

**SIMULAÇÃO EM TEMPO REAL COMO
FERRAMENTA DE DECISÃO NO GERENCIAMENTO
DE ESTOQUES DE ÁGUA DE RESERVATÓRIOS**

Adelena Gonçalves Maia

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Swami Marcondes Villela

São Carlos
2002

“é crime contra a humanidade acumular alimentos, dinheiro e poder
até causar miséria e morte...”

(Oráculo do Senhor Deus da Vida)

A Deus e a meus pais, por mais esta oportunidade.

AGRADECIMENTOS

Ao meu professor, orientador e amigo Swami Marcondes Villela, por todo o incentivo e apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto, através da bolsa de estudo concedida.

Ao geólogo Caio Mário Dias Nou pela orientação durante estágio realizado na Geohidro Engenharia, quando me decidi a seguir estudos na área de recursos hídricos.

Aos professores de graduação da Universidade Federal da Bahia (UFBA), em especial a Yvonilde Dantas Pinto Medeiros e Carlos Alberto de Carvalho Heleno pelos conselhos e recomendações para inscrição no curso de mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (EESC-USP).

A todos os professores, funcionários e amigos da EESC-USP, em especial ao professor Fazal Hussain Chaudhry.

Aos profissionais que me ajudaram na complementação do trabalho, como o colega Guilherme de Lima da EESC-USP, Ricardo de Sousa Rodrigues, Rosane Ferreira de Aquino, Rossana Cavalcanti Araújo Silva, Lúcio Landim Fonseca e Fernando Fernandes da Silva da Superintendência de Recursos Hídricos (SRH), da Bahia e outros da Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB).

Ao meu pai, pelo amor e financiamento desta “empreitada”.

A minha mãe, pelo amor e “suporte técnico”, principalmente nestes dois últimos anos.

Ao meu irmão, pelo amor e “torcida” incondicional.

Aos meus familiares e a André Luís Lima Velame Branco.

Às novas e antigas amigas, que permanecerão sempre comigo, em especial a Luciana Silva Peixoto e José Antônio Tosta dos Reis.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
SUMÁRIO	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE SIGLAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
3 REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1 Sistema de suporte à decisão	5
3.2 Modelagem em geral	11
3.3 Simulação	15
3.4 Operação de reservatórios.....	20
3.4.1 Método do diagrama de massa	22
3.4.2 Análise operacional	25
3.4.3 Método “ stretched-thread”	28
3.4.4 Método do diagrama triangular de regularização	29
3.5 Software de operação e planejamento de recursos hídricos.....	32
3.5.1 ModSim	32
3.5.1.1 Modelo de rede de fluxo.....	32
3.5.1.2 ModSimP32.....	35
3.5.2 Modelo IRAS.....	37

3.5.3 Modelo MIKE BASIN 2000.....	42
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
4.1 Introdução.....	47
4.2 Modelo OperRes.....	47
4.2.1 Características do modelo.....	48
4.2.2 Descrição do modelo.....	50
4.2.2.1 Descrição do modelo SCS.....	62
4.3 Descrição da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu.....	67
4.3.1 Bacia do alto Paraguaçu.....	68
4.3.2 Bacia do médio e baixo Paraguaçu.....	69
4.4 Descrição da coleta de dados.....	70
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
5.1 Verificação da validade do modelo.....	75
5.2 Simulações.....	80
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	84
ANEXO A.....	86
ANEXO B.....	89
ANEXO C.....	91
ANEXO D.....	121
ANEXO E.....	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
OBRAS CONSULTADAS.....	143

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Esquema da estrutura de um Sistema de Suporte à Decisão (BRAGA et al., 1998)	7
FIGURA 2: Os componentes de Diálogo de um Sistema de Suporte à Decisão (BENNET apud BRAGA et al., 1998).	9
FIGURA 3: Esquema de um modelo de simulação para dimensionamento e operação de um reservatório (AZEVEDO et al., 1997).	17
FIGURA 4: Metodologia de um processo de simulação (SADOUN, 2000).	18
FIGURA 5: Componentes do sistema de reservatórios (GRIGG, 1996).	21
FIGURA 6: Evolução do diagrama de massa para o método de Rippl (KLEMES, 1979).	23
FIGURA 7: Fluxograma de simulação de operação de reservatório (LANNA, 1997b).	26
FIGURA 8: Diagrama do método “stretched-thread” (YANG, 1995).....	28
FIGURA 9: Diagrama triangular de regularização para $C_v = 1,00$ (CAMPOS, 1996).....	31
FIGURA 10: Esquema de uma rede de fluxo de um sistema de recursos hídricos (AZEVEDO et al., 1997).	33
FIGURA 11: Rede de fluxo do sistema alto Tietê (ROBERTO & PORTO, 1999b).....	36
FIGURA 12: Exemplo de uma rede de nós e arcos, utilizada no modelo IRAS (Loucks et al. apud PEIXOTO et al., 2001).....	38
FIGURA 13: Interface gráfica do modelo IRAS-98 (IRAS, 2001)	40
FIGURA 14: Exemplo de saída de dados de vulnerabilidade (Mauad apud PEIXOTO et al., 2001).	41
FIGURA 15: Sistema de rede de fluxo aplicado ao Mike Basin 2000 (GUIDE TO GETTING STARTED TUTORIAL apud LIMA, 2001a).....	43

FIGURA 16: Exemplo de um esquema de derivação de água (MIKE BASIN, 2002).	45
FIGURA 17: Configuração do reservatório para a opção “Allocation Pool Reservoir”. (GUIDE TO GETTING STARTED TUTORIAL apud LIMA, 2001a).	45
FIGURA 18: Tela inicial do programa de pré-processamento.	51
FIGURA 19: Tela com o comprimento e demandas do trecho.	52
FIGURA 20: Dados de evaporação da bacia em análise.	53
FIGURA 21: Listagem dos reservatórios e suas características.	54
FIGURA 22: Tela com os dados do reservatório de Pedra do Cavalo.	54
FIGURA 23: Tela com a apresentação dos postos que influenciam em cada reservatório.	55
FIGURA 24: Tela com os reservatórios diretamente à montante.	56
FIGURA 25: Tela com as dependências dos trechos.	57
FIGURA 26: Tela principal de simulação.	58
FIGURA 27: Caixa de diálogo com os níveis dos reservatórios e precipitação do período anterior.	59
FIGURA 28: Resultado final de um processo de simulação.	62
FIGURA 29: Comparação entre dados reais e o resultado da simulação no período de 6 meses	76
FIGURA 30: Comparação entre os volumes reais e estimados, por alfa, do açude de Apertado	78

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1: Valores de CN para áreas agrícolas (TUCCI, 1998).	64
TABELA 4.2: Valores dos parâmetros CN para diferentes tipos de ocupação urbana (SCS pud TUCCI, 1998)	65
TABELA 4.3: Correção dos valores de CN de acordo com a umidade antecedente (TUCCI, 1998).	66
TABELA 4.4: Listagem dos 13 reservatórios utilizados e suas principais características.....	70
TABELA 4.5: Identificação e localização dos postos pluviométricos.....	73
TABELA 4.6: Identificação e localização dos PCD's.	74
TABELA 5.1: Comparação entre os resultados e os dados reais das alturas dos reservatórios.	77
TABELA 5.2: Comparação entre os resultados e os dados reais dos volumes dos reservatórios.	77
TABELA 5.3: Simulação com volume inicial dos reservatórios igual a sua capacidade máxima.	80
TABELA 5.4: Simulação com volume inicial dos reservatórios igual 75% da sua capacidade máxima.....	81
TABELA 5.5: Simulação com volume inicial dos reservatórios igual 50% da sua capacidade máxima.....	81
TABELA 5.6: Simulação com volume inicial dos reservatórios igual 25% da sua capacidade máxima.....	82

LISTA DE SIGLAS

CERB - Companhia de Engenharia Rural da Bahia

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DNAEE – Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EESC – Escola de Engenharia de São Carlos

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

IRAS – Interactive River-Aquifer Simulation

PCD – Plataforma de Coletores de Dados

SCS – Soil Conservation Service

SEAGRI – Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária

SRH – Superintendência de Recursos Hídricos

SSD – Sistema de Suporte à Decisão

UFBA – Universidade Federal da Bahia

USP – Universidade de São Paulo

RESUMO

MAIA, A. G. (2002). *Simulação em tempo real como ferramenta de decisão no gerenciamento de estoques de água de reservatórios*. São Carlos, 2002. 143 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O presente trabalho apresenta um modelo geral de simulação em tempo real de operação de reservatórios que trabalha como parte de um sistema de suporte à decisão, fornecendo informações sobre as disponibilidades hídricas do sistema de múltiplos reservatórios, em função de restrições vinculadas aos volumes armazenados. Este modelo é composto de duas partes: um software de pré-processamento, escrito em linguagem Python, que constrói os arquivos de entrada do programa principal, e um software responsável pela simulação da operação de um sistema de reservatórios (OperRes), escrito parte em Python e parte em Fortran.

O modelo é aplicado à bacia do rio Paraguaçu localizada no estado da Bahia. A bacia apresenta como principal reservatório o açude formado pela barragem de Pedra do Cavalo, que é responsável pela maior parte do abastecimento da cidade de Salvador e região metropolitana. A aplicação do modelo é feita com o objetivo de se verificar a sua adequação à região em estudo, através da comparação dos dados reais com os resultados das simulações. Também é feita a simulação da operação dos treze açudes representados no sistema para se obter o resultado do seu comportamento durante um período de sete meses de estiagem.

Palavras-chave: operação de reservatórios; gerenciamento de estoques de água; bacia do rio Paraguaçu; diálogo com os comitês de bacia.

ABSTRACT

MAIA, A. G. (2002). *Simulação em tempo real como ferramenta de decisão no gerenciamento de estoques de água de reservatórios*. São Carlos, 2002. 143 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work shows a general simulation model of reservoirs operation to be run in real time working as part of a decision support system, which is supposed to give information about water availability in the reservoir system. This model is built in two parts: a pre-processing software, written in Python language, which builds the data files of the main program, and another software dedicated to the simulation of the reservoir system operation (OperRes) written in Python and Fortran languages.

The model is applied to the Paraguaçu river basin, at Bahia State, Brazil. Pedra do Cavalo Dam is the basin main reservoir, which is responsible for most of Salvador city and metropolitan region water supply. The model application is performed to verify its adequacy to the studied region, comparing real data and simulation values. The operation of a system composed of thirteen reservoirs is also simulated, in order to obtain results of their behavior during seven months of drought period.

Keywords: reservoirs operation; water volume management; Paraguaçu river basin; Basin Committee dialog.

1 INTRODUÇÃO

A região do Nordeste brasileiro é uma área que apresenta sérios problemas de escassez de água associados aos altos índices de evaporação. Um dos agravantes deste quadro é a estrutura geológica do solo, predominantemente cristalino, o qual não armazena água nos períodos úmidos, para o seu consumo nos períodos de estiagem.

A necessidade da água se faz presente frente às atividades desenvolvidas na região, como a agricultura de subsistência e irrigada, além do abastecimento público e dessedentação dos animais. Este quadro, na maioria das vezes, demanda volumes de água superiores aos fornecidos pelas vazões afluentes naturais, tornando necessária a regularização da água.

Os reservatórios construídos na região Nordeste têm como objetivo principal a acumulação de água, tendo em vista o clima semi-árido, com períodos extensos sem chuva, que se apresenta na região. É importante ressaltar que os reservatórios também podem ser aproveitados para a geração de energia, o controle de cheias, a recreação e pesca e a navegação.

O gerenciamento destes reservatórios é uma tarefa árdua, tendo em vista os conflitos existentes pelo uso da água, conflitos estes que podem estar relacionados à destinação de uso e às disponibilidades quantitativa e qualitativa. O principal conflito identificado na região em estudo está relacionado à disponibilidade quantitativa da água, o qual decorre do esgotamento do recurso devido ao uso intenso ou à insuficiência na sua disponibilidade.

Como prevê a lei que estabelece a da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), no título I, capítulo I, art.1º, § IV, a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas. E é este tipo de uso que faz com que o problema de

gerenciar o estoque de água em uma bacia hidrográfica, composta por vários reservatórios, para o atendimento da demanda de uma região, se torne ainda mais complexo. De acordo com LANNA (1997a, p. 24 e 25) “o compartilhamento dos recursos hídricos por diversos usuários deve exigir o estabelecimento de regras operacionais freqüentemente complexas para que a apropriação da água seja realizada de forma harmônica. Além disso, haverá a necessidade de centralização das decisões (...). Não obstante este aspecto, é importante frisar que o uso múltiplo dos recursos hídricos não é uma opção que faz o planejador, mas uma realidade que ele enfrenta com o desenvolvimento econômico.”

No sentido de desenvolver um sistema de simulação que fosse utilizado por um grupo, como ferramenta de decisão, é que se utiliza o modelo OperRes (MAIA et al., 2001), classificado como um Sistema de Suporte à Decisão (SSD). O sistema de suporte a decisões é definido por PORTO E AZEVEDO (1997, p. 47), como: “instrumentos eficientes para auxiliar os chamados Grupos de Tomada de Decisões (...). A idéia central, neste caso, é permitir que cada um dos participantes avalie as conseqüências da implementação das suas idéias com o auxílio de modelos aceitos por todos, a partir de uma base comum de informações. Começam a surgir, a partir daí, as oportunidades de soluções negociadas e participativas que tendem a contar com o apoio e comprometimento de todo o grupo”.

O SSD tem grande eficiência no auxílio de Grupos de Tomada de Decisões, os quais no âmbito regional podem ser identificados como os Comitês de Bacias Hidrográficas, que foram instituídos por lei (BRASIL, 1997) para atuar junto aos usuários, administrações municipais e sociedade civil organizada, no sentido de gerenciar, da melhor forma possível, os recursos hídricos disponíveis na região.

É no sentido de auxiliar os Comitês de Bacias Hidrográficas, ou organizações afins que atuam no gerenciamento da água superficial, que foi desenvolvido o modelo OperRes e o respectivo software o qual é capaz de fornecer simulações que dão suporte aos tomadores de decisões. O sistema não se propõe a dar subsídios para o planejamento da bacia e sim fornecer informações sobre o comportamento dos reservatórios, tendo em vista as decisões tomadas pelo próprio grupo.

O modelo computacional OperRes será aplicado à bacia do rio Paraguaçu, no estado da Bahia. A bacia do Paraguaçu apresenta uma área de 55.317 km². O sistema foi estudado considerando os treze maiores reservatórios da bacia. O seu principal açude é formado pela barragem de Pedra do Cavalo, que é responsável pela maior parte do abastecimento da cidade de Salvador e região metropolitana.

A aplicação do modelo OperRes ao sistema de múltiplos reservatórios da bacia é feita em duas etapas: a verificação do modelo e a simulação propriamente dita. Na verificação a operação do sistema é simulada com dados reais da altura de chuva de 36 postos pluviométricos da região, além dos dados de altura d'água dos açudes de Apertado, França, Pedra do Cavalo e São José do Jacuípe. O objetivo da verificação do modelo é comparar o resultado da simulação com os dados reais de volume e altura d'água dos açudes, para posterior análise da validação do modelo para a bacia do rio Paraguaçu.

A simulação da operação do sistema é feita considerando um período de estiagem de sete meses, para análise da situação dos reservatórios no final deste período. A simulação é feita de acordo com quatro considerações sobre os volumes dos reservatórios no final do mês de maio:

- Volume inicial dos reservatórios igual à sua capacidade máxima;
- Volume inicial dos reservatórios igual a 75% da sua capacidade máxima;
- Volume inicial dos reservatórios igual a 50% da sua capacidade máxima; e
- Volume inicial dos reservatórios igual a 25% da sua capacidade máxima.

2 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo principal a apresentação de um modelo de simulação que atua como ferramenta de decisão no gerenciamento de estoques de água de um sistema de múltiplos reservatórios. O modelo OperRes não tem como objetivo fornecer a solução ótima para o sistema, mas sim gerar conhecimento aos decisores, fornecendo informações sobre o comportamento dos reservatórios em função do cenário gerado pelos operadores do sistema.

Outros objetivos do trabalho referem-se a um estudo de caso, que será realizado na bacia do rio Paraguaçu. Estes objetivos são:

- a verificação do modelo através da comparação dos dados reais do sistema com os resultados da simulação do modelo; e
- a simulação de um período de estiagem, considerando diferentes condições iniciais de volume d'água dos reservatórios, para a análise do comportamento dos açudes em um período de seca.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica apresentada neste capítulo teve como um dos objetivos a caracterização de um modelo que trabalha como sistema de suporte à decisão, bem como do processo de modelagem e da técnica de simulação. Posteriormente, é feita uma revisão da literatura para a apresentação da evolução de técnicas de dimensionamento e operação de reservatórios.

Para finalizar a revisão, serão apresentados alguns softwares que trabalham com modelos de simulação e otimização na tarefa de gerenciar os recursos hídricos disponíveis.

3.1 Sistema de suporte à decisão

A complexidade existente no gerenciamento dos recursos hídricos incentivou a utilização de um sistema que fosse capaz de dialogar com o usuário, e auxiliá-lo na tomada de decisões. O referido sistema é conhecido como Sistema de Suporte à Decisão (SSD).

O tema tem sido abordado e estudado por cerca de 20 anos e muitos são os conceitos e discussões a respeito do assunto. Os Sistemas de Suporte a Decisões serão aqui tratados com um direcionamento para o gerenciamento de recursos hídricos, na área de operação de reservatórios.

PORTO & AZEVEDO (1997) conceituam o SSD de uma forma simplificada, afirmando que, em sentido amplo, “qualquer coisa” que ajude (apóie) uma tomada de decisão pode ser considerado um SSD. SPRAGUE & CARLSON (1982) definem o SSD como sistemas computacionais que têm por objetivo ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados).

A partir deste momento surge a necessidade de elucidar o significado da expressão “problema não estruturado”. Segundo PORTO & AZEVEDO (1997), o termo “problema estruturado” se refere a um problema que pode ser formulado, sem ambigüidade, com uma seqüência lógica de etapas em que a solução de cada etapa leva à solução da próxima, ou seja, pode ser formulado como um algoritmo. Os mesmos autores listam algumas características que costumam desestruturar um sistema:

- formulação vaga; o papel dos diversos agentes do processo não é definido precisamente;
- as decisões precisam ser tomadas em ambiente novo, mal conhecido ou muito complexo;
- o problema é muito complexo para ser formulado em forma de algoritmos bem conhecidos;
- falta de dados, informações ou conhecimentos;
- dificuldade de formulação de critérios quantitativos; e
- presença de incertezas.

Na análise de sistemas de gerenciamento de recursos hídricos a complexidade e as incertezas vinculadas ao processo são fatores fundamentais para a desestruturação do sistema. No caso específico de operação de reservatórios, as incertezas relacionadas às vazões afluentes e às demandas, são os principais problemas de desestruturação.

O uso de um SSD se faz necessário frente à necessidade de operação de sistemas complexos, onde a experiência e julgamento das equipes operadoras do sistema não são capazes de solucionar o problema, tornando necessário o desenvolvimento de sistemas de armazenamento de dados e técnicas de análise de dados, que apresentem uma interface com o usuário do sistema.

BRAGA et al. (1998) esquematiza a estrutura padrão de um sistema de apoio à decisão, sendo a mesma constituída de três componentes: diálogo, dados e modelo. Sendo o diálogo a interface entre o usuário e o sistema, os dados servem de suporte ao sistema e os modelos proporcionam os recursos para análises. A **FIGURA 1** demonstra o esquema apresentado por

BRAGA et al. (1998) da estrutura de um SSD. Os componentes apresentados também são sugeridos por outros autores, como: SPRAGUE & CARLSON (1982), SAGE (1991), SPRAGUE & WATSON (1991), TURBAN (1995) e PORTO & AZEVEDO (1997).

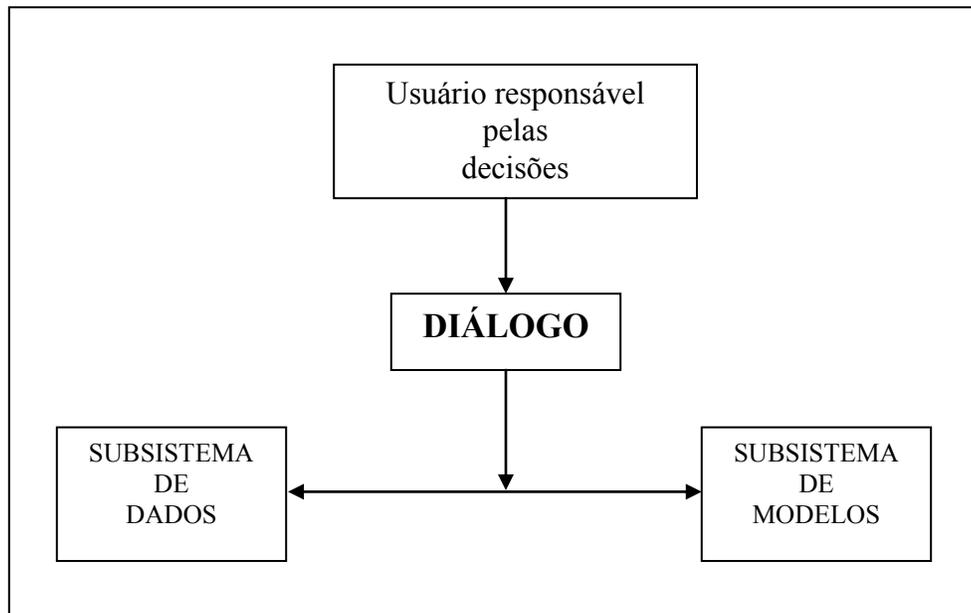


FIGURA 1: Esquema da estrutura de um Sistema de Suporte à Decisão
(Fonte: BRAGA et al., 1998).

O modelo se faz necessário, devido à sua capacidade de gerar cenários frente às decisões tomadas, fornecendo informações a respeito do comportamento do sistema e auxiliando o decisor a prever as conseqüências das suas atitudes.

O modelo, segundo PORTO & AZEVEDO (1997), é a representação simplificada do sistema real que se deseja analisar. De acordo com BRAGA et al. (1998) os modelos utilizam representação matemática do problema e empregam algoritmos para a geração de informações que servem de suporte às decisões. A modelagem deve ser feita considerando a essência do sistema, pois a representação na íntegra, de todos os fatores que interferem no processo acarretaria numa alta complexidade, irrelevante ao problema.

O subsistema de dados é composto por um banco de dados e um sistema de gerenciamento de dados. O banco de dados é a memória que armazena os dados relevantes e o sistema de

gerenciamento de dados é responsável pelo recebimento, identificação, armazenamento e classificação dos dados para o seu posterior uso.

Segundo SAGE (1991), o subsistema de dados deve ser capaz de informar ao usuário do sistema os tipos de dados que estão disponíveis e como acessá-los. Uma outra função é a de armazenamento dos resultados intermediários e finais das análises efetuadas, e a disponibilização dos mesmos.

O usuário sente a necessidade de interagir com o modelo, colocando em prática sua experiência, intuição e sensibilidade política, para então agir positivamente aos resultados que lhes são apresentados. Devido a esta necessidade é que se faz necessário a existência de um diálogo, ligando o homem à máquina.

SPRAGUE & CARLSON (1982) enfatizam que o usuário do sistema deve ter uma ligação direta com os problemas de decisão, alguém que deve agir e ser responsável pelas consequências das suas decisões. A presença do usuário e a incorporação do seu julgamento no processo de análise tornou o sistema de suporte à decisão uma ferramenta que apresenta um alto grau de interação entre o homem e a máquina, permitindo que as atividades computacionais tivessem o controle direto do usuário.

O diálogo que deve existir entre o sistema e o decisor procura propiciar subsídios que auxiliem na escolha da alternativa que lhe traga o maior benefício. Uma relevante colocação sobre a importância do diálogo para o usuário foi feita por SPRAGUE & CARLSON (1982), onde os mesmos afirmam que do ponto de vista do usuário “o diálogo é o sistema”. Não tem funcionalidade um sistema com forte embasamento teórico, mas que apresente dificuldades de comunicação com o usuário.

De acordo com BENNET¹ apud BRAGA et al. (1998), os componentes do diálogo, podem ser classificados como: banco de conhecimento, linguagem de ação e linguagem de apresentação, representados na **FIGURA 2**.

¹ BENNET, J. (1977). *User-oriented graphics: systems for decision support in unstructured tasks*. In: Treu, S., ed. *User-oriented design of interactive graphics systems*. New York, Association for Computing Machinery, p.3 – 11.

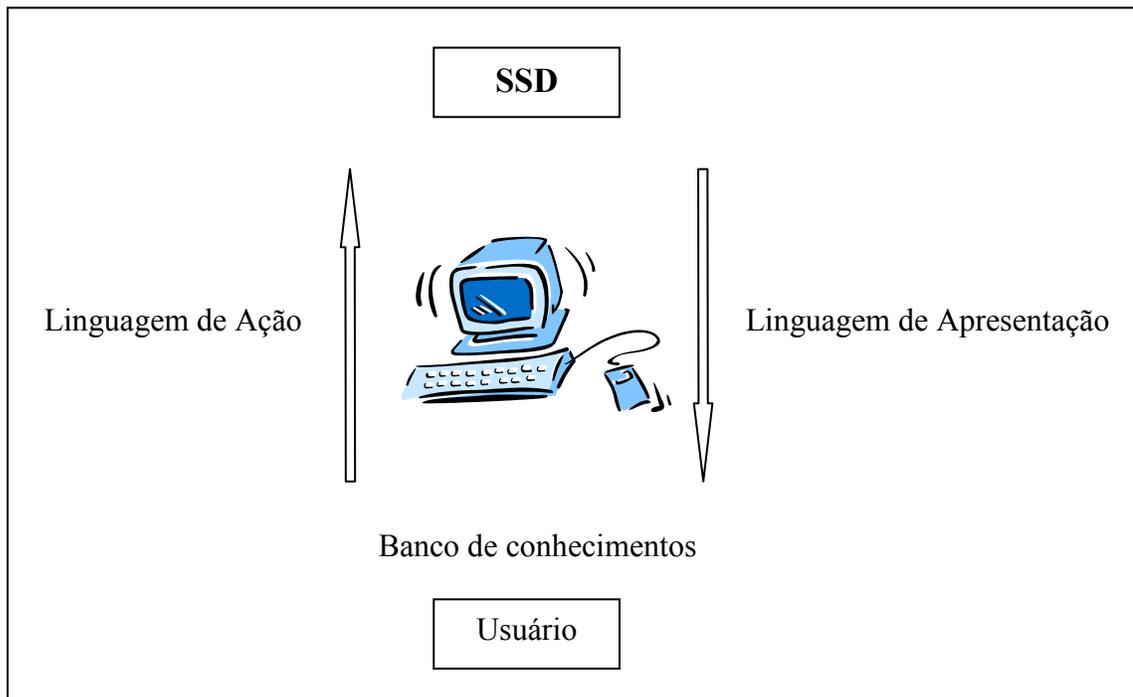


FIGURA 2: Os componentes de Diálogo de um Sistema de Suporte à Decisão
(Fonte: BENNET¹ apud BRAGA et al., 1998).

O banco de conhecimentos pode ser composto pela própria experiência do usuário, por um manual do usuário ou ainda por uma série de comandos de ajuda disponíveis, fornecendo as informações necessárias ao usuário para a utilização do sistema.

A linguagem de ação é o meio com o qual o usuário se comunica com o sistema. O usuário pode adotar, para esta comunicação, o formato pergunta resposta, os menus, as planilhas, o “mouse”, “preencha as lacunas” e os mais variados tipos de linguagem de comando.

A linguagem de apresentação é a maneira como o usuário vê os resultados apresentados pelo SSD. As apresentações gráficas são usualmente utilizadas, devido a rápida apreciação feita pelo usuário. Ainda são utilizadas apresentações na forma de mapas, tabelas ou mensagens.

Segundo BRAGA et al. (1998), a probabilidade de acerto, na tomada de decisões, será tanto maior quanto melhor a formação do tomador de decisão, dos seus “assessores” e a qualidade das informações disponíveis. Deve-se lembrar que este acerto também pode ser um

fator relacionado ao conhecimento do sistema, por parte do tomador de decisão, devendo haver uma perfeita coerência entre o significado das variáveis para o decisor e o modelo.

SPRAGUE & CARLSON (1982) salientam que um fator que pode vir a prejudicar o resultado na tomada de decisão, é que pessoas de diferentes conhecimentos e contexto vêm o SSD de forma diferente, devendo o modelo ser gerado em função dos conhecimentos do seu decisor. Um outro fator que deve ser considerado é a forma simplificada com que o modelo deve ser apresentado, ou seja, com um número de parâmetros reduzidos, mas com a devida capacidade de representar o sistema.

PARKER & AL-UTABI² apud PORTO E AZEVEDO (1997) fornece uma listagem das principais características necessárias (ou desejáveis) do SSD. Após a revisão de 350 publicações sobre o tema advogam que um SSD deve:

- assessorar administradores no processo de tomada de decisões a respeito de problemas não estruturados ou semi-estruturados;
- apoiar e aprimorar o julgamento humano e não tentar substituí-lo;
- melhorar mais a *eficácia* da decisão do que sua *eficiência*, ou em outros termos, dar mais importância à qualidade da decisão, do que ao tempo necessário para encontrá-la;
- combinar o uso de modelos (ou técnicas analíticas) com funções de acesso a dados;
- enfatizar as características de flexibilidade e adaptabilidade do modelo no que diz respeito a mudança de contexto do processo decisório; e
- enfatizar a facilidade de uso, inclusive por usuários inexperientes ou não especializados.

A relação anterior ainda foi complementada por PORTO & AZEVEDO (1997) com algumas características adicionais:

² PARKER, H.D.; AL-UTABI. (1986). Environmental decision support systems. Guariso G. & Werthner H.

- facilitar a interação entre o usuário e o sistema e permitir a busca de soluções por processos tentativos;
- permitir a incorporação de julgamentos subjetivos;
- incorporar o conhecimento de especialistas; e
- incorporar, quando necessário, variáveis de cunho social, político e psicológico.

Deve-se deixar claro que estas características são apenas sugestões, que não necessitam necessariamente estarem presentes em todos os sistemas de suporte à decisão, visto que as melhores e mais avançadas técnicas não garantem a obtenção de um resultado satisfatório, caso o sistema não esteja centrado na resolução do problema de decisão.

3.2 Modelagem em geral

Os modelos são construídos com o objetivo de se analisar o comportamento de sistemas em função das interferências externas.

Um conceito para modelo é apresentada por TUCCI (1987), onde é dito que o modelo é a representação do comportamento do sistema e DOOGE³ apud TUCCI (1987) complementa definindo sistema como qualquer estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado tempo de referência interrelaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação.

O modelo na maioria das vezes é uma simplificação de um sistema complexo e de difícil análise. Existe a necessidade da construção de um modelo para a previsão do comportamento de um sistema, objetivando a sua melhor operação ou planejamento; ou ainda, para a procura de soluções ótimas de um determinado problema.

³ DOOGE, J. (1973). Linear theory of hydrology systems. U. S. Department of Agriculture, ARS. Technical Bulletin. Washington, n. 1468, 327 p.

Os modelos podem ser classificados como: físicos, analógicos e matemáticos. Os modelos físicos representam o sistema através de protótipos, na maioria das vezes em escala menor, para prever o seu comportamento. Os modelos analógicos utilizam a analogia do comportamento de fenômenos regidos pelas mesmas equações. Os modelos matemáticos, também conhecidos como digitais, representam o sistema através de equações matemáticas. Os modelos digitais serão aqui tratados, por serem eles o objeto deste estudo.

Uma bacia hidrográfica é um sistema que recebe interferências externas. A precipitação altera o estado inicial do sistema que sofrerá estímulos devido aos processos de detenção, infiltração, escoamentos fluviais, evaporação e interações entre estes fenômenos. A resposta deste sistema aos estímulos externos vai depender das suas características físicas, como: tipo de solo, ocupação, topografia, clima, dentre outros aspectos naturais e de intervenção humana.

Os processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica podem ser modelados para o seu melhor entendimento e previsão de fenômenos futuros. Podendo ser feita a previsão de catástrofes que vêm ocorrendo atualmente no Brasil e no mundo, como os eventos extremos de estiagem e cheia. O planejamento de uma bacia hidrográfica também pode ser feito através de processos de modelagem, onde se procura buscar uma ocupação da bacia de forma ordenada, menos impactante.

O modelo deve ser utilizado como uma ferramenta de apoio para se analisar o comportamento de um sistema e, se for o caso, provocar intervenções que irão alterar este comportamento. TUCCI (1998) salienta a necessidade de um monitoramento constante da bacia hidrográfica para a previsão de processos como a estiagem, cheias, falta de energia (oriunda das hidroelétricas).

PORTO & AZEVEDO (1997) listam algumas das características que um modelo deve ter como:

- precisão: deve representar a realidade de forma suficientemente próxima;
- simplicidade: um número reduzido de parâmetros e variáveis, além de uma estrutura que represente somente a essência do sistema;

- robustez : representar bem a realidade com o menor número possível de parâmetros;
- transparência: total entendimento do modelo por parte de quem o opera; e
- adequação: interação com o usuário de forma clara, simples e inequívoca.

