

Controle operacional do Sistema Produtor da Cantareira

CARLOS J. B. BERENHAUSER (1)
JOSÉ SIDNEI COLOMBO MARTINI (2)

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Produtor da Cantareira é constituído de um conjunto de quatro reservatórios, interligados por meio de túneis, que alimenta a Estação de Tratamento de Água do Guaraú através da Estação Elevatória de Santa Inês (ESI).

A captação é feita nas bacias de cinco rios (Juqueri, Cachoeira, Atibainha, Jacarei e Jaguari) abrangendo uma área de aproximadamente 2.300 km². Os reservatórios apresentam, em conjunto, uma capacidade de armazenamento da ordem de um bilhão de metros cúbicos. A localização desse Sistema é ao norte do município de São Paulo estendendo-se até além da divisa do Estado.

A água captada é bombeada a vazões de até 33 m³/seg pela ESI, atingindo a Estação de Tratamento do Guaraú e daí injetada no Sistema de Abastecimento da cidade de São Paulo.

O diagrama esquemático da Fig. 1 mostra a interrelação dos componentes do Sistema Produtor Cantareira. Os reservatórios dos rios Jaguari e Jacarei são interligados por meio de um canal aberto comportando-se do

ponto de vista operacional, como um único reservatório com duas barragens. As barragens do Jaguari e Jacarei, bem como o túnel 7 estão em construção sendo que a conclusão das obras está prevista para final de 1981. O restante do Sistema Produtor Cantareira está em plena operação.

A transferência de água entre reservatórios é realizada através de túneis, por gravidade.

Para controlar essa transferência cada emboque de túnel é provido de uma ou mais comportas.

Além disso, todos os reservatórios possuem extravasores e/ou condutos de descarga que permitem o controle das vazões a jusante dos mesmos.

Operando-se convenientemente as comportas e válvulas existentes nos emboques dos túneis, nos extravasores e nos condutos de descarga é possível aproveitar ao máximo a água captada nas diversas bacias e ainda controlar as vazões a jusante dos reservatórios. Esse controle objetiva diminuir o risco de inundações das áreas ribeirinhas dos rios a jusante assegurando ao mesmo tempo as condições sanitárias dos mesmos.

Com o auxílio de consultoria externa prestada pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) foram coletados os dados de projeto e os de operação do Sistema Produtor Cantareira com o objetivo de dimensionar recursos de comunicação e estabelecer critérios

operacionais com vistas à operação do Sistema completo a partir do início de 1982.

2. GERENCIAMENTO DA OPERAÇÃO

A operação do Sistema Produtor da Cantareira baseia-se numa política pré-estabelecida cujos objetivos básicos são os seguintes:

- maximizar o aproveitamento dos recursos hídricos captados nas diversas bacias, armazenando água suficiente para um fornecimento permanente de 33 m³/seg para São Paulo
- minimizar os riscos de inundações de áreas ribeirinhas aos rios a jusante das barragens principalmente nos períodos chuvosos.
- controlar as condições sanitárias dos rios, assegurando vazões mínimas a jusante das barragens mesmo em condições de estiagem.

A operação resume-se na abertura e fechamento de comportas e válvulas em função de valores de variáveis medidas, tais como: posição de abertura de comportas e válvulas, níveis de rios, níveis de reservatórios e canais, índices pluviométricos.

A operação atual é feita sob a responsabilidade de uma equipe técnica da SABESP sediada na Estação Elevatória de Santa Inês a qual não dispõe de todos os recursos para uma avaliação precisa das situações de operação, por exemplo:

(1) Engenheiro, Assistente Executivo da Diretoria de Operação da Região Metropolitana - SABESP

(2) Engenheiro Coordenador de Projetos da Diretoria de Operação da Região Metropolitana - SABESP

- nem todas as variáveis necessárias para tomada de decisão estão sendo medidas;
- as leituras dos instrumentos de medida existentes são feitas localmente e coletadas por operadores que se deslocam constantemente, somente transmitindo os dados lidos ao retornarem à sede provocando com isso um atraso na chegada desses dados à ESI;
- o acionamento de comportas e válvulas é feito localmente por operadores;
- o sistema de comunicação existente é precário.

