{ m}^3/\text{s}$ e o maior valor de toda série histórica ocorreu no ano de 1983 com $1253 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo que a média anual de toda série histórica foi de $487 \text{ m}^3/\text{s}$.

De acordo com dados publicados pela ONS (2004), o reservatório de Bariri possui uma evaporação líquida anual de 481 mm.

4.2.3. Demanda de Recursos Hídricos

Conforme citado anteriormente, a região de estudo onde se realizou a simulação computacional compreende a área de drenagem referente ao reservatório da UHE Bariri, que é formado pelos rios Jau, Bauru, Lençóis e Tietê, ou seja, os dados das Sub-Bacias 3, 4 e 5.

Os dados de demandas dos recursos hídricos da área de estudo foram retirados do Relatório Técnico MINUTA 340/08 – Plano de Bacia da UGRHI – 13.

Tabela 6 - Demandas Hídricas na área de estudo em 2008.

Nº	Sub-Bacia	Vazão Total (m³/s)
3	Sub-Bacia do Rio Jaú	4,90
4	Sub-Bacia do Rio Lençóis	5,60
5	Sub-Bacia do Rio Bauru	5,20

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico 402/08

4.2.4. Dados de Precipitação

Segundo Castro (2008), foi utilizado uma precipitação média anual de 1300 mm, considerando que 75% dessa precipitação ocorreu de forma equitativa entre Outubro e Março e 25% dessa precipitação ocorreu também de forma equitativa entre Abril e Setembro.

4.2.5. Aspectos Sócio-Econômicos

Segundo Minillo (2005), pode-se destacar como usos no entorno do reservatório, aqueles relacionados com atividades urbanas, industriais e agropecuárias, com grandes áreas de pastagens e de cultivo de cana-de-açúcar, café, milho e citrus. Vale ressaltar também que suas águas são utilizadas não somente para irrigação, mas também como transporte hidroviário, turismo e geração de energia hidroelétrica.

5. Metodologia

5.1. Caracterização do Modelo Computacional MIKE BASIN

A modelagem computacional do reservatório da UHE Bariri foi realizada a partir do uso do modelo MIKE BASIN 2000. É um modelo que possui tecnologia mais avançada disponível atualmente na questão de análise de recursos hídricos e vem sendo apresentado como uma nova e versátil ferramenta de suporte a decisões no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.

O MIKE BASIN 2000 foi desenvolvido pela empresa dinamarquesa *Danish Hydrualic Institute - DHI Water & Environment*, e permite a representação de uma bacia hidrográfica, incluindo os rios principais e tributários, a hidrologia da bacia no espaço e no tempo e os vários esquemas de demanda de água, sendo que o modelo é estruturado em uma rede de arcos e nós digitalizada no ambiente do ArcView do Sistema de Informações Geográficas.

O esquema apresentado na Figura 10 mostra os principais dados de entrada e a resposta do modelo de simulação.