Os modelos são construídos segundo algumas considerações e simplificações, a depender destas características, e do seu objetivo para os quais foram construídos, eles podem ser classificados segundo TUCCI (1987 e 1998) de acordo com:

- memória: é a dependência dos dados de saída com os dados de entrada do sistema, em função do tempo. No caso de memória zero a entrada afeta o sistema somente no período em que é aplicada;
- linearidade: um sistema é linear quando é validado o princípio de superposição. A propriedade de superposição existe quando a resposta a um evento y_1 e y_2 ocorridos ao mesmo tempo é a mesma do evento y_1 e do evento y_2 ocorridos em tempos distintos;
- contínuo e discreto: um sistema é dito contínuo quando os fenômenos são considerados contínuos no tempo e discretos quando as mudanças de estado são realizadas em intervalos discretos;
- concentrado e distribuído: um modelo é distribuído quando leva em conta a variabilidade espacial do sistema e concentrado quando a mesma não é considerada;
- estocástico e determinístico: um modelo é dito estocástico quando as variáveis são consideradas em termos de probabilidade e determinístico quando esta consideração não é feita; e
- conceitual e empírico: os modelos conceituais são elaborados utilizando as funções que descrevem os processos físicos. Os modelos empíricos ajustam os valores calculados aos valores observados, através de funções que não têm relação com os processos físicos desenvolvidos, sendo utilizados, na maioria das vezes, como modelos tipo “caixa-preta”.

Algumas das vantagens da utilização de um modelo são listados por PORTO & AZEVEDO (1997) a seguir:

- análise do sistema real (quando possível) é muito mais cara do que a utilização do modelo;
- o custo de cometer erros e realizar experiências com o sistema real é incomparavelmente maior do que o custo da exploração intensiva do modelo;
- modelos são ferramentas de aprendizagem uma vez que processos de tentativa e erro podem ser explorados “gratuitamente” e não só contribuem para a melhor compreensão do sistema mas também estimulam a concepção de novas idéias e linhas de ação;
- modelos são instrumentos muito eficientes para treinamentos quando desenvolvidos ou adaptados especificamente para esta finalidade; e
- modelos conferem flexibilidade às análises, porque:
 - a) “encurtam” o tempo, pois permitem que muitos anos sejam analisados em tempos extremamente curtos.
 - b) diferentes alternativas podem ser analisadas, muitas vezes mediante simples alterações de parâmetros.

TUCCI (1998) salienta a versatilidades dos modelos digitais que podem ser facilmente modificados segundo a sua lógica, obtendo resultados de diferentes situações de um mesmo sistema, ou de diferentes sistemas, além da grande velocidade de resposta. De acordo com o autor a desvantagem deste tipo de modelo está na discretização de processos contínuos e na dificuldade na representação matemática de alguns processos físicos. Em determinadas áreas de estudo, ainda não existem funções matemáticas, que representem convincentemente certos fenômenos físicos.

WENDLAND & RÜBER⁴ apud JANZEN (2001) afirmam que após a decisão sobre a utilização de um modelo, deve-se considerar que o modelo é somente uma ferramenta para apoiar decisões. Estas só podem ser tomadas, quando existe a familiaridade necessária com os conceitos, técnicas, empregos e limitações da modelagem. Deve-se ter em mente que nenhum modelo é capaz de descrever exatamente os processos naturais por causa:

- da complexidade dos processos naturais;

⁴ WENDLAND, E.; RÜBER, O. (1998). Hydrogeologische Modelle. Lehrstuhl für Hydrogeologie, Ruhr-Universität Bochum, 141p.

- da falta de conhecimento dos parâmetros requeridos; e
- das simplificações e generalizações que são introduzidas.

Portanto, a resposta do modelo é altamente dependente de coerentes simplificações e da exatidão dos parâmetros de entrada.

Um modelo só deve ser utilizado quando se tem conhecimento dos fenômenos que regem o sistema, das simplificações feitas durante a modelagem e da exatidão dos dados de saída. Sendo assim, o usuário pode analisar se o modelo é satisfatório, em função do objetivo para qual foi construído.

3.3 Simulação

A simulação é um processo de análise, através de um modelo, que busca a observação do comportamento do sistema em função do cenário gerado. TUCCI (1998) define simulação, simplificada, como o processo de utilização do modelo.

De acordo com AZEVEDO et al. (1998) a simulação matemática de sistemas de recursos hídricos sofria a tempos com as dificuldades de cálculo que se tinham antes do advento dos computadores o que impediam o seu pleno desenvolvimento. As decisões apoiavam-se, então, em métodos gráficos ou em modelos físicos ou analógicos.

O primeiro método de simulação aplicado a reservatórios foi o diagrama de massa, proposto por Rippl, em 1883. De acordo com KLEMES (1979) o método do diagrama de massa foi usualmente desenvolvido com técnicas gráficas, apesar deste diagrama ser originalmente plotado com o auxílio de ordenadas calculadas numericamente.

O desenvolvimento de novos modelos de simulação acompanhou a evolução da tecnologia computacional. Esta linha de pesquisa evoluiu após Rippl, sendo apresentado alguns métodos citados por AZEVEDO et al. (1998): método do reservatório semi-infinito (Hazen, 1914),

técnica modificada de Rippl (King, 1920), método das seqüências de vazões mínimas (Waite, 1945), método das amplitudes dos déficits (Hurst, 1951), métodos de matrizes de probabilidade (Moran, 1955 e Prabhu, 1958), técnicas de programação linear (Dorfman, 1962 e Meier e Beightler, 1967) e técnicas de programação dinâmica com Burasm (1966), Hall (1969), Becker e Yeh (1974) dentre outros.

Atualmente, softwares que utilizam modelos de simulação e de otimização estão sendo desenvolvidos para auxiliar no processo de gerenciamento de um sistema de recursos hídricos. Temos alguns exemplos de softwares que estão sendo amplamente utilizados, como o ModSim (1988), Mike Basin 2000, IRAS (1994), OperRes (2001) dentre outros, que modelam o sistema para a previsão do seu comportamento, podendo assim operá-lo e planejá-lo melhor.

A diferença básica entre os modelos de simulação e de otimização foi explicada por NAKAYAMA (1991) que diz que um modelo de otimização procura identificar os pontos de máximo ou mínimo de uma função objetivo, ao passo que um modelo de simulação, faz tão-somente uma descrição do comportamento do sistema, não sugerindo condições para sua otimização.

A função de um modelo de simulação segundo YEH (1985) é a de fornecer uma resposta do sistema para os dados de entrada do modelo, tornando possível que o decisor examine a consequência de vários cenários de um sistema existente ou não.

De acordo com AZEVEDO et al. (1997) o modelo de simulação para o dimensionamento ou operação de um reservatório pode ser descrito pela **FIGURA 3** apresentada a seguir:

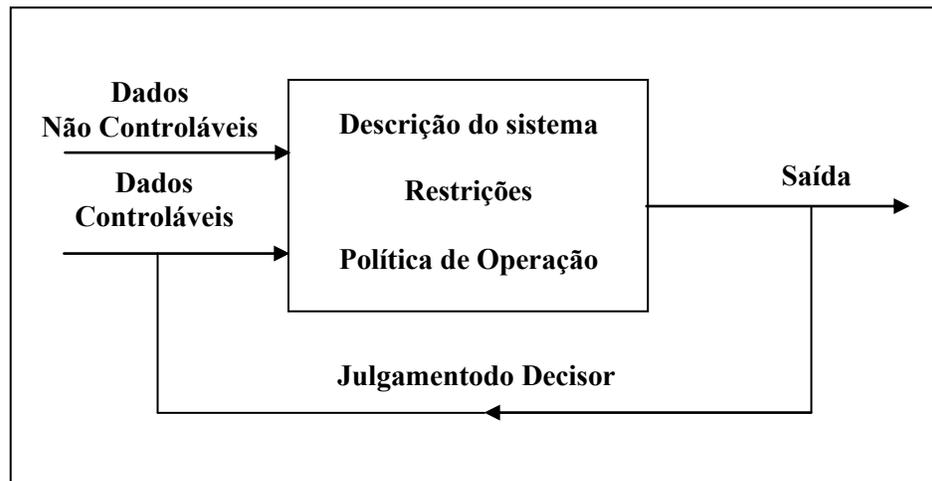


FIGURA 3: Esquema de um modelo de simulação para dimensionamento e operação de um reservatório (Fonte: AZEVEDO et al., 1997).

Os dados controláveis são as variáveis de decisão que podem ser representadas pelas vazões de descarga e os dados não controláveis podem ser as características geométricas dos reservatórios. No caso de dimensionamento de um reservatório a sua geometria, que condiciona a sua capacidade, deve ser considerada uma variável de decisão.

O esquema apresentado mostra uma interação do modelo com o usuário, caracterizando assim um sistema de suporte a decisão. Na maioria das vezes os modelos de simulação não são desenvolvidos para dar uma solução ideal ao sistema e sim para auxiliar o usuário na sua decisão.

SADOUN (2000) descreve as etapas necessárias para o desenvolvimento de um processo de simulação, segundo o qual para se simular um sistema é preciso observar a sua operação, formular hipóteses de acordo com o seu comportamento, prever o comportamento futuro do sistema baseado em suposições e hipóteses e comparar o comportamento previsto com o comportamento real. A **FIGURA 4** apresentada a seguir é proposta pelo autor para demonstrar a metodologia da simulação, que consiste em quatro etapas principais: pré-modelagem ou etapa de planejamento, etapa de modelagem, etapa de validação e verificação e etapa de experimentação e aplicação.

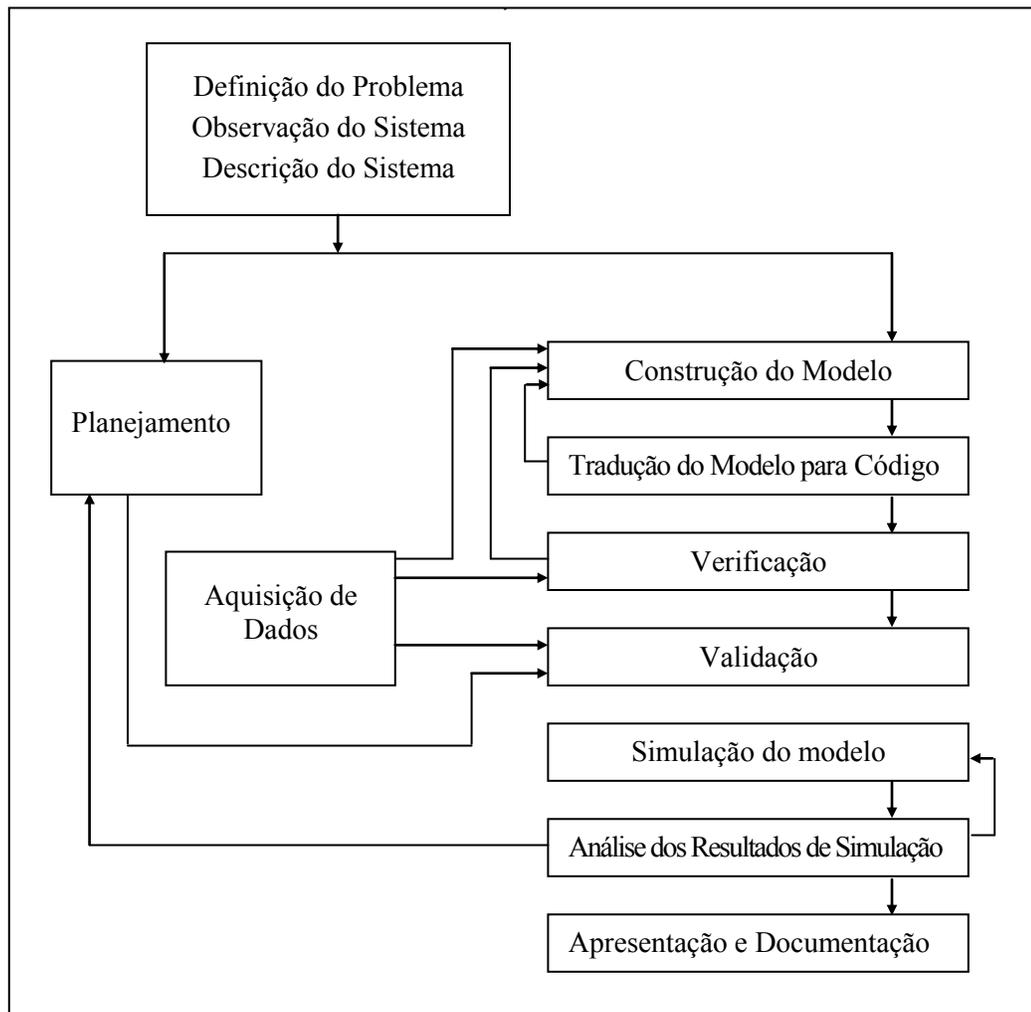


FIGURA 4: Metodologia de um processo de simulação (Fonte: SADOON, 2000).

A importância das etapas de verificação e validação dos resultados é enfatizada por SADOON (2000), pois elas afetam a exatidão e credibilidade dos modelos. A verificação é o processo de determinação da exatidão do modelo de simulação que representa a descrição conceitual desenvolvida para o sistema. Na fase de verificação os dados de entrada e parâmetros do modelo são utilizados para gerar dados de saída que serão comparados com os dados existentes, para verificar se o modelo simula o sistema adequadamente.

O processo de validação é a determinação da validade do modelo para representar o sistema. Nesta etapa o uso proposto pelo modelo e o consenso dos peritos que estão fazendo a análise são fatores preponderantes do processo.

TUCCI (1998) enfatiza a fase da previsão, que é a simulação do sistema pelo modelo, com parâmetros ajustados, para a quantificação de sua resposta para diferentes entradas. Esta etapa também foi apresentada por SADOON (2000) na **FIGURA 4** como sendo a “simulação do modelo”, que é o objetivo final da modelagem.

A vantagem da técnica de simulação à técnica de otimização é a flexibilidade que a modelagem adquire, não sendo necessária as freqüentes simplificações e restrições impostas ao modelo otimizado. Deve-se ressaltar que o processo de simulação também apresenta simplificações, que são inerentes ao processo de modelagem. YEH (1985) aponta uma desvantagem no processo de simulação que analisa um número finito de alternativas, enquanto que na otimização todas as alternativas são analisadas implicitamente.

Algumas das vantagens da simulação são apresentadas por SADOON (2000):

- flexibilidade: permite o controle do experimento;
- rapidez: existe a redução do tempo de operação de um sistema com longo período;
- permite uma análise de sensibilidade;
- não há necessidade de perturbar o sistema real; e
- é uma boa ferramenta de treino.

AZEVEDO et al. (1997) salienta uma grande desvantagem da técnica de simulação que não oferece aos usuários a oportunidade de restringir o espaço decisório e, por consequência, a solução de problemas é alcançada através do exaustivo processo de tentativa e erro. SADOON (2000) também apresenta desvantagens da utilização do sistema de simulação, como as apresentadas a seguir:

- pode se tornar caro em termos de tempo computacional e mão-de-obra;

- há algumas considerações críticas que pode afetar a credibilidade dos resultados da simulação;
- pode ter um longo tempo de desenvolvimento; e
- pode ocorrer dificuldades na consideração dos parâmetros iniciais do modelo.

LIMA et al. (2001b) ainda acrescenta a dificuldade de se encontrar a política ótima de operação, pois a simulação só permite encontrar uma solução ótima através de processos iterativos, processando diversas simulações alternativas e comparando seus desempenhos.

3.4 Operação de reservatórios

O problema de dimensionamento e operação de reservatórios foi inicialmente abordado no ano de 1883, com os estudos de Rippl, para dimensionamento de volumes úteis de reservatórios isolados. Com o incremento de investimentos na área de obras hidráulicas, principalmente na construção de barragens, os sistemas de recursos hídricos passaram a ser mais complexos, com múltiplos reservatórios e multi-objetivos. O desenvolvimento desta área mereceu a devida atenção dos pesquisadores que evoluíram as técnicas de planejamento e operação destes recursos, passando a utilizar modelos de simulação e otimização.

A operação de um reservatório consiste na tomada de decisão do volume de água a ser liberado pelo reservatório, em um dado intervalo de tempo, a fim de atender às demandas requeridas pelo sistema. Os modelos que serão apresentados tiveram como objetivo básico o dimensionamento de reservatório, mas podem ser utilizados na sua operação com a troca dos dados não controláveis, como vazão liberada, para dados controláveis do modelo.

Os métodos que serão apresentados foram construídos através da análise do período crítico de operação. Outros métodos, que não serão aqui abordados, se embasaram na análise da probabilidade de ocorrência de eventos, como:

- métodos de matrizes de probabilidade: desenvolvido por Moran (1959) e Gould (1961); e
- métodos baseados na geração estocástica de vazões: tiveram maior desenvolvimento na década de 1960.

Segundo GRIGG (1996) os reservatórios são construídos com o objetivo de atender às necessidades econômicas e ambientais de uma comunidade, podendo ser elas: controle de cheias, navegação, geração de energia, irrigação, abastecimento público e industrial, garantia da qualidade da água, garantia da conservação da fauna e flora e recreação.

A **FIGURA 5** apresenta um reservatório dividido em zonas, que representam volumes d'água reservados para diferentes usos.

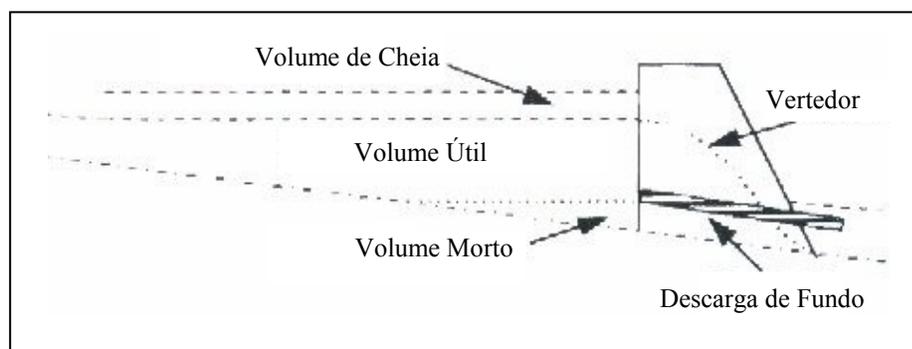


FIGURA 5: Componentes do sistema de reservatórios (Fonte: GRIGG, 1996).

A zona de controle de cheia tem a finalidade de diminuir os impactos de grandes inundações e a zona representada pelo volume útil é responsável por reservar água para o atendimento das demandas. O volume morto não é considerado como volume útil do reservatório. O objeto deste estudo está relacionado ao volume útil do reservatório, pois este será responsável pelo atendimento da demanda para a irrigação e abastecimento público e industrial.

3.4.1 *Método do diagrama de massa*

O diagrama de massa pode ser definido como o diagrama dos volumes acumulados de água que afluem ao reservatório no intervalo de tempo considerado. Segundo VILLELA & MATTOS (1979) o diagrama de massa é definido como a integral do hidrograma. Deve-se considerar que a análise do diagrama é feita considerando o período crítico, caracterizado pelo período de estiagem mais crítico.

A utilização da técnica do diagrama de massa para a análise de estoques de água em reservatórios foi introduzida por Rippl, em 1883. Segundo KLEMES (1979), o método original de Rippl introduziu duas modificações: o diagrama seria plotado com a curva de massa residual, volume afluente abatido da demanda do reservatório. A evolução da técnica do diagrama de massa para a análise do estoque de água no reservatório é ilustrada na **FIGURA 6**.

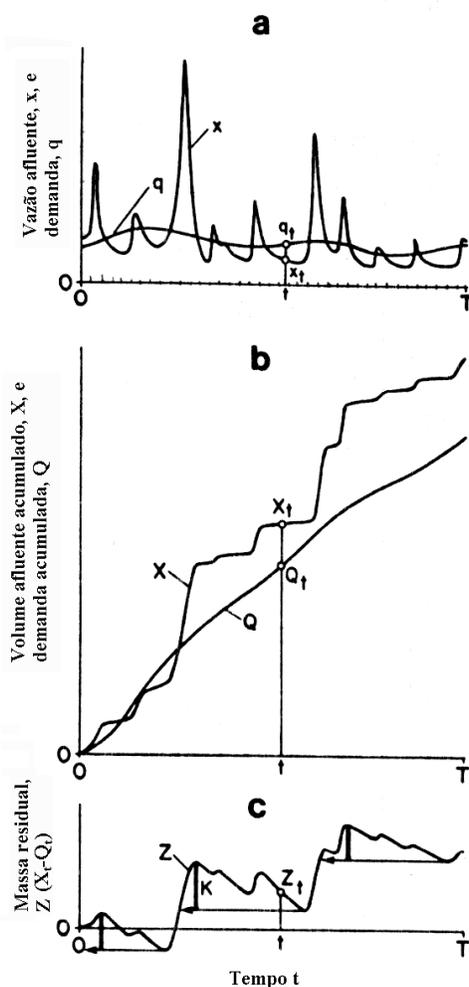


FIGURA 6: Evolução do diagrama de massa para o método de Rippl (Fonte: KLEMES, 1979).

Onde:

- (a) representa o hidrograma das vazões afluentes x e da demanda q .
- (b) diagrama de massa para o volume afluyente acumulado X e demanda acumulada Q .
- (c) curva de massa residual Z , definido por Rippl como $X_t - Q_t$, com a determinação da capacidade K para o sucesso da operação do reservatório durante o período T .

A finalidade inicial do diagrama de Rippl era encontrar a menor capacidade do reservatório que atendesse às demandas no período considerado. KLEMES (1979) comenta que

o desenvolvimento de técnicas de utilização do diagrama de massa foi diversificado e aplicado na solução de muitos outros problemas além da proposta por Rippl. O diagrama também pode ser utilizado para a operação do reservatório, uma vez que definida a capacidade do reservatório a vazão regularizada é obtida tomando-se experimentalmente varias declividades de reta, que representam diferentes demandas, que produzam um afastamento igual à capacidade do reservatório.

De acordo com MACMAHON & MEIN (1978) para a utilização da técnica de diagrama de massa, são feitas algumas considerações, como:

- o reservatório está cheio no tempo zero e conseqüentemente no início do período crítico; e
- ao se usar dados de vazões históricas é implícito assumir que nas sequências de vazões futuras não irá ter uma seca mais severa do que a observada na série histórica.

CHAUDHRY (2001)⁵ levantou algumas limitações do método, que serão apresentadas a seguir:

- pouca praticidade do método para demandas variáveis;
- não há como se determinar a probabilidade de falha do reservatório, definida como:

$$P_f = \frac{\text{tempo em que o reservatório fica seco}}{\text{tempo de operação do reservatório}} ; e$$

- sendo um método gráfico há restrições quanto ao período de análise, geralmente sendo definido como o período crítico, que cobre o tempo seco (estimado de 5 a 4 anos)

⁵ CHAUDHRY, F.H. (2001). Notas de Aula da disciplina de Hidrologia Operacional, ministrada pelo professor Fazal Hussain Chaudhry. São Carlos, SP. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.

O método do diagrama de massa, apesar de ter mais de um século de uso, não se tornou obsoleto com o advento dos sistemas computacionais de análise, muito pelo contrário, os sistemas de gerenciamento de estoques de água em reservatórios que utilizam programas computacionais, muitas vezes têm os seus algoritmos baseados no diagrama de massa, apesar destes diagramas não serem expressos graficamente.

A análise do diagrama de massa normalmente é associado ao método de Rippl, muitas vezes confundindo os dois métodos que tiveram uma mesma origem, mas metodologias diferenciadas.

3.4.2 Análise operacional

No processo de simulação da operação de um reservatório se considera que o reservatório é finito, ou seja, pode se esvaziar ou verter água, quando a sua capacidade de armazenamento é ultrapassada.

O método é tratado por BRAGA et al. (1998) que conceitua os modelos de simulação como um conjunto de expressões matemáticas estruturadas em sequência lógica, que descreve a operação do sistema no espaço e no tempo.

A análise da operação de um reservatório pode ser feita tendo como base dados anuais, mensais, diários ou períodos menores de tempo. LINSLEY (1978) defende que no caso de reservatórios considerados grandes em relação à vazão afluyente, uma análise mensal é geralmente suficiente.

LANNA (1997b) propõe um fluxograma de simulação da operação de reservatório, utilizando o método de simulação, apresentado na **FIGURA 7**.

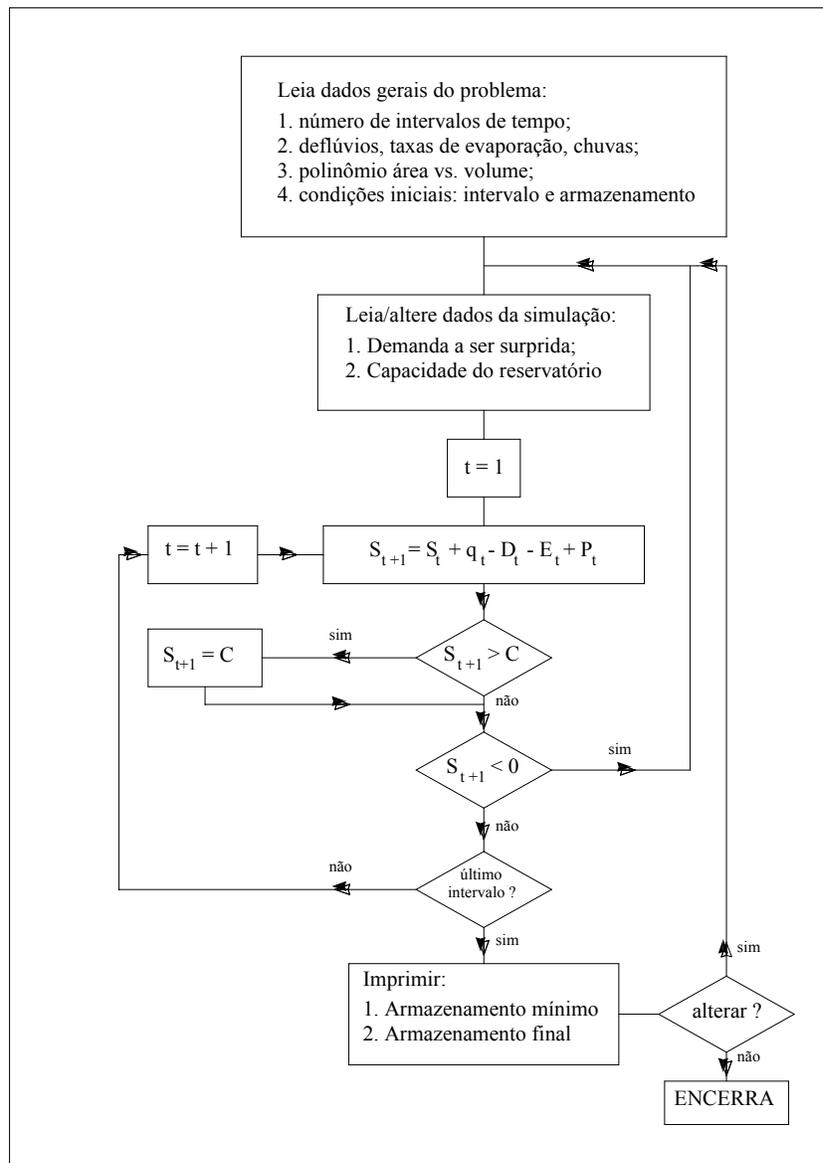


FIGURA 7: Fluxograma de simulação de operação de reservatório

(Fonte: LANNA, 1997b).

Segundo LANNA (1997b) na execução do fluxograma foi adotado a equação de balanço hídrico do reservatório, **Equação 3.1**.

$$S(t+1) = S(t) + q(t) - D - E(t) + P(t) \quad (3.1)$$

Onde:

$S(t+1) \Rightarrow$ armazenamento no início do intervalo “ $t+1$ ”;

$S(t) \Rightarrow$ armazenamento no início do intervalo “ t ”;

$q(t) \Rightarrow$ deflúvio afluyente durante o intervalo “ t ”;

$D \Rightarrow$ descarga operada visando ao suprimento da demanda;

$E(t) \Rightarrow$ evaporação do reservatório durante o intervalo de tempo “ t ”;

$P(t) \Rightarrow$ chuva sobre o reservatório durante o intervalo de tempo “ t ”.

O fluxograma foi proposto para a análise através de tentativa da capacidade útil do reservatório, C , e a demanda a ser atendida. No caso da operação de um reservatório já existente, a análise por tentativa será feita alterando apenas o valor da demanda a ser atendida, tendo um volume máximo de armazenamento do reservatório já definido. Neste processo de simulação é feita a consideração de que o reservatório é finito, ou seja, ele pode extravasar e ser operado vazio.

Algumas limitações na utilização deste método serão apresentadas a seguir:

- de acordo com CHAUDHRY (2001)⁵ existe uma dependência do resultado sobre a condição inicial do reservatório estar cheio no início da simulação, para a independência dos resultados deve utilizar series longas de dados, na ordem de 100 anos; e
- MACMAHON & MEIN (1978) acrescentam que a variação da demanda não é fácil de ser considerada, devido à dificuldade de relacionar a demanda de um ano futuro com um ano específico na série de vazões históricas.

CHAUDHRY (2001)⁵ salienta a vantagem da utilização deste método devido à possibilidade de se utilizar vazões geradas sinteticamente e a facilidade de programação.

O fluxograma apresentado na **FIGURA 7** pode ser incrementado com a consideração de restrições, como a probabilidade de falha pré-definida ou regras de operação do reservatório.

3.4.3 Método “stretched-thread”

Com o desenvolvimento de técnicas para operação de reservatório Conti e Varley, em 1923, apresentaram o método “stretched-thread”, já identificado na literatura como método do fio tendido. O método consiste na operação de um reservatório objetivando a variação mínima das vazões de liberação, para o atendimento da demanda, como ilustrado na **FIGURA 8**, a seguir:

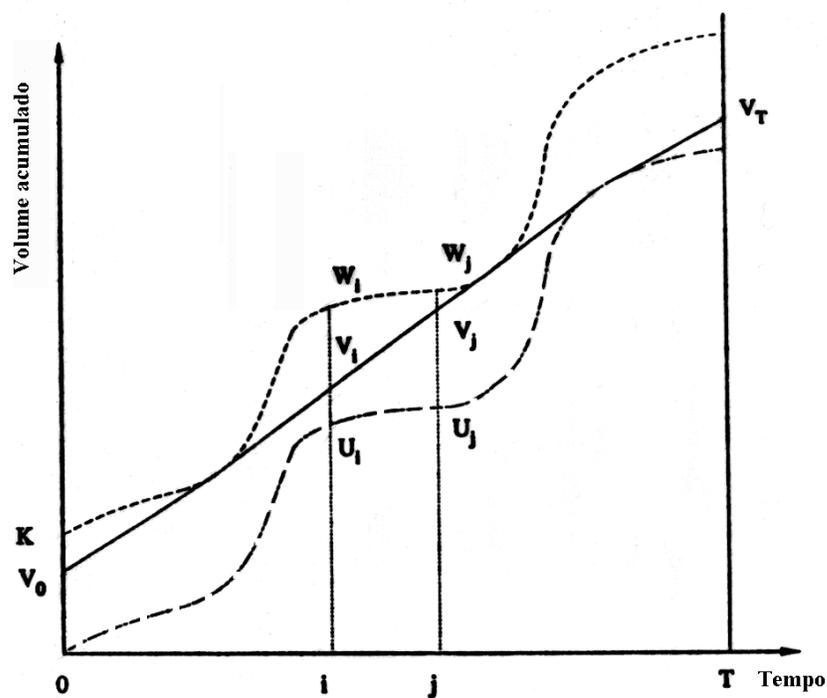


FIGURA 8: Diagrama do método “stretched-thread” (Fonte: YANG, 1995)

- Curva acumulada do volume afluente: U_i , $i = 1, \dots, T$.
 - Curva acumulada do volume afluente acrescida da capacidade do reservatório K : W_i , $i = 1, \dots, T$.
 - Curva da vazão de liberação acumulada, determinada pelo método de Conti e Varley: V_i , $i = 1, \dots, T$.
- K : capacidade do reservatório.
 V_0 : valor do volume inicial a ser liberado pelo reservatório.

VARLET⁶ apud YANG (1995) demonstrou que a variância das séries $\{V_i\}$ seria mínima quando a curva V fosse como um fio tendido que atingisse os valores de V_o e V_T e estivesse contido na área delimitada pelas curvas U e W .

De acordo com KLEMES (1979) para uma formulação determinística do problema de encontrar uma política de operação de reservatório o método do fio tendido apresenta resultados satisfatórios, devido à convergência das soluções encontradas utilizando-se programação dinâmica e linear. Apesar dos bons resultados foi detectada a ocorrência da “praga da dimensionalidade”, que se refere ao crescimento exponencial do esforço computacional requerido devido ao aumento do número de variáveis de estado, no caso da programação dinâmica, ou ao elevado número de equações a serem resolvidas na programação linear.

O método do fio tendido normalmente é utilizado na determinação da capacidade do reservatório a ser construído, tendo em vista o atendimento da demanda, com base no período crítico de seca, do intervalo de tempo analisado.

3.4.4 Método do diagrama triangular de regularização

O método foi desenvolvido pelo Professor José Nilson Bezerra Campos da Universidade Federal do Ceará e publicado em CAMPOS (1996). Segundo o autor o método procurou apresentar uma metodologia de dimensionamento hidrológico de açudes que reunisse simplicidade e uma forte base teórica conceitual. O trabalho é baseado na aplicação de métodos da hidrologia estocástica e de conceitos clássicos da hidrologia determinística.

O diagrama triangular de regularização foi desenvolvido para reservatórios que operem isoladamente e nas condições do Nordeste brasileiro, como: alta evaporação e rios intermitentes.

⁶ VARLET, H. (1923) Etude graphique des conditions d'exploitation d'un réservoir de régularisation. Annales des Ponts et Chaussées, Paris, França, Mem. Doc., Prtie Tech., 61-79.