Assim, para eliminar essas deficiências, que serão agravadas pela entrada em operação do reservatório do Jaguarí, será implantado o Sistema de Gerenciamento da Operação do Sistema Produtor Cantareira – SGC, que compreende as seguintes fases:

- instalação de instrumentação em pontos estratégicos;
- instalação de um sistema de comunicações com cobertura de toda a região de captação;
- desenvolvimento de um modelo matemático para simular situações de operação e prever o comportamento do complexo hidráulico face a circunstâncias ocasionais.
- instalação de uma rede de telemetria para a aquisição automática dos dados que são obtidos no campo e possibilite adicionalmente o telecomando de válvulas e comportas.

3. INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação necessária deve medir:

- nível de rios e represas (limnimetria)
- volume de chuva (pluviometria)
- abertura de comportas
- abertura de válvulas.

Adicionalmente deve permitir o comando de comportas. No quadro 1 estão indicadas as medidas e comandos necessários para cada uma das bacias hidrográficas que compõem o sistema.

O critério de escolha dos pontos para instrumentação foram os seguintes:

- Níveis – nas barragens, emboque e desemboque de túneis.
- Chuva – em pontos distribuídos na região de contribuição para a captação de água. Essa região foi dividida em subregiões e para cada uma destas foi escolhido um ponto para pluviometria com representatividade significativa.
- Comportas – nas barragens e emboque de túneis.
- Válvulas – nas barragens.

A instrumentação que será instalada terá saída elétrica de dados para possibilitar a conexão com a rede

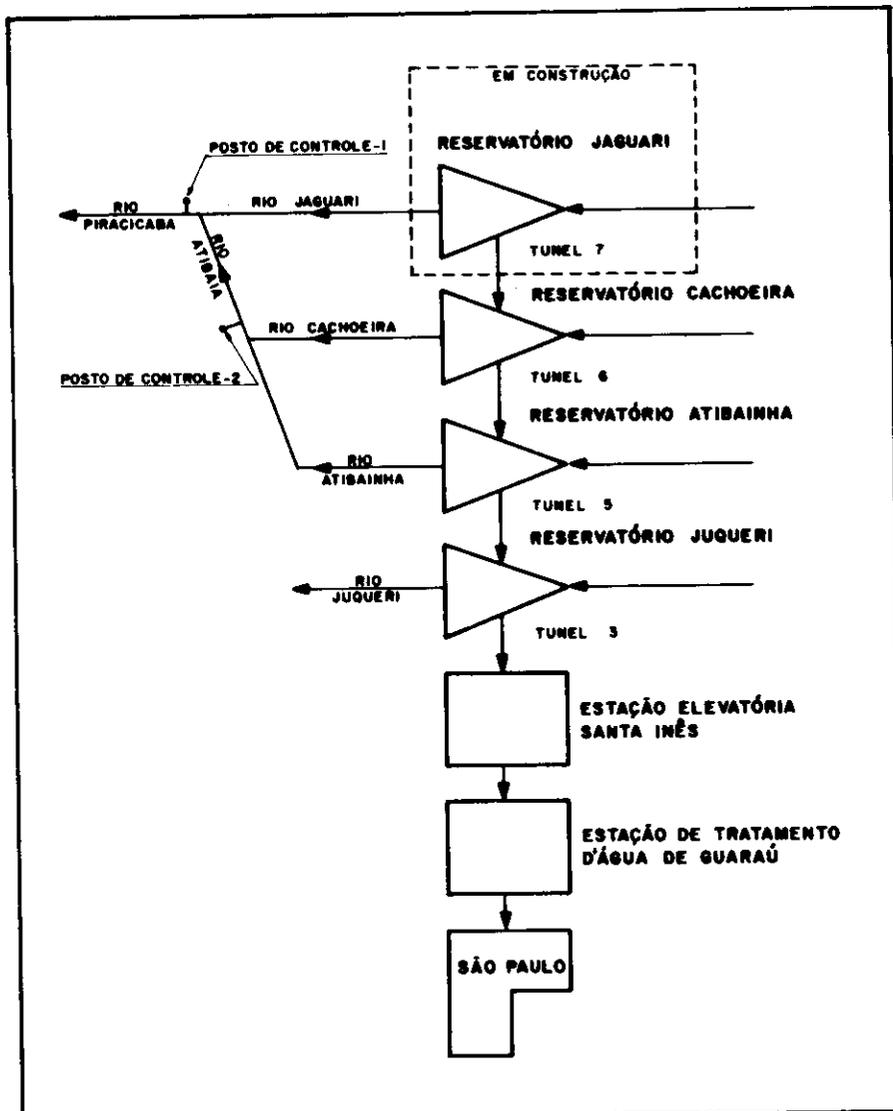


FIGURA 1 – Diagrama Esquemático do Sistema Produtor da Cantareira

Quadro 1 – Distribuição da instrumentação.

Bacia	Nível	Chuva	Comportas	Válvulas
Juqueri	3	5	2	—
Atibainha	3	5	2	—
Cachoeira	1	4	2	—
Jaguari/Jacarei	3	8	9	4
Atibaia/Piracicaba	3	—	—	—
Total	13	22	15	4

telemétrica que será adiante descrita.

Dada a existência de alguns equipamentos de medida já instalados será necessário, em alguns casos, adaptação específica desses equipamentos como é o caso dos indicadores de abertura de comportas.

A instrumentação deverá ser toda ela adquirida no mercado nacional.

4. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

O Sistema de Comunicação previsto será de uso exclusivo da SABESP provendo canais adequados ao tráfego de dados e de voz. O seu projeto prevê

número suficiente de canais para as necessidades iniciais permitindo ainda expansões futuras.

O meio de transmissão escolhido para a grande maioria das conexões é o rádio, sendo utilizado cabo telefônico apenas em alguns casos especiais. Isso se deve ao fato da região envolvida estar localizada fora da área urbana da cidade não contando, portanto, com facilidades de comunicação telefônica. Por outro lado, por ser uma região de mata, sem as interferências elétricas típicas de centros urbanos é favorável para a comunicação radiofônica.

A comunicação entre a ESI, centro de convergência entre os dados de operação, às barragens e aos emboques de túneis requer maior capacidade (maior número de canais) e maior confiabilidade (telecomando). Por essa razão estão previstos rádio-enlaces UHF com capacidade de 1, 6 e 24 canais de comunicação.

O Sistema de Comunicações como um todo é composto por dois outros sistemas: o Sistema Básico de Comunicações e o Sistema Rádio VHF.

O Sistema Básico é constituído de 10 rádio-enlaces com duas estações repetidoras, uma em Atibaia e outra em Extrema e converge para a Estação Elevatória de Santa Inês.

O sistema Rádio VHF tem como pontos centrais as repetidoras de Extrema e Atibaia que pela sua excepcional localização, apresentam condições de comunicação com a maioria dos locais onde estão previstos pontos de comunicação, propiciando sua interligação com o Sistema Básico de Comunicações.

Além do tráfego de dados é permitida a comunicação a nível de voz entre a ESI e os demais pontos do Sistema Cantareira nas seguintes condições:

- barragens — canais exclusivos para voz;
- emboque de túneis — canais partilhados que, usados disciplinadamente, não interferem no tráfego de dados;
- demais pontos — comunicação vocal somente durante os serviços de instalação e manutenção, mediante interrupção parcial do tráfego de dados.

Complementarmente para o acesso de pontos com possibilidades precárias de comunicação radiofônica serão utilizados cabos telefônicos enterrados. O primeiro desses cabos já foi lançado entre a ESI e a Estação de Tratamento de Água do Guaraú e através de seus 16 pares será possível a comunicação entre o Centro de Operação do Sistema Produtor Cantareira na ESI e as demais partes da Companhia, no município de São Paulo. Uma dessas comunicações se fará com computadores de grande porte responsáveis pela retaguarda de processamento de dados necessária à execução dos modelos matemáticos.

Para o estabelecimento das rotas de comunicação entre a ESI e os demais pontos do Sistema Cantareira foram realizados ensaios de campo para a determinação de planos de frequências convenientes que melhor permitissem a comunicação entre os pontos desejados. Para tanto foram feitos levantamentos de perfis de rotas e os respectivos cálculos de interferência. Para a instalação dos equipamentos de rádio será necessária a construção de uma pequena infraestrutura como: acesso aos locais de instalação de repetidoras, construção de abrigos

para os equipamentos, obtenção de energia elétrica em tais pontos, etc.

5. MODELOS MATEMÁTICOS

De posse de dados referentes a níveis, chuva, abertura de comportas, os operadores do Sistema Produtor Cantareira têm que tomar decisões que acarretarão na emissão de ordens para alterar a abertura de comportas e válvulas.

O processo de tomada de decisão, no entanto, deve ser baseado em critérios que variam face às circunstâncias.

Para auxiliar o operador nessa tarefa foram desenvolvidos dois modelos matemáticos tais que alimentados com os dados que caracterizam uma dada situação os programas podem informar quais as conseqüências que decorreriam de uma ação de controle se fosse tomada.

Os modelos matemáticos considerados são:

- Sistemática de Operação de Longo Prazo e
- Sistemática de Operação de Curto Prazo.

5.1. SISTEMÁTICA DE OPERAÇÃO DE LONGO PRAZO

A operação de longo prazo consiste no cálculo das vazões que devem ser liberadas pelas comportas e válvulas das barragens e pelas comportas dos túneis de interligação dos reservatórios, durante um intervalo de tempo conveniente, respeitando-se as restrições impostas à operação.

Posteriormente essas vazões são convertidas em aberturas de comportas que é o que se deseja para bem operar o sistema. Após o equacionamento das interrelações dos componentes do Sistema Produtor Cantareira são impostas algumas restrições, tais como a de não permitir que as cidades a jusante das barragens tenham problemas de abastecimento causados por uma baixa vazão de descarga nas barragens o que poderia comprometer a própria condição sanitária dos rios.

A situação-objetivo para este modelo é o armazenamento equilibrado ou proporcional de água coletada. Isso pode ser feito transferindo-se água entre os reservatórios de tal modo que ao cabo de um tempo determinado a relação volume disponível/volume útil seja a mesma entre todos os reservatórios. Para tanto é necessário que se disponha de estimativas das vazões afluentes médias que cada reservatório vai receber durante esse tempo. Essas vazões são obtidas considerando-se a série histórica de dois meses consecutivos.

Esse modelo considera as seguintes etapas:

- a) Determinação de vazão média afluente mais provável nos quatro

reservatórios e em dois pontos de controle a jusante do Sistema Cantareira, no próximo passo de tempo.

- b) Determinação das menores vazões efluentes das barragens que ainda mantenham as vazões nos pontos de controle de jusante acima do limite mínimo imposto.

- c) Cálculo do volume de água disponível no próximo passo de tempo.

- d) Balanceamento do volume de água disponível com o volume de água consumido.

- e) Cálculo dos volumes futuros ideais.

- f) Cálculo das vazões dos túneis que levarão o sistema a seu balanceamento ideal.

- g) Cálculo das aberturas de comportas e válvulas que em média fornecerão as vazões calculadas no item anterior.

- h) Impressão da seqüência mais provável de estados (vazões, volumes, cotas de reservatórios) pelos quais o sistema deve passar dia a dia a partir da data de início de simulação até completar o passo de tempo.

5.2. SISTEMÁTICA DE OPERAÇÃO DE CURTO PRAZO

O estabelecimento de uma Sistemática de Operação de Curto Prazo é necessário para prevenir em situação de chuvas intensas, a segurança das barragens e da população ribeirinha a jusante. Essa sistemática fixa regras que permitem operar as comportas de extravasores e dos condutos de descarga de barragens e túneis de interligação dos reservatórios com a antecedência suficiente para amortecer o efeito das enchentes. Caso a onda de enchente seja incontrolável essa sistemática deve indicar a situação de emergência com suficiente antecedência que permita tomar providências para evacuar as populações que seriam atingidas.

Essa sistemática considera as seguintes fases:

- a) Determinação da vazão afluente a cada reservatório devida à precipitação de chuvas.

- b) Estabelecimento de critérios de operação conjunta dos quatro reservatórios, para amortecer as ondas de cheia em função do estado do Sistema Cantareira.

- c) Determinação de vazões de saída de cada reservatório em função de suas características e da política de operação escolhida.

A principal diferença entre as duas sistemáticas consiste no passo de tempo utilizado para a simulação dos estados futuros e dos fenômenos associados a esse passo.

Enquanto a Operação de Curto Prazo adota um passo de tempo da ordem de horas e procura posicionar o sistema para um futuro de poucos dias, a Operação de Longo Prazo adota um passo de tempo de várias semanas e procura

posicionar o sistema para um futuro de vários anos.

Em épocas de reservatórios vazios, praticamente só se operará com a Sistemática de Longo Prazo.

Quando, no entanto, os reservatórios estiverem cheios a Sistemática de Operação de Curto Prazo será de grande valia e importância, e poderá indicar ações muito distintas das recomendadas pela de Longo Prazo, suplantando-as.

6. REDE TELEMÉTRICA

A Rede Telemétrica conta com uma Estação Central, localizada na ESI, e com 30 Estações Remotas espalhadas nas bacias hidrográficas do Sistema Cantareira. A Estação Central comunica-se com as Estações Remotas através da Rede Básica de Comunicações do Sistema de Rádio VHF, como pode ser visto na Fig. 2.

Há dois tipos básicos de Estações Remotas:

- Estação Remota de Coleta (ERC) realizam medidas de nível de reservatórios e rios, índices pluviométricos, posição de comportas e válvulas, encaminhando todos esses dados à Estação Central.
- Estação Remota de Coleta e Controle (ERCC) — além de realizar todas as funções da ERC executa ainda o acionamento de comportas a partir de telecomandos recebidos da Estação Central.

A Estação Central interroga todas as Estações Remotas sequencialmente com intervalos de tempo programados produzindo uma relação completa de informações sobre o Sistema Cantareira. Esse processo de aquisição de dados é realizado por uma unidade da Estação Central denominada Controlador da Rede.

As Fig. 3 e 4 mostram, respectiva-

mente, esquemáticos de ERC e ERCC.

Como pode ser observado na Fig. 5 a Estação Central é basicamente composta por um Controlador de Rede e um Computador além de periféricos e interfaces.

Cabe ao Controlador da Rede a tarefa de interrogar sequencialmente todas as Estações Remotas em intervalos de tempo regulares. As respostas recebidas são analisadas e armazenadas de modo que a relação de medidas da última varredura esteja sempre disponível. De posse dessas medidas, o Controlador de Rede deve manter permanentemente atualizado um painel gráfico (ou um terminal de vídeo) e além disso transferir essas informa-

ções ao computador que as processará armazenando-as em arquivos de disco magnético.

Cabe ainda ao computador proporcionar a interação entre o operador e a máquina através de um terminal de vídeo alfanumérico e emitir relatórios por meio de uma teleimpressora. Esse computador é provido de um conjunto de programas executados em tempo real.

O conjunto de programas (SOFTWARE) é responsável pela execução das seguintes tarefas:

- processar os dados provenientes das Estações Remotas.
- providenciar seu armazenamento em arquivos de disco e/ou sua impressão em relatórios adequados.
- gerenciar o comportamento dos

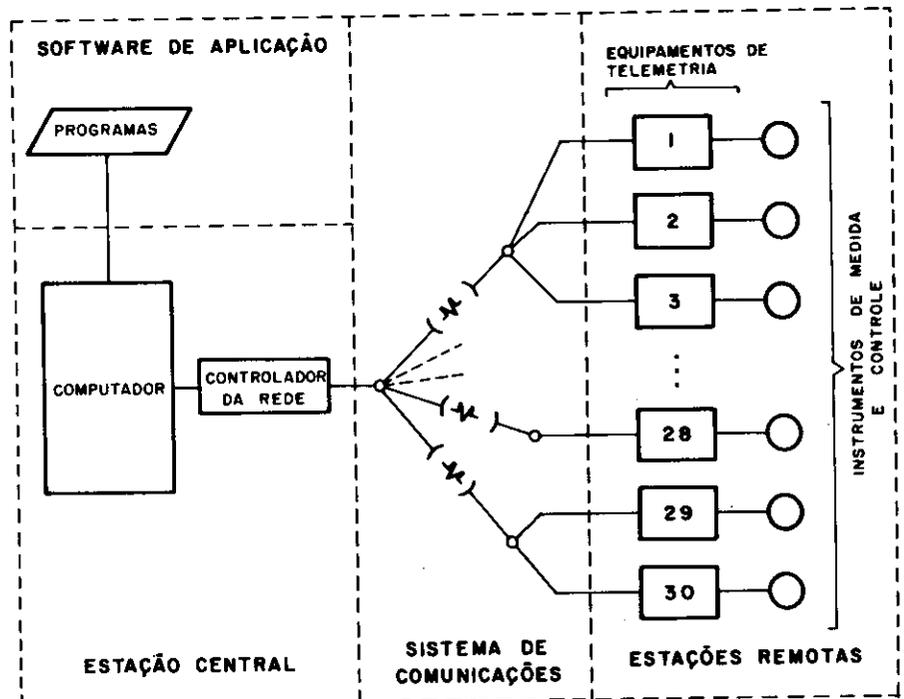


FIGURA 2 — Diagrama Esquemático do Sistema de Gerenciamento do Sistema Produtor da Cantareira

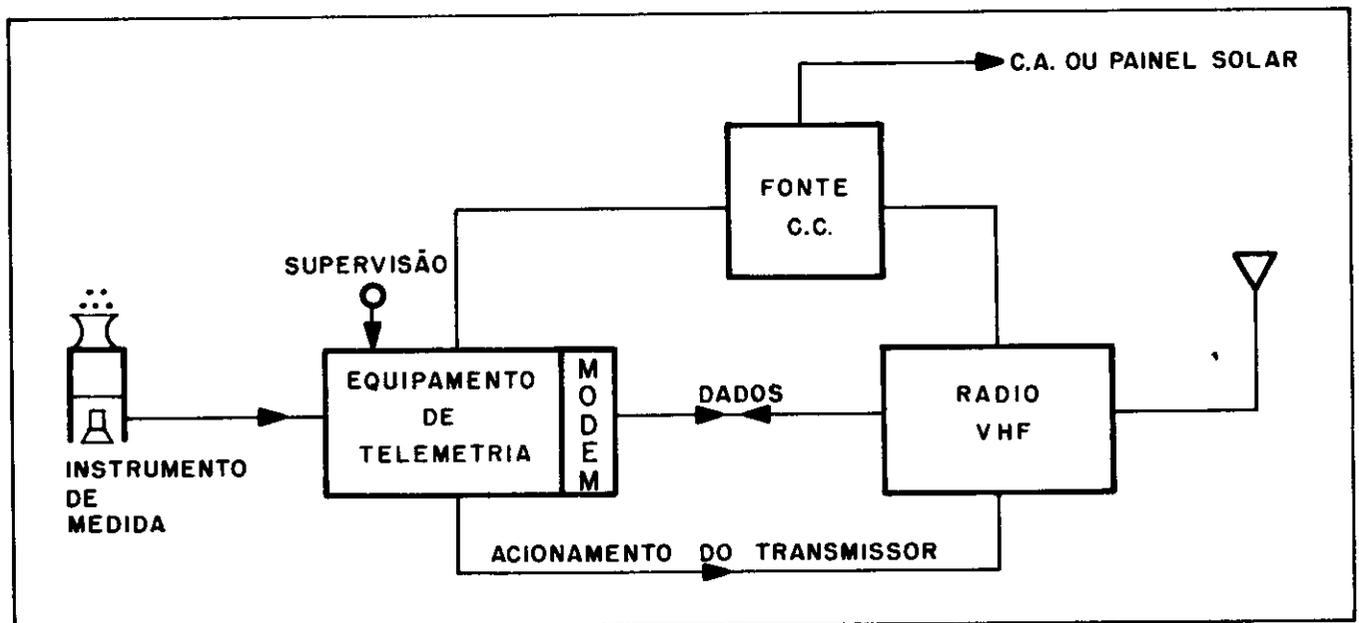


FIGURA 3 — Esquemático de uma Estação Remota de Coleta de Dados

reservatórios com vistas aos objetivos impostos pela Sistemática de Operação conveniente.

- providenciar o acionamento de alarmes sempre que for detetada uma situação de emergência.
- acusar falhas nos equipamentos do Sistema de Gerenciamento do Cantareira.
- permitir a consulta, pelo Operador, à base de dados, a leitura e comando de instrumentos remotos, a simulação das Sistemáticas de Operação e a impressão de relatórios.

7. CONCLUSÃO

Com a entrada em operação do reservatório do Jaguari/Jacarei o Sistema Produtor da Cantareira terá capacidade para fornecer em regime $33 \text{ m}^3/\text{seg}$ de água para a Região Metropolitana de São Paulo. Um sistema desse porte, que sozinho pode abastecer uma população de mais de 10 milhões de habitantes deve ser observável do ponto de vista de seu comportamento hidráulico para que seja controlável. Atualmente toda a coleta de dados é feita manualmente e chegam à Elevatória de Santa Inês, Centro de Controle do Sistema com razoável atraso. Com isso é praticamente impossível tirar proveito da análise dos dados que hoje chegam com vistas à uma intervenção imediata como numa situação de emergência.

Com a instalação de equipamentos de instrumentação, telemetria, comunicação e processamento de dados e o desenvolvimento de "software" de controle de simulação a SABESP terá condições de prever situações críticas de operação das barragens, podendo aplicar soluções somente viáveis se fundamentadas na disponibilidade de dados colhidos no campo e imediatamente transmitidos para a Estação Central. Por outro lado, o comando

das comportas e válvulas podendo ser feito telemetricamente assegurará a possibilidade de controle, independentemente das condições de acesso aos locais e disponibilidade de operadores remotos.

Adicionalmente, com o uso de simuladores será possível ensaiar situações críticas capacitando os operadores centrais a enfrentar situações reais com muito maior segurança.

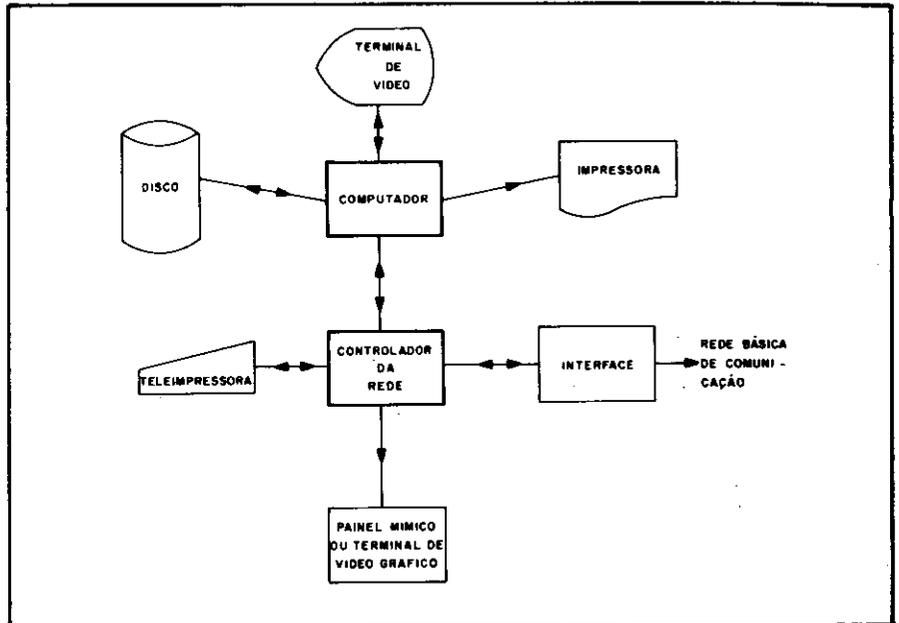


FIGURA 5 – Diagrama Esquemático da Estação Central

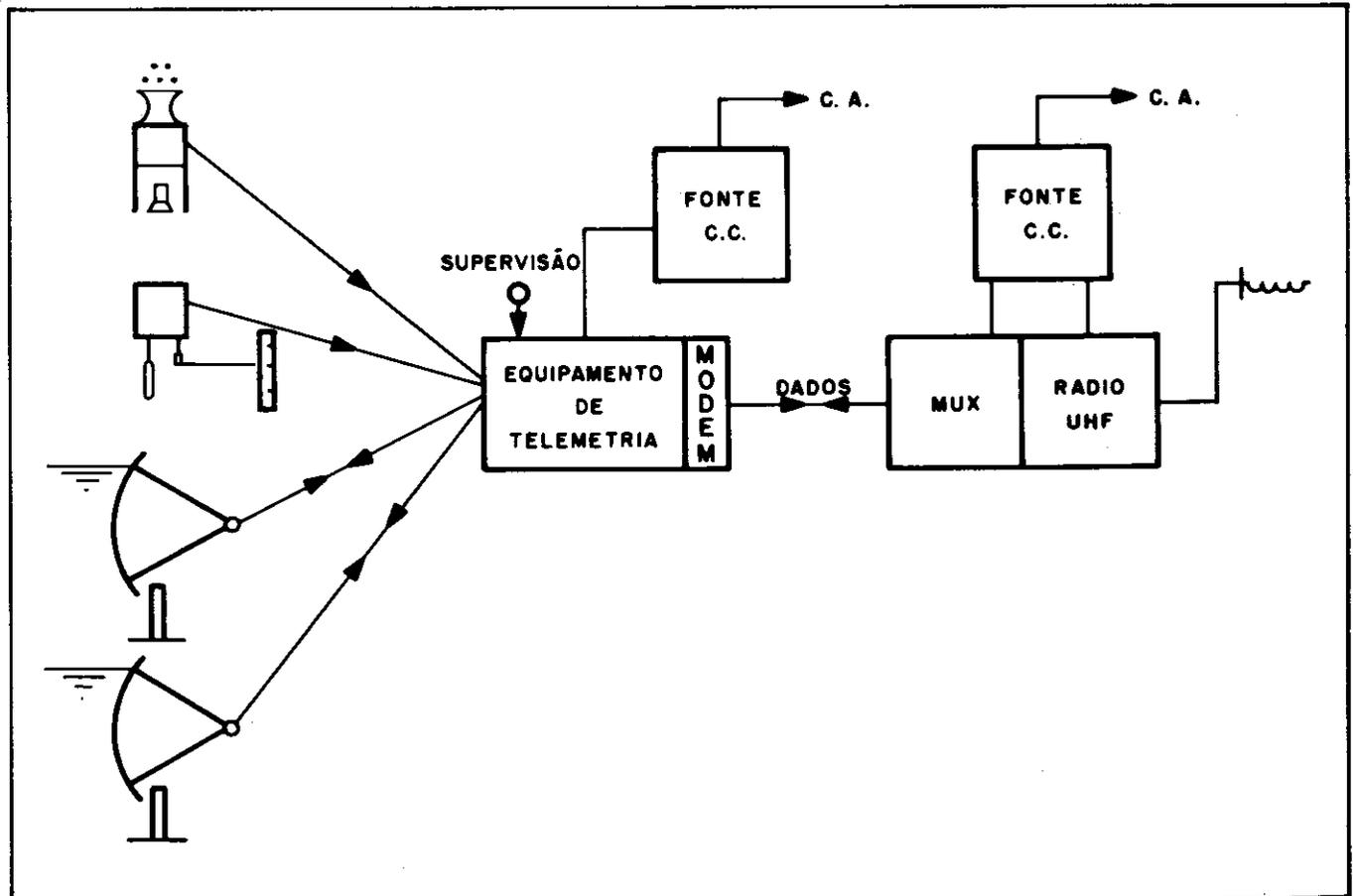


FIGURA 4 – Esquemático de uma Estação Remota de Coleta e Controle