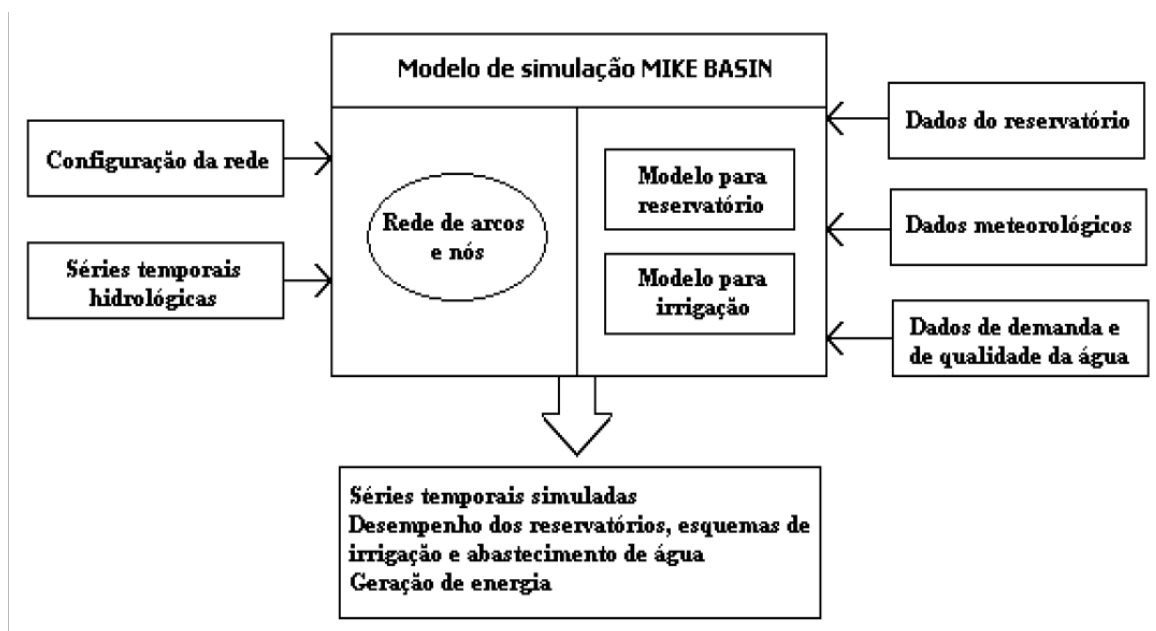


Figura 10 - Conceito do modelo MIKE BASIN

Fonte: PIOLTINE (2009)

A Figura 11 mostra a tela inicial do ArcView GIS 3.3 com o pacote MIKE BASIN 2000 exibindo um dos exemplos que acompanham o pacote.

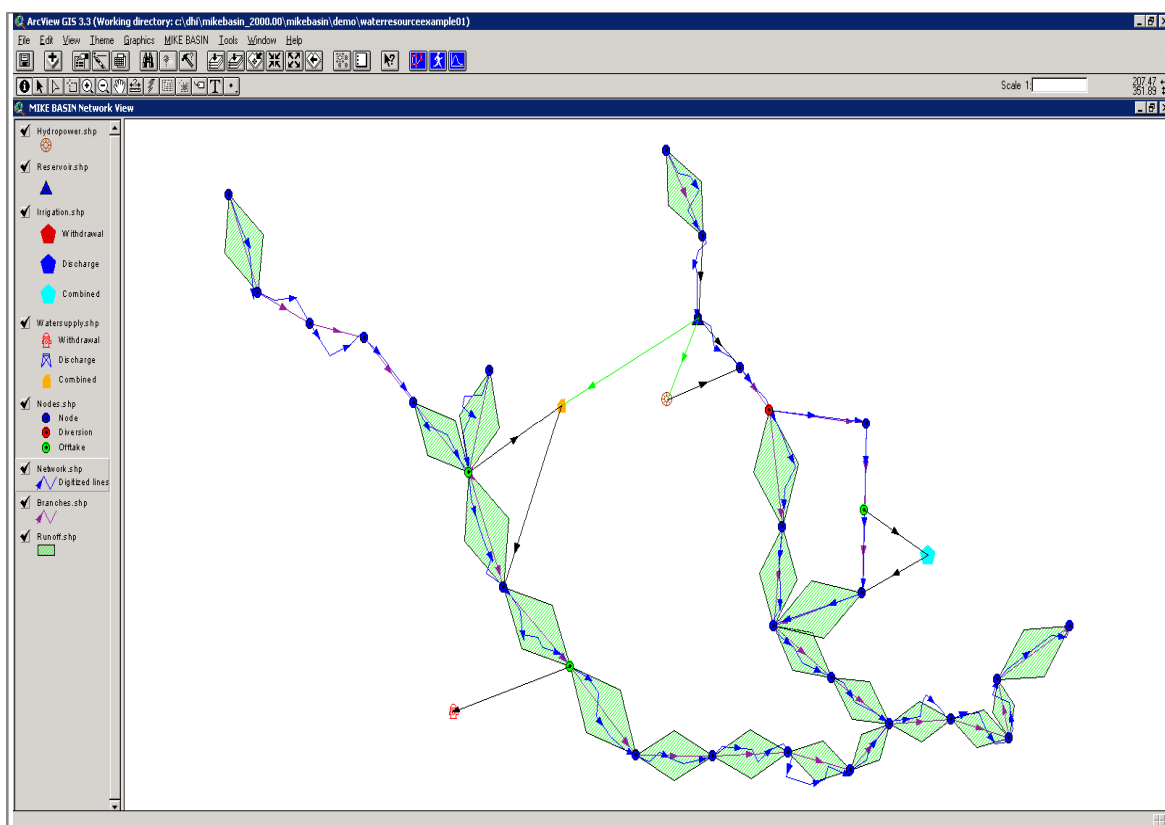


Figura 11 - Tela Inicial do ArcView GIS 3.3 com o pacote MIKE BASIN 2000

Para este trabalho, após a familiarização com o software, foi montado um cenário virtual para simulação da área de estudo para o ano de 2008, considerando que tal ano representou as condições atuais de demandas hídricas.