O modelo para a construção dos diagramas triangulares foi embasado no método experimental de Monte Carlos. De acordo com CAMPOS (1996) o método adotado consta dos seguintes passos:

- 1) Geração sintética dos deflúvios segundo os padrões da área onde se pretende aplicar o modelo; e
- 2) Operação simulada do reservatório seguindo, também, os padrões da região que se destina o modelo.

O processo não é utilizado exclusivamente no dimensionamento de reservatórios, mas expressa as trocas que ocorrem na regularização, evaporação e sangria, sendo uma importante ferramenta no gerenciamento de estoque de águas superficiais.

O processo de utilização do diagrama foi desenvolvido com base numa garantia de 90% do fornecimento de água e segue as seguintes etapas:

1) determinar através de séries históricas de vazões, ou de regionalização, os parâmetros estatísticos que caracterizam os deflúvios anuais, como: média, desvio padrão e coeficiente de variação;

2) com os dados da tabela cota x volume determinar o coeficiente de forma do reservatório (α), onde o modelo supõe que a equação da curva cota-volume de água do reservatório é $V=\alpha h^3$.

3) determinar os valores do coeficiente adimensional de evaporação f_E e o fator adimensional de capacidade f_K ;

4) selecionar o diagrama correspondente ao C_V (coeficiente de variância), a partir das isolinhas f_E e f_K , determinar os percentuais de sangria, evaporação e utilização. A **FIGURA 9** apresenta o diagrama triangular para $C_V=1,00$.

Sendo:

$$f_K = K/\mu ;$$

$K \Rightarrow$ capacidade do reservatório;

$\mu \Rightarrow$ defúvio médio anual.

$$f_E = 3\alpha^{1/3} \cdot E / \mu^{1/3}$$

$$\alpha = \Sigma V_i / \Sigma (h_i)^3 \text{ (coeficiente de forma do reservatório)}$$

$h \Rightarrow$ profundidade da superfície do lago medido do ponto mais profundo;

$V \Rightarrow$ volume acumulado correspondente à profundidade de água h ;

$E \Rightarrow$ evaporação total durante os meses mais secos.

O método apresentado tem importantes características, como a simplicidade de aplicação, além do forte embasamento teórico conceitual em que está fundamentado, podendo o mesmo ser utilizado para se obter resultados que daria uma ordem de grandeza da vazão regularizada na quinzena a ser analisada.

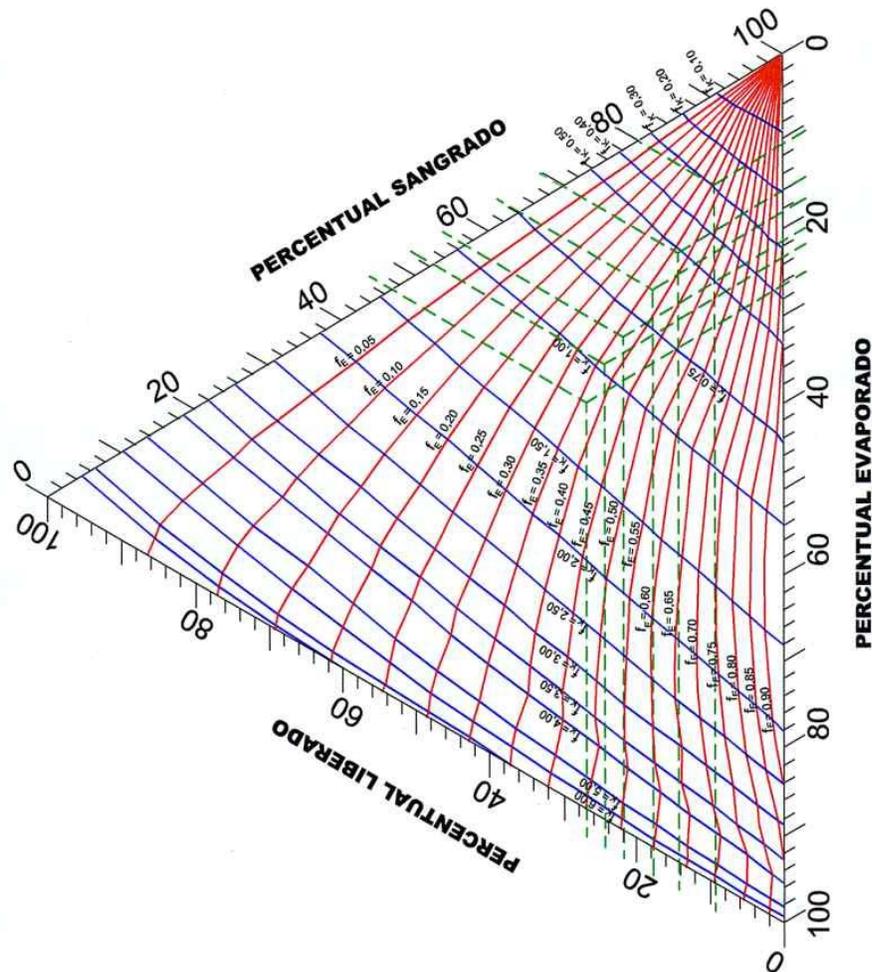


FIGURA 9: Diagrama triangular de regularização para $C_v = 1,00$ (Fonte: CAMPOS, 1996).

3.5 Softwares de operação e planejamento de sistemas de recursos hídricos

Os modelos que serão apresentados a seguir se baseiam em técnicas de simulação ou de otimização para dar suporte à operação e planejamento de um sistema de recursos hídricos. Os modelos se utilizam do diálogo com o usuário, tendo como objetivo auxiliá-lo na tomada de decisões.

3.5.1 ModSim

3.5.1.1 Modelo de Rede de Fluxo

O modelo de rede de fluxo representa o sistema através de “arcos” e “nós” e trabalha com a otimização de uma função objetivo, referente a custo. Os nós representam pontos significativos do sistema, como os reservatórios, pontos de demanda, confluências, captação de água subterrânea, água proveniente de uma transposição de bacia, entre outros. Os arcos são estruturas de ligação entre os nós, podendo representar canais, trechos de rios, adutoras, ou outras estruturas.

A rede de fluxo de um sistema de recursos hídricos pode ser visualizada na **FIGURA 10**, onde os arcos são caracterizados pelos limites superior ($S_{i,j}$) e inferior ($I_{i,j}$) do fluxo que passa pelo arco (ex: capacidade máxima e mínima de um canal) e um “custo” ($C_{i,j}$) por unidade de fluxo que transita pelo arco. AZEVEDO et al. (1997) salientam que os custos podem ser positivos ou negativos, ou seja, podem representar uma penalidade (no caso de custo positivo), ou um prêmio (custo negativo). Este custo não significa, obrigatoriamente, um valor monetário, podendo representar preferências impostas pelo usuário.

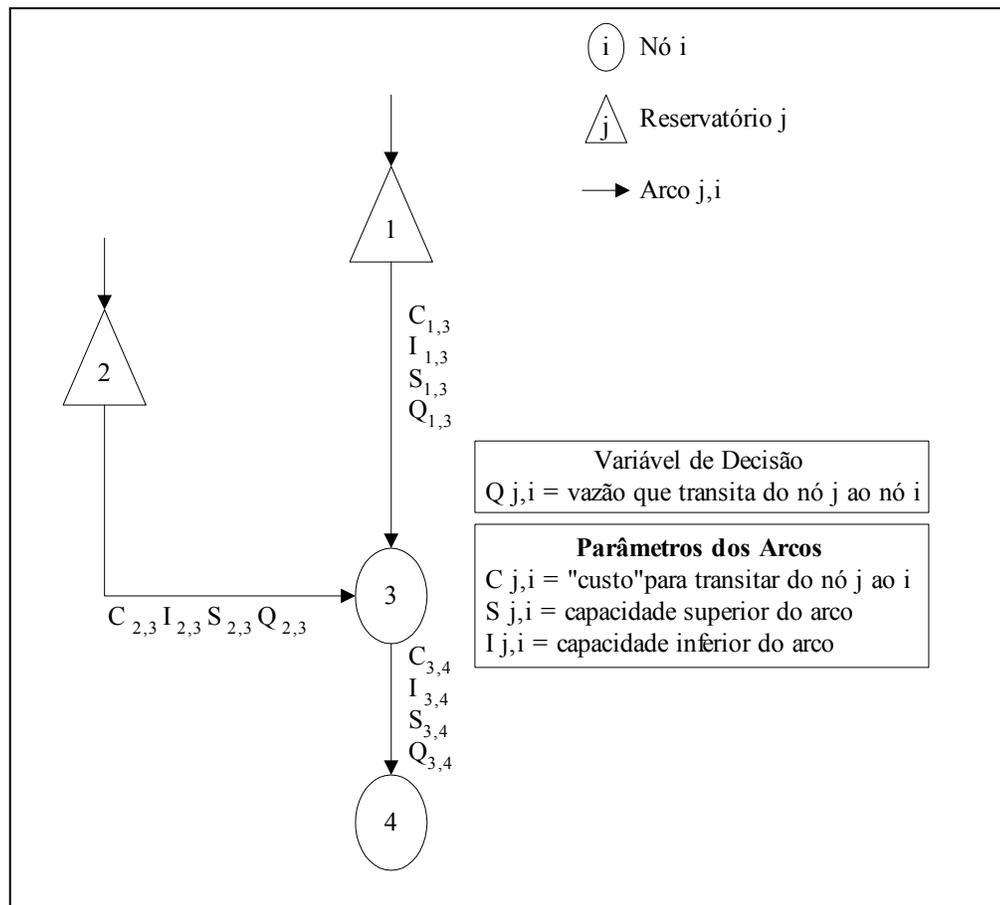


FIGURA 10: Esquema de uma rede de fluxo de um sistema de recursos hídricos (Fonte: AZEVEDO et al., 1997).

O modelo trabalha com a otimização da função apresentada a seguir:

$$\min \sum \sum C_{ij} \times Q_{ij} \tag{3.2}$$

sujeito a:

$$\sum Q_{ij} - \sum Q_{ki} = 0 \tag{3.3}$$

e

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij} \tag{3.4}$$

Onde:

Q_{ij} : vazão que transita do nó j ao nó i

C_{ij} : custo (prioridade) da unidade de vazão que transita entre os nós j e i

N : número total de nós da rede

I_{ij} : limite inferior da vazão no arco ij

S_{ij} : limite superior da vazão no arco ij

A **Equação 3.2** representa a função objetivo do sistema, sendo as **Equações 3.3 e 3.4** as restrições impostas ao sistema. A função objetivo representa o custo total da rede. De acordo com ROBERTO & PORTO (2001) a **Equação 3.3** estabelece que a rede deve ser totalmente conservativa (diz-se também totalmente circulante), ou seja, a soma das vazões afluentes ao nó i deve ser igual à soma dos fluxos que saem dele. Esta é uma imposição do algoritmo que precisa ser obedecida incondicionalmente. A **Equação 3.4** é a segunda restrição, que impõe que o valor de vazão em cada arco deve estar sempre na faixa limitada pelas capacidades mínimas e máximas do arco.

Segundo AZEVEDO et al. (1997) os modelos de rede de fluxo reúnem características das técnicas de simulação e otimização e apresentam como vantagens:

- na grande maioria dos casos pode-se representar um sistema de recursos hídricos de forma adequada, realista, flexível e bastante clara como uma rede composta de nós e arcos; e
- modelos de rede de fluxo incluem também algoritmos de otimização linear que minimizam o custo total da rede, ou seja, determina-se os fluxos em todos os arcos de tal forma que a somatória de todos os custos seja mínima.

ROBERTO & PORTO (2001) enfatizam a alta eficiência dos algoritmos de otimização de rede de fluxo, o que significa que sistemas extremamente grandes e complexos podem ser tratados em microcomputadores comuns.

AZEVEDO et al. (1997) também levantam algumas desvantagens como:

- modelo de rede de fluxo permite apenas custos lineares; e
- modelo de rede de fluxo permite apenas dois tipos de limitações (condicionantes do sistema):

- a) condicionante de manutenção de balanço de massa em cada nó.
- b) limites máximos e mínimos para vazão em cada arco.

3.5.1.2 ModSimP32

LABADIE et al. (1986) destacam que o ModSim teve origem com um modelo de rede chamado SIMYLD II, originalmente desenvolvido no Texas Water Development Board⁷.

O ModSim é um modelo de rede de fluxo desenvolvido na Colorado State University sob a liderança do Prof. John Labadie. Foi inserido no modelo uma interface gráfica para facilitar a sua aplicação, chamada de *ModSimP32* desenvolvida pelo *Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões* da Escola Politécnica da USP e apresentado por ROBERTO & PORTO (1999a).

De acordo com LABADIE (1999) o modelo visa principalmente a obtenção de diretrizes gerenciais semanais ou mensais para toda uma bacia hidrográfica ou uma sub-bacia. Podendo gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas.

A representação da bacia se dá em forma de rede de fluxo como apresentado na **FIGURA 11**.

⁷ Texas Water Development Board, 1972. Economic optimization and simulation techniques for management of regional water resource system; River Basin Simulation Model SIMYLD-II – program limites máximos e mínimos para vazão em cada arco description. Systems Engineering Division, Austin, Texas.

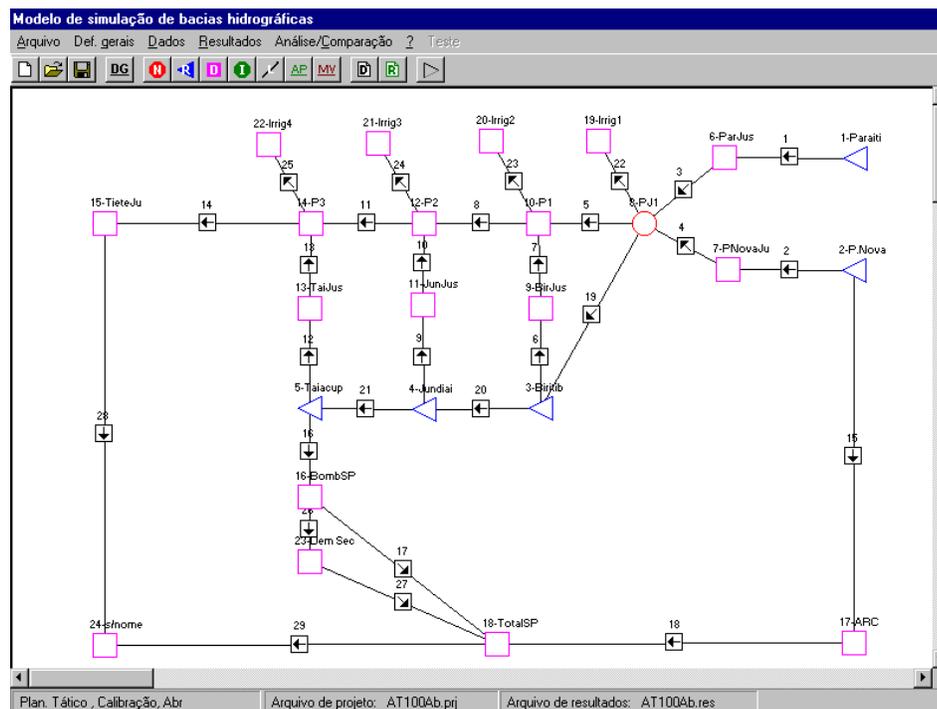


FIGURA 11: Rede de fluxo do sistema alto Tietê (Fonte: ROBERTO & PORTO, 1999b)

Segundo LABADIE (1999) os modelos de rede incluem uma capacidade de otimização proveniente do uso de um algoritmo de rede de fluxo conhecido como “out of kilter” (OKM). Trata-se de um algoritmo essencialmente primo-dual de programação linear que foi desenvolvido especificamente com vistas a dar uma solução eficiente para os problemas de rede de fluxo com custo mínimo.

Os dados de entrada utilizados são as características físicas do sistema, as vazões afluentes, as taxas de evaporação, os coeficientes de perda por infiltração, as demandas, as características da usina, se for o caso, para o cálculo da energia elétrica produzida e critérios operacionais.

ROBERTO & PORTO (1999b) apresentam a aplicação do modelo em um sistema de usos-múltiplos, na bacia do Alto Tietê. O modelo obteve como resultado, do referido sistema, gráficos da variação da vazão anual média aduzida em função do armazenamento inicial do sistema para diversos níveis de garantia e da probabilidade de terminar o período com armazenamento igual ou superior a um dado nível, em função do armazenamento inicial.

Atualmente está sendo desenvolvido o modelo ModSimLS pelo *Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões* da Escola Politécnica da USP, apresentado em ROBERTO & PORTO (2001). O modelo é um melhoramento do modelo ModSimP32 onde se pretende trabalhar de forma integrada com Sistemas de Informações Geográficas, particularmente com o software GeoMedia Professional da Intergraph Corporation. As principais vantagens deste novo modelo são apresentadas por ROBERTO & PORTO (2001) e são resumidas a seguir:

- todos os dados e resultados passam a ficar armazenados em banco de dados;
- não existe mais limite de elementos da rede;
- nas partes de entrada e edição de dados e visualização de resultados somente os elementos selecionados pelo usuário serão mostrados;
- é possível visualizar ao mesmo tempo resultados de variáveis distintas, como o volume armazenado nos reservatórios e vazão fornecida às demandas;
- a ferramenta gráfica para apresentação dos gráficos apresenta amplas possibilidades de edição;
- o resumo dos resultados é apresentado em formato de planilha e gráfico; e
- desenvolvimento de ferramentas especiais para dimensionar e localizar elementos na rede.

3.5.2 Modelo IRAS

O modelo IRAS – Interactive River-Aquifer Simulation, foi desenvolvido pela Resources Planning Associates, INC. e pela University of Cornell, Ithaca, NY, em 1994 , para apoiar o planejamento e gestão de sistemas de recursos hídricos, ajudando na avaliação de desempenho do sistema e dos impactos de projetos propostos, podendo avaliar a política operacional de um sistema de recursos hídricos.

De acordo com PEIXOTO et al. (2001) o modelo de simulação IRAS é capaz de simular fluxos, volumes de armazenamento, concentrações de qualidade da água, geração de energia

elétrica e a energia produzida e consumida (estações de bombeamento) em vários locais com variações no tempo e no espaço.

“As potencialidades do modelo o tornam atraente para as análises hidrológicas de sistemas de abastecimento de água para consumo humano, produção de energia, irrigação ou sistemas de usos múltiplos” (LIMA et al., 2001b).

Os sistemas para serem simulados usando o IRAS devem ser representados por uma rede de nós e arcos. Assim como em um sistema de rede de fluxo, os nós representam pontos representativos do sistema, podendo simbolizar reservatórios, pontos de bombeamento, locais de demanda, aquíferos, lagos naturais e outras estruturas. Os arcos representam fluxos existentes entre os nós do sistema. A **FIGURA 12** representa a rede de arcos e nós do sistema. O modelo IRAS apresentado na **FIGURA 12** trabalha no ambiente DOS. Na **FIGURA 13** é apresentada a nova versão do modelo com interface com o Windows/Microsoft.

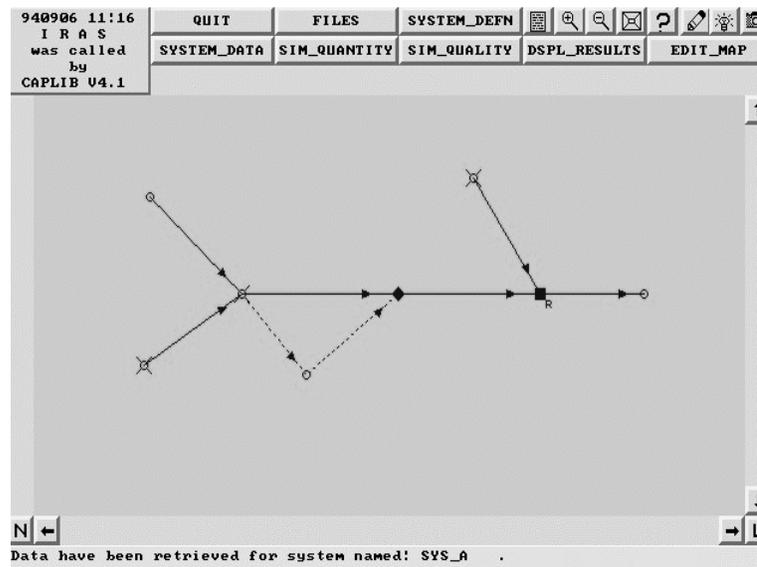


FIGURA 12: Exemplo de uma rede de nós e arcos, utilizada no modelo IRAS (Fonte: Loucks et al.⁸ apud PEIXOTO et al., 2001)

⁸ LOUCKS, D.P.; FRENCH, P.N.; TAYLOR, M.R. (1994). IRAS – Interactive river-aquifer simulation program description and operation. Resources Planning Associates, Incorporated, Ithaca, NY.

PEIXOTO et al. (2001) enfatiza que o modelo não é capaz de identificar as alternativas ou políticas operacionais de maior preferência, o seu objetivo é avaliar o desempenho do sistema. Este fato se deve a falta de capacidade de otimização do sistema.

A entrada de dados do modelo inclui dados das estações fluviométricas, além dos dados que caracterizam as estruturas representadas pelo nó do sistema. No caso do nó representar um reservatório as suas características físicas e de comportamento devem ser fornecidas, como: capacidade, curva cota-área-volume, a regra de operação do reservatório, em função do volume armazenado, a curva de infiltração, em função do volume armazenado, e a taxa de evaporação. Os valores de demanda também devem ser fornecidos, onde se estabelece fontes para o fornecimento de água e sua regra de prioridade de utilização. Os arcos do sistema também devem ser caracterizados, com a definição do seu comprimento, capacidade de escoamento e perdas por infiltração e evaporação.

O modelo IRAS realiza o balanço de massa de água, em cada nó do sistema, levando em consideração aspectos quantitativo e qualitativo. A qualidade da água é analisada através do acréscimo ou decréscimo de cargas poluentes por transformações químicas e biológicas. A simulação é feita com intervalos de tempo a ser definido pelo usuário a depender da finalidade da simulação e dos dados de entrada disponíveis.

O diálogo entre o sistema e o decisor é feito a partir de uma interface gráfica apresentada na **FIGURA 13**, que apresenta a nova versão do modelo IRAS, com interface Windows/Microsoft. Esta interface é apresentada tanto na entrada de dados, como na operação do modelo e leitura e análise dos resultados.

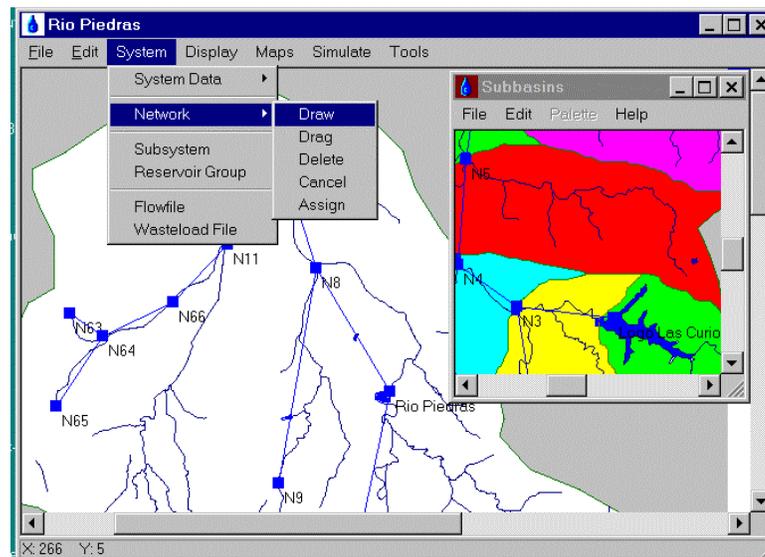


FIGURA 13: Interface gráfica do modelo IRAS-98 (Fonte: IRAS, 2001)

“Uma vez que o sistema tenha sido simulado, um arquivo de saída é criado e, então os resultados contidos neste arquivo podem ser mostrados visualmente de diferentes formas: através de tabelas de valores de saída das variáveis, gráficos em séries de tempo de valores das variáveis do sistema e distribuição de probabilidade de intensidades e durações de falhas” (PEIXOTO et al., 2001).

“Definidos os níveis de fornecimento de água, de volume de armazenamento, de vazão escoada, de energia produzida ou de concentração de cargas poluentes, o programa calcula para cada um dos objetivos, índices de confiabilidade e de resiliência, bem como funções de probabilidade de vulnerabilidade” (LIMA et al., 2001b). Estes índices são definidos como:

Índice de confiabilidade ou garantia: definido como a probabilidade de não ocorrer uma falha no sistema e que forneça a medida em termos probabilísticos da capacidade do sistema para satisfazer os objetivos físicos sem falhas.

$$\text{Confiabilidade} = 1 - \frac{\text{n}^\circ \text{ de valores simulados na zona insatisfatória}}{\text{n}^\circ \text{ de períodos simulados}}$$

Índice de resiliência: tenta medir a capacidade do sistema de recuperar-se de uma situação não satisfatória em que se encontra.

$$\text{Resiliência} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de vezes que um valor na zona insatisfatória foi seguido de um valor na zona satisfatória}}{\text{n}^\circ \text{ de valores simulados na zona insatisfatória}}$$

Índice de vulnerabilidade: mede a severidade das falhas a que o sistema está sujeito. A vulnerabilidade pode ser ainda descrita como uma medida da dimensão da falha de um dado objetivo e é definida pela diferença entre o objetivo e o nível atingido. A **FIGURA 14** apresenta um exemplo de saída de dados de vulnerabilidade do modelo IRAS.

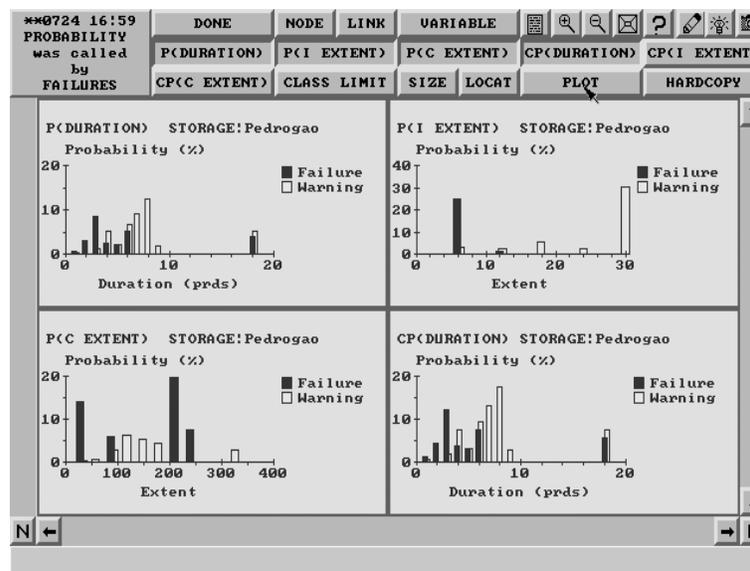


FIGURA 14: Exemplo de saída de dados de vulnerabilidade (Fonte: Mauad⁹ apud PEIXOTO et al., 2001).

O modelo IRAS é de uso geral, define um amplo conjunto de funções e de valores, tais como as regras de operação de cada reservatório, os objetivos de volume armazenado e de descargas mínimas de cada reservatório, as funções de desvio de cada tomada de água, assim

⁹ MAUAD, F.F. (2000). Planejamento integrado de recursos hídricos: o confronto de usos múltiplos de água no aproveitamento hidroelétrico de Alqueve em Portugal. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

como os objetivos de fornecimento e as regras de prioridades de utilização das fontes de fornecimento de cada ponto de consumo.

Sendo assim, o Modelo de Simulação Computacional IRAS apresenta possibilidade de ser utilizado como ferramenta com objetivo principal de se estudar quantitativamente os usos múltiplos e conflitantes (geração de energia elétrica, irrigação e abastecimento urbano e industrial) de modo a definir a resiliência, a confiabilidade e a vulnerabilidade do sistema, para definição da melhor regra de operação dos reservatórios envolvidos.

3.5.3 Modelo MIKE BASIN 2000

O modelo MIKE BASIN 2000 foi desenvolvido pelo Danish Hydraulic Institute - Water & Environment, da Dinamarca, sendo um sistema bastante utilizado para avaliar cenários relativos ao planejamento dos recursos hídricos.

“O MIKE BASIN 2000 permite a análise de diversos cenários, possibilitando a escolha da melhor alternativa, visando a integração harmônica dos diversos usos conflitantes, obtendo assim melhores benefícios técnico-econômicos, sociais e ambientais” LIMA et al. (2001b).

Este software é utilizado integradamente com o Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o ArcView GIS, que é um software para processamento de Informações Geográficas. O ArcView é responsável pela visualização da rede do sistema, previamente digitalizada. Dados de entrada como: local dos usuários de água, reservatórios e entradas e saídas de vazões de retorno são definidos na tela.

“O MIKE BASIN 2000 pode realizar entre outras as seguintes atividades: análise de disponibilidade de água (uso integrado de água superficiais e subterrânea com otimização), planejamento de infra-estrutura (potencial de irrigação, desempenho de reservatórios, capacidade de abastecimento de água, exigência para tratamento de águas residuais), análises multiobjetivas

(usos doméstico, industrial, agricultura, geração de energia hidroelétrica, navegação, ecologia, encontrando soluções de compromisso) e estudos de ecossistemas (qualidade da água, exigências de descarga mínimas, desenvolvimento sustentável, efeitos das mudanças globais, análise de possíveis outorgas de usos de água, prioridades)” LIMA et al. (2001a).

A entrada básica para o modelo consiste em dados de séries históricas de vazões e de escoamento superficial da bacia. Arquivos de entradas adicionais definem as características do reservatório, operação em rede de cada reservatório, séries temporais meteorológicas e dados para abastecimento de água ou irrigação, bem como derivações de água e vazões de retorno.

O modelo trabalha com um sistema de rede de fluxo simulando o desempenho do sistema global aplicando o balanço de massa em toda rede de nós e arcos, onde arcos representam seções de fluxo individuais e os nós representam confluências, derivações, ou locais importantes onde são necessários resultados do modelo. A **FIGURA 15** apresenta um exemplo de rede de fluxo do Mike Basin 2000.

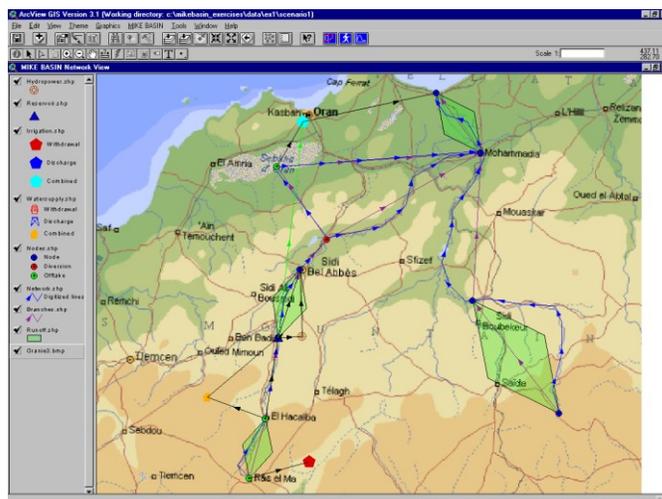


FIGURA 15: Sistema de rede de fluxo aplicado ao Mike Basin 2000 (Fonte: GUIDE TO GETTING STARTED TUTORIAL¹⁰ apud LIMA, 2001a).

A otimização no MIKE BASIN é realizada com a integração do modelo com a função Solver do Excel (Microsoft). “O Solver do Excel é usado para achar o “ótimo”, possibilitando:

¹⁰ GUIDE TO GETTING STARTED TUTORIAL (2000), MIKE BASIN: a versatile decision support tool for integrated water resources management and planning. Danish Hydraulic Institute.

análise de sensibilidade, otimização, avaliação de múltiplos cenários e comparação gráfica”(LIMA et al., 2001a).

Segundo MIKE BASIN (2002) para a simulação do escoamento em rios, o MIKE BASIN 2000 oferece opção para o uso do método Muskingum. De acordo com LIMA et al. (2001a) este método foi concebido para a modelagem da propagação de cheia em cursos d’água, onde a complexidade da geometria da calha principal e a de inundação dificultam a modelagem hidráulica do escoamento.

O MIKE BASIN pode gerenciar sistemas de reservatórios múltiplos com multi-propósitos. Para reservatórios individuais, pode ser simulado o desempenho de políticas operacionais específicas que usam curvas de regra operacionais associadas. Curvas de regra operacional definem os volumes de armazenamento desejados, níveis de água e descargas a qualquer hora como uma função do nível de água existente, no tempo, demanda de água e possíveis vazões desejadas. Na simulação da operação dos reservatórios a precipitação e perdas do sistema por vazamento ou evaporação são consideradas.

A água subterrânea é levada em consideração na simulação do sistema, onde os processos de infiltração (fluxo do rio para o aquífero), recarga subterrânea (bacia para aquífero) e descarga subterrânea (aquífero para rio) são incluídos no modelo. A vazão de água retirada através do bombeamento entra no cálculo do modelo de reservatório linear. Neste modelo a vazão de saída do reservatório é proporcional ao seu armazenamento. A **FIGURA 16** apresenta um esquema de extração de água superficial e subterrânea em um nó do sistema e o retorno de vazão a jusante do nó.

LIMA et al. (2001b) apresenta as duas opções de consideração do reservatório. A primeira é a opção “*Standard Reservoir*” onde o reservatório é considerado como um armazenamento físico e todos os usuários retiram água do mesmo armazenamento. A segunda é a opção “*Allocation Pool Reservoir*” o armazenamento principal é dividido em quatro armazenamentos físicos: armazenamento de controle de inundação, armazenamento de distribuição comum, armazenamento de conservação e armazenamento para sedimentos, como apresentado na **FIGURA 17**.

