

**“QUALIDADE COMO FATOR DE MELHORIA  
DA PERFORMANCE DE AUSCULTAÇÃO E  
MONITORAMENTO DE BARRAGENS”**

**por**

**NOME: Marcos de Oliveira Guerra**

**ORIENTADOR: Prof.: Dr.: Ademir J. Petenate**

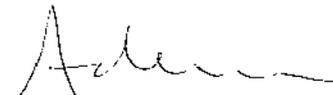


**Dissertação submetida ao Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da  
Computação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos  
requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Qualidade.**

**“QUALIDADE COMO FATOR DE MELHORIA DA  
PERFORMANCE DE AUSCULTAÇÃO E  
MONITORAMENTO DE BARRAGENS”**

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de mestrado devidamente corrigida e defendida pelo Sr. Marcos de Oliveira Guerra e aprovada pela Comissão Julgadora.

Campinas, 19 de dezembro de 1996.

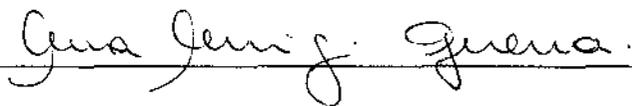


Prof. Dr. Ademir José Petenate.

Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do Título de MESTRE em QUALIDADE.

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 19 de dezembro de 1996

pela Banca Examinadora composta pelos Profs. Drs.



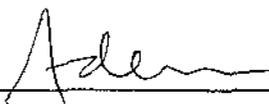
---

Prof (a). Dr (a). ANA CERVIGNI GUERRA



---

Prof (a). Dr (a). PAULO SERGIO FRANCO BARBOSA



---

Prof (a). Dr (a). ADEMIR JOSÉ PETENATE

## DEDICATÓRIA

1. A Deus pela misericórdia da sua criação;
2. Aos meus pais pela representação do Criador na escala da minha evolução;
3. À minha esposa pela paciência, incentivo, carinho e conforto;
4. Às minhas filhas pelo tempo que não lhes dediquei;
5. Aos poucos amigos, porém sinceros;
6. Aos companheiros do Departamento de Engenharia Civil, da Eletropaulo, sem os quais esta dissertação não seria possível;

## AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Ademir José Petenate, pela paciência e vigor na condução de sua orientação, bem como as preciosas e oportunas sugestões para o bom termo desta dissertação;
- Ao Prof. Dr. Manuel Folledo, pela capacidade de despertar a chama da QUALIDADE nos seus alunos, mostrando que a necessidade de buscar a melhoria contínua parte do equilíbrio entre o discernimento e o conhecimento;
- Aos mestres: Prof<sup>a</sup>. Ana Cervigni Guerra, Prof. Belmer Garcia Negrillo, Prof. Miguel Juan Basic, Prof. Wolmer Moreira da Silveira, Prof. André L. Alkimin, Prof. José Roberto Ferro, Prof. Sidnei Ragazzi, Prof. José Newton Carpintéro, Prof<sup>a</sup>. Maria Carolina F. Souza, Prof<sup>a</sup>. Eugênia M. R. Charnet e Prof. Paulo S. Franco Barbosa, como reconhecimento ao esforço e colaboração.
- A Sr<sup>a</sup>. Maria Inês Nogueira de Albuquerque Pupo, que nos proporcionou o conforto da informação precisa e atualizada, bem como os meios administrativos para que este momento fosse possível;
- Aos colegas e demais membros que compõe a força de curso de mestrado do IMECC;
- À UNICAMP, pela disposição em continuar a manter-se como um dos principais pilares da ciência e da tecnologia deste País, engrandecendo o conhecimento e mantendo a vocação pela cidadania;

## PENSAMENTO

*“... não se pode gerenciar aquilo que não se pode medir.”*

*(Sink & Tuttle)*

---

## SUMÁRIO

RESUMO	1
SUMARY	3
APRESENTAÇÃO	5
INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO I A MODELAGEM DA PERFORMANCE	16
CAPÍTULO II A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS	39
CAPÍTULO III O CONFRONTO ENTRE SEGURANÇA E RISCO	53
CAPÍTULO IV O POTENCIAL DE RISCO	71
CAPÍTULO V OS SISTEMAS DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS X POTENCIAL DE RISCO	77
CAPÍTULO VI A NOVA PRÁTICA DE AUSCULTAÇÃO, MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS	91
CAPÍTULO VII A MODELAGEM MATEMÁTICA, OU ESTATÍSTICA, APLICADA À NOVA PRÁTICA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS	103

---

CAPÍTULO VII	104
A MODELAGEM MATEMÁTICA, OU ESTATÍSTICA, APLICADA À NOVA PRÁTICA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS	
CAPÍTULO VIII	128
O SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DA SEGURANÇA DE BARRAGENS - OU SISTEMA INTEGRADO: "GESTÃO DA SEGURANÇA E CONFIABILIDADE DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS"	
CONCLUSÕES	137
ANEXO 1	142
BIBLIOGRAFIA	154

---

## RELAÇÃO DE FIGURAS

- FIGURA 1.1- ENVOLVIMENTO DOS DIVERSOS NÍVEIS DA ORGANIZAÇÃO NO PLANEJAMENTO, SEGUNDO PROPOSTA DE SINK & TUTTLE (33);
- FIGURA 1.2 - ANÁLISE DOS SISTEMAS ORGANIZACIONAIS APLICADO À AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (35);
- FIGURA 1.3 - OS OITO PASSOS SUGERIDOS POR SINK & TUTTLE PARA O PLANEJAMENTO E BUSCA DE PERFORMANCE (37);
- FIGURA 2.1 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA - VOLTADO À AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (41);
- FIGURA 2.2 - "5 W's E 1 H APLICADOS A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (43);
- FIGURA 2.3 - ESQUEMA GERAL DE CONTROLE DE BARRAGENS ATRAVÉS DA AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO (49);
- FIGURA 2.4 - CUSTOS ENVOLVIDOS COM A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (50);
- FIGURA 2.5 - CUSTOS DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS - APLICADO À ELETROPAULO - ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S. A. (50);

FIGURA 3.1 - FATOR DE SEGURANÇA - CONCEITO CONVENCIONAL (57);

FIGURA 3.2 - COEFICIENTE DE SEGURANÇA - CONCEITUAÇÃO PARA UMA NOVA ABORDAGEM COM ALTA PERFORMANCE (58);

FIGURA 3.3 - COEFICIENTE DE SEGURANÇA - VALORES USUAIS (59);

FIGURA 3.4 - FIGURA ILUSTRATIVA DOS AGENTES ATUANTES NA SEGURANÇA - FATORES INTERNOS (60);

FIGURA 3.5 - FATORES ATUANTES - EXTERNOS GERAIS (61);

FIGURA 3.6 - FATORES ATUANTES - EXTERNOS ESPECÍFICOS (62);

FIGURA 3.7 HISTOGRAMA: (ACIDENTES + RUPTURAS) X (PERÍODO DA VIDA ÚTIL DAS BARRAGENS) (63);

FIGURA 3.8 - HISTOGRAMAS RELACIONANDO ACIDENTES E RUPTURAS ÀS RESPECTIVAS CAUSAS (65);

FIGURA 3.9 - HISTOGRAMA DESENVOLVIDO PARA O DESDOBRAMENTO DE EFEITOS EM ACIDENTES E RUPTURAS OCORRIDOS EM FUNÇÃO DA REDUÇÃO OU FALTA DE DRENAGEM (66);

- 
- FIGURA 3.10 - HISTOGRAMA DESENVOLVIDO PARA O DESDOBRAMENTO DE EFEITOS EM ACIDENTES E RUPTURAS OCORRIDOS EM FUNÇÃO DA REDUÇÃO OU FALTA DE ESTABILIDADE (66);
- FIGURA 3.11- DISTRIBUIÇÃO DE ACIDENTES/RUPTURAS DE BARRAGENS (68);
- FIGURA 3.12- PRINCIPAIS CAUSAS DE ACIDENTES E RUPTURAS DE BARRAGENS (70);
- FIGURA 4.1- POTENCIAL DE RISCO - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXTERNAS OU AMBIENTAIS (73);
- FIGURA 4.2- POTENCIAL DE RISCO - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES INTERNAS OU DE CONFIABILIDADE (74);
- FIGURA 4.3 - POTENCIAL DE RISCO - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXTERNAS - RECURSOS HUMANOS E ECONÔMICOS (75);
- FIGURA 5.1 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE LEITURAS/INSTRUMENTAÇÃO EM BARRAGENS PELO MÉTODO CONVENCIONAL (79);
- FIGURA 5.2 - EXEMPLO DE  CARTA DE CONTROLE  (GRÁFICO USADO PARA AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO EM INSTRUMENTOS QUE DETECTAM NÍVEIS DE ÁGUA) (81);

- 
- FIGURA 5.3 - CONFRONTO ENTRE FATORES SIGNIFICATIVOS PARA A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO E OS ASPECTOS DESTACADOS POR SINK & TUTTLE (83);
- FIGURA 5.4 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE LEITURAS/INSTRUMENTAÇÃO EM BARRAGENS PELO MÉTODO EM DESENVOLVIMENTO (84);
- FIGURA 5.5 - INDICAÇÃO DE RECOMENDAÇÃO MÍNIMA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA DIVERSAS TIPOS DE BARRAGENS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DO TIPO DE INSPEÇÃO ADOTADA (86);
- FIGURA 5.6 - INDICAÇÃO DE RECOMENDAÇÃO MÍNIMA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA DIVERSAS TIPOS DE BARRAGENS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DO TIPO DE INSTRUMENTAÇÃO INSTALADA - SUB-PRESSÕES E DEFORMAÇÕES (87);
- FIGURA 5.7 - INDICAÇÃO DE RECOMENDAÇÃO MÍNIMA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA DIVERSAS TIPOS DE BARRAGENS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DO TIPO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECIAL INSTALADA - SUB-PRESSÕES E DEFORMAÇÕES ESPECÍFICAS - COMPORTAMENTOS ESPECIAIS (88);
- FIGURA 5.8 - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA BARRAGENS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DO TIPO DE INSTRUMENTAÇÃO - QUADRO COMPLETO (89);
- FIGURA 5.9 - FREQUÊNCIA MÍNIMA DE LEITURAS EM FUNÇÃO DA VIDA ÚTIL DO EMPREENDIMENTO (90);

- 
- FIGURA 6.1 - PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (93);
- FIGURA 6.2 - FLUXO DE ATIVIDADES DA FASE PREPARATORIA DE INSTRUMENTAÇÃO/ INSPEÇÃO - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (95);
- FIGURA 6.3 - FLUXO DE ATIVIDADES DA FASE EXECUTIVA DE INSTRUMENTAÇÃO/ INSPEÇÃO - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (96);
- FIGURA 6.4 - FLUXO DE ATIVIDADES DA FASE DOCUMENTAL DE INSTRUMENTAÇÃO/ INSPEÇÃO - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (97);
- FIGURA 6.5 - FLUXO DE ATIVIDADES DA FASE DE ATUAÇÃO E MELHORIA INSTRUMENTAÇÃO/ INSPEÇÃO - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (98);
- FIGURA 6.6 - NOVO CONFRONTO ENTRE FATORES SIGNIFICATIVOS PARA AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO E OS ASPECTOS DESTACADOS POR SINK & TUTTLE - VISÃO FUTURA (103);
- FIGURA 7.1 - INFLUÊNCIA DA REDE DE FLUXO FORMADA PELO RESERVATÓRIO EM INSTRUMENTOS INSTALADOS (105);
- FIGURA 7.2 - INFLUÊNCIA DA REDE DE FLUXO FORMADA PELAS OMBREIRAS EM INSTRUMENTOS INSTALADOS (106);

- FIGURA 7.3 - LEITURAS EM MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA - SASONALIDADE OBSERVADA AO LONGO DO TEMPO - COMPORTAMENTOS SIMILARES EM FUNÇÃO DE CONDIÇÕES TAMBÉM SIMILARES DE INSTALAÇÃO (108);
- FIGURA 7.4 - LEITURAS EM MEDIDORES DE NÍVEL - COMPROVAÇÃO DOS COMPORTAMENTOS SIMILARES EM FUNÇÃO DE CONDIÇÕES TAMBÉM SIMILARES DE INSTALAÇÃO - REGISTROS EQUIVALENTES A SÉRIES DE 10 ANOS DE OBSERVAÇÕES (109);
- FIGURA 7.5 - LEITURAS EM MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA AO LONGO DO TEMPO - CONFRONTO ENTRE O COMPORTAMENTO PREVISTO E O REAL, MEDIDO AO LONGO DO TEMPO - 1983 / 95 (111);
- FIGURA 7.6 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA, RAIZ DA CHUVA MÉDIA DE 59 DIAS E LEITURA DE MN (112);
- FIGURA 7.7 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA (117);
- FIGURA 7.8 - TELA PRINCIPAL DO SISTEMA DE MODELAGEM E VISUALIZAÇÃO (119);
- FIGURA 7.9 - MARCAÇÃO DA LEITURA E INTERVALOS DE PREVISÃO PIEZÔMETRO (120);

- 
- FIGURA 7.10 - DISTRIBUIÇÃO DAS LEITURAS PARA DOIS MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA (121);;
- FIGURA 7.11 - MODELAGEM DA CORRELAÇÃO ENTRE INSTRUMENTOS VISANDO OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS E PLANEJAMENTO FUTURO (122);
- FIGURA 7.12 - SANGRADOURO PEDRAS-PEREQUÊ - FAMÍLIA DE INSTRUMENTOS COM COMPORTAMENTO SIMILAR - AVALIAÇÃO DE CORRELAÇÃO NUMÉRICA RELATIVA AOS COMPORTAMENTOS ENTRE OS MESMOS (123);
- FIGURA 7.13 - SANGRADOURO PEDRAS-PEREQUÊ - CORRELAÇÃO INSTRUMENTO x CHUVAS - ANTES DA EXECUÇÃO DAS OBRAS DE RECUPERAÇÃO (124);
- FIGURA 7.14 - SANGRADOURO PEDRAS-PEREQUÊ - CORRELAÇÃO INSTRUMENTO x CHUVAS - APÓS A EXECUÇÃO DAS OBRAS DE RECUPERAÇÃO (124);
- FIGURA 7.15 - TELA DO MENU SEÇÕES PARA VISUALIZAÇÃO BIDIMENSIONAL (125);
- FIGURA 9.1 - FATORES SIGNIFICATIVOS PARA AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO E OS ASPECTOS DESTACADOS POR SINK & TUTTLE - 96 E ANOS FUTUROS (140);

- 
- FIGURA A.1 - FATORES INTERVENIENTES NA CONFIABILIDADE DO MODELO DE AUSUCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (150);
- FIGURA A.2 - CONDIÇÕES INTERVENIENTES NO DESEMPENHO DO MODELO DE AUSUCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS (151);
- FIGURA A.3 - MODELO DE AUSUCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS - MANUTENÇÃO (152);
- FIGURA A.4 - MODELO DE AUSUCULTAÇÃO DE ALTA PERFORMANCE - FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES BÁSICAS (154);

## RESUMO

Os modelos convencionais de auscultação e monitoramento de barragens são desenvolvidos a partir de informações obtidas com o acompanhamento do desempenho dos instrumentos, instalados em tais estruturas, que procuram aferir e confirmar hipóteses de segurança associadas aos critérios da fase de projeto.

A partir da necessidade de desenvolver uma nova abordagem sobre o tema segurança, em particular para garantir maior confiabilidade, procurou-se, dentro do processo de interpretação e diagnóstico do comportamento das barragens, enfatizar o conceito do potencial de risco e da probabilidade de ruína, como fatores fundamentais de análise e previsão, permitindo a introdução de sistemas voltados à determinação da influência de novos componentes, tais como os decorrentes de circunstâncias dinâmicas, as variações do meio ambiente (interno e externo) as condições de estabilidade e de confiabilidade.

As principais restrições, feitas aos modelos convencionais de auscultação e monitoramento de barragens, estão relacionadas à pequena capacidade de previsão do desempenho e estabelecimento de cenários futuros, à limitada abordagem da interferência com o meio, à desconsideração dos ciclos de vida útil dos empreendimentos - evolução dos materiais e equipamentos, entre outros, destacando-se, como decisivo, o fato de não levar em conta a execução de propostas efetivas e confiáveis de atuação em tempo real.

Ao estabelecer avaliação comparativa, entre posturas e práticas de acompanhamento, o modelo com ênfase na caracterização da performance é sugerido como expectativa satisfatória para superar as limitações presentes, obtendo melhoria contínua e gradual, formatando e integrando os sistemas e estruturas dentro das organizações como um todo.

As limitações decorrentes da unicidade dos empreendimentos, dados pontuais, bem como dos instrumentos de supervisão e controle, quando abordados por intermédio de modelos estatísticos, apresentam considerações consistentes e voltadas para a avaliação dinâmica da segurança e da confiabilidade do desempenho de barragens.

Dentre as metodologias propostas para modelar os sistemas de alta performance, a escolhida para o desenvolvimento, por sua receptividade e compatibilidade com a engenharia de barragens, é aquela oferecida por Sink & Tuttle (57), na qual a caracterização do possível aumento de performance é amparado por análise dos sistemas organizacionais e gerenciais, resultando em proposta de auscultação e monitoramento do comportamento de barragens e estruturas dos sistemas hidráulico.

Constata-se que as armadilhas, identificadas por Sink & Tuttle (57), existentes nos processos administrativos e técnicos, sejam eles organizacionais ou gerenciais, são similares nos sistemas de acompanhamento das barragens, bem como os sete pontos a perseguir em modelos de alta performance.

As consequências dos estudos efetuados foram registradas, resultando em proposta de nova conceituação de acompanhamento das estruturas hidráulicas, verificando-se sua adequabilidade aos conceitos de Qualidade com foco no aumento de performance.

Para validação do modelo proposto, foi estabelecida, através de avaliação, efetuada por uma equipe experiente, a performance dos modelos convencionais e proposto, nos quais procurou-se "mensurar" os resultados obtidos na auscultação e monitoramento de barragens.

## SUMMARY

The usual models for dam monitoring were developed from informations taken from the observations made on the behaviour of the instruments installed at those structures. The aim of those procedures are to check and confirm some hypothesis on dam safety, made according to the design criteria.

The so called deterministic models may be considered as low performance for dam safety, because they only take in account civil engineering concepts, related to rheological properties and construction techniques.

From the detected need to develop a new and more reliable approach on dam safety, a new proposal was made, by working on the processes of interpretation and diagnosis of dam behavior, and emphasizing the 'potential of risk' and 'failure probability' as essentials to the behaviour analysis and prediction. This allows the introduction of new tools, to determine the ascendancy of new factors, as those time-dependant ones, like environmental conditions- internal and external- , on the dam stability and reliability.

The main restrictions made to the conventional models for dam monitoring are related to the limited capacity to performance prediction, the sceneries' setup of for the future. Those models doesn't take in to account the environmental interferences, the lifetime of the projects, and the evolution on construction and material technology. And, must be emphasized as decisive, those models cannot provide immediate and reliable information in case of need.

By an comparative evaluation between the monitoring practice and postures, the model emphasizing the performance modelling is suggested, as enough good to surpass the present limitations, getting an continuous and gradual improvement, formatting and completing the systems and structures of the whole organization.

Some limitations, as the single characteristics of each structure, the punctual sampling taken from the instruments, and the limitations of the instruments

themselves usually are rounded by statistical modelling, allowing the achievement of consistent information to an dynamic evaluation of the reliability and safety of dams.

In the universe of proposed methods to the modelling of high performance systems, that one offered by Sink & Tuttle was chosen, by this compatibility with dam engineering. The performance growth is supported by an analysis of the management and organizational systems, resulting on the proposal to dam monitoring.

It was verified that the Sink & Tuttle's traps, identified at the administrative and technical processes, are in their headlines so presents at the dam monitoring processes, as well the seven points to be chosen in high performance models.

The effects of the studies were registered, resulting in a new concept for dam & structures monitoring, checking its suitability to the Quality concepts, focused on the performance improvement.

The proposed model was made valid from an evaluation of the usual models, made by a well experienced team, in which a trial to measure the dam monitoring results was made.

## APRESENTAÇÃO

Na **INTRODUÇÃO** deste trabalho são apresentados alguns conceitos básicos de Engenharia de Barragem, no intuito de oferecer a melhor compreensão do tema, facilitando o seu relacionamento com os propósitos desta dissertação, voltados à qualidade, no tocante à melhoria de performance.

Embora o entendimento do comportamento das barragens constitua assunto especializado, a abordagem técnica, de engenharia, será apenas mencionada, quando houver necessidade de estabelecer vínculos entre as partes envolvidas.

Não é presente preocupação entrar em definições teóricas, rigorismos de engenharia civil, implicações subjetivas de segurança, mas sim, aproveitar o mínimo oferecido a partir desses conhecimentos, para manter o foco da atenção nos processos envolvidos. Espera-se demonstrar a íntima relação entre a Qualidade - ferramentas e conceitos, associados ao TQM - Total Quality Management (17) (33), e a formulação de uma proposta de melhoria da performance nos resultados decorrentes da auscultação e do monitoramento da segurança de barragens.

O **CAPÍTULO I** é dedicado a apresentação das considerações sobre a modelagem disponível para avaliação da segurança e da confiabilidade do desempenho de barragens, com aquela oferecida por Sink & Tuttle (57). Com isso, visa-se caracterizar o possível *aumento de performance*, amparado por análise dos sistemas organizacionais e gerenciais, resultando em propostas de auscultação e monitoramento do comportamento de barragens. São tecidos comentários sobre a associação da conceituação oferecida pelos autores no campo específico das barragens.

Pretende-se estabelecer, através enfoque comparativo entre posturas genérica, de conotação administrativa ou de gestão, e as pertinentes à prática de acompanhamento de estruturas, um modelo voltado a busca de maior capacidade de atuação, cujo resultado é avaliado a partir do aumento de performance.

O questionamento oferecido pelos autores, relativamente ao diagnóstico da sistemática utilizada no momento, permite a identificação do estado da arte atual e sugere as linhas de ação que deverão ser tomadas, tanto a nível estratégico, como nos tático e operacional.

No **CAPÍTULO II** são oferecidas noções preliminares sobre a auscultação e o monitoramento de barragens, introduzindo a definição clássica de segurança, em linguagem genérica, partindo para a identificação dos principais fatores que influenciam o desempenho deste tipo de estrutura.

Ainda neste capítulo, utilizando o diagrama de Ishikawa e os 5 W e 1 H (8) (9), procura-se relacionar a abrangência do assunto, os procedimentos existentes, as grandes dúvidas e, conseqüentemente, as diretrizes dos rumos à melhoria da performance.

Para o **CAPÍTULO III** foi reservado o objetivo de caracterizar as diferenças existentes entre os aspectos de segurança e os de risco, estabelecendo noções sobre o controle de processo, segundo metodologia atual, propiciando, de imediato, a visão da necessidade do desenvolvimento de modelos mais efetivos e consoantes às responsabilidades e conseqüências envolvidas.

Entretanto, mesmo dentro de postulados relativamente estabelecidos e aceitos pela comunidade técnico-científica, as diferenças de posturas revelam o quanto o assunto é importante, bem como quais são os principais fatores atuantes.

A partir de nova abordagem do tema segurança, no **CAPÍTULO IV**, procura-se, dentro do processo de interpretação e diagnóstico do comportamento das barragens, enfatizar o conceito de Potencial de Risco (35) como o fator fundamental, permitindo introduzir a influência de novos componentes, tais como os decorrentes de circunstâncias dinâmicas. Tornou-se, então, viável associar às variações do meio ambiente (interno e externo) as condições de estabilidade e de confiabilidade.

Os modelos básicos de auscultação e monitoramento são apresentados, no **CAPÍTULO V**, com o propósito de estabelecer o confronto entre expectativas de controle de barragens, em termos de segurança, com a respectiva associação ao Potencial de Risco.

Procurou-se estabelecer, através de estudo de caso, aferir a performance desses modelos, concluindo-se pela baixa capacidade de resposta obtidas com as práticas atuais, face às necessidades presentes.

As consequências dos estudos efetuados foram registradas no **CAPÍTULO VI**, resultando em proposta de nova conceituação de acompanhamento das estruturas hidráulicas, verificando-se sua adequabilidade aos conceitos de Qualidade com foco no aumento de performance.

**O CAPÍTULO VII** é destinado à apresentação de uma abordagem diferenciada da tradicional, apoiada nos critérios e conceitos defendidos por Sink & Tuttle (57), aproveitando os enfoques obtidos através de breve histórico sobre a auscultação e monitoramento de barragens, apresentação das premissas necessárias a um modelo de alta performance, que podem simplificar o raciocínio e as ponderações tecnológicas, acarretando em simplificações que deverão merecer estudos complementares (séries temporais).

Ainda neste capítulo, são apresentados os estudos em desenvolvimento, através da modelagem estatística e seus módulos de desenvolvimento(15) (28) (50), recursos de visualização e interpretação, bem como das valiosas conquistas já obtidas até o presente momento. Destaque especial é dado ao fato de já ser possível estabelecer conceitos paralelos aos definidos pelos modelos determinísticos convencionais, que atuam baseados em fatores de segurança, partindo para a idéia de comportamentos voltados ao desempenho da estrutura como um todo e a definição de áreas de “iso-comportamento”, fundamentais para propor maior economicidade em sistema de auscultação e monitoramento de estruturas hidráulicas.

Embora admitindo que regressões lineares não constituem o melhor meio de abordagem, a modelagem seguida se baseia neste recurso, deixando claro que, no futuro, através da continuidade dos estudos, resultados mais precisos e coerentes deverão ser conseguidos, de preferência estabelecendo parcerias entre a universidade e as empresas proprietárias de barragens.

No **CAPÍTULO VIII**, enfatiza-se a nova visão da segurança, mais voltada à confiabilidade do que aos fatores de segurança convencionais, apoiando-se nos modelos decorrentes da aplicação do propósito de Sink & Tuttle (57), destinados ao desenvolvimento de sistemas de alta performance, relacionados à melhoria contínua da qualidade.

Direciona-se os apontamentos para as áreas funcionais e organizacionais, responsáveis pela auscultação e monitoramento de barragens, caracterizando as atividades inerentes a cada uma delas, buscando um novo modelo, no qual há preocupação crescente sobre as exigências do meio e das estruturas edificadas.

É importante destacar a nova visão, estabelecida através da influencia da filosofia de Sink & Tuttle (57), na qual a especialização e a concentração de responsabilidades tornam-se menos produtivas a partir da modelagem da

organização, como um todo, através de sistemas integrados, cada parte procurando atender à seguinte do melhor modo possível.

Assim sendo, nota-se a preocupação com a definição da expressão de necessidades de um modelo de alta performance, o qual, a cada ciclo, propõe resultados mais adequados e direcionados aos reais objetivos de auscultação e monitoramento de barragens.

Nas **CONCLUSÕES**, são destacadas as principais constatações das observações sobre as performances dos sistemas de auscultação e monitoramento de barragens utilizados no presente, comparando-as com as expectativas dos novos métodos de trabalho, dimensionadas a partir da sustentação advinda da aplicação das proposições de Sink & Tuttle (57).

Através de estudo de caso, pode-se observar o ganho de qualidade e confiabilidade, bem como o natural direcionamento do assunto para sistemas detentores de alta performance, susceptíveis à filosofia de melhoria contínua, estabelecendo vínculos sólidos com os respectivos ciclos de vida útil dos materiais, dos equipamentos, dos métodos e metodologias, da mão-de-obra, do meio, justificativas maiores da existência do próprio empreendimento.

Também são apontados os principais obstáculos encontrados, em função da necessidade de haver, futuramente, trabalhos exaustivos a partir do desenvolvimento da abordagem estatística das séries temporais, incertezas quanto ao resultado final a ser obtido, já que as atividades práticas estão ainda em uma fase inicial.

## INTRODUÇÃO

Barragem é uma estrutura denominada como uma Obra de Arte de Engenharia, Obra Pesada, que, na visão popular, é o “resultado do barramento de um curso d’água para a formação de um depósito hídrico denominado de reservatório”.

Antes disso, trata-se do resultado natural da evolução do conhecimento da humanidade que constatou, na oportunidade de armazenar, um meio de tentar controlar os regimes naturais, domando a variedade de ciclos hidrológicos e permitindo maior longevidade ao benefício dos recursos disponíveis.

A origem das barragens se perde na história, sendo comum observar-se vestígios dessas obras em vários períodos assírios, egípcios, helênicos, romanos, geralmente associados à finalidade de abastecimento público de água potável e, em algumas vezes, em obras de irrigação. Assim sendo, também são notáveis os ensinamentos que os Incas, Maias e Astecas nos legaram sobre o aproveitamento dos recursos hídricos, usando a ferramenta da construção de barragens como garantia da otimização dos, às vezes, poucos recursos disponíveis (27).

Além desses, na China antiga, têm-se registros da construção desses “obstáculos” dos rios para a garantia de recursos destinados às finalidades definidas pelas “divindades” imperiais, quaisquer que fossem, além de constituir excelentes meios de provocar a irrigação do solo por meio da ação da força da gravidade (27).

Do início do emprego das barragens até os dias de hoje muita mudança ocorreu. Se antes os métodos de projeto e construção primavam pelo artesanato técnico, baseados na experimentação, até recentemente havia muita limitação conceitual no sentido da abordagem matemática, visando a definição dos modelos matemáticos de monitoramento das barragens.

As possibilidades foram expandindo, principalmente após a difusão da microinformática, observando-se, com visão de futuro próximo, a busca de novos instrumentos, a crescente automatização da coleta de dados e o processamento das informações em tempo real.

Se os sistemas antigos mostravam-se insatisfatórios, devido às sérias limitações técnicas, hoje a tecnologia e a capacitação dos modelos matemáticos oferecem o aprimoramento necessário ao desenvolvimento da confiabilidade nos sistemas de observação e controle.

A observação do comportamento e do desempenho das barragens envolve variáveis nos campos da anisotropia, das descontinuidades físicas e mecânicas e da alterabilidade contínua das características dos materiais construtivos. São significativas as diferenças entre o produto idealizado na fase de projeto e aquele acompanhado ao longo do tempo.

É difícil associar métodos mais precisos para a determinação da *segurança*, em especial para barragens de terra, de enrocamento, e a *confiabilidade disponível x necessária* em cada caso. Afinal, as barragens não são produtos realizados em série, mas sim, individualizadas e frutos de *engenho e arte*.

Dentro de um amplo e complexo cenário de variáveis, destaca-se como agravante, a unicidade de cada obra, que acarreta a formação de uma tendência geral baseada em eventos isolados, com desempenho particular, quer seja pelas condições internas, quer seja pelo grau da intensidade de atuação dos agentes externos.

A leitura periódica da instrumentação instalada nas barragens, cuja finalidade é fornecer dados de desempenho, favorece apenas o estabelecimento das séries de informações pontuais que, quando correlacionadas às propriedades dos materiais utilizados e aos critérios de projeto, *tendem a sugerir comportamentos* “extrapoláveis” e influenciadores na segurança do empreendimento. Entretanto, outras questões também se destacam, tais como a correspondência mais ou menos apropriadas entre: fenômeno previsto x observado; capacidade de suporte x resistência; sensibilidade x precisão dos sensores; camadas dos materiais existentes x geometria; condições de contorno x agentes externos, entre muitos.

Com tanta diversificação, os critérios convencionais de avaliação da segurança e da previsão de comportamento, não atendem, de modo satisfatório, às expectativas e necessidades dos proprietários desse tipo de estrutura, bem como não contribuem para a formação de cenários reais que favoreçam a tomada de decisões em caráter preventivo.

Pode-se concluir que os sistemas de medição usados ainda não apresentam condições satisfatórias de organização das informações, retratando sistemas de baixa performance.

É indiscutível que os modelos atuais de auscultação e monitoramento são relativamente inoperantes pois, como as medidas são pontuais e de consistência relativamente frágil, vêm confirmar que “*não se pode gerenciar aquilo que não se pode medir*” (57). Desse modo, também não cumprindo a essência básica do acompanhamento esperado.

Os sistemas de medição são objetivos, porém, buscam situações presumíveis ou pré-supostas. Os coeficientes de segurança determinados, quando quantificados, não apresentam características de qualificação nítida das suas respectivas consequências em termos de relacionamento causa x efeito.

Observa-se que as hipóteses previstas mostram-se revestidas de forte parcela intuitiva, prática, relativamente aos comportamentos reais observados no campo. As dificuldades projetadas acarretam a constante necessidade de utilizar o chamado "bom senso", contrariando a tendência de uniformização e simplificação dos sistemas de medição e gerenciamento, que exigem padrões de facilidade adequadas às regras de decisão, custos menores e análise em tempo real.

Como decorrência, é possível observar que os modelos convencionais podem cair em armadilhas identificadas por pré-julgamentos, baseados em hipóteses, boa parte delas consagradas pelo uso ao longo da história das barragens. Isso equivale a aceitar que as hipóteses formuladas durante a fase de projeto, deverão ser as mesmas durante o período construtivo e pós-construtivo do empreendimento - no entanto, quem pode garantir que tal fato venha a ocorrer, diante da notória diversificação entre as situações observadas?

O foco desses modelos reside na aferição dos critérios assumidos, durante a fase de projeto, que não são, necessariamente, adequados ao monitoramento das estruturas, durante a vida útil de cada um dos empreendimentos.

Há necessidade de uma nova abordagem que procure aproximar os conceitos de modernidade, agilidade e flexibilidade exigidos, com os requisitos indispensáveis, nos quais os custos, cada vez, obrigatoriamente, mais baixos, são sustentados por uma eficiência garantida pela possibilidade de prever futuros desempenhos.

Dentro desse quadro de intensa dispersão, propõe-se estudar, à luz dos princípios e conceitos da QUALIDADE (17) (33), uma metodologia que possa efetivamente contornar as limitações atuais de controle de processos e situações.

É necessário abrandar as incertezas, acrescentar análises dinâmicas, tornar a metodologia suficientemente genérica para poder ser considerada como uma proposta associada à padronização de procedimentos, extrapoláveis a ponto de contribuir para a existência de uma abordagem sistêmica (1) (2) (5) (21) (36).

As premissas assumidas, bem como suas respectivas consequências, passarão a apresentar características comparáveis entre si e, mais ainda, uma proposta de atuação preventiva, no tocante aos *cenários futuros*, dentro do grau de confiabilidade necessário.

Propõe-se utilizar a experiência em desenvolvimento na ELETROPAULO - Eletricidade de São Paulo S/A (19) (25), abordando-se as principais características da prática recente adotada, apoiada na metodologia desenvolvida por Sink & Tuttle (57) no propósito da melhoria de performance, observando-se, também, as modificações introduzidas a partir da consideração dos diversos conceitos de qualidade voltados para a melhoria contínua e o ciclo da qualidade de Deming (17).

Pretende-se demonstrar, a partir de modelos conceituais, numéricos e estatísticos que é possível obter uma técnica mais confiável, ajustada às atuais necessidades, com personalidade dinâmica e próxima dos conceitos de melhoria contínua (28).

Para tanto, deve-se considerar as facilidades que a introdução dos conceitos da qualidade, em especial do T.Q.M. - Total Quality Management (17) (33), onde a abordagem sistêmica, com foco direcionado ao objetivo maior do cliente, introduz profundas modificações na cultura aparentemente hermética, altamente especializada e específica, conforme o presente caso.

O princípio fundamental da metodologia convencional é *tentar provar* o quanto o empreendimento realizado se aproxima, através das condições medidas, daquelas projetadas. Ocorre, no entanto, que as majorações decorrentes da aplicação de sucessivas seguranças adicionais (fatores de segurança), acabam por reproduzir resultados geralmente próximos ou superiores aos esperados, pelo menos pontualmente.

Em resumo, as práticas de auscultação e o monitoramento convencionais se prestam mais a demonstrar a variabilidade atribuída às diferenças entre projetado X construído, do que para contribuir para o estabelecimento de uma metodologia com foco na confiabilidade do desempenho, visando o aumento da performance.

Uma das condições fundamentais para a garantia da integridade física e operacional das barragens, é o desenvolvimento do conhecimento, na maior parte das vezes baseado em fatos, das variações condições de solicitações médias e extremas, tais como se observa em simples cartas de controle.

## CAPÍTULO I

### A MODELAGEM DA PERFORMANCE

Os modelos disponíveis, para a caracterização dos sistemas de auscultação e monitoramento de barragens, constituem sistemáticas com vertentes diferenciadas (50), ou seja:

- a. **DETERMINÍSTICAS** - envolvem o conhecimento das propriedades dos materiais e equipamentos envolvidos, de forma isolada ou associada, dentro de determinados critérios de cálculo, os quais preestabelecem comportamentos e funcionamentos, também aceitos como proposição de respostas às solicitações de estados de tensões e deformações;
- b. **ESTATÍSTICAS** - procuram avaliar, ou pelo menos associar efeitos ocasionados por determinadas situações (assumidas como causas), observadas no cotidiano, facultando, através do estudo das séries históricas (temporais), visualizar semelhanças de performance e variáveis envolvidas, direcionando a interpretação do processo para previsões de comportamento e simulações de cenários.

Em ambos os casos, as conclusões obtidas são incompletas e variam caso-a-caso (28), dependendo dos recursos disponíveis e da tecnologia empregada. Por exemplo, se considerarmos o propósito da instrumentação para fornecer subsídios para uma intervenção preventiva, o processamento de leituras constitui fator decisivo para que o monitoramento tenha o sucesso esperado. No entanto, tal processamento, geralmente não ocorre em tempo real, acarretando sensíveis prejuízos no processo de diagnóstico (42).

Além das características dos modelos apresentados, há também a necessidade da complementação das informações decorrentes dos registros obtidos em sensores, através de inspeções periódicas de campo, para a observação da variação visual dos materiais e equipamentos, principalmente em função da atuação dos agentes externos / internos, cuja magnitude de influência nem sempre é possível detectar através dos instrumentos instalados.

O primeiro ganho significativo de performance decorre da redução dos tempos compreendidos entre as *leituras e inspeção de campo* e os *procedimentos de diagnóstico*, os quais são determinantes para a escolha das linhas das decisões para regeneração das condições de integridade e de segurança.

À primeira vista, a complexidade e a especificidade do assunto, podem acarretar algumas eventuais suspeitas quanto a validade da tentativa de associar princípios e métodos de gerenciamento, usualmente abordados pela QUALIDADE, em processos típicos de engenharia civil (1) (2).

As idéias apresentadas por Sink & Tuttle (57), no "O Planejamento e Medição para Performance" vêm em auxílio da organização com a caracterização dos rumos e correções de contornos, permitindo oferecer visão sistêmica e voltada para o aprimoramento contínuo (Kaizen) (8) (9).

Tanto é assim, que os métodos atuais de auscultação e monitoramento, trilham nas mesmas armadilhas, alertadas pelos autores mencionados (57), como mostrado a seguir:

- **ARMADILHA 1 - MEDIR “A” COM ESPERANÇA DE “B”**

Ao admitir que o sistema de medição (instrumentação) é resultado de quantificações pontuais, e que a partir desses dados extrapola-se comportamentos para seções planas e estruturas tridimensionais, há a aceitação de performance equivocada, descabida, geralmente sem fundamentação, para afiançar, com precisão, o relacionamento entre causas e efeitos.

Outro destaque, consiste em assumir a informação obtida com “causa” de um comportamento (efeito), o que nem sempre se confirma na teoria ou na prática (36) (37).

A própria leitura do instrumento já é, em si, o efeito das solicitações e dos esforços ocorridos que configuram as condições a que a mesma está submetida pela ação de agentes externos / internos (29).

- **ARMADILHA 2 - *MEDIR PARA CONTROLAR***

A terminologia usada corriqueiramente, no meio de engenheiros barrageiros, é “controle das barragens”, “controle da segurança das barragens”, “monitoramento”...

A experiência mostra que para efetuar o acompanhamento do desempenho de barragens, os modelos adotados, geralmente, se apoiam em medidas de má qualidade, oferecendo diagnósticos incompletos e propiciando o gerenciamento deficiente e de baixa performance, atuando apenas corretivamente.

Os métodos mais comuns de auscultação e monitoramento, especialmente aqueles voltados para os modelos determinísticos utilizados há cerca de 10-20 anos atrás, cuidam para que os “efeitos” observados, em termos de instrumentação, restrinjam-se às faixas, pré-fixadas em função de condições de segurança atribuídas nas etapas de projeto, a determinados cenários (19) (25).

O assunto, extremamente complexo, é avaliado quanto à performance, como simples cartas de controle, quando muito (46) (58).

Outro aspecto, a considerar, é que os modelos de auscultação e monitoramento da segurança das barragens normalmente utilizados, não preconizam, com a coleta de dados, aguçar a capacidade de organização das informações, de modo a constituir um sistema de informações voltado para a melhoria de performance das estruturas em questão (53).

A abordagem introduzida por Sink & Tuttle (57), no confronto de competências entre sistemas, que visam oferecer maior capacidade de resposta para cenários complexos, parece ser um indicativo favorável à busca de um modelo com aperfeiçoamento contínuo, atuando na execução das atividades, no desenvolvimento sistêmico e no aumento da performance, inclusive do próprio modelo, das interfaces envolvidas, dos sistemas e da organização como um todo.

- **ARMADILHA 3 - MEDIR PARA DESCOBRIR BAIXA PRODUTIVIDADE**

Fica evidente que os modelos atuais, através das características nas quais são embasados e desenvolvidos, são aqueles que registram baixa performance e, desta forma, pouco vêm a contribuir para aumentar a

confiabilidade nos sistemas de observação e diagnóstico, acarretando maiores incertezas aos proprietários e responsáveis pela segurança física e operacional.

Os modelos usados visam obter informações, ocorridas em tempos passados, e confrontá-las com as circunstâncias, características de tempos ainda anteriores, o que resulta em certa falta de credibilidade, especialmente para barragens construídas com materiais conhecidos como anisotrópicos, descontínuos ou incoerentes, sendo que o maior interesse reside no entendimento dos cenários futuros (54) (56).

Os autores (57), anteriormente mencionados, propõem a avaliação de sistemas de medição a partir de uma situação genérica, a que se adapta perfeitamente, na questão da segurança das estruturas hidráulica, ou seja:

- Os problemas concretos, com características de objetividade e quantificação, na maioria das vezes se apoiam em raciocínios intuitivos, difíceis de serem formulados e onde há uma forte influência da componente experiência da equipe envolvida, algumas vezes identificada como “bom-senso”.
- Por outro lado, a modelagem subjetiva, que procura a quantificação dos fenômenos, pode explicitar a argumentação de fácil compreensão e oferece excelentes critérios e regras para decisão.

Sink & Tuttle (57) sugerem, oportunamente, que a fusão das constatações dos dois modelos (determinísticos e estatísticos) pode ser efetuada, contribuindo para o uso da “inteligência artificial”, ou seja, o processamento dos dados e informações em meio automatizado e computadorizado, sem, contudo, perder a propriedade de análise, interpretação e diagnóstico, bem como do auto-aprimoramento.

Neste sentido, o que Sink & Tuttle (57) apresentam é a essência daquilo que os engenheiros de barragens buscam há várias décadas, sempre no sentido de oferecerem um real acompanhamento da performance das estruturas, de modo a garantir a manutenção das condições de estabilidade e da integridade física e operacional dos empreendimentos e áreas adjacentes.

Em continuidade ao proposto, a definição de que ***“performance é um complexo formado para a inter-relação entre: eficácia, eficiência, qualidade, produtividade, qualidade de vida no trabalho, inovação e lucratividade”***, parece resumir os sete objetivos empresariais que se propõem ao implemento de um sistema de monitoramento, ou a busca de sistemas mais apropriados à engenharia de barragens, ou seja:

- A **EFICÁCIA** vem de encontro à necessidade de dotar a metodologia e as atividades da necessária clareza, credibilidade e certeza nos dados obtidos no campo, de forma a tornar o processo de análise e avaliação de performance em procedimentos confiáveis e seguros (33) (41).
- A **EFICIÊNCIA**, por seu lado, busca estabelecer vínculos factíveis e reais entre os propósitos da auscultação e monitoramento e as conclusões a serem obtidas, selecionando as prioridades a observar, dentro das diversas relações existentes entre causas e efeitos (35) (41).
- A **QUALIDADE** oferece a capacitação para a compreensão da dinâmica de aprimoramento contínuo (PDCA), obtendo mais eficiência e maior eficácia nos trabalhos de coleta de dados e fornecimento de informações, bem como de subsídios à simplificação e otimização de procedimentos e ações (17) (33).

- A **PRODUTIVIDADE** é o fator que vem a contribuir para a efetividade prática dos sistemas de monitoramento, de modo a torná-lo viável e passível de ser aplicado em diversos outros casos, resultando em padrões e métodos de alto rendimento (7) (14) (39).
- A **QUALIDADE DE VIDA** visa reunir as mais significativas e reais formas de auscultação e monitoramento de barragens, facultando alta performance. Dentro do objetivo de reduzir a fadiga e as restrições das situações denominadas emergenciais, cujas consequências, em geral, são agentes de instabilidades e de propensão aos erros e equívocos, muitos dos quais responsáveis por acidentes e rupturas de barragens(51) (52) (59).

Busca-se possibilitar, ao usuário, o conforto de dispor de argumentação e visão dos eventuais cenários futuros, atuar preventivamente, ter embasamento para decisão dentro do vasto elenco de ações possíveis (13) (33).

- A **INOVAÇÃO** estabelece mecanismos atualizados de observação e controle, sistemas eficientes e eficazes, clareza e objetividade na busca de cenários, rapidez e agilidade na proposição de soluções favoráveis e preventivas, detecta pontos fracos e alternativas para sua eliminação, reforça os pontos fortes, que devem ser aprimorados com o tempo, cria novas rotinas e padrões facilitadores do trabalho e reduz custos e interfaces (1) (2) (6) (7) (36).
- A **LUCRATIVIDADE**, embora relativa, deve ser considerada, uma vez que, como se trata de conjunto de atividades que visam a manutenção das condições de segurança e de operacionalidade, buscam também evitar, com certo grau de certeza, danos irrecuperáveis, paradas operacionais corretivas, acidentes e rupturas cujas consequências são inimagináveis (14) (27).

Outro ponto que reforça a propriedade da proposta de Sink & Tuttle (57), no presente caso, é a consideração relativa a:

- o sistema deve dar ênfase nas medições que apoiam e reforçam a credibilidade e o auto-aprimoramento do sistema de informação sobre a segurança atual e futura das barragens (37);
- as mudanças devem ser previstas, concentrar as forças pró-ativas e reduzir os entraves de interpretação e diagnóstico (1) (2) (36) (53);
- o processo deve conduzir à escolha de modelos de auscultação e monitoramento, sistêmicos e integrados, com a preocupação constante na observação das múltiplas faces do gerenciamento dos recursos hídricos, bem como de suas consequências sobre a vida das pessoas, que formam a comunidade atingida, especialmente aquelas localizadas à jusante do aproveitamento (10) (17) (18) (29).
- considera os riscos inerentes às decisões, externo e interno à organização.
- os encargos e responsabilidades pelo planejamento, solução de problemas e tomadas de decisão, devem ser direcionadas, preferencialmente, para os níveis hierárquicos mais baixos, agilizando o processo efetivo de auscultação e monitoramento, reduzindo os tempos gastos envolvidos. Entende-se como níveis mais baixos, aqueles ligados diretamente ao processo de obtenção dos dados, das informações e do diagnóstico, quanto ao desempenho observado (10) (45) (47) (48) (49) (52).

A atuação dos responsáveis passa de postura ligada ao mero controle, para o compromisso, advindo daí o real comprometimento. Há que se restabelecer os vínculos diretos entre a execução propriamente dita e os meios constituídos pelas autoridades, evitando os meios burocráticos de comunicação.

A despeito da magnitude das responsabilidades e dos riscos envolvidos, a cultura organizacional que prevalece no meio dos proprietários de barragens, dominado no momento pela iniciativa estatal, é a de que a atividade de auscultação e monitoramento de barragens consiste de um conjunto de atividades de manutenção, que não agregam valor à finalidade maior das referidas empresas de energia, fornecedoras de água para abastecimento público, irrigação e lazer (1) (2) (44).

Isso dificulta sensibilização dos corpos diretivos (alta administração), para as mudanças necessárias ao aumento de performance no controle da segurança. No meio privado, as informações disponíveis indicam situação muito mais grave (21) (36).

Para caracterizar a performance disponível nos sistemas existentes, Sink & Tuttle (57) sugerem a realização do exame crítico nos procedimentos vigentes, conforme indicado a seguir:

- **O QUE É FEITO?**

Atualmente são raros os sistemas de monitoramento que podem ser considerados como superiores a um simples banco de dados, nos quais a massa de informações obtida fica restrita a interpretações localizadas e direcionadas à observação de desempenhos condicionados a cartas de controle ou, no máximo, aos modelos determinísticos estáticos (25) (27) (31)).

- **COMO É FEITO?**

Não existe padronização de metodologia, materiais construtivos, mão-de-obra envolvida, meios (interno / externo), maquinário e equipamentos de auscultação e medição, acarretando dificuldades extraordinárias para a incorporação de procedimentos que propiciem aumento de performance (10).

Os sensores, responsáveis pela coleta de dados de desempenho no campo, tem sofrido intensas modificações por conta do desenvolvimento tecnológico. Todavia, face às restrições econômicas, pouco se justificam fora do período construtivo, agravando os problemas de monitoramento no período operacional (19) (20) 38).

- **COMO AS EQUIPES SÃO RECOMPENSADAS?**

As equipes de auscultação e monitoramento são consideradas como “párias” empresariais, não recebendo incentivo para o aprimoramento de suas atividades (16) (18) (21) (45) .

A falta de visão, decorrente do desconhecimento dos aspectos técnicos e metodológicos, por parte da administrações da maioria das empresas, contribuem para a formação de uma prática míope e distorcida (5) (16) (36).

A “recompensa” obtida pelos profissionais envolvidos, quando não são traduzidas por punições ou segregação velada, quando muito, chegam a contribuir como fator de auto-aprimoramento pessoal, implementação de alguns módulos informatizados, aumento relativo da capacidade de diagnóstico (21) (36).

Nota-se, que ao desenvolver metodologia nova, cresce também a pressão sobre aqueles que detém o poder de decisão, provocando certo desconforto, e preocupação, quanto a definição sobre as reais responsabilidades civil e criminal. Alguns sentem-se coagidos a apoiar, mesmo que momentaneamente, programas de melhoria quando lembrados dos aspectos jurídicos envolvidos com a segurança das barragens (maiores informações podem ser obtidas no parecer SMS-005/96, de 03.05.96 - Eletropaulo- Eletricidade de São Paulo S/A, denominado: *"Definição de Responsabilidades /Deveres - Segurança de Estruturas do Sistema Hidráulico"*, de autoria da Dr<sup>a</sup> Sônia Maria Siqueira).

- **QUAIS OS TIPOS DE TECNOLOGIA E SISTEMA DE CONTROLE USADOS?**

Os modelos de auscultação e monitoramento de barragens mais desenvolvidos, usados em países como Itália, França, Japão, Estados Unidos e Canadá, entre outros, buscam obter, em tempo real, informações sobre o desempenho, enfatizando os modelos de interpretação estabelecidos. O processo prevê instrumentos automáticos, transmissão de dados "on-line", capacidade de armazenamento local, e processamento centralizado (24) (27) (35) (55).

Os dispositivos sensores e demais instrumentos automáticos existentes, ainda não são suficientemente resistentes para suportar, por exemplo, solicitações severas de descargas atmosféricas, tornando problemática a utilização em países tropicais e equatoriais (condições de aterramento).

Outro fator a considerar, é a base usada pelos modelos determinísticos, baseada em extrapolações de informações pontuais, que diminuem a possibilidade de correlacionar comportamentos e o estabelecimento de famílias de instrumentos com desempenho identificado como chave, balisadores de critérios de planejamento e substituições dos equipamentos atuais por outros de alta performance (6) (7).

- **COMO É EFETUADO O PLANEJAMENTO?**

O planejamento utilizado segue, geralmente, algumas regras práticas decorrentes da experiência obtida com a avaliação das estruturas por meio de modelos preferencialmente determinísticos (19).

Mesmo assim, um forte componente de planejamento consiste na *intuição* advinda das expectativas, quase sempre conservadoras, oferecida pelo acúmulo do conhecimento / experiência (53).

Tal fato, longe de proporcionar alguma tranquilidade, com respeito à confiabilidade de comportamento, traz preocupação, à medida que os cenários em perspectiva, indicam a crescente substituição de equipes, experientes e bem treinadas, por outras com custo bem menores, conforme observado nas privatizações em curso nos diversos países com economia fortemente estatizada (6) (7) (18).

Nestes casos, é atribuído à auscultação e ao monitoramento de barragens expectativas de compatibilidade dentro de recursos limitados, visando não comprometer os programas de investimentos prioritários, evitando estabelecer vínculos com o retorno imediato do capital. Tal ilusão, observada como forte tendência no mercado, só será corrigida com o passar do tempo, ou então a partir da ocorrência de sérios problemas de estabilidade, geralmente associados a catástrofes indesejáveis(27).

Domina uma falsa noção da relação custo x benefício, a qual acarretará muitas situações de descontrole, críticas em termos de segurança (27).

- **COMO OS PROBLEMAS SÃO RESOLVIDOS?**

Em geral, os problemas detectados fazem parte de uma parcela pequena das circunstâncias envolvidas com a segurança e a operação das barragens. Isso porque a maioria deles sequer chega a ser detectada oportunamente (1) (53).

A despeito das responsabilidades envolvidas, os problemas que surgem nem sempre recebem o tratamento técnico necessário, principalmente devido a falta de sensibilização dos agentes de decisão, bem como da falta de empenho dos membros das equipes envolvidas (5).

Os problemas detectados, abordados de forma convencional, são direcionados apenas para o planejamento de curto e médio prazo da empresa, não diferenciando, frequentemente, aquilo que envolve risco, daquilo que trata apenas de uma abordagem de melhoria de aspecto arquitetônico ou paisagístico (2) (18) (21) (44) (45).

- **COMO AS DECISÕES SÃO TOMADAS?**

Não havendo um sistema de informações com base sólida e segura e voltado a facilitar o direcionamento das decisões, estas são tomadas sob a forte influência da emoção e das circunstâncias, quando em regimes de emergência, outras vezes de forma omissa ou negligente, procurando adiar os problemas, quando de ocorrências corriqueiras e sem repercussão imediata sobre a segurança (42).

- **COMO AS DECISÕES SÃO IMPLANTADAS?**

As decisões são implantadas, quando em situações consideradas como críticas, a partir de reuniões singulares e desprovidas de todos os elementos de análise, principalmente porque não são disponíveis (10) (32) (44).

As circunstâncias emergenciais são aquelas que são originárias de cenários não esperados, onde o fator surpresa pode contribuir, por diversas razões, para a tomada de decisões equivocadas e inoportunas, conforme relata a bibliografia pertinente aos acidentes e rupturas no Brasil e no exterior (20) (30) (31) (38).

Quando as decisões não são críticas, há uma tendência no seu adiamento e, em certos casos, "esquecimento" forçado.

- **COMO AS DECISÕES SÃO COMUNICADAS E COORDENADAS?**

Pode-se supor, com muita propriedade, que em decorrência ao observado nos itens anteriores, causas de um procedimento, os seus efeitos devem ser proporcionais e equivalentes.

Daí, não é possível aventurar-se em explicações e divagações para afirmar que tanto as comunicações como a coordenação das ações decorrentes de decisões tomadas ficam muito a dever às reais necessidades de segurança e confiabilidade.

A performance dos sistemas convencionais de auscultação e monitoramento de barragens é baixa, com pouca produtividade. Eventuais incrementos e sugestões, fomentos inesperados ou emergenciais, ou ainda decorrente de eventual contribuição técnica, efetivamente, nem sempre são aqueles desejáveis (5).

- **QUAIS SÃO OS TIPOS DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO / AVALIAÇÃO E COMO SÃO UTILIZADOS?**

Os sistemas de medição, na maioria das vezes, são fundamentados em obtenção de dados no campo, durante inspeções e atividades específicas, desenvolvidas com periodicidade arbitrada nas fases de projeto e/ou de reforma.

É bastante evidente que há preocupação excessiva com a manutenção de gráficos do tipo carta de controle, diretamente conduzidos pelas condições e propriedades dos materiais construtivos, porém dissociados dos equipamentos usados para a confecção dos produtos, dos regimes reais de operação e da evolução temporal dos mesmos (58).

Diante dos fatos, os sistemas de medição são pouco efetivos na contribuição de critérios pragmáticos e voltados à avaliação, do comportamento das estruturas e/ou da própria sistemática adotada (52).

Outro ponto a considerar é que os sistemas utilizados geralmente não oferecem a possibilidade de auxiliar ou influir no diagnóstico sobre a performance das barragens, muito menos em relação a proposição de avaliação de suas potencialidade e ações de melhoria.

- **COMO É O ESFORÇO PARA MELHORAR A PERFORMANCE EM TODOS OS NÍVEIS DA ORGANIZAÇÃO?**

Com raras exceções, constata-se que o esforço para melhorar o desempenho dos sistemas de auscultação e monitoramento de barragens é uma atividade segregada das decisões e planejamento geral das organizações (44) (45) (52).

Seu enfoque é voltado, quase que exclusivamente, para atender às atribuições das áreas de manutenção, desprezando um nicho de mercado, que é a prestação de serviços para terceiros. Ignora que o desenvolvimento de técnicas e metodologias mais apuradas resulta em custos menores, tornando as despesas com atividades de controle das estruturas significativamente menores. Dificulta a melhor compreensão e formulação de modelos mais realistas, inclusive com o estabelecimento de relação causa x efeito e a otimização de recursos (humanos e materiais) (47) (48) (49).

A grande vantagem de manter o regime de intervenção dentro de caráter preventivo é ignorada ou desprezada (53).

As organizações tendem a desconsiderar atividades não relacionadas aos produtos e/ou serviços fins, mesmo que estratégicos. Neste caso, a auscultação e o monitoramento de barragens não se mostram mais do que meros procedimentos de manutenção, os quais devem se adequar, do ponto de vista de performance, aos níveis mínimos de segurança e confiabilidade, de preferência com o menor custo possível (1) (2) (5) (53).

As visões compartilhadas, voltadas para o passado, dificultam rever o papel que a tecnologia desempenha. Há necessidade de mudança de comportamento gerencial e os modelos propostos devem focar um apoio irrestrito ao comprometimento de toda a organização nos princípios maiores das atividades fim, porém não é mais

possível sustentar o abandono de determinadas atividades que, apesar de não agregarem valor diretamente, são elas que perpetuam as condições de exploração e desenvolvimento do negócio (6) (7).

Diante dos problemas existentes relacionados a:

- a) sistemas de medição e avaliação inadequados;
- b) sistemas cada vez mais complexos, e
- c) estratégias de abordagem não garantindo o sucesso futuro,

Há consciência de que os níveis de performance, os papéis e as responsabilidades definidas pelos padrões, atuais e passados, não serão suficientes para afiançar as condições de segurança e confiabilidade requeridas.

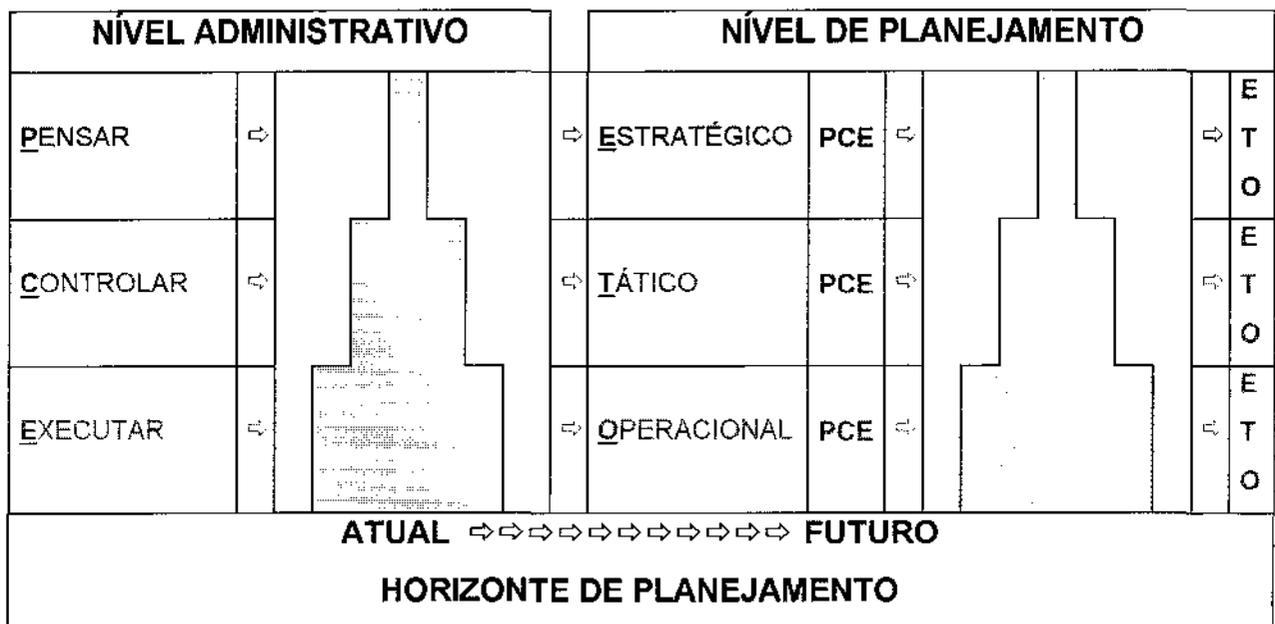
Os novos modelos deverão buscar uma performance, semelhante ao nível do potencial possível, estimulando a inovação e lutando por um aperfeiçoamento dentro dos patamares tecnológicos esperados.

O modelo de planejamento visando a melhoria da performance dos sistemas de gerenciamento da segurança das estruturas componentes dos sistemas hidráulicos, deve alterar até as recentes premissas culturais, nas quais a Administração “*pensa*” pela empresa, as Gerências “*controlam*” os processos e os demais “*executam*” as atividades previstas (18) (57).

Para a modelagem de um sistema de auscultação e monitoramento de barragens, a integração entre os participantes deve ser completamente diferente, definindo horizontes nos campos de atuação *estratégico, tático e operacional*, porém

envolvendo as antigas atribuições de pensar, controlar e executar o melhor possível, dentro de cada um dos níveis, de maneira a facultar a melhoria contínua e o aumento da performance global.

O diagrama apresentado a seguir ilustra o exposto, destacando a importância do cruzamento das influências entre os diversos níveis de competência, quer sejam de administração da organização, quer sejam de participação no planejamento das atividades:



**FIGURA 1.1 - ENVOLVIMENTO DOS DIVERSOS NÍVEIS DA ORGANIZAÇÃO NO PLANEJAMENTO, SEGUNDO PROPOSTA DE SINK & TUTTLE**

Assim sendo, o planejamento das atividades da organização deve contemplar, no seu todo, as atividades inerentes ao processo particular de auscultação e monitoramento de barragens, definindo suas interfaces e potenciais de apoio e desenvolvimento conjunto, utilizando a visão de futuro com "arte, sabedoria, discernimento e experiência" (57).

Algumas metodologias sugeridas para proporcionar a melhoria da performance, entre as quais destacam-se as baseadas em técnica de grupo nominal, análise das

relações "input / output", projeto / reprojeto de tarefas, "just in time", gerenciamento da qualidade total, análise de fluxos de processos, vem, de fato, contribuir para o progresso e desenvolvimento da sistemática de auscultação e monitoramento de barragens. Entretanto, os resultados mais promissores surgiram com a aplicação da análise dos sistemas organizacionais - ASO, nas quais há uma combinação harmoniosa entre o planejamento da organização e o planejamento da performance esperada através do envolvimento dos níveis estratégicos, táticos e operacionais da organização.

Em cada fase do processo de gerenciamento da performance é efetuada a análise comparativa *atual* x *proposto* para estabelecer a compatibilização entre as estratégias e a visão do futuro da organização e das tarefas envolvidas. Desse modo, é possível obter indicadores confiáveis sobre a performance presente, quais os sistemas de gerenciamento e de medição disponíveis e atuantes, os quais servem de balisamento para o planejamento, sempre em consonância à melhoria contínua.

O planejamento obtido pode ser desdobrado, em vários níveis, chegando a um conjunto de intervenções que associam os esforços voltados para o aumento da performance através dos novos valores agregados e da futura capacitação de transformação, comparando-se as conquistas por meio de sistemas de montante e de jusante. O ganho de performance é quantificado, passo-a-passo, estimulando e direcionando os rumos das tarefas subsequentes.

Deste modo é possível associar, conforme proposto por Sink & Tuttle (57), através da **análise dos sistemas organizacionais** - ASO, o modelo de planejamento empresarial voltado a metas e objetivos, conforme apresentado a seguir:

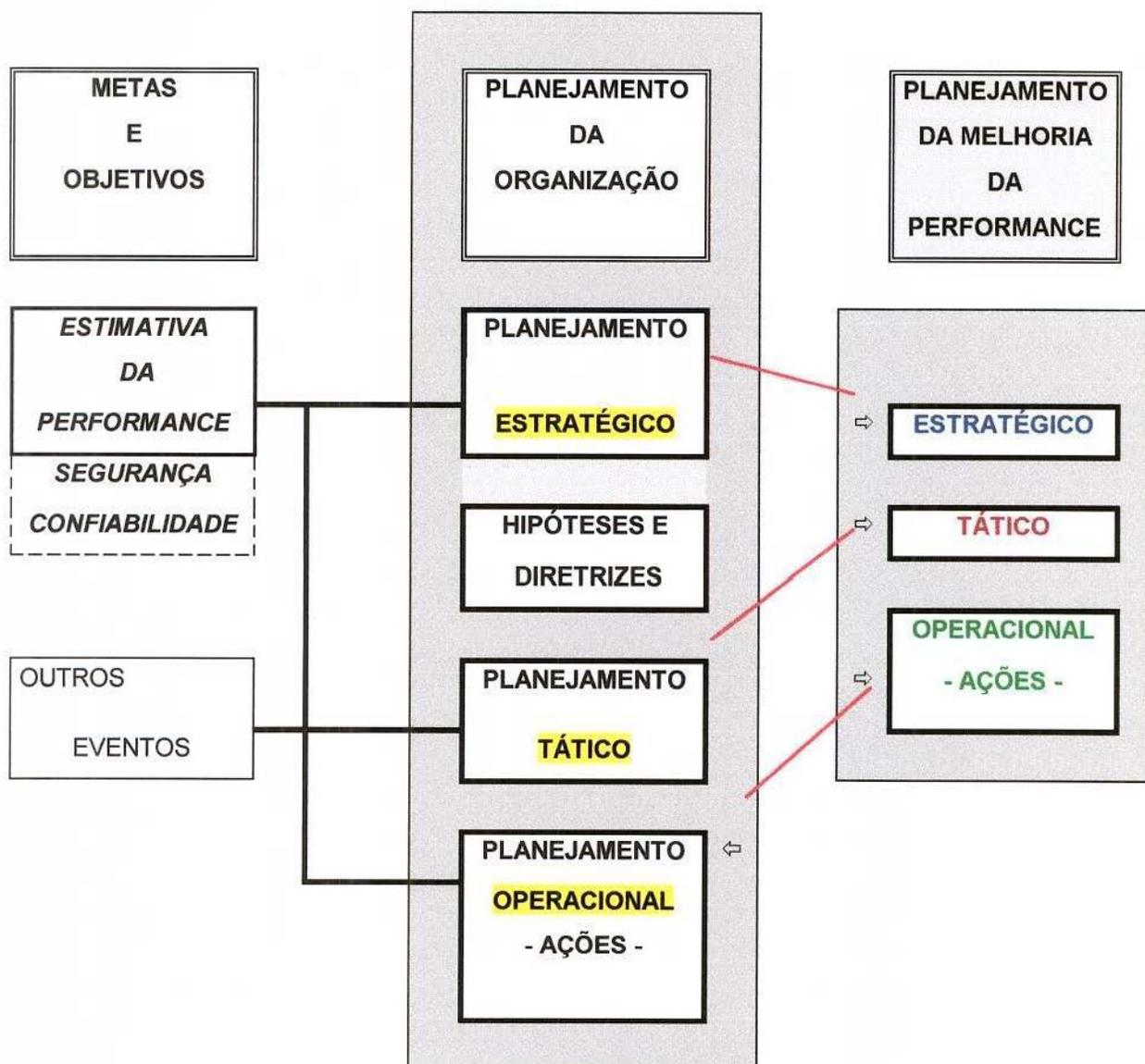


FIGURA 1.2 - ANÁLISE DOS SISTEMAS ORGANIZACIONAIS - ASO - APLICADO À AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS

Com base nas informações obtidas com a análise dos sistemas organizacionais - **ASO** (57) - é dado o desdobramento da modelagem das condições pretendidas, comparando-as às existentes, que conduz à avaliação de “input” e de “output”, presentes e futuros, certificando-se, dessa maneira, sobre o ganho de qualidade obtido, especialmente no tocante aos sistemas de medição e de motivação à melhoria contínua, os quais devem vir associados da verificação dos impactos decorrentes das intervenções praticadas.

As ferramentas, empregues para tal finalidade, também devem estar voltadas à definição de um sistema de previsibilidade de comportamentos futuros, atuando sobre as estratégias da organização através de propostas cíclicas de desenvolvimento e de busca de resultados mais realistas (6) (7) (41).

O novo modelo de auscultação e monitoramento de barragens necessita apoiar-se dentro da estratégia a que se propõe, englobando a compatibilidade com visão de organização no futuro, estabelecendo sintonia pró-ativa entre as partes.

Com essa base de interação, há o desenvolvimento de critérios de avaliação considerando a análise da performance do modelo atual, dos sistemas administrativos e gerenciais associados (existentes) e os vínculos com os demais processos organizacionais, com o planejamento da melhoria de performance e auto-aprimoramento (melhoria contínua) e ações que provocam intervenções efetivas para a melhoria de performance e desenvolvimento.

A caracterização da proposta de Sink & Tuttle (57), ao identificar sistemas a “montante” e a “jusante”, que funcionam como “input” e “output”, o atual e o futuro, direciona os esforços para a definição do cenário propício ao estabelecimento dos ganhos, obtidos em termos de valores agregados, bem como da capacitação de transformação dos dados, aceitos como fidedignos, em informações pertinentes ao desempenho real da estrutura.

Na escala de aumento de performance estabelecida como referência, a determinação da amplitude da variação pretendida pode ser apreciada, ajustada e controlada em estrita relação com os alvos de crescimento, com as disponibilidades de recursos, parciais ou totais, que envolvem a organização como um todo.

Com a perspectiva de estabelecer um processo de gerenciamento da performance, é sugerido o seguinte fluxo de atividades:

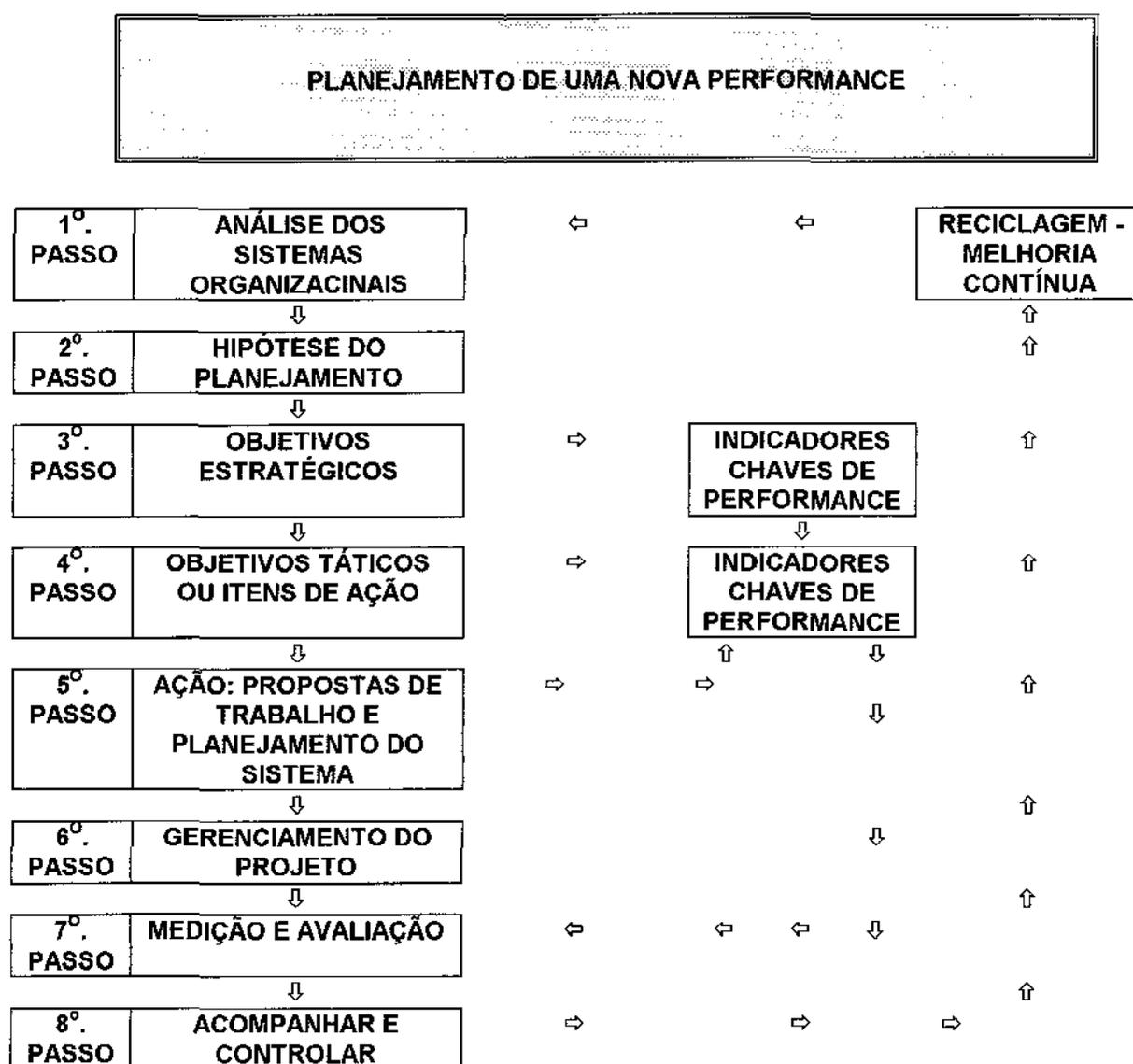


FIGURA 1.3 - OS OITO PASSOS SUGERIDOS POR SINK & TUTTLE PARA O PLANEJAMENTO E BUSCA DE PERFORMANCE

Na realidade, a proposta dos oito passos de Sink & Tuttle (57) reflete o **P.D.C.A.**, de Deming (17), visto sob uma ótica espacial, ou de desdobramento genérico, envolvendo as etapas de planejamento (passos 1 e 2), desenvolvimento (passos 3, 4 e 5), aferição ou “checagem” (passos 6 e 7) e de execução (passo 8).

## CAPÍTULO II

### A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRAGENS

Auscultar e monitorar a segurança de barragens constituem um conjunto de atividades altamente especializadas, multidisciplinares e complexas, cujo objetivo principal é o desenvolvimento de análises sobre o comportamento da performance das mesmas, bem como para a formulação diagnóstico sobre o desempenho operacional e estrutural (27).

Desse modo, busca-se estabelecer o confronto / reciprocidade das condições projetadas e aquelas observadas ao longo do tempo, considerando, inclusive, a diversificação de situações, esforços e solicitações reais.

A segurança de uma barragem é definida como a capacidade máxima de que a mesma é investida para resistir à variação das características operacionais e funcionais, oferecendo determinado grau de confiabilidade, o qual projeta a durabilidade do empreendimento segundo parâmetros técnicos, físicos e econômicos (19) (20) (25).

Em termos de confiabilidade pode-se deparar com as seguintes alternativas limites (27):

- uma barragem tecnicamente muito segura equivale a um evento pouco econômico;

- por outro lado, uma barragem cuja construção pode ser considerada como cara não reflete, necessariamente, empreendimento seguro ou confiável.

Isto equivale, na prática, a confirmar que existem notáveis diferenças entre os produtos projetados e aqueles construídos, bem como são relativamente distintas as consequências de performance estimadas das realmente observadas.

Os métodos de cálculo utilizados contêm simplificações de hipóteses de dimensionamento, aproximações nas descrições das propriedades dos materiais (médias ou mínimas), bem como decorrentes de associações e simulações a partir de modelos de semelhança teórica.

Há que se considerar que os processos construtivos das barragens só podem ser considerados como artesanais, ou seja, a experiência comprova que não existem dois casos semelhantes, uma vez que as condições que envolvem tais empreendimentos são completamente diferentes. Daí decorre a maior parcela das dificuldades de estabelecer as condições do sistema ou processo com características claras, definidas e previsíveis.

Como consequência, o desempenho dessas estruturas pode ser entendido como evento individualizado, cuja interpretação é sujeita à heterogeneidade de aspectos e fatores (22) (23) (26) ( relacionados às diferenças observadas, que podem ser ordenadas, segundo o diagrama de Ishikawa (8) (9) (32):

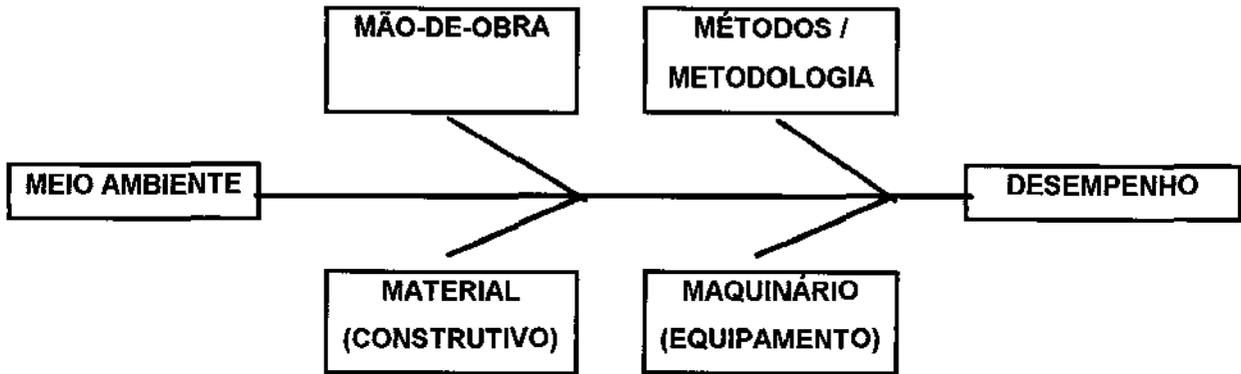


FIGURA 2.1 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA - VOLTADO À AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS

1. **métodos e metodologias** empregues, desde as fases iniciais de levantamentos e investigações até o desenvolvimento do projeto executivo e o gerenciamento da vida útil do empreendimento;
2. **mão-de-obra** utilizada, que deve ser altamente especializada e, no caso da sua ausência, é comum observar-se que este fator constitui um dos principais agentes geradores de defeitos e não-conformidades observados nas estruturas edificadas;
3. **material construtivo** é especificado de acordo com a experiências e a expectativa dos projetistas, porém, nem sempre estão disponíveis no local ou momento necessário: a todo instante, surgem novos materiais com desempenhos diferenciados ou *similares*, pouco aferidos em experimentos práticos, algumas vezes empregues fora de suas especificações originais, podendo acarretar sucessos ou fracassos dependendo da competência de quem o indicou;
4. **equipamentos** usados em todas as fases do empreendimento, incluindo-se os de auscultação, ou sensoreamento, também acarretam significativas diferenças no produto obtido e nas conclusões sobre as características de segurança e desempenho, dificultando o relacionamento entre o projetado e o construído;

5. **meio ambiente** é o fator que mais tem chamado a atenção nas últimas pesquisas sobre a segurança de barragens, incidindo nos outros aspectos, era completamente desprezado em função do desconhecimento técnico até recentemente (27).

Ainda hoje, ao monitorar e auscultar a segurança de barragens, a despeito das responsabilidades e dos riscos envolvidos, resente-se da pouca eficiência e apresenta baixa performance na obtenção de resultados efetivos.

A variabilidade é tão grande que os empreendimentos, considerados como conjunto de técnicas ou métodos, materiais, equipamentos, mão-de-obra e meio ambiente específico, resultam em alternativas únicas capazes de atender às condições inerentes ao suposto melhor benefício técnico-econômico.

Mesmo assim, é pouco provável que um exemplo bem sucedido possa ser transmitido para outros casos, senão por partes bem definidas ou localizadas.

As empresas proprietárias de barragens, mesmo aquelas que se esforçam para efetuar o monitoramento e auscultação da segurança com esmero e dedicação, esbarram na aleatoriedade dos processos envolvidos, na dispersão de situações possíveis e prováveis, na ausência de padronização de procedimentos e, infelizmente, na omissão da legislação, especialmente nos países do terceiro mundo, nos quais há, por ironia ou sabedoria, o predomínio dos recursos hídricos (cerca 80%).

O grande obstáculo à plena utilização deste dispositivo ainda hoje recai na impossibilidade de previsão das condições reais mais severas, ou seja, dos limites de solicitação, probabilidade de ocorrência, superação ou não, bem como da consolidação das mesmas ao longo do tempo, adequando-as às inúmeras outras utilizações incorporadas com o passar do tempo.

O problema básico reside em: como controlar as condições de segurança e de desempenho daquelas estruturas com a inclusão de inúmeras variáveis inicialmente não previstas, ou desconhecidas, na fase de projeto?

Partindo da identificação do problema, pode-se usar o processo conhecido como 5W e 1 H (8) (9), ou seja:

<b>WHAT?</b>	O QUE É AUSCULTAR E MONITORAR E BARRAGENS?
<b>WHY?</b>	PORQUE AS BARRAGENS DEVEM SER AUSCULTADAS E MONITORADAS?
<b>WHERE?</b>	ONDE SE FAZ A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRRAGENS?
<b>WHO?</b>	QUEM FAZ A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRAGENS?
<b>WHEN?</b>	QUANDO SE FAZ A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRAGENS?
<b>HOW?</b>	COMO SE FAZ A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO E DE BARRAGENS? QUANTO CUSTA FAZER A AUSCULTAÇÃO E O MANITORAMENTO DE BARRAGENS?

FIGURA 2.2 - "5 W's E 1 H APLICADOS A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS

#### • O QUE É AUSCULTAR E MONITORAR BARRAGENS?

Consiste num conjunto de atividades de observação, cálculo, análise e diagnóstico das condições de existência, funcionamento e desempenho de barragens e estruturas hidráulicas anexas, que visam acompanhar o respectivo funcionamento, desde a fase de projeto até o fim da vida útil do empreendimento, em alguns casos, após este período.

Segundo as estatísticas internacionais divulgadas pela American Society of Civil Engineers, através das constatações estudadas pelas The Comitee on Failures and Accidents to Large Dams e Unites States Comitee on Large Dams, que orientaram a publicação "Lessons from Dam Incidentes" - USA, em 1975 (51), bem como através da publicação da edição completa do "Lessons from Dam Incidentes" (30), divulgada em 1974, e pela International Commission on Large Dams - (31), as atividades de monitoramento e auscultação de barragens assumem significativa importância.

Cerca de 50% das barragens acidentadas ou rompidas tiveram registro desses eventos por ocasião de sua construção ou durante o primeiro enchimento do reservatório - mais ou menos 3 anos após a conclusão das obras. Entretanto, outros 50% das obras concluídas e em funcionamento, vieram a apresentar problemas ao longo do período operacional, comprometendo o retorno do investimento e provocando danos consideráveis às populações e instalações localizadas a jusante das barragens.

Para o acompanhamento do desempenho das barragens é indispensável a utilização de dispositivos sensores capazes de fornecer *dados pontuais*, que são interpretados com o objetivo de determinar indícios sobre o *comportamento global* da barragem. É requerida metodologia específica, especialização, capacidade de análise e correlação dos fenômenos inerentes a cada caso, realização de sistemática de inspeções, sempre com a preocupação de caracterizar o melhor possível o modelo que mais se aproxima da real situação de segurança e de operacionalidade.

Em síntese, monitorar e auscultar barragens significa manter equipes altamente especializadas e capacitadas a *interpretar fatos para presumir fenômenos*, a partir de instrumentação e inspeções periódicas, o que só ocorre com o tempo e após muito treinamento (12) (27).

- **PORQUE AS BARRAGENS DEVEM SEREM AUSCULTADAS E MONITORADAS?**

A justificativa possível de ser utilizada é a de que este é o ÚNICO RECURSO DISPONÍVEL que permite, mesmo que de forma aproximada, avaliar as características e condições de previsão, acompanhamento e avaliação da segurança e do desempenho das estruturas, bem como obter orientações objetivas quanto as ações necessárias à determinação da performance desses tipos de estruturas.

Também, através da auscultação e do monitoramento é possível propor medidas de caráter preventivo ou até corretivo, para a manutenção das condições de estabilidade e confiabilidade estabelecidas e necessárias a operação das mesmas (27).

- **ONDE SE FAZ A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRAGENS?**

Em todas as áreas e estruturas de retenção de uma curso d'água, onde detectar-se que há um comprometimento, mesmo que potencial, entre o aproveitamento estabelecido e o meio ambiente existente no seu entorno, especialmente a jusante da mesma, observando-se a capacidade da reservação produzir, ou não, danos significativos à população, ao meio e às atividades sócio-econômico-culturais existentes (27).

- **QUEM FAZ A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRAGENS?**

Equipes multidisciplinares envolvendo áreas de especialização em: geotecnia, geologia, estrutura, hidráulica, hidrologia, fundações, topografia, caracterização de materiais construtivos, instrumentação, laboratório, prospecção, estatística,

desenvolvimento de sensores, sistemas e modelos reduzidos, matemáticos, determinísticos, cenários e simulações operacionais (27).

É indispensável que este tipo de equipe reúna pessoal experiente em projetos, construções, operação e manutenção para que o monitoramento e a auscultação de barragens possa ser realizada de modo objetivo e efetivo.

Apesar dos participantes dessas equipes serem naturalmente dotados de elevado grau de independência de ações, os esforços maiores são direcionados ao desenvolvimento do espírito criativo e investigativo coletivo, aumento da capacidade de avaliação de cenários, análise de situações e muito senso crítico.

As equipes tendem a buscar as inovações tecnológicas para obter as condições básicas para suplantar as dificuldades inerentes à complexidade do assunto e à diversidade de situações, sempre em apoio as questões comuns.

É normal observar que os casos excepcionais não constituem exceção, mas sim, quase uma regra, envolvem a necessidade de aglutinar, às equipes básicas, o auxílio de consultores e especialistas que, geralmente, acabam se tornando vetores ou catalisadores das inovações e desenvolvimento tecnológico.

- **QUANDO SE FAZ A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRAGENS?**

Em se tratando de atividade sistêmica e contínua, a coleta dos dados obedece a uma frequência, determinada em função de critérios associados às hipóteses assumidas durante a fase de projeto.

A periodicidade para coleta de dados em instrumentação deve ser definida caso a caso, porém instituições como a International Commission on Large Dams - I.C.O.L.D. (31), ou o Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa - LNEC (35), Comitê Brasileiro de Grandes Barragens - C.B.G.B. (13), entre outras, fornecem diretrizes básicas para a formulação de uma política de monitoramento e as metas perseguidas com a auscultação.

A periodicidade, ou frequência de leitura tende a seguir critérios relacionados a: idade da estrutura, tipo de fenômeno que desperta o interesse para observação, tipo de instrumento / sensor existente, expectativas de carregamento e demais condições externas, assim como da experiência acumulada sobre o comportamento da própria barragem.

Tal periodicidade também é orientada pelos organismos técnicos e institucionais, envolvendo outros importantes agentes, tais como: potencial de risco do empreendimento, condições de operação e manutenção, podendo, inclusive, gerar um programa de inspeções e investigações extraordinárias.

As análises numéricas determinísticas, estatísticas ou decorrentes das revisões conceituais de projetos devem ser desenvolvidas continuamente, principalmente em função da crescente disponibilidade de ferramentas que são colocadas à disposição pela informática e pelo desenvolvimento de sistemas de interpretação, nos quais a análise do processo ganha prioridade em relação à prática convencional baseada apenas na consecução de tarefas e metas determinadas (15) (50).

Entretanto, mesmo nos dias de hoje, infelizmente, poucos são os proprietários de barragens que efetuam o monitoramento e a auscultação de barragens, mesmo do modo antiquado, desprovido de sentido de confiabilidade e atrelado

apenas a registro de ocorrências. Talvez a explicação desta constatação possa ser observada no disposto a seguir.

- **COMO SE FAZ A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRAGENS?**

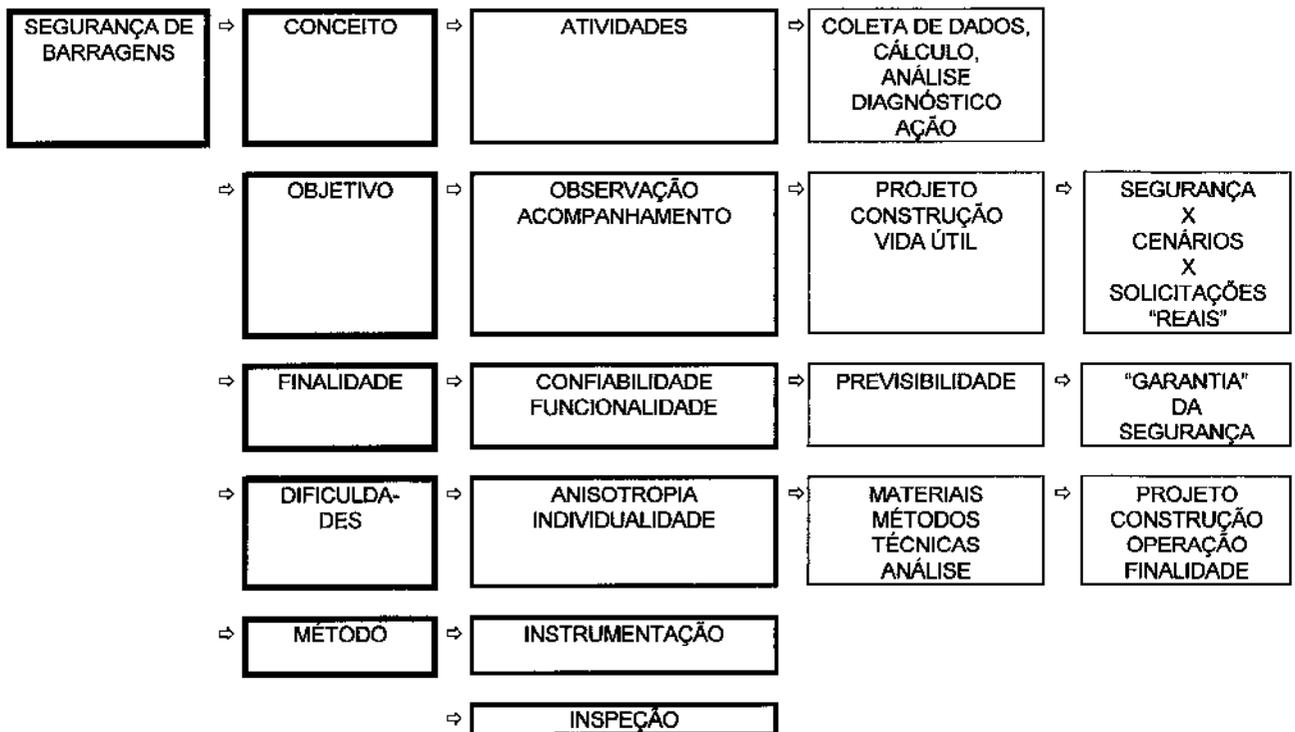
Têm como conceituação o aprimoramento das atividades de coleta de dados, cálculo e processamento, análise, diagnóstico e proposição de ações objetivando efetuar a observação do acompanhamento do desempenho das barragens ao longo do tempo, caracterizando a segurança disponível face aos cenários previstos e às solicitações efetivas (19) (25) (26) (37).

Busca-se obter as características de funcionalidade e confiabilidade de forma a tornar possível a previsão da variação da segurança.

Neste processo, condições de anisotropia de propriedades e a predominância da individualidade das características de materiais, métodos construtivos e da análise comportamental são correlacionadas às condições especificadas para o projeto, construção, operação e manutenção, dentro da finalidade do empreendimento.

Para tanto, são usados os dois únicos meios disponíveis, ou seja: **inspeção** e **instrumentação**.

Basicamente, as atividades (25) de monitoramento e auscultação de barragens podem ser resumidas conforme indicado no quadro indicado a seguir:



**FIGURA 2.3 - ESQUEMA GERAL DE CONTROLE DE BARRAGENS ATRAVÉS DA AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO**

• **QUANTO CUSTA FAZER A AUSCULTAÇÃO E O MONITORAMENTO DE BARRAGENS?**

Nos casos em que trata-se de estrutura nova, já atualizada em termos tecnológicos e métodos construtivo, nos quais há maior controle dos processos e melhor garantia de previsibilidade do comportamento dos materiais e da concepção escolhida, os custos decorrentes do monitoramento e da auscultação de barragens, apurados internacionalmente por Stanley Wilson (59) são os seguintes:

INSTRUMENTOS / SENSORES	%
	US\$ INSTRUMENTAÇÃO US\$ INVESTIMENTO GLOBAL (*)
AQUISIÇÃO	0,010% a 0,040%
INSTALAÇÃO	0,015% a 0,060%
OPERAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS	0,025% a 0,100%

(\*) custo do empreendimento relacionado ao projeto e construção da barragem

**FIGURA 2.4 - CUSTOS ENVOLVIDOS COM A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS**

Analisando o caso da ELETROPAULO - Eletricidade de São Paulo S/A, como referência para avaliação do montante de recursos financeiros envolvidos anualmente com este tipo de atividade, tem-se o seguinte demonstrativo, para um total de 24 barragens, 78 estruturas associadas e cerca de 1600 instrumentos de medição.

CARACTERÍSTICA CONSIDERADA	CUSTO ANUAL US\$
1. MANUTENÇÃO DE EQUIPE DE PROFISSIONAIS E ESPECIALISTAS- INSTRUMENTAÇÃO/INSPEÇÃO/LEVANTAMENTOS/INVESTIGAÇÕES / - EQUIPE COM 18 PROFISSIONAIS	1.500.000 (*)
2. EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS E ÁREA DE INFORMÁTICA - EQUIPE COM 5 PROFISSIONAIS	400.000 (*)
3. MANUTENÇÃO / REPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	100.000
4. COMPLEMENTAÇÃO MANUTENÇÃO DE INSTRUMENTOS E SENSORES DE MONITORAMENTO E AUSCULTAÇÃO	50.000
5. DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO	350.000
<b>TOTAL / ANO</b>	<b>2.400.000</b>

(\*) INCLUINDO ENCARGOS SOCIAIS

**FIGURA 2.5 - CUSTOS DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS - APLICADO À ELETROPAULO - ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S. A.**

Assim, relacionando o custo anual com as atividades desenvolvidas pode-se ter o seguinte:

$$\text{TAXA DE INVESTIMENTO ANUAL} = \frac{\text{INVESTIMENTO TOTAL}}{A \times B \times C}$$

**A** = N°. DE ESTRUTURAS PRINCIPAIS + ESTRUTURAS ANEXAS

**B** = N°. INSTRUMENTOS INSTALADOS

**C** = N°. FUNCIONÁRIOS ENVOLVIDOS EM INSTRUMENTAÇÕES E INSPEÇÕES;

No caso em estudo:

$$t_{ia} = (2.400.000)/(24+78) \times (1.600) \times (18+5)$$

$$t_{ia} = 0,64 \text{ US\$ ano / estrutura x instrumento x funcionário}$$

Se os custos apresentados podem parecer elevados, a não observância de tal procedimento, prevista nas respectivas Legislações dos diversos países, como por exemplo no Brasil, através da Lei Federal nº. 6159, de 1985, na qual é instituída a obrigatoriedade das inspeções periódicas em estruturas e obras de arte de engenharia civil, em caso de acidentes, a empresa e seus funcionários responsáveis poderão responder judicialmente nas esferas cível e criminal.

Em se comprovando a negligência, a condenação será inevitável e as indenizações correspondentes praticamente seriam **impagáveis**.

A existência de um sistema de monitoramento e auscultação eficiente não garante totalmente a integridade e a segurança de uma barragem, porém, constitui único meio de buscar simulações de situações, as quais se deseja evitá-las, tomando as medidas cabíveis de um caráter preventivo.

Em outras palavras, o monitoramento e a auscultação de barragens buscam propiciar ação preventiva de modo a evitar, tanto quanto possível, condições corretivas devidas a estágios de ruptura.

## CAPÍTULO III

### O CONFRONTO ENTRE SEGURANÇA E RISCO

A abordagem deste assunto será efetuada através de considerações divididas em tópicos, segundo os seguintes enfoques: controle da segurança de barragens, conceito sobre segurança, incluindo a avaliação da segurança sob o enfoque de desempenho técnico-histórico, relacionando os fatores atuantes (internos ou externos).

#### • CONTROLE DA SEGURANÇA DE BARRAGENS

Conforme apresentado entende-se como controle da segurança de barragens ao conjunto de atividades de observação, cálculo, análise e diagnóstico das condições de existência e de funcionamento, o que equivale a acompanhar o seu desempenho, desde o processo de projeto, passando pelo período construtivo até o fim de sua vida útil, detendo-se no cumprimento satisfatório das respectivas finalidades, ou ainda, das novas características do empreendimento, como um todo, e da região em que está edificado (25). Também é chamado no meio técnico especializado pelo termo AUSCULTAÇÃO, algumas vezes de MONITORAMENTO da segurança estruturas hidráulicas.

É comum assumir a auscultação como parte de um conjunto de trabalhos que visam monitorar a segurança, através de medições e interpretações das leituras obtidas em dispositivos instalados no corpo de uma barragem, além da observação direta da estrutura.

No entanto, isso exige metodologia complexa, alta especialização, conhecimento sobre desempenho de materiais, analogias operacionais, extrapolação e interpolação de fenômenos, inspeções contínuas e periódicas, adequação temporal ao uso e à operação definida originalmente. Significa manter equipes interpretando fatos para presumir fenômenos (27).

O domínio do assunto, mesmo que parcialmente, está longe de ser visualizado, e o estágio atual é fruto de muito trabalho, pesquisa, tempo e de recursos materiais e financeiros. Por mais que se suponha conhecer uma barragem em seus diversos aspectos, tais como, geotécnicos, hidrológicos, estruturais, geométricos, projetados ou construtivos, entre os diversos atuantes, pouco se pode afirmar sobre o seu desempenho real (23) (24).

Embora no Brasil a Legislação sobre o assunto esteja muito omissa e despreparada para atender às necessidades e ao porte das barragens espalhadas pelo País, as normas de segurança de projeto, de construção e de operação são razoavelmente adequadas aos padrões usuais e disponíveis num nível internacional (3) (4) (13).

Tal fato se dá, provavelmente, em função do País ser privilegiado em termos da inexistência de influências significativas e severas, tais como: terremotos, tufões, inverno rigoroso. Em contrapartida, as peculiaridades hidrometeorológicas, espetacularmente severas, típicas de regiões equatoriais e tropicais, desconhecidas pelos grandes centros de desenvolvimento, justificam o aprimoramento de técnicas regionais. Isso é realçado, também pela constatação de que 80% dos recursos hídricos naturais, de água doce, estão localizados no hemisfério sul, em região de menores recursos tecnológicos e financeiros.

As especificações tendem a superar às exigências mínimas de segurança, bem como fazer com que sirvam apenas como referencial de balizamento das observações e ações, sempre em de correspondência aos critérios de projeto, às condições operacionais e limites estabelecidos para o comportamento dos materiais utilizados.

No entanto, a despeito de todos os inúmeros controles, a variabilidade das condições e das características observadas é muito grande, fazendo com que sistemas especiais tenham tratamento diferenciados dos demais.

Paulatinamente verifica-se a incorporação de alterações práticas e conceituais, tais como as "Diretrizes para Inspeção e Avaliação da Segurança de Barragens" (12) (13), elaboradas pela Comissão de Segurança do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens - ICOLD (30) (31), cujo reflexo observou-se em diversos eventos, tais como nos Seminários Nacionais de Grandes Barragens de 1963 (São Paulo), 1976 (Fortaleza), 1978 (São Paulo), 1985 (Belo Horizonte), bem como foi tema especial do Simpósio sobre Segurança de Barragens em 1986 (São Paulo) (3) (4).

Destaque especial deve ser dado à constante preocupação dos técnicos do setor hidroelétrico, que a cada dois anos promovem encontros técnicos para discutir e apresentar avanços tecnológicos neste sentido.

## • O CONCEITO SOBRE SEGURANÇA

O entendimento prático da segurança, seguindo abordagens dinâmicas e conjunto de critérios de posturas temporais - muito comuns neste tipo de aproveitamento, são susceptíveis ao desenvolvimento da tecnologia e do aperfeiçoamento de equipamentos de observação e medição, entre vários outros aspectos, introduzindo condições desconfortáveis envolvendo o estabelecido pela prática e o proposto pelo aperfeiçoamento das recentes descobertas.

Em situações de aparente conflito destacam-se conceituações convencionais, seguindo hábitos antiquados e tradicionais, e outros decorrentes do desenvolvimento tecnológico, alguns ainda em fase de implantação e testes, modernos em relação ao estágio atual mas perfeitamente suplantados em poucos anos (27).

#### **a) Conceito Antiquado:**

Até um passado recente (1960) poucas eram as estruturas, ou empresas, que associavam à segurança das barragens uma eventual abordagem do acompanhamento do desempenho através de controles estabelecidos por meio de instrumentos e inspeções.

As técnicas de controle de qualidade, aparentemente, não se ajustavam às necessidades presentes, uma vez que a abordagem sistêmica dificilmente poderia reproduzir toda a variabilidade dos processos e fenômenos existentes. A garantia da segurança é estabelecida numa prática irreal, que mais justifica o desconhecimento do assunto do que domínio tecnológico, baseando-se na afirmativa: "Se ficou de pé não cai mais" (23) (24) (27).

Nesse período costumava-se caracterizar a segurança como um fator estático, que relacionava a intensidade das forças estabilizantes com as solicitações máximas previstas as quais, por seu lado, constituiriam as forças instabilizantes. Assim surgiu o coeficiente de segurança, que nada mais representa senão uma majoração das características da relação mencionada de um percentual considerado satisfatório frente ao desconhecimento dos fenômenos atuantes.

$$\text{CONCEITO SOBRE} \quad \text{FORÇAS ESTABILIZANTES} \\ \text{SEGURANÇA (mínima)} = \frac{\text{-----}}{\text{FORÇAS INSTABILIZANTES}} = 1$$

Portanto,

$$\text{FATOR DE SEGURANÇA} = \text{SEGURANÇA} \times \text{FATOR DE MAJORAÇÃO} \\ \text{(CONCEITO)} \quad \text{(MINIMA)} \quad \text{(IGNORÂNCIA)}$$

**FIGURA 3.1 - FATOR DE SEGURANÇA - CONCEITO CONVENCIONAL**

Em ambos os casos, a consideração básica consiste na abordagem puramente estática, materiais homogêneos, meios isotrópicos, ausência da atuação de agentes modificadores da condição inicial, exceto para o ganho de resistência.

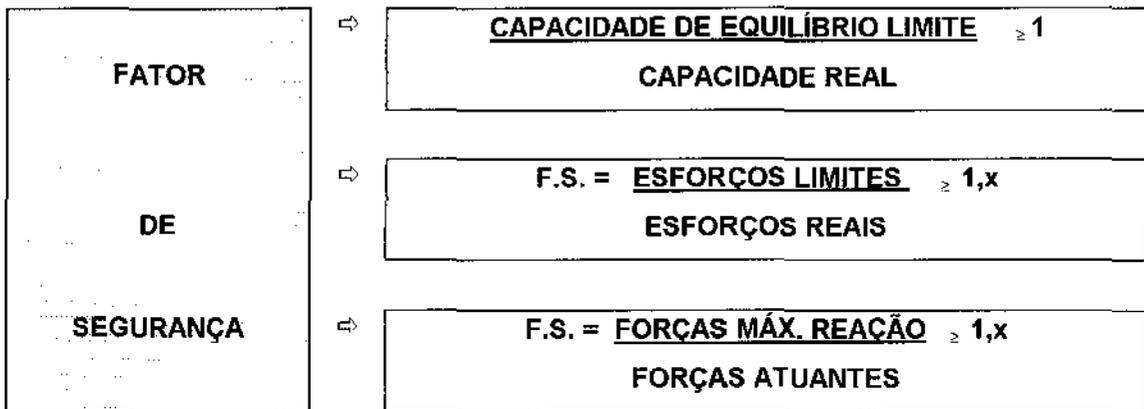
#### **b) Conceito em Desenvolvimento ou em Implementação**

O desenvolvimento tecnológico incorporou, a partir de constatações sobre o desenvolvimento das FORÇAS INSTABILIZANTES, inúmeras condições, dentre as quais resumidamente apresenta-se as seguintes:

O fator de segurança deixa de ser um coeficiente numérico fixo, passando a ser assumido como uma variável resultante de uma função obtida a partir do relacionamento da capacidade necessária para manter o equilíbrio, em sua condição limite e a capacidade real momentânea.

Caracteriza-se a existência de uma desigualdade entre os esforços limites e os reais, do mesmo modo que se verifica a relação entre as forças máximas de reação, que podem ser mobilizadas, e aquelas que atuam em resposta aos esforços solicitantes (previstos).

Esta desigualdade é representada por um fator de segurança  $\geq 1, x$ , sendo que  $x$  é uma variável que caracteriza o percentual de majoração (positiva ou negativa), assumido para análise.



**FIGURA 3.2 - COEFICIENTE DE SEGURANÇA - CONCEITUAÇÃO PARA UMA NOVA ABORDAGEM COM ALTA PERFORMANCE**

Face às diferenças de estimativas e justificativas apresentadas, incertezas de cálculo e estimativas ampliadas, fazendo com que tais fatores de segurança oscilem de acordo com o tipo de obra que se considera, no quadro indicado a seguir, procura-se ilustrar tal postura, destacando a diversificação do assunto e os parâmetros recomendados pelos especialistas, em passado recente, com base nos modelos estatísticos.

Nesses modelos, as características físicas e as propriedades dos materiais construtivos são aceitas como fixas e imutáveis. Além disso, têm certo grau de pretensão no balizamento no entendimento do comportamento global das estruturas, independentemente das condições do meio e da utilização das mesmas.

É evidente que quanto maior for a componente decorrente da incerteza, maior ainda será a majoração dos coeficientes de segurança sugeridos. Procura-se estabelecer, por eliminação da probabilidade de ocorrência dos limites de solicitação superiores, a manutenção das condições de estabilidade, ou de respostas, em níveis medianos (22).

COEFICIENTE DE SEGURANÇA				MÍNIMO	MÁXIMO	REFERÊNCIA
ESTABILIDADE DE TALUDES				1,0	1,5	(1)
				1,3	1,5	(3)
PRESSÃO DE PESO DE TERRA				1,0	1,5	(1)
				1,5	2,0	(3)
FUNDAÇÕES	ESTRUTURAS			2,0	3,0	(3)
	CAPACIDADE DE CARGA			2,0	3,0	(1)
	ESTACAS	PROVAS DE CARGA	GERAL	1,6		(2)
			ESTACAS ENSAIADAS	1,4	1,25	(4)
			OUTRAS	1,6	1,45	(4)
MELHORES OPER.		2,0		(2)		
PERCOLAÇÃO	SUB-PRESSÃO			1,5	2,5	(3)
	"PIPING"			3,0	5,0	(3)

(1)...LUMB; (2)...DANISH CODE OF PRATICE; (3)...MEYRHOFF - 1969; (4)...SWEDISH GEOTÉCNIC INSTITUTE

FIGURA 3.3 - COEFICIENTE DE SEGURANÇA - VALORES USUAIS

### • FATORES ATUANTES

Para se caracterizar de forma dinâmica e eficiente os fatores atuantes em uma barragem, deve-se classifica-los segundo as respectivas magnitudes de influência no processo de modificação das condições originais. Fatores decorrentes dos materiais empregues na construção e os de contorno, devidos a inserção do barramento em um determinado meio, bem como as variações observadas ao longo do tempo, os identificam como internos ou externos ao aproveitamento.

## • FATORES INTERNOS

São considerados como fatores internos básicos, aqueles intrínsecos aos materiais e às condições locais que podem ser relacionados a eventos de natureza física, química ou biológica.

O quadro, apresentado a seguir, exemplifica a tipologia dos agentes que provocam as alterações e respectivas formas de atuar (11) (22) (23) (24) (27) (43) (54).

AGENTE	EXEMPLIFICAÇÃO	CONSEQUÊNCIA
<b>FÍSICO</b>	CARREAMENTO DE MATERIAIS - no interior da barragem -	AUMENTO DOS VAZIOS NO CORPO DA BARRAGEM;
	LIXIVIAÇÃO	AUMENTO DE PERMEABILIDADE A MONTANTE
<b>QUÍMICO</b>	CARBONATAÇÃO	FORMAÇÃO DE CROSTAS
	COLMATAÇÃO	IMPERMEÁVEIS
<b>BIOLÓGICOS</b>	DESENVOLVIMENTO DE COLÔNIAS DE FERRO- BACTÉRIAS	INOPERÂNCIA, PARCIAL OU TOTAL, DOS SISTEMAS DE FILTRAGEM E / OU
	MATÉRIA ORGÂNICA	DRENAGEM

FIGURA 3.4 - FIGURA ILUSTRATIVA DOS AGENTES ATUANTES NA SEGURANÇA - FATORES INTERNOS

## • FATORES EXTERNOS

São aqueles que atuam no comando da dinâmica que interfere no funcionamento da barragem, independente das características da obra propriamente dita. Estão ligados ao ambiente no qual tais estruturas estão inseridas, podendo ser divididos em gerais e específicos, dependendo da abrangência do foco observado.

### a) FATORES EXTERNOS - GERAIS

Numa abordagem geral, os fatores externos gerais podem ser divididos, conforme sua gênese, em econômicos, sociais naturais (ou ambientais). O quadro apresentado, a seguir, ilustra, através de exemplificação, a características dos fatores mencionados, bem como fornece uma idéia genérica do assunto (22) (23) (24) (27) (40).

FATORES	EXEMPLOS
<b>ECONÔMICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SISTEMA INDUSTRIAL E DE PRODUÇÃO</li> <li>• FLUXO DE CIRCULAÇÃO DE MERCADORIAS</li> <li>• POLOS DE DESENVOLVIMENTO</li> <li>• OCUPAÇÃO DEMOGRÁFICA</li> <li>• SALÁRIOS MÉDIOS / RENDA PER-CAPITA</li> <li>• OUTROS</li> </ul>
<b>SOCIAIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CULTURA</li> <li>• EXPRESSÃO POLÍTICA</li> <li>• HÁBITOS</li> <li>• NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO GERAL</li> <li>• FACILIDADES EDUCACIONAIS</li> <li>• NECESSIDADE DE ATIVIDADES DE LAZER</li> <li>• OUTROS</li> </ul>
<b>NATURAIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CLIMA</li> <li>• HIDROGRAFIA</li> <li>• VEGETAÇÃO</li> <li>• GEOGRAFIA / TOPOGRAFIA</li> <li>• SISMICIDADE</li> <li>• RECURSOS NATURAIS</li> <li>• OUTROS</li> </ul>

**FIGURA 3.5 - FATORES ATUANTES - EXTERNOS GERAIS**

## b) FATORES EXTERNOS - ABORDAGEM ESPECÍFICA

São os fatores externos que atendem a uma determinada peculiaridade, mesmo de característica aparentemente geral. São também considerados como capazes de influenciar o “desempenho dinâmico” das barragens, atuando de modo bastante peculiar e independente dos outros agentes.

Embora classificados como fatores externos, são responsáveis diretos pela diferenciação / individualização das reações dos empreendimentos, conforme apresentado a seguir (22) (23) (24) (27) (40) (42) (43):

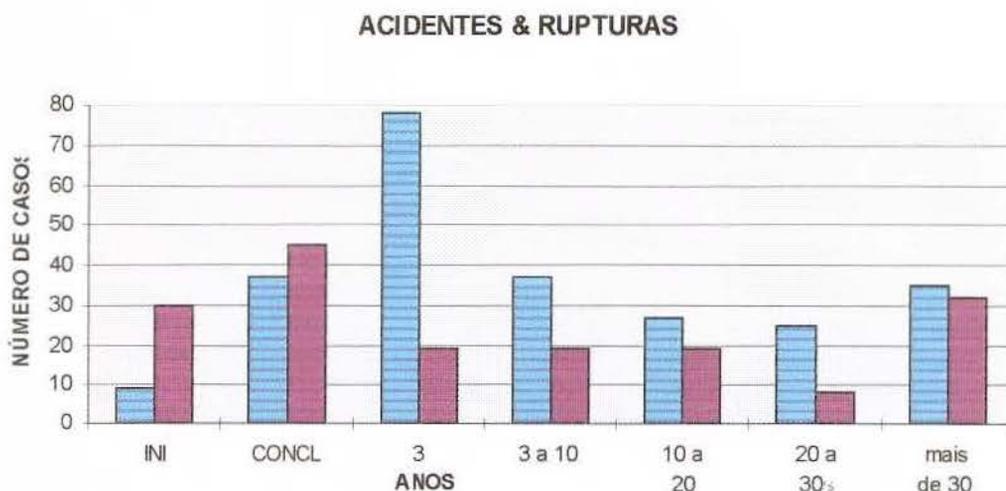
ASPECTO	FATOR / AGENTE	DETALHE
INSERÇÃO REGIONAL	MEIO - AGRESSIVIDADE	TROPICAL SUBTROPICAL TEMPERADO DOCE
	VEGETAÇÃO	
	SOLO	FORMAÇÃO PEDOLÓGICA ERODIBILIDADE
	HIDROGRAFIA	BACIA AMAZÔNICA SEMI-ÁRIDO BRASIL MERIDIONAL
	OCUPAÇÃO DEMOGRÁFICA	NORTE => BAIXA CENTRO / NORDESTE => MÉDIA SUL / SUDESTE => ALTA
SISTEMA DE BARRAGENS	- ORIGEM	
	- EVOLUÇÃO	
	- CONSEQUÊNCIAS	SOCIAIS ECONÔMICAS AMBIENTAIS
DINÂMICA OPERACIONAL	- DESEMPENHO HISTÓRICO	
	- RECURSOS E TENDÊNCIAS	
TIPOLOGIA	- TERRA	MACIÇOS - HOMOGÊNEOS - ZONEADOS ATERROS - LANÇADOS - COMPACTADOS - HIDRÁULICOS
	- ENROCAMENTO	ARGAMASSADO COM MEMBRANA IMPERMEÁVEL COM FILTRO VERTICAL/INCLINADO
	- CONCRETO	GRAVIDADE ARCO ARCO-GRAVIDADE CONCRETO-ROLADO
	- ALVENARIA	
	- OUTROS	CONVENCIONAIS NÃO-CONVENCIONAIS MISTAS

FIGURA 3.6 - FATORES ATUANTES - EXTERNOS ESPECÍFICOS

## • SEGURANÇA SOB O ENFOQUE DE DESEMPENHO TÉCNICO-HISTÓRICO

Procurando analisar o desempenho das barragens ao longo do tempo, através dos insucessos observados através de registros oficiais, conclui-se que há uma expectativa diferenciada entre os grupos identificados, cujas respectivas experiências demonstram condições diferenciadas de preocupações e de disponibilidade de tecnologia.

A figura a seguir ilustra, numericamente, o exposto (23) (27) (51):



**FIGURA 3.7- HISTOGRAMA: (ACIDENTES + RUPTURAS) X (PERÍODO DA VIDA ÚTIL DAS BARRAGENS)**

As feições das distribuição do histograma devem-se, em parte, à maior tecnologia disponível aplicada nos Estados Unidos (assinalado em azul), com uma distribuição muito próxima da curva normal, ao passo que nos demais países há uma forte tendência à concentração do número de acidentes e rupturas na fase inicial de construção e operação inicial.

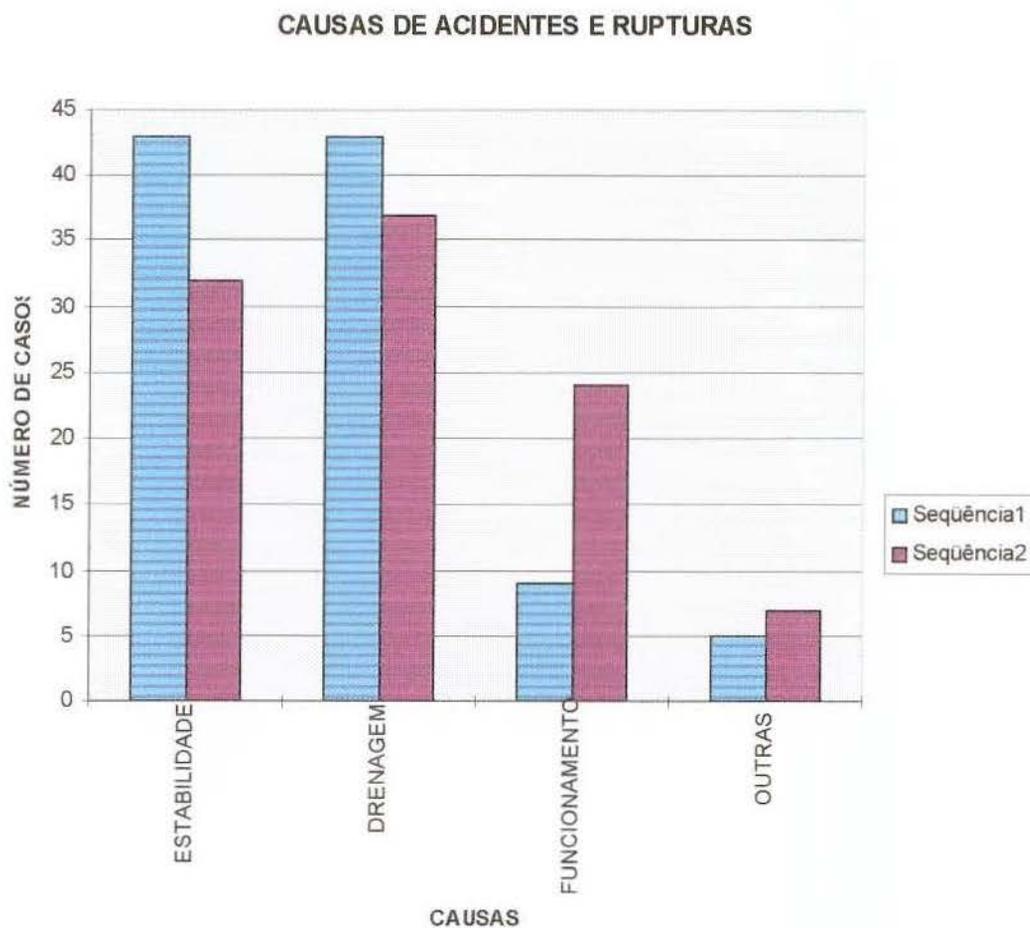
O limite estabelecido em 30 anos, como ponto de inflexão, decorre do fato de considerar-se que esse período corresponde, aproximadamente, ao esgotamento da influência das tensões e deformações principais, tempo necessário para o domínio completo de todas as regras operacionais, passagem de ciclos hidrológicos, prazos de vida útil, amortização e retorno do investimento.

Buscando estabelecer eventuais relações entre os registros observados, de forma a identificar possíveis causas de insucessos aos respectivos efeitos: acidentes ou rupturas, entendendo-se como:

**Rupturas:** rompimento total ou parcial da estrutura, resultando na necessidade de reconstrução, paralisação da operação, interrupção do retorno do investimento e, geralmente, com o esvaziamento total do reservatório;

**Acidentes:** problemas decorrentes de comprometimento parcial, geralmente localizados, afetando com maior ou menor gravidade a integridade física e o fator de segurança;

obtêm-se as seguintes distribuições de tipos de insucessos:



sequência 1 - causas atribuídas às rupturas;

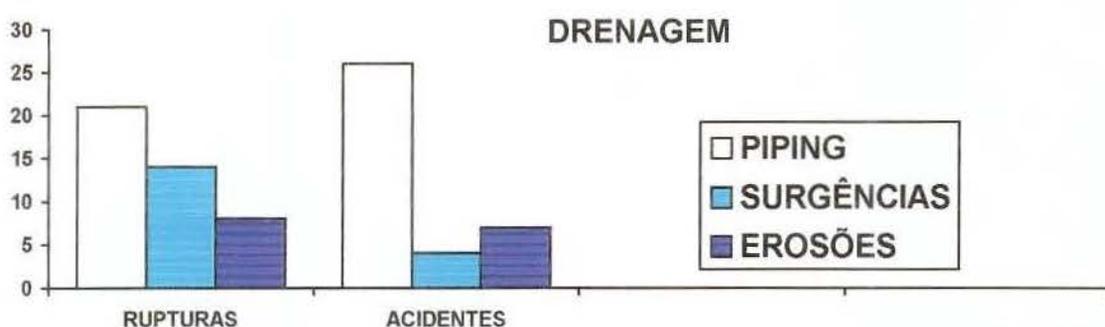
sequência 2: causas atribuídas aos acidentes;

**FIGURA 3.8 - HISTOGRAMAS RELACIONANDO ACIDENTES E RUPTURAS ÀS RESPECTIVAS CAUSAS**

Desdobrando as principais causas de acidentes e rupturas de barragens é possível identificar os efeitos mensurados e constatados de forma bastante consistente (23) (27) (51), ou seja:



**FIGURA 3.9 - HISTOGRAMA DESENVOLVIDO PARA O DESDOBRAMENTO DE EFEITOS EM ACIDENTES E RUPTURAS OCORRIDOS EM FUNÇÃO DA REDUÇÃO OU FALTA DE ESTABILIDADE**



**FIGURA 3.10 - HISTOGRAMA DESENVOLVIDO PARA O DESDOBRAMENTO DE EFEITOS EM ACIDENTES E RUPTURAS OCORRIDOS EM FUNÇÃO DA REDUÇÃO OU FALTA DE DRENAGEM**

Outros desdobramentos foram realizados, porém, o detalhamento pesquisado não apresentou a consistência esperada, refletindo também a metodologia adotada na amostragem, com finalidade meramente de registro de fatos do que de identificação de causa e efeito.

Em boa parte dos casos, a identificação das causas básicas ficou prejudicada devido a inexistência de documentação técnica (projetos, especificações, métodos construtivos, critérios e regras operacionais) pertinentes às barragens analisadas, quer sejam elas mais antigas, quer tenham sido construídas recentemente.

Tal constatação negativa é confirmada pela ausência dos relatórios denominados de "como construídos", impedindo o estudo estatístico mais apropriado.

Mesmo considerando todas as majorações dos coeficientes de segurança impostas pelos estudiosos, continuavam ocorrendo acidentes e imprevistos com as barragens construídas, refletindo INCERTEZAS e a fantástica ALEATORIEDADE das condições presentes em cada um dos empreendimentos realizados.

A despeito da obediência aos rigores técnicos e controles preconizados, os registros de acidentes e rupturas desafiaram os proprietários de barragens, tornando-se motivo de apreensão entre os diversos segmentos da população ribeirinha, principalmente as localizadas a jusante dos reservatórios.

Os paradigmas conceituais e a falta de mecanismos adequados de MONITORAMENTO, até a década de 1960, fizeram com que ampla pesquisa fosse desenvolvida, através dos registros e relatos disponíveis sobre os mais diversos tipos de acidentes (pequenos problemas) e rupturas de barragens.

Os registros e fatos observados divididos segundo duas frentes de trabalho. A primeira abrangendo a experiência dos Estados Unidos, onde a farta documentação estabeleceu consistente estatística no relacionamento dos períodos envolvidos e a ocorrência de acidentes ou rupturas, analisando 248 casos. A segunda frente de informações relacionou 172 eventos de acidentes e rupturas no restante do mundo, cujas características foram associadas, com a mesma metodologia de classificação, às conclusões da outra frente de pesquisa.

A segmentação analítica demonstrou, claramente, algumas constatações tais como a maior preocupação com a execução do empreendimento, cuidados especiais no desenvolvimento de projetos e detenção de tecnologia mais avançada por parte dos

especialistas norte americanos; daí a incidência de apenas 3,36% de casos de acidentes e rupturas no período construtivo, em contrapartida a 17,4% dos observados nos demais países.

Se é possível identificar esta condição especial no período construtivo, envolvendo também o tempo necessário ao primeiro enchimento do reservatório, nota-se que após os 20 anos iniciais de operação a situação se inverte, considerando os mesmos grupos amostrais.

Desse estudo, foi possível estabelecer a seguinte síntese (20) (23) (51):

PERÍODO ACIDENTES/ RUPTURAS	CASOS ESTUDADOS					
	U.S.A.	%	OUTROS	%	TOTAL	%
CONSTRUTIVO	9	3,36	30	17,40	39	9,29
CONCLUSÃO	37	14,90	45	26,20	82	19,50
ATÉ 3 ANOS	78	31,50	19	11,10	97	23,10
3 ≤ CONCL. < 10	37	14,90	19	11,10	56	13,30
10 ≤ CONCL. < 20	27	10,90	19	11,10	46	11,00
20 ≤ CONCL. < 30	25	10,10	8	4,65	33	7,86
CONCL. ≥ 30	35	14,10	32	18,60	67	16,00
TOTAL	248	-	172	-	420	-

FIGURA 3.11. DISTRIBUIÇÃO DE ACIDENTES/RUPTURAS DE BARRAGENS

A análise estatística sobre os dados obtidos dos registros e acidentes e rupturas de barragens revelou que a existência de três fases distintas, correspondentes aos períodos: **de construção** - ano antecedente ao término da obra - 9,29%; **de conclusão** e primeiro enchimento do reservatório - imediatamente após a conclusão das obras até três anos - 42,60%; **de operação** - relativo ao tempo de uso do aproveitamento e retorno do capital investido - 48,11%.

Tal fato refutou, em definitivo, o paradigma relativo ao conceito de que a fase crítica, sob o foco de estabilidade e segurança, se restringia apenas aos períodos construtivos e de início da operação.

Os estudos desenvolvidos também chegaram a outras conclusões sobre as prováveis origens, ou causas, dos acidentes e rupturas, destacando-se, segunda as porcentagens de ocorrência, em redução da estabilidade, diminuição da capacidade de drenagem, problemas e defeitos de funcionamento.

Como conclusão comprova-se que a segurança não pode continuar sendo relacionada a modelos estruturados e condicionados por fatores e agentes estáticos. É necessário mudar a conceituação e as metodologias de análise e julgamento de forma a levar em conta os aspectos variáveis, os quais nem sempre os projetistas e construtores podem antever. No entanto, a diversificação e a complexidade não podem resultar sistemas complicados e inconvenientes quanto a sua aplicação. Em resumo, o quadro geral pode ser caracterizado do modo apresentado a seguir (22) (26) (51):

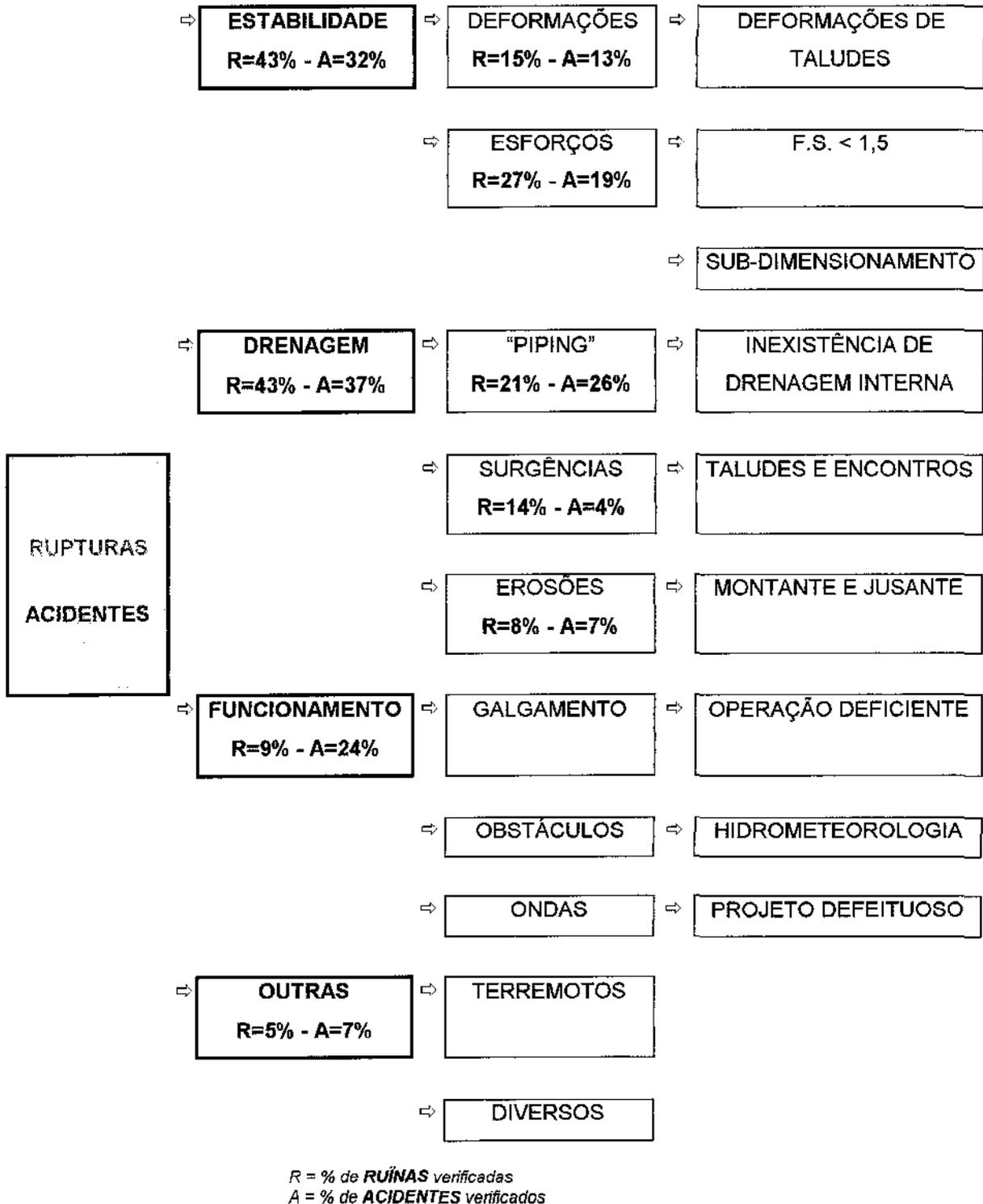


FIGURA 3.12 - PRINCIPAIS CAUSAS DE ACIDENTES E RUPTURAS DE BARRAGENS

---

## CAPÍTULO IV

### O POTENCIAL DE RISCO

Para fazer frente a este problema apresentado, foi desenvolvida por pesquisadores portugueses (35) uma conceituação baseada no POTENCIAL DE RISCO inerente ao aproveitamento, considerando-se as suas mais diversas características.

Pouco mais tarde, em 1982, a International Commission on Large Dams (31), no seu quadragésimo boletim, divulgou observações sobre os avanços obtidos no controle da segurança de barragens através da automatização, com base nos conceitos de potencial de risco, iniciando o processo modificação das práticas adotadas até então.

Desse modo, foi possível associar (11) (20) (27) (35) (54):

- características dos materiais e sua evolução com o passar do tempo quando submetidos aos agentes intrínsecos (químicos, físicos e biológicos);
- evolução do meio, em todos os seus principais aspectos sociais, econômicos.
- alteração do tipo de responsabilidade atribuída à barragem e ao reservatório, em correspondência às várias condições de uso;
- observação da variabilidade de condições de operação e de uso do aproveitamento;

É possível observar nítida tendência em associar **SEGURANÇA** à **CONFIABILIDADE**, o que equivale a tornar o antigo **COEFICIENTE DE SEGURANÇA ESTÁTICO** em um novo parâmetro **DINÂMICO E EFETIVO** (26) (27).

Os quadros apresentados a seguir indicam a orientação que deve ser dada ao assunto, sua complexidade, abrangência das análises e observações necessárias para que a segurança possa ser, de fato, estimada com o grau de confiança desejado.

A partir de parâmetros obtidos através da **AUSCULTAÇÃO** e **MONITORAMENTO** pode-se determinar os modelos a serem assumidos, caso-a-caso, seguindo o exemplo de metodologia para avaliação do potencial de risco (35).

CONDIÇÕES EXTERIORES OU AMBIENTAIS - "fator E"					
ÍNDICE PARCIAL	SISMICIDADE	PERIGO DE ESCORREGAMENTO DE TALUDES	PERIGO DE CHEIAS SUPERIORES ÀS DE PROJETO	FUNÇÃO DO RESERVATÓRIO - TIPO DE ARMAZENAMENTO E GESTÃO	FATORES AGRESSIVOS
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	MÍNIMA OU NULA ( $V < 4 \text{ cm/s}^2$ )	MÍNIMO OU NULO	PROBABILIDADE MUITO BAIXA BARRAGENS DE CONCRETO	ARMAZENAMENTO PLURIANUAL ANUAL OU SAZONAL	MÍNIMAS
2	BAIXA ( $4 < V < 8 \text{ cm/s}^2$ )	BAIXO			FRACAS
3	MÉDIA ( $8 < V < 16 \text{ cm/s}^2$ )		PROBABILIDADE MUITO BAIXA BARRAGENS DE TERRA	ARMAZENAMENTO SEMANAL	MÉDIAS
4	FORTE ( $16 < V < 32 \text{ cm/s}^2$ )			ARMAZENAMENTO DIÁRIO	FORTES
5	MUITO FORTE ( $V > 32 \text{ cm/s}^2$ )			ARMAZENAMENTO POR BOMBAMENTO	MUITO FORTES
6		PERIGO DE GRANDES ESCORREGAMENTOS	ELEVADA PROBABILIDADE		

**OBSERVAÇÕES:** - a avaliação deve ser feita levando-se em conta as condições locais;

- o critério de pontuação pode ser assumido de forma diferente da apresentada;
- os casos extremos podem receber índices diferentes, maiores ou menores do que os indicados, desde que a matriz seja comum;

**FIGURA 4.1 - POTENCIAL DE RISCO - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXTERNAS AMBIENTAIS**

O fator externo, ou ambiental, pode ser traduzido através da seguinte expressão:

$$\text{FATOR "E"} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \alpha_i$$

sendo,

- $\alpha_i$  o índice parcial acordado com representativo da situação estimada em cada um dos quesitos analisados.

CONDIÇÕES INTERNAS A BARRAGEM - CONFIABILIDADE - "fator C"				
ÍNDICE PARCIAL	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	FUNDAÇÕES	ÓRGÃOS DE DESCARGA	CONDIÇÕES DE MANUTENÇÃO
	(6)	(7)	(8)	(9)
1	ADEQUADO	MUITO BOAS	CONFIÁVEIS	MUITO BOAS
2		BOAS		BOAS
3	ACEITÁVEL	ACEITÁVEIS		SATISFATÓRIAS
4				
5		MEDIÓCRES		
6	INADEQUADO	MEDIÓCRES OU MÁ	INSUFICIENTES OU NÃO-OPERACIONAL	NÃO-SATISFATORIAS

**OBSERVAÇÕES:** - a avaliação deve ser feita levando-se em conta as condições locais;

- o critério de pontuação pode ser assumido de forma diferente da apresentada;
- os casos extremos podem receber índices diferentes, maiores ou menores do que os indicados, desde que a matriz seja comum

**FIGURA 4.2 - POTENCIAL DE RISCO - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES INTERNAS OU DE CONFIABILIDADE**

O fator interno, ou de confiabilidade da barragem, pode ser traduzido através da seguinte expressão:

$$\text{FATOR "C"} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \alpha_i,$$

sendo,

- $\alpha_i$  o índice parcial acordado com representativo da situação estimada em cada um dos quesitos analisados.

CONDIÇÕES EXTERNAS À BARRAGEM - RECURSOS HUMANOS E ECONÔMICOS - "fator R"		
ÍNDICE PARCIAL	VOLUME DE ARMAZENAMENTO NO RESERVATÓRIO - m <sup>3</sup>	TIPO DE INSTALAÇÃO EXISTENTE A JUSANTE
	(10)	(11)
1	<10 <sup>-5</sup>	ZONA NÃO HABITADA E SEM VALOR COMERCIAL
2	10 <sup>-5</sup> < V < 10 <sup>-6</sup>	ZONA ISOLADA COM ALGUMA ATIVIDADE AGRÍCOLA
3	10 <sup>-6</sup> < V < 10 <sup>-7</sup>	PEQUENAS CIDADES, VILAREJOS COM ATIVIDADE AGRÍCOLA E INDÚSTRIA ARTESANAL
4	10 <sup>-7</sup> < V < 10 <sup>-8</sup>	CIDADES DE PORTE MÉDIO COM INDÚSTRIAS AINDA DE POUCO PORTE
5	V > 10 <sup>-8</sup>	GRANDES CIDADES COM INDÚSTRIA SIGNIFICATIVA E ATIVIDADE COMERCIAL SIGNIFICATIVA
6		

**OBSERVAÇÕES:** - a avaliação deve ser feita levando-se em conta as condições locais;

- o critério de pontuação pode ser assumido de forma diferente da apresentada;

- os casos extremos podem receber índices diferentes, maiores ou menores do que os indicados, desde que a matriz seja comum;

**FIGURA 4.3 - POTENCIAL DE RISCO - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXTERNAS - RISCOS À POPULAÇÃO E ATIVIDADES ECONÔMICAS**

O fator de risco externo da barragem - recursos humanos e econômicos, pode ser traduzido através da seguinte expressão:

$$\text{FATOR "R"} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \alpha_i$$

sendo,

$\alpha_i$  o índice parcial acordado com representativo da situação estimada em cada um dos quesitos analisados.

Assim, o **POTENCIAL DE RISCO** de uma determinada barragem é o resultado do somatório dos resultados obtidos parcialmente, ou seja:

$$\text{POTENCIAL DE RISCO} \Rightarrow \alpha_g = E + C + R$$

Como se demonstra, a partir da observação da complexidade do assunto, por mais que se conheça uma barragem, em seus diversos aspectos geológico, geotécnico, estrutural, geodésico, fundações, ainda assim haverá uma margem de erro significativa, a qual poderá comprometer a segurança da estrutura e a existência de outros aproveitamentos em sua circunvizinhanças.

Para tentar minimizar os prováveis cenários de impactos decorrentes de acidentes ou rupturas, há necessidade de operacionizar um sistema permanente de controle que vise assegurar a possibilidade de atuação preventiva. Esse meio é atribuído aos sistemas de **MONITORAMENTO** e auscultação, voltados a caracterizar o desempenho das estruturas por meio de sensores, instalados estrategicamente em seções consideradas como críticas, ou representativas, correlacionando-os às propriedades esperadas dos materiais e métodos de construção, sempre dentro das hipóteses de projeto.

## **CAPÍTULO V**

# **OS SISTEMAS DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS x POTENCIAL DE RISCO**

Os sistemas de AUSCULTAÇÃO e MONITORAMENTO de barragens são compostos de programa de instrumentação e inspeção de estruturas de interesse para acompanhar o seu desempenho, além de aferir os critérios de projeto.

As hipóteses de projeto, os métodos construtivos, as propriedades dos materiais usados na obra, a atuação temporal dos agentes físicos, químicos e biológicos, acusam, na instrumentação instalada, um comportamento característico, o qual é orientativo do comportamento da barragem, nas diversas condições de operacionalidade. É através de dispositivos instalados no interior das barragens que se obtém “leituras” de tensões e deformações que identificam a dinâmica da confiabilidade e segurança presentes.

O processo GENÉRICO convencional de AUSCULTAÇÃO e MONITORAMENTO consiste em percorrer os seguintes passos (25) (27):

1. obter as leituras dos instrumentos no campo;
2. efetuar o processamento das leituras, transformando um dado em uma informação pertinente ao desempenho da barragem;
3. análise individual das informações tiradas de cada instrumento;

4. lançamento em gráficos, tais como cartas de controle, com limites estabelecidos de acordo com as premissas de projeto e, principalmente, as condições construtivas dos sensores;
5. observação da tendência do instrumento, associando ao desempenho da barragem;
6. elaboração de relatórios balizadores de ações, na maioria das vezes, de caráter corretivo;

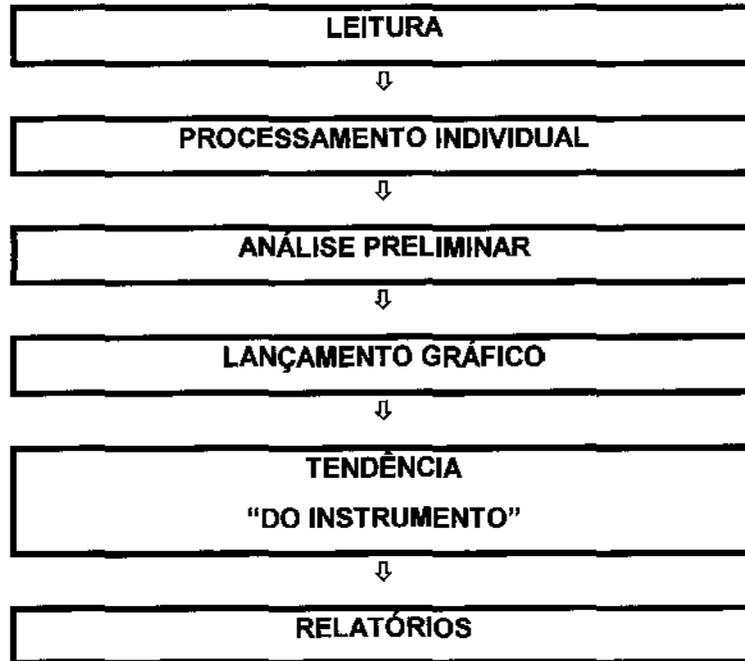
Um avanço obtido e implementado em alguns países, considera que a obtenção das leituras em tempo real é ainda um fator não apropriado, especialmente em países tropicais, onde há descargas elétricas, decorrentes das fortes tormentas, típicas dessas regiões, as quais prejudicam a precisão e o funcionamento dos dispositivos instalados.

No entanto, esta tendência é representada pela associação mais rápida das leituras a um diagnóstico de funcionamento, facilitando a tomada de decisão (25) (38).

#### **a) MODELO CONVENCIONAL**

Usualmente, a observação das barragens, através da metodologia convencional, é obtida por intermédio de sensores específicos para e direcionados à observação, a qual se deseja verificar ou acompanhar, obedecendo a uma seqüência de atividades, nitidamente posicionadas dentro de um esquema linear, relativamente rígido.

As atividades são desenvolvidas em série, sendo que cada passo é dado a partir das conclusões do anterior, nem sempre traduzindo correlações entre causas e efeitos, acarretando baixa performance, em termos de resultado, como ilustra a seguinte figura (20) (22) (27):



**FIGURA 5.1 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE LEITURAS / INSTRUMENTAÇÃO EM BARRAGENS PELO MÉTODO CONVENCIONAL**

Este modelo, em condições normais, pode envolver, em cada ciclo, tempos relativamente grandes, impossibilitando a tomada de medidas preventivas. Pode-se observar intervalos relativos a execução da primeira e a última etapas compreendidos em torno de 3 meses e 6 meses, refletindo uma performance inadequada e inexpressiva, sem sentido real de auscultação e monitoramento da segurança das barragens e demais estruturas hidráulicas.

Outro ponto a considerar é o produto obtido, ou seja, o diagnóstico a partir de uma análise gráfica, propondo que a tendência observada em instrumentos isolados possa ser associada ao comportamento global e à segurança real da barragem.

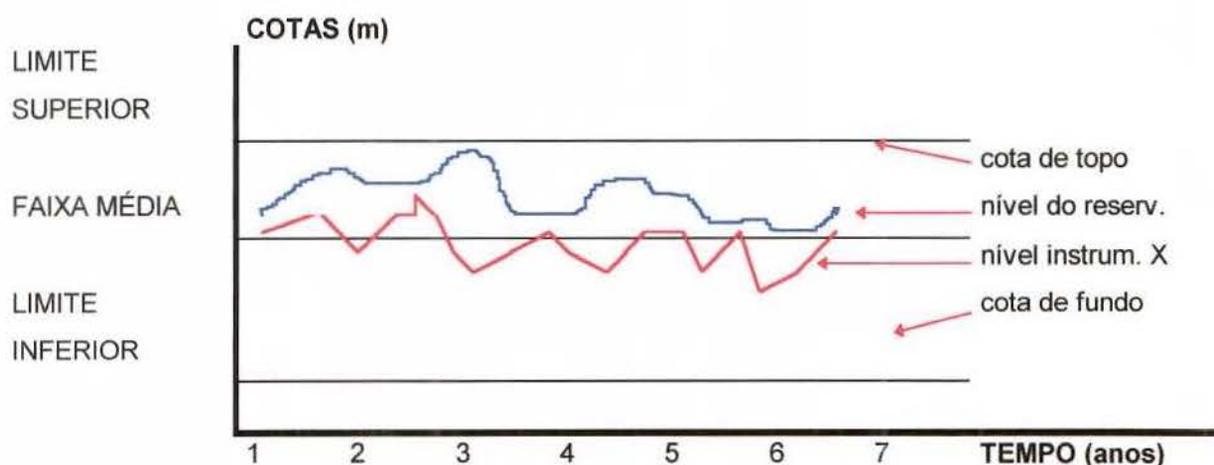
Nos modelos convencionais, as leituras de campo são obtidas por diversos tipos de métodos, envolvendo também profissionais com as mais diversas formações, utilizando-se de dispositivos sensores relativamente despadronizados.

Não se observa a ocorrência de atividades consistentes de treinamento, voltadas ao comprometimento com os propósitos de auscultação e monitoramento, acarretando falhas frequentes e retrabalhos de grande significância.

A frequência da coleta dos dados nem sempre se verifica da maneira requerida, podendo ocorrer alternâncias de períodos sem registros, intercalados por outros, em aparente normalidade. O fator temporal, e sua associação com os registros (leituras), constituem a fundamentação técnica requerida para que a avaliação do desempenho seja possível, buscando a compreensão sobre a performance disponível. Entretanto, quer seja pelas frequentes interrupções das séries de observação, quer seja pela consequência do retrabalho em datas diferenciadas, o diagnóstico resultante fica comprometido em confiabilidade, aferição e eficácia.

O processamento dos dados de campo (leituras), geralmente é referido a apenas um instrumento; às vezes a um conjunto deles, instalados em determinadas seções, predeterminadas na fase de projeto, instalados durante o período construtivo. As avaliações decorrentes de tal procedimento facultam análises rotineiras de performance pontuais, no máximo bi-dimensionais. As considerações analíticas tendem a reproduzir situações críticas, antieconômicas e de difícil relacionamento com o comportamento remanescente da estrutura, reforçando a característica pontual.

Como a análise preliminar restringe-se à verificação da consistência grosseira das leituras, ou seja: se elas estão ou não situadas dentro dos patamares determinados pelas limitações físicas, o “ajuste fino” que orienta a interpretação sobre a performance do instrumento acaba sendo o seu lançamento em gráficos, similares às cartas de controle (58), onde destacam-se os seguintes campos:



**FIGURA 5.2 - EXEMPLO DE CARTA DE CONTROLE (GRÁFICO USADO PARA AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO EM INSTRUMENTOS QUE DETECTAM NÍVEIS DE ÁGUA)**

Em outros tipos de instrumentos, apesar das variáveis poderem ser outras, de maneira geral, o esquema de controle é similar ao apresentado.

Do exposto, depreende-se que o comportamento dos instrumentos, se configuram, visualmente, após considerável tempo, reproduzindo tal tendência como fato consumado, acarretando considerações voltadas para o foco da atuação corretiva.

O resumo das interpretações, isoladas ou em conjunto, dos gráficos obtidos, assim como das suas respectivas tendências, gera espessos relatórios, de difícil

manipulação e pouca utilidade prática, retratam apenas alguma afluência das constatações e interpretações que orientam eventuais propostas de ação.

Propondo estabelecer uma linha de comparação entre os modelos atuais e futuros, e aproveitando os **sete critérios de melhoria da performance**, destacados por Sink e Tuttle (57), foi montado o cruzamento de percepções envolvidas, a partir a participação e avaliação de uma equipe de profissionais experimentados, especializados em monitoramento e auscultação de barragens.

Tal equipe foi formada por gerentes, engenheiros, tecnólogos, desenhistas, pessoal envolvido com inspeção e instrumentação, sendo que os aspectos mais significativos, para o atendimento dos objetivos importantes, foram selecionados pela própria equipe, elencados da forma como apresentado na figura nº. 5.3, apresentada a seguir. Deve-se destacar que a escala de avaliação, limitada à apenas três condições, embora grosseira, visou tão somente avaliar, num primeiro impacto, tendências de conceitos genéricos.

ITEM DO MONITORAMENTO ⇕	LEITURA	ANÁLISE PRELIMINAR	PROCESSAMENTO		LANÇAMENTO GRÁFICO	TENDÊNCIAS / CENÁRIOS		RELATÓRIOS DOCUMENT.	AÇÕES					
			FREQÜÊNCIA	CONSIST. FÍSICA		INDIV.	GLOBAL		INSTRU- MENTO	BARRA- GEM.	PREVENT.		CORRET.	
											N	E	N	E
<b>CRITÉRIOS DE MELHORIA DE PERFORMANCE S&amp;T</b> ↓														
<b>1. EFICÁCIA</b>														
• OBJETIVOS CLAROS	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1		
• CREDIBIL. DOS DADOS	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1		
• PROCED. CONFIÁVEIS	1	1	3	1	2	1	1	1	1	1	2	1		
<b>2. EFICIÊNCIA</b>														
• VÍNCULOS REAIS	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1		
• ESTAB. PRIORIDADES	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	3	1		
• REL. CAUSA X EFEITO	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1		
<b>3. QUALIDADE</b>														
• AVAL. ESTÁTICA	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1		
• AVAL. DINÂMICA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
• SIMPLIFICAÇÃO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
• OTIMIZAÇÃO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
<b>4. PRODUTIVIDADE</b>														
• APLIC. EFETIVA	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1		
• ABRANGÊNCIA (MÉT.)	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1		
• PADRONIZAÇÃO	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1		
<b>5. INOVAÇÃO</b>														
• PROCESSOS	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1		
• ROTINAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
• EQUIPAMENTOS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
• TÉCNICAS	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1		
<b>6. QUALID. DE VIDA</b>														
• PREVISIBILIDADE	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1		
• SIT. DE "INCÊNDIO"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
• AÇÕES CORRETIVAS	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		
• AÇÕES PREVENTIVAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
<b>7. LUCRATIVIDADE</b>														
• RETORNO INVESTIM.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

OBSERVAÇÕES: NOTA 1. POUCO OU NADA INFLUENCIA - NOTA 2. INFLUÊNCIA MEDIANA - NOTA 3. MUITA INFLUÊNCIA  
N - SITUAÇÃO DE NORMALIDADE - E - SITUAÇÃO EMERGENCIAL

FIGURA 5.3 - CONFRONTO ENTRE FATORES SIGNIFICATIVOS PARA A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO E OS ASPECTOS DESTACADOS POR SINK & TUTTLE

## b) MODELO SUGERIDO PARA IMPLANTAÇÃO

O sistema sugerido busca, com a sua efetiva implantação, representativos ganhos de desempenho e performance através das características: redução dos intervalos dos ciclos de observação a níveis toleráveis ou processamento em tempo real, previsibilidade de cenários futuros apoiados em resultados observados, comparáveis aos estimados, ações de caráter preventivo, desenvolvimento tecnológico contínuo, inserção de modificações estruturais e geométricas, tradução de relacionamento mais preciso e realista entre as hipóteses de projeto e a realidade, maior confiabilidade, otimização de recursos e maior economicidade nos investimentos necessários, entre outros (27).

O fluxo de atividades previsto pode ser simbolicamente expresso conforme indicado a seguir:



FIGURA 5.4 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE LEITURAS / INSTRUMENTAÇÃO EM BARRAGENS PELO MÉTODO EM DESENVOLVIMENTO

Como é possível observar que, embora respeitando todas as etapas e procedimentos previstos a necessários, também no modelo convencional, busca-se recuperar parte do prejuízo devido à inexistência de um sistema confiável de coleta e processamento de dados em tempo adequado ou real, introduzindo recursos de maior agilidade na tomada de decisões, bem como acoplar os registros periódicos a um banco de dados, definidor da tendência do comportamento de um determinado instrumento e sua correspondente "CONSEQUÊNCIA" em relação à barragem com um todo.

Associando a proposta apresentada aos critérios de potencial de risco, o monitoramento escolhido passa a ser referenciado a critérios consistentes, comparáveis entre si, sendo possível aglutinar os esforços de modo dinâmico, atentando para a natural evolução do meio e das estruturas ao longo do tempo, incluindo as peculiaridades de cada tipo de obra e suas instalações. Deste modo, a otimização de frequência de observações, através da instrumentação e inspeção das barragens, tipo de monitoramento, são melhorados de maneira sistêmica reduzindo, progressivamente, os custos envolvidos.

Em geral, a responsabilidade de um aproveitamento hidroelétrico tem como sinal imediato naturalmente representativo do risco existente, face as consequências prováveis de rupturas ou acidentes, a altura da lâmina d'água do reservatório, representada pela altura do empreendimento, sempre determinada em uma relação direta entre as duas.

Nos quadros, apresentados a seguir, procura-se ilustrar como é possível associar os recursos e critérios de monitoramento de barragens com, por exemplo, o tipo de estrutura e a altura da mesma, considerando o indicativo oferecido pelo potencial de risco (34) (35).

AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO - TIPO "A"		
ALTURA - h (m)	CONCRETO	TERRA
$h < 15$	SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL	1. SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL 2. VAZÃO TOTAL DE INFILTRAÇÃO ( SE $\alpha_g > 10$ OU $R \geq 3$ ) 3. CARREAMENTO DE MATERIAL
$15 < h < 30$	SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL	4. SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL 5. VAZÃO TOTAL DE INFILTRAÇÃO 6. CARREAMENTO DE MATERIAL
$30 < h < 50$	SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL	7. SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL 8. VAZÕES PARCIAIS DE INFILTRAÇÃO 9. CARREAMENTO DE MATERIAL
$50 < h < 100$	SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL	10. SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL 11. VAZÕES PARCIAIS E TOTAL DE INFILTRAÇÃO 12. CARREAMENTO DE MATERIAL
$h > 100$	SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL	13. SIMPLES INSPEÇÃO VISUAL 14. VAZÕES PARCIAIS E TOTAL DE INFILTRAÇÃO 15. CARREAMENTO DE MATERIAL

**FIGURA 5.5 - INDICAÇÃO DE RECOMENDAÇÃO MÍNIMA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA DIVERSOS TIPOS DE BARRAGENS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DO TIPO DE INSPEÇÃO ADOTADA**

AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO							
TIPO "B"							
ALTURA h (m)	CONCRETO				TERRA		
$h < 15$	SUBPRESSÕES ( $\alpha_g > 15$ )	DESLOCAMENTOS S ( $\alpha_g > 20$ )	MOVIMENTOS DE JUNTAS E FISSURAS ( $\alpha_g > 30$ )		SUBPRESSÕES ( $\alpha_g > 10$ OU $R \geq 3$ )	DESLOCAMENTOS ( $\alpha_g > 15$ OU $R > 3$ )	
$15 < h < 30$	SUBPRESSÕES	DESLOCAMENTOS ( $\alpha_g > 10$ )	MOVIMENTOS DE JUNTAS E FISSURAS ( $\alpha_g > 20$ )	METEOROLOGIA OPCIONAL	SUBPRESSÕES	DESLOCAMENTOS ( $\alpha_g > 10$ OU $R \geq 3$ )	METEOROLOGIA OPCIONAL
$30 < h < 50$	SUBPRESSÕES	DESLOCAMENTOS	MOVIMENTOS DE JUNTAS E FISSURAS	METEOROLOGIA	SUBPRESSÕES	DESLOCAMENTOS	METEOROLOGIA
$50 < h < 100$	SUBPRESSÕES	DESLOCAMENTOS	MOVIMENTOS DE JUNTAS E FISSURAS	METEOROLOGIA	SUBPRESSÕES	DESLOCAMENTOS	METEOROLOGIA
$h > 100$	SUBPRESSÕES	DESLOCAMENTOS	MOVIMENTOS DE JUNTAS E FISSURAS	METEOROLOGIA	SUBPRESSÕES	DESLOCAMENTOS	METEOROLOGIA

**FIGURA 5.6 - INDICAÇÃO DE RECOMENDAÇÃO MÍNIMA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA DIVERSAS TIPOS DE BARRAGENS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DO TIPO DE INSTRUMENTAÇÃO INSTALADA - SUB-PRESSÕES E DEFORMAÇÕES**

AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO - EXEMPLO TIPO "C"						
ALTURA - h (m)	CONCRETO		TERRA			
h < 15						
15 < h < 30			DESLOCAMEN- TOS INTERNOS ( $\alpha_g > 20$ )		PRESSÕES INTERSTI- CIAIS ( $\alpha_1 = 5$ )	
30 < h < 50	TEMPERATURA ( $\alpha_g > 20$ )		DESLOCAMEN- TOS INTERNOS ( $\alpha_g > 10$ OU R $\geq 3$ )	TENSÕES TOTAIS	PRESSÕES INTERSTI- CIAIS ( $\alpha_1 \geq 4$ )	
50 < h < 100	TEMPERATURA OPCIONAL	TENSÕES OU DISTENSÕES OPCIONAL	DESLOCAMEN- TOS INTERNOS	TENSÕES TOTAIS OPCIONAL	PRESSÕES INTERSTI- CIAIS	DISTEN- SÕES ( $\alpha_g > 20$ OU R > 3)
h > 100	TEMPERATURA OPCIONAL	TENSÕES OU DISTENSÕES	DESLOCAMEN- TOS INTERNOS	TENSÕES TOTAIS	PRESSÕES INTERSTI- CIAIS	DISTEN- SÕES

FIGURA 5.7 - INDICAÇÃO DE RECOMENDAÇÃO MÍNIMA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA DIVERSAS TIPOS DE BARRAGENS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DO TIPO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECIAL INSTALADA - SUB-PRESSÕES E DEFORMAÇÕES ESPECÍFICAS - COMPORTAMENTOS ESPECIAIS

AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO -OUTROS TIPOS						
ALTURA - h (m)	CONCRETO			TERRA		
$h < 15$				SISMOLOGIA ( $\alpha g > 9$ $\alpha 1 = 5$ )		
$15 < h < 30$	SISMOLOGIA ( $\alpha 1 = 5$ )	REGISTRO AUTOMÁTICO OPCIONAL ( $\alpha g = 20$ )	ALARME OPCIONAL ( $\alpha g > 25$ $\alpha 1 > 3$ )	SISMOLOGIA ( $\alpha 1 = 5$ )	REGISTRO AUTOMÁTICO OPCIONAL ( $\alpha g > 20$ )	ALARME OPCIONAL ( $\alpha g > 25$ $\alpha 1 > 3$ )
$30 < h < 50$	SISMOLOGIA ( $\alpha 1 \geq 4$ )	REGISTRO AUTOMÁTICO OPCIONAL ( $\alpha g = 20$ )	ALARME OPCIONAL ( $\alpha g > 25$ $\alpha 1 > 3$ )	SISMOLOGIA ( $\alpha 1 \geq 4$ )	REGISTRO AUTOMÁTICO OPCIONAL	ALARME OPCIONAL
$50 < h < 100$	SISMOLOGIA ( $\alpha 1 \geq 3$ )	REGISTRO AUTOMÁTICO OPCIONAL	ALARME OPCIONAL ( $\alpha g > 20$ )	SISMOLOGIA ( $\alpha 1 \geq 3$ )	REGISTRO AUTOMÁTICO OPCIONAL	ALARME OPCIONAL
$h > 100$	SISMOLOGIA	REGISTRO AUTOMÁTICO	ALARME	SISMOLOGIA	REGISTRO AUTOMÁTICO	ALARME

FIGURA 5.8 - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA BARRAGENS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DO TIPO DE INSTRUMENTAÇÃO - QUADRO COMPLETO

No tocante a frequência de leituras para obtenção dos dados / leituras dos instrumentos instalados, fator responsável por boa parte dos recursos e despesas decorrentes do monitoramento, também há que se definir critérios voltados à característica da barragem de interesse, bem como outras particularidades tais como: período, velocidade do primeiro enchimento do reservatório, finalidade da estrutura, tipo de observação adotado, sistema de auscultação e monitoramento implantado, conforme apresentado no quadro a seguir, no qual destaca-se o relacionamento entre tempo e ritmo da necessidade de leituras de campo.

FASE DO EMPREENDIMENTO	VARIAÇÃO DAS LEITURAS / MEDIÇÕES
1. PRIMEIRO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO	* DE VÁRIAS VEZES AO DIA ATÉ SEMANAL
2. ATÉ OS 3 OU 5 ANOS APÓS O PRIMEIRO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO	* SEMANAL ATÉ QUINZENAL OU MENSAL, DEPENDENDO DA RESPONSABILIDADE
3. ENTRE 3 OU 5 ANOS E 20 ANOS APÓS O PRIMEIRO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO	* SEMANAL ATE TRIMESTRAL
4. APÓS 20 ANOS APÓS O PRIMEIRO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO	* MENSAL ATÉ SEMESTRAL

**FIGURA 5.9 - FREQUÊNCIA MÍNIMA DE LEITURAS EM FUNÇÃO DA VIDA ÚTIL DO EMPREENDIMENTO**

Como é possível observar, tanto nos modelos atuais, como nos em desenvolvimento, basicamente, as atividades são as mesmas. No entanto, a diferenciação se dá em função da agilização dos procedimentos de análise e diagnóstico, os quais realmente são mais efetivos no sentido de permitir ações em tempos significativamente menores.

Nestes casos, leva-se em consideração a influência dinâmica, oferecida pela introdução dos critérios e conceitos de potencial de risco, probabilidade de ruína, entre outros, conforme será abordado no capítulo seguinte.

## **CAPÍTULO VI**

### **A NOVA PRÁTICA DE AUSCULTAÇÃO, MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS.**

O caso descrito e mencionado anteriormente sugerido como "em desenvolvimento" ou "em implantação", refere-se às estruturas hidráulicas que formam o Sistema Hidráulico da ELETROPAULO - Eletricidade de São Paulo S.A., cujas barragens, construídas entre 1901 a 1936, na sua grande maioria, em área então classificada como rural, encontram-se atualmente envolvida pela mancha urbana resultante do extraordinário crescimento observado na Região Metropolitana de São Paulo - R.M.S.P.

Na ELETROPAULO, conceitua-se a AUSCULTAÇÃO e a AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA de BARRAGENS como o emprego de metodologia especializada, multidisciplinar, que utiliza a Teoria da Probabilidade de Ruína, de Obras e Materiais, na qual incrementa-se às condições previstas, a dinâmica determinada pelo Potencial de Risco e evolução do Fator de Segurança (27).

Tais considerações geraram profundas modificações nos critérios até então usados, inclusive no âmbito internacional, passando a constituir exemplo singular no mercado. Segundo este moderno conceito o assunto é focado sob nova visão, na qual o importante consiste em definir a CONFIABILIDADE depositada nos controles de desempenho, documentados por gráficos de tendência.

Assim sendo, o problema de auscultação e monitoramento de barragens passa a ser enfocado sob a ótica de probabilidade da ocorrência de um acidente ou ruína, que acarreta a necessidade de uma abordagem sob duas vertentes: do potencial de risco e do caminho convencional do cálculo do fator de segurança.

O cruzamento desses referenciais gera um novo conceito de segurança, diferenciado porque inclui a variabilidade observada ao longo do tempo à experiência científica comprovada e aceita, resultando em processo de alta performance em termos de resultados e confiabilidade.

A correspondência instantânea, mesmo sendo pontual, no seu conjunto de processamentos, quando tratada estatisticamente, permite estabelecer correlações indispensáveis para a introdução das modificações exigidas, tanto no tocante aos métodos de observação empregues, quanto aos valores dos parâmetros de segurança, aceitos ou estabelecidos para cada caso, ao longo da vida útil das barragens.

Como consequência, a cada conjunto de informações coletadas, o banco de dados é influenciado de modo localizado, porém, por outro lado, também influencia no histórico registrado e processado, de forma a estabelecer correlações entre as diversas grandezas de interesse, além de fixar cenários decorrentes das tendências estabelecidas.

A sequência dos passos tem duas vertentes: uma apoiada nos conceitos de potencial de risco, que apoia-se na outra, seguindo o modelo convencional que considera o fator de segurança, quando associados produzem modificações significativas nos procedimentos de avaliação dos métodos de auscultação e monitoramento de barragens, bem como nos parâmetros de segurança usualmente aceitos.

Todas as modificações propostas tem um fundamento básico que consiste em poder prever cenários, atuar preventivamente e oferecer maior confiabilidade aos usuários. Foram considerados, na formulação da figura nº. 6.1, metodologias conhecidas como árvore de falhas, probabilidade de ruína, teoria da fadiga e avaliação de risco x benefícios:

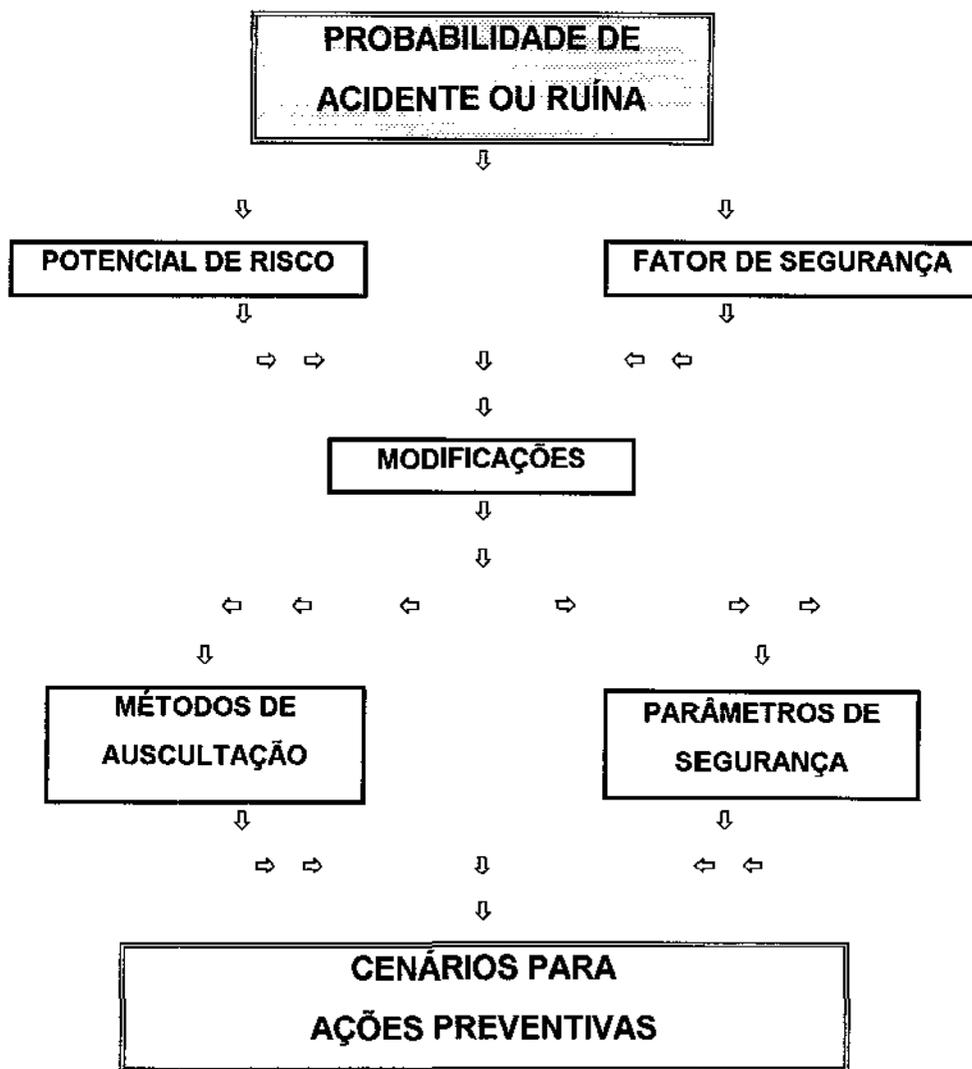


FIGURA 6.1 - PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO

Este comportamento ocasionou um fluxo de atividades sistêmicas, as quais podem ser genericamente uniformizadas, segundo fases específicas, ou seja:

- FASE PREPARATÓRIA
- FASE EXECUTIVA
- FASE DOCUMENTAL
- FASE DE ATUAÇÃO E MELHORIA

#### **1. FASE PREPARATÓRIA:**

Esta fase é fundamental em todo o processo pois cabe a ela a responsabilidade de reproduzir, a qualquer instante, as condições padrões, que servirão de base a todas as demais oportunidades de coleta de dados, equivalendo ao preparo da instrumentação ou inspeção.

Os sensores utilizados na medição de campo devem ser aferidos de acordo com os padrões pré-determinados, bem como as equipes devem ser formadas e treinadas especificamente para efetuar, dentro de cuidados e esmero, as atividades de auscultação de modo consciente e buscando a melhoria da fonte de informação que será processada.

Ainda nessa ocasião, todo material de apoio, constituído de planilhas (fichas técnicas, folhas de cálculo, observações e recomendações) deve estar disponíveis e dentro de características que possibilitem realizar, dentro de condições semelhantes, os trabalhos de campo. Esquemáticamente, pode-se ter o fluxograma:

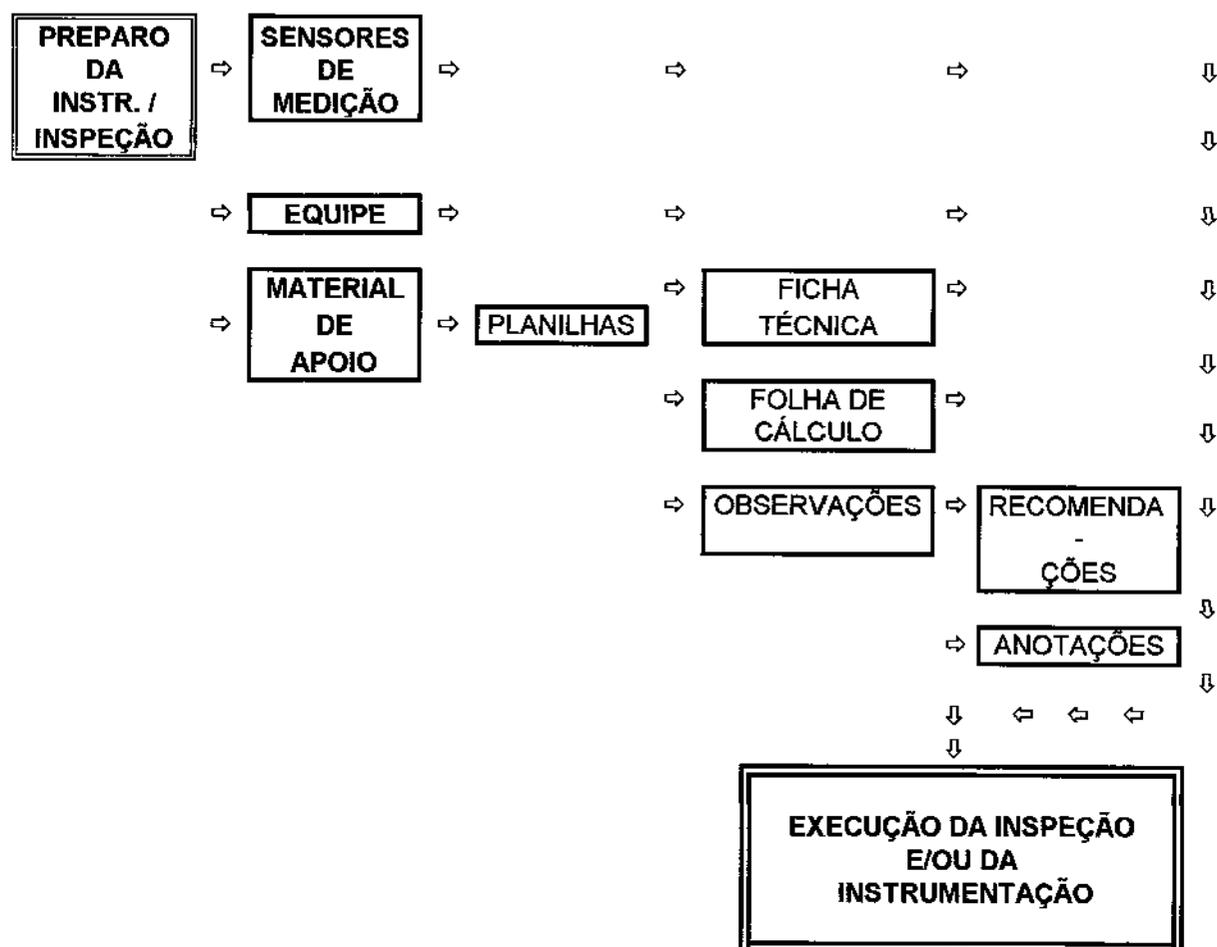


FIGURA 6.2 - FLUXO DE ATIVIDADES DA FASE PREPARATORIA INSTRUMENTAÇÃO/INSPEÇÃO - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS

## 2. FASE EXECUTIVA

A fase executiva corresponde propriamente às atividades desenvolvidas para a obtenção dos valores momentâneos que direcionam e determinam a condição de estabilidade e segurança atuantes.

As inspeções, geralmente visuais, correspondem a uma avaliação das características externas, onde a experiência da equipe de campo é exigida ao máximo. Equivale, comparativamente, ao *exame clínico geral antes dos exames laboratoriais*.

As leituras e medições de campo destinam-se a detectar alterações do quadro de tensões e deformações:

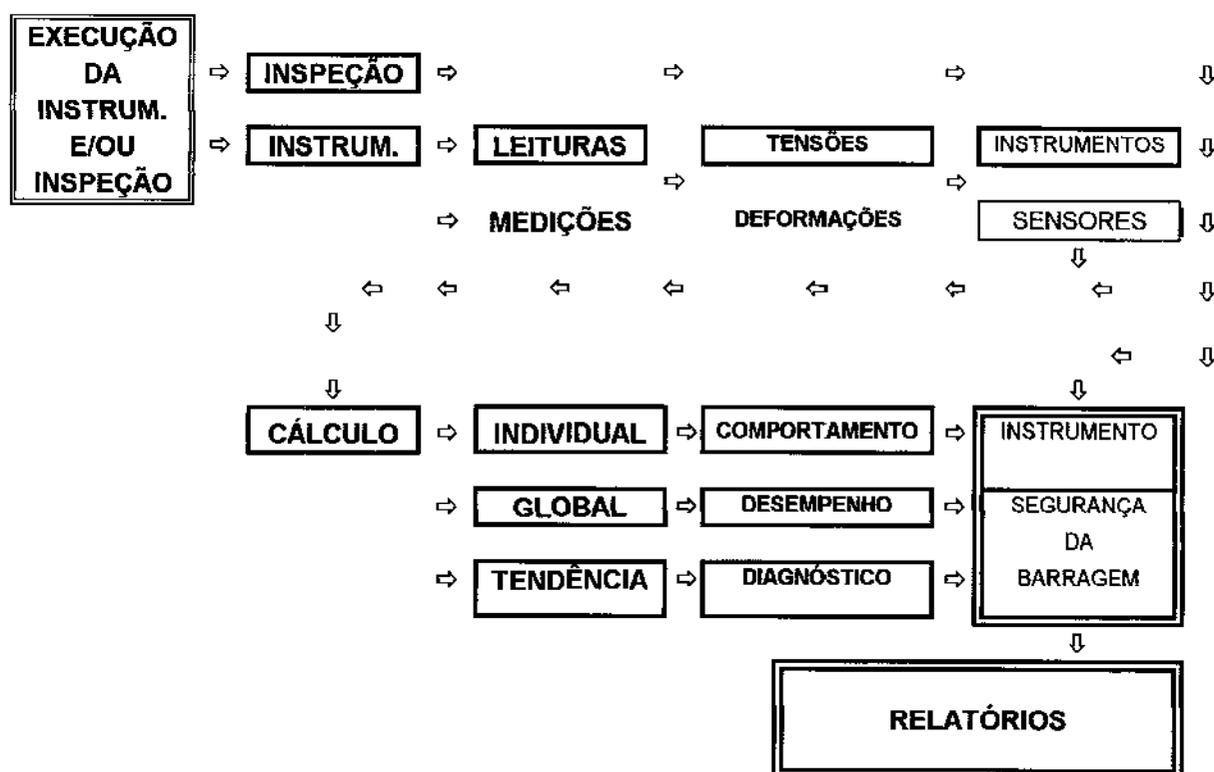
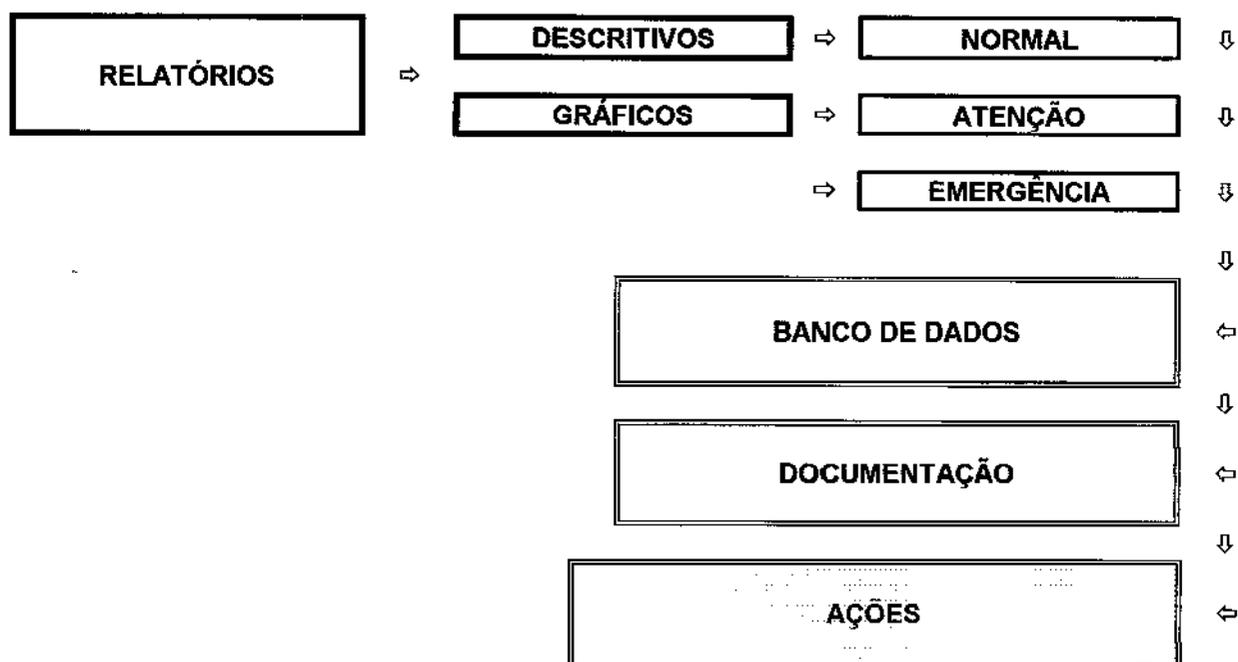


FIGURA 6.3 - FLUXO DE ATIVIDADES DA FASE EXECUTIVA INSTRUMENTAÇÃO/ INSPEÇÃO - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS

### 3. FASE DOCUMENTAL

Esta fase consiste no conjunto de atividades destinadas à documentação, registro das ocorrências, formação do banco de dados, ou massa crítica de dados para o estabelecimento de tendências de comportamento e desempenho.

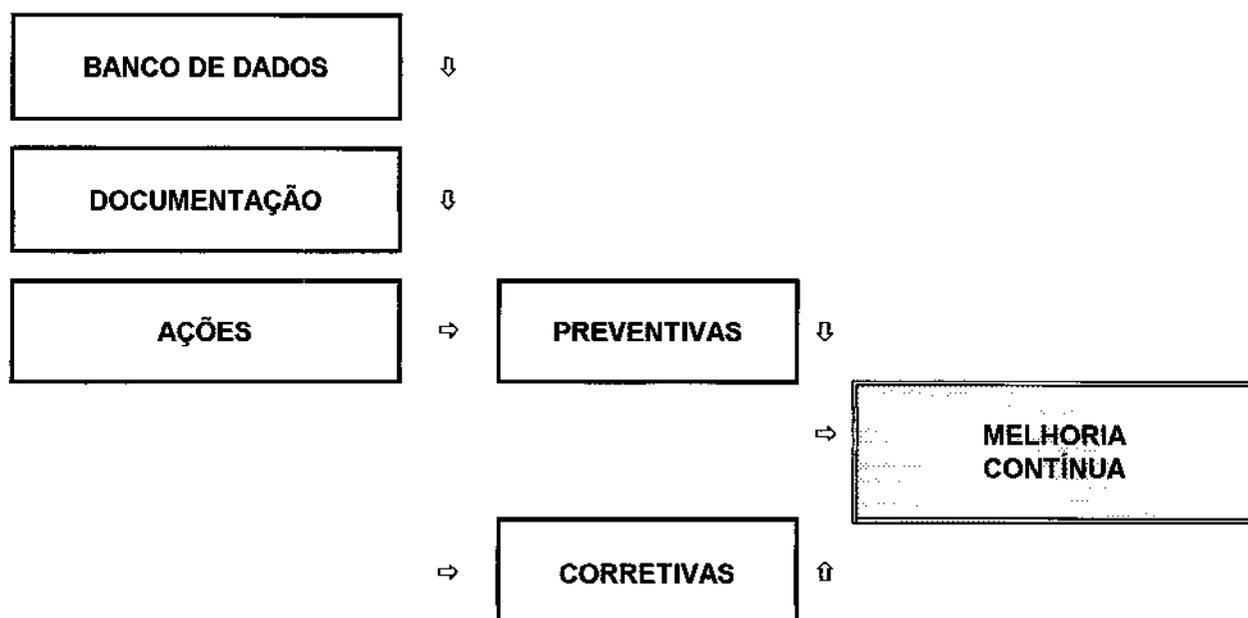


**FIGURA 6.4 - FLUXO DE ATIVIDADES DA FASE DOCUMENTAL INSTRUMENTAÇÃO/INSPEÇÃO - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS**

Outro objetivo dessa etapa do processo é também possibilitar haver a rastreabilidade dos procedimentos, ações e respectivas consequências, contribuindo para a correta interpretação dos fenômenos, através do relacionamento entre causas e efeitos

#### **4. FASE DE ATUAÇÃO E MELHORIA**

A partir das informações constantes do banco de dados, bem como da documentação que permite a rastreabilidade dos dados e informações que podem contribuir, positivamente, para o estabelecimento de um programa de ações preventivas, ou orientar corretamente as de cunho corretivo, bem como a interrelação entre todos os procedimentos e passos do processo.



**FIGURA 6.5 - FLUXO DE ATIVIDADES DA FASE DE ATUAÇÃO E MELHORIA INSTRUMENTAÇÃO/ INSPEÇÃO - AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS**

### **FOCO DAS OBSERVAÇÕES**

O interesse das observações, quer sejam as decorrentes de inspeções, quer sejam através das campanhas de leitura da instrumentação instalada, recai sobre a necessidade de se estabelecer, com muita confiança, ampla correspondência entre os controles efetuados e sua analogia com o comportamento e desempenho das barragens, tais como:

- previsibilidade de comportamento, de instrumentos e de estruturas;
- confiabilidade das leituras e registros;
- correspondência entre as observações - modelo numérico estatístico - e a realidade;

- traduzir futuros cenários, em tempo oportuno, antevendo tendências de comportamento e reduzindo a possibilidade da ocorrência de acidentes ou rupturas através de medidas preventivas;
- manter as características de funcionamento dentro de patamares aceitáveis de segurança;
- definir de níveis de segurança operacionais para as várias combinações das condições de solicitações;
- manter um banco de dados atualizado e indicativo dos controles e rotinas básicas;
- associar os vários tipos de instrumentos entre si, com base em referenciais de carregamento, estabelecendo correlações que permitam, com um mínimo de investigações, cobrir o máximo possível de informações;
- reduzir os custos e equipes envolvidas;
- ação preventiva constante.

Dentre as medidas de maior interesse destaca-se a caracterização do desempenho, de preferência em tempo real, relativo ao posicionamento instantâneo, a tendência dos instrumentos, ou estrutura como um todo, o que é obtido através de gráficos específicos (cartas de controle), concebidos para determinar o nível de solicitação, ou de comprometimento, a que se está, em determinado instante e condições, subordinando a estrutura e dispositivos de uma barragem. Tais níveis, denominados

de **NORMAL**, **ALERTA** e de **EMERGÊNCIA**, são indicativos dos patamares de conforto quanto a segurança ainda disponível.

O caso **NORMAL** equivale a manter o coeficiente de segurança em valores relativamente altos, com folgas decorrentes da especificação indicada pelos especialistas multidisciplinares. Em geral este valor corresponde a condição de operabilidade majoritária, prevista para uma probabilidade superior à 95%, considerando também o potencial de risco e as demais evoluções da bacia hidrográfica. Esta faixa permite associar medidas preventivas e corretivas a um plano de obras de recuperação, ou adequação, sem que a confiabilidade seja comprometida.

O nível de **ALERTA** representa um estágio mais crítico que o anterior, devendo as ações tomarem um sentido mais enérgico, embora ainda não drástico. Há possibilidade de se usar de medidas preventivas e/ou corretivas, porém, sem a folga de planejamento para estabelecer um cronograma de intervenções a médio-longo prazo convenientes.

Há necessidade de decidir sobre os programas de intervenções pois a segurança está sendo, progressivamente, comprometida, bem como as condições de solicitação representam acréscimos, ou incrementos de gradientes de tensões ou deformações, ainda suportáveis mas indesejáveis. Supõe-se que nesse nível as barragens tenham rápidas passagens, mantendo regimes elásticos de comportamento, equivalendo a quase 5% das ocasiões vivenciadas ao longo da vida útil de uma estrutura.

Para o nível de **EMERGÊNCIA** não há folga e as ações tem sentido corretivo, drástico, enérgico e de caráter imediatista e corretivo. A história das barragens tem mostrado que esta condição teve inúmeros acidentes e rupturas graves, não só pelo agravamento das solicitações externas, como pela perda das resistências internas decorrentes de intervenções pouco adequadas ao fenômeno que estava ocorrendo, mesmo quando envolvendo especialistas de grande prestígio internacional.

São comuns os relatos de intervenções favoráveis, nos quais as ações corretivas, tomadas por sugestão de consultores experimentados, caso refutadas, poderiam ter eliminado algumas chances de sobrevivência da obra. No entanto, o contrário também ocorre. Algumas soluções propostas em condições emergenciais podem ter contribuído para o agravamento das condições de solicitações, acarretando até o colapso das barragens. As publicações dos históricos e circunstâncias que envolveram diversos acidentes e rupturas de barragens são ricas em descrever tais situações.

Os níveis **NORMAL**, de **ALERTA** ou **EMERGENCIAL** são característicos por refletirem situações previstas, ainda na fase de projeto e aferidas durante o período operacional, como correspondentes, em cada estágio, a **FATORES DE SEGURANÇA** e **POTENCIAIS DE RISCO** adequados às premissas de previsão de comportamentos explícitos daquelas previsões de comportamentos (segurança e confiabilidade), que permitem antever novas estimativas e definições de cenários, dentro de faixas de operação representativas de variações de solicitações quanto a redução da segurança, setorial ou geral da estrutura, em parcelas definidas, sem, contudo, tornar o efeito irreversível após cessada as ações em questão.

Através dos estudos das tendências observadas em um ou mais conjunto de instrumentos pode-se avaliar também a tendência da segurança geral da barragem, bem como assegurar à circunvizinhança o conforto para uso do recurso construído.

Considerando as mesmas condições ensaiadas para a avaliação da performance por parte da equipe responsável pela auscultação e monitoramento de barragens da **ELETROPAULO**, foi proposto o novo modelo, parte em desenvolvimento e implantação, parte ainda em fase de planejamento para o futuro, obteve-se resultados sobre as expectativas (presentes e futuras), cuja análise apresenta forte tendência ao aumento da performance geral. O resultado dessa pesquisa é apresentado na figura a seguir, e tem o propósito de avaliar o planejamento dos objetivos e metas de longo prazo:

ITEM DO MONITORAMENTO ⇓	LEITURA	ANÁLISE PRELIMINAR	PROCESSAMENTO		LANÇAMENTO GRÁFICO	TENDÊNCIAS / CENÁRIOS		RELATÓRIOS DOCUMENT.	AÇÕES					
			FREQÜÊNCIA	CONSIST. FÍSICA		INDIV.	GLOBAL		INSTRUMENTO	BARRAGEM.	PREVENT.		CORRET.	
											N	E	N	E
<b>1. EFICÁCIA</b>														
• OBJETIVOS CLAROS	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2		
• CREDIBIL. DOS DADOS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2		
• PROCED. CONFIÁVEIS	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2		
<b>2. EFICIÊNCIA</b>														
• VÍNCULOS REAIS	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	2	2		
• ESTAB. PRIORIDADES	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	2	2		
• REL. CAUSA X EFEITO	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3		
<b>3. QUALIDADE</b>														
• AVAL. ESTÁTICA	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3		
• AVAL. DINÂMICA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
• SIMPLIFICAÇÃO	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
• OTIMIZAÇÃO	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
<b>4. PRODUTIVIDADE</b>														
• APLIC. EFETIVA	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
• ABRANGÊNCIA (MÉT.)	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
• PADRONIZAÇÃO	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2		
<b>5. INOVAÇÃO</b>														
• PROCESSOS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
• ROTINAS	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
• EQUIPAMENTOS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
• TÉCNICAS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
<b>6. QUALID. DE VIDA</b>														
• PREVISIBILIDADE	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1		
• SIT. DE "INCÊNDIO"	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2		
• AÇÕES CORRETIVAS	3	2	2	3	2	2	2	2	3	3	3	3		
• AÇÕES PREVENTIVAS	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3		
<b>7. LUCRATIVIDADE</b>														
• RETORNO INVESTIM.	2	2	3	3		3	3	3	3	3	3	3		

OBSERVAÇÕES: NOTA 1. POUCO OU NADA INFLUENCIA - NOTA 2. INFLUÊNCIA MEDIANA - NOTA 3. MUITA INFLUÊNCIA  
N - SITUAÇÃO DE NORMALIDADE - E - SITUAÇÃO EMERGENCIAL

FIGURA 6.6 - NOVO CONFRONTO ENTRE FATORES SIGNIFICATIVOS PAR A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO E OS ASPECTOS DESTACADOS POR SINK & TUTTLE - VISÃO FUTURA

## **CAPÍTULO VII**

# **A MODELAGEM MATEMÁTICA, OU ESTATÍSTICA, APLICADA À NOVA PRÁTICA DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS**

### **BREVE HISTÓRICO**

Tendo em vista que os modelos determinísticos não conseguem oferecer todas as características necessárias à adequada auscultação e monitoramento de barragens, foram desenvolvidos estudos visando estabelecer modelos matemáticos ou estatísticos, inclusive como parte da melhoria indispensável para que o processo pudesse ser considerado como de alta performance (15) (28) (50).

Isto só foi possível a partir do planejamento global, da visão de futuro e da implementação dos requisitos fundamentais para a validação de rotinas e procedimentos, que se verificaram posteriormente compatíveis com os oito aspectos que Sink & Tuttle (57) prescrevem como inter-relacionados.

Como ponto de partida para implantação do novo modelo de processamento dos dados e informações de auscultação e monitoramento de barragens, foi criado um banco de dados, utilizando-se os recursos de informática oferecidos por computadores de grande porte, principalmente no que se refere à capacidade de armazenamento de dados, com a possibilidade de lançamento automático da plotagem gráfica dos vários instrumentos instalados nas estruturas, ocasionando maior agilidade na avaliação do desempenho da segurança, incluiu-se a verificação da consistência dos dados com os níveis operacionais dos instrumentos

de algumas estruturas-piloto, e a disponibilização desses dados na forma digital para sua posterior manipulação.

Ao observar gráficos gerados, por exemplo os dos piezômetros na barragem do Rio Grande, bem como a sua semelhança com o comportamento registrado quanto o nível do reservatório, surgiu a necessidade de explorar o grau de correlação existente. A elaboração do gráfico NA (níveis d'água) x Instrumentos, demonstrou haver realmente semelhança de desempenho entre os vários instrumentos.

Os recursos computacionais usados inicialmente eram o mainframe (IBM 3090) onde esta a base de dados, e alguns micros Xt. Foram então escritos dois programas, em linguagem BASIC, um para regressões lineares simples e outro para linear múltipla. O uso destes programas indicou na época que havia uma grande correlação de causa x efeito, para o NA, e que os modelos múltiplos não incrementavam precisão suficiente para justificar seu uso, naquela fase de desenvolvimento.

Em 1991, com a aquisição estações gráficas RISC6000 da IBM, a capacidade de processamento e os recursos gráficos oferecidos levaram os programas de visualização para a linguagem C, nas estações.

Pouco mais tarde, em 1992, foi adquirido o software CAD Professional CADAM, nos quais foi possível desenvolver os recursos de visualização 3D, possibilitando o desenvolvimento do programa de visualização e modelamento estatístico.

O sistema entrou em operação em 1993, sendo constantemente aprimorado, segundo diversas versões.

## PREMISSAS DOS CONCEITOS UTILIZADOS

Considerando que cada conjunto de instrumentos utilizados tem uma finalidade a atingir, no sentido informar sobre o desempenho das barragens, e que alguns deles demonstram particularidades simplificadoras particularmente confiáveis, na descrição da modelagem estatística, tais condições foram consideradas como premissas dos conceitos utilizados, por exemplo:

### a) RELATIVAS ÀS REDES DE FLUXO - PERCOLAÇÃO DA ÁGUA

A variação do nível de água do reservatório e a rede de fluxo, estabelecida no interior do maciço, caracterizam o comportamento dos instrumentos com finalidade de medir pressões e níveis d'água no interior dos maciços, especialmente aqueles instalados nas regiões mais a montante.

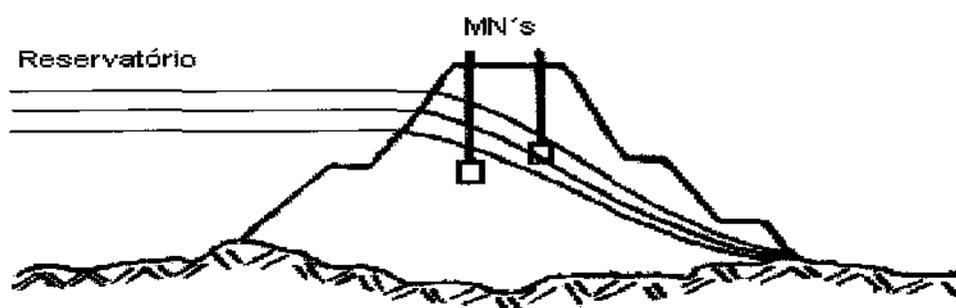
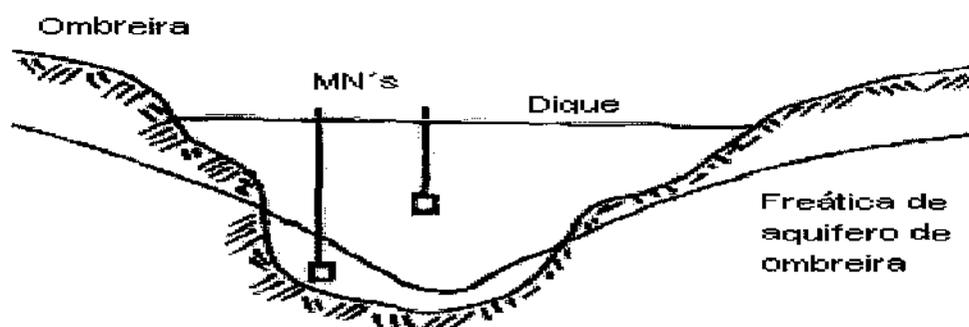


FIGURA 7.1 - INFLUÊNCIA DA REDE DE FLUXO FORMADA PELO RESERVATÓRIO EM INSTRUMENTOS INSTALADOS (MN's - medidores de nível d'água).

O lençol freático, produzido com a influência do aquífero natural, tem a sua rede de fluxo influenciando o comportamento dos instrumentos medidores de níveis e pressões d'água instalados próximos as ombreiras.

Neste caso, observa-se também que os mesmos instrumentos também se correlacionam com a chuva acumulada na região, efeito este desconhecido até pouco tempo, em especial quanto a sua influência na redução da estabilidade dos maciços..



**FIGURA 7.2 - INFLUÊNCIA DA REDE DE FLUXO FORMADA PELAS OMBREIRAS EM INSTRUMENTOS INSTALADOS.**

Embora tais condições simplificadoras sejam extremamente oportunas para o desenvolvimento de modelos estatísticos, a sobreposição dos efeitos do reservatório, das ombreiras e das chuvas criam comportamentos complexos nos instrumentos instalados na região. Em consequência, o seu modelamento torna-se mais difícil, pois a amplitude de variação da freática, induzida pelo reservatório, não é a mesma da produzida a partir do aquífero de ombreira, tendo que criar comportamentos influenciado por ambas, por apenas uma ou por parcelas de cada uma.

As lentes de solo, geometria dos materiais, camadas de concreto e outros materiais construtivos, conformação do fundo dos reservatórios são alguns dos vários fatores que influenciam no comportamento do lençol freático e nas condições de estabilidade.

## **b) RELATIVAS AO TRATAMENTO ESTATÍSTICO**

Conforme enfatizado, o equacionamento do desempenho da performance de barragens por meio de modelos determinísticos, visando caracterizar os comportamentos esperados na auscultação e monitoramento de barragens, é extremamente complexo.

Nem sempre é possível representar as características dos materiais devido a sua heterogeneidade, a inexistência de informações coletados ao longo do tempo compondo, séries históricas de desempenho. Assim, a modelagem estatística passa a ser uma alternativa bastante atrativa, viável e precisa de avaliação, inclusive da performance de desempenho.

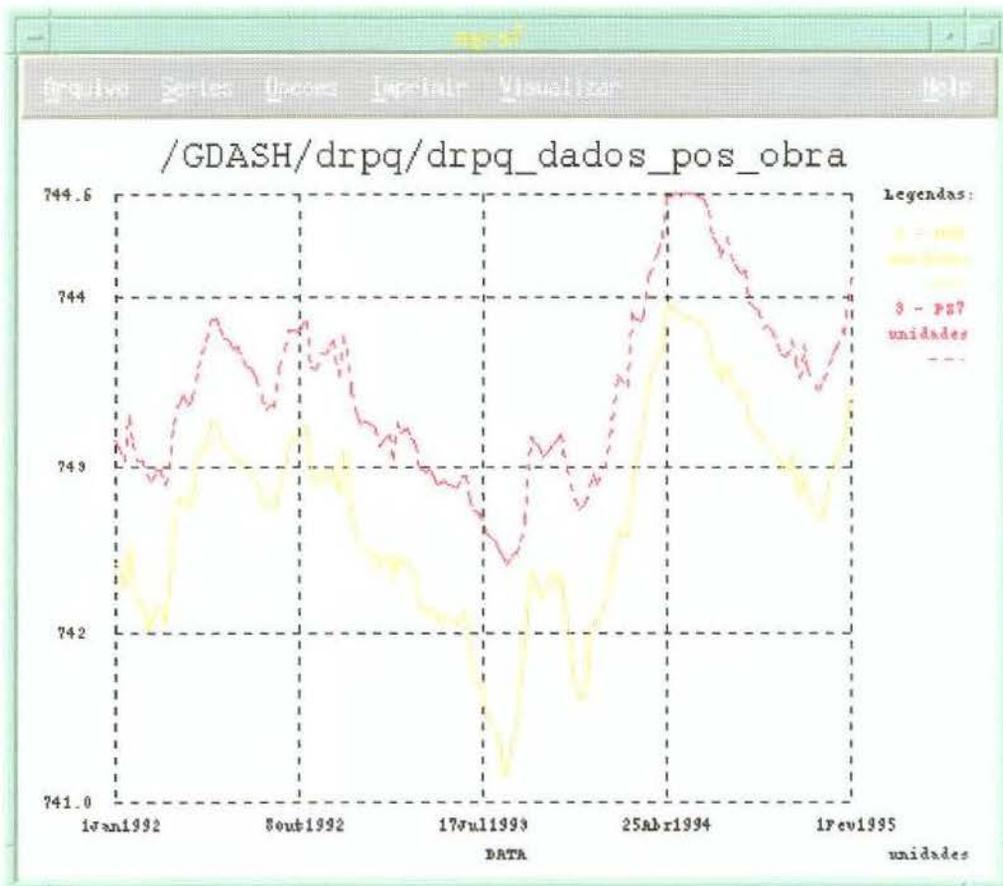
Ao invés de se trabalhar com coeficientes de permeabilidade, densidades, coesão e outros parâmetros físicos e mecânicos, podem ser feitas associações através de regressões junto aos valores conhecidos (leituras dos instrumentos), correlacionando os seus diversos comportamentos conhecidos.

Com este procedimento, observou-se que o mesmo atuou como indutor de novas premissas simplificadoras, tais como os comportamentos oscilatórios sazonais - gráficos de medidores de pressões neutras e de nível d'água ao longo do tempo. Os mesmos dados, em confronto com os registros de nível do reservatório, revelam que existe uma relação entre o comportamento dos medidores e do nível do reservatório.

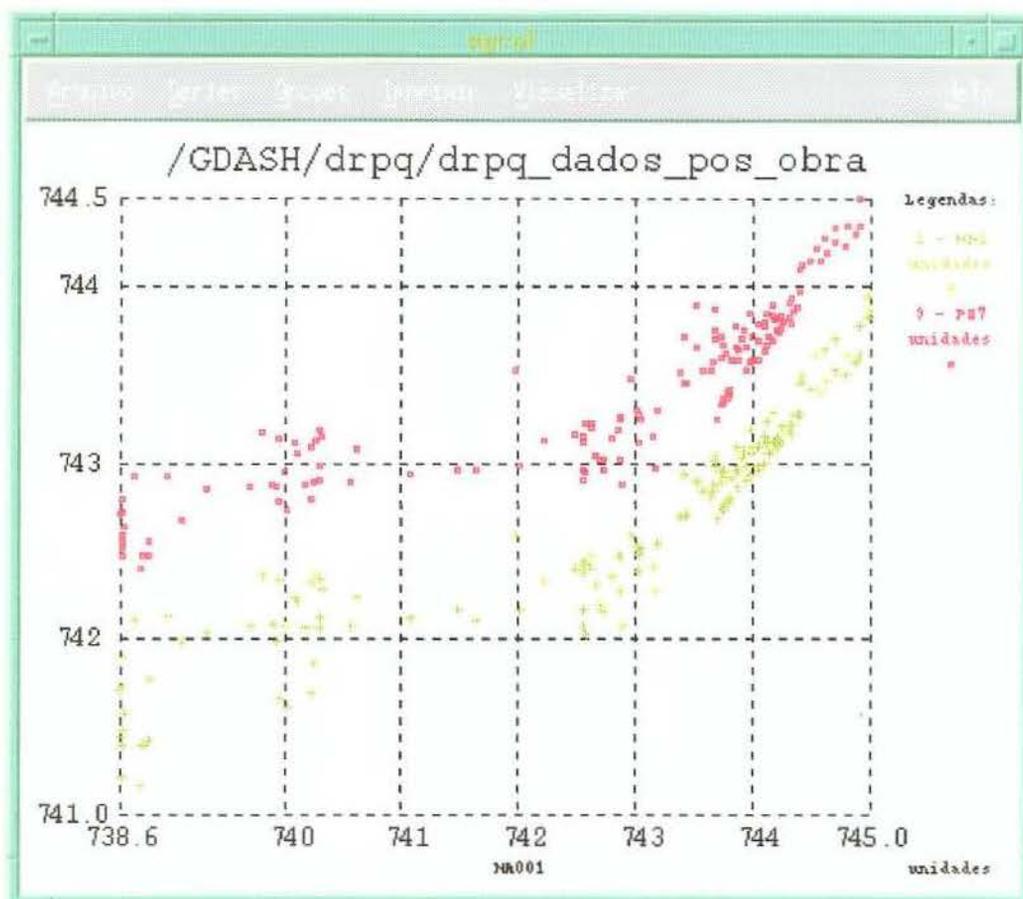
Comparando esses mesmos dados, agora com um outro instrumento, em várias ocasiões, verifica-se que a relação fica ainda mais clara, especialmente quando estão instalados em condições geotécnicas / estruturais parecidas, pois confirmam que são submetidos aos mesmos fenômenos, portanto, apresentam reações muito parecidas.

Por intermédio da exploração gráfica (como descrita acima) é possível encontrar relacionamentos mais objetivos e, através da modelagem estatística, pode-se entrar no campo do estabelecimento do seu conjunto de equações .

O sistema consolidado, na Eletropaulo, baseia-se num modelo linear simples, podendo operar como multivariado. A maior pendência ainda constitui o desenvolvimento da modelagem para as estruturas de concreto, passo decisivo face ao porte desses programas de simulação mais complexa.



**FIGURA 7.3 - LEITURAS EM MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA - SASONALIDADE OBSERVADA AO LONGO DO TEMPO - COMPORTAMENTOS SIMILARES EM FUNÇÃO DE CONDIÇÕES TAMBÉM SIMILARES DE INSTALAÇÃO.**



**FIGURA 7.4 - LEITURAS EM MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA - COMPROVAÇÃO DOS COMPORTAMENTOS SIMILARES EM FUNÇÃO DE CONDIÇÕES TAMBÉM SIMILARES DE INSTALAÇÃO - REGISTROS EQUIVALENTES A SÉRIES DE 10 ANOS DE OBSERVAÇÕES-**

### c) REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

Partindo-se da função  $Y=a+bX$ , propõe-se encontrar, estatisticamente, a função  $\hat{Y}_i=a+bX_i$ , que melhor a representa. Para tanto, o método utilizado foi o dos mínimos quadrados, sendo:

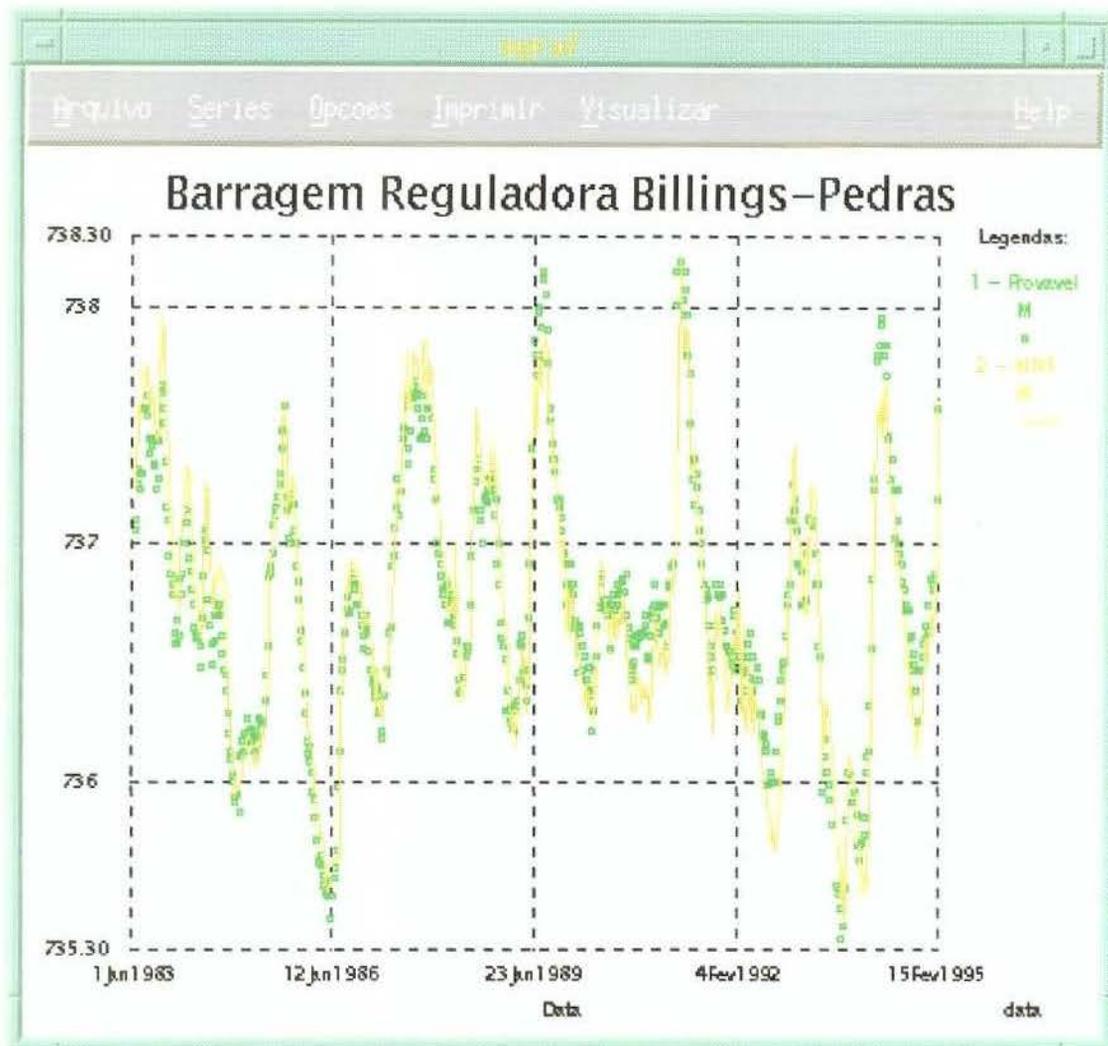
$$b = \frac{n \cdot \sum xy - (\sum x) \cdot (\sum y)}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad a = \frac{\sum y}{n} - b \cdot \frac{\sum x}{n}$$

Dentro dessa consideração, também procura-se atender a mais algumas premissas, ou seja:

- I)  $y = f(x)$  deve ser uma função linear;
- II) a média do erro deve ser nula;
- III) os erros devem ter distribuição normal;
- IV) o erro de uma observação deve ser independente do erro de outra observação;

A partir da definição da equação característica da reta procurada, é possível calcular os intervalos de previsão, para determinado nível de significância, tornando-se possível, a partir daí, verificar se uma leitura esta com valores dentro das expectativas previstas, ou estabelecidas em projeto.

Com esse procedimento, cria-se uma rotina que estabelece se uma leitura está dentro dos limites da precisão requerida, correspondendo a um estado real de aparente normalidade.



**FIGURA 7.5 - LEITURAS EM MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA AO LONGO DO TEMPO - CONFRONTO ENTRE O COMPORTAMENTO PREVISTO E O REAL, MEDIDO AO LONGO DO TEMPO - 1983 / 95**

Deve-se observar que a sistemática de leitura dos instrumentos e a possibilidade de ocorrerem erros nos aparelhos podem, em várias situações, contrariar a premissa IV, quer seja pela precisão grosseira de certas leituras, quer seja pelas dificuldades naturais da sua obtenção mascarar os resultados e interpretações.

Alguns estudos destinados ao desenvolvimento de modelos lineares multivariados concluíram, no momento, que resultados obtidos não melhoram significativamente a precisão (todos os modelos elaborados eram de barragens de terra). Outro fato que não justificou, no cotidiano, a transformação desses modelos, é a ausência de independência, bem definida, entre a intensidade da chuva e nível de reservatório (quando chove o reservatório sobe, porém essa relação nem sempre é relacionável nas mesma escala de tempo (nem mesmo as magnitudes envolvidas podem ser comparadas por esse processo de análise).

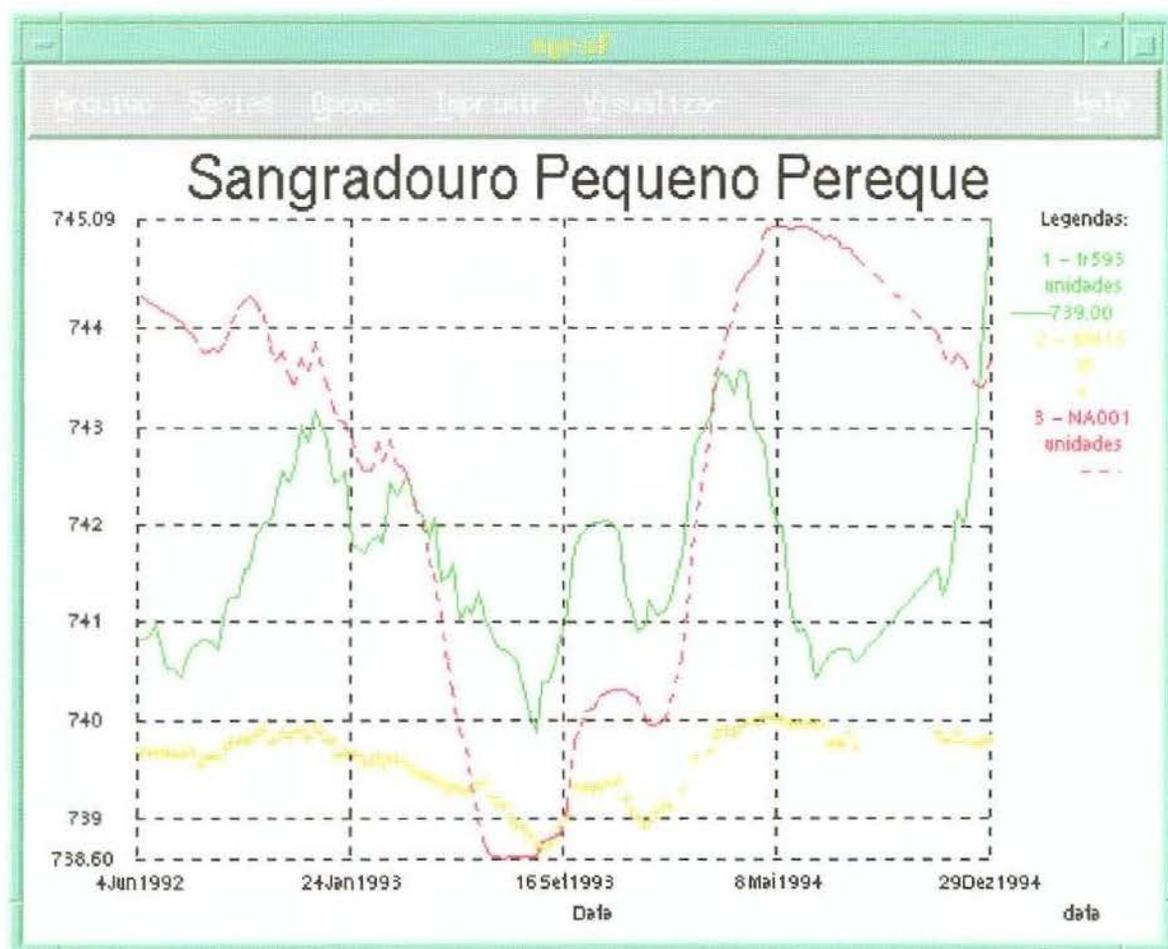


FIGURA 7.6 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA - 59 DIAS E LEITURA DE MN.

#### **d) EMPREGO DE HARDWARE E SOFTWARE**

O sistema atual foi desenvolvido para funcionar em três ambientes operacionais:

- Mainframe 3090, contem o banco de dados (GDASH) que armazena as leituras dos diversos instrumentos nas diversas estruturas que compõem o sistema hidráulico da Eletropaulo, desenvolvido em ADABAS e NATURAL. Estão cadastrados nesse sistema leituras de 3000 instrumentos durante 15 anos.
- Estações gráficas RISC6000 520 e 320, instaladas no edifício sede, configuradas em forma de rede e conectadas ao mainframe via MODEM. Contem o sistema de modelagem estatística e visualização, geração de funções e exploração gráfica. O sistema operacional utilizado é o AIX (UNIX IBM) e os programas foram desenvolvidos em linguagem C, utilizando as bibliotecas X11,Xt,Xm e ProCADAM IUE.
- PC`s contendo planilhas de consistência estatística para as estruturas já modeladas, desenvolvidas utilizando o Quattro-Pro.

#### **e) BASE DO BANCO DE DADOS**

O banco de dados implantado no mainframe, estruturado a partir da base de caracterização composta por: sistema, estrutura, seção e instrumento, armazena o histórico e características das estruturas e dos instrumentos.

Os dados desse banco são transmitidos através de MODEM para a estação gráfica, divididos em dois arquivos: o arquivo de leituras e o de instrumentos.

O arquivo de leituras constitui uma grande tabela onde, para cada data, constam a leitura dos diversos instrumentos que compõem a matriz de instrumentação da barragem. A título de exemplo uma estrutura com 120 instrumentos e séries geradas durante 15 anos tem um tamanho de aproximadamente 5 MBytes.

O arquivo de instrumentos é uma tabela que contém para cada instrumento sua identificação, unidade de grandeza física, função a correlacionar, coordenadas absolutas de posicionamento (X,Y,Z), limite operacional mínimo e máximo operacionais, data de validade e níveis de alerta e emergência determinísticos.

Na estação gráfica, utilizando o módulo de digitalização, é elaborada uma representação tridimensional colorida contendo a geometria do modelo, os instrumentos e seções especiais, que serão utilizados para a visualização dos resultados. Este arquivo no formato ProCADAM possui aproximadamente 600kbytes.

## **DESCRIÇÃO DOS MÓDULOS QUE COMPÕEM O SISTEMA**

Os módulos que compõem o novo modelo estatístico de auscultação e monitoramento de barragens são os seguintes: de transposição de dados (main\_dados\_risc), de geração de séries e funções (gera\_funcoes), de digitalização tridimensional (digit3d), de exploração gráfica (mgraf), de modelagem estatística e visualização (modelo\_s2). Em seguida, as principais características desses módulos são apresentadas

- Módulo de transposição de dados (main\_dados\_risc)

Esse módulo foi desenvolvido em linguagem C, visando receber os dados transmitidos pelo MODEM, fazer sua conversão para o formato utilizado pelo modelador, e atestar a sua integridade.

- Módulo de geração de séries e funções (gera\_funcoes)

Desenvolvido em linguagem C este módulo cria séries a partir dos dados lidos no campo, para complementar os estudos estatísticos. Como exemplo temos séries de NA's defasados no tempo, média da chuva, sobreposições ponderadas de NA e chuva dentre outras.

- Módulo de Digitalização tridimensional (digit3d)

Desenvolvido em linguagem C, utiliza bibliotecas ProCADAM IUE (Interface final para usuários), utiliza-se da estrutura gráfica do CAD para através de uma mesa digitalizadora, capturar elementos gráficos vetoriais existentes em desenhos para o formato digital, armazenando-os como arquivos ProCADAM.

O processo de digitalização apresenta grande vantagem com relação ao tradicional modelamento geométrico, principalmente quando do modelamento de taludes e ombreiras onde a modelagem geométrica seria quase que inviável.

A perda de precisão decorrente do processo de digitalização não é significativa para seu posterior uso na visualização dos resultados.

- Módulo de exploração gráfica (mgraf)

Desenvolvido em linguagem C utilizando as bibliotecas do X-Windows (X11, Xt e Xm) é a terceira geração das ferramentas de exploração gráfica incorporando assim um grande número de recursos dedicados especialmente aos dados de auscultação e suas características (utilizado para gerar todos os gráficos ilustrados neste trabalho).

#### **Características básicas:**

- capacidade para manipular 300 séries, sem limite do número de pontos por série (limitado pela memória disponível);
- apresentação de até 7 séries simultâneas, no eixo das ordenadas - opções para vários padrões de marcadores e cores;
- possibilidade de deslocar verticalmente uma série, permitindo assim a observação de uma série de chuva e um nível de reservatório com resolução apropriada;
- possibilidade de estabelecer filtragens, para processamento da massa de pontos, segundo critérios definidas e para qualquer das séries disponíveis.

- Módulo de Modelagem Estatística e Visualização (modelo\_s2)

Desenvolvido em linguagem C, utilizando bibliotecas ProCADAM IUE é um programa CAE, cria uma extensão, ao software de CAD, para manipular os dados alfanuméricos da base de dados, através de sua representação visual tridimensional - leituras e instrumentos).

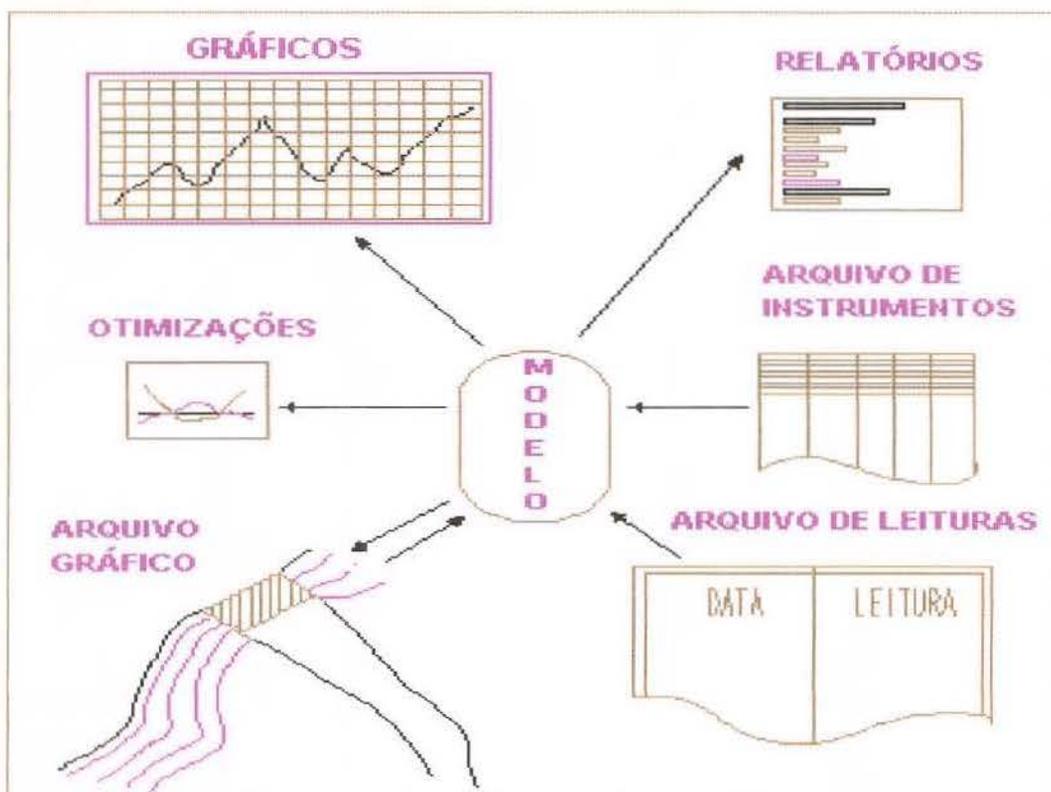


FIGURA 7.7 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Para executar o modelador é necessário antes iniciar o programa de CAD (ProCADAM) e através deste disparar o módulo de CAE. O programa de CAE é executado como um novo processo UNIX e é então estabelecido um processo de "pipe" entre os dois programas (semelhante ao DDE do MS-Windows).

Ao iniciar o sistema, é fornecida a estrutura a ser analisada bem como o nível de detalhes que as mensagens do sistema portarão.

O sistema, então seguindo regras de estruturas de diretórios, abre os arquivos de leituras, instrumentos e representação gráfica, aloca dinamicamente memória para seu armazenamento e procura as correspondências entre os elementos gráficos que representam os instrumentos e seções com seus respectivos dados alfanuméricos.

Faz então os cálculos estatísticos para cada instrumento e representa sua leitura e seu intervalo de previsão seguindo a seguinte regra: caso a leitura esteja dentro do intervalo de previsão, desenha a leitura na cor ciano, caso a leitura esteja acima do intervalo de previsão desenha na cor vermelha e finalmente caso esteja abaixo na cor amarela. Esta regra cromática auxilia e muito na identificação das leituras anormais (estatisticamente para um nível de significância de 5%) e na visualização de se é um problema isolado ou não.

O intervalo de previsão é representado por cinco círculos ortogonais à leitura, sendo o mais afastado do instrumento o vermelho, o mais próximo o amarelo (previsão máximo e mínimo) e três verdes indicando a posição provável da leitura e o intervalo de confiança da reta regredida.

Uma vez representados todos os instrumentos que tiveram leituras realizadas naquela data, apresenta-se então o menu principal do sistema:

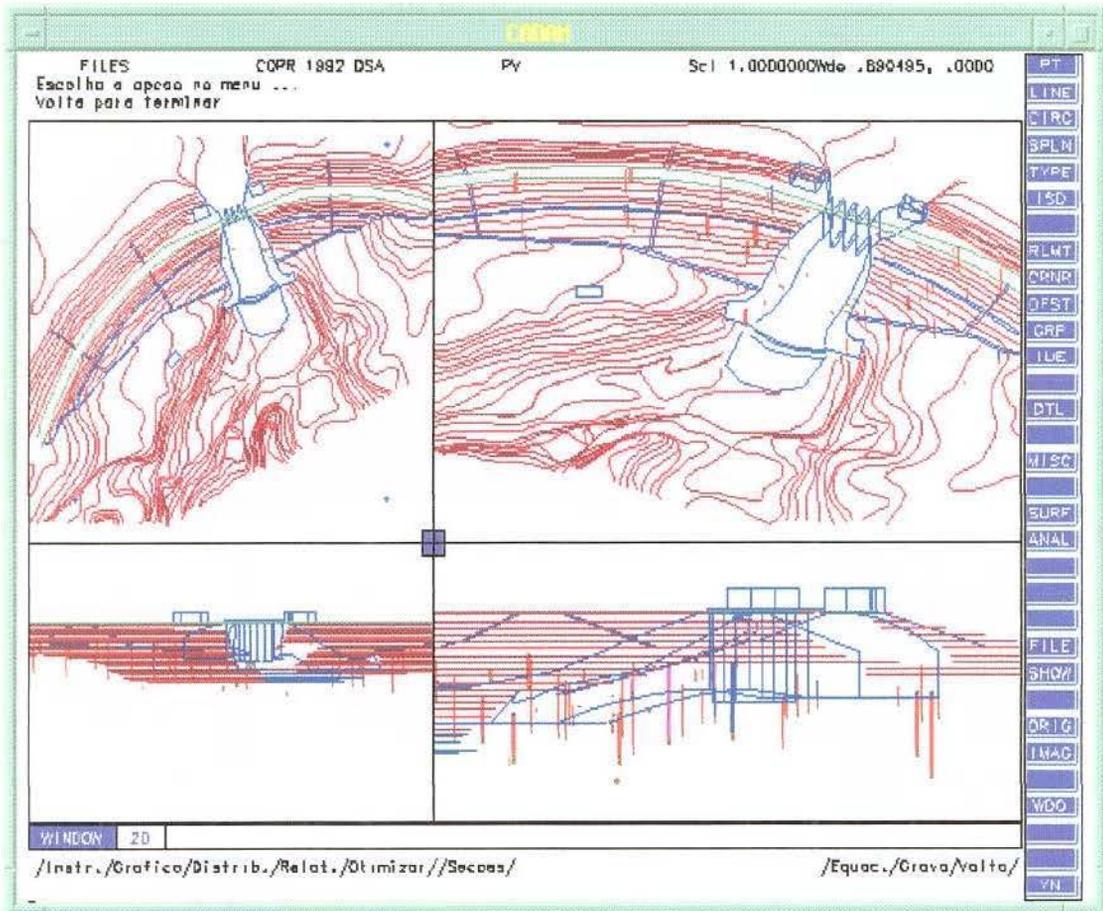


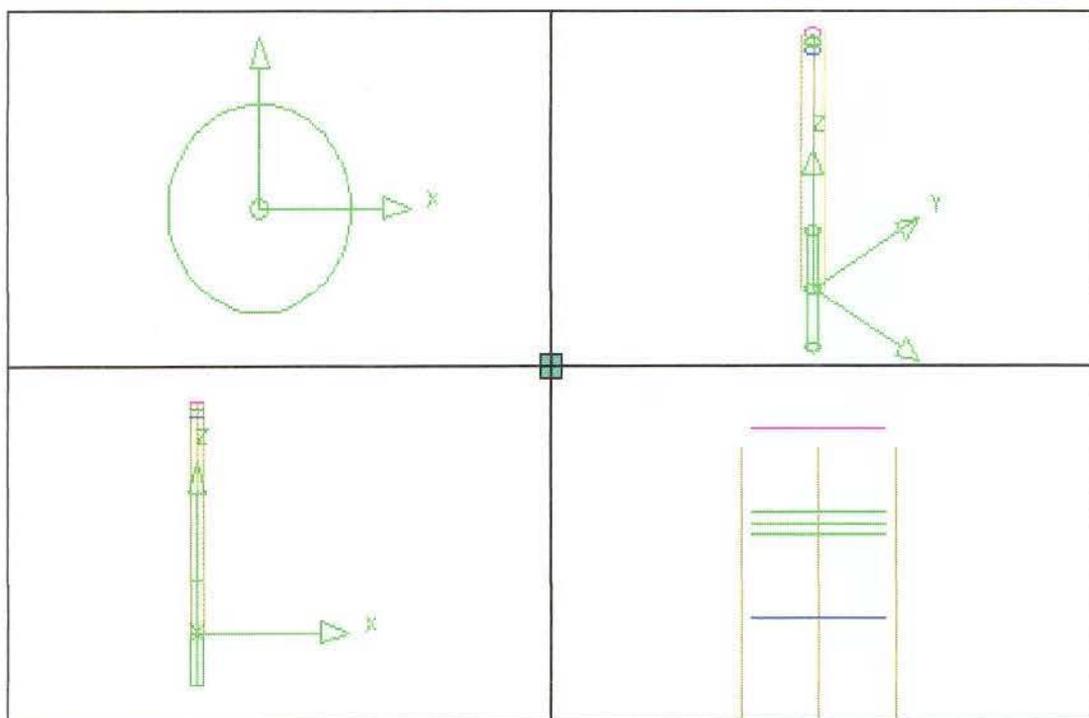
FIGURA 7.8 - TELA PRINCIPAL DO SISTEMA DE MODELAGEM E VISUALIZAÇÃO

O programa permite a qualquer momento a utilização de “zoom” para aproximar ou afastar objetos bem como rotaciona-los para permitir melhor visualização.

Composto das **opções**:

INSTRUMENTO / GRÁFICO / DISTRIBUIÇÃO / RELATÓRIO /  
OTIMIZAR / SEÇÕES / EQUAÇÕES / GRAVA

**a) Instrumento**-Identifica o instrumento escolhido e permite sua visualização isolado da estrutura.



**FIGURA 7.9 MARCAÇÃO DA LEITURA E INTERVALOS DE PREVISÃO PIEZÔMETRO -**

**b) Gráfico** - Gera gráficos cartesianos atemporais e temporais dos dados e resultados estatísticos para sua observação no módulo de exploração gráfica.

**c) Distribuição** Visualização da distribuição da série histórica de um instrumento ao longo de sua amplitude de utilização de tal forma que os círculos concêntricos representam a porcentagens de ocorrências numa determinada faixa operacional, conforme apresenta a figura que se segue.

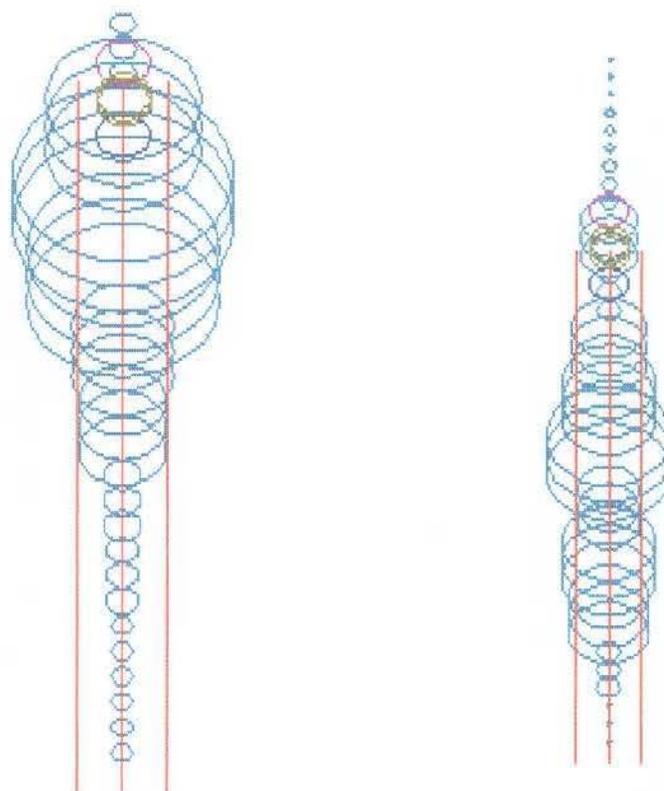


FIGURA 7.10 - DISTRIBUIÇÃO DAS LEITURAS PARA DOIS MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA

Esta característica é particularmente útil para se determinar, em determinados instrumentos, intercalação argilo / arenosas nos aterros hidráulicos que compõem as principais estruturas de terra da Eletropaulo. Ficam nítidos os "saltos" de leituras que ocorrem durante regimes transitórios de carga ou depressão da freática.

**d) Relatório** - Constrói um relatório estatístico onde constam as informações da regressão, as datas nas quais a leitura esteve fora do intervalo de previsão bem como as datas nas quais os limites de alerta e emergência da modelagem determinísticas foram ultrapassados.

- e) Otimizar -** Regride os dados do instrumento com relação a todos os dados e funções presentes na estrutura, ordenando os resultados. Tal recurso é eficiente para encontrar os grupos funcionais (instrumentos que trabalham de forma semelhante), funções que melhor se correlacionam com o instrumento em estudo e instrumentos problemáticos / danificados (conforme simulação abaixo):

## Barragem do Guarapiranga

Data : Wed Dec 6 17:13:19 1995

Instrumento: PZD4 .

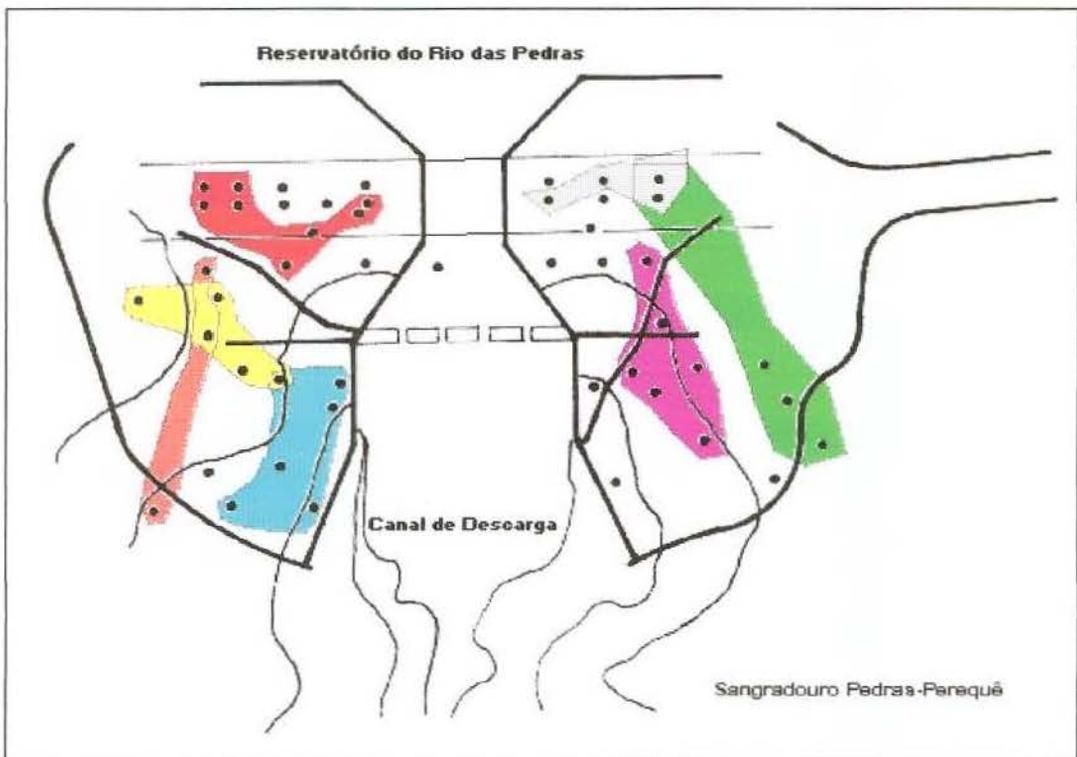
CAUSA	COEFIC. CORRELAÇÃO	COEFIC. VARIAÇÃO	NUMER.
PZA1	r2= 0.99150360	cv= 0.00011764	157
PZB2	r2= 0.99131960	cv= 0.00011715	174
PZH1	r2= 0.99014980	cv= 0.00012479	174
fA013	r2= 0.98814833	cv= 0.00013688	174
NA003	r2= 0.98745871	cv= 0.00014081	174
PZA4	r2= 0.98711592	cv= 0.00014084	173
fA023	r2= 0.98706186	cv= 0.00014302	174
PZD5	r2= 0.98672509	cv= 0.00014487	174
PZE3	r2= 0.98641652	cv= 0.00014493	173
PZE4	r2= 0.98456311	cv= 0.00015622	174
fA033	r2= 0.98406816	cv= 0.00015871	174
PZD1	r2= 0.98352754	cv= 0.00016183	173
fA043	r2= 0.98057741	cv= 0.00017523	174
PZD13	r2= 0.98017335	cv= 0.00017376	159
fA053	r2= 0.97802532	cv= 0.00018639	174
fR028	r2= 0.00006046	cv= 0.00120212	170
fm048	r2= 0.00001295	cv= 0.00122749	173

===== fim

**FIGURA 7.11 - MODELAGEM DA CORRELAÇÃO ENTRE INSTRUMENTOS - OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS E PLANEJAMENTO FUTURO**

Uma vez identificados os grupos funcionais, é possível criar uma planta com a demarcação dos instrumentos conforme seu grupo, assim gera-se um mapa de influências.

As figuras apresentadas a seguir ilustram o exposto de maneira a fornecer uma visão dos produtos oferecidos para análise e julgamento:



**FIGURA 7.12 - SANGRADOURO PEDRAS-PEREUÊ - FAMÍLIAS DE INSTRUMENTOS COM COMPORTAMENTO SIMILAR - AVALIAÇÃO DE CORRELAÇÃO NUMÉRICA RELATIVA AOS COMPORTAMENTOS ENTRE OS MESMOS -**

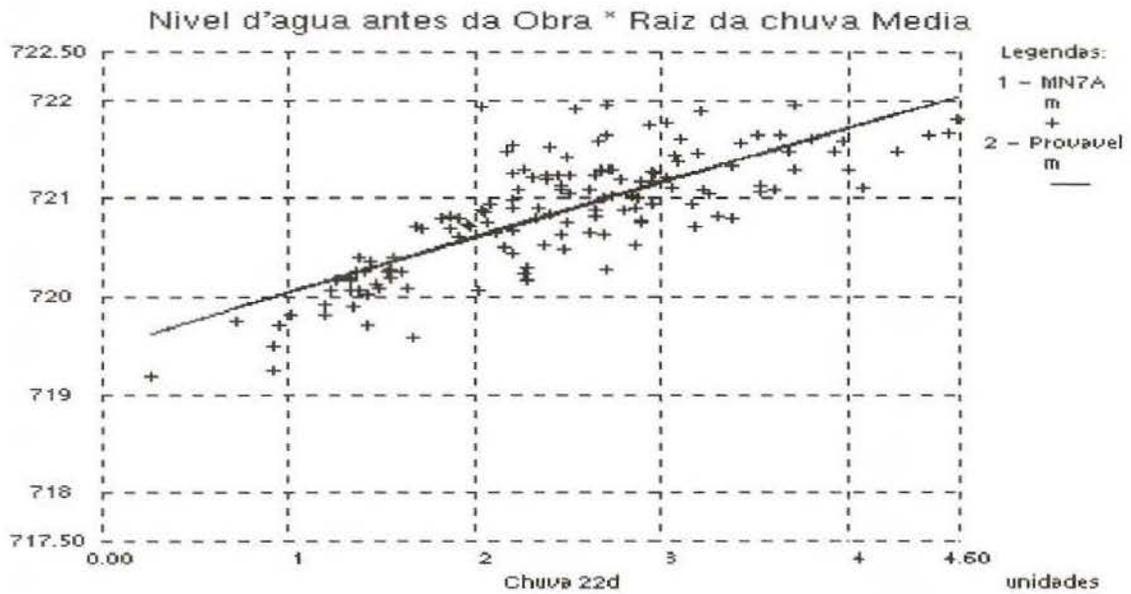


FIGURA 7.13 - SANGRADOURO PEDRAS- PEREQUÊ- CORRELAÇÃO INSTRUMENTO x CHUVAS - ANTES DA EXECUÇÃO DAS OBRAS DE RECUPERAÇÃO.

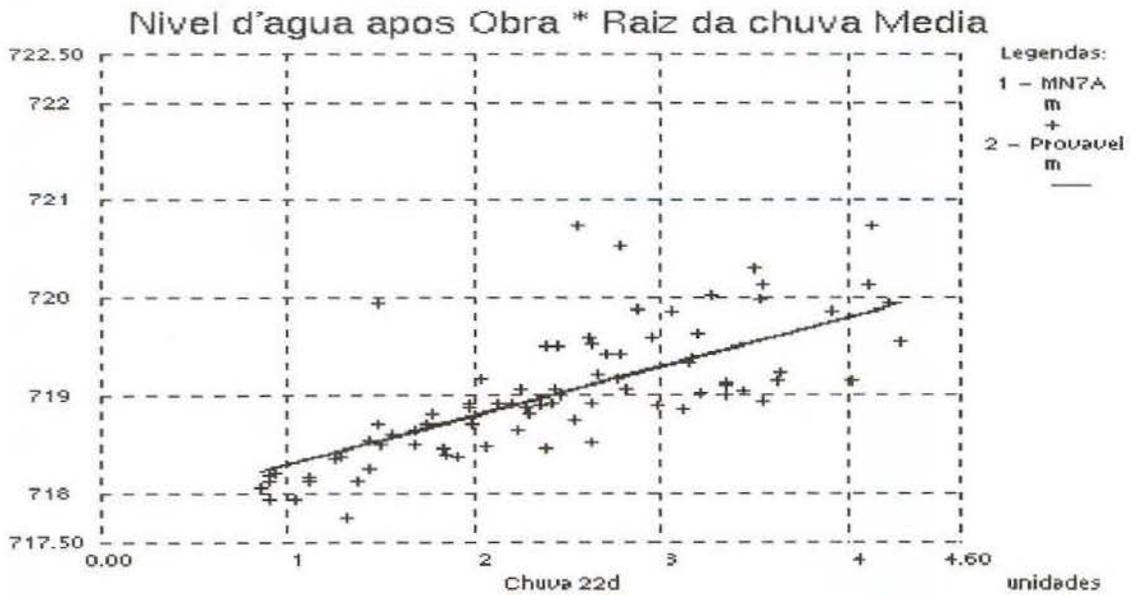


FIGURA 7.14 - SANGRADOURO PEDRAS- PEREQUÊ- CORRELAÇÃO INSTRUMENTO x CHUVAS - APÓS A EXECUÇÃO DAS OBRAS DE RECUPERAÇÃO.

- f) Seções -** Apresenta as seções especiais com os instrumentos e suas marcações para ajudar na interpretação dos resultados e visualização da freática na seção.



As linhas horizontais são referencias de nível de 1 em 1 m. O instrumento mais a esquerda no retângulo (viewport) esquerdo inferior é o NA.

**FIGURA 7.15 - TELA DO MENU SEÇÕES PARA VISUALIZAÇÃO BIDIMENSIONAL**

- g) Equações -** Gera o arquivo de equações do sistema, para documentação e/ou exportação para o micro (Quattro Pro).
- h) Grava -** Salva uma cópia do arquivo gráfico, incluindo as leituras e demais marcações estatísticas para permitir sua plotagem e/ou manipulação pelo programa ProCADAM.

Para a implementação do programa foi necessário desenvolver a técnica do elemento de interface que consiste numa estrutura de dados para criar e acessar elementos gráficos, de tal modo que ao selecionar um instrumento através de sua indicação com o "mouse" o programa é capaz de reconhecer que elemento é aquele e que dados alfanuméricos estão a ele atrelados.

A grande quantidade de dados, sua estrutura complexa e a intensa manipulação matemática a que seriam submetidos obrigou a utilização de alocação dinâmica de memória. A alocação estática seria possível mas devido aos processos concorrentes, causaria grande degradação de desempenho quando estes requisitassem memória.

Um obstáculo encontrado foi a conexão das bibliotecas IUE desenvolvidas em FORTRAN com os programas desenvolvidos em C dadas as diferenças de tipos e endereçamento.

A utilização das ferramentas de computação gráfica na auscultação de barragens tem facilitado e aprimorado em muito as análises de engenharia, pois seus recursos diversos de visualização bem como a agilidade proporcionada pela manipulação eletrônica dos dados, viabiliza a exploração gráfica e a visualização dos resultados.

Exemplos práticos de resultados obtidos podem ser encontrados no trabalho "A Prática da Eletropaulo na Auscultação de Barragens" (25) apresentado no Seminário Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil (1996).

A modelagem estatística permite a redução dos custos de coletas de dados ao permitir uma coleta seletiva em função dos grupos de instrumentos que possuem comportamento semelhantes (28).

A identificação de erros de coleta e transcrição de valores foi em muito facilitada pelos modelos estatísticos, pois desvios de comportamento são prontamente sinalizados, permitindo uma ação de re-leitura a tempo de verificar os reais valores

Como diretrizes para o aprimoramento do sistema:

- os modelos lineares multivariados parecem ser promissores;
- a incorporação nas seções, das condições geológicas e / ou estruturais, através das maquetes eletrônicas, poderá oferecer melhor compreensão sobre a dinâmica do comportamento dos instrumentos instalados e das barragens como um todo;
- a coleta automática de leituras e a unificação da base de dados para as diversas áreas usuárias dos dados do sistema hidráulico, facultará economia substancial com mão-de-obra e equipamentos portáteis de leitura.

## **CAPÍTULO VIII**

# **O SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DA SEGURANÇA DE BARRAGENS - OU SISTEMA INTEGRADO: "GESTÃO DE SEGURANÇA E CONFIABILIDADE DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS"**

Mesmo com o desenvolvimento de uma metodologia baseada no aperfeiçoamento das características de processamento dos dados, atendimento aos oito requisitos de Sink & Tuttle (57), ainda assim o sistema depende da atuação de vários setores da organização, nem sempre afinados em propósitos e objetivos. Tais segmentos executam atividades relacionadas às suas respectivas atribuições, porém a restrição à missão estratégica faz com que as atividades operacionais, ou até táticas, permaneçam em um plano secundário.

Para fazer frente a este obstáculo foi proposto, a partir do planejamento das atividades de auscultação e monitoramento de barragens, um tipo de atuação conjunta que focaliza o objetivo comum a ser atingido através de um sistema integrado, no qual busca-se a gestão da segurança e da confiabilidade das estruturas por meio do desenvolvimento de metodologia e a implantação de fluxo de informações, atrelados à tomada de decisões.

As barragens e estruturas hidráulicas de interesse imediato foram construídas no início do século e hoje estão cercadas pela Região Metropolitana de São Paulo. Desde o início dos anos 70, tem sido alvo de estudos e reformas, com a preocupação de elevar os coeficientes de segurança a patamares adequados às recomendações internacionais.

Tais intervenções, todavia, não são suficientes para garantir a segurança física e operacional. Ações climáticas e da água, mudanças nos materiais constituintes a médio / longo prazo, efeitos de vibrações e carregamentos mecânicos fazem com que ocorram variações nas características das estruturas, as quais devem ser monitoradas, através de instrumentos específicos e inspeções periódicas (40).

As decisões relativas à operação dos reservatórios e canais também são de considerável importância para a segurança física das estruturas e das populações vizinhas, à medida que o controle de cheias em toda em toda região da várzea do Pinheiros, Tietê na cidade de São Paulo depende da correta operação do sistema.

Para se avaliar o envolvimento setorial com o controle físico e operacional do sistema hidráulico e de geração, relaciona-se, a seguir, algumas das principais áreas funcionais, e respectivas atribuições básicas:

#### **a. ÁREA DE OPERAÇÃO HIDRÁULICA**

Responde pelas atividades relacionadas com a operação das estruturas que compõe o sistema hidráulico, envolvendo o planejamento da operação hidráulica, a aquisição, em tempo real de dados relativos a chuva, níveis e vazões, processamento de modelos de previsão de níveis e vazões, a tomada de decisões, comando e controle das estruturas e a análise e elaboração de estatísticas da operação hidráulica.

#### **b. ÁREA DE HIDROMETEOROLOGIA**

É responsável pelas as atividades relacionadas com os postos da rede de hidrometeorologia - medições de chuva, nível, temperatura, ventos, pressão, insolação, evaporação, que abrangem a instalação de postos

de medição, a coleta de dados climáticos, na área do sistema hidráulico, processamento dos dados e elaboração de estatísticas.

### **c. ENGENHARIA**

Desenvolve as atividades relacionadas à auscultação e monitoramento da segurança das estruturas hidráulicas, destacando-se: aquisição, processamento e análise dos dados,

- **AQUISIÇÃO DE DADOS**

Através das leituras de instrumentos de auscultação e inspeções periódicas, as leituras são executadas por pessoal treinado, por técnicos especializados; as inspeções periódicas são preferencialmente feitas pelos mesmos técnicos, já que a precisão normalmente requerida inclui, como variável para a computação dos erros e desvios, o fator humano; os dados recolhidos são inseridos em planilhas apropriadas.

- **PROCESSAMENTO DOS DADOS**

O processamento dos dados de instrumentação é feito manual ou automaticamente, conforme o caso; em ambos casos, os procedimentos são os seguintes: inserção da leitura do instrumento em banco de dados específico; processamento numérico das leituras, para correção de fatores ambientais e obtenção de grandezas físicas efetivas; validação da leitura com técnicas estatísticas e determinísticas; lançamento gráfico dos dados obtidos, para análise do comportamento da estrutura;

- **ANÁLISE DOS DADOS**

A análise dos dados é efetuada a partir da comparação entre os valores coletados com os valores previstos no modelo determinístico, e com os valores obtidos em períodos anteriores e em condições semelhantes (modelagem estatística); as inspeções periódicas são realizadas com ênfase na verificação das condições de segurança física e operacional das estruturas de terra e concreto;

**d. ÁREA DE CONSTRUÇÃO**

As atividades desta área visam a incorporação de novas estruturas ao sistema, e alteram aquelas existentes, em decorrência das adaptações e modernizações necessárias.

**e. ÁREA DE MANUTENÇÃO**

A manutenção do sistema hidráulico é área a responsável pelos serviços de conservação nas estruturas, que abrangem, principalmente: inspeções periódicas com ênfase à detecção da necessidade de conservação e reparos; conservação rotineira das estruturas e edificações auxiliares: corte de grama, limpeza, pinturas; manutenção e reparos, reformas, tratamentos estruturais localizados.

Tendo em vista os interesses diferentes que predominam em cada uma das áreas envolvidas, bem como a interdependência do comportamento estrutural e operacional na segurança e confiabilidade das estruturas, à luz dos modelos já estudados foi possível projetar um sistema que, baseado no proposto por Sink & Tuttle (57):

1. integre os módulos de operação hidráulica, hidrometeorologia, manutenção e construção ao controle de segurança e monitoramento de barragens realizado pela engenharia;
2. aumente a velocidade de transmissão dos dados, eliminando ou minimizando transmissões manuais e verbais;
3. melhore significativamente a velocidade e qualidade dos processos de análise de dados
4. promova o compartilhamento das informações, eliminando duplicidade de atividades e controles;
5. permita a simulação para a análise de situações críticas de segurança física e operacionais no sistema hidráulico;
6. facilite a tomada de decisões pela Empresa acerca de medidas preventivas e corretivas no sistema hidráulico;

Visando garantir o atendimento dos objetivos mencionados, as seguintes premissas deverão ser respeitadas para a implantação e consecução do modelo futuro de auscultação e monitoramento de barragens, envolvendo a parceria entre os modelos **determinísticos** e os **estatísticos**:

- deverá garantir a compatibilidade operacional entre os novos sistemas e equipamentos e os sistemas e equipamentos existentes - aproveitar os recursos existentes e a tecnologia disponível, reduzindo custos de intervenções de grande monta e sem retorno previsível;

- serão utilizados, ao máximo, as facilidades de "software" e "hardware" existentes, como por exemplo o sistema telemétrico de medições hidráulicas e o banco de dados de instrumentação, entre outros, integrando as diversas facilidades localizadas dentro de um macro-processo, envolvendo vários segmentos da organização;
- deverá utilizar, preferencialmente, ferramentas de "software" disponíveis no mercado, principalmente no que tange às ferramentas analíticas. Essas ferramentas deverão ser integradas ao módulo gerenciador de informações, de modo a operar automaticamente - a eficiência, no momento, não requer o desenvolvimento de novos sistemas informatizados, apenas a otimização dos mesmos;
- serão deixadas "portas" para futura agregação de outros sistemas, e/ou banco de dados, como por exemplo o de previsões meteorológicas, e outras ferramentas analíticas;
- o sistema permitirá agregar novas estruturas hidráulicas, seções de estudo, instrumentos e pontos de medição - cada evento consistirá num novo processo de aperfeiçoamento e melhoria contínua;
- os usuários deverão ser facilmente capacitados para a utilização dos sistemas projetados - evitando pacotes fechados, de difícil manipulação e interpretação;

- o "software" fonte e os protocolos de comunicação deverão ser abertos, permitindo inserções e alterações necessárias às decorrentes expansões ou otimizações futuras - desse modo a adaptabilidade a outros sistemas estará sendo prevista, dentro da característica principal da individualidade de cada caso;

As tarefas decorrentes serão executadas, num primeiro momento, dentro do **Projeto Piloto**, abrangendo algumas das principais estruturas hidráulicas: Barragem do Guarapiranga (maciços de terra , vertedouro livre, em concreto armado, e comportas - de superfície e de fundo); Barragem Reguladora Billings - Pedras (maciços de terra e concreto); Barragem do Rio Grande (usina Elevatória de Pedreira, maciços Leste e Oeste); Usina Elevatória de Traição.

Para buscar maior fidelidade entre os modelos adotados com a realidade, algumas aferições são previstas, através de serviços preliminares de campo e de escritório. O primeiro com a finalidade de "checar" dados e informações, tidos como fundamentais para a modelagem estatística e determinística, aferindo capacidades e competências.

Para garantir maior fidelidade no desenvolvimento do Projeto Piloto, algumas atividade básicas deverão ser previamente realizadas, estabelecendo vínculos reais entre as observações coletadas e as informações processadas. Entre elas destacam-se: **SERVIÇOS PRELIMINARES DE CAMPO** (teste de instrumentos de auscultação de barragens, substituição de instrumentos de auscultação de barragens, serviços topográficos complementares, sondagens e prospecções complementares) e **SERVIÇOS PRELIMINARES DE ESCRITÓRIO**:

- a. **SERVIÇOS PRELIMINARES DE CAMPO** - são formados, principalmente, por teste de instrumentos de auscultação de barragens, substituição de instrumentos de auscultação de barragens, serviços topográficos complementares e sondagens e prospecções complementares; alguns

serviços de campo são considerados como imprescindíveis para aferição e indicação do bom funcionamento do sistema a ser implantado, bem como para garantir maior fidelidade no estabelecimento causa X efeito, envolvendo, principalmente:

- **teste de instrumentos de auscultação de barragens:** conta-se hoje com 314 instrumentos de auscultação distribuídos nas quatro estruturas a serem estudadas dentro do PROJETO PILOTO. Desses, 252 são medidores de nível d'água e piezômetros, do tipo Casagrande, muitos dos quais possuem até 40 anos de idade. Há a necessidade de se testar esses últimos um a um, face a vida útil dos mesmos ser de 10 anos.
  - **substituição de instrumentos de auscultação de barragens:** prevê-se, para a realização do PROJETO PILOTO, a substituição de aproximadamente 38 piezômetros e medidores de nível d'água.
  - **serviços topográficos complementares:** há a necessidade de atualização / complementação das plantas cadastrais das estruturas em tela, de modo a possibilitar a elaboração de plantas informatizadas, inclusive a incorporação de informações relativas à constituição física e mecânica das seções onde os instrumentos de auscultação e monitoramento estão instalados.
  - **sondagens e prospecções complementares:** em algumas das estruturas ainda há carência de informações geotécnicas - são previstas sondagens e ensaios de campo / laboratório.
- b. SERVIÇOS PRELIMINARES DE ESCRITÓRIO** - os serviços preliminares de escritório constituem-se em ações prévias, destinadas a familiarizar os envolvidos com as rotinas das diversas áreas envolvidas, devendo ser documentadas para permitir a elaboração do fluxo de dados atual e

subsidiar o fluxo de dados a ser implantado - rastreabilidade do processo e medição da performance em cada estágio.

A tarefa prevê, entre outros, o levantamento de todos os procedimentos inerentes às áreas de: engenharia, operação hidráulica, manutenção, construção e hidrometeorologia, e será composta de entrevistas nas áreas de Engenharia, de Operação, de Manutenção e de Construção. Nesta etapa busca-se o levantamento dos formulários existentes bem com todo tipo de "software" e "hardware" em uso;

## CONCLUSÕES

1. Através da metodologia proposta por Sink & Tuttle (57) é possível coordenar os esforços empresariais, abrangentes ou específicos, administrativos ou técnicos, melhorando a performance dos sistemas analisados, tornando-os competitivos em relação aos convencionais;
2. A aplicação desta metodologia de abordagem, na busca da melhoria de performance, faz com que os sistemas, atualmente puramente técnicos e específicos, como por exemplo a auscultação e monitoramento da segurança de barragens, passem a se interessar por uma nova sistemática, a qual é apoiada nos princípios e ferramentas da Qualidade, visando oferecer os recursos necessários à operação, manutenção e desenvolvimento de tais empreendimentos, inclusive, envolvendo até consideração sobre a continuidade dos mesmos;
3. Observa-se que a implantação do modelo proposto por Sink & Tuttle (57) corresponde ao detalhamento e disciplinamento do P.D.C.A., estabelecido por Deming (17), oferecendo uma visão espacial da melhoria contínua, ou seja, propicia melhor compreensão dos conceitos fundamentais da qualidade e sua aplicabilidade na obtenção de melhor performance, especialmente em termos de produtividade e/ou confiabilidade.
4. Os modelos de auscultação e monitoramento de barragens, desenvolvidos anteriormente com base predominante determinística, ou estática, podem, agora, ser tratados como dinâmicos, acompanhando a evolução interna e externa do aproveitamento, por intermédio de abordagens estatísticas, o que vem a favorecer a previsibilidade de cenários e situações futuras, aumentando a capacidade de análise, de entendimento e de diagnóstico sobre o real desempenho das estruturas envolvidas;

- 
5. Com o novo modelo é possível utilizar-se de modelos de análise e diagnósticos completos, determinísticos e estatísticos, que respeitam os condicionantes definidos pela engenharia de barragens, ao mesmo tempo que socorre, em suas deficiências, modelagem apropriada ao posicionamento de medidas e ações preventivas;
  6. É dada preferência à confiabilidade global do empreendimentos, deixando para um plano importante, porém quase que secundário, a mera determinação tradicional dos fatores numéricos, decorrentes das usuais avaliações da segurança pontual calculada;
  7. Procura-se privilegiar o que puder ser caracterizado como preventivo, decorrente da possibilidade de prever situações futuras, eliminando, ao mínimo, as condições de atuação voltada para o sentido corretivo, com as quais não é permitida atuação economicamente vantajosa, muito menos tecnicamente embasada e justificada adequadamente;
  8. Aproveita-se os recursos e facilidades disponíveis, localmente ou em segmentos da organização, através da integração das forças pró-ativas, reduzindo e eliminando superposição de materiais, equipamentos, mão-de-obra, meios de análise e diagnóstico, métodos e metodologias;
  9. Oferece-se um sistema competitivo, em termos econômicos, quer seja pela redução das superposições de atividades, quer seja pela otimização de esforços na alimentação do banco de dados, otimizando os gastos indesejáveis devidos às comunicações tradicionais entre áreas e setores de uma mesma organização;

- 
10. Estabelece, dentro de um propósito claro e objetivo, as atribuições de cada órgão gerencial, de seus participantes, bem como as respectivas competências e responsabilidades envolvidas;
  11. Faculta a tomada de decisão técnica e administrativa, contando para isso com uma base consistente, fundamentada em princípios e conceitos consagrados dentro e fora da organização, aceitos no meio técnico e entendidos pela comunidade adjacente;
  12. Através da abordagem proposta é possível observar, mesmo que em fase inicial de previsão, ou estimativa de resultados a obter, que o sistema gerado a partir das considerações e ponderações de Sink & Tuttle (57), chega-se a prognósticos bastante significativos, quer seja na identificação do modelo adequado ao caso de interesse, para a melhoria de performance, quer seja na quantificação das melhorias e ganhos obtidos com a implantação da nova sistemática;
  13. Previsão dos ganhos de performance, com a implantação do novo modelo de auscultação e monitoramento de barragens, pode ser observada na figura número 9.5, apresentada a seguir, onde procura-se estabelecer o comparativo, dentro das mesmas bases de referência, entre as constatações observadas, em termos das características sugerida por Sink & Tuttle (57), dentro das condições atuais e aquelas previstas no projeto piloto, em implantação nos anos futuros.
  15. Deste modo, a partir da análise comparativa entre os estágios relativos aos modelos puramente determinísticos e aqueles que procuram integrar a abordagem estatística à engenharia de barragens, é possível verificar os campos onde há ganhos de performance, estabelecendo as prioridades de atuação em novos ciclos de aprimoramento.

16. Evidencia-se que, apesar dos ensaios e estudos efetuados, ainda há falta de um tratamento estatístico mais apropriado, no qual as séries temporais serão desenvolvidas.
  
17. A expectativa atual decorrente do desenvolvimento da modelagem estatística é a seguinte:

ITEM DO MONITORAMNTO	LEITURA	ANÁLISE	PROCESSAMENTO		LANÇAMENTO	TENDÊNCIAS /		RELATÓRIOS	AÇÕES			
	⇒	PRELIMINAR			GRÁFICO	CENÁRIOS		DOCUMENT.				
	ASPECTOS S&T	FREQUÊNCIA	CONSIST.	INDIV.	GLOBAL		INSTR.	BAR.		PREVENT.		CORRET.
⇩		FÍSICA							N	E	N	E
1. EFICÁCIA	44%	44%	78%	44%	56%	56%	33%	44%	33%	33%	67%	33%
2. EFICIÊNCIA	44%	33%	56%	33%	67%	67%	33%	33%	33%	33%	78%	33%
3. QUALIDADE	42%	42%	42%	31%	42%	42%	31%	42%	31%	31%	42%	31%
4. PRODUTIVIDADE	44%	56%	56%	33%	67%	44%	44%	33%	33%	33%	56%	33%
5. INOVAÇÃO	31%	31%	31%	31%	50%	50%	31%	31%	31%	31%	31%	31%
6. QUALID. DE VIDA	42%	42%	50%	42%	42%	50%	31%	31%	31%	31%	31%	31%
7. LUCRATIVIDADE	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%

FATORES SIGNIFICATIVOS PAR A AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO E OS ASPECTOS DESTACADOS POR SINK & TUTTLE - 1986

ITEM DO MONITORAMNTO	LEITURA	ANÁLISE	PROCESSAMENTO		LANÇAMENTO	TENDÊNCIAS /		RELATÓRIOS	AÇÕES			
	⇒	PRELIMINAR			GRÁFICO	CENÁRIOS		DOCUMENT.				
	ASPECTOS S&T	FREQUÊNCIA	CONSIST.	INDIV.	GLOBAL		INSTR.	BAR.		PREVENT.		CORRET.
⇩		FÍSICA							N	E	N	E
1. EFICÁCIA	100%	100%	78%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	67%	67%
2. EFICIÊNCIA	89%	89%	78%	89%	89%	78%	100%	89%	100%	100%	78%	78%
3. QUALIDADE	100%	92%	100%	100%	100%	92%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
4. PRODUTIVIDADE	89%	89%	89%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	89%	89%
5. INOVAÇÃO	92%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
6. QUALID. DE VIDA	100%	67%	67%	92%	92%	92%	92%	92%	100%	100%	75%	75%
7. LUCRATIVIDADE	67%	67%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

FIGURA 9.1 - FATORES SIGNIFICATIVOS PARA AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO E OS ASPECTOS DESTACADOS POR SINK & TUTTLE - 96 E ANOS FUTUROS

## **ANEXO 1 -**

# **IDENTIFICAÇÃO DO MODELO INTERLIGADO**

## **PROJETO PILOTO**

Dentro do propósito de buscar o desenvolvimento de um método de auscultação de alta performance, o projeto piloto consiste em aferir o dimensionamento do projeto de uma rede distribuída de vários servidores e usuários, a qual deverá possibilitar:

- a livre consulta e utilização das informações contidas no sistema, por todas as áreas envolvidas;
  
- a seleção para acesso à inserção e processamento de dados, isto é, deverão ser preservadas as responsabilidades pertinentes ao organograma da organização, evitando intervenções indevidas no conjunto de informações;
  
- a realização simultânea de consultas / processamento em um mesmo conjunto de dados;
  
- a utilização independente de um ou mais sistemas, no caso de desconexão;
  
- cada unidade servidora deverá ser capaz de armazenar dados de entrada no caso de desconexão às outras unidades do mesmo grupo, e enviá-los automaticamente após o restabelecimento da rede;

- a massa de dados deverá permanecer armazenada para rápido acesso no sistema durante dois anos, após o que deverá ser transferida para fita ou sistema equivalente.
- projeto do sistema interligado de auscultação e monitoramento de barragens, mesmo em sua fase piloto, será dividido segundo as características da organização, seguindo as respectivas atribuições, ou seja, projeto e implantação sistema interligado, composto dos subsistemas: engenharia, operação hidráulica, manutenção de estruturas, gestão de inspeções visuais, construção.

O sistema interligado, que compõe o projeto piloto, será desenvolvido segundo os módulos organizacionais envolvidos diretamente com o assunto, conforme indicado a seguir.

- **PROJETO E IMPLANTAÇÃO DO SUB-SISTEMA: ENGENHARIA**

Deverá compreender, as seguintes tarefas:

**Coleta de dados das estruturas e elaboração de seções de estudo complementares**

A atividade deve efetuar o levantamento e compilação de todos os dados referentes à geometria e aos materiais constituintes das estruturas hidráulicas em estudo, como por exemplo boletins de sondagens e de ensaios, plantas, desenhos de forma e armaduras, desenhos "as built", e todos os documentos que auxiliem na elaboração de modelos para previsão de comportamento.

Para cada uma das estruturas, deverá ser emitido um relatório contendo a compilação de todos os dados reunidos.

Essa documentação, em conjunto com os dados obtidos nos serviços de topografia e nos serviços de sondagens adicionais, será empregada na confecção de seções típicas, a serem empregadas.

### **Projeto e implantação do módulo controle de barragens de terra**

Prevê o projeto e implantação do módulo de controle de barragens, que deve:

- a) resgatar automaticamente os dados existentes no banco de dados de Instrumentação - nível d'água , piezometria e medidores de vazão - e lançá-los sobre as seções geotécnicas revisadas;
- b) inserir parâmetros de solo - permeabilidade, coesão, ângulo de atrito e densidade - sobre as seções geotécnicas;
- c) modelar a rede de fluxo de cada seção, com base nos dados existentes no banco informatizado;
- d) utilizar a rede de fluxo e os parâmetros de solo para calcular o fator de segurança (F.S.) da seção, através do método "**BISHOP**" **SIMPLIFICADO**. O cálculo deverá incluir rotina de busca automática de círculo crítico de ruptura, e permitir a análise de superfícies não circulares;
- e) emitir relatórios dos cálculos efetuados;

- f) o módulo deve ainda permitir alterações de geometria de superfícies e camadas, bem como simulações com diferentes parâmetros de resistência de solo e piezometria.
- g) permitir a inclusão/supressão de estruturas e/ou seções;
- h) integrar a análise estatística dos dados de instrumentação, cuja rotina básica já se encontra operando. Isso permitirá a análise de estabilidade frente a condições previsíveis de piezometria / níveis d'água;

### **Projeto e implantação do módulo de controle de estruturas de concreto**

As estruturas de concreto da **ELETROPAULO** são conhecidas em menor profundidade que as estruturas de terra, em função principalmente de escassez de dados "as built", como fundações, ferragens, qualidade do concreto e mesmo sua própria geometria. Assim, o objetivo desta etapa será:

- a) calcular, com base nas informações disponíveis, as condições de peso próprio e carregamento aos quais as estruturas estão submetidas;
- b) implantar um sistema de cálculo do fator de segurança ao deslizamento e tombamento (quando for o caso, incluir também a verificação quanto da segurança contra a flutuação) para cada uma das estruturas, utilizando as informações acima e as condições instantâneas, tais como níveis d'água de canais e reservatórios e condições de sub-pressão.

Deverá ser desenvolvido um "software" para análise estrutural, que deverá ser integrado ao módulo, porém permitindo seu uso em outras situações, isoladamente.

### **Automatização do fluxo de informações de instrumentação**

Hoje tem-se um espaço de tempo médio de 1,5 semana entre a tomada de leituras nos instrumentos e sua inserção no banco de dados. Para a redução desse tempo, o projeto piloto conta com:

- a) a inserção remota de dados no sistema, via terminal, micro emulado ao "mainframe", ou sistema semelhante; deverá ser inserida uma rotina de confirmação para a inserção de dados inconsistentes;
  
- b) deverá ser considerada também a viabilidade de eliminação de planilhas, através de utilização de "laptop" ou "data collector". As avaliação dessa possibilidade dar-se á a partir de considerações sobre a robustez e custo do equipamento a ser empregado para os serviços de campo.

### **Instalação da rede local na engenharia**

Sendo a área de Engenharia aquela identificada responsável pelo efetivo monitoramento da segurança das barragens, há necessidade da instalação de equipamentos e "softwares" de comunicação, estabelecendo uma rede própria, voltada também ao desenvolvimento e melhoria contínua do sistema geral, projetada para gerenciar o sistema integrado como um todo, além de suas atividades específicas identificadas dentro de um subsistema Engenharia. Neste caso, inclui-se as fases de testes de novos "softwares" e equipamentos de comunicação a serem empregados.

- **PROJETO E IMPLANTAÇÃO DO SUB-SISTEMA: OPERAÇÃO**

**Instalação da rede local na operação**

Instalação dos equipamentos e “softwares” de comunicação para a rede projetada no subsistema: Operação.

Em uma primeira etapa, o esse subsistema deverá ser conectado aos dispositivos computacionais existentes; deverão, todavia, ser deixadas portas de acesso para comunicação futura com o SSCH - Sistema de Supervisão e Controle do Sistema Hidráulico, a ser implantado.

Prevê também o teste dos “softwares” e equipamentos de comunicação empregados.

- **PROJETO E IMPLANTAÇÃO DO SUB-SISTEMA: MANUTENÇÃO**

**Desenvolvimento de manuais e sua inserção no banco de dados com propósito de manutenção**

Compreende a definição de: termos e denominações, diretrizes para cadastro, classificação e priorização, procedimentos de inspeções rotineiras, especiais e emergenciais, procedimentos de reparos básicos, sugestão de tomada de decisão.

### **Aquisição / desenvolvimento de aplicativo para gestão de manutenção**

Busca-se a emissão automática de ordens de serviços, envolvendo: “*check-list*”, acesso a fichas técnicas das estruturas; informações da última inspeção e providências decorrentes; relação de materiais, recursos humanos e equipamentos necessários; elaboração de cronograma para manutenção preventiva; sugestão de tomada de decisões; análise de custos; análises de causas e efeitos das anomalias.

### **Instalação de rede local na manutenção**

A tarefa prevê a instalação de equipamentos e “*softwares*” de comunicação para a rede projetada no sistema manutenção

### **Gestão de Inspeções Visuais: ENGENHARIA/OPERAÇÃO/MANUTENÇÃO**

Compõe-se, basicamente, do conjunto de atividades: emissão e armazenamento de relatórios de inspeções; cadastramento de ocorrências; análise das ocorrências; tomada de decisão; procedimentos básicos de reparos nas estruturas; reclassificação e priorização de intervenções.

- **PROJETO E IMPLANTAÇÃO DO SUB-SISTEMA: CONSTRUÇÃO**

### **Instalação de rede local da construção**

A tarefa prevê a instalação de equipamentos e “*softwares*” de comunicação para a rede projetada no sistema construção.

- **IMPLANTAÇÃO DO SUB-SISTEMA INTERLIGADO - ENGENHARIA, MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO**

As atividades previstas prevêm a instalação de um servidor de rede capacitado a armazenar e gerenciar um banco de dados integrado a todos os outros sistemas, atuando como responsável pela interligação e atualização de "softwares".

Deverão ser também desenvolvidos e implantados os "softwares" de gerenciamento.

As ilustrações que serão apresentadas a seguir, têm objetivo de caracterizar os propósitos da metodologia proposta, resumindo as premissas e desafios necessários à implantação de um modelo de auscultação e monitoramento de barragens com alta performance:

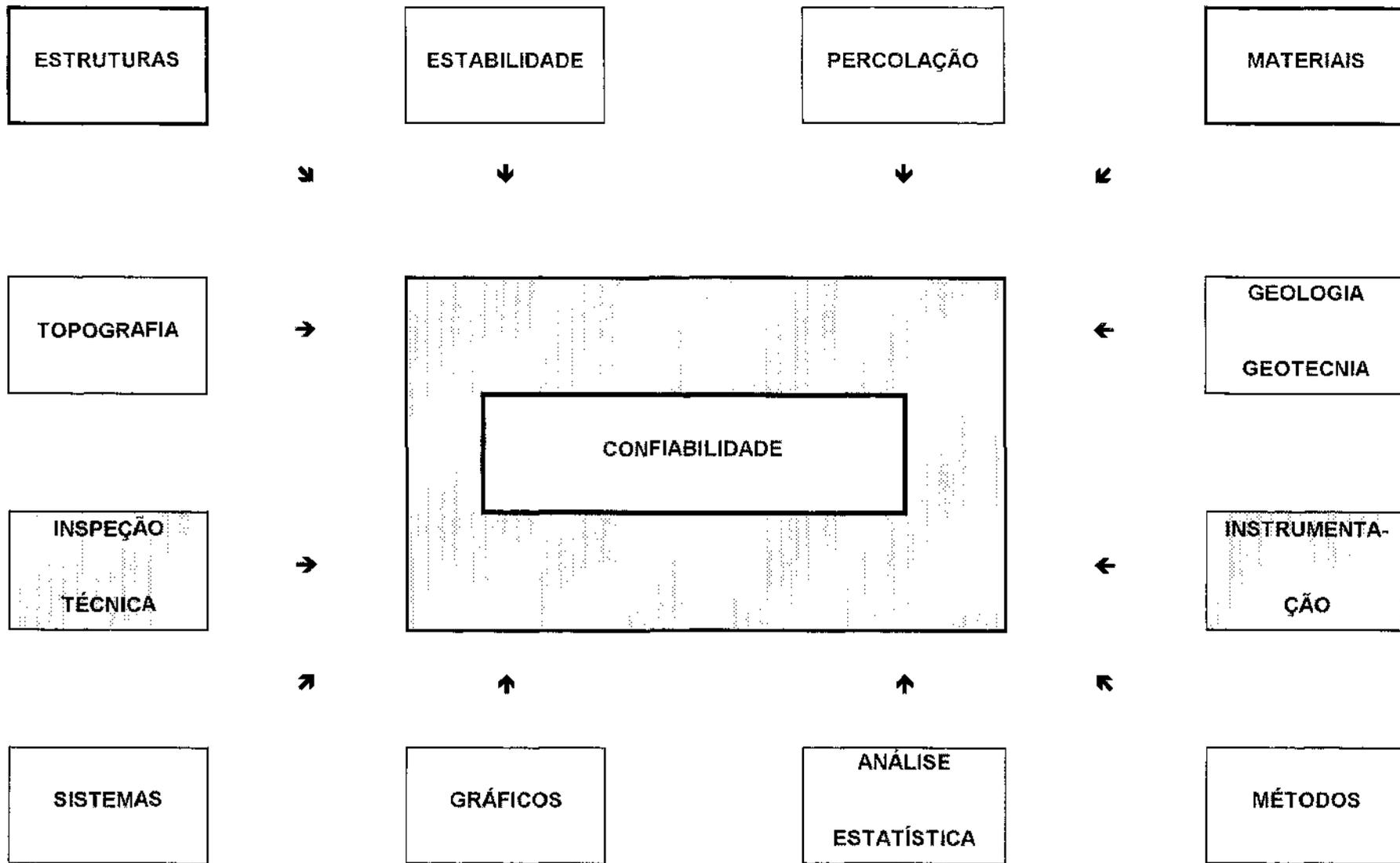


FIGURA A.1 - FATORES INTERVENIENTES NA CONFIABILIDADE DO MODELO DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS

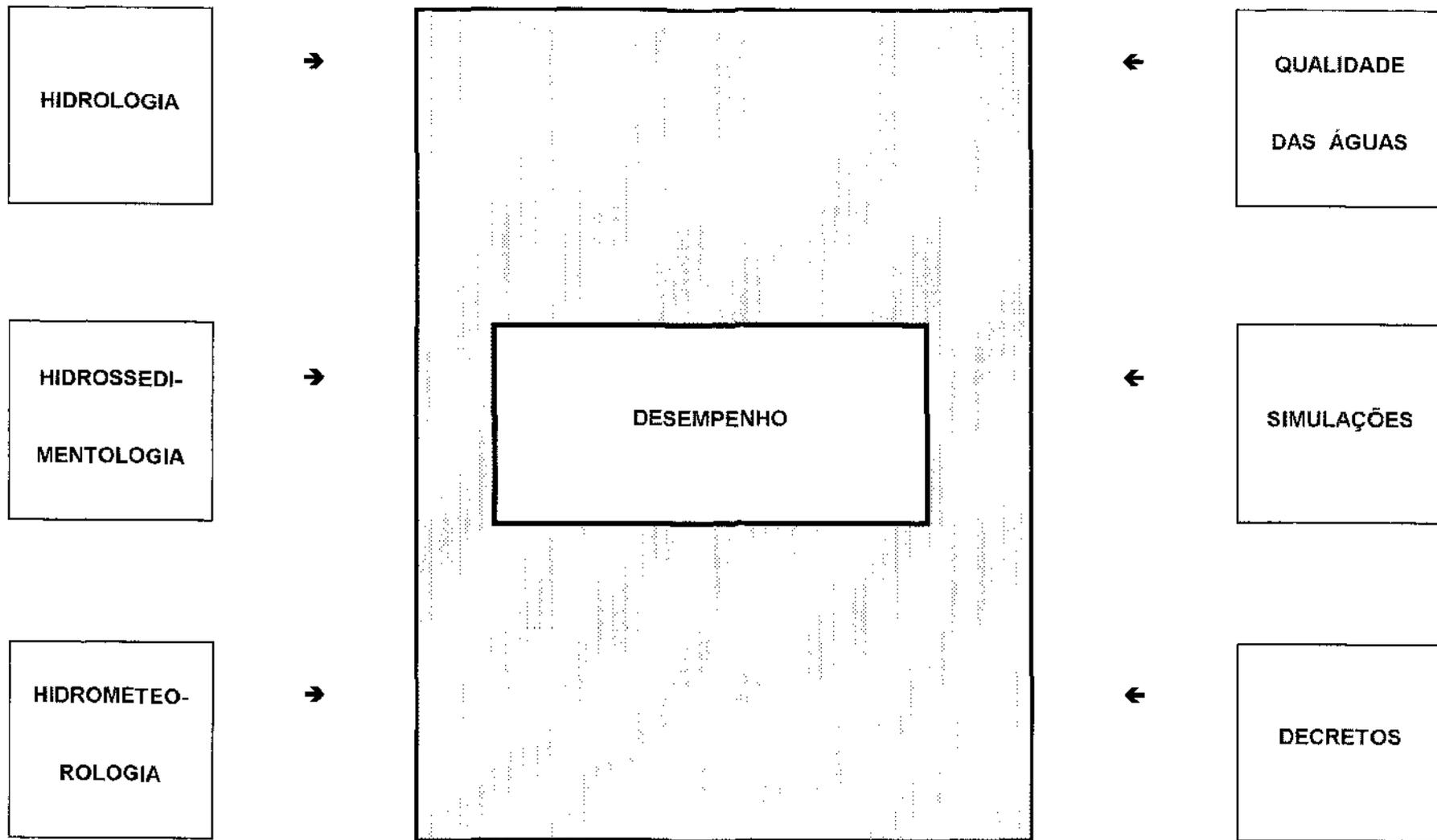
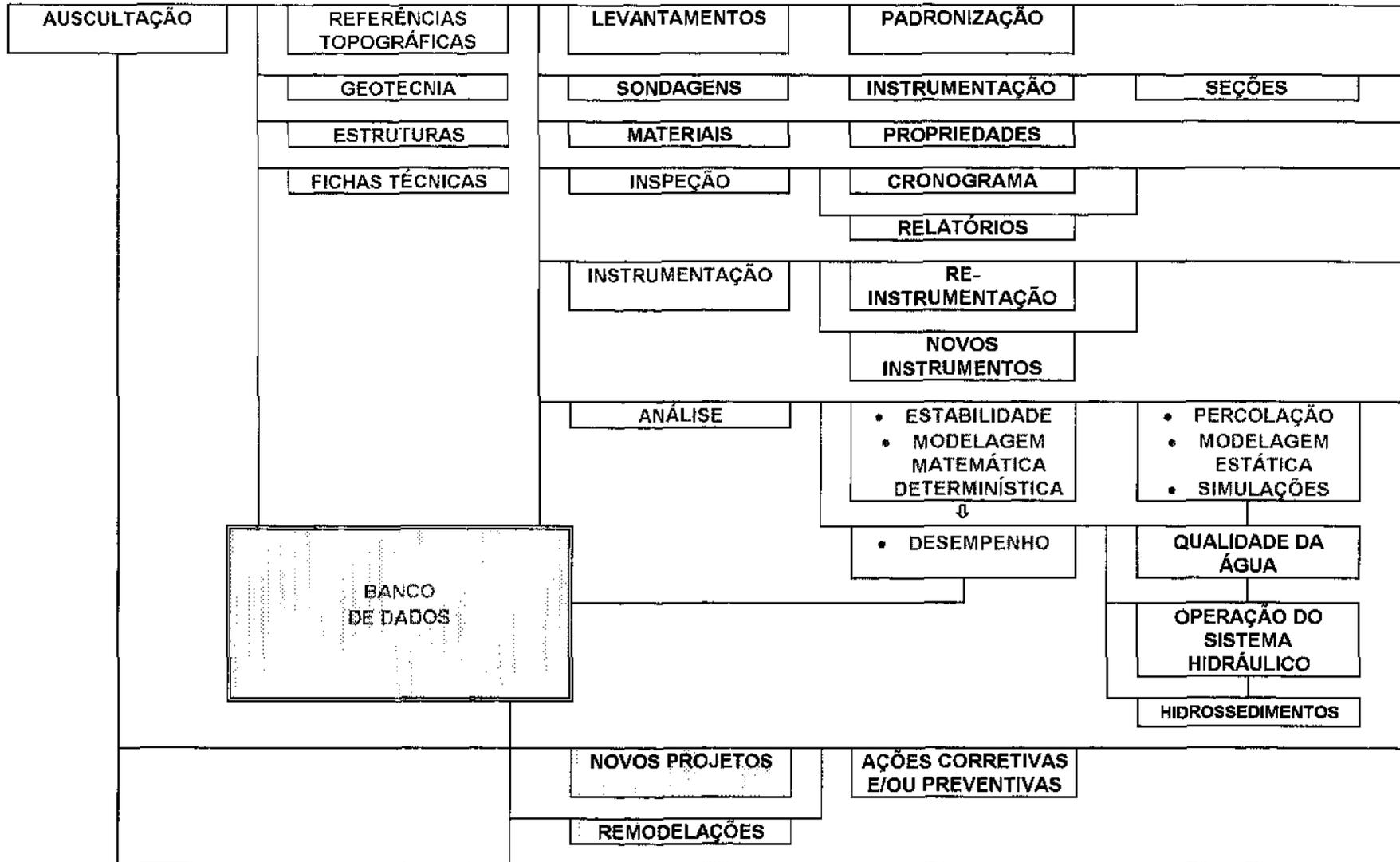


FIGURA 9.2 - CONDIÇÕES INTERVENIENTES NO DESEMPENHO DO MODELO DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS



FIGURA A.3 - MODELO DE AUSCULTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS - MANUTENÇÃO

**FLUXOGRAMA GERAL - básico**



**FIGURA A.4 - MODELO DE AUSCULTAÇÃO DE ALTA PERFORMANCE - FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES BÁSICAS**

---

## BIBLIOGRAFIA

1. ADIZES, Ichak - (1988) - *“Os Ciclos de Vida das Organizações - Como e Por Que as Empresas Crescem e Morrem e o Que Fazer a Respeito”* - Tradução de Carlos Afonso Malferrari, Livraria Pioneira Editora, 2ª. Edição (1993) - São Paulo.
2. ADIZES, Ichak - (1991) - *“Gerenciando Mudanças - O Poder da Confiança e do Respeito Mútuos na Vida Pessoal, Familiar e na Sociedade”* - Tradução de Nivaldo Montingelli Jr., Livraria Pioneira Editora - (1993) - São Paulo.
3. ANAIS - (1963 - São Paulo, 1976 - Fortaleza, 1978 - São Paulo, 1985 - Belo Horizonte) - Seminários Nacionais de Grandes Barragens.
4. ANAIS - (1986) - Simpósio sobre Segurança de Barragens - São Paulo.
5. ARGYRIS, Chris - (1992) - *“Enfrentando as Defesas Empresariais”* - Tradução de Hélcio Tonnera Jr., Editora Campus (1992) - Rio de Janeiro.
6. CAMP, Robert C. - (1989) - *“Benchmarking”- O Caminho da Qualidade Total* - Tradução de Nivaldo Montingelli Jr., Livraria Pioneira Editora - ( 1993) - São Paulo.
7. CAMP, Robert C. - (1989) - *“Benchmarking: The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance”* - Quality Progress, PP. 62 a 69, April, 1989.
8. CAMPOS, Vicente F. - (1992) - *“TQC - Controle da Qualidade Total ( No Estilo Japonês)”* - 5ª. Edição, Bloch Editora - (1994) - Rio de Janeiro.

9. CAMPOS, Vicente F. - (1994) - *"TQC - Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia"* - 1ª. Edição, Bloch Editora - (1994) - Rio de Janeiro.
10. CARLZON, Jan, LAGERSTRÖM, Tomas - (1985) - *"Hora da Verdade"* - Tradução de Maria Luiza Newlands Silveira, 10ª. Edição, COP Editora - (1994) - São Paulo.
11. CHARLWOOD, R. G.; STEELE, R. R. - (1992) - *"A Review of Alkali Aggregate in Hydro-Electric Plants and Dam"* - CEA/CANCOLD, Fredericton, Canadá.
12. COMISSÃO DE AUSCULTAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS - (1995) - *"Relato Geral"* - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens .
13. COMISSÃO DE SEGURANÇA - (1981) - *"Diretrizes para Inspeção e Avaliação da Segurança de Barragens"*, C.B.G.B. - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens.
14. CROBY, Philip B. - (1989) - *"The State of Worldwide Quality"* - Quality Progress, PP. 70 - 71, April, 1989.
15. DAN HELLER - (1991) - *"Motif Programming Manual"* - O'Reilly & Associates, Inc.
16. DAVIS, Robert; ROSEGRANT, Susan; WALKINS, Michael - (1995) - *"Managing Link Between Measurement and Compensation - AT&T Universal Card finds maintaining its system to be a difficult balancing act"* - Quality Progress, PP. 101 a 104, February, 1995.
17. DEMING, Willian E. - (1982) - *"A Revolução da Administração"* - Tradução de Francis H. Albert , Editora Marques Saraiva (1990) - Rio de Janeiro.

18. DRUCKER, Peter F. (1993) - *"Administrando em Tempos de Grandes Mudanças"* - Tradução de Nivaldo Montingelli Jr., Livraria Pioneira Editora - 2ª. Edição - (1995) - São Paulo.
19. ELETROPAULO - (1978) - "Plano Diretor de Avaliação das Estruturas e Instrumentação" - Relatório Interno.
20. FANTON, Adair C.; PION, Oscar B. B. - (1985) - *"A Experiência da Eletropaulo na Recuperação de Barragens"* - XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens.
21. GERST, Robert M. - (1995) - "Assessing Organization Performance - Why mess up people one at a time when you can ruin na entire organization?" - Quality Progress, PP. 85 - 88, February, 1995.
22. GUERRA, Marcos O. - (1985) - "Recuperação da Barragem do Rio Grande - Maciço Oeste - Aspectos Relativos à Segurança" - XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens.
23. GUERRA, Marcos O. - (1985) - *"A Importância da Recuperação de Barragens para a Eletropaulo"* - XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens.
24. GUERRA, Marcos O. - (1987) - *"Recuperação de Barragens Não-Seguras"* - Revista Geotécnica - Lisboa - Portugal.
25. GUERRA, Marcos O. et all - (1996) - *"A Prática da Eletropaulo na Auscultação de Barragens"* - Simpósio sobre Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil.

- 
26. GUERRA, Marcos O., FRANÇA, Paulo C. T. - (1986) - *"Hidromecanização - Experiência Brasileira nas Barragens do Rio Grande e Guarapiranga"*- A.B.M.S. - Associação Brasileira de Mecânica de Solos e AEE - Associação dos Engenheiros da Eletropaulo.
27. GUERRA, Marcos O.,(1994) - *"Reabilitação de Barragens e de suas Estruturas Hidráulicas"* - Relato Geral do Tema III - XXI Seminário Nacional de Grandes Barragens.
28. GUERRA, Marcos O.; FANTON, Adair C.; RAINHO, Antonio C. - (1996) - *"Computação Gráfica Aplicada na Auscultação de Barragens"* - Simpósio sobre Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil.
29. HOHNER, G. - (1993) - *"Integrating Product and Process Designs - TQM is na effective integration tool"* - Quality Progress, PP. 55 a 61, May 1993.
30. I.C.O.L.D. - International Commission on Large Dams - (1974) - *"Lessons From Dam Incidents"*.
31. I.C.O.L.D. - International Commission on Large Dams - (1982) - *"Bulletin 41 - Automated Observation for the Safety Control of Dams"*.
32. ISHIKAWA, Kaoru - (1991) - *"Controle de Qualidade Total À Maneira Japonesa"* - Tradução de Iliana Torres, 2<sup>a</sup>. Edição, Editora Campus - (1993) - São Paulo.
33. JURAN, J. M. - (1992) - *"A Qualidade desde o Projeto - Os Novos Passos para o Planejamento da Qualidade em Produtos e Serviços"* - Tradução de Nivaldo Montingelli Jr., Editora Pioneira ( 1992) - São Paulo.

- 
34. L.N.E.C. - Laboratório Nacional de Engenharia Civil - (1981) - "Automatização das Actividades de Observação de Barragens e Análise Quantitativa de Resultados" - Lisboa, Portugal.
35. L.N.E.C. - Laboratório Nacional de Engenharia Civil - (1983) - "Sistemas de Observação de Barragens - Critérios para a sua Definição", Lisboa, Portugal.
36. LAND, George, JARMAN, Beth - (1990) - "Ponto de Ruptura e Transformação" - Tradução de Adail Ubirajara Sobral, 10ª. Edição, Editora Cultrix (1994/95) - São Paulo.
37. LEPS, Thomas M. - (1992) - "Instrumentation and the Judgment Factor, Transactions, Fifteenth Congress" - International Commission on Large Dams, Vol. I - pp. 643/652. Lausanne, Suíça.
38. LINDQUIST, Lélío N. - (1992) - "Instrumentação Geotécnica - A Experiência da CESP" - Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica em Barragens, julho/92 - Revista do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens; publicação 01/96 - 1996, Rio de Janeiro.
39. MCCONNELL, N. J., STEPHENS, W. J. - (1989) - "Generating a New Relationship - The Carolina Power and Light Company has initiated a personalized approach to meet its customers needs" - Quality Progress, PP. 37 a 39, Junho, 1989.
40. MOREIRA, Maria M. M. A. - (1992) - "Definição dos Diversos Níveis de Influência Ambiental de uma Usina Hidrelétrica" - Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica em Barragens, julho/92 - Revista do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens; publicação 01/96 - 1996, Rio de Janeiro.
41. MOURA, Eduardo C. - (1994) - "As Sete Ferramentas da Qualidade - Implementando Melhoria Contínua com Maior Eficácia" - Editora Makkron Books - São Paulo.

- 
42. MULDOON, Arthur - (1992) - *"The Clyde Power Project and The Instrumentation Associated With Reservoir Stabilisation"* - Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica em Barragens, julho/92 - Revista do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, publicação 01/96 - 1996, Rio de Janeiro.
43. NEGRO, Arsênio Jr.; GOMES, Mauro; GUERRA, Marcos O. - (1978) - *"Características Geotécnicas de Solos em Aterros Hidráulicos e a Experiência na Barragem do Guarapiranga"* - Revista Solos e Rochas nº. 3.
44. PETERS, Tom J. - (1987) - *"Prosperando no Caos"* - Tradução de Nivaldo Montingelli Jr., Editora HARBRA Ltda. - (1989) - São Paulo.
45. PETERS, Tom J.; WATERMAN Jr., Robert H. - (1982) - *"Vencendo a Crise: Como o Bom Senso Empresarial pode Superá-la"* - Tradução de Baltazar Barbosa Filho, 15ª. Edição, Editora HARBRA Ltda. - (1986) - São Paulo.
46. PIASENTIN, Conrado - (1992) - *"Auscultação e Comportamento de Barragens"* - Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica em Barragens, julho/92 - Revista do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens; publicação 01/96 - 1996, Rio de Janeiro.
47. PORTER, Michael E, - (1989) - *"Vantagem Competitiva Criando e Sustentando um Desempenho Superior"* - Tradução de Elizabeth Maria de Pinto Braga, Editora Campus - (1992) - Rio de Janeiro.
48. PORTER, Michael E, - (1993) - *"A Vantagem Competitiva das Nações"* - Tradução de Waltensir Dutra, Editora Campus - 5ª. Edição - (1993) - Rio de Janeiro.

- 
49. Porter, Michael E. - (1991) - "*Estratégia Competitiva: Técnicas para Análise de Indústrias e da Concorrência*" - Tradução de Elizabeth Maria de Pinto Braga, 7ª. Edição, Editora Campus (1991) - Rio de Janeiro.
50. RAINHO, Antonio C. F. - (1994) - "*Desenvolvimento de uma aplicação Windows/Motif*" - III Semana de Atualização Tecnológica em Informática da Eletropaulo.
51. REDLINGER, Jacob F., et all - (1975) - "*Lessons From Dam Incidents, USA*" - American Society of Civil Engineers ASCE, United States Committee on Large Dams.
52. ROSE, Kenneth H. - (1995) - "*A Performance Measurement Model - Lead your organization into the future*" - Quality Progress, PP. 63 a 66, February, 1995.
53. SENGE, Peter M. (1990) - "*A Quinta Disciplina - A Arte e Prática da Organização de Aprendizagem*" - Tradução Regina Amarante, Editora Nova Cultural Ltda. / Best Seller (1990) - São Paulo.
54. SILVEIRA, João F. A. - (1992) - "*A Deterioração de Barragens e Usinas Hidrelétricas Provocadas pela Reatividade Álcali-Agregado*" - Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica em Barragens, julho/92 - Revista do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens; publicação 01/96 - 1996, Rio de Janeiro.
55. SILVEIRA, João F. A. - (1992) - "*Desenvolvimentos mais recentes na Instrumentação de Barragens de Terra-Enrocamento*" - Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica em Barragens, julho/92 - Revista do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens; publicação 01/96 - 1996, Rio de Janeiro.

- 
56. SILVEIRA, João F. A.; DI VICENZO, E.; WURLI, R. L.; FANTON, A. C.; SANTOS, J. A., SOBRINHO; E. F. G. - (1985) - "*Diagnóstico e Projeto Executivo da Restauração das Estruturas de Concreto da Usina Elevatória de Traição*" - XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens.
57. SINK, D. Scott, TUTLE, Thomas C. - (1989) - "*Planejamento e Medição para a Performance*" - Tradução de Elenice Mazzilli e Lúcia Faria Silva, Qualitymark Editora - (1993) - Rio de Janeiro.
58. SPIEGEL, Murray R. - (1977) - "*Probalidade e Estatística*" - Tradução de Alfredo Alves de Faria, MAKRON Books Ltda. / Editora McGraw-Hill Ltda., Série Schaum - (1978) - São Paulo.
59. STANLEY, Wilson, (CRUZ, P. T.) - (1974) - "*Notas do Simpósio de Instrumentação de Barragens de Terra*" - Encontro de Ilha Solteira - São Paulo.