Os resultados fornecidos pelo modelo MIKE BASIN 2000, foram exportados ao Microsoft Excel a fim de serem tratados visando facilitar a interpretação dos mesmos. A partir destes dados foram traçados os gráficos que facilitaram a visualização dos resultados da simulação.

5.1.1. Prioridades de Usuários

Em situações onde a quantidade de água disponível é inferior a demanda, o MIKE BASIN permite estabelecer prioridades entre os usuários conflitantes. O problema pode ser solucionado através de duas alternativas: *local priority rules*, onde as prioridades são aplicadas apenas entre usuários de um mesmo nó, e *global priority rule*, onde as prioridades são aplicadas para todos os nós, atingindo todos os usuários do sistema.

5.1.2. Rios

Os rios são representados pelos arcos que realizam a conexão entre dois nós. Os arcos são desenhados automaticamente entre os usuários dos recursos hídricos (abastecimento urbano e industrial, irrigação, usinas hidrelétricas) e os nós podem indicar captação ou lançamento de efluente.

5.1.3. Reservatórios

Os reservatórios são simulados individualmente através das curvas de regras operacionais. As curvas de regra definem o volume de armazenamento, nível da água e vazão como função do nível do reservatório e do tempo.

O primeiro tipo de reservatório que pode ser modelado, chamado de *Standard Reservoir*, considera o reservatório como um único armazenamento físico e todos os usuários captam água do mesmo volume disponível.

O segundo tipo, chamado de *Allocation Pool Reservoir*, tem um armazenamento físico, mas os usuários da água possuem, individualmente, certos volumes de armazenamento destinados a eles e outro volume que tem a finalidade de garantir uma liberação mínima que garanta à sustentabilidade do rio a jusante do reservatório.

Definido o tipo de reservatório, deve-se fornecer o nível do reservatório, em metros, existente no início da simulação. Deve ser estabelecida a prioridade dos diversos usos que captam água do reservatório e é possível definir se há perdas no trajeto entre o reservatório e os usuários.

5.1.4. Abastecimento Urbano e Industrial

Existem três tipos de esquema para abastecimento urbano e industrial: captação, lançamento e a combinação dos dois. Os dados necessários são as séries de demanda, a fração de água captada nos aquíferos e a fração de água que retorna aos rios.

5.1.5. Usinas Hidrelétricas

O MIKE BASIN pode calcular a geração de energia em conexão com a operação de reservatórios. Os principais dados necessários são a potência gerada pela usina, o nível da água a jusante da barragem e a eficiência das turbinas. O cálculo da potência gerada se dá pela Equação 1.

$$P = \Delta h \cdot Q \cdot \eta \cdot g \cdot \rho \quad (1)$$

Na Equação 1, P corresponde à potência gerada em [W], Δh corresponde à carga hidráulica em [m], Q corresponde à vazão turbinada em [m^3/s], η corresponde à eficiência das turbinas, g corresponde à constante de aceleração da gravidade em [m/s^2] e ρ corresponde à massa específica da água em [kg/m^3].

5.2. Modelagem da UHE Bariri

Conhecidas as características da UGRHI – 13, a UHE Álvaro de Souza Lima, também chamada de UHE Bariri, passou a ser estudada com finalidade de levantar seus parâmetros de funcionamento, características do reservatório, séries de vazões e outros.

As características de geração de energia como, por exemplo, níveis de água operacionais, potência gerada, dados de evaporação e precipitação e curvas que relacionam a área e o volume do reservatório foram levantadas de trabalhos realizados pelo Núcleo de Hidrometria da EESC através de um convênio entre a AES Tietê e a FIPAI. Os dados fluviométricos foram retirados de relatórios publicados pela ONS, referentes a postos fluviométricos localizados na área estudada. As informações sobre as

demandas hídricas foram retiradas do Relatório Zero, Plano de Bacia da UGRHI – 13 e da Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI – 13.

6. Modelagem do Reservatório da UHE Bariri

O reservatório da UHE Bariri, assim como suas principais sub-bacias foram modeladas por meio de uma rede de fluxo, utilizando o modelo MIKE BASIN 2000.

O cenário modelado representa as condições do reservatório para o ano de 2008 que, a partir dos dados obtidos, descrevem as condições atuais.