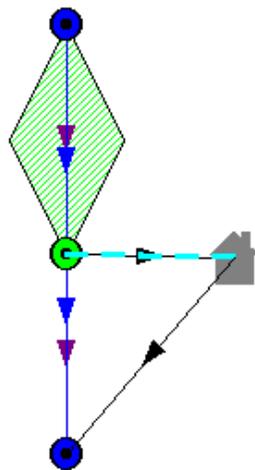


FIGURA 16: Exemplo de um esquema de derivação de água (Fonte: MIKE BASIN, 2002).

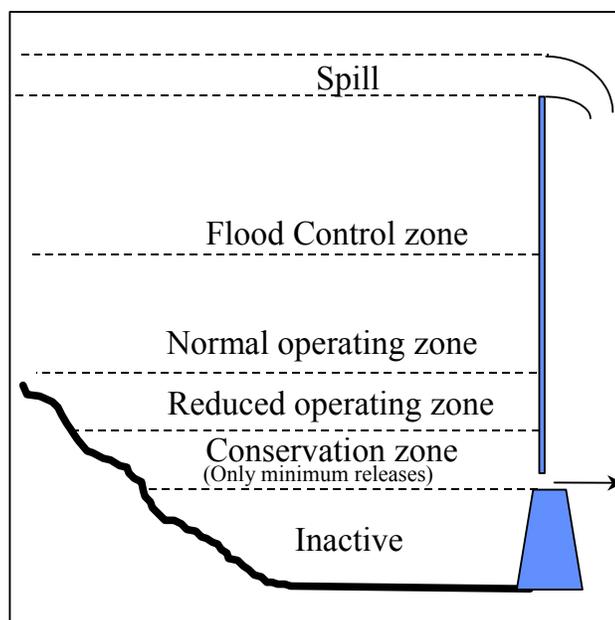


FIGURA 17: Configuração do reservatório para a opção “Allocation Pool Reservoir”. (Fonte: GUIDE TO GETTING STARTED TUTORIAL¹¹ apud LIMA, 2001a).

Existe um módulo chamado WQ, que acoplado ao MIKE BASIN 2000, simula o transporte e degradação de substâncias como amônia, nitrato, oxigênio, fósforo total, nitrogênio total e matéria orgânica dissolvida. A análise da qualidade da água também pode ser feita através das demandas biológicas e químicas de oxigênio (DBO e DQO).

Os resultados do modelo incluem informação sobre o desempenho individual de cada reservatório (e unidades de geração de energia associadas) e outros esquemas com demandas de água (irrigação, etc.). Todos os resultados podem ser visualizados em vários formatos, inclusive com animação. Exemplos e aplicações podem ser visualizados no site MIKE BASIN (2002), apresentado na referência bibliográfica.

4 *MATERIAIS E MÉTODOS*

4.1 **Introdução**

As simulação da operação do sistema de múltiplos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu são feita através do modelo OperRes, que será descrito no **Ítem 4.2**. A bacia do rio Paraguaçu foi escolhida por se tratar da bacia responsável pela maior parte do abastecimento da cidade de Salvador e região metropolitana.

4.2 **O modelo OperRes**

O modelo matemático de gerenciamento dos estoques de água em tempo real (OperRes) foi desenvolvido tendo como algoritmos básicos expressões matemáticas, referentes ao balanço hídrico dos reservatórios, que descrevem a operação do sistema no espaço e no tempo.

“O OperRes é um modelo computacional de simulação de operação de reservatórios que foi originalmente concebido pelos seguintes professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo: Antonio Marozzi Righeto, Rodrigo de Melo Porto e Swami Marcondes Villela. Sua primeira aplicação foi feita na bacia do rio Curu, estado do Ceará” (SHS NE, 1996). A versão atual do modelo foi desenvolvida pelos engenheiros Swami Marcondes Villela, Daniel Autran, Adelena Gonçalves Maia e Melissa Cristina Pereira Graciosa , e o aluno de graduação em Ciências da Computação Ricardo Froehlich, com a ajuda financeira da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

O modelo utiliza a aritmética de volumes do balanço hidrológico incluindo precipitação, evaporação, demandas requeridas pelos usuários de água e perdas em trânsito, no intuito de calcular a máxima vazão a ser liberada de cada reservatório, mediante restrições impostas ao sistema. As restrições levam em consideração os volumes de água disponíveis, no período de simulação e no horizonte de controle, o volume mínimo do reservatório e a taxa máxima de esvaziamento imposta para os reservatórios. O intervalo de tempo para cada simulação é de 15 dias, escala de tempo razoável para considerar a realização de balanços de massa no sistema como um todo. O balanço hídrico realizado no reservatório segue a expressão apresentada na **Equação 4.1**.

$$Vf_i = V_i + VAFLU_i - VEVAP_i - Vr_i \quad (4.1)$$

Onde:

Vf_i - volume final do reservatório i ;

V_i - volume inicial do reservatório i ;

$VAFLU_i$ - volume oriundo das chuvas e das vazões vertidas dos reservatórios à montante do reservatório i ;

$VEVAP_i$ - volume perdido pelo reservatório i por evaporação; e

Vr_i - volume a ser liberado do reservatório i após as restrições impostas.

A representação da bacia é feita através de um diagrama unifilar, no qual se reproduz a interdependência entre trechos a serem abastecidos e reservatórios que os abastecem. O diagrama representa o sistema através de reservatórios e trechos. Como será visto posteriormente os reservatório são caracterizados fisicamente e os trechos através dos seus comprimentos e das demandas de água requeridas.

4.2.1 Características do modelo

O OperRes apresenta uma abordagem “soft” do processo decisório que auxilia na tomada de decisão. “Os modelos de tradição soft procuram representar modelos de questionamento

sobre a realidade e não modelar a realidade. Eles conduzem ao aprendizado que substitui a otimização ou a satisfação; esta tradição segue a linguagem das *questões e acomodações* e não das *soluções*” Checkland¹² apud Matzenauer & Jardim (2001).

O OperRes segue um paradigma construtivista e de aprendizado. O pensamento construtivista aplicado ao processo decisório tem como característica básica a valorização da subjetividade. Matzenauer & Jardim (2001) apresentam outras características, como:

- as ações potenciais não são mutuamente exclusivas, nem necessariamente factíveis (podem ser recomendações);
- as preferências dos decisores não são bem definidas. Existem incertezas, crenças parciais, preconceitos, conflitos e contradições;
- é impossível definir se uma decisão é boa ou ruim apenas com base em um modelo matemático;
- no processo decisório há influência de fatores organizacionais, culturais e pedagógicos, que contribuem para a qualidade e sucesso da decisão;
- há a convicção do permanente aprendizado;
- o objetivo não é encontrar uma solução ótima, mas sim gerar conhecimento aos decisores; e
- o decisor único é um mito. Vários atores tomam parte do processo decisório direta ou indiretamente.

“Segundo Dr. António Damásio, neurologista português que é um dos maiores pesquisadores da mente humana, em entrevista à revista Veja de 25/06/2001, as emoções são extraordinariamente importantes no processo de decisão, pois fazem parte do mecanismo neurológico de decisão” Matzenauer & Jardim (2001).

O OperRes é um modelo de operação de reservatórios do tipo determinístico, não considera as chances de ocorrência das variáveis envolvidas no processo, com estrutura comportamental característica (determina o comportamento do sistema de reservatórios de

¹² CHECKLAND, P.B. (1985). From Optimizing to Learning: A Development of Systems Thinking for the 1990s. *Journal of Operational Research Soc.* Vol 36, nº 9, pp. 757-767.

acordo com os dados de entrada) sendo desenvolvido para usos múltiplos.

O modelo apresenta uma memória de dados finita, ou seja, existe uma dependência da entrada de dados ocorrida dentro de um período finito no passado. Outra característica do modelo é o seu comportamento não linear, distribuído e conceitual. As definições destas características se encontram no **Ítem 3.2**, da revisão bibliográfica. O modelo ainda pode ser caracterizado como do tipo precipitação-vazão, que simulam a partir de dados de precipitação.

A simulação apresentada pelo OperRes é uma simulação de um evento discreto, onde a descrição do sistema é feita em termo de relações lógicas que causam mudança de estado, representadas por mudanças na variável de estado, em pontos discretos do tempo.

4.2.2 Descrição do Modelo

O OperRes é um modelo geral, sendo possível a sua aplicação em qualquer sistema de múltiplo reservatórios. A entrada dos dados que caracterizam o sistema é feita pela primeira parte do modelo, responsável pelo pré-processamento dos dados, sendo escrito em linguagem Python; o programa “`cfg.py`”, constrói os arquivos de entrada para serem utilizados no programa principal, o “`oper_res.py`”.

Para a utilização do modelo OperRes é preciso inicialmente configurar a bacia a ser analisada através de um diagrama unifilar. O diagrama é composto por reservatórios e trechos. A numeração dos reservatórios e trechos deve ser iniciada pelos cursos d’água de menor ordem, a contagem deve ser crescente até ser finalizada no rio principal. O **Anexo B** apresenta o diagrama unifilar da bacia do rio Paraguaçu.

O programa “`cfg.py`” deve ser aberto e pedido a opção relacionada a um novo projeto. A partir de então deve-se fornecer o nome da bacia hidrográfica e número dos reservatórios, bem como o número de trechos e postos pluviométricos existentes na bacia hidrográfica que será configurada, como apresentado na **FIGURA 18**.

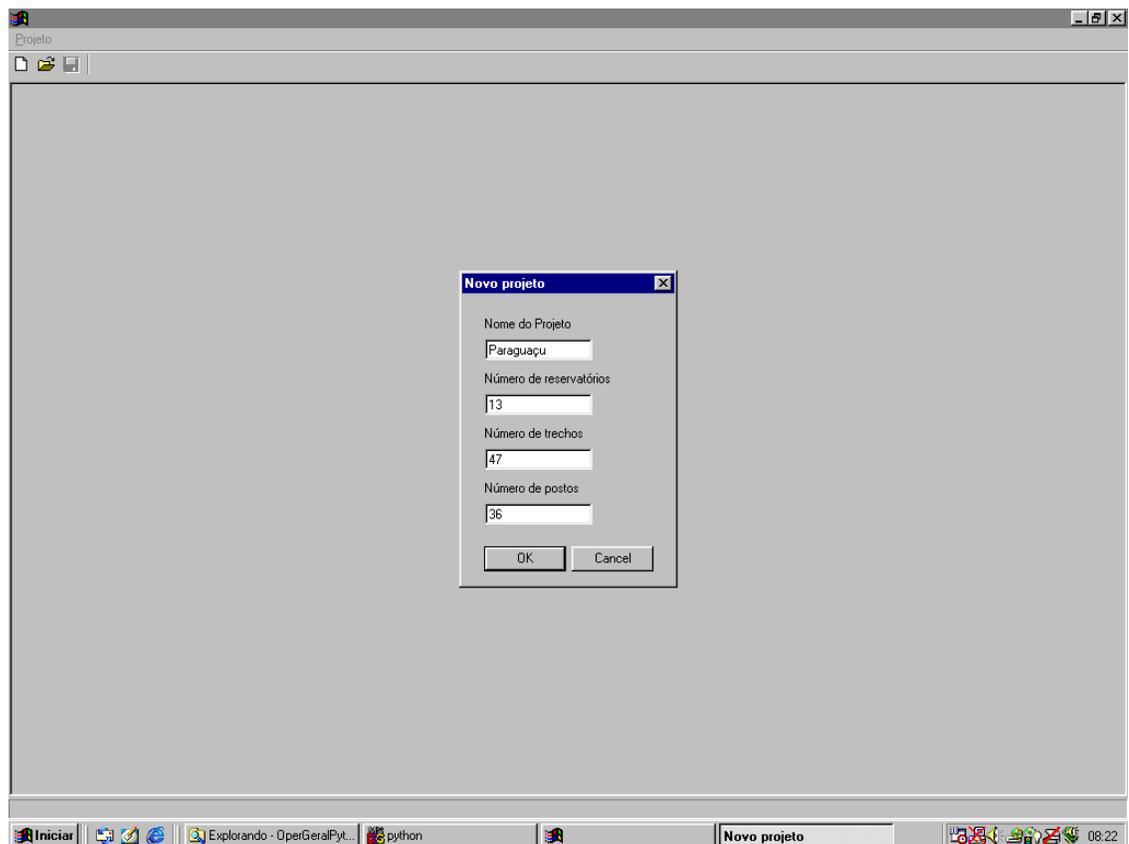


FIGURA 18: Tela inicial do programa de pré-processamento.

Feito isso, aparecerá uma janela contendo seis guias: trechos, evaporação, reservatórios, postos, reservatórios à montante e dependências. Na guia “trechos”, o usuário visualiza uma listagem com todos os trechos existentes na bacia hidrográfica, de modo que se possa editar cada um destes, clicando no botão “propriedades”, a partir do qual aparecerá uma caixa de diálogo. Nesta caixa de diálogo, o usuário entrará com os dados de comprimento do trecho, em quilômetros, e as 24 demandas quinzenais, que representam um ano, em m^3/s . A **FIGURA 19** apresenta a referida tela.

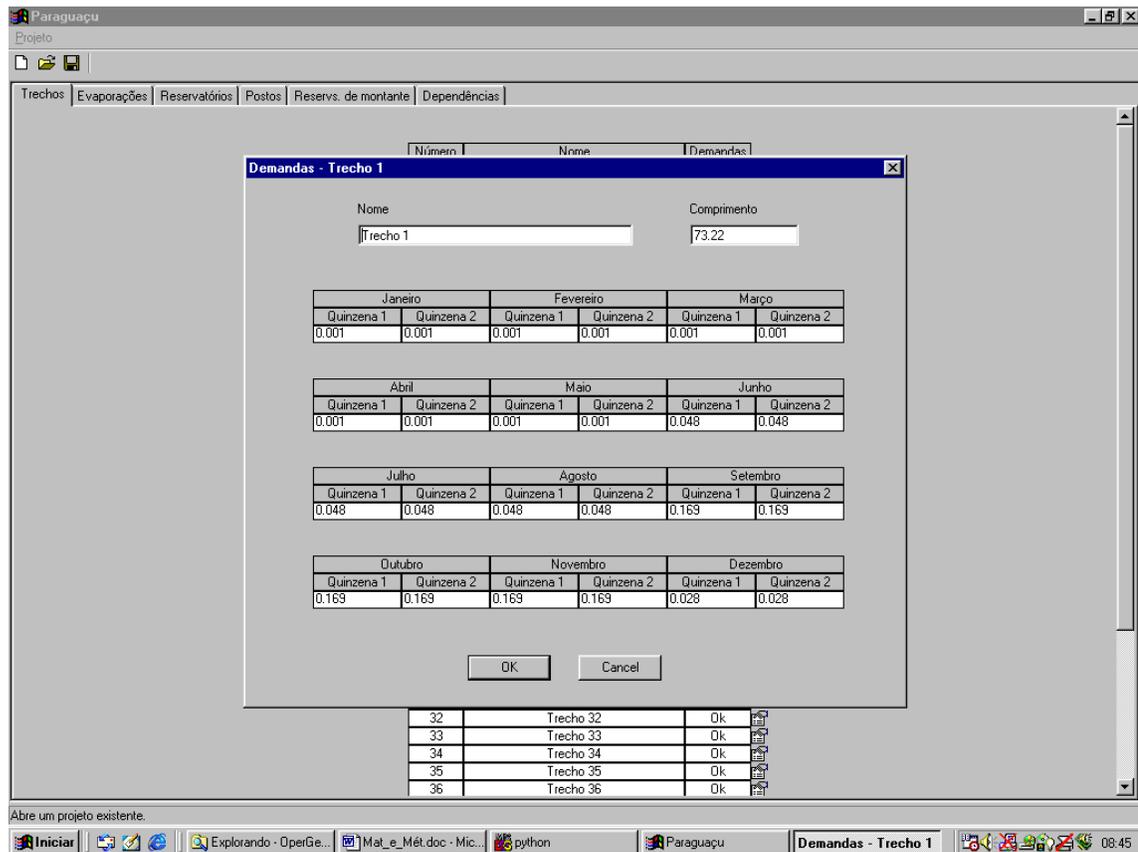


FIGURA 19: Tela com o comprimento e demandas do trecho.

Na guia “Evaporações”, o usuário fornecerá, para cada quinzena, os valores das evaporações quinzenal, em mm/mês, no período de um ano. A **FIGURA 20** apresenta a tela onde estes valores devem ser fornecidos.

Inserir as evaporações quinzenais:

Janeiro		Fevereiro		Março		Abril	
Quinzena 1	Quinzena 2						
158.1	158.1	147.3	147.3	137.1	137.1	100.0	100.0

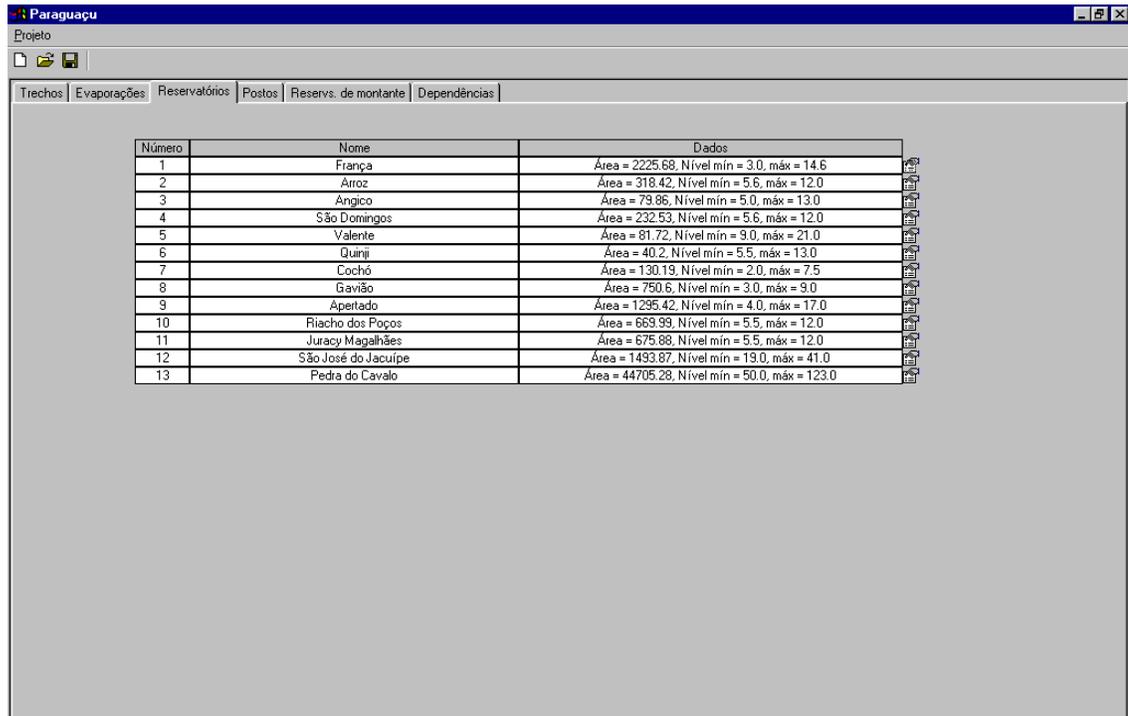
Maio		Junho		Julho		Agosto	
Quinzena 1	Quinzena 2						
89.7	89.7	84.9	84.9	92.0	92.0	111.3	111.3

Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
Quinzena 1	Quinzena 2						
135.1	135.1	155.7	155.7	149.9	149.9	157.7	157.7

Limpar

FIGURA 20: Dados de evaporação da bacia em análise.

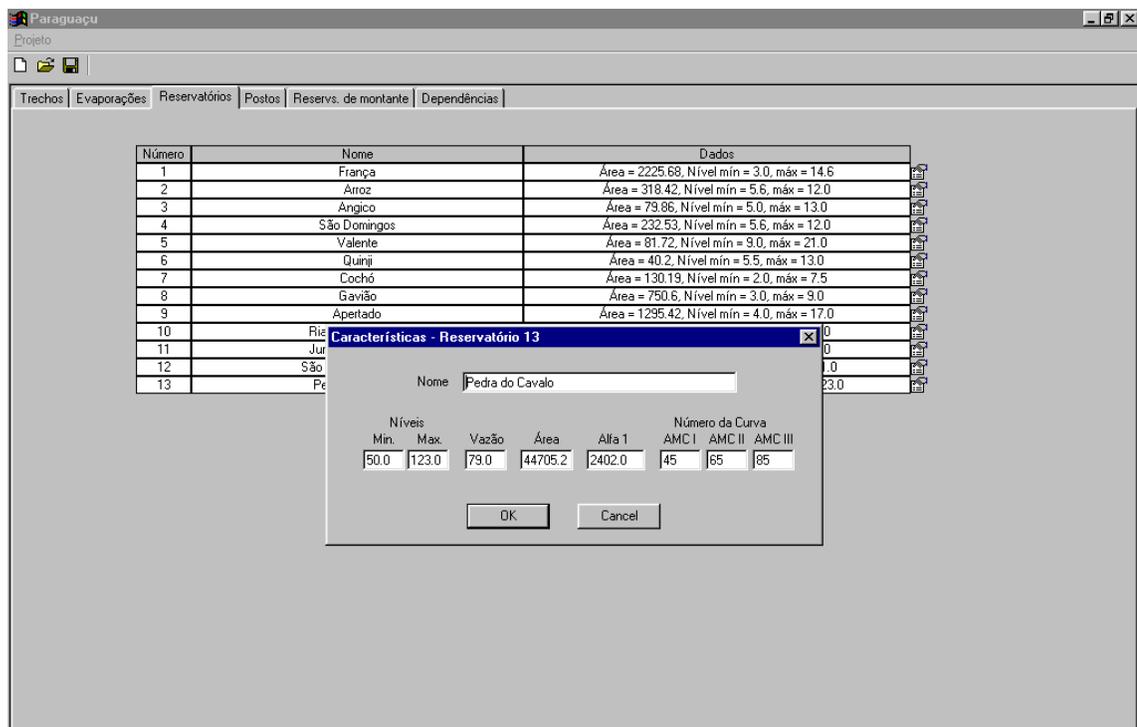
Na guia “Reservatórios”, apresentado na **FIGURA 21**, o usuário visualiza uma listagem com todos os reservatórios da bacia hidrográfica, mostrando o nome, níveis máximo e mínimo, e área de drenagem da sua bacia de drenagem e algumas das suas características. Os dados de cada reservatório podem ser editados abrindo-se uma caixa de diálogo, apresentada na **FIGURA 22**, onde é inserido o nome dos reservatórios, os seus os valores de área de drenagem do reservatório, em km^2 , níveis máximo e mínimo dos reservatórios, em metros, vazão máxima librada de cada reservatório quando estão cheios, em m^3/s , e a relação α , proveniente dos dados de cota – volume do reservatório, onde se considera que a equação do volume em função da altura d’água suposta para o modelo é $V = \alpha \cdot h^3$. Além destes dados deve-se fornecer o valor de ACMI, AMCII e AMCIII, que são os valores do “numero da curva” utilizados no Método do “Curve Number” desenvolvido pelo Departamento de Conservação do Solo norte-americano, SCS (Soil Conservation Service), onde são considerados fatores de umidade, grau de vegetação, tipo e ocupação do solo. Este método será descrito no **Ítem 4.2.2.1**.



The screenshot shows the 'Reservatórios' tab in the Paraguaçu software. A table lists 13 reservoirs with their respective areas and level ranges.

Número	Nome	Dados
1	França	Área = 2225,68, Nível min = 3,0, máx = 14,6
2	Arroz	Área = 318,42, Nível min = 5,6, máx = 12,0
3	Angico	Área = 79,86, Nível min = 5,0, máx = 13,0
4	São Domingos	Área = 232,53, Nível min = 5,6, máx = 12,0
5	Valente	Área = 81,72, Nível min = 9,0, máx = 21,0
6	Quinij	Área = 40,2, Nível min = 5,5, máx = 13,0
7	Cochó	Área = 130,19, Nível min = 2,0, máx = 7,5
8	Gavião	Área = 750,6, Nível min = 3,0, máx = 9,0
9	Apertado	Área = 1295,42, Nível min = 4,0, máx = 17,0
10	Riacho dos Poços	Área = 669,99, Nível min = 5,5, máx = 12,0
11	Juracy Magalhães	Área = 675,88, Nível min = 5,5, máx = 12,0
12	São José do Jacuípe	Área = 1493,87, Nível min = 19,0, máx = 41,0
13	Pedra do Cavalo	Área = 44705,28, Nível min = 50,0, máx = 123,0

FIGURA 21: Listagem dos reservatórios e suas características.



The screenshot shows the 'Reservatórios' tab with a dialog box open for 'Reservatório 13'. The dialog box displays the following data:

Níveis		Vazão	Área	Alfa 1	Número da Curva		
Min.	Max.				AMC I	AMC II	AMC III
50,0	123,0	79,0	44705,2	2402,0	45	65	85

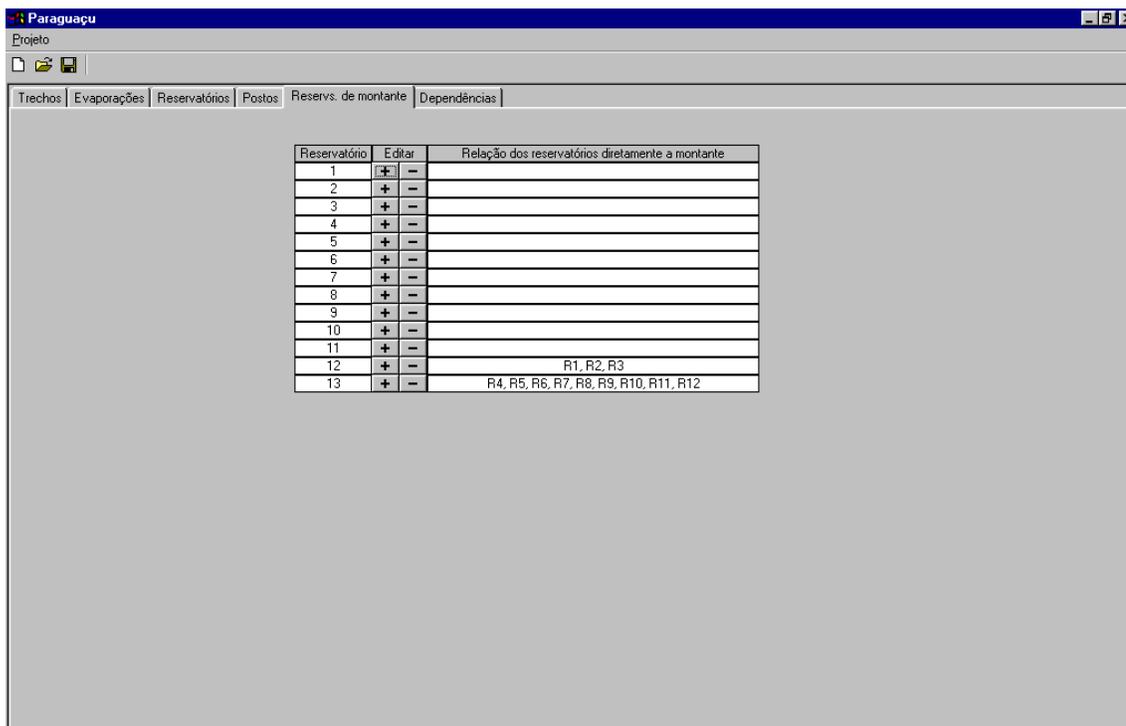
FIGURA 22: Tela com os dados do reservatório de Pedra do Cavalo.

Na guia “Postos”, apresentada na **FIGURA 23**, deve-se listar, para cada reservatório, todos os postos pluviométricos que apresentam a sua área de influência dentro da área de drenagem do reservatório, ou seja, os postos nos quais a sua precipitação terá contribuição para a bacia do reservatório. As áreas de contribuição de cada posto pluviométrico são calculadas pelo método de Thiessen, em um processo externo ao programa. O somatório das áreas de influência dos postos, para um determinado reservatório, deve corresponder à área total da bacia do reservatório; este somatório é utilizado para a verificação da consistência dos dados inseridos.

Reservatório	Editar	Relação dos postos	Completo
1	+ -	P14, P15, P16	<input checked="" type="checkbox"/>
2	+ -	P16	<input checked="" type="checkbox"/>
3	+ -	P19	<input checked="" type="checkbox"/>
4	+ -	P32	<input checked="" type="checkbox"/>
5	+ -	P32	<input checked="" type="checkbox"/>
6	+ -	P33	<input checked="" type="checkbox"/>
7	+ -	P3	<input checked="" type="checkbox"/>
8	+ -	P2, P3, P4	<input checked="" type="checkbox"/>
9	+ -	P1	<input checked="" type="checkbox"/>
10	+ -	P2, P6, P9	<input checked="" type="checkbox"/>
11	+ -	P9, P11, P12	<input checked="" type="checkbox"/>
12	+ -	P15, P16, P17, P19	<input checked="" type="checkbox"/>
13	+ -	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14,	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 23: Tela com a apresentação dos postos que influenciam em cada reservatório.

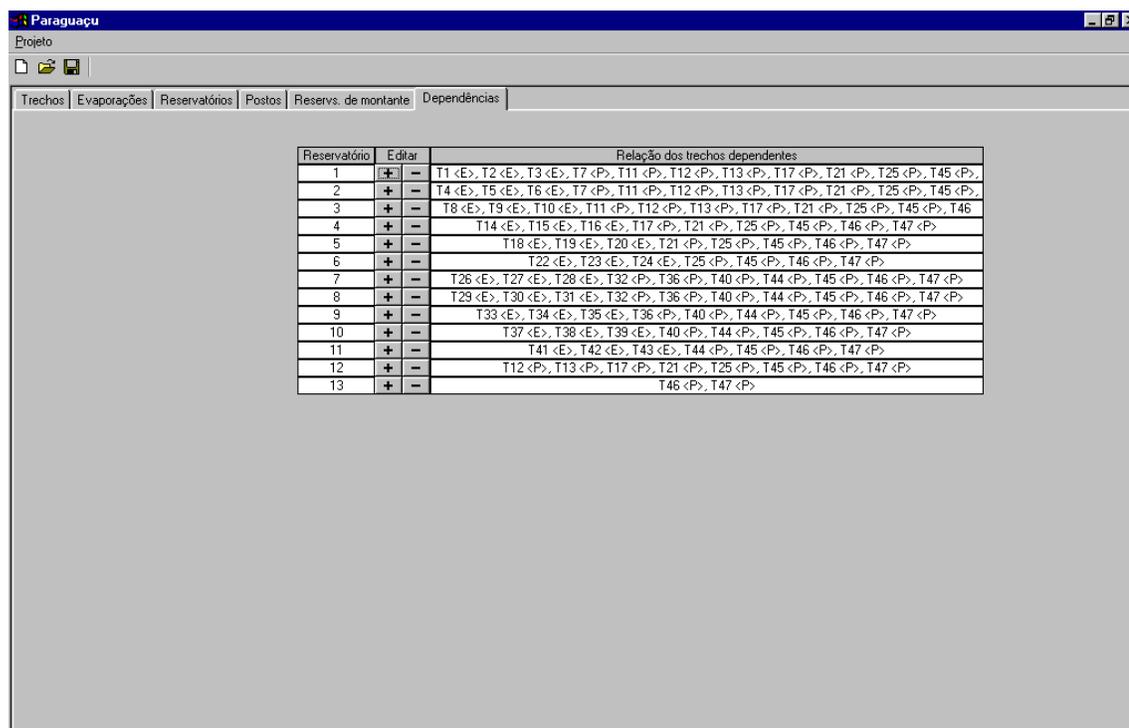
Na guia “Reservatórios de Montante”, **FIGURA 24**, deve-se informar todos os reservatórios que se encontram diretamente à sua montante, configurando numericamente a disposição dos açudes no diagrama unifilar.



Reservatório	Editar	Relação dos reservatórios diretamente a montante
1	+ -	
2	+ -	
3	+ -	
4	+ -	
5	+ -	
6	+ -	
7	+ -	
8	+ -	
9	+ -	
10	+ -	
11	+ -	
12	+ -	R1, R2, R3
13	+ -	R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12

FIGURA 24: Tela com os reservatórios diretamente à montante.

Na guia “Dependências”, **FIGURA 25**, deve-se informar todos os trechos que podem ser abastecidos pelos reservatórios. Estes trechos podem ter dependência exclusiva, quando são abastecidos apenas por um reservatório, ou parcial, quando abastecidos por mais de um reservatório.



Reservatório	Editar	Relação dos trechos dependentes
1	+ -	T1 <E>, T2 <E>, T3 <E>, T7 <P>, T11 <P>, T12 <P>, T13 <P>, T17 <P>, T21 <P>, T25 <P>, T45 <P>
2	+ -	T4 <E>, T5 <E>, T6 <E>, T7 <P>, T11 <P>, T12 <P>, T13 <P>, T17 <P>, T21 <P>, T25 <P>, T45 <P>
3	+ -	T8 <E>, T9 <E>, T10 <E>, T11 <P>, T12 <P>, T13 <P>, T17 <P>, T21 <P>, T25 <P>, T45 <P>, T46
4	+ -	T14 <E>, T15 <E>, T16 <E>, T17 <P>, T21 <P>, T25 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
5	+ -	T18 <E>, T19 <E>, T20 <E>, T21 <P>, T25 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
6	+ -	T22 <E>, T23 <E>, T24 <E>, T25 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
7	+ -	T26 <E>, T27 <E>, T28 <E>, T32 <P>, T36 <P>, T40 <P>, T44 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
8	+ -	T29 <E>, T30 <E>, T31 <E>, T32 <P>, T36 <P>, T40 <P>, T44 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
9	+ -	T33 <E>, T34 <E>, T35 <E>, T36 <P>, T40 <P>, T44 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
10	+ -	T37 <E>, T38 <E>, T39 <E>, T40 <P>, T44 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
11	+ -	T41 <E>, T42 <E>, T43 <E>, T44 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
12	+ -	T12 <P>, T13 <P>, T17 <P>, T21 <P>, T25 <P>, T45 <P>, T46 <P>, T47 <P>
13	+ -	T46 <P>, T47 <P>

FIGURA 25: Tela com as dependência dos trechos.