Para a simulação, foi considerado que todos os usos nas sub-bacias dos rios Jaú, Lençóis e Bauru ocorram diretamente no reservatório da usina Bariri formada pelo rio Tietê.

A Figura 12 mostra a rede de fluxo utilizada pelo modelo MIKE BASIN 2000 para a realização da simulação. Os componentes que formam a rede de fluxo podem ser vistos na Tabela 7.

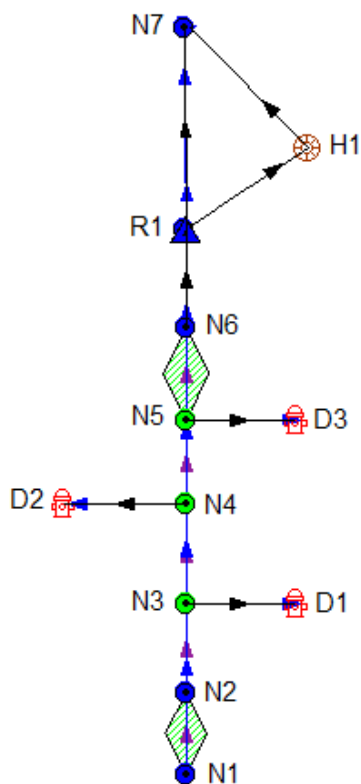


Figura 12 - Rede de Fluxo.

Tabela 7 - Componentes da Rede de Fluxo.

Símbolo	Descrição
H1	UHE Bariri
R1	Reservatório da UHE Bariri
D1	Demanda Hídrica da Sub-Bacia do Rio Lençóis
D2	Demanda Hídrica da Sub-Bacia do Rio Bauru
D3	Demanda Hídrica da Sub-Bacia do Rio Jaú
N1	Início da Rede de Fluxo – Jusante da UHE Barra Bonita
N2	Vazão Afluente ao Reservatório da UHE Barra Bonita
N3	Ponto de Captação de água (D1)
N4	Ponto de Captação de água (D2)
N5	Ponto de Captação de água (D3)
N6	Vazão Afluente ao Reservatório da UHE Bariri
N7	Final da Rede de Fluxo

A simulação foi realizada para o período de Janeiro de 1966 até Dezembro de 2008.

Na Rede de Fluxo apresentada na Figura 12, o desvio de água para alimentação de H1 não existe na realidade, consistindo apenas de uma adaptação para a simulação, uma vez que a UHE Bariri esta localizada no eixo do rio Tietê.

Os valores das demandas referentes à D1, D2 e D3 foram retirados da Tabela 6, onde os valores representam a soma de todas as demandas por tipo de usuário.

Os pontos N2 e N6, que representam as vazões afluentes aos reservatórios das UHE Barra Bonita e UHE Bariri respectivamente, foram alimentados com dados das séries históricas das vazões, desde 1966 até 2008. A Figura 13 apresenta o gráfico da vazão mensal da UHE Barra Bonita e a Figura 14 apresenta o gráfico da vazão mensal da UHE Bariri.

O reservatório foi simulado pelo tipo *Standard Reservoir*, com volume constante (explicado pelo fato da UHE Bariri trabalhar a fio d água) em $6,07.10^6 m^3$ e em um nível inicial de 427,5 m.

Para esta simulação, a UHE Bariri operou em tempo integral, visando à geração de sua potência máxima (136,8 MW).

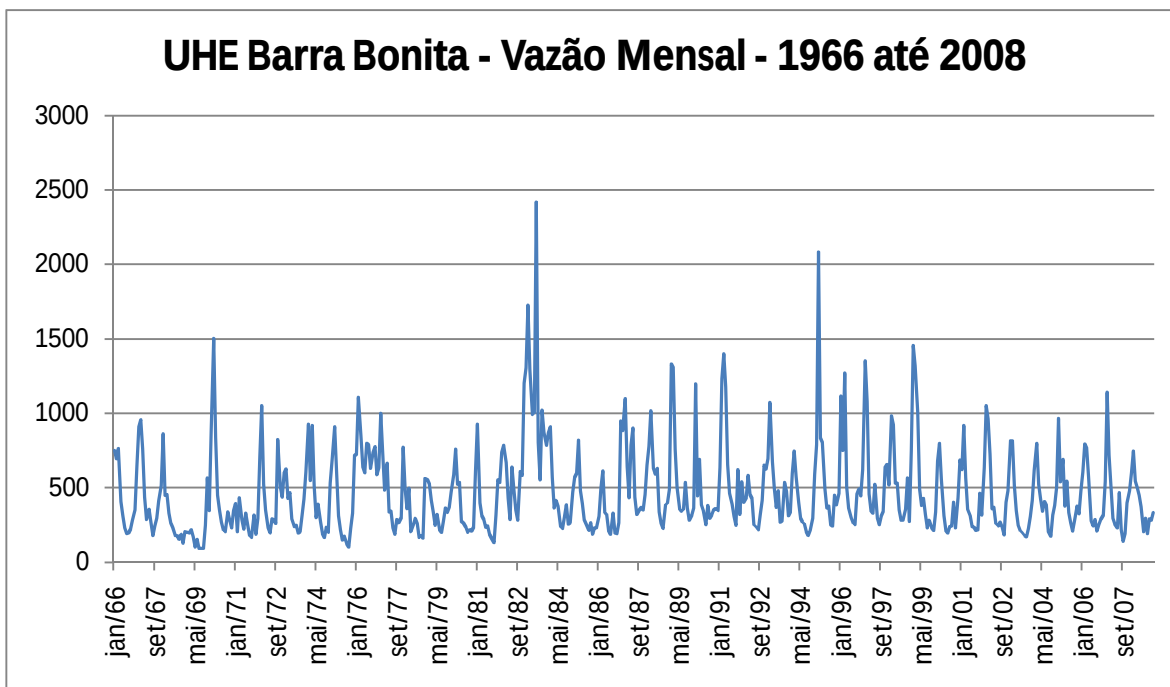


Figura 13 - Vazão mensal afluyente ao reservatório de Barra Bonita (1966 a 2008).

Fonte: Vazões Médias Anuais divulgadas pela ONS (2009)

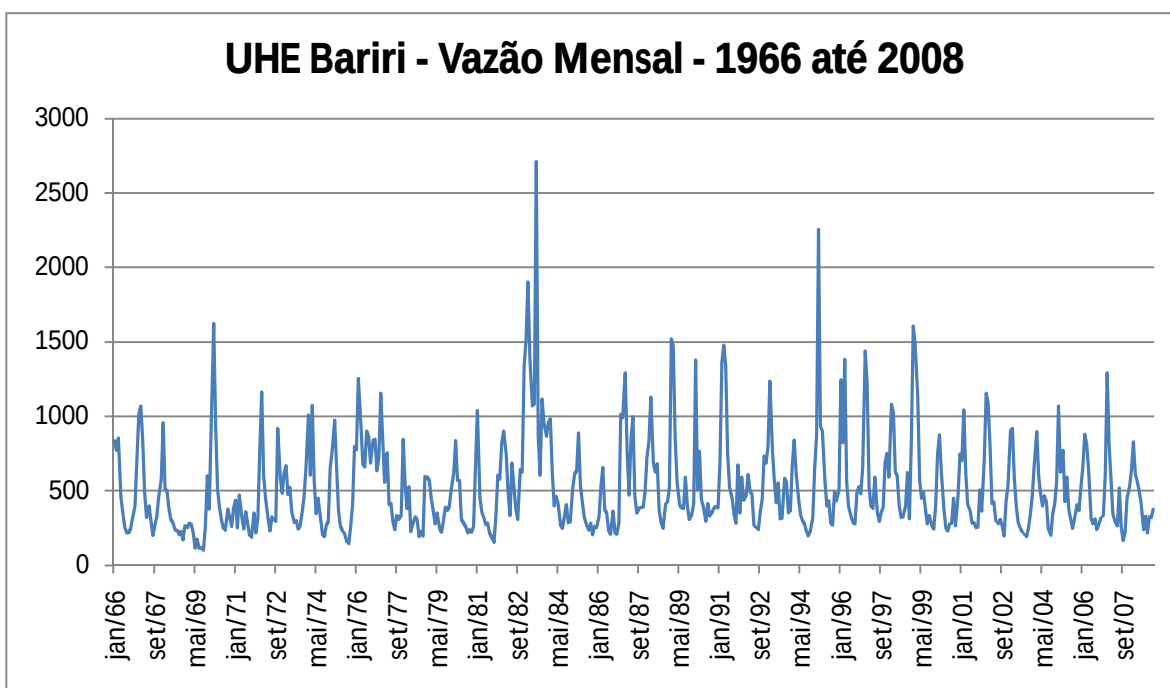


Figura 14 - Vazão mensal afluyente ao reservatório da UHE Bariri (1966 a 2008).