Com o preenchimento de todas as informações que caracterizam o sistema o programa gera os arquivos de entrada que serão utilizados no programa principal. Os arquivos gerados pelo programa de pré-processamento são: Paraguaçu1.dat, Paraguaçu2.dat, Paraguaçu3.dat, Paraguaçu5.dat, Paraguaçu6.dat, Paraguaçu7.dat. O arquivo Paraguaçu1 arquiva os dados com as características dos trechos e suas dependências; o Paraguaçu2 os dados de evaporação mensal; o Paraguaçu3 as características dos reservatórios e dos postos pluviométricos da região; o Paraguaçu5 os nomes dos reservatórios; o Paraguaçu6 é um arquivo que armazena as informações sobre a altura de chuva do período anterior e do período a ser simulado e as informações sobre as condições do solo da região, este arquivo armazena os dados da última simulação e o Paraguaçu7 também é utilizado para armazenar informações sobre a altura dos reservatórios após a simulação. Deve-se ressaltar que os arquivos Paraguaçu6 e Paraguaçu7 são inicialmente zerados. Todos os arquivos gerados estão apresentados no **Anexo D**.

A segunda parte do programa, responsável pela simulação da operação de um sistema de reservatórios (oper_res.py), apresenta uma interface elaborada em linguagem Python para o programa de cálculo elaborado em linguagem Fortran. A **FIGURA 26** ilustra a tela principal do programa.

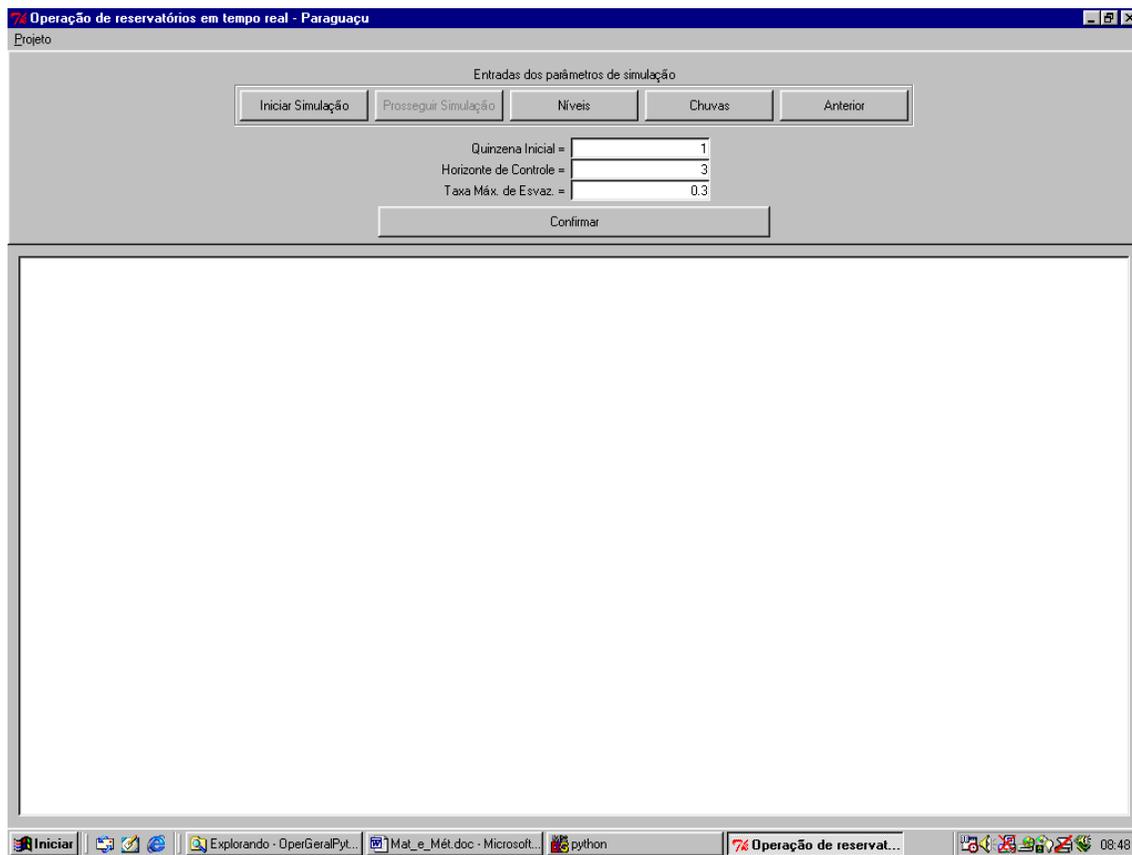


FIGURA 26: Tela principal de simulação.

A operação do modelo é feita a partir da entrada de dados referentes à quinzena inicial de operação, ao horizonte de controle (quinzenal), à fração máxima de esvaziamento dos reservatórios (no software denominada taxa máxima de esvaziamento), aos níveis d'água dos reservatórios, à umidade do solo e à precipitação registrada nos postos pluviométricos, no período (quinzena) de análise e no período anterior. As caixas de diálogo, onde deve-se inserir os níveis dos reservatórios no início da simulação e precipitações ocorrida na quinzena anterior são apresentadas na **FIGURA 27**.

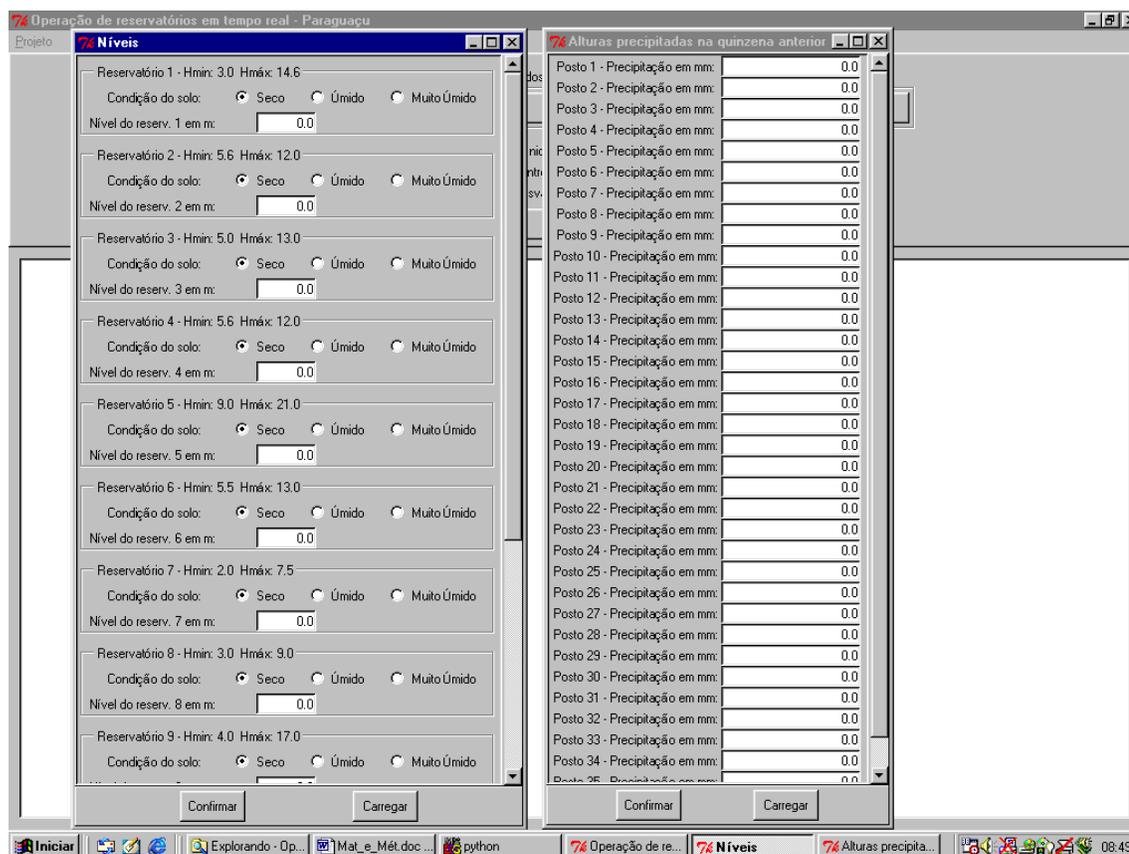


FIGURA 27: Caixa de diálogo com os níveis dos reservatórios e precipitação do período anterior.

O botão Iniciar Simulação dispara o cálculo do modelo, e o botão Continuar Simulação dá andamento ao processo, utilizando os resultados do cálculo anterior.

Os volumes evaporados são incorporados ao sistema através da evaporação média avaliada para cada reservatório. Os volumes demandados pelos usuários, fornecidos pelos dados de entrada, são estimados em função da utilização dos reservatórios para abastecimento doméstico, industrial, irrigação, diluição de esgotos e eventuais demandas para piscicultura. Ressalta-se que o cadastro de usuários deve ser confiável, pois o cálculo da liberação de água pelos reservatórios é embasado no volume demandado pelos mesmos.

O volume de perda em trânsito é considerado no balanço hídrico pela relação da **Equação 4.2**.

$$DQ = C \times L \quad (4.2)$$

Sendo:

DQ - Perda em Trânsito em m³/s

C - Coeficiente de Perda em m³/s.km, estimado em 0,001 m³/s.km

L - Comprimento do Trecho em km

As restrições impostas ao sistema são: volume mínimo, fração máxima de esvaziamento e parâmetro BETA. A restrição de volume mínimo do reservatório impõe ao sistema que caso o volume final do reservatório (V_f) seja menor que o seu volume mínimo (V_{min_i}), altera-se o volume liberado, garantindo que o volume mínimo seja garantido.

A fração máxima de esvaziamento dos reservatórios limita a liberação máxima de volume de água, na quinzena simulada, em função do seu volume atual. O volume máximo a ser liberado (V_{rtax_i}) de cada reservatório é calculado segundo a expressão apresentada na **Equação 4.3**.

$$V_{rtax_i} = X_{kesv} \times V_i \quad (4.3)$$

Onde:

V_i – volume inicial do reservatório i

X_{kesv} - fração máxima de esvaziamento, no software denominada de taxa máxima de esvaziamento.

A última restrição imposta ao sistema é o valor de BETA, calculado em função da previsão do volume evaporado do reservatório durante o horizonte de controle ($EVTOT_i$), do volume atual do reservatório (V_i) e da demanda requerida ao longo do horizonte de controle ($DRTOT_i$). Esta restrição garante uma reserva mínima de água nos reservatórios para atender, mesmo que parcialmente, às demandas no período do horizonte de controle. O parâmetro BETA é definido pela **Equação 4.4**.

$$BETA_i = \left[\frac{V_i - EVTOT_i}{DRTOT_i} \right] \quad (4.4)$$

As condições apresentadas a seguir são consideradas na determinação do valor final a ser adotado para BETA.

Se $BETA > 0$ e $BETA < 0,5$, considera $BETA = 0,5$; e

Se $BETA > 1$, considera $BETA = 1$.

O volume liberado pelo reservatório (VR_i) será determinado pela relação da **Equação 4.5**.

$$VR_i = BETA_i \times DR_i \quad (4.5)$$

Onde DR_i é a demanda de água requerida pelo reservatório i .

O **Anexo C** apresenta o código do programa principal, OperRes, escrito em linguagem FORTRAN PowerStation versão 4.0, com explicações passo a passo dos algoritmos básicos do programa. O **Anexo E** fornece um CD com o software do modelo OperRes.

O modelo processa os dados de entrada e fornece como resposta os níveis d'água dos reservatórios no final do período de análise, a vazão requerida em cada reservatório, a vazão liberada pelo mesmo, a vazão total requerida pelo sistema e a vazão total liberada pelo sistema. A **FIGURA 28** ilustra um resultado de simulação, com a avaliação do sistema.

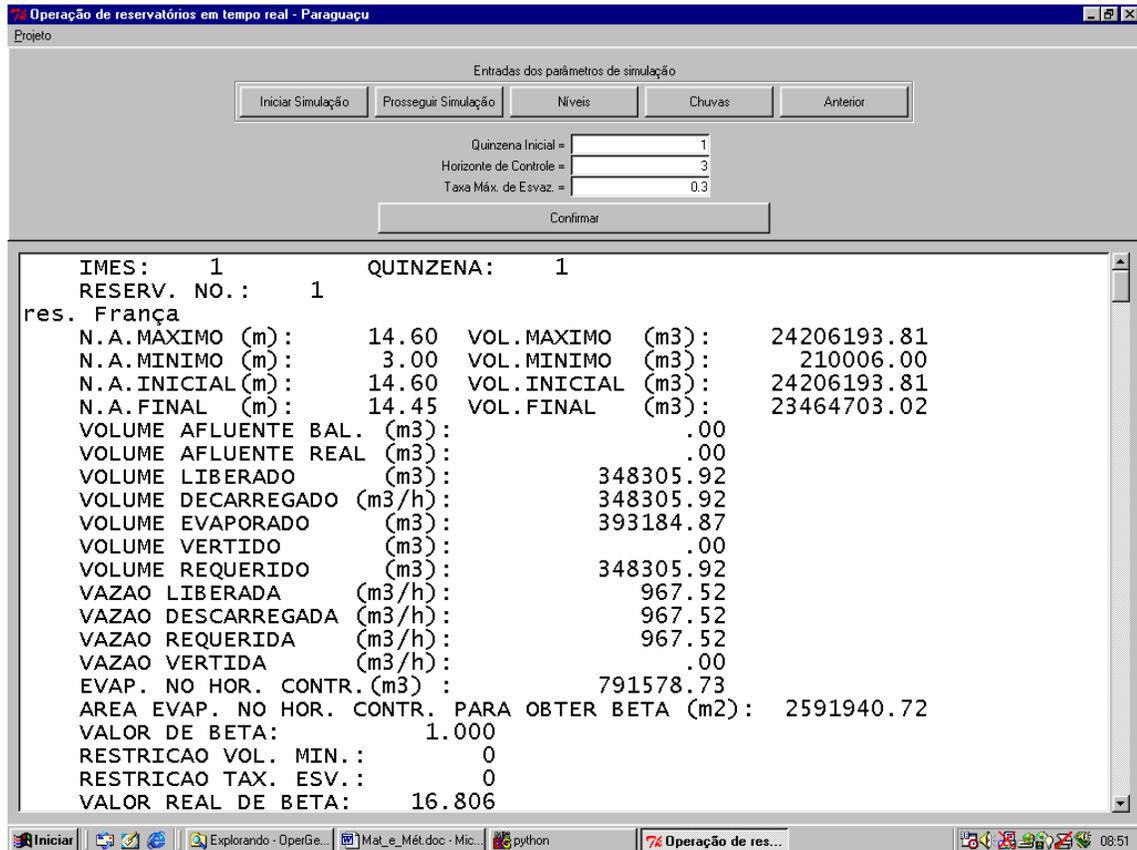


FIGURA 28: Resultado final de um processo de simulação.

Lembra-se mais uma vez que o software tem como objetivo interagir diretamente com o Grupo de Tomada de Decisões (Comitê de Bacia), servindo assim como sistema de apoio e suporte às decisões do gerenciamento de estoques de água dos reservatórios, em tempo real.

4.2.2.1 Descrição do modelo SCS

O modelo de transformação de chuva em vazão utilizado foi desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. De acordo com TUCCI (1998) o modelo tem sido muito utilizado em todo o mundo e algumas das características que tem tornado o modelo atraente são:

- reduzido número de parâmetros; e
- fácil relacionamento entre os parâmetros e a característica física da bacia.

A determinação do volume superficial é feita através da **Equação 4.6** que relaciona a precipitação total acumulada (P, em milímetros) com o volume superficial acumulado (Q, em milímetros), levando em consideração as perdas iniciais do sistema (I_a) e o armazenamento do solo (S). A estimativa das perdas iniciais é feita considerando que ela representa 20% da capacidade de armazenamento do solo, isto é, $I_a = 0,2.S$.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a}, \text{ para } P > 0,2.S \quad (4.6)$$

O valor da capacidade máxima da camada superior do solo, apresentada na **Equação 4.7**, é definida a partir do valor do “número da curva” que leva em consideração:

- a umidade do solo;
- o tipo de solo; e
- a ocupação do solo.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4.7)$$

A determinação da condição do solo é definida através da sua umidade, de acordo com TUCCI (1998) temos:

- AMCI - situação em que o solo está seco. Na estação de crescimento a precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é menor que 36 mm e em outro período, menor que 13 mm;
- AMCII – situação média em que os solos correspondem à umidade da capacidade de campo; e
- AMCIII – situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontra-se saturado. No período de crescimento, as precipitações acumuladas nos cinco dias anteriores, são maiores que 53 mm e no outro maior que 28 mm.

O tipo de solo é dividido em quatro grupos distintos, com as características apresentadas a seguir:

- solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos com pouco silte e argila;
- solo B: solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o do tipo A e com permeabilidade superior à média;
- solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo; e
- solo D: solos contendo argila expansiva e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

A ocupação do solo é caracterizada pela sua cobertura vegetal além da eventual defesa adotada contra a erosão. A partir do tipo de solo e da sua ocupação o valor do AMCII é fornecido através das **TABELAS 4.1 e 4.2**.

TABELA 4.1: Valores de CN para áreas agrícolas (Fonte: TUCCI, 1998).

Uso do Solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações	em curvas de níveis	67	77	83	87
Regulares	terracedamento em nível	64	76	84	88
	em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações	em curvas de níveis	62	74	82	85
de cereais	terracedamento em nível	60	71	79	82
	em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações	em curvas de níveis	60	72	81	84
de legumes ou cultivados	terracedamento em nível	57	70	78	89
	pobres	68	79	86	89
	normais	49	69	79	94
	boas	39	61	74	80

Continuação da **TABELA 4.1**: Valores de CN para áreas agrícolas.

Uso do Solo	Superfície	A	B	C	D
Pastagem em	pobres	47	67	81	88
curvas de	normais	25	59	75	83
nível	boas	6	35	70	79
Campos	normais	30	58	71	78
Permanentes	esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	normais	36	60	73	79
	densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras	normais	56	75	86	91
estradas de	ruim	72	82	87	89
	de superfície dura	74	84	90	92
Floresta	muito esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	esparsas	46	68	78	84
	densas, alta transpiração	26	52	62	69
	normais	36	60	70	76

TABELA 4.2: Valores dos parâmetros CN para diferentes tipos de ocupação urbana (Fonte: SCS¹³ apud TUCCI, 1998)

Descrição do uso do solo	Tipo de solo				
	A	B	C	D	
Espaços abertos:					
Matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área	39	61	74	80	
Matos cobrem 50 a 75% da área	49	69	79	77	
Áreas comerciais (85% impermeáveis)	89	92	94	95	
Distritos industriais (72% impermeáveis)	81	88	91	93	
Áreas residenciais:					
tamanho do lote (m ²)	área impermeável (%)				
< 500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87

¹³ SCS. (1975). Urban hydrology for small watersheds. Washington. U.S.Dep. Agr. Technical Release n.55

Continuação da **TABELA 4.2**: Valores dos parâmetros CN para diferentes tipos de ocupação urbana.

Descrição do uso do solo		Tipo de solo			
		A	B	C	D
Áreas residenciais:					
tamanho do lote (m ²)	área impermeável (%)				
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques e estacionamentos, telhados, viadutos		98	98	98	98
Arruamentos e estradas:					
Asfaltadas e com drenagem pluvial		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

A transformação do valor do AMCII, referente às condições médias de umidade, para as condições AMCI e AMCIII é feita através da **TABELA 4.3**.

TABELA 4.3: Correção dos valores de CN de acordo com a umidade antecedente (Fonte: TUCCI, 1998).

Valores Médios	Correção para AMCI	Correção para AMCIII
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78

Continuação da **TABELA 4.3**: Correção dos valores de CN de acordo com a umidade antecedente.

Valores Médios	Correção para AMCI	Correção para AMCIII
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	2
5	2	13

4.3 Descrição da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu

A bacia do rio Paraguaçu é responsável pela maior parte do abastecimento da grande Salvador, localizada inteiramente no estado da Bahia e com uma área de 55.317 km². A bacia se localiza entre as coordenadas 11°17' e 13°36' de latitude sul e 38°50' e 42°01' de longitude oeste. Os seus limites são: a bacia do rio Itapicuru ao norte, o rio São Francisco a oeste, o rio de Contas e a bacia do Recôncavo Sul ao sul e a bacia do Recôncavo Norte e a Baía de Todos os Santos a leste. As águas da bacia do Paraguaçu desembocam na Baía de Todos os Santos. A bacia do rio Paraguaçu está localizada, de acordo com o Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE), na Bacia 5 – Bacias do Atlântico Sul, trecho Leste, sendo codificada pelo número 51.

A bacia do rio Paraguaçu é dividida em duas sub-bacias: bacia do médio e baixo Paraguaçu e bacia do alto Paraguaçu. A bacia principal foi assim dividida para facilitar o seu estudo, visto que as regiões de cada sub-bacia apresentam características mais homogêneas podendo assim ser classificada mais facilmente segundo parâmetros utilizados na sua

modelagem. A região da bacia do alto Paraguaçu ocupa uma área de 12.860 km², que corresponde ao trecho da bacia compreendido desde as suas nascentes até a confluência com o rio Santo Antônio, incluindo este tributário e todos os seus afluentes. A bacia do médio e baixo Paraguaçu tem uma área de 42.457 km².

A bacia do rio Paraguaçu apresenta como principal tributário o rio Jacuípe e o seu principal reservatório é formado pela barragem de Pedra do Cavalo, com uma área drenada de 52.0881,29 km² e uma capacidade máxima de 4968,99 hm³, tendo como principais usos o abastecimento urbano, a irrigação, o controle de cheias e a recuperação de navegabilidade. O reservatório é responsável pela maior parte do abastecimento da cidade de Salvador e região metropolitana. A barragem de Pedra do Cavalo tem papel fundamental no controle de cheia das cidades de Cachoeira e São Felix que se encontram logo a jusante da obra sendo a região muitas vezes vítimas de grandes enchentes.

Outro reservatório de grande importância é o formado pela barragem de São José do Jacuípe que apresenta uma capacidade máxima de 355 hm³ e uma área drenada de 4.584 km². Este reservatório é responsável pelos projetos de irrigação da região do Sisal.

O **Anexo A** apresenta figuras com a localização da bacia do rio Paraguaçu e a distribuição dos açudes na bacia em estudo.

4.3.1 Bacia do alto Paraguaçu

A bacia do alto Paraguaçu apresenta como principais rios o Paraguaçu, o Santo Antônio, o Utinga e o Bonito. A maior vazão média anual é de 41,26 m³/s, no posto pluviométrico de Fertin, no rio Santo Antônio. De acordo com GOVERNO DO BRASIL (2002), o mês mais seco corresponde a julho e o mês mais chuvoso é janeiro.

Os principais usos d'água da bacia são: abastecimento doméstico, agricultura irrigada e atividade de mineração.

As atividades desenvolvidas na região ocupam uma área de 70,2% e 27,3% pela agricultura e pecuária, respectivamente. As culturas temporárias são as mais plantadas, destacando o cultivo de alho, tomate, feijão, milho e mandioca. Dentre as culturas permanentes destaca-se o café.

O turismo apresenta grande potencial de exploração na região, dando destaque ao turismo ecológico devido ao grupo geológico Chapara Diamantina, sendo Lençóis a cidade com maior representatividade neste setor.

4.3.2 Bacia do médio e baixo Paraguaçu

Na bacia do médio e baixo Paraguaçu os principais rios da região são: Paraguaçu, Una, Capivari e Jacuípe. A maior vazão média anual é de 101,44 m³/s, no posto pluviométrico da Fazenda Santa Fé, localizado no rio Paraguaçu. O trimestre mais chuvoso é novembro-dezembro-janeiro, podendo ocorrer variações, e o trimestre mais seco é agosto-setembro-outubro.

Os principais usos d'água da bacia são: abastecimento urbano e rural, dessedentação de rebanhos e irrigação.

As atividades de pastagem são predominantes, representando um potencial de 64,7% da área. As lavouras ocupam 9,7% da região, com a monocultura do sisal e café e outras culturas como: mandioca, milho e feijão.

As informações referentes à caracterização da bacia foram retiradas da referência GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (2002) e GOVERNO DO BRASIL (2002) e dos Planos Diretores da Bacia do Alto e do Médio e Baixo Paraguaçu, informações mais específicas da bacia podem encontradas nas referências citadas.

4.4 Descrição da coleta de dados

O sistema hidrográfico da bacia do Paraguaçu foi caracterizado através dos reservatórios com volume superiores a 1.000.000 m³, pois considerou-se que os reservatórios com menor volume são responsáveis pelo abastecimento da sua região, sem o comprometimento do sistema e suas interdependências. A delimitação do volume mínimo dos reservatórios em 1.000.000 m³ não é rígida, pois reservatórios como o de Cochó e Gavião foram considerados, apesar de não preencherem a este requisito, devido à importância deles para o sistema. Selecionou-se treze reservatórios da bacia que se encontram relacionados na **TABELA 4.4**. As características dos reservatórios utilizadas no programa são apresentadas no **Anexo D** no arquivo Paraguaçu3.dat.

TABELA 4.4: Listagem dos 13 reservatórios utilizados e suas principais características.

Principais Açudes	Rio Barrado	Municípios abrangidos	Ano de conclusão	Capacidade (hm ³)
Juracy Magalhães	Riacho Piranhas	Itaberaba	1938	4,63
Valente	Riacho Cochó	Valente	1940	4,64
São Domingos	Riacho Tombador	Valente	1967	1,96
Riacho dos Poços	Riacho dos Poços	Boa Vista do Tupim	1979	9,15
Arroz	Riacho do Arroz	Piritiba	1981	1,84
Cochó	Riacho Cochó	Boninal	1982	0,90
Angico	R.Várzea Dantas	Mairi	1982	3,20
Quinji	Riacho Mocambo	Serrinha	1932	1,64
S.José do Jacuípe	Rio Jacuípe	São José do Jacuípe	1985	357,00
Pedra do Cavalo	Rio Paraguaçu	Conceição da Feira, Antônio Cardoso, Cachoeira, Santo Estêvão, Governador Mangabeira, S.Félix, Muritiba, Cruz das Almas, Cab.Paraguaçu, F.Santana	1989	4.969,00
do França	Rio Paraguaçu	Piritiba, Miguel Calmon, Mundo Novo, Jacobina	1996	24,20
do Apertado	Rio Paraguaçu	Mucugê	1998	108,90
Gavião	Rio Tijuco	Seabra	...	0,70

O **Anexo B** apresenta o diagrama unifilar com os reservatórios e trechos numerados. O diagrama e os dados referentes às características físicas dos reservatórios foram coletados através dos profissionais da SRH, da CERB e da empresa Geohidro Engenharia, além da utilização dos Planos Diretores da bacia e da referência GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (1985).

O fator de forma, α , pode ser calculado segundo a indicação de CAMPOS (1996), onde o autor apresenta a **Equação 4.8**, indicada a seguir.

$$\alpha = \frac{\sum V_i}{\sum (h_i)^3} \quad (4.8)$$

Onde “ V_i ” representa o volume acumulado correspondente à profundidade de água “ h ” do reservatório “ i ”. “O valor de α representa a tangente da reta de regressão linear, passando pela origem, de V – variável dependente – versus h^3 – variável independente” (CAMPOS, 1996).

O fator de forma foi calculado segundo a **Equação 4.8** para os açudes de Apertado, França, Pedra do Cavalo e São José do Jacuípe. Os outros açudes não apresentam curva cota x área x volume para o cálculo do fator de forma. Nestes casos o valor de α_1 foi estimado como a razão entre o volume máximo do reservatório pela sua altura máxima d’água do reservatório elevado ao cubo. Esta é uma estimativa grosseira, mas foi a única alternativa encontrada que apresentava alguma relação com a **Equação 4.8**. Posteriormente, no **Ítem 5.1**, será discutido a validade do coeficiente de forma calculado a partir dos dados de cota-volume dos reservatórios.

Os valores dos “números das curvas” para a situação seca, úmida e muito úmida de, respectivamente, 45, 65 e 85 foram adotados iguais para todas as sub-bacias por representarem valores médios da região do semi-árido nordestino e por não ter havido no período deste trabalho uma caracterização mais precisa da região. Recomenda-se, entretanto, que em um futuro trabalho estes coeficientes sejam melhor caracterizados.

Os dados de evaporação mensal para a bacia do rio Paraguaçu foram calculados a partir da média aritmética mensal dos postos de Itaberaba, Morro do Chapéu, Cruz das Almas,

Serrinha e Lençóis.

As dados de demandas de água por trecho foram coletados dos Planos Diretores , que consideraram a seguinte estimativa para o abastecimento da população, do rebanho e de áreas irrigadas.

- Irrigação: 1 l/s/ha
- Dessedentação de animais: 50 l/dia.cabeça, para animais de grande porte
e 7,5 l/dia.cabeça, para animais de pequeno porte.
- Demanda rural: 80 l/hab.dia
- Demanda urbana:
 - até 500 habitantes: 80 l/hab.dia
 - de 501 a 2.000 habitantes: 100 l/hab.dia
 - de 2.001 a 5.000 habitantes: 120 l/hab.dia
 - acima de 5.001 habitantes: 150 l/hab.dia

Os dados de demandas do trecho a montante da barragem do França, na barragem do França e na barragem de São José do Jacuípe (trechos classificados como nº 1,2,12), foram fornecidas pelo SRH e foram calculadas em função dos irrigantes cadastrados e dos usuários outorgados.

A vazão de água demandada para a irrigação em cada mês foi calculada considerando os seguintes percentuais da vazão média anual:

- Junho, julho e agosto: 7%
- Setembro, outubro e novembro: 25%
- Dezembro: 4%

Para a determinação da área de influência dos postos pluviométricos foi utilizado o Método de Thiessen, o procedimento para a utilização deste método pode ser encontrado em LINSLEY & FRANZINI (1978). O desenvolvimento do método e cálculo da área foi feito através do programa gráfico AUTOCAD, versão 14. Os postos pluviométricos que foram utilizados na verificação do modelo estão listados com a sua respectiva localização, em graus, nas **TABELAS 4.5 e 4.6**; sendo na última apresentada as Plataformas de Coletores de Dados (PCD's), que são postos pluviométricos telemétricos.

TABELA 4.5: Identificação e localização dos postos pluviométricos.

CÓDIGO DNAEE	NOME DO POSTO	LOCALIDADE	LAT.	LON.
01139001	Tanquinho	Tanquinho	11.97	39.10
01139002	Valente	Valente	11.42	39.48
01139011	Riachão do Jacuípe	R.do Jacuípe	11.80	39.38
01139016	Serrinha	Serrinha	11.65	38.96
01139019	Conceição do Coité	Conceição do Coité	11.55	39.28
01140000	Miguel Calmon	Miguel Calmon	11.17	40.50
01140001	Piritiba	Piritiba	11.75	40.55
01140002	Mundo Novo	Mundo Novo	11.85	40.47
01140004	Mairi (Mon. Alegre)	Mairi	11.72	40.15
01140018	Baixa Grande	Baixa Grande	11.95	40.17
01141002	Morro do Chapéu	Mor. do Chapéu	11.55	41.15
01238019	Muritiba	Muritiba	12.62	38.98
01238028	Feira de Santana	Feira de Santana	12.27	38.97
01239002	Castro Alves	Castro Alves	12.75	39.43
01239004	Conceição de Feira	Conceição de Feira	12.50	39.00
01239014	Ipirá (Camisão)	Ipirá	12.15	39.73
01239021	S. Estevão (Socorro)	Santo Estêvão	12.43	39.25
01240004	Boa Vista do Tupim	B.Vista do Tupim	12.65	40.60
01240012	Itaetê	Itaetê	12.98	40.98
01240013	Itaberaba	Itaberaba	12.53	40.30
01240016	Iaçu (Paraguaçu)	Iaçu	12.77	40.22
01240019	Marcionílio Souza	Marc. Souza	13.00	40.52
01240023	Rui Barbosa	Rui Barbosa	12.28	40.50
01241003	Boninal (Guarani)	Boninal	12.70	41.83
01241008	Andaraí	Andaraí	12.80	41.32
01241012	Iraquara (João Pessoa)	Iraquara	12. 23	41.62
01241023	Seabra	Seabra	12.42	41.77
01241028	Utinga	Utringa	12.08	41.10
01241033	Mucugê	Mucugê	13.00	41.37
01340011	Maracás	Maracás	13.43	40.43
...	Conceição do Jacuípe	Conceição do Jacuípe	12.50	39.00

Continuação da **TABELA 4.5**: Identificação e localização dos postos pluviométricos.

CÓDIGO DNAEE	NOME DO POSTO	LOCALIDADE	LAT.	LON.
...	Candeal	Candeal	11.80	39.12
...	Santa Bárbara	Santa Bárbara	11.98	38.98
...	Ichu	Ichu	11.75	39.20

TABELA 4.6: Identificação e localização dos PCD's.