Fonte: Vazões Médias Anuais divulgadas pela ONS (2009)

7. Resultados

As demandas dos rios Lençóis, Bauru e Jaú, representadas pelos pontos D1, D2 e D3, foram atendidas com uma satisfação de 100% em todo período simulado, porém não foi possível separar as demandas por setor usuário devido a falta de informações consistentes tais demandas.

A satisfação na meta de produção de energia, assim como a energia gerada e o déficit hídrico estão representados na Figura 15.

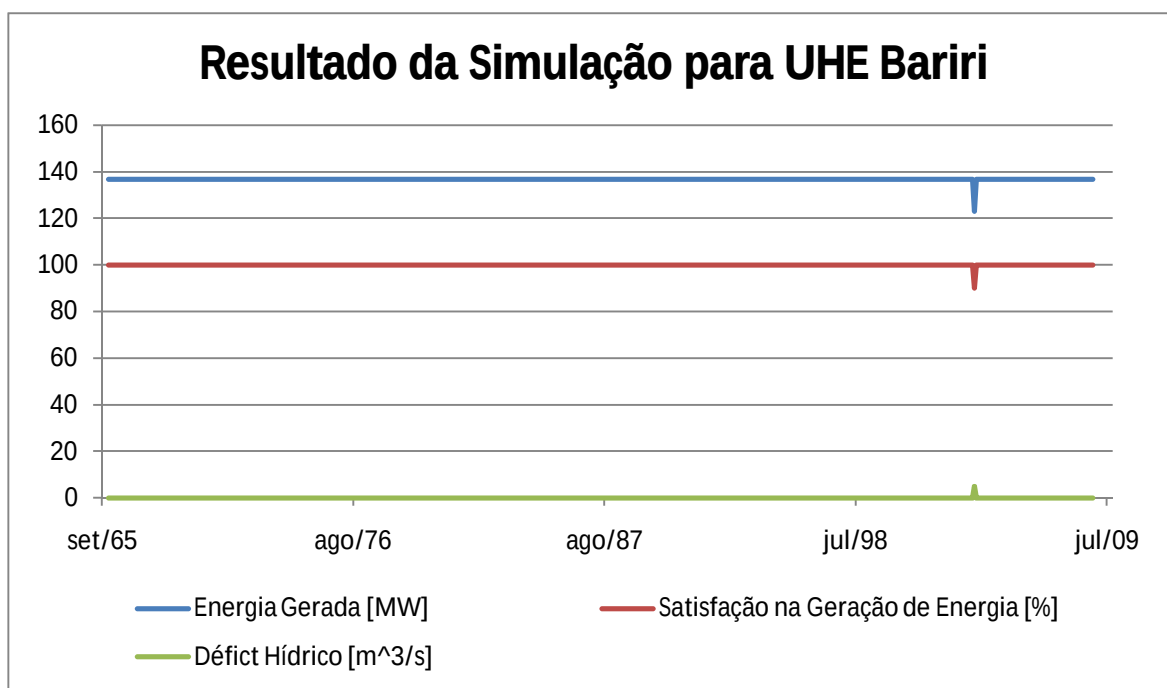


Figura 15 - Resultado da Simulação para UHE Bariri.

Através dos resultados da simulação da UHE Bariri pelo MIKE BASIN 2000, representados no gráfico da Figura 15, no mês de Outubro do ano de 2003 houve um déficit hídrico de 5,0 m³/s que ocasionou uma queda de 13,8 MW na geração de energia elétrica, resultando em uma satisfação do sistema de 90%.

No restante do período simulado, não houve falhas no sistema, acarretando numa geração de 136,8 MW pela UHE Bariri.

O armazenamento no reservatório e a vazão utilizada pela UHE Bariri são mostrados no gráfico da Figura 16.

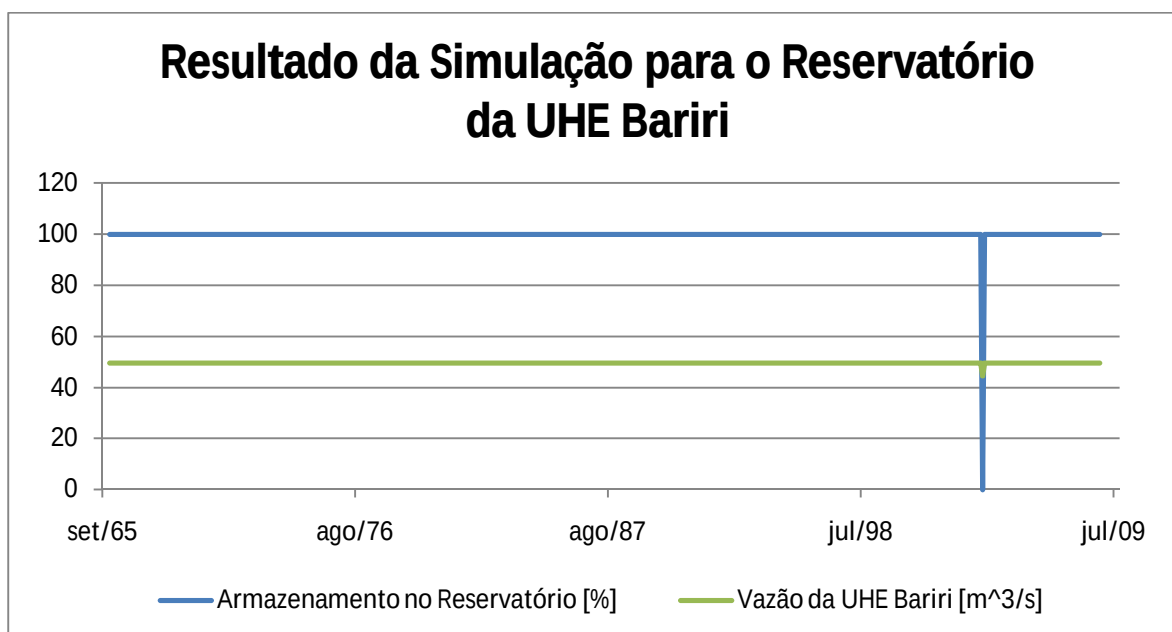


Figura 16 - Resultado da Simulação para o Reservatório da UHE Bariri.

Através dos resultados da simulação do Reservatório da UHE Bariri pelo MIKE BASIN 2000, representados no gráfico da Figura 16, no mês de Novembro do ano de 2003 houve uma redução da porcentagem de armazenamento no reservatório de 100% para 0%. Tal situação é explicada pela baixa vazão de entrada, 6,815 m³/s, no mês anterior que associada a valores de precipitação, uso para geração de energia e evaporação provou uma diminuição do nível da água da cota 427,5 m para a cota 427,0 m. É importante ressaltar que para fins de simulação e devido a restrições de utilização, o reservatório possui nível máximo e mínimo operacional os valores 427,5 m (100%) e 427,0 m (0%).

Também no mês de Novembro de 2003, houve uma queda de 5,035 m³/s na vazão utilizada pela UHE Bariri. Essa redução também pode ser vista na queda da geração de energia elétrica mostrada no gráfico da Figura 15.

No restante do período simulado, o reservatório manteve-se em 100% de sua capacidade de armazenamento, fornecendo vazão suficiente para geração de 136,8 MW.

8. Conclusões

A partir dos resultados da simulação mostrados anteriormente, conclui-se que há quantidade de água superficial suficiente para atender as demandas hídricas da área estudada tendo em vista as demandas atuais.

Os resultados também mostram que a satisfação das demandas superficiais foi de 100% em todo período estudado. Já a satisfação na geração de energia foi total em quase todo período estudado, com apenas uma exceção onde apresentou uma queda de 10%.

O MIKE BASIN 2000 mostrou-se um modelo matemático extremamente versátil e de relativa facilidade de utilização, constituindo ferramenta poderosa no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. É importante ressaltar que sistemas de suporte a decisão são extremamente úteis para a gestão dos recursos hídricos, mas representam apenas um auxílio na tomada de decisão, visto que aspectos sociais e econômicos não são englobados pelo mesmo, ficando a cargo do gestor a interpretação dos resultados.

Referências Bibliográficas

AES – Tietê – Disponível em: <http://www.aestiete.com.br>

ANA – Agência Nacional de Águas – Disponível em: <http://www.ana.gov.br>

BRAGA B., BARBOSA, P. S. F., NAKAYAMA, P. T.; **Sistema de suporte a decisão em recursos hídricos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 3, 73-95. (1998).

Fundamentos para Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos na Bacia do Tietê – Jacaré. (2009). Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê - Jacaré.

DALMO, F. C.; **Simulação de Demandas de Recursos Hídricos Utilizando Sistema de Informações Geográficas e o Modelo de Simulação MIKE BASIN, no Trecho do Reservatório de Ibitinga no rio Tietê e seus Afluentes**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009

DATTA, B., HARIKRISHNA, V.; **Optimization Applications in Water Resources Systems Engineering**. (2004).

DEL PRETTE; **Gestão de recursos hídricos e conflitos sociais**. Espaço & Geografia, Vol. 5, 135-151. (2002).

DICK, R.; BAKKER, M.; **Water Rights and multiple water uses**. Irrigation and Drainage Systems 15: 129-148. (2001)

Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê/Jacaré (UGRHI 13). (2008). Relatório Técnico nº 402/08

FRACALANZA, A. P.; **Reservatório Billings: apropriação da água, conflitos e gestão**. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2002, Indaiatuba. Anais, 2002. 1-24.

FARNCZYK, J., CHANG, H.; **Spatial Analysis of water use in Oregon, USA, 1985-2005.** Water Resource Manage 11269-008-9298-9. (2008).

Google Maps – Disponível em: <http://maps.google.com>

KOCH, H., GRUNEWALD, U.; **A Comparison of Modeling Systems for the Development and Revision of Water Resources Management Plans.** Water Resource Manage DOI 10.1007/s11269-008-93333-x. (2008).

LACORTE, A. C.; **Gestão de Recursos Hídricos e Planejamento Territorial: As experiências brasileiras no gerenciamento de bacias hidrográficas.** 1994. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LANNA, A. E.; **Introdução.** In: Porto, R. L. et AL. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre: ABRH, Editora da Universidade URRGS, 1997. 15 – 40.

LIMA, G.; PEIXOTO, L. S.; MAUAD, F. F.; **A Aplicação do Modelo de Simulação MIKE BASIN 2000 no Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos.** In: XXII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods em Engineering, Campinas, 2001.

LUCAS, H. C.; **Tecnologia da informação: tomada de decisão estratégica para administradores.** Rio de Janeiro: LTC, 2006.

MACEDO E SILVA, A.; **Gestão de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas urbanas.** 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, 2003.

MAIA, J. L.; **Técnicas para o gerenciamento quanti-qualitativo de reservatórios com usos múltiplos da água: estudo de caso do reservatório de Barra Bonita – SP.** 2009. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MAZZA, M. O.; **Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos Aplicados na Usina Hidrelétrica de Barra Bonita – SP**. Dissertação (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009

Ministério dos Transportes – Disponível em: <http://www.transportes.gov.br>

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Atualização de Séries Históricas de Vazões – Período 1931 a 2008**. ONS RE-3/235/2009. Rio de Janeiro, 2009.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Evaporações Líquidas nas Usinas Hidrelétricas**. ONS RE-3/214/2004. Rio de Janeiro, 2004.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos**. ONS RE-3/201/2008. Rio de Janeiro, 2008.

PEDGEN, C. D.; **“Introduction to Simulation Using SIMAN”**. (1990).

PEIXOTO, L. S.; MAUAD, F. F.; LIMA, G.; **Análise Computacional de Conflitos Hídricos Utilizando Índices de Desempenho: Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade**. II Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste Campo Grande, 2002.

PIOLTINE, V.; **Análise do atendimento às demandas hídricas superficiais no reservatório da usina Bariri (SP) utilizando o simulador computacional Mike Basin**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009

Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê/Jacaré (UGRHI 13). (2007). Relatório Técnico nº 340/08 – Minuta.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T.; **Sistemas de Suporte à Decisão aplicados a problemas de recursos hídricos**. In: Porto R. L. L., Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS. 1997.

Relatório de Situação dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica Tietê – Jacaré.
(2009). Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê - Jacaré.

ROQUE, W.; SALLES, P.; STRUSS, P.; HELLER, U.; **Sobre o design de um sistema de suporte a decisão para estações de tratamento de água.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Brasil. (2003).

THEODORO, S. H.; FIGUEIREDO, P. M.; BEKE, Z.; **Gestão ambiental: uma prática para mediar conflitos socioambientais.** II Encontro Nacional de Pesquisa e Pós Graduação em Ambiente e Sociedade, Indaiatuba, 2004.

TUNDISI, J. G.; **Água no século XXI: Enfrentando a escassez.** São Carlos. RiMA, Instituto Internacional de Ecologia IIE, 2003.