CÓDIGO DOS PCD's	NOME DO POSTO	LOCALIDADE	LAT.	LON.
32486	Ipirá	Ipirá	12.16	39.74
32487	Ibirapoã	Ibirapoã	12.05	40.80
32488	Souto Soares	Souto Soares	12.10	41.63
32490	Marcionílio Souza	Marcionílio Souza	13.00	40.52
32491	Milagres	Milagres	12.73	39.75
32545	Serrinha	Serrinha	11.65	38.96

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo OperRes foi aplicado na bacia do rio Paraguaçu, Bahia. Os dados utilizados para caracterizar o sistema de reservatórios, descritos no **Ítem 4.4**, foram inseridos no programa de pré-processamento do modelo. A partir de então, os arquivos com os dados de entrada do modelo principal foram utilizados no programa principal, responsável pela simulação da operação do sistema de reservatórios.

5.1 Verificação da validade do modelo

A verificação é o processo de determinação da exatidão do modelo de simulação, que representa a descrição conceitual do sistema. Na fase de verificação dados de entrada reais e parâmetros do modelo são utilizados para gerar resultados que serão comparados com os dados existentes, para se verificar se o modelo simula adequadamente o sistema.

A operação do sistema de múltiplos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu foi simulada com finalidade de fazer a verificação do modelo matemático, considerando os dados reais de precipitação e alturas d'água iniciais e finais dos reservatórios. Os dados de precipitação dos postos pluviométricos considerados e das alturas d'água dos reservatórios de Apertado, França, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo foram cedidos pela SRH. Foi simulado a operação destes reservatórios no período compreendido entre 31.05.2001 e 30.11.2001.

Para a verificação do sistema foi feita a simulação utilizando-se os dados reais de altura de chuva e altura d'água dos reservatórios. A partir de então iniciou-se a simulação da quinzena inicial 11, referente a primeira quinzena do mês de Junho, com um período de controle de três

quinzenas e fração máxima de esvaziamento de 0,3; prosseguiu a simulação até a última quinzena do mês de novembro.

A **FIGURA 29** apresenta a comparação da altura d'água nos reservatórios entre os dados reais e os resultados finais da simulação, em 30 de novembro de 2001. As **TABELAS 5.1 e 5.2** apresentam aos valores de altura e volume d'água, reais e simulados, mês a mês, com o erro referente ao final da simulação.

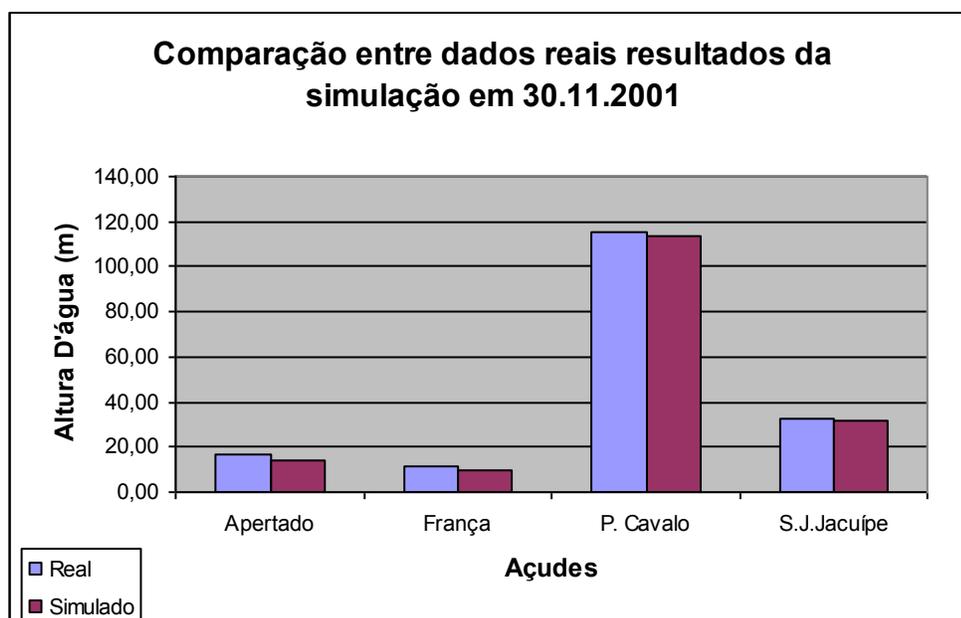


FIGURA 29: Comparação entre dados reais e o resultado da simulação no período de 6 meses.

TABELA 5.1: Comparação entre os resultados e os dados reais das alturas dos reservatórios.

Dados Reais e Simulados da altura d'água dos açudes, em metros.

Período	Apertado		França		Pedra do Cavalo		São José do Jacuípe	
	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado
30-jun-2001	17,00	16,70	12,95	12,78	115,74	115,32	33,73	33,77
31-jul-2001	16,98	16,38	12,88	12,43	115,82	115,02	33,86	33,53
31-ago-2001	17,00	16,04	12,68	12,05	115,95	114,70	33,73	33,27
30-set-2001	16,95	15,53	12,32	11,42	116,30	114,32	33,47	32,89
31-out-2001	16,89	14,99	11,90	10,72	116,69	113,94	33,28	32,48
30-nov-2001	16,57	14,40	11,52	9,96	115,53	113,54	33,00	32,06
Erro Final (%)	-13,10		-13,55		-1,72		-2,85	

TABELA 5.2: Comparação entre os resultados e os dados reais dos volumes dos reservatórios.

Dados Reais e Simulados do volume d'água dos açudes, em hectômetros cúbicos.

Período	Apertado		França		Pedra do Cavalo		São José do Jacuípe	
	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado
30-jun-2001	109,40	137,80	18,77	16,25	3.983,78	3.683,78	125,67	143,03
31-jul-2001	108,56	130,07	18,55	14,96	3.995,39	3.654,67	128,00	139,94
31-ago-2001	109,26	122,03	17,86	13,60	4.014,30	3.624,19	125,66	136,69
30-set-2001	108,18	110,88	16,65	11,59	4.065,60	3.588,62	120,98	132,07
31-out-2001	107,40	99,75	15,32	9,59	4.123,39	3.552,75	117,74	127,26
30-nov-2001	103,12	88,44	14,15	7,69	3.953,45	3.515,64	112,88	122,38
Erro Final (%)	-14,24		-45,67		-11,07		8,42	

Através da análise das tabelas é possível observar uma incompatibilidade entre os dados simulados de altura e volume d'água do açude de Apertado, nos meses de junho, julho, agosto e setembro; neste período os volumes simulados são maiores do que os reais, enquanto que a altura d'água simulada é menor. A inconsistência destes dados se deve a não completa adequação da equação do reservatório, adotada pelo modelo ($V = \alpha.h^3$), com os dados de cota-área-volume do açude de Apertado.

A utilização do valor do parâmetro alfa, estimado em 29.595 (método dos mínimos quadrados) para o açude de Apertado, foi verificada através da **FIGURA 30**, onde é apresentada a comparação entre os dados de cota-volume levantados e a curva cota-volume estimada através do parâmetro alfa.

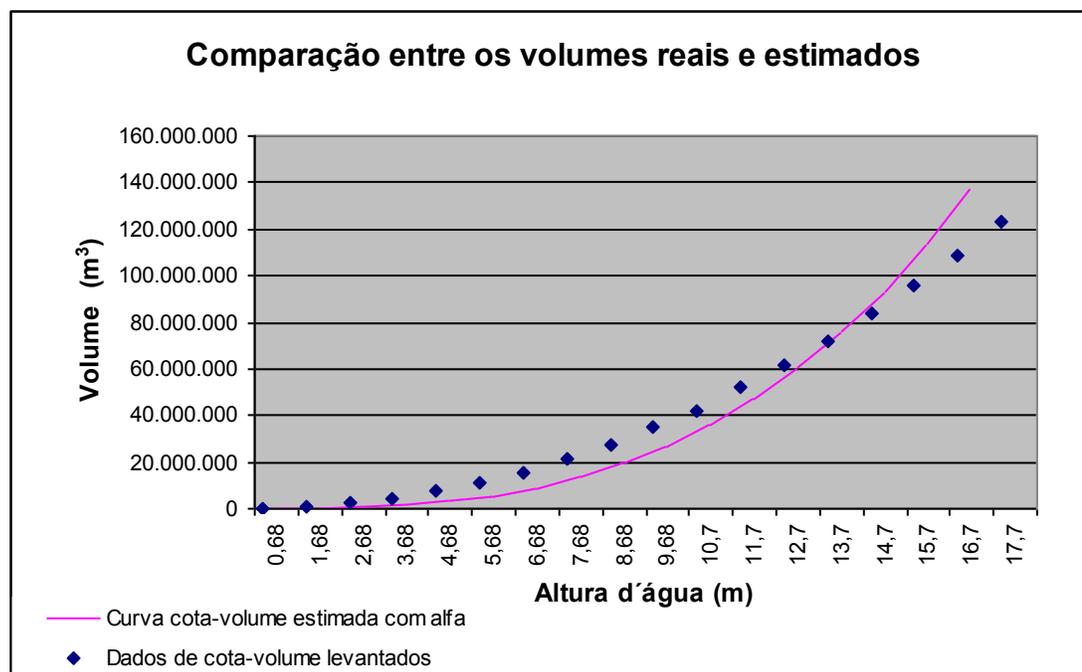


FIGURA 30: Comparação entre os volumes reais e estimados, por alfa, do açude de Apertado.

Na realidade o programa de cálculo dos volumes (V) dos reservatórios em função das suas alturas d'água (h) poderia ser feito diretamente com a equação que melhor se adaptasse aos dados. Entretanto, nesta fase, por simplicidade adotou-se a equação $V = \alpha.h^3$ para todos os reservatórios.

Nos reservatórios com dados de volumes para os diversos valores de altura d'água, o valor de alfa foi calculado pelo método dos mínimos quadrados, isto é:

$$\alpha_1 = \frac{\sum V_i}{\sum (h_i)^3}$$

Nos reservatórios onde apenas se conhecia os valores do volume máximo do reservatório ($V_{MÁX}$) e da sua altura máxima ($h_{MÁX}$), estimou-se α por:

$$\alpha_1 = \frac{V_{iMÁX}}{(h_{iMÁX})^3}$$

Como pode-se observar na **FIGURA 30** para valores elevados de altura d'água o valor do volume calculado através do parâmetro alfa é superestimado. O reservatório de Apertado no período analisado apresentava uma altura d'água de 16 a 17 metros, faixa que apresenta um erro absoluto de cerca de 20 a 40 hm^3 , entre o volume real e o estimado. Este erro pode explicar os resultados da simulação do açude de Apertado.

O açude de São José do Jacuípe também apresentou incompatibilidades nos dados reais e simulados de altura e volume d'água do açude, onde no período de julho a novembro os volumes simulados são maiores que os reais, enquanto que as alturas simuladas são menores. A análise do volume real, proveniente da curva cota-área-volume, e do estimado pelo valor de alfa também foi realizada e se observou que nas alturas de 33 a 34 metros de altura d'água (altura do açude no período de simulação) ocorria um erro no cálculo do seu volume em cerca de 3 a 5,5 hm^3 .

A análise do resultado das simulações indica que as demandas estão provavelmente superestimadas, devido à ocorrência de erros negativos nas **TABELAS 5.1 e 5.2**. O período analisado acentuou ainda mais a discrepância entre os dados reais e simulados, por englobar os meses de setembro, outubro e novembro, período onde existe uma maior exigência do sistema de irrigação, que demanda 25% da vazão média destinada à atividade.

É importante reafirmar que a simulação foi feita por seis meses seguidos sem a atualização, mês a mês, dos dados de altura d'água real dos reservatórios, sendo assim ocorreu o acúmulo do erro dos seis meses simulados. No caso de simulações de menor período o modelo representaria melhor o sistema.

A verificação do modelo apresentou como resultado baixos erros dos valores simulados com relação aos dados reais, em termos de altura d'água dos reservatórios. Desta forma considera-se o modelo válido para ser aplicado nas simulações propostas no **Ítem 5.2**. No entanto, recomendações são apresentadas posteriormente para que o modelo possa representar melhor o sistema.

5.2 Simulações

A operação do sistema de treze reservatórios da bacia do rio Paraguaçu foi simulada considerando um período de estiagem de sete meses, iniciando no início do mês de junho e finalizando no final de dezembro. As simulações foram feitas considerando quatro situações:

- Simulação 1: volume inicial dos reservatórios igual à sua capacidade máxima;
- Simulacao2: volume inicial dos reservatórios igual a 75% da sua capacidade máxima;
- Simulação 3: volume inicial dos reservatórios igual a 50% da sua capacidade máxima;
- e
- Simulação 4: volume inicial dos reservatórios igual a 25% da sua capacidade máxima.

A partir das alturas dos reservatórios, correspondentes aos volumes iniciais considerados, iniciou-se a simulação dos reservatórios por 14 (quatorze) quinzenas com a altura de chuva dos postos pluviométricos igual a 0 (zero). As **TABELAS 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6** apresentam os resultados das simulações. A última coluna das tabelas apresenta o valor do tempo de abastecimento garantido (TAG) para cada reservatório na simulação proposta. Este tempo é fornecido em quinzenas e representa um índice de vulnerabilidade do reservatório; deve-se ressaltar que este índice é calculado para períodos de estiagem.

TABELA 5.3: Simulação com volume inicial dos reservatórios igual a sua capacidade máxima.

Nome dos Açudes	Altura Inicial (m)	Altura Final (m)	Volume Inicial (hm ³)	Volume Final (hm ³)	% da vazão requerida liberada	Esvaziamento do açude	TAG (quinzenas)
França	14,60	11,65	24,20	12,29	100,0		14
Arroz	12,00	5,60	1,84	0,19	0,0	30/set	8
Angico	13,00	5,00	3,20	0,18	69,1		14
São Domingos	12,00	8,87	1,96	0,79	100,0		14
Valente	21,00	16,83	4,64	2,39	100,0		14
Quinji	13,00	5,50	1,64	0,12	0,0	30/nov	12
Cochó	7,50	2,00	0,90	0,02	0,0	15/nov	11
Gavião	9,00	3,00	0,70	0,03	0,0	15/out	9
Apertado	17,00	13,98	108,89	80,91	100,0		14
Riacho dos Poços	12,00	5,50	9,15	0,88	0,0	15/dez	13
Juracy Magalhães	12,00	5,50	4,63	0,45	0,0	31/out	10
São José do Jacuípe	41,00	39,00	357,00	220,22	100,0		14
Pedra do Cavalo	123,00	120,69	4.969,00	4.223,12	100,0		14

TABELA 5.4: Simulação com volume inicial dos reservatórios igual 75% da sua capacidade máxima.

Nome dos Açudes	Altura Inicial (m)	Altura Final (m)	Volume Inicial (hm ³)	Volume Final (hm ³)	% da vazão requerida liberada	Esvaziamento do açude	TAG (quinzenas)
França	12,77	9,06	18,15	5,79	100,0		14
Arroz	10,90	5,60	1,38	0,19	0,0	15/set	7
Angico	11,81	5,00	2,40	0,18	0,0	15/dez	13
São Domingos	10,90	7,04	1,47	0,40	100,0		14
Valente	19,08	13,95	3,48	1,36	100,0		14
Quinji	11,81	5,50	1,23	0,12	0,0	31/out	10
Cochó	6,81	2,00	0,68	0,02	0,0	31/out	10
Gavião	8,18	3,00	0,53	0,03	0,0	15/out	9
Apertado	14,84	10,97	81,67	39,04	100,0		14
Riacho dos Poços	10,90	5,50	6,86	0,88	0,0	15/nov	11
Juracy Magalhães	10,90	5,50	3,47	0,45	0,0	30/set	8
São José do Jacuípe	39,49	37,34	267,75	193,26	100,0		14
Pedra do Cavalo	113,91	111,38	3.726,75	3.318,65	100,0		14

TABELA 5.5: Simulação com volume inicial dos reservatórios igual 50% da sua capacidade máxima.

Nome dos Açudes	Altura Inicial (m)	Altura Final (m)	Volume Inicial (hm ³)	Volume Final (hm ³)	% vazão requerida liberada	Esvaziamento do açude	TAG (quinzenas)
França	10,81	4,88	12,10	0,90	100,0		14
Arroz	9,52	5,60	0,92	0,19	0,0	31/ago	6
Angico	10,32	5,00	1,60	0,18	0,0	15/nov	11
São Domingos	9,53	5,60	0,98	0,20	0,0	30/nov	12
Valente	16,67	9,07	2,32	0,37	98,4		14
Quinji	10,32	5,50	0,82	0,12	0,0	15/set	7
Cochó	5,95	2,00	0,45	0,02	0,0	15/out	9
Gavião	7,14	3,00	0,35	0,03	0,0	30/set	8
Apertado	12,29	5,70	54,45	5,48	93,3		14
Riacho dos Poços	9,52	5,50	4,58	0,88	0,0	31/out	9
Juracy Magalhães	9,52	5,50	2,32	0,45	0,0	31/ago	6
São José do Jacuípe	36,27	33,79	178,50	143,22	100,0		14
Pedra do Cavalo	103,29	100,38	2.483,00	2.429,46	100,0		14

TABELA 5.6: Simulação com volume inicial dos reservatórios igual 25% da sua capacidade máxima.

Nome dos Açudes	Altura Inicial (m)	Altura Final (m)	Volume Inicial (hm ³)	Volume Final (hm ³)	% da vazão requerida liberada	Esvaziamento do açude	TAG (quinzenas)
França	8,16	3,00	6,05	0,21	0,0	30/nov	12
Arroz	7,56	5,60	0,46	0,19	0,0	31/jul	4
Angico	8,19	5,00	0,80	0,18	0,0	15/set	7
São Domingos	7,56	5,60	0,49	0,20	0,0	31/ago	6
Valente	13,23	9,00	1,16	0,37	0,0	15/set	7
Quinji	8,19	5,50	0,41	0,12	0,0	15/ago	5
Cochó	4,72	2,00	0,23	0,02	0,0	15/set	7
Gavião	5,67	3,00	0,18	0,03	0,0	31/ago	6
Apertado	8,94	4,00	27,22	1,89	0,0	31/out	10
Riacho dos Poços	7,56	5,50	2,29	0,88	0,0	15/ago	5
Juracy Magalhães	7,56	5,50	1,16	0,45	0,0	30/jul	4
São José do Jacuípe	31,46	27,86	89,25	80,32	100,0		14
Pedra do Cavalo	77,41	72,89	1.241,50	930,20	100,0		14

Através da análise dos resultados das simulações é possível observar que os reservatórios maiores foram capazes de resistir melhor à estiagem, mas deve-se considerar que a capacidade do reservatório não é o único fator decisivo nesta análise, as demandas requeridas pelo reservatório também foram importantes para o esvaziamento.

O açude de São Domingos, com capacidade de $1,96 \text{ hm}^3$, foi capaz de atender a toda a demanda requerida no final da 2ª simulação, enquanto que o açude de Angico, com maior capacidade, esvaziou antes do final da simulação; este fato pode ser explicado pelo açude de São Domingos demandar um menor volume de água.

Na última simulação, onde ocorreu uma maior restrição do volume inicial, os únicos açudes que foram capazes de atender a demanda de água foram os açudes de São Jose do Jacuípe e de Pedra do Cavalo. O açude de Pedra do Cavalo é capaz de atender totalmente à sua demanda, não acarretando problemas para o abastecimento de Salvador.

O açude de São Jose do Jacuípe apresentou capacidade de atendimento total da demanda estimada. Deve-se ressaltar que não foi considerado o funcionamento da Adutora do Sisal, que demandaria uma média de $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$, além do projeto de irrigação da Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária (SEAGRI) com demanda de $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$. A consideração destas demandas foi feita em uma posterior simulação com o volume inicial dos reservatórios igual 25% da sua capacidade máxima; como resultado foi obtida uma altura d'água do açude de São José do Jacuípe de 24,47 metros e $54,40 \text{ hm}^3$ de volume, com o atendimento total da demanda.

Os cinco maiores açudes da bacia do rio Paraguaçu (Pedra do Cavalo, São José do Jacuípe, Valente, Apertado e França) apresentaram um bom comportamento frente ao período de estiagem, considerando um volume inicial igual a 50% da capacidade máxima do açude; atendendo de forma satisfatória às suas demandas.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo OperRes tem como objetivo básico auxiliar os Comitês de Bacias Hidrográficas, fornecendo informações sobre o comportamento dos reservatórios em função do cenário gerado. O modelo apesar de ser generalizado poderá ser modificado no futuro com o objetivo de atender aos anseios específicos dos usuários do modelo, considerando peculiaridades da bacia hidrográfica em estudo.

O modelo OperRes apresentado foi aplicado a um sistema composto por treze reservatórios na bacia do rio Paraguaçu, Bahia. O resultado da verificação do modelo para a sua aplicação na área estudo apresentou resultados convenientes, sendo o modelo validado para as simulações propostas.

A equação do reservatório utilizada pelo modelo ($V = \alpha.h^3$) deve ser melhor estudada, podendo-se inserir uma nova equação que represente adequadamente o sistema, ou fazer uso direto dos dados de cota-volume dos reservatórios como dados de entrada do modelo, procurando-se assim representar adequadamente o sistema, sem as inconsistências dos resultados ocorridas na verificação do modelo.

As condições de umidade e ocupação do solo da bacia do rio Paraguaçu deve ser melhor estudadas para que o parâmetro referente ao “número da curva” utilizado seja proveniente de uma caracterização mais precisa da região.

A melhora dos resultados apresentados só será possível a partir do momento que se faça uma maior esforço para o monitoramento dos recursos hídricos da bacia, através dos órgãos responsáveis ou com a criação e funcionamento do Comitê da Bacia do Rio Paraguaçu. A organização dos usuários tornará possível a atualização dos dados de entrada do modelo e sua

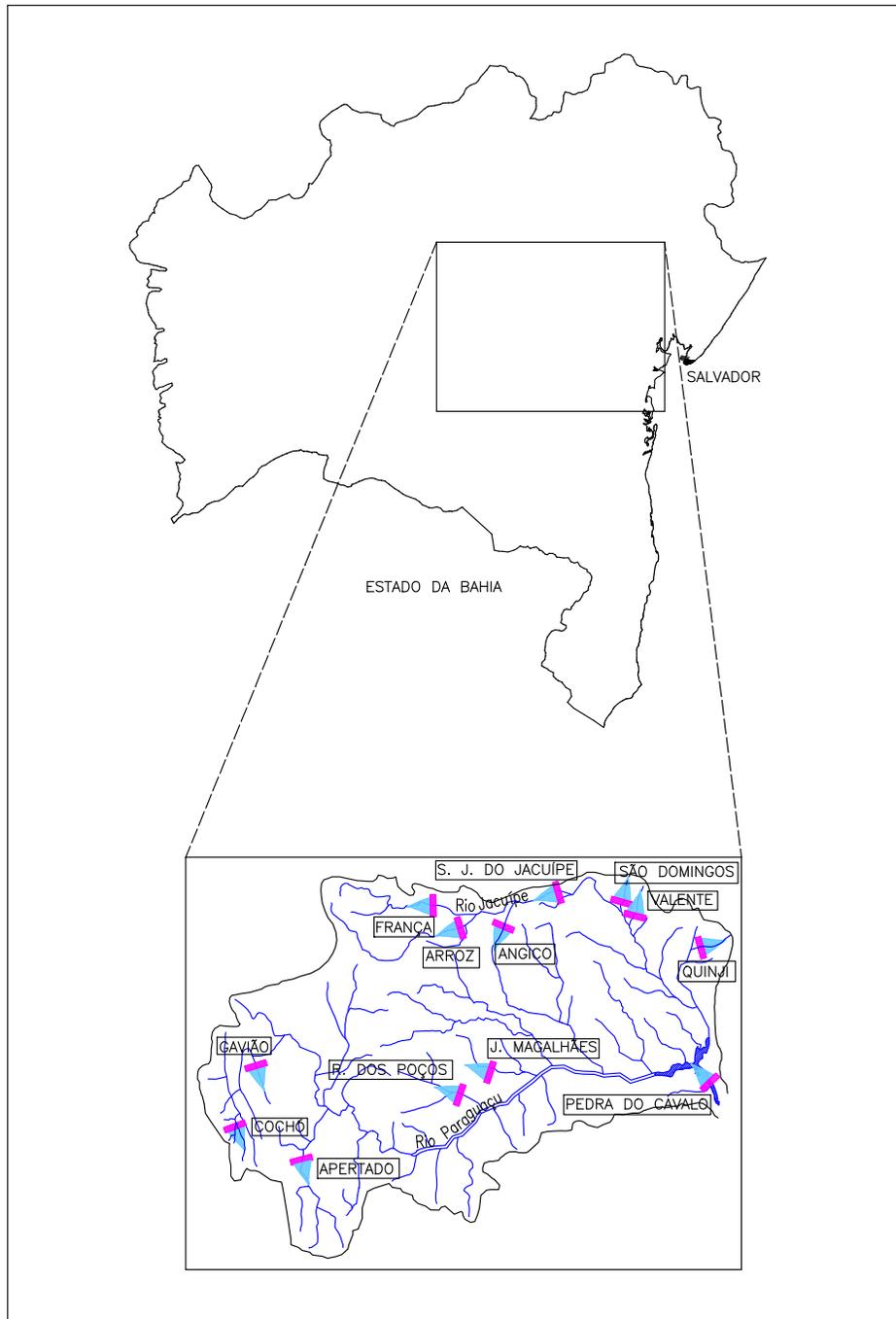
posterior verificação, para auxiliar o Comitê na negociação das demandas de água a serem liberadas a fim de atender adequadamente os usuários.

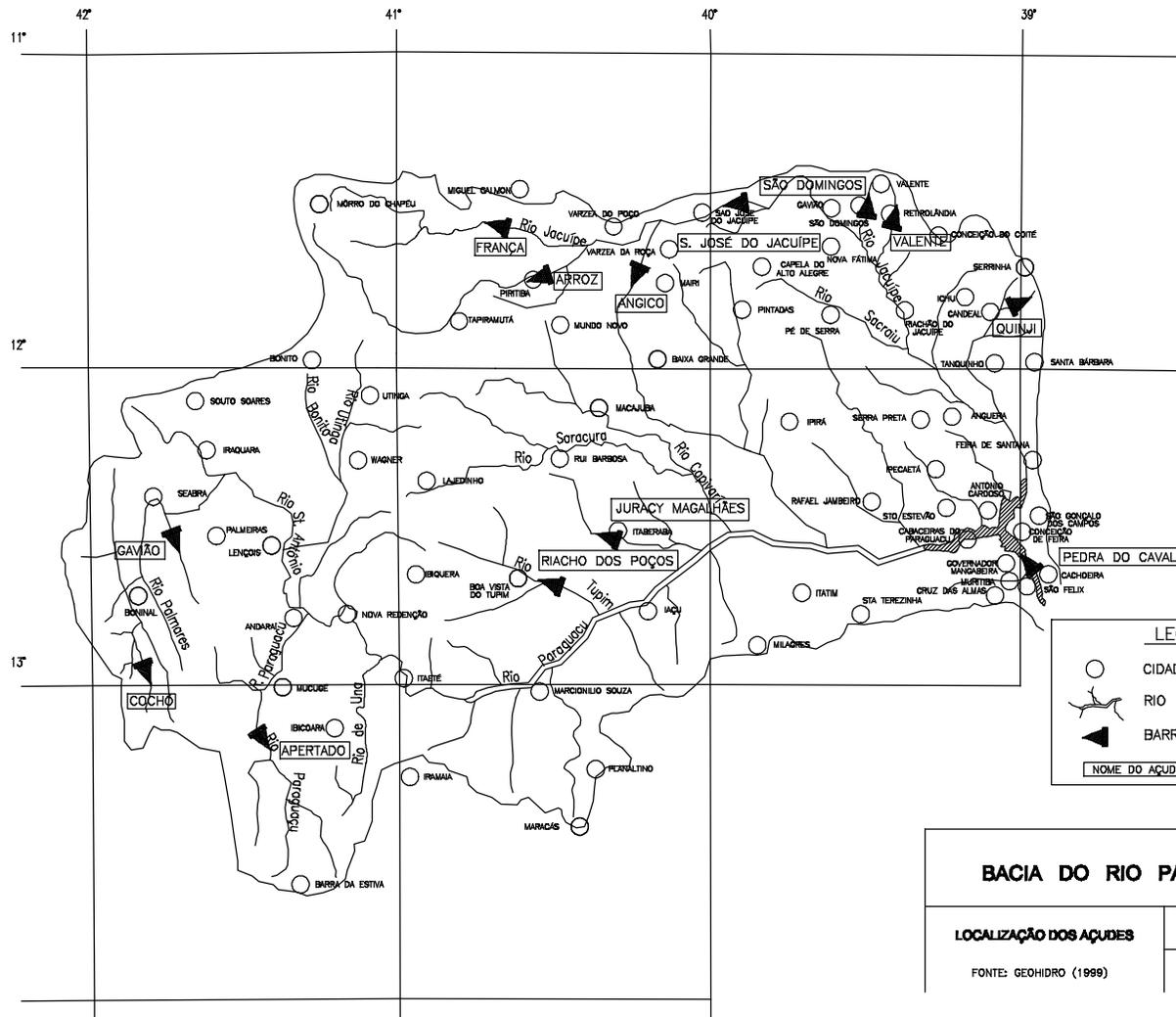
Esforços já estão sendo feitos para a organização e atualização dos dados de demanda hídrica da região. LISBOA NETO et al. (2001) apresentaram um trabalho que está sendo desenvolvido pelo Laboratório de Sistema de Suporte a Decisões da Escola Politécnica – USP para a SRH do Estado da Bahia; neste projeto se procura fazer um cadastro de usuários e dois módulos de cálculo de demandas hídricas, num ambiente GIS, com a integração de dois módulos de SSD, sendo um deles um modelo de rede de fluxo (ModSim). Espera-se que com a organização e disponibilização destes dados seja possível a maior compreensão do comportamento do Sistema Hídrico da bacia do Paraguaçu. Desta forma poderá ser melhor planejado o gerenciamento dos estoques de água, com vista à minoração dos impactos causados por eventos extremos.

Estudos futuros são recomendados para a atualização dos dados de entrada do sistema, para que haja uma maior confiabilidade no resultado do modelo. Outros modelos poderão ser estudados para auxiliar grupos como os Comitês de Bacias Hidrográficas no gerenciamento dos recursos hídricos da região, mas deve-se evitar modificações da versão atual do modelo OperRes que possam descaracterizar-lo e alterar os objetivos por ele proposto.

ANEXO A

Localização da bacia do rio Paraguaçu e seus açudes





LEGENDA

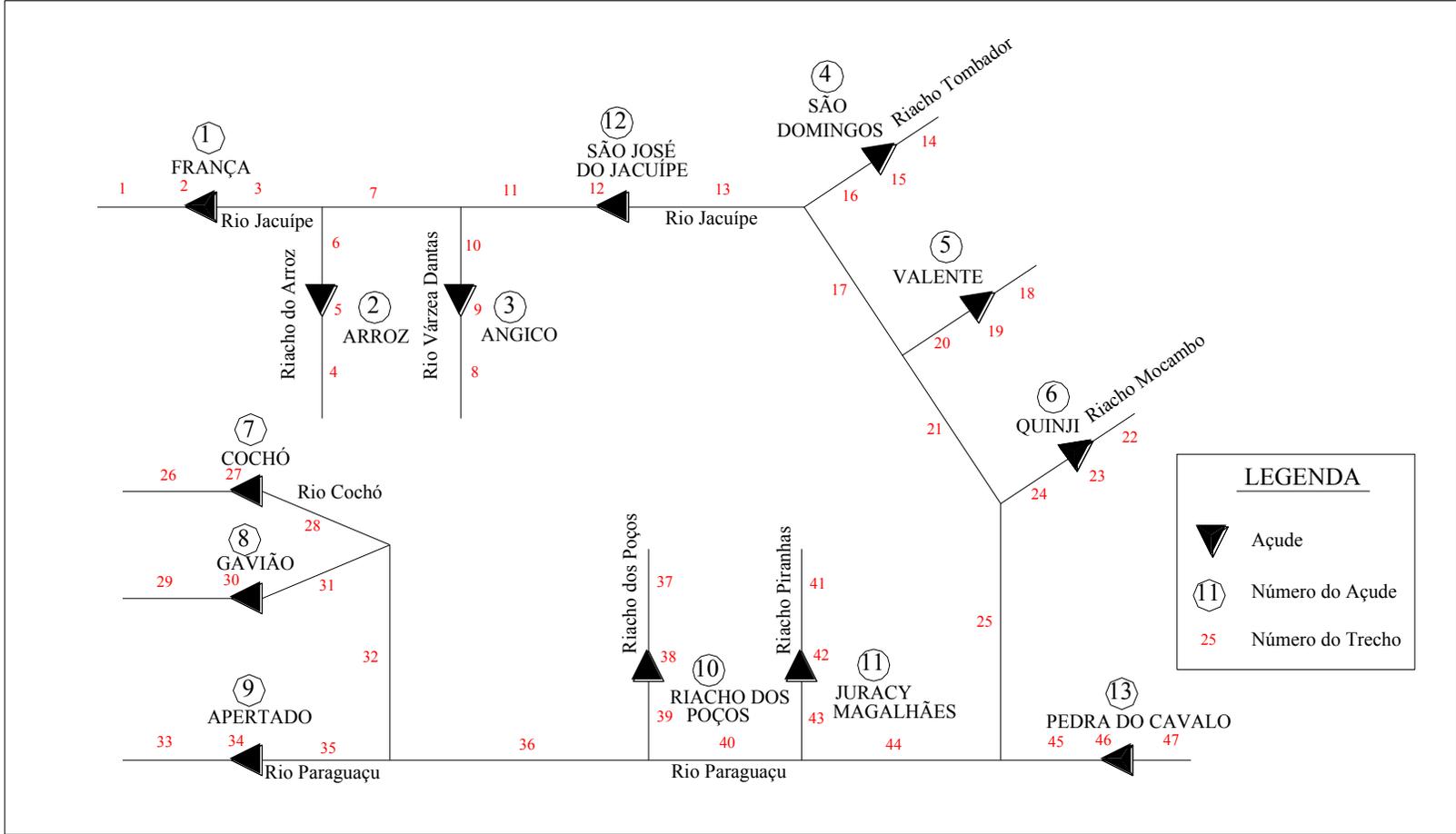
- CIDADE
- RIO
- BARRAGEM EXISTENTE
- NOME DO AÇUDE

BACIA DO RIO PARAGUAÇU

LOCALIZAÇÃO DOS AÇÜDES	DATA: 02/2002
FONTE: GEOHIDRO (1999)	ESCALA: 1/1.250.000

ANEXO B

Diagrama Unifilar da bacia do rio Paraguaçu



ANEXO C

Programa do modelo OperRes

OPERRES – MODELO DE OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS EM TEMPO REAL

1. INTRODUÇÃO

O código do programa principal de simulação do OperRes, escrito em linguagem FORTRAN PowerStation versão 4.0, será apresentado com explicações passo a passo dos seus algoritmos básicos.

2. PROGRAMA OPERRES

Inicialmente são feitos alguns preparativos para os cálculos. O tamanho dos vetores, inicialmente não são conhecidos, por isto utiliza-se a alocação dinâmica, através da função “ALLOCATABLE”, para que a partir da leitura dos dados se defina o tamanho necessário do vetor para o armazenamento dos dados. As variáveis foram definidas como “DOUBLE PRECISION” e “INTEGER”. De acordo com CHAVES (1997) o comando DOUBLE PRECISION é usado para declarar, explicitamente, um nome de variável como sendo tipo de dupla precisão. O comando INTEGER define a variável como sendo do tipo inteiro.

```
DOUBLEPRECISION V[ALLOCATABLE](:),H[ALLOCATABLE](:),
  *AI[ALLOCATABLE](:),VDESC[ALLOCATABLE](:),QDESC[ALLOCATABLE](:),
  *QR[ALLOCATABLE](:),VR[ALLOCATABLE](:),HMAX[ALLOCATABLE](:),
  *VMAX[ALLOCATABLE](:),PA[ALLOCATABLE](:),PPA[ALLOCATABLE](:),
  *HMIN[ALLOCATABLE](:),VMIN[ALLOCATABLE](:),QRMXX[ALLOCATABLE](:),
  *QRMAX[ALLOCATABLE](:),P[ALLOCATABLE](:),VAFLU[ALLOCATABLE](:),
  *VAFLUREAL[ALLOCATABLE](:),DRTOT[ALLOCATABLE](:,:),
  *DR[ALLOCATABLE](:,:),AREA[ALLOCATABLE](:),VEVAP[ALLOCATABLE](:),
  *ARES[ALLOCATABLE](:),AEVAP[ALLOCATABLE](:),RUNOF[ALLOCATABLE](:),
  *ARENM[ALLOCATABLE](:),CAREA(150,100),
  *EVOT(24),EVO(24),
  *PP[ALLOCATABLE](:),VOLNM[ALLOCATABLE](:),
```

*AMIN[ALLOCATABLE](:),AMAX[ALLOCATABLE](:),EVTOT[ALLOCATABLE](:),
 *COMPR[ALLOCATABLE](:),EPSO[ALLOCATABLE](:,:),
 *DRTT[ALLOCATABLE](:,:),
 *BETA[ALLOCATABLE](:),BETA1[ALLOCATABLE](:),
 *ESPERA[ALLOCATABLE](:),VRBAL[ALLOCATABLE](:),
 *QVERT[ALLOCATABLE](:),VAFLU1[ALLOCATABLE](:),
 *DRT[ALLOCATABLE](:,:),
 *HANT[ALLOCATABLE](:),VANT[ALLOCATABLE](:),QREQ[ALLOCATABLE](:,:),
 *HHHX[ALLOCATABLE](:),QMM[ALLOCATABLE](:),S[ALLOCATABLE](:),
 *DQ[ALLOCATABLE](:),VVERT[ALLOCATABLE](:)

 INTEGER RESTTAXESV[ALLOCATABLE](:),RESTVMIN[ALLOCATABLE](:),
 *NNP[ALLOCATABLE](:),NRESM[ALLOCATABLE](:),TRECHOS,RESERVAT,P
 OSTOS,
 *NTDP[ALLOCATABLE](:),NTDE[ALLOCATABLE](:),ITDE(150,300),
 *IRESP(150,100),ITDP(150,300),SOIL[ALLOCATABLE](:),
 *IRESM(150,150),AMC3[ALLOCATABLE](:),AMC1[ALLOCATABLE](:),
 *NARES[ALLOCATABLE](:),AMC2[ALLOCATABLE](:),CURNUM[ALLOCATABLE](:),
 *IARES(300,150),NRESMG[ALLOCATABLE](:),IRESMG[ALLOCATABLE](:,:),
 *NTRARM[ALLOCATABLE](:,:),ITRARM[ALLOCATABLE](:,:,:))

Os nomes dos açudes e do projeto também são definidos, com a limitação de no máximo 50 caracteres para o nome do açude e de 10 caracteres para o nome do projeto.

CHARACTER*50 ACUDE[ALLOCATABLE](:)
 CHARACTER*10 PROJETO

A constante CTE representa o tempo da quinzena em segundos e será utilizada posteriormente.

CTE=15.*86400.

```
READ(*,*)PROJETO
READ(*,*)FLAG
```

Os arquivos são abertos com o “STATUS” (estado) “OLD” quando eles já existem, pois foram gerados pelo programa de pré-processamento, o STATUS é “UNKNOWN” para arquivos com estado desconhecido. Deve observar que para o arquivo nº4 foi colocada a condição do “FLAG”, caso o mesmo fosse 1 o “ACCESS” seria do tipo “APPEND”, o que significa que novos dados podem ser gravados no arquivo; o arquivo número quatro é responsável pelo armazenamento de dados gerados pela simulação do sistema. Todos os arquivos de entrada utilizados serão apresentados no **Anexo D**, onde foram utilizados os dados da Bacia do Rio Paraguaiçu.

```
OPEN(UNIT=1,STATUS='OLD',FILE=TRIM(PROJETO)//'1.dat',FORM=
+'FORMATTED')
OPEN(UNIT=2,STATUS='OLD',FILE=TRIM(PROJETO)//'2.dat',FORM=
+'FORMATTED')
OPEN(UNIT=3,STATUS='OLD',FILE=TRIM(PROJETO)//'3.dat',FORM=
+'FORMATTED')
IF (FLAG.EQ.1)THEN
OPEN(UNIT=4,ACCESS = 'APPEND', STATUS='UNKNOWN',FILE=TRIM(PROJETO)
+'//2.res',FORM='FORMATTED')
ELSE
OPEN(UNIT=4, STATUS='UNKNOWN',FILE=TRIM(PROJETO)
+'//2.res',FORM='FORMATTED')
ENDIF
OPEN(UNIT=5,STATUS='OLD',FILE=TRIM(PROJETO)//'5.dat',FORM=
+'FORMATTED')
OPEN(UNIT=6,STATUS='OLD',FILE=TRIM(PROJETO)//'6.dat',FORM=
+'FORMATTED')
OPEN(UNIT=7,STATUS='OLD',FILE=TRIM(PROJETO)//'7.dat',FORM=
+'FORMATTED')
OPEN(UNIT=8,STATUS='UNKNOWN',FILE=TRIM(PROJETO)//'8.dat',FORM=
+'FORMATTED')
```

A seguir são alocados vetores dependentes de constantes, definidas inicialmente nos dados de entrada do projeto.

```
READ(*,*)TRECHOS
```

```
ALLOCATE(NARES(TRECHOS))
```

```
ALLOCATE(DRT(TRECHOS,24))
```

```
ALLOCATE(DRTT(TRECHOS,24))
```

```
ALLOCATE(COMPR(TRECHOS))
```

```
ALLOCATE(DQ(TRECHOS))
```

```
READ(*,*)RESERVAT
```

```
ALLOCATE(EPSO(TRECHOS,RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(DRTOT(RESERVAT,24))
```

```
ALLOCATE(DR(RESERVAT,24))
```

```
ALLOCATE(ACUDE(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(A1(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(HMIN(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(HMAX(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(QRMXX(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(AREA(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(NNP(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(CURNUM(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(NTDP(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(NTDE(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(NRESM(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(V(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(H(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(QR(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(VR(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(P(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(PA(RESERVAT))
```

```
ALLOCATE(QRMAX(RESERVAT))
```

ALLOCATE(VMIN(RESERVAT))
ALLOCATE(VMAX(RESERVAT))
ALLOCATE(VAFLU(RESERVAT))
ALLOCATE(VAFLUREAL(RESERVAT))
ALLOCATE(VEVAP(RESERVAT))
ALLOCATE(ARES(RESERVAT))
ALLOCATE(AEVAP(RESERVAT))
ALLOCATE(RUNOF(RESERVAT))
ALLOCATE(ARENM(RESERVAT))
ALLOCATE(VOLNM(RESERVAT))
ALLOCATE(AMIN(RESERVAT))
ALLOCATE(AMAX(RESERVAT))
ALLOCATE(EVTOT(RESERVAT))
ALLOCATE(BETA(RESERVAT))
ALLOCATE(BETA1(RESERVAT))
ALLOCATE(ESPERA(RESERVAT))
ALLOCATE(VRBAL(RESERVAT))
ALLOCATE(VVERT(RESERVAT))
ALLOCATE(QVERT(RESERVAT))
ALLOCATE(VAFLU1(RESERVAT))
ALLOCATE(HANT(RESERVAT))
ALLOCATE(VANT(RESERVAT))
ALLOCATE(QREQ(RESERVAT,24))
ALLOCATE(HHHX(RESERVAT))
ALLOCATE(QMM(RESERVAT))
ALLOCATE(S(RESERVAT))
ALLOCATE(RESTTAXESV(RESERVAT))
ALLOCATE(RESTVMIN(RESERVAT))
ALLOCATE(NRESMG(RESERVAT))
ALLOCATE(IRESMG(RESERVAT,RESERVAT))
ALLOCATE(NTRARM(RESERVAT,TRECHOS))
ALLOCATE(ITRARM(RESERVAT,TRECHOS,TRECHOS))
ALLOCATE(AMC1(RESERVAT))

```
ALLOCATE(AMC2(RESERVAT))
ALLOCATE(AMC3(RESERVAT))
ALLOCATE(SOIL(RESERVAT))
ALLOCATE(VDESC(RESERVAT))
ALLOCATE(QDESC(RESERVAT))
```

```
READ(*,*)POSTOS
ALLOCATE(PP(POSTOS))
ALLOCATE(PPA(POSTOS))
```

```
DO 100 ITREC=1,TRECHOS
  NARES(ITREC)=0
    DO 100 IRES=1,RESERVAT
      EPSO(ITREC,IRES)=0.
100 CONTINUE
```

Os valores de NARES(ITREC) e do EPSO(ITREC,IRES) são zerado para leitura destes valores posteriormente nos arquivos de entrada. Temos que:

NARES(ITREC) representa o número de reservatórios que pode abastecer determinado trecho ITREC; e

EPSO(ITREC,IRES) é uma variável que representa o nível de dependência de um trecho ITREC a um reservatório IRES.

```
DO 487 IRES=1,RESERVAT
  READ(5,*)IRRR,ACUDE(IRES)
487 CONTINUE
```

Do arquivo nº 5, no caso o paraguaçu5.dat, são lidos os números dos açudes (IRR) com os seus respectivos nomes, ACUDE(IRES).

```
DO 510 ITREC=1,TRECHOS
  READ(1,*)ITRE,COMPR(ITREC),(DRT(ITREC,J),J=1,24)
```

Do arquivo de dados de entrada nº1 (Paraguaçu 1.dat) são lidos os números dos trechos, ITREC, o seu comprimento, em quilômetros, COMPR(ITREC) e a demanda de água para cada trecho nas 24 quinzenas do ano (DRT(ITREC,J)). Esta demanda deve ser fornecida em m³/s.

```
DQ(ITREC)=.001*COMPR(ITREC)
```

```
510 CONTINUE
```

A variável DQ(ITREC) corresponde à perda em trânsito por infiltração que será a seguir adicionada à demanda dos trechos. Esta perda é trânsito é estimada em 1 l/s.km.

```
DO 512 ITREC = 1,TRECHOS
```

```
DO 512 J=1,24
```

```
DRT(ITREC,J)=(DQ(ITREC)+DRT(ITREC,J))*CTE
```

```
512 CONTINUE
```

À demanda de cada trecho DRT(ITREC,J), está sendo adicionada a perda em trânsito e transformada a vazão em volume d'água demandado, em m³, para a quinzena.

```
READ(1,*)(NARES(ITREC),ITREC=1,TRECHOS)
```

Está sendo feita a leitura do número de reservatórios que podem abastecer determinado trecho, NARES(ITREC). Os dados são provenientes do arquivo paraguaçu1.dat.

```
DO 190 ITREC = 1,TRECHOS
```

```
READ(1,*)ITRE,(IARES(ITREC,J),J=1,NARES(ITREC))
```

```
190 CONTINUE
```

A partir do arquivo paraguaçu1.dat está sendo feita a leitura do número índice dos reservatórios que podem abastecer os trechos.

```
READ(2,*)(EVO(J),J=1,24)
```

```
DO 598 J = 1,24
```

```
EVO(J)=EVO(J)*0.001
```

```
598 CONTINUE
```

É feita a leitura dos valores de evaporação quinzenal, EVO(J), a partir do arquivo paraguaçu2.dat. Deve-se ressaltar que estes valores que estão sendo lidos como quinzenais na verdade são valores correspondentes à evaporação ocorrida no mês no qual a quinzena está inserida; estes valores serão convertidos para quinzenais em outra etapa do programa. Os valores estão sendo inicialmente lidos em milímetro e posteriormente convertidos para metro.

```
READ(3,*)(A1(IRES),HMIN(IRES),HMAX(IRES),QRMXX(IRES),
  *IRES=1,RESERVAT)
```

A partir do arquivo paraguaçu3.dat é feita a leitura dos valores de A1, HMIN, HMAX e QRMXX dos reservatórios IRES. Onde:

A1 corresponde ao valor de α_1 , que é uma constante da equação do reservatório suposta para o modelo, que é $V=\alpha.h^3$;

HMIN e HMAX são os valores dos níveis mínimos e máximos para cada reservatório; e

QRMXX é a vazão máxima liberada de cada reservatório, quando os mesmos estão cheios.

```
DO 721 IRES = 1,RESERVAT
```

```
READ(3,*)IRESE,AREA(IRES),NNP(IRES),AMC1(IRES),AMC2(IRES)
  *,AMC3(IRES)
```

```
READ(3,*)(IRESP(IRES,J),CAREA(IRES,J),J=1,NNP(IRES))
```

```
DO 722 J = 1, NNP(IRES)
```

```
CAREA(IRES,J)=CAREA(IRES,J)/AREA(IRES)
```

```
722 CONTINUE
```

```
721 CONTINUE
```

Continuando a leitura do arquivo nº 3, temos que IRESE tem o mesmo significado de IRES (número índice do reservatório). AREA é o valor da área da bacia de cada reservatório, em km^2 . NNP é o número de postos pluviométricos que apresentam área de influência dentro da

área de drenagem do reservatório. Os valores de AMC1, AMC2 e AMC3 representam os valores do parâmetro “curve number” do método de transformação de chuva em vazão do Soil Conservation Service. O valor do “curve number” a ser utilizado pode ser AMC1 ou AMC2 ou AMC3, a depender da umidade do solo da bacia de drenagem do reservatório, ou seja, da chuva ocorrida no período anterior.

Ainda no arquivo nº 3 é feita a leitura do valor de IRESP(IRES,J) que representa o número índice dos postos pluviométricos que contribuem com volume afluente para o reservatório IRES. CAREA(IRES,J) representa a área de influência do posto pluviométrico NNP na área de drenagem do reservatório IRES. Posteriormente o valor de CAREA(IRES,J) é convertido para a razão entre a área de contribuição do posto para o reservatório e a área da bacia de drenagem do reservatório.

```
READ(3,*)(NTDP(IRES),NTDE(IRES),NRESM(IRES),IRES=1,RESERVAT)
```

A leitura dos dados continua sendo feita no arquivo nº 3, onde temos que:

NTDP(IRES) é o número de trechos que dependem parcialmente do reservatório IRES;

NTDE(IRES) é o número de trechos que dependem exclusivamente do reservatório IRES; e

NRESM(IRES) é o número de reservatório imediatamente a montante do reservatório IRES.

```
DO 712 IRES = 1,RESERVAT
```

```
READ(3,*)IRRES,(IRESM(IRES,J),J=1,NRESM(IRES))
```

```
712 CONTINUE
```

```
DO 713 IRES = 1,RESERVAT
```

```
READ(3,*)(ITDP(IRES,J),J=1,NTDP(IRES))
```

```
713 CONTINUE
```

```
DO 714 IRES = 1,RESERVAT
```

```
READ(3,*)(ITDE(IRES,J),J=1,NTDE(IRES))
```

```
714 CONTINUE
```

Foi feita a leitura no arquivo nº 3 dos valores dos índices dos reservatórios diretamente a montante do reservatório IRES, IRESM(IRES,J); dos índices dos trechos com dependência parcial de cada reservatório, ITDP(IRES,J) e dos índices dos trechos com dependência exclusiva de cada reservatório, ITDE(IRES,J).

```

DO 200 IRES= 1,RESERVAT
  VMIN(IRES)=A1(IRES)*HMIN(IRES)**3
  ESPERA(IRES)=.05*VMIN(IRES)
  VMAX(IRES)=A1(IRES)*HMAX(IRES)**3
  AMIN(IRES)=3.*A1(IRES)*HMIN(IRES)**2
  AMAX(IRES)=3.*A1(IRES)*HMAX(IRES)**2
  HH=0.5*(HMIN(IRES)+HMAX(IRES))
  ARENM(IRES)= 3*A1(IRES)*HH**2
  VOLNM(IRES)= A1(IRES)*HH**3
200 CONTINUE

```

Em função da equação do reservatório, $V=\alpha.h^3$, é feito o cálculo dos valores dos volumes mínimos, VMIN(IRES), e máximos, VMAX(IRES), de cada reservatório.

A equação que representa a área do espelho d'água do açude em função da altura d'água é: $A = 3.\alpha.h^2$, a partir desta relação é calculado os valores de AMIN(IRES) e AMAX(IRES). HH é a altura média do reservatório e será utilizado para o posterior cálculo do valor de ARENM(IRES) que representa a área do espelho d'água quando o reservatório estiver no seu nível médio. O valor do volume do reservatório no seu nível médio, VOLNM(IRES), também é calculado.

```

READ(*,*)IT
  READ(7,*)(H(IRES),IRES=1,RESERVAT)
  DO 844 IRES = 1,RESERVAT
    HHHX(IRES)=H(IRES)
844 CONTINUE

```

É lido o valor de IT, que representa a quinzena inicial da simulação. No arquivo nº7 é feita a leitura dos dados de entrada da simulação, referente aos níveis dos reservatórios no início da simulação.

```
DTOTA=0
DO 781 ITREC=1,TRECHOS
  DTOTA=DTOTA+DRT(ITREC,IT)
781 CONTINUE
```

O cálculo do valor da demanda total requerida pelo sistema na quinzena IT é representado por DTOTA.

```
DTOTA=DTOTA*3600./CTE
```

DTOTA é transformada para a unidade de m³/hora.

```
IIMES=(IT+1)/2
IAUX=IT/2
IAUX=2*IAUX
IF(IAUX.EQ.IT)THEN
  IIQUI=2
ELSE
  IIQUI=1
END IF
963 CONTINUE
```

Os valores de IIMES e IIQUI representam, respectivamente, o índice do mês e da quinzena de análise.

```
DO IP = 1,POSTOS
  READ(6,*)PP(IP)
ENDDO
DO IP = 1,POSTOS
```

```

READ(6,*)PPA(IP)
ENDDO
DO IRES = 1,RESERVAT
READ(6,*)SOIL(IRES)
ENDDO

```

Leitura dos dados de entrada da simulação referentes às alturas de chuva do período de simulação e da quinzena anterior; além dos dados que serão adotados para o parâmetro AMC, que define a característica do solo em: seco, úmido e muito úmido. Estes dados são lidos para serem apresentados na tela de simulação, mas podem vir a ser modificados antes do início simulação.

```
344 CONTINUE
```

```

CLOSE(6)
OPEN(UNIT=6,STATUS='OLD',FILE=TRIM(PROJETO)//'6.dat',FORM=
+'FORMATTED')

```

```

DO 201 IRES = 1,RESERVAT
V(IRES)=A1(IRES)*H(IRES)**3
ARES(IRES)=3.*A1(IRES)*H(IRES)**2
QRMAX(IRES)=QRMXX(IRES)*(H(IRES)/HMAX(IRES))**.5

```

```
201 CONTINUE
```

Cálculo dos valores do volume, $V(IRES)$, e área de espelho d'água dos reservatórios, $ARES(IRES)$, em função da altura atual do reservatório, $H(IRES)$. $QRMAX(IRES)$ a vazão máxima a liberar de acordo com o nível do reservatório, sendo $QRMXX(IRES)$ a vazão máxima a liberar no nível máximo do reservatório ($HMAX(IRES)$). A equação que apresenta o cálculo de $QRMAX(IRES)$ é apresentado a seguir:

$$Q_{\max_i} = Q_{rmxx_i} \sqrt{\frac{H_i}{H_{máx}}}$$

```

READ(*,*)KJ
  READ(*,*)XKESV

```

É feita a leitura do horizonte de controle, KJ, e da taxa máxima de esvaziamento, XKESV.

```

J=IT
  EVOT(J)=EVO(J)/2

```

O valores da evaporação quinzenal, do horizonte de controle, está sendo dividido por dois, para que seja corrigido e EVOT(J) realmente represente um valor quinzenal, e não mensal como estava sendo feito anteriormente.

```

      DO 81 K=1,KJ
        J1=J+K
        IF(J1.LE.24)THEN
          EVOT(J)=EVOT(J)+EVO(J1)/2
        ELSE
          J1=J1-24
          EVOT(J)=EVOT(J)+EVO(J1)/2
        ENDIF
      81  CONTINUE

```

É calculado o valor de EVOT(J), que representa a evaporação total que irá ocorrer no horizonte de controle.

```

DO 202 ITREC = 1,TRECHOS
  IAUX=NARES(ITREC)
  IF(IAUX.GT.0) THEN
    VAUX=0.
    DO 203 J = 1,IAUX
      IRES=IARES(ITREC,J)
      VAUX=VAUX+V(IRES)
    
```

```
203 CONTINUE
      IF(VAUX.EQ.0)THEN
        VAUX=1.
      ELSE
      ENDIF
      DO 204 J = 1,IAUX
        IRES=IARES(ITREC,J)
        EPSO(ITREC,IRES)=V(IRES)/VAUX
        IF(V(IRES).LE.(VMIN(IRES)-.1))THEN
          EPSO(ITREC,IRES)=0.
        ELSE
        END IF
      204 CONTINUE
    ELSE
    END IF
  202 CONTINUE
```

É feito o cálculo dos valores de EPSO(ITREC,IRES) que é a dependência de um trecho com relação a um determinado reservatório, sendo medido pela razão do volume do reservatório IRES com o total dos volumes dos reservatórios que podem abastecer o trecho. Caso o volume do reservatório seja menor do que o seu volume mínimo menos 100 litros, a dependência do trecho com relação a este reservatório deve ser zero, não devendo o reservatório contribuir para o abastecimento do trecho.

```
      DO 205 ITREC = 1,TRECHOS
        J=IT
        DRTT(ITREC,J)=DRT(ITREC,J)
        DO 502 K=1,KJ
          J1=J+K
          IF(J1.LE.24) THEN
            DRTT(ITREC,J)=DRTT(ITREC,J)+DRT(ITREC,J1)
          ELSE
            J1=J1-24
```

```

DRTT(ITREC,J)=DRTT(ITREC,J)+DRT(ITREC,J1)
END IF
502 CONTINUE
205 CONTINUE

```

Cálculo da demanda total requerida por cada trecho no horizonte de controle, DRTT(ITREC,J).

```

DO 206 IRES = 1,RESERVAT
J1=IT
DR(IRES,J1)=0.
DRTOT(IRES,J1)=0.
(Trechos com dependência exclusiva )
DO 207 J = 1,NTDE(IRES)
ITREC=ITDE(IRES,J)
DR(IRES,J1)=DR(IRES,J1)+DRT(ITREC,J1)
DRTOT(IRES,J1)=DRTOT(IRES,J1)+DRTT(ITREC,J1)
207 CONTINUE

```

(Trechos com dependência parcial)

```

DO 208 J = 1,NTDP(IRES)
ITREC=ITDP(IRES,J)
DR(IRES,J1)=DR(IRES,J1)+EPSO(ITREC,IRES)*DRT(ITREC,J1)
DRTOT(IRES,J1)=DRTOT(IRES,J1)+EPSO(ITREC,IRES)*DRTT(ITREC,J1)
208 CONTINUE
206 CONTINUE

```

Cálculo da demanda requerida por cada reservatório na quinzena inicial, DR(IRES,J1) e no horizonte de controle, DRTOT(IRES,J1). Deve-se observar que para os trechos com dependência parcial é considerada a relação EPSO(ITREC,IRES).

```

SODR=0.
SODRT=0.
DO 261 IRES=1,RESERVAT

```

SODR=SODR+DR(IRES,IT)

SODRT=SODRT+DRTOT(IRES,IT)

261 CONTINUE

Cálculo da demanda total requerida por todos os reservatórios, na quinzena inicial e no horizonte de controle.

SOTR=0.

SOTRT=0.

DO 262 ITREC=1,TRECHOS

SOTR=SOTR+DRT(ITREC,IT)

SOTRT=SOTRT+DRTT(ITREC,IT)

262 CONTINUE

Cálculo da demanda total de todos os trechos, na quinzena inicial, SOTR, e no horizonte de controle, SOTRT.

C . . . Determinação de BETA e VR(IRES) e QR(IRES) ...

DO 212 IRES = 1,RESERVAT

IF(V(IRES).LE.(VMIN(IRES)-.1))THEN

EVTOT=0.

BETA(IRES)=0.

VR(IRES)=0.

VRBAL(IRES)=0.

QR(IRES)=0.

ELSE

AEVAP(IRES)=(ARES(IRES)+AMIN(IRES))/2

EVTOT(IRES)=EVOT(IT)*AEVAP(IRES)

IF(DRTOT(IRES,IT).NE.0.)THEN

BETA(IRES)=(V(IRES)-EVTOT(IRES))/DRTOT(IRES,IT)

ELSE

```

      BETA(IRES)=1.
    ENDIF
      BETA1(IRES)=BETA(IRES)
    IF(BETA(IRES).GT.1.) THEN
      BETA(IRES)=1.0
      VR(IRES)=DR(IRES,IT)
    ELSE
      IF(BETA(IRES).LT.0.5) THEN
        BETA(IRES)=0.5
      ELSE
        END IF
      VR(IRES)=BETA(IRES)*DR(IRES,IT)
    END IF
  END IF
212 CONTINUE

```

Cálculo da restrição BETA, representada pela equação:

$$BETA(IRES) = \frac{V(IRES) - EVTOT(IRES)}{DRTOT(IRES, IT)}$$

O valor de beta leva em consideração a evaporação e a demanda dos reservatórios no horizonte de controle e segue as seguintes condições:

Se $BETA > 0$ e $BETA < 0,5$, assume $BETA = 0,5$; e

Se $BETA > 1$, assume $BETA = 1$.

O volume máximo de água a ser liberado pelo reservatório é calculado segundo a expressão: $VR(IRES)=BETA(IRES).DR(IRES,IT)$.

```

DO 213 IRES = 1,RESERVAT
VAFLU1(IRES)=0.
  P(IRES)=0.
  PA(IRES)=0.
  VRBAL(IRES)=VR(IRES)
IAUX1=NNP(IRES)
  VEVAP(IRES)= EVO(IT)*ARES(IRES)/2
  IF(VEVAP(IRES).GT.V(IRES))THEN
    VEVAP(IRES)=V(IRES)
  ELSE
  ENDIF
  DO 214 J = 1,IAUX1
IAUX=IRESP(IRES,J)
P(IRES)=P(IRES)+CAREA(IRES,J)*PP(IAUX)
  PA(IRES)=PA(IRES)+CAREA(IRES,J)*PPA(IAUX)
214 CONTINUE

```

Cálculo dos contribuição da precipitação ocorrida na quinzena inicial, P(IRES), e na quinzena anterior, PA(IRES), para cada reservatório.

```

IF(SOIL(IRES).EQ.0)THEN
CURNUM(IRES)=AMC1(IRES)
ELSEIF(SOIL(IRES).EQ.1)THEN
CURNUM(IRES)=AMC2(IRES)
ELSE
CURNUM(IRES)=AMC3(IRES)
ENDIF

```

Determinação do valor do CURNUM(IRES) a depender da umidade do solo, representado por SOIL(IRES).

```

IF(P(IRES).LT.PA(IRES))THEN (recessão de chuvas)

```

```

IF(P(IRES).LT.50.)THEN (se as chuvas forem inferiores a 50 mm
SOIL(IRES)=0          na recessão)
ELSEIF(P(IRES).LT.80.AND.P(IRES).GT.50)THEN (chuvas entre 50 e 80 mm
                                                    na recessão)
SOIL(IRES)=1          ELSE
SOIL(IRES)=2          (chuva superior a 80 mm na recessão)
ENDIF
ELSE
IF(P(IRES).LT.80.)THEN (se as chuvas forem inferiores a 80 mm na ascensão
de chuvas)
SOIL(IRES)=0
ELSEIF(P(IRES).LT.120.AND.P(IRES).GT.80)THEN (chuvas entre 80 e 120
                                                    mm na ascensão)
SOIL(IRES)=1
ELSE
SOIL(IRES)=2          (chuva superior a 120 mm na ascensão)
ENDIF
ENDIF

```

Foi apresentada a determinação do SOIL(IRES) que será utilizado na simulação seguinte, esta variável determina a umidade do solo que depende da chuva no período anterior, bem como da situação de recessão ou ascensão da chuva, determinada pela relação entre P(IRES) e PA(IRES).

```

S(IRES)=25.4*(1000./CURNUM(IRES)-10.)
QMM(IRES)=(P(IRES)-0.2*S(IRES))**2.
QMM(IRES)=QMM(IRES)/(P(IRES)+0.8*S(IRES))
VAFLU(IRES)=QMM(IRES)*AREA(IRES)*1000.
IF(P(IRES).LT.0.2*S(IRES))THEN
RUNOF(IRES)=0.
VAFLU(IRES)=0.
ELSE

```

```

    RUNOF(IRES)=QMM(IRES)/P(IRES)
  ENDIF
  VAFLUREAL(IRES)=VAFLU(IRES)
  VVERT(IRES)=VAFLU(IRES)+V(IRES)-VMAX(IRES)-VEVAP(IRES)
  IF(VVERT(IRES).LT.0.)THEN
    VVERT(IRES)=0.
  ENDIF
213 CONTINUE

```

Determinação do volume superficial escoado QMM(IRES) através do método do Soil Conservation Service (SCS), para a determinação do volume afluente ao reservatório proveniente da chuva, VAFLU(IRES). No SCS estima-se que as perdas iniciais (I_a) equivalem a cerca de 20% de S, logo caso o valor de P(IRES) seja menor do que esta relação não haverá contribuição de chuva para os reservatórios. O valor de RUNOF(IRES) é calculado em função do resultados do método do SCS. O valor de VVERT(IRES), volume de água vertido do reservatório, também é calculada considerando os valores de VAFLU(IRES), V(IRES), VMAX(IRES) e VEVAP(IRES).

```

    DO IP = 1,POSTOS
      WRITE(6,*)'0.0 '
    ENDDO
    DO IP = 1,POSTOS
      WRITE(6,5)PP(IP)
    ENDDO
    DO IRES = 1,RESERVAT
      WRITE(6,6)(SOIL(IRES),IRES=1,RESERVAT)
    ENDDO
5    FORMAT(F5.1)
6    FORMAT(I1)

```

Estão sendo zerados os valores que serão utilizados como altura de chuva em simulações posteriores. Os dados da precipitação da simulação atual serão utilizados futuramente como

dados de chuva da quinzena anterior. O valor de SOIL(IRES), que foi calculado para de cada reservatório, também é gravado para ser utilizado em posterior simulação.

```

DO 215 IRES = 1,RESERVAT
DO 216 J = 1,NRESM(IRES)
  IAUX=IRESM(IRES,J)
  AUX=VAFLU(IAUX)+V(IAUX)
    IF(AUX.GT.(VMAX(IAUX)+VEVAP(IAUX)))THEN (Significa que o reservatório a
      montante verte, sem considerar o atendimento à demanda)
    IF(AUX.GT.(VMAX(IAUX)+VEVAP(IAUX)+DR(IAUX,IT)))THEN (O reservatório a
      montante verte, mesmo considerando a demanda)
      AUX=AUX-VMAX(IAUX)-VEVAP(IAUX)-DR(IAUX,IT) (Volume do reservatório
        a montante que irá verter)
      VAFLU1(IAUX)=VMAX(IAUX)-V(IAUX)+DR(IAUX,IT)+VEVAP(IAUX) (O valor mínimo
        de VAFLU para que haja o vertimento)
      VVERT(IAUX)=VAFLU(IAUX)+V(IAUX)-VMAX(IAUX)-VEVAP(IAUX)
        (Valor do volume vertido sem considerar a demanda)
      IF(VVERT(IAUX).LT.0.)THEN
        VVERT(IAUX)=0.
      ENDIF
      VAFLU(IRES)=VAFLU(IRES)+AUX (Ao valor de VAFLU proveniente da chuva é
        acrescido ao volume proveniente do volume vertido do reservatório a montante)
      VAFLUREAL(IRES)=VAFLU(IRES)
      VVERT(IRES)=VAFLU(IRES)+V(IRES)-VMAX(IRES)-VEVAP(IRES) (Volume
        vertido do reservatório IRES sem considerar o atendimento à demanda)
      IF(VVERT(IRES).LT.0.)THEN
        VVERT(IRES)=0.
      ENDIF
      VRBAL(IAUX)=DR(IAUX,IT)
      VR(IAUX)=0.
    ELSEIF(AUX.GT.(VMAX(IAUX)+VEVAP(IAUX)+VRBAL(IAUX)))THEN
      (Quando ocorre o vertimento considerando o atendimento da demanda, já restringida por BETA)

```

```

      AUX=AUX-VMAX(IAUX)-VEVAP(IAUX)-VRBAL(IAUX) (Volume do
reservatório a montante que irá verter)
      VAFLU1(IAUX)=VMAX(IAUX)-V(IAUX)+VRBAL(IAUX)+VEVAP(IAUX) (O
valor mínimo de VAFLU para que haja o vertimento)
      VVERT(IAUX)=VAFLU(IAUX)+V(IAUX)-VMAX(IAUX)-VEVAP(IAUX)
(Valor do volume vertido sem considerar a demanda)
      IF(VVERT(IAUX).LT.0.)THEN
        VVERT(IAUX)=0.
      ENDIF
      VR(IAUX)=0.
      ELSEIF(AUX.LE.(VMAX(IAUX)+VEVAP(IAUX)+VRBAL(IAUX)))THEN
        AUX=AUX-VMAX(IAUX)-VEVAP(IAUX) (Volume a ser vertido do reservatório
sem considerar o atendimento à demanda)
        VR(IAUX)=VRBAL(IAUX)-AUX (Do volume de água a ser liberado vai ser
subtraído o volume a ser vertido)
        VAFLU(IAUX)=VMAX(IAUX)-V(IAUX)+VEVAP(IAUX)+AUX (Valor mínimo de
VAFLU para que haja vertimento, sem o atendimento à demanda)
        VVERT(IAUX)=AUX
        IF(VVERT(IAUX).LT.0.)THEN
          VVERT(IAUX)=0.
        ENDIF
      ENDIF
      ENDIF
216 CONTINUE
215 CONTINUE

DO 25 IRES=1,RESERVAT
  IF(VVERT(IRES).NE.0.)THEN
    IF(VVERT(IRES).GE.VRBAL(IRES))THEN
      VR(IRES)=0
    ELSEIF(VVERT(IRES).LT.VRBAL(IRES))THEN
      VR(IRES)=VRBAL(IRES)-VVERT(IRES)
    ENDIF
  
```

```

        ENDIF
25    CONTINUE

```

Na operação apresentada o volume a ser liberado pelo reservatório é zero quando o volume vertido é maior do que o volume a ser liberado segundo a restrição de BETA. Este condicionamento é feito pois se assume que se o reservatório está vertendo está atendendo à demanda, logo não é preciso liberar água.

C . . . Imposição da taxa de esvaziamento

```

        DO 217 IRES = 1,RESERVAT
        AUX=XKESV*V(IRES)
        IF(VRBAL(IRES).GT.AUX)THEN
        VRBAL(IRES)=AUX
        VR(IRES)=AUX
        RESTTAXESV(IRES)=1
        ELSE
        RESTTAXESV(IRES)=0
        ENDIF
217  CONTINUE

```

Restrição da taxa máxima de esvaziamento do reservatório.

```

        DO 150 IRES = 1,RESERVAT
        IF(VAFLU1(IRES).NE.0.)THEN (ocorre o vertimento de água do reservatório)
        VAFLU(IRES)=VAFLU1(IRES)
        ENDIF
150  CONTINUE

```

C . . . Balanço hídrico em cada reservatório, no intervalo IT ...

```

        DO 218 IRES = 1,RESERVAT
        VANT(IRES)=V(IRES) (volume do reservatório no início da simulação)

```

$V(IRES)=V(IRES)+VAFLU(IRES)-VEVAP(IRES)-VRBAL(IRES)$ (volume d'água no final da simulação)

IF(V(IRES).LT.VMIN(IRES)) THEN

$VRBAL(IRES)=VRBAL(IRES)-(VMIN(IRES)+ESPERA(IRES)-V(IRES))$ (restrição imposta a VRBAL para a garantia do volume mínimo do reservatório)

$VR(IRES)=VRBAL(IRES)$

$RESTVMIN(IRES)=1$

IF (VRBAL(IRES).LT.0.)THEN

$VRBAL(IRES)=0.$

$VR(IRES)=0.$

$V(IRES)=VANT(IRES)+VAFLU(IRES)-VEVAP(IRES)-VRBAL(IRES)$

IF(V(IRES).LT.0.)THEN

$V(IRES)=1.$

ELSE

ENDIF

ELSE

$V(IRES)=VMIN(IRES)+ESPERA(IRES)$

END IF

ELSE

$RESTVMIN(IRES)=0$

ENDIF

IF(V(IRES).GT.VMAX(IRES))THEN

$V(IRES)=VMAX(IRES)$

$VRBAL(IRES)=0.$

$VR(IRES)=0.$

ENDIF

218 CONTINUE

Cálculo dos valores do volume do reservatório e do volume de água a ser liberado em função da relação de $V(IRES)$ com $VMAX(IRES)$ e $VMIN(IRES)$.

```
DO 3200 IRES = 1,RESERVAT
READ(3,*)NRESMG(IRES)
3200 CONTINUE

DO 3201 IRES = 1,RESERVAT
READ(3,*)(IRESMG(IRES,J),J=1,NRESMG(IRES))
3201 CONTINUE
DO 3202 IRES = 1,RESERVAT
READ(3,*)(NTRARM(IRES,RESM),RESM=1,NRESMG(IRES))
3202 CONTINUE

DO 3203 IRES = 1,RESERVAT
READ(3,*)((ITRARM(IRES,RESM,TREC), TREC = 1, NTRARM(IRES,RESM)),
*RESM = 1, NRESMG(IRES))
3203 CONTINUE

DO 3206 IRES = 1,RESERVAT
VDESC(IRES) = VR(IRES)
DO 3207 RESM = 1, NRESMG(IRES)
RESMO=IRESMG(IRES,RESM)
VDESC(IRES) = VDESC(IRES) + VR(RESMO)
DO 3208 ITREC = 1, NTRARM(IRES, RESM)
J = ITRARM(IRES,RESM,ITREC)
VDESC(IRES)=VDESC(IRES) -
*DRT(J,IT)*EPSO(J,RESMO)*VR(RESMO)/DR(RESMO,IT)
3208 CONTINUE
3207 CONTINUE
3206 CONTINUE
```

VDESC é o volume descarregado pelo reservatório para o atendimento dos trechos, sendo este volume proveniente do reservatório em questão e dos reservatórios a montante.

DO 329 IRES = 1,RESERVAT
 QR(IRES)=VR(IRES)*3600./CTE

QR é a vazão liberada em m³/h.

QREQ(IRES,IT)=DR(IRES,IT)*3600./CTE

QR é a vazão requerida

QVERT(IRES)=VVERT(IRES)*3600./CTE

QVERT é a vazão vertida

QDESC(IRES)=VDESC(IRES)*3600./CTE

QDESC é a vazão descarregada

329 CONTINUE

QRTOT=0.
 VRTOT=0.
 QDESCTOT=0.
 VDESCTOT=0.

DO 350 IRES = 1,RESERVAT
 QRTOT=QRTOT+QR(IRES) (vazão total liberada pelo sistema)
 VRTOT=VRTOT+VR(IRES) (volume total liberada pelo sistema)
 QDESCTOT=QDESCTOT+QDESC(IRES) (vazão total descarregada pelo sistema)
 VDESCTOT=VDESCTOT+VDESC(IRES) (volume total descarregada pelo sistema)

HANT(IRES)=H(IRES) (altura do reservatório no início da simulação)
 H(IRES)=(V(IRES)/A1(IRES))**(1./3.) (altura do reservatório no final da simulação)

350 CONTINUE

WRITE(4,661)IIMES,IQUI (índice do mês e índice da quinzena)

WRITE(4,1100)

DO 355 IRES = 1,RESERVAT (informações dadas para cada reservatório)

WRITE(*,661)IIMES,IQUI (índice do mês e índice da quinzena)

WRITE(*,662)IRES (índice do reservatório)

WRITE(*,*)ACUDE(IRES) (nome do açude)

WRITE(*,20)HMAX(IRES),VMAX(IRES) (nível d'água máximo e volume máximo)

WRITE(*,672)HMIN(IRES),VMIN(IRES) (nível d'água mínimo e volume mínimo)

WRITE(*,663)HANT(IRES),VANT(IRES) (nível d'água inicial e volume inicial)

WRITE(*,664)H(IRES),V(IRES) (nível d'água final e volume final)

WRITE(*,665)VAFLU(IRES) (volume afluyente balanceado)

WRITE(*,21)VAFLUREAL(IRES) (volume afluyente real)

WRITE(*,666)VR(IRES) (volume liberado)

WRITE(*,673)VDESC(IRES) (volume descarregado)

WRITE(*,667)VEVAP(IRES) (volume evaporado)

WRITE(*,17)VVERT(IRES) (volume vertido)

WRITE(*,16)DR(IRES,IT) (volume requerido)

WRITE(*,668)QR(IRES) (vazão liberada)

WRITE(*,675)QDESC(IRES) (vazão descarregada)

WRITE(*,669)QREQ(IRES,IT) (vazão requerida)

WRITE(*,18)QVERT(IRES) (vazão vertida)

WRITE(*,10)EVTOT(IRES) (evaporação no horizonte de controle)

WRITE(*,12)AEVAP(IRES) (área de evaporação no horizonte de controle para obter beta)

WRITE(*,11)BETA(IRES) (valor de Beta)

WRITE(*,13)RESTVMIN(IRES) (restrição ao volume mínimo)

```

WRITE(*,14)RESTTAXESV(IRES) (restrição a taxa máxima de esvaziamento)
WRITE(*,15)BETA1(IRES) (valor real de Beta)
WRITE(*,9)KJ (horizonte de controle considerado)
WRITE(*,8)RUNOF(IRES) (coeficiente de run-off, calculado com o resultado da
transformação de chuva em vazão do método do SCS)
WRITE(*,7)CURNUM(IRES) (valor do “curve number” utilizado pelo método do
SCS)
7   FORMAT(5X,'NUMERO DA CURVA: ',I6,/)
8   FORMAT(5X,'COEFIC. DE RUN-OFF: ',F6.4)
9   FORMAT(5X,'HORIZ. CONTR. CONSIDERADO: ',I2)
10  FORMAT(5X,'EVAP. NO HOR. CONTR.(m3) : ',F14.2)
11  FORMAT(5X,'VALOR DE BETA: ',F5.3)
12  FORMAT(5X,'AREA EVAP. NO HOR. CONTR. PARA OBTER BETA (m2):',F12.2)
13  FORMAT(5X,'RESTRICAO VOL. MIN.: ',I1)
14  FORMAT(5X,'RESTRICAO TAX. ESV.: ',I1)
15  FORMAT(5X,'VALOR REAL DE BETA: ',F9.3)
16  FORMAT(5X,'VOLUME REQUERIDO (m3): ',F17.2)

17  FORMAT(5X,'VOLUME VERTIDO (m3): ',F17.2)
18  FORMAT(5X,'VAZAO VERTIDA (m3/h): ',F17.2)

1100 FORMAT(5X,'RES. NO.',3X,'H ANT. (m)',4X,'H SIM. (m)',4X,
+'VAZAO REQ. (m3/h)',4X,'VAZAO DESC. (m3/h)',4X,'VAZAO LIB. (m3/h)'
*,4X,'VAZAO VERT. (m3/h)')
WRITE(4,944)IRES,HANT(IRES),H(IRES),QREQ(IRES,IT),QDESC(IRES),
*QR(IRES),QVERT(IRES)
C PAUSE
355 CONTINUE
WRITE(4,1101)
1101 FORMAT(/)

WRITE(*,670)DTOTA (vazão total requerida)
WRITE(*,671)QRTOT (vazão total liberada)

```

```
WRITE(*,674)QDESCTOT (vazão total descarregada)

WRITE(*,1101)

WRITE(4,670)DTOTA (vazão total requerida)
WRITE(4,671)QRTOT (vazão total liberada)
WRITE(4,1101)
944 FORMAT(7X,I2,7X,F5.2,8X,F5.2,14X,F9.2,12X,F9.2,13X,F9.2,
*13X,F9.2)
661 FORMAT(5X,'IMES:',I5,10X,'QUINZENA:',I5)
662 FORMAT(5X,'RESERV. NO.:',I5)
663 FORMAT(5X,'N.A.INICIAL(m):',F10.2,2X,'VOL.INICIAL (m3):',F15.2)
664 FORMAT(5X,'N.A.FINAL (m):',F10.2,2X,'VOL.FINAL (m3):',F15.2)
672 FORMAT(5X,'N.A.MINIMO (m):',F10.2,2X,'VOL.MINIMO (m3):',F15.2)
20 FORMAT(5X,'N.A.MAXIMO (m):',F10.2,2X,'VOL.MAXIMO (m3):',F15.2)
665 FORMAT(5X,'VOLUME AFLUENTE BAL. (m3): ',F17.2)
21 FORMAT(5X,'VOLUME AFLUENTE REAL (m3): ',F17.2)
666 FORMAT(5X,'VOLUME LIBERADO (m3): ',F17.2)
667 FORMAT(5X,'VOLUME EVAPORADO (m3): ',F17.2)
668 FORMAT(5X,'VAZAO LIBERADA (m3/h): ',F12.2)
673 FORMAT(5X,'VOLUME DECARREGADO (m3/h): ',F17.2)
669 FORMAT(5X,'VAZAO REQUERIDA (m3/h): ',F12.2)
675 FORMAT(5X,'VAZAO DESCARREGADA (m3/h): ',F12.2)
362 FORMAT(5X,'PARA PROSSEGUIR TECLE DUAS VEZES ENTER')
670 FORMAT(5X,'VAZAO TOTAL REQUERIDA (m3/h):',F12.2)
674 FORMAT(5X,'VAZAO TOTAL DESCARREGADA (m3/h):',F12.2)
671 FORMAT(5X,'VAZAO TOTAL LIBERADA (m3/h):',F12.2)

WRITE(8,1000)(H(ires),ires=1,RESERVAT)
1000 FORMAT(<RESERVAT>(F5.2,1x))

STOP
END
```

ANEXO D

Arquivos de entrada e aqueles gerados pelo OperRes

Paraguaçu1.dat

```
1 73.22 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001
  0.001 0.048 0.048 0.048 0.048 0.048 0.048 0.048 0.169 0.169
  0.169 0.169 0.169 0.169 0.028 0.028
2 0.5 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
  0.01 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044 0.131 0.131
  0.131 0.131 0.131 0.131 0.029 0.029
3 23.85 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012
  0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012
  0.012 0.012 0.012 0.012 0.012 0.012
4 31.55 0.035 0.035 0.035 0.035 0.035 0.035 0.035 0.035 0.035
  0.035 0.13 0.13 0.13 0.13 0.13 0.13 0.375 0.375
  0.375 0.375 0.375 0.375 0.089 0.089
5 0.5 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06
  0.06 0.145 0.145 0.145 0.145 0.145 0.145 0.364 0.364
  0.364 0.364 0.364 0.364 0.109 0.109
6 17.94 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
  0.0 0.043 0.043 0.043 0.043 0.043 0.043 0.152 0.152
  0.152 0.152 0.152 0.152 0.024 0.024
7 17.14 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009
  0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009
  0.009 0.009 0.009 0.009 0.009 0.009
8 9.75 0.017 0.017 0.017 0.017 0.017 0.017 0.017 0.017 0.017
  0.017 0.051 0.051 0.051 0.051 0.051 0.051 0.138 0.138
  0.138 0.138 0.138 0.138 0.036 0.036
9 0.5 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02
  0.02 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.035 0.035
  0.035 0.035 0.035 0.035 0.023 0.023
10 8.16 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
  0.0 0.004 0.004 0.004 0.004 0.004 0.004 0.015 0.015
  0.015 0.015 0.015 0.015 0.002 0.002
11 34.59 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032
  0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032
  0.032 0.032 0.032 0.032 0.032 0.032
12 0.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
  0.0 0.159 0.159 0.159 0.159 0.159 0.159 0.568 0.568
  0.568 0.568 0.568 0.568 0.091 0.091
13 63.17 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
  0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
  0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
14 5.42 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008
  0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008
  0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008
15 0.5 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019
  0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019
  0.019 0.019 0.019 0.019 0.019 0.019
16 6.75 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
  0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
```

33 55.86 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 34 0.5 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 35 52.21 0.038 0.038 0.038 0.038 0.038 0.038 0.038 0.038 0.038
 0.038 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.041 0.041
 0.041 0.041 0.041 0.041 0.039 0.039
 36 149.51 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14
 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14
 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14
 37 46.17 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044
 0.044 0.199 0.199 0.199 0.199 0.199 0.199 0.199 0.598 0.598
 0.598 0.598 0.598 0.598 0.133 0.133
 38 0.5 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034
 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034
 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034 0.034
 39 35.34 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002
 40 44.52 0.083 0.083 0.083 0.083 0.083 0.083 0.083 0.083 0.083
 0.083 0.149 0.149 0.149 0.149 0.149 0.149 0.149 0.317 0.317
 0.317 0.317 0.317 0.317 0.121 0.121
 41 39.56 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039
 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039
 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039 0.039
 42 0.5 0.191 0.191 0.191 0.191 0.191 0.191 0.191 0.191 0.191
 0.191 0.351 0.351 0.351 0.351 0.351 0.351 0.351 0.765 0.765
 0.765 0.765 0.765 0.765 0.282 0.282
 43 34.12 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005
 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005
 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005 0.005
 44 111.34 0.795 0.795 0.795 0.795 0.795 0.795 0.795 0.795 0.795
 0.795 1.155 1.155 1.155 1.155 1.155 1.155 1.155 2.081 2.081
 2.081 2.081 2.081 2.081 1.0 1.0
 45 0.5 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04
 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04
 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04
 46 18.55 8.098 8.098 8.098 8.098 8.098 8.098 8.098 8.098 8.098
 8.098 8.505 8.505 8.505 8.505 8.505 8.505 8.505 9.552 9.552
 9.552 9.552 9.552 9.552 8.33 8.33
 47 0.5 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099
 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099
 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099 0.099
 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 3 4 4 1 1 1 5 1 1 1 6 1 1 1 7 1 1 1 1 1 2
 1 1 1 3 1 1 1 4 1 1 1 5 12 13 13
 1 1
 2 1

3 1
4 2
5 2
6 2
7 1 2
8 3
9 3
10 3
11 1 2 3
12 1 2 3 12
13 1 2 3 12
14 4
15 4
16 4
17 1 2 3 4 12
18 5
19 5
20 5
21 1 2 3 4 5 12
22 6
23 6
24 6
25 1 2 3 4 5 6 12
26 7
27 7
28 7
29 8
30 8
31 8
32 7 8
33 9
34 9
35 9
36 7 8 9
37 10
38 10
39 10
40 7 8 9 10
41 11
42 11
43 11
44 7 8 9 10 11
45 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
46 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
47 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Paraguaçu2.dat

```
158.1 158.1 147.3 147.3 137.1 137.1 100.0 100.0 89.7 89.7 84.9  
84.9 92.0 92.0 111.3 111.3 135.1 135.1 155.7 155.7 149.9 149.9  
157.7 157.7
```

Paraguaçu3.dat

```
7778.0 3.0 14.6 2.36
1065.0 5.6 12.0 0.126
1456.0 5.0 13.0 2.53
1134.0 5.6 12.0 0.126
501.0 9.0 21.0 0.126
746.0 5.5 13.0 0.126
2133.0 2.0 7.5 0.126
960.0 3.0 9.0 0.126
29595.0 4.0 17.0 0.785
5295.0 5.5 12.0 0.126
2680.0 5.5 12.0 0.126
3713.0 19.0 41.0 5.76
2402.0 50.0 123.0 79.0

1 2225.68 3 45 65 85
  14 1200.61 15 835.28 16 189.79
2 318.42 1 45 65 85
  16 318.42
3 79.86 1 45 65 85
  19 79.86
4 232.53 1 45 65 85
  32 232.53
5 81.72 1 45 65 85
  32 81.72
6 40.2 1 45 65 85
  33 40.2
7 130.19 1 45 65 85
  3 130.19
8 750.6 3 45 65 85
  2 161.57 3 378.22 4 210.81
9 1295.42 1 45 65 85
  1 1295.42
10 669.99 3 45 65 85
  2 14.65 6 179.96 9 475.38
11 675.88 3 45 65 85
  9 110.6 11 254.25 12 311.03
12 1493.87 4 45 65 85
  15 188.92 16 497.9 17 118.45 19 688.6
13 44705.28 35 45 65 85
  1 1982.45 2 2368.22 3 1164.41 4 1048.06 5 1291.53 6 2840.72 7
2076.94 8 2942.85 9 1685.68 10 1719.91 11 1671.45 12 1511.2 13
529.89 14 578.84 16 305.83 17 852.64 18 1831.99 19 1592.41 20
820.87 21 254.97 22 545.54 23 838.58 24 304.71 25 330.51 26
195.49 27 1628.51 28 3121.28 29 1825.62 30 365.78 31 449.05 32
1080.29 33 167.51 34 1087.57 35 1832.0 36 1861.98
```

10 3 0 10 3 0 9 3 0 6 3 0 5 3 0 4 3 0 7 3 0 7 3 0 6 3 0 5 3 0 4
3 0 8 0 3 2 0 9

1 0

2 0

3 0

4 0

5 0

6 0

7 0

8 0

9 0

10 0

11 0

12 1 2 3

13 4 5 6 7 8 9 10 11 12

7 11 12 13 17 21 25 45 46 47

7 11 12 13 17 21 25 45 46 47

11 12 13 17 21 25 45 46 47

17 21 25 45 46 47

21 25 45 46 47

25 45 46 47

32 36 40 44 45 46 47

32 36 40 44 45 46 47

36 40 44 45 46 47

40 44 45 46 47

44 45 46 47

12 13 17 21 25 45 46 47

46 47

1 2 3

4 5 6

8 9 10

14 15 16

18 19 20

22 23 24

26 27 28

29 30 31

33 34 35

37 38 39

41 42 43

0

0

0

0

0

0

0

0

34 35 36 40 44 45 37 38 39 40 44 45 41 42 43 44 45 12 13 17 21
25 45

Paraguaçu2.res

IMES: 12 QUINZENA: 2

RES. NO.	H ANT. (m)	H SIM. (m)	VAZAO REQ. (m3/h)	VAZAO DESC. (m3/h)	VAZAO LIB. (m3/h)	VAZAO VERT. (m3/h)
1	2.89	2.81	599.65	.00	.00	.00
2	4.98	4.90	979.16	.00	.00	.00
3	4.50	4.42	285.88	.00	.00	.00
4	5.09	5.01	150.01	.00	.00	.00
5	8.48	8.40	314.78	.00	.00	.00
6	4.93	4.85	428.47	.00	.00	.00
7	1.48	1.40	3786.70	.00	.00	.00
8	2.45	2.37	1190.52	.00	.00	.00
9	3.81	3.73	545.65	.00	.00	.00
10	4.93	4.85	903.64	.00	.00	.00
11	4.88	4.80	1440.65	.00	.00	.00
12	24.81	24.47	4895.21	4895.21	4895.21	.00
13	73.21	72.86	28584.12	30303.79	28584.12	.00

VAZAO TOTAL REQUERIDA (m3/h): 50593.32

VAZAO TOTAL LIBERADA (m3/h): 33479.34

Paraguaçu5.dat

- 1 'res. França'
- 2 'res. Arroz'
- 3 'res. Angico'
- 4 'res. São Domingos'
- 5 'res. Valente'
- 6 'res. Quinji'
- 7 'res. Cochó'
- 8 'res. Gavião'
- 9 'res. Apertado'
- 10 'res. Riacho dos Poços'
- 11 'res. Juracy Magalhães'
- 12 'res. São José do Jacuípe'
- 13 'res. Pedra do Cavalo'

Paraguaçu7.dat

2.89 4.98 4.5 5.09 8.48 4.93 1.48 2.45 3.81 4.93 4.88 24.81
73.21

Paraguaçu8.dat

2.81 4.90 4.42 5.01 8.40 4.85 1.40 2.37 3.73 4.85 4.80
24.47 72.86

ANEXO E

Software do modelo OperRes

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, L.G.T.; PORTO, R.L.; ZADEH, K. (1989). *Modelos de Simulação e Rede de Fluxo*. ABRH, v. 1. p.165-227.
- AZEVEDO, L.G.T.; PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K. (1997). *Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo*. In: PORTO, R.L., org. *Técnicas quantitativas para gerenciamento de recursos hídricos*. Porto Alegre, UFRGS/ABRH. Cap. 4, p.165-227.
- BRAGA, B.; BARBOSA, P.S.F.; NAKAYAMA, P.T. (1998). *Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, v.3, n.3, p.73-95, Jul/Set.
- BRASIL. (1997). *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997.
- CAMPOS, J. N. B. (1996). *Dimensionamento de Reservatórios: o método do diagrama triangular de regularização*. Editora EUFC. Fortaleza.
- CHAVES, E.W.V. (1997). *Fortran Power Station versão 4.0*. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GEOHIDRO (1999). *Mapa da avaliação sanitária e de saúde do estado da Bahia: faixas homogêneas, meio físico e recursos hídricos*. Salvador, Bahia. Escala: 1 / 2.000.000.
- GOVERNO DO BRASIL (2002). *Plano diretor de recursos hídricos: bacia do médio e baixo Paraguai*. <http://www.hidricos.mg.gov.br/in-bacia.htm>.

- GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. (1985). *Açudes públicos do estado da Bahia: disponibilidades hídricas em reservatórios de grande e médio porte*. Secretaria de Planejamento Ciência e Tecnologia. CEI - Centro de Estatística e Informações.
- GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (2002). *SRH – Superintendência de Recursos Hídricos*. <http://www.srh.ba.gov.br>.
- GRIGG, N.S. (1996). *Water resources management: principles, regulations, and cases*. New York, McGraw-Hill.
- IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation. (2001)
<http://www.cfe.cornell.edu/research/urbanwater/project%20description/General/Iras.htm>.
- JANZEN, J.G. (2001). *Introdução – Aula 1*. Apostila da disciplina de Modelação Matemática em Recursos Hídricos, ministrada pelo professor Edson C. Wendland. São Carlos, SP. 13p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.
- KLEMES, V. (1979). *Storage Mass-Curve Analysis in a Systems-Analytic Perspective*. Water Resources Research. April, 15(2), 359-370.
- LABADIE, J. W.; BODE, D.A.; PINEDA, A.M. (1986). *Network model for decision-support in municipal raw water supply*. Water Resources Bulletin, AWRA, v.22, n.6, dec.
- LABADIE, J.W. (1999). *Programa ModSim: modelo de rede de fluxo de bacias hidrográficas para o microcomputador (zip)*. Adaptado e Trad. por AZEVEDO L.G.T.; PORTO, R.L.
- LANNA A. E. (1997a). *Introdução*. In: PORTO, R. L. et. al. *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Porto Alegre. ABRH.

- LANNA, A. E. (1997b). *Regularização de vazões em reservatórios*. In: TUCCI, CARLOS E. M. (org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. ABRH.
- LIMA, G.; PEIXOTO, L.S.; MAUAD, F.F. (2001a). *A aplicação do modelo de simulação Mike Basin 2000 no planejamento e gerenciamento de Recursos Hídricos*. In: XXII IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATION METHODS IN ENGINEERING, Campinas-SP.
- LIMA, G.; PEIXOTO, L.S.; MAUAD, F.F. (2001b). *Modelos de Simulação no Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos*. (CD ROM) XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. V SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, Aracaju, SE. ABRH.
- LINSLEY, R. K. e FRANZINI J.B. (1978). *Engenharia de Recursos Hídricos*. Ed. McGraw-Hill.
- LISBOA NETO, H.; PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; MELLO, A.V.; CARVALHO, M.A.; MAECCELLINI, S.S.; ZAMPROGNO, D.; BLUME, L.; CAVALCANTI, R. (2001). *Sistema de Suporte a decisão em engenharia de recursos hídricos: desenvolvimento piloto para as bacias dos rios Paraguaçu e Itapicuru, no estado da Bahia*. (CD ROM) XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. V SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, Aracaju, SE. ABRH.
- MACMAHON, T.A.; MEIN, R.G. (1978). *River and reservoir yield*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company. (Development in Water Science Serie, v.9).
- MAIA, A.G.; GRACIOSA M.C.P.; VILLELA, S.M. (2001). *OperRes – modelo de operação de reservatórios em tempo real*. VII SIMPÓSIO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL DA EESC-USP, São Carlos, SP.

- MIKE BASIN (2000). <http://www.dhisoftware.com/mikebasin/Description/index.htm>
- MATZENAUER, H.B.; JARDIM, S.B.. (2001). *Estudo comparativo das metodologias MCDM e MCDA na gestão dos recursos hídricos*. (CD ROM) XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. V SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, Aracaju, SE. ABRH.
- NAKAYAMA, P.T.; BRAGA JR., B.P.F.; MARCELLINI, S.S. (1991). *Sistema de apoio à decisão para operação de reservatórios com finalidades múltiplas*. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. V SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, Rio de Janeiro, 1991. Anais. ABRH / APRH, p. 461-470.
- PEIXOTO, L.S.; LIMA, G.; MAUAD, F.F. (2001). *O uso do software IRAS no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos*. In: XXII IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATION METHODS IN ENGINEERING, Campinas-SP.
- PORTO R.L.; AZEVEDO L.G.T. (1997). *Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos*. In: PORTO, R.L.L., org. *Técnicas quantitativas para gerenciamento de recursos hídricos*. Porto Alegre, UFRGS/ABRH. Cap. 2, p.43-96.
- ROBERTO, A. N.; PORTO, R. L. (1999a). *MODSIMP32: Manual do Usuário, Interface para o Modelo MODSIM*. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROBERTO, A. N. ; PORTO, R.L. (1999b). *Alocação da água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13 - Simpósio de Hidrologia Urbana e Drenagem, 4. Belo Horizonte, ABRH.
- ROBERTO A.N.; PORTO, R.L. (2001). *O Sistema ModSimLS: um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas*. (CD ROM) XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

RECURSOS HÍDRICOS. V SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, Aracaju, SE. ABRH.

- SADOON, B. (2000). *Applied System Simulation: a review study*. Informayion Science. Elsevier Science Inc. Vol. 124. p.173-192.
- SAGE, A.P. (1991). *Decision support systems engineering*. New York, John Wiley & Sons. (Wiley series in systems engineering).
- SHS NE - Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda. (1996). *Plano Diretor da Bacia do Curu*. Fortaleza.
- SPRAGUE, R.S.; CARLSON E.D. (1982). *Building effective decision support systems*. New Jersey, Prentice-Hall.
- SPRAGUE R.H.; WATSON H.J., org. (1991). *Sistemas de apoio à decisão: colocando a teoria em prática*. Trad. por Ana Beatriz G. Rodrigues Silva. 2. ed. Rio de Janeiro, Campus.
- TUCCI, C.E.M. (1987). *Modelos determinísticos*. In: BARTH, F.T. et al. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo, Coleção da ABRH de Recursos Hídricos. 1v. Nobel/ABRH. Cap. 3, p.213-326.
- TUCCI, C.E.M. (1998). *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre. UFRGS/ABRH. 669 p.
- TURBAN, E. (1995). *Decision support and expert systems: management support systems*. 4. ed. New Jersey, Prentice-Hall.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1979). *Hidrologia Aplicada*. Ed. McGraw-Hill.
- YANG, X.; PARENT, E.; MICHEL, C.; ROCHE, P. (1995). *Comparison of real-time reservoir-operation techniques*. Journal of Water Resources Planning and Management, v.121, n.5, p. 345-351, sep/oct.

-
- YEH, W. W. G. (1985). *Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review*. Water Resources Research, v.21, n.12, p.1797-1818, dec.

OBRAS CONSULTADAS

- AZEVEDO, L.G.T.; GATES, T.K.; FONTANE, D.G.; LABADIE, J.W.; PORTO, R.L. (2000). *Integration of Water Quantity e Quality in Strategic River Basin Planning*. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 126, nº 2, Mar/apr. ASCE – American Society of Civil Engineers. p.85-96.
- GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. (1996a). *PDRH - Plano diretor de recursos hídricos da bacia do alto Paraguaçu*. Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Habitação. Recursos Hídricos Superficiais. v. 4C.
- GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. (1996b). *PDRH - Plano diretor de recursos hídricos da bacia do médio e baixo Paraguaçu*. Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Habitação. Superintendência de Recursos Hídricos. v. 1 – Diagnóstico, tomo IV – Diagnóstico regional.
- GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. (1996c). *PDRH - Plano diretor de recursos hídricos da bacia do médio e baixo Paraguaçu*. Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Habitação. v. 2 – Inventário de Recursos Hídricos.
- GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. (1993). *PDRH - Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paraguaçu*. Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Habitação.
- MACMAHON, T.A.; MEIN, R.G. (1986). *River and Reservoir Yield*. Colorado, Water Resources Publications.
- ZAHED FILHO, K. (1984). *Algumas metodologias para dimensionamento e operação de reservatórios*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP.