Dissertação de Mestrado

RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO ASSOCIADO A PROJETOS DE IMPLANTAÇÃO DE PCHs – CASO DA PCH CACHOEIRÃO

AUTORA: LAURENN WOLOCHATE ARACEMA DE CASTRO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Sobreira (UFOP)

NUGEO

ESCOLA DE MINAS / UFOP

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA UFOP

OURO PRETO - OUTUBRO DE 2008

C355R **CASTRO, LAURENN WOLOCHATE ARACEMA DE.**
Risco geológico-geotécnico associado a projetos de implantação de PCHs: [manuscrito] caso da PCH Cachoeirão / Laurenn Wolochate Aracema de Castro - 2008.
xii, 88f.: il., color.; grafs.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO.
Área de concentração: Geotecnia de barragens.

1. Usinas hidrelétricas - PCH - Teses. 2. Construção civil - Especificações - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 621.311.21(815.1)

Catalogação: sisbin@sisbin.ufop.br

RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO ASSOCIADO A PROJETOS DE IMPLANTAÇÃO DE PCHs – CASO DA PCH CACHOEIRÃO

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Geotecnia**, área de concentração em *Geotecnia de Barragens*.

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 14 de outubro de 2008, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira (Orientador / UFOP)

Prof. Dr. Romero César Gomes (UFOP)

Prof. Dr. Wilson Shoji Iyomasa (IPT)

Geól. Marcos Luís Vasconcelos (CEMIG)

"Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto".

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado ao Juninho e ao nosso pequeno Caio.

AGRADECIMENTOS

A Cemig e a todos os colegas sem os quais não teria sido possível a realização deste trabalho. Em especial à Ana Luísa, à Aline, à Maria Cecília e ao Romeu pelo apoio imprescindível.

Aos colegas do mestrado que foram exemplos e com os quais tantos momentos de angústia e incertezas foram compartilhados, no longo caminho para esta conquista.

Aos professores do curso que nos ensinaram mais do que conhecimentos técnicos e nos transformaram em profissionais muito melhores, em especial ao meu orientador Frederico.

A toda a minha família, sobretudo aos meus pais, pelo apoio e compreensão e por terem me ajudado a chegar até aqui, de várias formas, como profissional e como pessoa.

A minha querida Vó Izaura, que não está mais fisicamente comigo para compartilhar esta vitória, mas que sempre será o maior exemplo da minha vida, a minha luz.

Ao Juninho e ao Caio, motivos para tudo em minha vida.

Muito Obrigada!

RESUMO

Devido às alterações no setor de energia elétrica, dos requisitos ambientais cada vez mais restritivos e aos incentivos oferecidos às fontes de energia alternativa ou energia limpa, a viabilização dos projetos de PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas – tem se tornado mais fácil. Neste cenário a Cemig lançou o Programa Minas PCH, buscando parceiros para a implantação de PCHs, através da formação de Sociedades de Propósito Específico, tendo como acionista além dela, empresas autorizadas pela ANEEL e investidores. O primeiro projeto a ter o processo de contratação completo e as obras iniciadas foi a PCH Cachoeirão, em parceria com a Santa Maria Energética. A PCH terá capacidade instalada de 27 MW, área inundada de 1,14 Km^2, nos municípios de Pocrane e Alvarenga, em Minas Gerais.

As discussões do tipo de contrato, das responsabilidades sobre os riscos e das possibilidades de compartilhamento destes, tem consumido muito tempo e esforço durante a formatação dos contratos e, não raro, perduram até o encerramento dos mesmos. Estas definições devem considerar as características dos empreendedores e dos construtores, as características do local de implantação, o nível de certeza e segurança dos modelos elaborados e as características do projeto, entre outros. Para a definição do modelo local, da qualificação e da quantificação dos riscos geológicos envolvidos em obras, várias definições e metodologias têm sido adotadas, porém ainda não existe um consenso. Diante de tudo isto, o risco geológico tem se tornado o maior vilão dos contratos e das obras, independentemente do porte.

Visando reduzir as incertezas e tornar o mais claro possível o compartilhamento de risco adotado para os contratos a serem utilizados no Programa Minas PCH, desenvolveu-se uma metodologia de elaboração e consolidação de um Relatório de Riscos Geológico-Geotécnico. Buscou-se esclarecer os modelos adotados, as definições de cotas e características da fundação, tratamentos e as incertezas observadas. O relatório foi anexado ao edital de licitação, foi discutido e consolidado entre as partes, tornando-se integrante do contrato. Este trabalho apresenta as definições adotadas e o relatório elaborado e analisa as dificuldades e os ganhos da utilização desta metodologia.

ABSTRACT

Due to the changes in the electrical power sector, to the more restrictive environmental demands, and also to the incentives offered to the use of alternative energy sources or clean energy, the feasibility of PCHs (Small Hydroelectric Power Plants) is becoming easier. In this scenario Cemig has launched the program called “Programa Minas PCH”, in order to look for partners for settlement of PCHs, through the creation of Especific Purpose Societies, whose stockholders would be CEMIG himself, companies authorized by ANEEL and investors. The first project that had its agreement process completed and its works started was the PCH Cachoeirão, on a partnership with Santa Maria Energética. This PCH will have its production limited to 27MW, and also a dam covering an area of 1,14 km^2 , in the Procrane and Alvarenga municipalities, in Minas Gerais.

The conversations about the kind of contract, risk responsibilities and the possibilities of sharing them are time and effort-consuming during the phase of contract formatting and, not rare, endure till the end of these contracts. These definitions must take into consideration the characteristics of the entrepreneurs and of the builders, the characteristics of the settlement place, the certainty and safety of the models created, the project characteristics, among others. In order to define the local model, to quantify and qualify the geological risks involved in the works, several definitions and methodologies are being used, but there is no general agreement. Because of this, the geological risk became the major villain in contracts and works, regardless of it size.

In order to reduce the uncertainties and to become as clear as possible the risk sharing used for contracts in the “Minas PCH” program, it was developed a methodology for elaborating and consolidating a Report for Geological-Geotechnical Risks. It was a goal to clarify the models used, the definition of elevations and characteristics of the foundation, treatments and the uncertainties observed. The report was attached to the invitation to bid; it was discussed and consolidated between the parts, becoming a part of the contract. This work presents the definitions used and the report prepared, and also analyzes the difficulties and earnings of using this methodology.

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Atividades para Projetos Básicos de PCH (Eletrobrás, 2000).

Figura 4.1 – Tipos de investigações utilizados nas PCHs, em quantidade e em metragem.

Figura 4.2 – Comparativo de tipos e quantidades de investigação entre as PCHs.

Figura 4.3 – Gráfico Metragem Investigada X Potência Instalada.

Figura 4.4 – Valores do Índice – Metragem Investigada X Potência Instalada.

Figura 6.1 – CCH-006 – Arranjo Geral - Planta

Figura 6.2 – CCH-009 – Investigações Geológicas - Planta

Figura 6.3 – CCH-010 – Seções Geológico-Geotécnicas

Figura 6.4 – CCH-029 – Área do Barramento – Cortina de Injeções

Figura 6.5 – CCH-030 – Túnel Adutor – Tratamentos

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Resumo dos dados técnicos das PCHs comparadas.

Tabela 4.2 – Resumo dos quantitativos de investigação dos Projetos Básicos.

Tabela 4.3 – Resumo dos dados de metragem total e potência instalada das PCHs e relação entre estes parâmetros.

Lista de Símbolos, Nomenclatura e Abreviações

PCH – Pequena Central Hidrelétrica;

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo;

SPE – Sociedade de Propósito Específico;

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;

LP – Licença Prévia;

LI – Licença de Instalação;

LO – Licença de Operação;

SPT – *Standart Penetration Test;*

EPA – Ensaio de Perda d'Água;

EM – Domínio de Tempo (método geofísico);

VLF – *Very Low Frequency* (método geofísico);

GPR – *Ground Penetration Radar* ou radar de Penetração no solo (método geofísico);

SV – Sondagem a Varejão;

ST – Sondagem a Trado;

PI – Poço de Inspeção;

TI – Trincheira de Inspeção;

SP – Sondagem à Percussão;

SM – Sondagem Mista;

SR – Sondagem Rotativa;

RP – Perfuração com Rotopercussão;

GI – Galeria de Investigação;

EPC – *Engineering, Procurement, Construction* – Modelo de contratação cujo escopo engloba engenharia, suprimento e construção de empreendimentos;

CCR – Concreto Compactado a Rolo;

CCV – Concreto Convencional;

N.A. – Nível de Água;

$Q_{TR10.000}$ - Vazão Decamilenar;

TR – Tempo de Recorrência;

DHPs – Drenos Horizontais Profundos.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO 1

1.1 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 2

CAPÍTULO 2 - RISCO GEOLÓGICO 5

2.1. A ENGENHARIA E A GEOLOGIA NO CONTEXTO DAS CIÊNCIAS 5
2.2. DIFICULDADES NOS PROJETOS E OBRAS DE ENGENHARIA 7
2.3. OS RISCOS GEOLÓGICOS 9
2.4. INCERTEZAS E PROBLEMAS GEOLÓGICOS 14

CAPÍTULO 3 – PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS 16

3.1. ATIVIDADES PARA ESTUDOS E PROJETOS DE UMA PCH 18
3.2. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS PARA PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCH 20
3.2.1. Levantamentos de Campo 21
3.2.2. Estudos Básicos 24
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO 25
3.3.1. Sensoriamento Remoto 25
3.3.2. Mapeamento 26
3.3.3. Métodos Geofísicos 26
3.3.4. Métodos Diretos 28
3.4. FORMAS DE CONTRATAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCH 29
3.4.1. Conceito Básico do Modelo EPC 31
3.4.2. Modelo EPC Híbrido 33
3.5. INFLUÊNCIA DA GEOLOGIA NO CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA 34

CAPÍTULO 4 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS 37

4.1. AS INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNIAS E AS PCH 39

CAPÍTULO 5 – PROGRAMA MINAS PCH – DEFINIÇÕES, ALOCAÇÃO DE RISCOS E CONTRATO EPC 48

5.1. PROGRAMA MINAS PCH 48
5.1.1 A PCH Cahoeirão 49
5.2. DEFINIÇÕES DO CONTRATO 49
5.3. DEFINIÇÕES DO RELATÓRIO TÉCNICO DE RISCO GEOLÓGICO 53

5.3.1. Definição dos Modelos *54*
5.3.2. Elaboração do Relatório Técnico de Risco Geológico *56*

CAPÍTULO 6 - RELATÓRIO TÉCNICO DE RISCOS GEOLÓGICOS - PCH CACHOEIRÃO . 57

6.1. INTRODUÇÃO 57
6.2. DEFINIÇÕES 57
6.2.1 Risco Geológico *57*
6.2.2 Mudança nas Condições Geológicas *57*
6.3. ARRANJO GERAL DO PROJETO 58
6.4. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL 60
6.5. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DO LOCAL 62
6.5.1. Campanhas de Investigações *62*
6.5.2. Condições Geológico-Geotécnicas no Local das Principais Estruturas *64*
6.6. TRATAMENTOS PRECONIZADOS 66
6.7. ESCLARECIMENTOS E ACORDO DE ENTENDIMENTO 69
6.7.1. Critério Geral *69*
6.7.2. Escavações em Rocha a Céu Aberto *70*
6.7.3. Tratamentos de Fundação *71*
6.7.4. Tratamentos no Túnel *71*
6.7.5. Tratamentos de Taludes *72*
6.7.6. Mapeamento Geológico, Classificação de Maciço e Definição de Tratamentos *74*
6.8. REFERÊNCIAS 74

CAPÍTULO 7 – RESULTADOS E DISCUSSÕES 75

7.1. INTRODUÇÃO 75
7.2. ANÁLISE GERAL 75
7.2.1. Tipo de Contrato e Responsabilidade pelo Risco Geológico *75*
7.2.2. Alterações no Projeto *76*
7.2.3. Adequação do Local do Projeto e Soluções Inovadoras *76*
7.2.4. Impacto Financeiro dos Riscos Geológicos *77*
7.2.5. Volume Investigado X Análise de Risco *78*
7.2.6. Mapeamento, Classificação Geomecânica e Definição dos Tratamentos *78*
7.2.7. Equipes do Projeto e da Obra *79*
7.3. ANÁLISE DO RELATÓRIO TÉCNICO DE RISCO GEOLÓGICO DA PCH CACHOEIRÃO 80
7.3.1. Consolidação do Modelo *81*

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES 83

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Com as alterações no mercado de energia elétrica, as questões ambientais cada vez mais consideras e com os incentivos oferecidos as fontes de energia limpa, as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) tem se tornado cada vez mais viáveis financeiramente, apesar da pequena geração.

Neste contexto, a Cemig lançou o Programa Minas PCH com o objetivo de ampliar o seu parque gerador através da implantação de PCHs no Estado de Minas Gerais, visando desenvolver projetos de energia de fontes alternativas e de geração distribuída, alavancando o desenvolvimento de mercados regionais no Estado.

Os consumidores da energia gerada pelas PCHs são beneficiados pela redução de sua tarifa e podem, também, ser beneficiados por consumirem energia de fontes renováveis. Os projetos de geração a partir dessas fontes são elegíveis ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, visando à obtenção de créditos de carbono.

O Programa Minas PCH prevê a implantação e exploração das PCHs através de sociedades de propósito específico – SPEs privadas, tendo como acionistas empresas autorizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), investidores e a Cemig.

Dentro do programa, está sendo construída a PCH Cachoeirão, com capacidade de 27MW, viabilizada por meio de parceria entre a Cemig, que terá 49% de participação no empreendimento, e a Santa Maria Energética, empresa do setor elétrico que atua no Espírito Santo. O reservatório terá uma área inundada de 1,14 km^2, nos municípios de Pocrane e Alvarenga, na região Leste de Minas.

Apesar do tamanho e da potência instalada das PCHs serem pequenos, isto não significa que se tratem de projetos simples e de fácil implantação, sendo muitas vezes exatamente o contrário. Por se tratarem de projetos com orçamentos no limite da viabilidade

econômica, muitas otimizações são necessárias e normalmente a capacidade de investimento em pesquisas, detalhamento e desenvolvimento do projeto é limitada.

Além destas limitações, um grande problema enfrentado durante a implantação, mas discutido durante todas as fases do projeto é o risco geológico. Esta não é uma exclusividade dos pequenos projetos, mas as suas conseqüências afetam estes com uma severidade muito maior que nos grandes empreendimentos. Este fato se dá pelo impacto financeiro em um orçamento menor, pelo contingenciamento, normalmente percentual, também menor e pelo prazo reduzido de implantação que não permite ou dificulta muito a recuperação do cronograma.

Normalmente as discussões de responsabilidades sobre os riscos geológicos consomem um tempo longo nas fases de fechamento e assinatura dos contratos, mas consomem muito mais tempo e envolvem altos custos, caso algum imprevisto venha a ocorrer.

Associando os fatores descritos acima e buscando uma solução mais eficiente para a definição das responsabilidades sobre os riscos, a Cemig e sua parceira decidiram modificar o formato da contratação, sobretudo na cláusula de riscos geológicos e hidrológicos. Definiu-se então pela elaboração de modelos geológico-geotécnico, geomecânico e hidrogeológico e a consolidação deste em um relatório técnico, a ser referendado pelo contratado, sendo este parte integrante do contrato firmado.

O presente trabalho discute a utilização desta metodologia durante a contratação da PCH Cachoeirão, focando as definições de responsabilidades sobre o risco geológico-geotécnico, a elaboração e consolidação do relatório, as principais dificuldades encontradas e os principais benefícios obtidos.

1.1 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O trabalho foi subdividido em 8 capítulos, incluindo este capítulo introdutório que apresenta o tema, os objetivos propostos, a PCH foco deste trabalho e a metodologia e as etapas do trabalho realizado. Este trabalho foi desenvolvido no período de

contratação da obra da PCH Cachoeirão, que atualmente se encontra em adiantado processo de implantação, com previsão de geração ainda para este ano. Quase a totalidade das obras de escavação e tratamentos já foi realizada, o que pode balizar algumas análises sobre a eficácia do modelo adotado e ainda os problemas enfrentados na utilização do mesmo.

Como embasamento foi feita uma revisão e discussão dos aspectos relativos às definições de risco geológico aplicado a obras de engenharia, um tema bastante discutido e muito controverso. São avaliadas ainda as principais dificuldades da interface geologia / engenharia e os principais erros cometidos na maioria dos projetos. . Esta revisão é apresentada no Capítulo 2.

No Capítulo 3 é apresentada uma avaliação dos critérios e aspectos teóricos relativos à elaboração de projetos de pequenas centrais hidrelétricas, com base nos padrões da Eletrobrás. Enfatizaram-se os estudos geológicos e os tipos de investigações a serem realizados nas etapas definidas e ainda o impacto das questões geológicas nos tipos de contrato e de alocação de riscos e possíveis conseqüências nas diversas fases de implantação de uma PCH

O Capítulo 4 discute como são encaradas as questões relativas a investigações geológico-geotécnicas nas fases de projeto e a dificuldade de se definir um montante mínimo de investigações a serem realizadas frente ao investimento e a possível mitigação dos riscos envolvidos. Este fato se deve basicamente aos diferentes tipos de projetos e arranjos, contextos geológicos e resultados encontrados. Neste capítulo busca-se avaliar comparativamente os projetos básicos aprovados pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – dentro do Programa Minas PCH, da Cemig. Foram avaliados e comparados 19 projetos.

O Capítulo 5 discute a estrutura do Programa Minas PCH da Cemig, o tipo e o texto do contrato utilizado e ainda o modelo de alocação de risco para a PCH Cachoeirão.

No Capítulo 6 é apresentado o Modelo Geológico Geotécnico da PCH Cachoeirão, foco deste trabalho, que foi elaborado durante a fase de contratação da obra da PCH, visando a redução e a definição das responsabilidades de cada parte envolvida quanto aos riscos geológicos. Este trabalho foi desenvolvido em acordo com as demais partes envolvidas no contrato, ou seja, projetistas do projeto básico e do projeto executivo e contrutora / consórcio construtor.

No Capítulo 7 são apresentadas as principais questões levantadas e discutidas ao longo da elaboração do trabalho e o impacto e a interação das definições adotadas.

Finalmente, o Capítulo 8 apresenta-se as principais conclusões obtidas no trabalho e algumas sugestões para futuros Projetos Básicos a serem analisados ou elaborados, contratos e Relatórios de Risco Gelógico-Geotécnico a serem firmados.

CAPÍTULO 2 - RISCO GEOLÓGICO

A implantação de empreendimentos sempre acaba por impor alterações na dinâmica ambiental da área de influência da obra, muitas vezes acelerando, induzindo e/ou intensificando a ocorrência de processos geológicos. Associa-se também o fato de diferentes materiais responderem de modo distinto a solicitações semelhantes, resultando em comportamentos geotécnicos dos terrenos que muitas vezes afetam a segurança e a eficiência das obras (Chow e Cerri, 2005).

É importante lembrar que dependendo da gênese (origem) do maciço e de suas características locais relacionadas ao perfil de alteração (geralmente não tão bem comportado como aquele assumido nos desenhos de projeto) e defeitos estruturais representados pelas zonas de cisalhamentos, falhas, fraturas, etc, as incertezas e variabilidades podem gerar grandes imprevistos (Nieble, 2004).

A enorme variabilidade e surpresas dos maciços rochosos têm requerido o aparecimento de diversas metodologias associadas à definição de riscos. Nos dias de hoje falar em "Risco Geológico" é falar em sistemas de controle de obras num ambiente de parâmetros difíceis de identificar, de caracterizar e de dominar, com enorme variabilidade. Este controle não é apenas construtivo, ou seja, técnico e de segurança, mas também financeiro (Matos e Pinto, 2004)

2.1. A ENGENHARIA E A GEOLOGIA NO CONTEXTO DAS CIÊNCIAS

A nossa sociedade acostumou-se a imaginar que a Engenharia é uma ciência exata. Até mesmo grande parte dos engenheiros considera este errôneo paradigma como verdadeiro. Na verdade a engenharia, segundo o Dicionário Aurélio, é a "arte de aplicar conhecimentos científicos e empíricos e certas habilitações específicas à criação de estruturas, dispositivos e processos que se utilizam para converter recursos naturais em formas adequadas ao atendimento das necessidades humanas".

A engenharia utiliza a matemática para resolver problemas da física. A matemática é uma ciência exata, pois a resposta para um problema é sempre a mesma, quer você o resolva por um caminho, ou por outro alternativo. O mesmo não se pode dizer da Engenharia ou das ciências da terra, pois para um mesmo problema podem existir várias soluções, uma vez que na formulação das soluções, além de ferramentas matemáticas, são sempre incorporados os fatores subjetivos da sociedade e da diversidade da realidade natural a que se referem e aos quais se pretende satisfazer e atender.

A Engenharia busca, na grande maioria das situações, modelos simplificados que representem satisfatoriamente o fenômeno, ou seja, de uma forma adequada, técnica e econômica. A graduação de inexatidão ou incerteza se dá na razão direta da restrição de fenômenos a serem descritos. Quanto maior o campo do conhecimento a ser descrito, ou seja, quanto maior a parcela da natureza, maior a inexatidão ou incerteza envolvida.

A prática da Engenharia ao longo do século XX sob o jugo do “melhor, mais rápido e mais barato”, esqueceu sua natureza aproximada e essencialmente estatística. Os projetos e orçamentos das obras de engenharia e, em conseqüência, os seus contratos, de caráter essencialmente determinístico, contêm uma série de aproximações, desde a estimativa dos quantitativos, passando pelas propriedades dos materiais naturais, até a modelagem previsional do seu comportamento, todos de natureza essencialmente estatística. Nas obras de infra-estrutura essa divergência entre a previsão determinista do contrato e a realidade estatística da obra é mais acentuada, devido à grande interveniência do fator subsolo e, só por acaso, o realizado será igual ao previsto (Pitta et al, 2005).

Particulares dificuldades e incertezas estão envolvidas quando se busca descrever as formações geológicas e materiais naturais tão variados como os solos e as rochas. Nestes casos ocorre a participação do acaso na definição espacial dos depósitos e sempre existe a imprevisibilidade como fator determinante.

O sucesso a ser esperado nos empreendimentos que envolvem a participação dos solos e das rochas, e todas as obras de engenharia de modo geral, que lidam com estes

elementos da natureza, está subordinado à habilidade de interpretação daquilo que o próprio solo ou rocha oferece, dentro do domínio dos nossos conhecimentos e das investigações que são factíveis de se realizar.

A interpretação dos solos e de outros materiais naturais, em termos das possibilidades de seu uso para qualquer objetivo, é uma atividade de aplicação de conhecimentos adquiridos. A interpretação torna-se muito mais adequada quanto melhores e mais amplas são as informações disponíveis, obtidas através de conhecimentos e de amplos estudos e pesquisas que porventura vierem a ser processados.

Poisel (1990) afirma que a rocha às vezes pode exibir características do contínuo assim como do descontínuo; mas há casos em que sua natureza não pode ser modelada por nenhuma dessas duas concepções. É muito difícil ter-se sucesso na previsão do comportamento de um material tão complexo por métodos puramente analíticos, com suficiente confiabilidade. Além do pensamento racional, necessita-se sempre de alguma coisa, que pode ser chamada intuição, julgamento ou experiência mística do material rochoso. A mecânica das rochas, sendo uma ciência intimamente relacionada com a natureza, pode estar predestinada a demonstrar que a tecnologia não é puramente analítica, mas também um processo dialético amplo, holístico. Uma concepção complexa do material rochoso, pela observação e experiência na natureza, combinada com estudos de vários tipos de modelos - numéricos e físicos - é o que realmente necessita-se.

2.2. DIFICULDADES NOS PROJETOS E OBRAS DE ENGENHARIA

O desenvolvimento de projetos e obras de engenharia está sempre associado a um elevado número de incógnitas que não se pode resolver, especialmente em termos de geologia e hidrologia, por serem estas muito influenciadas pelo fator natureza. Este fato nem sempre é entendido por todos os intervenientes dos processos em questão, o que acarreta inúmeros problemas durante o seu desenvolvimento.

O reflexo desta difícil definição de parâmetros interfere nos diversos setores do empreendimento, como o financeiro, o dos seguros e das seguradoras, dos projetos, da segurança, da qualidade da construção e especialmente no cronograma do empreendimento, que pode afetar novamente todas estas diversas áreas com os atrasos provocados. O risco associado a estas questões é agravado por se tratarem de empreendimentos em que erros de escolha ou de decisão sobre soluções, tecnologias e planejamento são pagos por custos muito elevados.

Uma opinião é unânime: a solução para este problema está na forma como ele é enquadrado no contrato. Contudo, a forma deste enquadramento não apresenta uma solução única, dependendo do tipo de empreendimento, do tipo de contrato, das partes envolvidas, contratante e contratado, da cultura gerencial, da legislação em vigor e até do país onde se irá implantar o projeto.

Todas as obras de infra-estrutura civil que envolvem grandes extensões, por exemplo, rodovias, ferrovias, barragens, entre outras, apresentam as dificuldades inerentes à variação do cenário em que estão implantadas, quer o cenário do ambiente natural – geologia, geomorfologia, hidrografia, clima, ocupação vegetal – ou o cenário do ambiente construído, como benfeitorias e ocupação humana, além da variabilidade econômica, social e cultural destes agrupamentos.

Todas as obras de engenharia civil de grande extensão lidam de forma especial e intensa com conjuntos de situações específicas da área a que se destinam implantá-las. Assim, estas são obras complexas que demandam capacitação técnica e operacional para o seu projeto e execução. Neste tipo de obra em particular, como em qualquer tipo de empreendimento, o mais indicado para a área técnica é dispor-se um período maior estudando, planejando e projetando do que construindo, uma vez que os custos da construção são bem mais elevados do que os dos projetos. Em países mais desenvolvidos da Europa, nos Estados Unidos e no Japão é o que invariavelmente ocorre: a elaboração dos projetos demanda um tempo muito superior ao da construção.

No caso das PCH, um erro de avaliação freqüente é o de admitir que uma pequena obra apresenta problemas menores que uma grande obra. Muito pelo contrário, o fator escala tem uma influência maior nas pequenas obras, onde o prazo e o custo são de mais difícil diluição quanto ao imprevisto geológico (Nieble, 2004).

2.3. OS RISCOS GEOLÓGICOS

A conceituação de risco geológico foi apresentada por Cerri *et al* (1998, *in* Oliveira e Brito, 1998): a suscetibilidade de uma área com relação a determinado fenômeno natural caracteriza a possibilidade de sua ocorrência (evento), enquanto que risco envolve a possibilidade de que o fenômeno seja acompanhado de danos e perdas (acidente). A seguir apresenta-se essa conceituação segundo os autores supraciados:

ACIDENTE

Fato já ocorrido, onde foram registradas conseqüências sociais e econômicas (perdas e danos).

EVENTO

Fato já ocorrido, onde não foram registradas conseqüências sociais e econômicas relacionadas diretamente a ele.

RISCO

Possibilidade de ocorrência de um acidente. O grau de risco é definido pela expressão:

R = P x C, onde:

R = risco;

P = possibilidade de ocorrência do evento;

C = conseqüências sociais e econômicas.

Atualmente existem duas componentes do risco geológico normalmente aceitas. A primeira diz respeito à ocorrência de fenômenos geológicos naturais que podem ameaçar um projeto. A segunda é a probabilidade de se afastar de condições inicialmente previstas (Brito, 1998).

O primeiro conceito está de acordo com o definido por Cerri (1998), sendo no Brasil relacionado principalmente a movimentos de encosta em áreas urbanas, sendo este diferente do que normalmente se utiliza com relação a obras. O segundo está relacionado a projetos de construções, e dentro do conceito que será abordado neste trabalho.

No Brasil o conceito risco geológico está mais ligado à possibilidade de ocorrência de condições geológicas durante uma obra, diferentes daquelas previstas nos estudos de projeto.

Conforme Brito (1998) existe um conceito bem difundido que os maciços geológicos envolvem sempre riscos, isto é, freqüentemente ocorrem situações não previstas ou mesmo incontroláveis: riscos geológicos são inerentes a qualquer maciço rochoso. Porém este conceito é bem radical, e nem sempre é verdadeiro.

Alguns autores consideram que o risco geológico é condicionado essencialmente pela quantidade de investigação: quanto menor o volume de investigação para um determinado projeto, maior o risco de se encontrar situações geológicas não previstas. Como geralmente o nível de investigações nos projeto de uma PCH é muito baixo, este torna-se um fator relevante, que será discutido no capítulo 4 deste trabalho.

Normalmente, em projetos de engenharia, as partes envolvidas tendem a conceituar alguns tipos de rocha como excelentes para fundações, tais como os granitos e gnaisses. Normalmente estas rochas apresentam boas condições geológico-geotécnicas, mas podem apresentar uma variabilidade muito grande nas litologias em espaços muito reduzidos. Por exemplo, pode-se ter um granito isotrópico, cortado por um dique de rochas básicas decompostas em poucos metros do maciço. É desaconselhável prever o comportamento de um maciço apenas pelo tipo litológico do local, desconsiderando as variações litológicas possíveis, a estruturação do maciço e as possíveis mudanças no grau de alteração da rocha, entre outros.

A consideração de riscos geológicos no Brasil é uma situação nova nas obras de construção pesada, decorrente dos novos tipos de contrato EPC e *Turn Key, Lump Sum*, ou seja, “preço fechado, chave na mão”. A bibliografia nacional relativa ao assunto é escassa, mas há um esforço dos técnicos envolvidos com o problema, no sentido de estabelecer critérios aceitáveis por todos os envolvidos neste tipo de contrato.

Normalmente associa-se o risco geológico a ocorrências imprevisíveis e/ou inevitáveis. De acordo com o Dicionário Aurélio imprevisto significa “que não é previsto; súbito, inesperado, inopinado” e inevitável significa “não evitável; fatal”.

Brito (1998), abordando os termos imprevisto e surpresa afirma que eles têm sido usados como sinônimos, o que gera confusão nas definições. Buscando organizar a questão ele propõe uma revisão destes termos para obras de engenharia civil:

- **Mudanças nas condições de feições geológicas previstas**: a feição geológica era revista, mas apresentou condições diferentes das antecipadas. Duas situações são comuns:
  • Mudança geométrica: uma determinada feição geológica foi identificada, mas suas dimensões ou orientação são diferentes das previstas.
  • Mudança de qualidade ou de comportamento: a feição era conhecida, mas quando foi encontrada possuía propriedades ou comportamento diferentes.

- **Feição geológica desconhecida**: a feição geológica encontrada não era conhecida. Neste caso, podem ser consideradas duas situações:
  • Feição previsível: a feição é comum seja por associação com o tipo de maciço, seja por experiência regional.
  • Feição inesperada: a feição nunca foi encontrada associada ao tipo de maciço ou na região. Essa é uma situação relativamente comum.

- **Incidente Geológico**: ocorrência de modificações de quantitativos relativos a feições conhecidas.

- **Surpresa Geológica**: ocorrência de feições geológicas não identificadas previamente, mas comumente associado ao tipo de maciço em questão.

- **Imprevisto Geológico**: ocorrência de uma feição geológica que não poderia ser prevista (imprevisível) ou porque não está normalmente associada às condições locais ou regionais ou porque se trata de algo não conhecido pelo meio técnico.

De maneira resumida, pode-se associar os termos acima da seguinte maneira:

<table>
<tr><td rowspan="2">Incidente Geológico</td><td rowspan="2">Mudanças nas condições de feições geológicas previstas</td><td>Mudança geométrica</td></tr>
<tr><td>Mudança de qualidade ou de comportamento</td></tr>
<tr><td>Surpresa Geológica</td><td rowspan="2">Feição geológica desconhecida</td><td>Feição previsível</td></tr>
<tr><td>Imprevisto Geológico</td><td>Feição Inesperada</td></tr>
</table>

Finalmente o autor propõe que as mudanças de condições geológicas do local da obra sejam quantificadas em função do impacto causado no projeto. Classifica este impacto em pequeno, médio e grande, tendo em vista as mudanças nos métodos executivos, materiais e metodologias previstas; variação nos quantitativos e, conseqüentes alterações no cronograma.

Impacto	**Métodos Executivos, Materiais e Metodologias**	**Quantitativos**
Pequeno	Não exige mudanças	Até 20 %, sem impacto no cronograma
Médio	Novos métodos, processos ou equipamentos	De 20 a 50 %
Grande		Acima de 50 %

Estes conceitos definidos por Brito (1998) foram utilizados no Programa Minas PCH, pela Cemig e pelos seus parceiros, como base para a elaboração das definições de risco geológico do Contrato das PCH e dos Relatórios de Risco Geológico dos empreendimentos.

Internacionalmente, os casos de mudanças de condições do contrato, devido a ocorrências geológicas imprevistas e inevitáveis, já contam com uma grande experiência e jurisprudência. Analisando diversos casos de mudança de condições de contrato e pleitos ou *"claims"* de construtores, verifica-se que os casos de condições inesperadas do subsolo perfazem menos de 20% dos casos, mas são responsáveis por 35% dos valores pagos aos construtores (Pitta *et al*, 2005).

De acordo com Santos (1994), o geólogo/engenheiro deve elaborar um modelo geológico preliminar do local da obra, com base nos dados disponíveis, deve conferir a adequação desse modelo através de investigações adicionais, e deve repetir esses passos até satisfazer as necessidades do projeto. Mesmo assim procedendo, ainda estará sujeito às imprevisibilidades das ciências que abraçou. Se assim não proceder, está fadado a um grande fracasso na previsão das quantidades dos serviços que projetou.

Dois princípios básicos devem nortear o projeto e a construção, visando minimizar os riscos:

- Na fase de projeto, apoiar-se no conhecimento geral da área, baseando-se em todo o arcabouço de informações locais e na experiência global em maciços semelhantes; utilizar as mais modernas técnicas de prospecção, além das tradicionais, para definir exatamente o risco em regiões localizadas;
- Na fase de construção, aplicar as técnicas mais modernas de construção associadas a mapeamentos geológicos, monitoração e controle, de maneira a assegurar que não houve negligência, e, se a preocupação com a implantação técnica e bem controlada foi a diretriz primordial da obra (Nieble, 2004).

2.4. INCERTEZAS E PROBLEMAS GEOLÓGICOS

No momento da discussão e do fechamento de um contrato para a implantação de uma usina hidrelétrica risco geológico é sempre um tema crítico. Vários empreiteiros levantam questões sobre as incertezas geológicas do projeto e as possíveis conseqüências destas. Vários itens são questionados neste momento, entre eles:

- Posição do topo rochoso;
- Espessura das camadas de solo e rocha decomposta;
- Limites das escavações;
- Características dos materiais naturais a serem usados na construção;
- Quantitativos de tratamentos previstos para os taludes e possíveis variações;
- Estimativas para as cortinas de injeção;
- E, sobretudo, túneis e obras subterrâneas e seus tratamentos.

Brito (1998) comenta quatro projetos de pequenas e médias centrais hidrelétricas contratados em regime de preço global, nos quais esteve envolvido. Em três dos quatro projetos, ocorreram mudanças importantes nas condições geológicas previstas para os túneis, resultando em aumento de custo e prazos de execução. Afirma ainda que estes fatos reforçam um sentimento quase generalizado de que túneis são obras que envolvem grandes riscos e que podem comprometer seriamente o empreendimento.

Ressalta-se que estes túneis foram construídos em rochas gnáissicas, tidas como de excelente qualidade geológica-geotécnica pela maioria, o que muitas vezes leva a não execução de sondagens nos túneis.

O autor cita ainda os principais problemas geológicos que causaram estas mudanças:

- Falhas, os problemas mais comuns;
- Zonas ricas em biotita;
- Zonas de alívio nas encostas do vale;
- Zonas decompostas sob superfícies extensas de rocha sã, afetando especialmente os emboques;

Considerando a grande atenção que é dada às obras subterrâneas quando se trata de risco geológico e como nos últimos tempos vem crescendo a importância destas obras subterrâneas em usinas hidrelétricas, estas são sempre o principal alvo da discussão de risco.

Cerca de um século após as primeiras obras subterrâneas em hidrelétricas, o cenário atual é cada vez mais favorável, pela escassez, cada vez maior de locais convencionais para aproveitamento e pela ampliação das exigências e restrições ambientais. Esses fatores em conjunto limitam os aproveitamentos convencionais, devendo ampliar a utilização do espaço subterrâneo em hidrelétricas (Vaz, 2006).

Os arranjos dos aproveitamentos hidrelétricos, cada vez mais complexos, têm passado a explorar cada vez mais uma feição geológica vista em muitos rios, conhecida como meandro encaixado, ou seja, uma seqüência de curvas em U, profundamente entalhadas no relevo. O arranjo se faz com uma barragem numa das extremidades do U e a casa de força na outra, interligadas por um túnel e aproveitando a queda. Este arranjo tem a vantagem de não necessitar de grandes reservatórios, contribuindo para a viabilidade ambiental.

Em curto prazo, multiplicar-se-ão os aproveitamentos isolados ou em cascata, utilizando curvas acentuadas dos rios de menor porte, como as PCH, pequenas centrais hidrelétricas, e os arranjos cada vez mais inovadores, com estruturas e, até mesmo, reservatórios subterrâneos. A redução dos impactos ambientais desse tipo de obra facilitará a viabilidade e a implantação de empreendimentos em regiões habitadas, como em Minas Gerais, onde as condições de relevo são propícias.

Tal qual ocorre com o espaço subterrâneo nas áreas urbanas, cada vez mais exigido, a tendência é mesmo a maior utilização de obras subterrâneas para aproveitamentos hidrelétricos (Vaz, 2006).

CAPÍTULO 3 – PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

As recentes mudanças institucionais e regulamentares do setor energético nacional, introduzindo incentivos aos empreendedores interessados e removendo uma séria de barreiras à entrada de novos agentes na indústria de energia elétrica, assim como a revisão do conceito de pequenas centrais hidrelétricas (PCH), têm estimulado a proliferação de aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte e baixo impacto ambiental no Brasil. Esses empreendimentos procuram atender demandas próximas aos centros de carga, em áreas periféricas ao sistema de transmissão e em pontos marcados pela expansão agrícola nacional, promovendo o desenvolvimento de regiões remotas do país. Com isso espera-se adicionar ao sistema elétrico nacional cerca de 5.000 MW de potência nos próximos 10 anos.

Em 1982, definiu-se PCH, Pequena Central Hidrelétrica, como uma usina com potência instalada total entre 1,0 MW e 10 MW, com capacidade do conjunto gerador entre 1,0 MW e 5,0 MW, sem túneis, condutos de adução ou condutos forçados, obras de desvio do rio e com altura máxima da estrutura de barramento do rio de 10 m (DNAEE/Eletrobrás, 1982).

Em 1998, houve uma reformulação deste conceito. Definiu-se como PCH toda usina hidrelétrica com potência instalada entre 1 MW e 30 MW e com reservatório igual ou inferior a 3,0 km^2 para a cheia centenária (Resolução ANEEL 394/98).

Em 2003, uma nova revisão do conceito foi apresentada, definindo como critério para o enquadramento como PCH os aproveitamentos com potência instalada entre 1,0 MW e 30,0 MW, destinados a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área de reservatório inferior a 3,0 Km^2 (Resolução ANEEL 652/03). Define-se ainda nesta resolução que o aproveitamento que não atender a condição de área do reservatório, respeitados os limites de potência e modalidade de exploração, será considerado como PCH caso se verifique uma das seguintes condições:

1 – Atendimento à inequação, desde que não exceda 13,0 km^2:

$A \leq 14,3 \times P / H_b$, onde:

P = potência elétrica instalada em MW;

A = área do reservatório em Km^2;

H_b = queda bruta em metros, definida entre os níveis máximo normal de montante e jusante.

2 – reservatório cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica, reservatório destinado ao uso múltiplo.

De acordo com a Constituição Brasileira, compete à União explorar diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão, o aproveitamento energético dos cursos d'água, em articulação com os estados onde se situam os potenciais hidroenergéticos (Capítulo II, art. 21, inciso XII, alínea b). No caso das Pequenas Centrais Hidrelétricas, PCH, a Lei nº 9.648, de 27/05/98 autoriza a dispensa de licitações para a implantação de empreendimento hidrelétrico de PCH e a concessão será outorgada mediante autorização, até os limites de potência definidos. Para a obtenção desta autorização é necessária a apresentação do Projeto Básico à ANEEL, sendo que este representa a principal fonte de informações sobre o empreendimento e sobre os estudos que já foram realizados.

É importante ressaltar que estes conceitos apresentados podem induzir a idéia de se tratar de um empreendimento de pequeno porte, desvinculado da necessidade de estudos mais detalhados e /ou com modificações substanciais em relação a projetos de grandes usinas hidrelétricas. Na verdade, uma PCH constitui uma obra específica e complexa, que pode incorporar grandes estruturas de barramento e cujos projetos são comumente afetados por condicionantes hidrológicos e geotécnicos tão críticos quanto aos de outros projetos de maior porte (Almeida, 2006).

3.1. ATIVIDADES PARA ESTUDOS E PROJETOS DE UMA PCH

A exploração de um determinado potencial hidrelétrico é uma atividade sujeita a uma série de regulamentações de ordem institucional, ambiental e comercial. Durante o processo de implantação do empreendimento, atividades multidisciplinares permeiam entre si, constituindo o arcabouço legal de todo o projeto (Eletrobrás, 2000). Antes de iniciarem-se as atividades de estudos e projetos de uma PCH, é necessário verificar se a avaliação do potencial hidrelétrico pretendido está em conformidade com o que preconiza a legislação em termos de otimização de aproveitamento de bem público.

Sob o aspecto ambiental e de gerenciamento de recursos hídricos, há que se considerar a necessidade de um tratamento adequado da questão ambiental, em benefício não apenas do meio ambiente, mas também do próprio empreendedor, tendo como conseqüência natural a obtenção, por parte do investidor, de Licenças Ambientais para as várias etapas do empreendimento: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI), e Licença de Operação (LO), ao final da construção, além da outorga para utilização da água com a finalidade específica de geração de energia elétrica.

O Fluxograma de Atividades para Estudos e Projeto Básico de PCH (Figura 3.1), apresenta a seqüência de estudos para o projeto. As atividades previstas são típicas para estudos e projetos dessa natureza, independentemente do porte do aproveitamento.

Os levantamentos e estudos básicos deverão fornecer todos os subsídios necessários para a etapa seguinte de trabalhos, relativa aos estudos de alternativas de arranjo e tipo das estruturas do aproveitamento. Todas as estruturas deverão ser pré-dimensionadas com base nos diversos parâmetros determinados ou estimados anteriormente. Os aspectos topográficos do sítio condicionam, de forma significativa, e limitam os estudos de alternativas de arranjo.

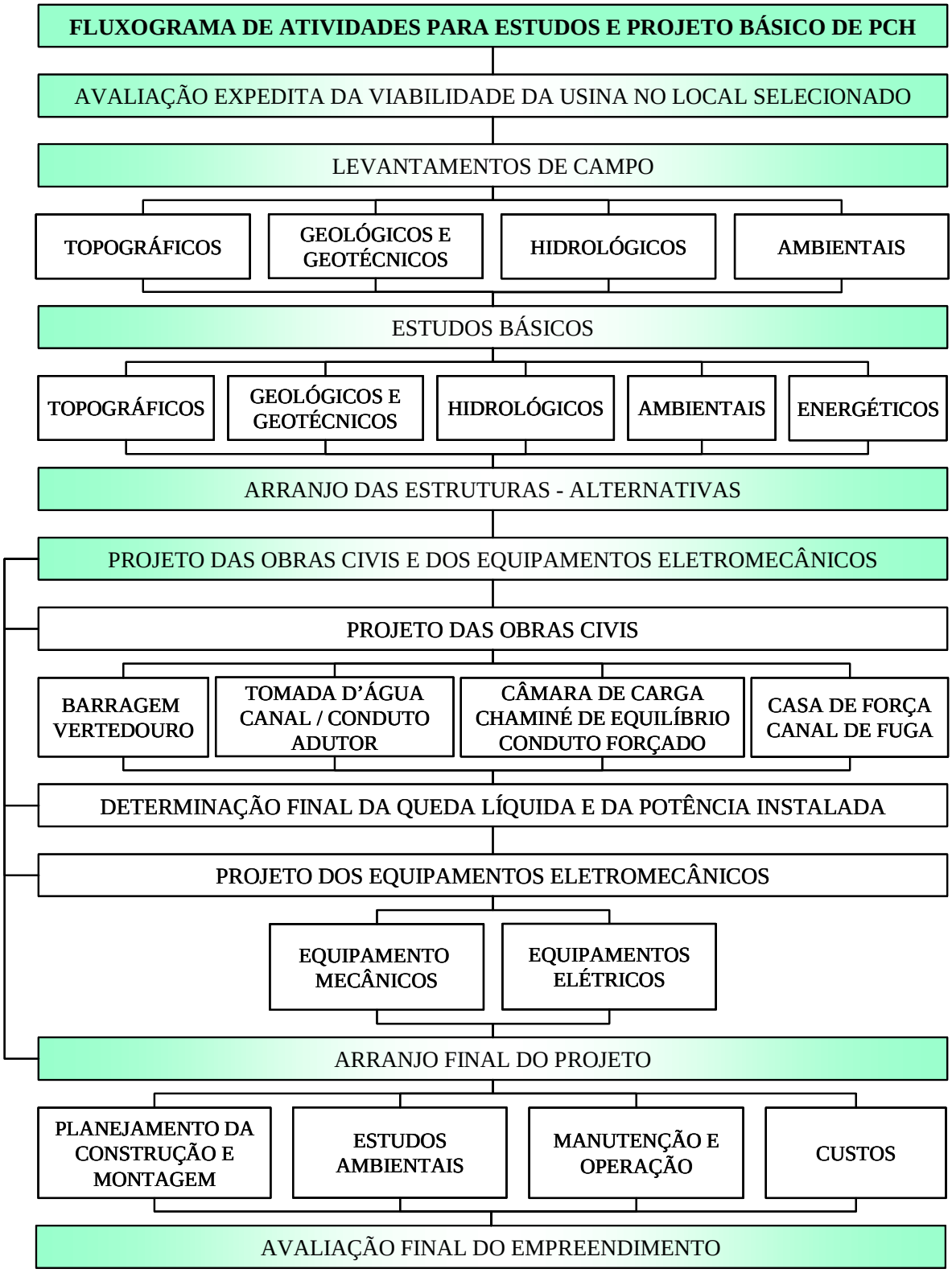


Figura 3.1 – Atividades para Projetos Básicos de PCH (Eletrobrás, 2000)

Selecionado o arranjo do aproveitamento, passa-se para a fase de projeto das obras civis e dos equipamentos eletromecânicos. Nessa fase, será realizado o dimensionamento final das estruturas, o que possibilitará a determinação da queda líquida com maior precisão, utilizando-se as fórmulas tradicionais para cálculos das perdas de carga ao longo do circuito hidráulico de adução. Conhecida a série de vazões médias mensais e a queda disponível, serão elaborados os estudos energéticos definitivos e determinada a potência a ser instalada na PCH. Com base na potência a ser realmente instalada, deverá ser realizado, em seguida, o dimensionamento final dos equipamentos eletromecânicos principais.

A partir da definição do Arranjo Final do Projeto, serão realizados os Estudos de Planejamento da Construção e Montagem, Ambientais, de Manutenção e Operação e a estimativa final dos Custos do Empreendimento. Considerando-se o custo total do empreendimento, os quais incluirão os custos de operação e manutenção, e a energia firme a ser gerada anualmente, será realizada a Avaliação Final do Empreendimento para confirmar a atratividade do investimento.

3.2. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS PARA PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCH

No projeto de uma usina hidrelétrica, seja uma PCH, ou uma hidrelétrica de grande porte, a investigação das feições geológicas relativas à área de sua implantação inclui abordagens e fases distintas, no âmbito dos estudos de inventário, viabilidade, projeto básico e projeto executivo, sendo que os domínios da investigação e as escalas de abordagem variam de acordo com o tipo de obra e com as etapas consideradas.

De maneira geral, os trabalhos evoluem de uma escala regional (maiores domínios e menor detalhamento) para o ambiente local da obra (áreas mais restritas e enfoques mais detalhados). Do ponto de vista técnico, a abordagem predominantemente geológica nas fases iniciais evolui progressivamente para a proposição de análises geotécnicas e geomecânicas nas fases finais do projeto (Marques Filho e Geraldo, 1998).

3.2.1. Levantamentos de Campo

Os tipos de estruturas do arranjo do aproveitamento dependerão, além dos aspectos topográficos, das condições geológicas e geotécnicas do sítio, bem como dos materiais de construção disponíveis no local.

Os levantamentos e estudos geológicos e geotécnicos têm os seguintes objetivos:

- Investigar as condições das fundações e ombreiras na região das estruturas componentes do aproveitamento, bem como das encostas na vizinhança da obra;
- Pesquisar e caracterizar as áreas de empréstimo de solo, jazidas de areia e cascalho mais próximas do sítio do empreendimento; e
- Definir locais prováveis para lançamento de bota-fora, instalação de canteiro e alojamento de operários.

As investigações geológicas e geotécnicas necessárias devem ser planejadas por técnicos com comprovada experiência em estudos dessa natureza. As características do sítio, o tipo de arranjo e o porte do aproveitamento condicionarão a extensão do programa de investigação (Eletrobrás, 2000).

3.2.1.1. Investigação das Fundações

Investigações Preliminares

Na escolha do eixo da barragem, deve-se sempre procurar locais com boas condições para a fundação e para as ombreiras das estruturas. Estudos iniciais são realizados em escritório e incluem consultas bibliográficas de estudos anteriores, análises de fotografias aéreas (fotointerpretação) e visam o planejamento dos trabalhos de campo. Após esses estudos, realiza-se uma visita de reconhecimento de campo para realização do mapeamento geológico-geotécnico de superfície.

Execução de Sondagens

A prática em estudos e projetos de aproveitamentos hidrelétricos tem mostrado que a execução de um programa de sondagens, diretas ou indiretas (sísmica), para investigação das fundações, é absolutamente necessária.

O programa de investigações e sua extensão, quantidade e os tipos de furos - a trado, poços ou trincheiras, a percussão e rotativas, serão definidas em função do diagnóstico das condições geológicas do sítio. Cabe destacar que as informações obtidas deverão ser suficientes para caracterizar, em detalhes, o perfil do subsolo, em termos de resistência, permeabilidade e deformabilidade.

Para a determinação da resistência e permeabilidade dos materiais do subsolo, é necessária a execução, ao longo dos furos, de ensaios específicos para cada horizonte. Para o trecho em solo, deverão ser realizados ensaios de resistência - SPT (Standard Penetration Test) e ensaios de infiltração, a cada metro. Para o trecho em rocha, deverão ser realizados ensaios de perda d'água sob pressão (EPA).

Nos locais onde ocorrerem escavações de porte será necessário realizar ensaios especiais de laboratório, em amostras indeformadas, para a determinação dos parâmetros de resistência e de deformabilidade. O mesmo procedimento será necessário para a caracterização dos solos de fundação de barragens de terra homogêneas com alturas elevadas.

Além dos tipos de sondagem acima especificados, atualmente tem-se realizado, principalmente na fase de verificação da viabilidade do local selecionado, Sondagens Indiretas Elétricas, as quais são de fácil execução, dispensam o uso de explosivo e são mais baratas.

3.2.1.2. Materiais de Construção

Em princípio, toda obra deve ser construída com os materiais disponíveis no local, o que significa dizer que o projeto deverá ser adaptado aos mesmos. Deverão ser pesquisadas as seguintes ocorrências de materiais, com a qualidade requerida e na quantidade necessária:

- Solos, para utilização nas obras de terra;
- Areia, para utilização nos concretos e filtros;
- Cascalho (seixo rolado), para utilização em concretos;
- Rocha, para os enrocamentos, transições e agregados graúdos (brita) para os concretos.

Qualidade dos Materiais

Os materiais terrosos para a construção deverão ser classificados através de uma análise táctil-visual e ensaios de caracterização. A realização de ensaios especiais, para determinação dos parâmetros de resistência, deformação e permeabilidade, fica condicionada à ocorrência de solos especiais detectados nos ensaios de caracterização. No que diz respeito à trabalhabilidade dos materiais finos, registra-se que a mesma varia em função do teor de argila existente no material. Normalmente, os materiais de baixa a média plasticidade são os mais indicados.

Da mesma forma, os materiais granulares, areias e cascalhos, deverão ser classificados através de análise táctil-visual e ensaios de caracterização, visando constatar sua adequabilidade para uso nos filtros e transições das barragens de terra e terra-enrocamento e como agregado para concreto. Esses materiais deverão se apresentar totalmente limpos e livres de impurezas, como por exemplo, matérias orgânicas e materiais finos (argila e silte).

O agregado graúdo, brita ou cascalho, deverá ter dureza suficiente para resistir ao impacto de golpes de martelo e não se desagregar quando exposto a ciclos diários de molhagem e secagem ao tempo. Os enrocamentos deverão ter as mesmas características dos cascalhos e britas.

Cabe registrar que o material rochoso para utilização nos concretos deverá ter sua composição mineralógica determinada através da realização de pelo menos uma lâmina petrográfica. Esse ensaio tem por objetivo avaliar a possibilidade da ocorrência de minerais que possam reagir com os álcalis do cimento, o que não é desejável.

Determinação dos Volumes

O volume de material é estimado multiplicando-se a área da fonte de material pela profundidade média explorável estimada ou determinada por sondagens expeditas. A profundidade média das fontes de material é estimada realizando-se uma malha de furos exploratórios ao longo da área demarcada. No caso das áreas de empréstimo de solo, executam-se poços de inspeção ou sondagens a trado. Para cada horizonte, além da espessura, deverão ser definidas as características dos materiais encontrados.

No caso de jazidas de areia, executa-se uma malha de sondagens a varejão. Cabe ainda registrar que, na ausência de jazidas de materiais arenosos, pode ser usada, alternativamente, areia artificial, obtida como subproduto da britagem do material rochoso.

A pesquisa de material pétreo ficará sempre condicionada à qualidade e quantidade do excedente de rocha das escavações obrigatórias. Caso essas escavações não atendam às necessidades da obra, deverão ser investigadas fontes potenciais - pedreiras. A profundidade do topo rochoso deverá ser estimada através de sondagens geofísicas.

3.2.2. Estudos Básicos

Os estudos geológicos e geotécnicos, nesta fase, compreenderão:

- A definição dos projetos de escavação e tratamento das fundações;
- A caracterização completa dos materiais naturais de construção disponíveis nas jazidas mais próximas do sítio do empreendimento;
- Para barragens de terra ou enrocamento, com alturas superiores a 10 m, deverão ser realizados estudos de estabilidade.

Na escolha do eixo da barragem, deve-se sempre procurar locais com boas condições para a fundação e para as ombreiras das estruturas. Locais onde ocorrem bancos de areia ou cascalho devem ser analisadas com muito cuidado, em função de sua alta permeabilidade. Os maciços rochosos muito fraturados, sãos, servem como fundação para as estruturas. Nesses casos, o tratamento da fundação deve prever a execução de cortinas de injeção de calda de cimento. As áreas com turfa ou argila escura, orgânica, em princípio, não servem como fundação, por serem muito pouco resistentes e muito compressíveis.

Em princípio, toda obra deve ser executada com os materiais disponíveis no local, o que significa dizer que o projeto deverá ser adaptado aos mesmos. Os materiais (solos, areias, cascalho e rocha) deverão existir em quantidade e com a qualidade requerida. Quanto à suficiência, deverá ser levantado o balanço de materiais para verificar se o volume útil de cada tipo de fonte é, no mínimo, 50% maior que o volume necessário para as obras.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO

As principais ferramentas utilizadas nos estudos geológico-geotécnicos são o sensoriamento remoto, o mapeamento geológico-geotécnico, ensaios geofísicos e sondagens mecânicas (métodos diretos).

3.3.1. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é um recurso técnico indispensável nos trabalho de mapeamento geológico-geotécnico, pela possibilidade de obtenção de informações da superfície por meio de imagens aéreas e orbitais. O baixo custo por unidade de área e a redução do prazo de execução trabalhos de levantamento de campo são as principais vantagens. Todavia, esse recurso técnico não dispensa os trabalhos de campo. As fotografias aéreas continuam sendo o método mais utilizado de sensoriamento remoto em estudos para obras de engenharia, pela resolução e maior facilidade de interpretação.

3.3.2. Mapeamento

O mapeamento possibilita o acesso direto aos materiais que estão expostos na superfície. Este é um método de investigação que procura identificar as condições geológico-geotécnicas do terreno, caracterizando as diferentes unidades presentes na área e estimando o seu comportamento através de métodos de classificação geomecânicas. É necessária a associação entre as características dos elementos geológicos e os problemas geotécnicos, para entendimento dos problemas técnicos e das causas dos acidentes ocorridos ou passíveis de ocorrer. Normalmente é dada maior atenção às descontinuidades estruturais e ao grau de alteração e de competência da rocha. É freqüente a elaboração de diagramas das descontinuidades, separadas por famílias ou por características geotécnicas específicas. Estes levantamentos são geralmente em escala de detalhe, visando apenas a área do projeto ou ainda um talude ou superfície específica. Pouco detalhe é dado à camada de solo ou rocha alterada, a não ser que este sirva como material de empréstimo, sendo então realizados trabalhos específicos. Normalmente faz-se a avaliação de espessuras e volumes e características gerais táctil-visuais. O mapeamento tem grande importância nas etapas iniciais do estudo, porém a maior parte do modelo geológico-geotécnico é elaborada com base nas investigações diretas, devido ao grau de precisão exigido na definição dos contatos e espessuras.

3.3.3. Métodos Geofísicos

Os métodos geofísicos permitem determinar a distribuição, em profundidade, de parâmetros físicos dos maciços, tais como velocidade de propagação de ondas acústicas, resistividade elétrica, contrastes de densidade e campo magnético da Terra. Estas propriedades guardam estreitas relações com algumas características geológico-geotécnicas do maciço, como o grau de alteração e de fraturamento e tipo litológico, aspectos fundamentais na investigação de uma área.

Estes métodos apresentam excelente relação custo/benefício, pois possibilitam levantamentos de grandes áreas em curto período de tempo.

Os principais métodos geofísicos utilizados em geologia de engenharia são:

- Métodos Geoelétricos: eletroressistividade (sondagem elétrica vertical e caminhamento elétrico), polarização induzida, potencial espontâneo, eletromagnéticos (EM- domínio do tempo, VLF – *Very Low Frequency*, GPR – *Ground Penetration Radar* ou radar de penetração no solo);
- Métodos Sísmicos: refração, reflexão, ensaios entre furos (*crosshole* e tomografia), utilizados na superfície terrestre e perfilagem sísmica contínua, sonografia e ecobatimetria, utilizadas na investigação de áreas submersas;
- Métodos Potenciais: magnetometria e gravimentria.

Sempre que utilizados os métodos geofísicos, seus dados deverão ser complementares às informações obtidas através de métodos diretos e não devem ser interpretados como substituto dos métodos convencionais de investigação. Normalmente, são preliminares e orientadores do programa de investigação direta, mas não é isso que se observa em projetos de engenharia, uma vez que a utilização destes métodos não é freqüente, sendo uma alternativa para quando é encontrado algum ponto de dúvida no modelo geológico definido, tais como possíveis falhas, zonas decompostas, contatos incertos ou cavidades.

A cuidadosa e apropriada inclusão de ensaios geofísicos, no desenvolvimento de um determinado estudo pode diminuir o número de ensaios diretos requeridos para a caracterização da subsuperfície da área de interesse, reduzindo, desta forma, os custos finais do projeto. Em muitos casos, a execução de ensaios geofísicos apropriados pode se tornar vital para garantir a correta análise e interpolação de dados geológicos preexistentes.

Os métodos geofísicos ainda têm uma aplicação restrita nos projetos de usinas, principalmente devido a pouca confiança de alguns no método ou mesmo por preconceito de muitos dos geólogos e engenheiros. Muitos argumentam que para se utilizar a geofísica é necessária quase a mesma quantidade de investigações diretas que sem o uso dela. Estes ainda não compreendem o caráter distinto dos dois métodos e o

efeito complementar que eles têm. As investigações diretas oferecem resultados muito precisos, porém pontuais e os métodos geofísicos fornecem dados menos precisos, que precisam ser confirmados e referendados, porém com abrangência em área ou ao longo de um perfil.

3.3.4. Métodos Diretos

Os métodos diretos compreendem as escavações realizadas com o intuito de prospectar os maciços, as sondagens mecânicas e os ensaios *in situ*. Com as sondagens mecânicas é possível definir, com precisão, as características dos materiais ao longo da linha de perfuração: descrevem-se testemunhos, variações litológicas, estruturas geológicas e as características geotécnicas dos materiais.

Os ensaios *in situ* são realizados em furos de sondagens ou em porções do maciço, em geral, em blocos com tamanho superior a um metro cúbico. Esses ensaios são realizados para a caracterização da permeabilidade e da resistência do maciço ou das estruturas geológicas.

Nos laboratórios, realizam-se ensaios em amostras para a caracterização geológico-geotécnica dos diferentes corpos com comportamento geotécnico homogêneo.

Os principais métodos de investigação mecânica de campo são:

- Sondagem a Varejão (SV), utilizada para materiais submersos;
- Sondagem a Trado (ST), utilizada em materiais inconsolidados;
- Poço ou Trincheira de Inspeção (PI ou TI), utilizada em materiais inconsolidados;
- Sondagem a Percussão (SP), utilizada em materiais inconsolidados;
- Sondagem Rotativa (SR), utilizada em rocha ou materiais consolidados;
- Sondagem Mista (SM), utilizada em materiais inconsolidados e consolidados;
- Perfuração com Rotopercussão (RP) utilizada em materiais inconsolidados e consolidados;
- Galeria de Investigação (GI), utilizada em rocha ou materiais consolidados.

Nas fases iniciais de qualquer projeto é comum o emprego intenso de métodos mais simples, ou seja, os de menor custo unitário. À medida que as investigações avançam, aumenta-se o número de sondagens e estas passam, gradativamente, para as mais sofisticadas (mistas e rotativas), que apresentam maior custo unitário.

As sondagens à percussão são executadas com a finalidade de se obter amostras pouco deformadas e valores quantitativos de resistência dos solos por meio de ensaios expeditos padronizados, denominados SPT (Standart Penetration Test).

A obtenção de amostras de testemunhos de sondagens rotativas permite não apenas a identificação da litologia e estruturas geológicas dos materiais, como as condições das descontinuidades. As descrições dos testemunhos são realizadas empregando-se ábacos e tabelas que permitem caracterizar e, por fim, classificar o maciço rochoso, segundo critérios difundidos no meio técnico nacional e internacional.

Os resultados das investigações devem ser apresentados com objetivo de possibilitar sua fácil compreensão, permitindo sua utilização nos projetos. Devem ser plotados em escala e precisão adequadas aos objetivos. As formas mais usuais são:

- Perfis de Sondagem, também conhecidos como *Log* da Sondagem;
- Seções geológicas, normalmente com *minilogs* plotados;
- Plantas, com a locação e a interpretação dos furos.

Todas estas formas de apresentação devem ser acompanhadas por um relatório técnico.

3.4. FORMAS DE CONTRATAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCH

Existem diferentes formas de se contratar a construção de uma PCH, ou mesmo de uma usina grande, sendo que a adoção de uma ou outra forma está diretamente relacionada

ao grau de envolvimento, ou seja, de responsabilidade do proprietário na construção do empreendimento.

Jacob (2002) definiu três alternativas para se contratar e concretizar uma obra como:

- Execução Própria: Modalidade onde o empreendedor executa de forma direta assumindo toda a responsabilidade do empreendimento. Essa modalidade normalmente é utilizada no caso de grandes empresas verticalizadas ou em casos onde o empreendedor possui empresa de construção civil. Neste tipo de modalidade todos os riscos são absorvidos pelo empreendedor;
- Gerenciamento Próprio: Execução através da contratação de empresas para a realização dos diversos serviços a preço unitário. Cabe ao empreendedor a responsabilidade sobre o gerenciamento das interfaces e riscos técnicos, coordenação técnica e comercial. Nesta modalidade os riscos do não cumprimento dos prazos ou custos esperados ficam também por conta do empreendedor;
- Modalidade EPC: Neste caso, o cliente contrata o fornecimento global do empreendimento com uma empresa ou consórcio, incluindo engenharia, suprimento e construção a preços fixos e prazo determinado. Os riscos do não atendimento ao escopo, prazo, preço e qualidade acordados no contrato são de responsabilidade do contratado.

Desta forma, pode-se verificar que o grau de envolvimento ou responsabilidade do proprietário na obra se traduz em risco associado, ou na parcela deste que será assumido por cada parte do contrato. Esta escolha depende do perfil do empreendedor e das características e incertezas do projeto. Na construção de usinas hidrelétricas, os fatores geológicos e hidrológicos representam a maior parcela da incerteza e, conseqüentemente, do risco do projeto. Estas surpresas geológicas ou hidrológicas podem gerar grandes alterações no custo, no prazo e nas soluções de engenharia adotadas reduzindo a viabilidade econômica ou mesmo inviabilizando um empreendimento.

Na Execução Própria e no Gerenciamento Próprio o proprietário participa ativamente do empreendimento, assim como do seu sucesso ou fracasso econômico. Já o modelo EPC busca eliminar a possibilidade de fracasso econômico do empreendedor, transferindo este risco para o contratado.

3.4.1. Conceito Básico do Modelo EPC

O termo EPC advém das iniciais das seguintes palavras da língua inglesa: Engineering, Procurement, Construction, ou seja, trata-se de um modelo de contratação cujo escopo engloba a engenharia, o suprimento e a construção do empreendimento. Em um contrato EPC, este escopo global é relacionado a um determinado prazo de entrega e a critérios de qualidade e performance. O valor remunerado pela prestação dos serviços é fixo, podendo este variar apenas através de reajustamento segundo índices econômicos previstos no contrato. Desta forma, toda e qualquer alteração de projeto, custo e prazo é de responsabilidade do contratado, assumidos todos os riscos. Para a garantia do cliente, normalmente este tipo de contrato contém cláusulas de multas contratuais significativas no caso do não cumprimento dos termos de contrato (Jacob, 2002).

Este tipo de contrato, ao contrário dos outros dois tipos, compromete essencialmente o consórcio ou a empresa contratada. Este aspecto elimina a necessidade de uma grande estrutura de fiscalização por parte do cliente, já que ele apenas efetuará, durante o período de obras, os pagamentos previamente acordados, após a conclusão e comprovação de determinadas tarefas. Na ocasião da entrega da obra esta participação aumenta, através dos chamados comissionamentos, ou seja, aferição meticulosa dos resultados finais obtidos.

Do ponto de vista do cliente, as principais vantagens da contratação de um empreendimento pelo modelo EPC são:

- Conhecimento prévio do custo final, curva de desembolso e prazo de entrega;
- Baixo custo de acompanhamento;
- Transferência dos riscos para o contratado;
- Garantia de performance.

Também do ponto de vista do cliente, o principal ponto negativo de um contrato na modalidade EPC é o custo global. Geralmente este supera de 20 % a 30 % o custo previsto na contratação pelos métodos convencionais. Esta diferença é justificada pelo risco assumido pelo contratado.

A modalidade EPC, além da questão relacionada ao custo, impõe algumas outras dificuldades operacionais para sua implantação. Estas dificuldades acompanham todo o processo, desde a elaboração da proposta até o comissionamento da obra.

Durante a elaboração da proposta a principal dificuldade é provocada pela qualidade do projeto básico a ser cotado. Os projetos elaborados normalmente visam mais a aprovação junto a ANEEL do que uma fonte segura de dados para a cotação. Diferentemente de projetos e usinas grandes, os recursos para as PCH são restritos. A maioria dos projetos apresenta deficiências nas especificações técnicas, pequena quantidade ou mesmo a ausência de investigações geológicas, incorreções de ordem plani-altimétricas e mesmo projetos deficientes ou pouco otimizados. É praticamente impossível propor uma oferta firme na modalidade EPC, ou seja, um preço fechado, considerando todas estas questões.

Já na elaboração do contrato, a falta de cultura gerencial e mesmo de conhecimento desta modalidade de contratação pelas partes, podem levar a situações de desarticulação no entendimento sobre o objeto do contrato, a obra e o fornecimento.

Durante a execução do empreendimento, a maior dificuldade relaciona-se às interferências entre projeto, obra civil e equipamento eletromecânico. Problemas desta natureza ocorrem geralmente quando existem dois contratados EPC distintos, um civil e outro eletromecânico, ou quando o cliente orça de fornecedores distintos, e depois, orienta a formação de EPC entre as empresas selecionadas.

3.4.2. Modelo EPC Híbrido

EPC Híbrido é o nome dado a todos os contratos que guardam as características básicas de um EPC, porém permitem de uma forma ou de outra, que os riscos do empreendimento sejam em parte compartilhados com o cliente. Este procedimento visa limitar os riscos assumidos pelo contratado, objetivando permitir ofertas do tipo EPC com preços mais atrativos (Jacob, 2002).

Existem três tipos principais de EPC híbridos já largamente utilizados:

- Modalidade onde o "E" do EPC fica sobre a responsabilidade do cliente. Neste caso, erro de projeto é de responsabilidade do cliente. No caso de projetos pouco desenvolvidos ou baseados em uma base de dados fraca, esta modalidade pode ser uma solução;
- Modalidade onde alguns fornecimentos (materiais e/ou serviços) são faturados a custo unitário. Com este artifício, é possível mitigar riscos onde os quantitativos de materiais ou serviços são de difícil avaliação. Para não descaracterizar o modelo EPC, é necessário que tal artifício seja empregado de uma forma extremamente particular e restrita. Esta modalidade vem sendo muito utilizada no caso de risco geológico nos tratamentos de taludes e túneis, nos tratamentos de fundação, nas injeções, entre outros;
- Modalidade onde é definido no contrato um valor adicional a ser faturado para cada estrutura, no caso da existência de justificativa precedente. O julgamento desta justificativa como precedente ou não, torna-se, normalmente, uma longa e disputada questão.

Podem ainda existir inúmeras outras formas de EPC Híbrido, porém estas transferências de responsabilidade devem ser acordadas previamente e registradas no contrato de forma muito clara e juridicamente adequada.

Junto com o risco econômico transferido, ou seja, a possibilidade de uma variação do custo final do empreendimento, outras responsabilidades são transferidas em conjunto. A principal alteração com a utilização do EPC Híbrido relaciona-se à equipe necessária,

ou para o acompanhamento da obra ou para o desenvolvimento do projeto, dependendo da alternativa adotada.

3.5. INFLUÊNCIA DA GEOLOGIA NO CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA

Além da possibilidade de variação financeira, outra grande preocupação durante a implantação de uma PCH, e mesmo de uma grande usina, é o cronograma. Vários são os fatores que causam atrasos no cronograma de um projeto, e muitas podem ser as conseqüências e perdas causadas por estes atrasos. Porém o maior custo que pode ter um empreendimento hidrelétrico é a postergação de sua geração (Saks et al, 2002).

Após a obtenção da autorização, inicia-se a fase de implantação do empreendimento, propriamente dito. Nesta fase o fator tempo é inversamente proporcional aos benefícios econômicos trazidos pelo mesmo. O atraso em um empreendimento está associado à diminuição da rentabilidade devido aos seguintes fatores:

- Postergação de receita;
- Perda da concessão;
- Multa pelo atraso no início da geração;
- Exposição ao mercado pela não entrada da geração;
- Início do pagamento pela concessão (vencida a carência).

Antes do início da geração comercial são identificadas cinco fases distintas do projeto (Saks et al, 2002):

1. Elaboração do Projeto Básico;
2. Contratação antes do início da obra;
3. Execução da obra;
4. Enchimento do reservatório;
5. Comissionamento.

Na primeira etapa, o Projeto Básico visa reunir informações suficientes para tornar possível a quantificação e o orçamento adequado dos custos dos diversos

fornecimentos, civis e eletromecânicos. Neste período são fundamentais os estudos geológicos, topográficos e hidrológicos, pois estes representam as bases do projeto e são os fatores que podem gerar surpresas maiores, traduzidas em riscos para o empreendimento.

Nesta primeira fase deve-se realizar uma campanha de sondagem muito criteriosa, com especial atenção ao tipo de rocha da fundação, minimizando as condicionantes geológica-geotécnicas, que poderão impactar negativamente tanto nos prazos quanto nos preços dos contratos EPC. As contingências para estas incertezas certamente serão lançadas como ônus do empreendedor, como também nas contratações da empreiteira e do seguro para a implantação da central hidrelétrica.

Na segunda fase, a de contratação, os fatores capazes de gerar atrasos e que precisam ser gerenciados dizem respeito à formalização dos diversos contratos ou do contrato EPC. Normalmente os atrasos causados na contratação do EPC são causados pelas incertezas, no que tange ao risco geológico e hidrológico e na definição dos preços dessas contingências.

Ainda na segunda fase, a discussão sobre a contratação de seguros é muito baseada nas investigações geológicas, para definir os riscos e as coberturas a serem contratadas, mas, principalmente, as exclusões de cobertura.

Já na terceira fase, durante a obra, unem-se aos fatores geológicos, hidrológicos e topográficos os riscos do fornecimento adequado, da capacidade financeira dos fornecedores e empreiteiros, paralisações das fontes financiadoras, erros de projeto e de execução na obra.

A incerteza causada durante a obra, em função da geologia do local do empreendimento pode ser avaliada em função do tipo de rocha e do material alterado proveniente dela. Os impactos são causados nas fundações e no encontro com as ombreiras da barragem, sendo principalmente escorregamentos, "*over break*" excessivo e subpressão.

Estes impactos geram incertezas, sobretudo no período de definição dos preços contratuais e normalmente são as principais causas de reivindicações. Por estes motivos, quanto maior for a quantidade e a qualidade das investigações de campo nas fases precedentes à elaboração do projeto, menores serão as incertezas durante o transcorrer da obra (Saks, 2002). Contingências geológicas podem ocorrer, mas como surgem nas escavações no início da obra, normalmente é possível recuperar o atraso no restante da mesma. Porém, estas podem apresentar forte repercussão no dispêndio global do empreendimento e são a principal causa de reinvindicações, ou "*claims*", por parte do Consórcio Construtor.

Nas fases seguintes a influência de geologia é reduzida, porém no período de comissionamento todos os taludes, escavações e tratamentos aplicados devem ser rigorosamente verificados.

CAPÍTULO 4 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

A construção de obras civis deve ser precedida de estudos para a caracterização geológico-geotécnica da área de interesse, que indicarão: a distribuição dos diversos materiais, as técnicas mais adequadas para intervenção nos terrenos, os volumes necessários para remoção ou escavação, a necessidade de tratamento de estabilização dos maciços e, finalmente, se for o caso, indicação do melhor local para o posicionamento das estruturas das obras civis. É muito importante que, desde o início das atividades, já estejam bem definidas as principais características geológicas da área, para orientar o projeto segundo aptidões naturais do local, propiciando a elaboração de um empreendimento harmônico com a natureza do terreno, econômico e seguro (Souza *et al.*, 1998).

Para o dimensionamento do circuito de adução de uma PCH, deve-se no mínimo realizar estudos de estabilidade de encosta ou talude, com investigações diretas complementadas por indiretas. Normalmente as investigações indiretas precedem as diretas, mas o que se observa nos projetos de pequenos aproveitamentos hidrelétricos é que só se realiza geofísica para se detalhar problemas já detectados pelo mapeamento ou pela sondagem direta. Mas, devido ao baixo orçamento e um curto prazo para execução dos estudos, o projetista pode recomendar que essas avaliações sejam feitas na fase do projeto executivo. Este adiamento das investigações e estudos geológico-geotécnicos possibilita o surgimento de imprevistos geológicos que poderiam ser identificados previamente e que, não tendo sido, irão interferir diretamente no orçamento e no cronograma da obra. A possibilidade do custo final da obra ser influenciado pela realização de estudos geológico-geotécnicos durante a construção é altíssimo, por isso quanto mais completos esses forem nas fases de planejamento e dimensionamento, menores os custos totais da obra.

O manual da Eletrobrás de Pequenas Centrais Hidrelétricas, de 1982, diz que, em se tratando de pequenos aproveitamentos, as investigações geológicas devem ser feitas de modo expedito, com pouca ajuda de instrumentos, baseando-se essencialmente na observação e no bom senso. A frase traduz o conceito empregado na época, quando

fortes restrições quanto à complexidade das estruturas eram impostas. Apesar das mudanças das definições, infelizmente este conceito de que pequenas barragens teriam pequenos problemas ainda perdura.

Um projeto de PCH não pode ser considerado, em geral, como simplificado, requerendo mais que um mapeamento superficial em função da diversidade das estruturas civis e do tipo de arranjo adotados atualmente, que incluem túneis, obras de desvio e barragens de alturas elevadas.

Um exemplo da falta de atenção com relação aos condicionantes geológico-geotécnicos foi o acidente provocado pelo rompimento da Barragem de Camará, no estado da Paraíba, em 2004. Essa teria rompido por problemas de fundação que foram identificados em estudos preliminares, mas desconsiderados na fase de construção. Talvez mais do que a falta de atenção desses estudos, foi a mudança não planejada do tipo de arranjo. Antes da licitação do empreendimento os estudos geológico-geotécnicos foram elaborados prevendo uma barragem de terra, mas na etapa de construção o projeto foi alterado para uma barragem de CCR (concreto compactado a rolo), sem novas investigações e adequações dos estudos prévios (Vilhena e Diniz, 2006).

As investigações e os estudos geológico-geotécnicos devem ser considerados como necessários ao dimensionamento e otimização do empreendimento e fator principal para minimizar os riscos geológicos. Em termos mundiais, o gasto com investigações geotécnicas em barragens é da ordem de 3% do seu custo. No Brasil, não ultrapassa, em média, o valor de 1,5%. No Nordeste, dificilmente excede 1,0%. Tal valor corrobora com o numero de acidentes por problemas de fundações inadequadas, este da ordem de 40% (Vilhena e Diniz, 2006).

Brito (1998) conclui que os principais erros normalmente cometidos nos estudos geológicos são:

- Desprezo por informações existentes em obras vizinhas, mesmo antigas. Entretanto, a extrapolação de experiência deve ser feita com extremo cuidado, após a garantia de que existe correspondência entre os maciços rochosos;

- Não consideração das condições de evolução geomorfológica das encostas e as conseqüentes deformações do maciço;
- Não execução de mapeamento geológico na área do projeto, e mesmo em áreas adjacentes que possam fornecer informações úteis. Mesmo a interpretação de fotos aéreas e imagens de satélite já podem ser extremamente úteis;
- Confiança excessiva na existência de grandes afloramentos de rocha sã, prescindindo de investigações;
- Definição na escolha, aplicação e interpretação dos métodos geofísicos.

4.1. AS INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNIAS E AS PCH

Conforme foi citado anteriormente, ainda persiste a idéia de que as PCH são obras pequenas e simples, com interferências ambientais muito restritas e sem riscos elevados. Como pode ser observado em inúmeros projetos, já concluídos ou não, apenas o fato de serem obras menores é verdadeiro, pois as PCH podem apresentar arranjos bastante elaborados e ousados, contextos geológicos complexos e grandes riscos associados.

Para piorar esta situação, a capacidade de diluição dos custos imprevistos em uma PCH é muito restrita. As otimizações e o otimismo observados na maioria dos projetos são necessários para a, ainda difícil, viabilização financeira dos mesmos, desta forma nada pode sair errado, pois qualquer variação de custo ou prazo inviabiliza um projeto.

Em muitos Projetos Básicos de PCH pode-se observar um número muito restrito ou mesmo a ausência de investigações diretas. Como explicação, muitas justificativas são apresentadas, mas, normalmente, todas elas estão entre os principais erros cometidos nos estudos geológicos citados por Brito (1998).

Como forma de ilustrar esta questão, foi realizado um estudo comparativo de dezenove Projetos Básicos de PCH, no estado de Minas Gerais. Os Projetos Básicos utilizados foram os aprovados pela ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, e podem ser obtidos neste órgão. Muitos destes projetos já sofreram novas fases de estudos e otimizações não incluídas em uma revisão do Projeto Básico junto à agência. Neste

caso, foram utilizados os dados oficiais. Na Tabela 4.1 estão relacionadas as PCHs comparadas, com suas principais características técnicas.

Tabela 4.1 – Resumo dos dados técnicos das PCHs comparadas.

NOME / POTÊNCIA (em MW)	RIO	BACIA	MUNICÍPIO	LITOLOGIA	TÚNEL
Pipoca / 20	Manhuaçu	Doce	Caratinga / Ipanema	Granito-Gnaisse	SIM
Cachoeirão / 27	Manhuaçu	Doce	Pocrane / Alvarenga	Granito-Gnaisse	SIM
Dores de Guanhães / 14	Guanhães	Doce	Dores de Guanhães	Granito-Gnaisse	SIM
Fortuna II / 9	Corrente Grande	Doce	Guanhães / Virginópolis	Granito-Gnaisse	SIM
Jacaré / 9	Guanhães	Doce	Dores de Guanhães	Granito-Gnaisse	NÃO
Senhora do Porto / 12	Guanhães	Doce	Dores de Guanhães	Granito-Gnaisse	NÃO
Brejaúba / 12	Peixe	Doce	Conceição do Mato Dentro / Ferros	Granito-Gnaisse	NÃO
Monjolo / 15	Peixe	Doce	Conceição do Mato Dentro / Ferros	Granito-Gnaisse	SIM
Quinquim / 15,5	Santo Antônio	Doce	Conc. Mato Dentro / Sto. Antônio do Rio Abaixo	Granito-Gnaisse	SIM
Sumidouro / 11	Santo Antônio	Doce	Conc. Mato Dentro / Sto. Antônio do Rio Abaixo	Quartzito	NÃO
São Gonçalo / 13	Santa Bárbara	Doce	São Gonçalo do Rio Abaixo	Granito-Gnaisse	SIM
Unaí Baixo / 21	Preto	São Francisco	Unaí	Calcário / Metassiltito	SIM
Aiuruoca / 16	Aiuruoca	Grande	Aiuruoca	Granito-Gnaisse	SIM
Corrente Grande / 14	Corrente Grande	Doce	Açucena / Gonzaga	Granito-Gnaisse	SIM
Barra da Paciência / 22	Corrente Grande	Doce	Açucena / Gonzaga	Granito-Gnaisse	SIM
Mucuri / 22,5	Mucuri	Mucuri	Pavão / Carlos Chagas	Granito-Gnaisse	NÃO
Paiol / 28	Suaçuí-Grande	Doce	Frei Inocêncio / Matias Lobato	Granito-Gnaisse	NÃO
Santa Cruz / 14	Suaçuí-Grande	Doce	Santa Maria do Suaçuí / Virgolândia	Granito-Gnaisse	SIM
Cachoeira Grande / 20	Suaçuí-Grande	Doce	Santa Maria do Suaçuí / Nacip Raydan	Granito-Gnaisse	NÃO

Além destes projetos básicos foram analisados alguns dados das PCH Palestina, PCH Ponte e PCH Triunfo, obtidos em Almeida (2006). Deve-se porém ressaltar que os dados destas PCHs incluem todas as fases de estudo, inclusive a etapa de obra, logo, o volume investigado deve ser maior que dos demais projetos. Algumas comparações foram dificultadas pela forma diferenciada de apresentação dos dados no trabalho e nos projetos básicos.

Com esta avaliação busca-se comparar os tipos e os quantitativos das investigações realizadas nos diversos projetos. Na análise destes dados foram consideradas as diferenças entre os projetos e o contexto geológico em que cada um está inserido, pois estes fatores influenciam diretamente no tipo de campanha a ser realizado para o projeto. Ressalta-se que este agrupamento por litologia é uma simplificação, uma vez que as rochas em cada um dos contextos não são iguais, apresentando várias características diferentes, entre mineralogia associada, compartimentação estrutural, grau de metamorfismo, grau de alteração e etc.

Alguns outros fatores podem levar a um número maior de investigações, tais como:

- Aparecimento de alguma feição que necessite de maior detalhamento, por exemplo, uma falha, Exemplo: PCH Pipoca;
- Alguma alteração de projeto que peça uma complementação das investigações em uma outra área, Exemplo PCH Cachoeirão;
- Uma mudança na profundidade da escavação, na qual seja necessária uma investigação mais profunda que as já executadas, Exemplo PCH Unaí Baixo.

Foi elaborada uma tabela resumo (Tabela 4.2) com os dados levantados sobre as dezenove PCH analisadas e a partir desta foram feitas algumas análises comparativas. Para facilitar a visualização destes dados, eles foram plotados em gráficos, comparando os diversos itens analisados.

Tabela 4.2 – Resumo dos quantitativos de investigação dos Projetos Básicos.

	Quantidade				Metragem			
PCH	**Poço Manual**	**Sondagem Percussão**	**Sondagem Mista**	**Sondagem Rotativa**	**Poço Manual**	**Sondagem Percussão**	**Sondagem Mista**	**Sondagem Rotativa**
Cachoeirão			28				490,75	
Pipoca			16	13			415,12	508,37
Dores de Guanhães			3				50,57	
Senhora do Porto			2				12,50	
Jacaré			2				8,20	
Fortuna II		2	7			22,75	113,63	
Brejaúba	2				5,80			
Quimquim	2				9,30			
Monjolo			5				75,87	
Sumidouro			7				144,68	
Aiuruoca		4	15			64,48	228,31	
Corrente Grande	2		10		10,20		198,20	
Barra da Paciência	2		11		18,40		218,20	
São Gonçalo			10				127,41	
Mucuri	4		8		28,00		180,00	
Unaí Baixo		3	1	14		12,12	6,00	456,93
Paiol		8		3		35,15		81,30
Santa Cruz		6		3		63,33		100,00
Cachoeira Grande				4				82,00
TOTAL	12	23	125	37	71,70	197,83	2269,44	1228,60

Na Figura 4.1 pode-se observar que o tipo de investigação direta mais utilizado nos projetos de usina, tanto em termos de número de investigações como de metragem perfurada, é a sondagem mista. Esta é tão utilizada por fornecer ao mesmo tempo informações sobre o solo e sua resistência, essenciais para o projeto dos taludes, e sobre a rocha.

As sondagens rotativas são muito utilizadas para a investigação do leito, onde além da presença da água, o solo ou sedimento existente não é relevante, pois este será removido, e para a avaliação das obras subterrâneas onde o solo não será escavado.

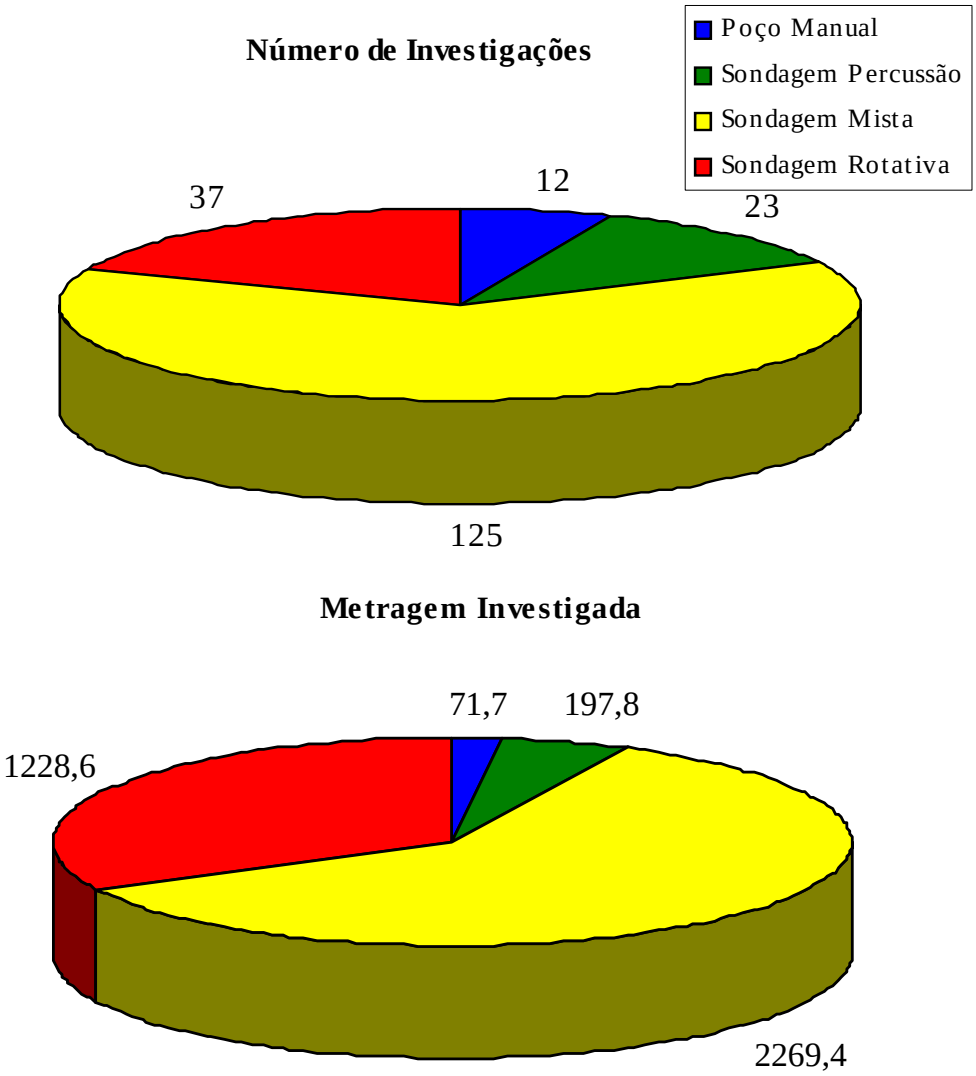


Figura 4.1 – Tipos de investigações utilizados nas PCH, em quantidade e em metragem.

Na Figura 4.2 pode-se observar os tipos e quantidade de investigações em cada uma das PCH. Observa-se ainda que algumas não possuem nenhuma sondagem em rocha, no Projeto Básico, aprovado pela ANEEL. Em seis destas usinas foram executadas menos de cinco sondagens. Em termos de metragem pode-se ver que em mais da metade dos

projetos não chega a 200 metros de investigação, sendo a PCH Pipoca completamente discrepante.

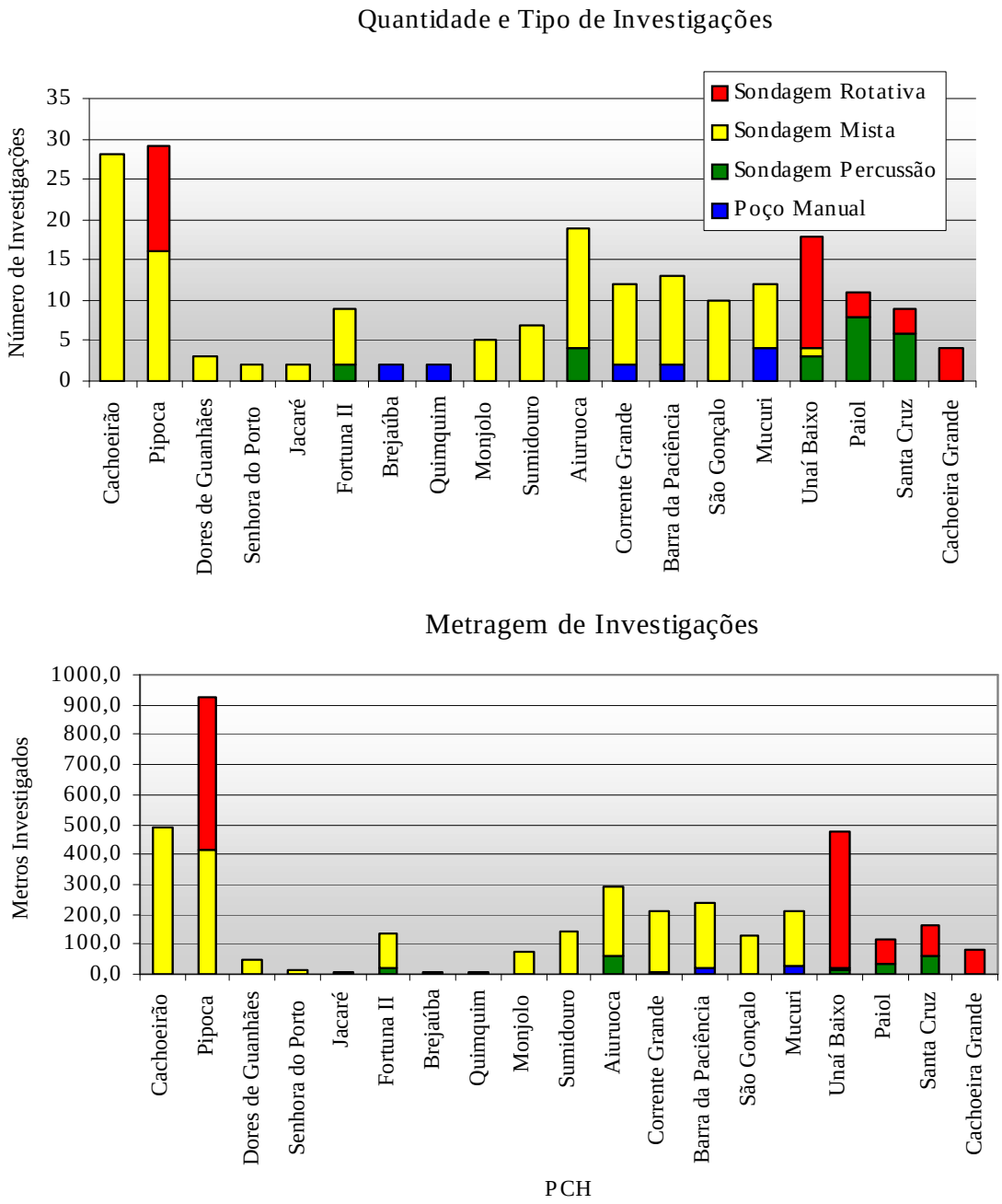


Figura 4.2 – Comparativo de tipos e quantidade de investigações entre as PCHs.

Em um estudo comparativo entre a metragem total investigada e a potência instalada chegou-se a um índice que representa a relação entre os parâmetros, através da divisão

da metragem pela potência (Figura 4.3). Foram utilizados também os dados das PCH Ponte e Triunfo, retirados de Almeida (2006). Cabe aqui a observação que nestes valores podem ter sido incluídas investigações de fases posteriores ao Projeto Básico apresentado à ANEEL, não consideradas nos demais projetos, o que pode contribuir para a elevação do índice.

No índice calculado não foi possível estabelecer uma correlação direta entre os fatores, apenas uma tendência de correlação positiva, conforme gráfico da Figura 4.3, onde estão destacados os pontos relevantes, analisados na seqüência do texto.

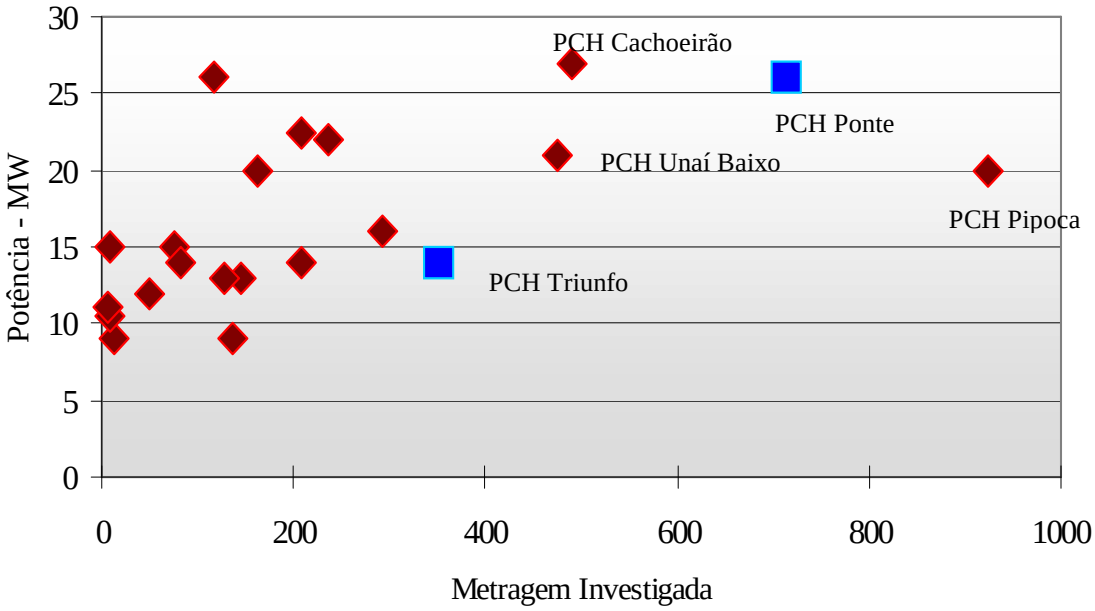


Figura 4.3 – Gráfico Metragem Investigada X Potência Instalada.

Observa-se que apenas dois projetos, entre os dezenove analisados, apresentam valores do índice investigação x potência acima de 20, sendo estes os projetos da PCH Pipoca e Unaí Baixo. O projeto da PCH Cachoeirão não alcança este índice, apesar de apresentar uma metragem superior a da PCH Unaí Baixo, devido à elevada potência instalada. A quantidade de investigações desta PCH foi considerada adequada para o projeto.

Estes dois projetos apresentam justificativas claras para os valores discrepantes. Durante as investigações iniciais do projeto da PCH Pipoca, foi descoberta uma anomalia da profundidade do topo rochoso ao longo do caminhamento do túnel de adução, com aproximadamente dois quilômetros, com isso um detalhamento foi necessário. A PCH Unaí Baixo, conforme já relatado, está inserida em um contexto geológico complexo de calcários e siltitos, sendo ainda o único projeto que prevê um túnel de desvio.

Os projetos das PCH Ponte e Triunfo apresentam valores do índice investigação x potência acima de 25,0. Estes empreendimentos apresentaram inúmeras alterações de projeto durante a fase executiva, em função do refinamento das informações geológicas, o que vem a reforçar que, para a maioria dos projetos, estes valores são muito baixos e estão de acordo com o conceito de um índice baixo de investigação e a preocupação que cerca esta questão.

Na Figura 4.4, pode-se verificar todos os valores dos índices obtidos:

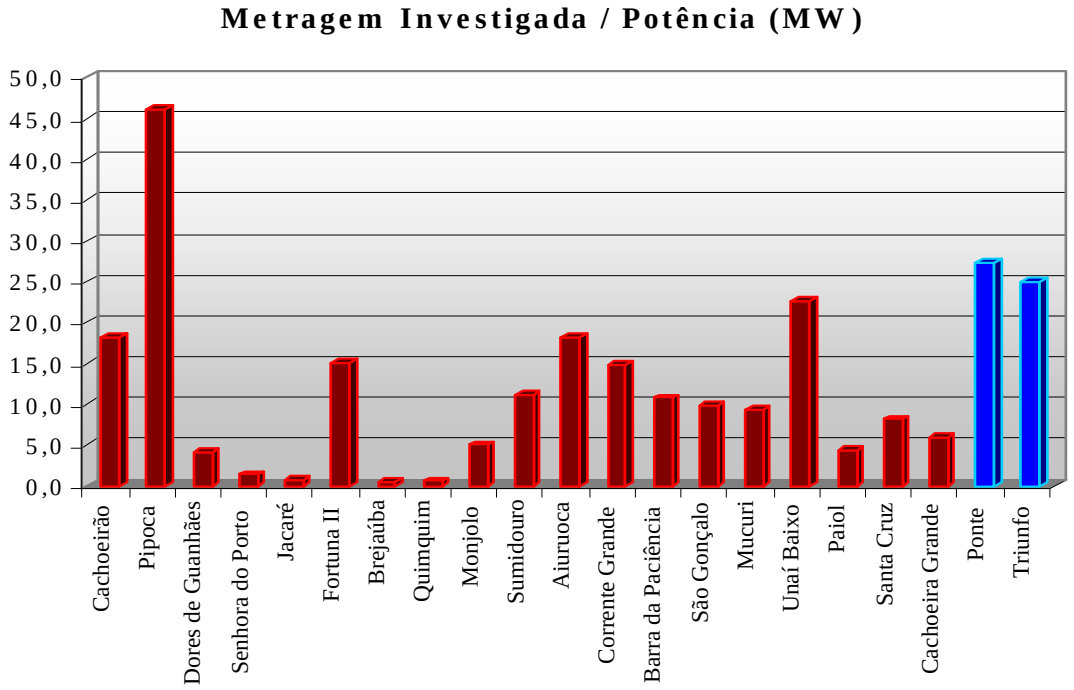


Figura 4.4 – Valores do índice - Metragem Investigada X Potência Instalada.

A Tabela 4.3 mostra os valores utilizados:

Tabela 4.3 – Resumo dos dados de metragem total e potência instalada das PCH e a relação entre estes parâmetros.

PCH	Potência		
	Metragem Total	Potência	Metragem / Potência
Cachoeirão	490,75	27	18,18
Pipoca	923,49	20	46,17
Dores de Guanhães	50,57	12	4,21
Senhora do Porto	12,50	9	1,39
Jacaré	8,20	10,5	0,78
Fortuna II	136,38	9	15,15
Brejaúba	5,80	11	0,53
Quimquim	9,30	15	0,62
Monjolo	75,87	15	5,06
Sumidouro	144,68	13	11,13
Aiuruoca	292,79	16	18,30
Corrente Grande	208,40	14	14,89
Barra da Paciência	236,60	22	10,75
São Gonçalo	127,41	13	9,80
Mucuri	208,00	22,5	9,24
Unaí Baixo	475,05	21	22,62
Paiol	116,45	26	4,48
Santa Cruz	163,33	20	8,17
Cachoeira Grande	82,00	14	5,86
Dados abaixo segundo Almeida (2006) *			
Ponte	713,30	26	27,43
Palestina	0,00	20	0,00
Triunfo	351,34	14	25,10

* não foram apresentados os valores totais para a PCH Palestina

Nenhuma análise deste tipo pode ser feita puramente em cima de números, conforme visto acima, porém os valores encontrados e alguns casos em particular são alarmantes, seja pela pequena quantidade ou mesmo pela ausência de investigações. Muitas vezes a justificativa utilizada para estes casos é a existência de extensos afloramentos rochosos na área. Além do fato de nem sempre a presença de rocha garantir a solução para os riscos geológicos, deve-se lembrar da citação de Brito (1998) de que este constitui um dos principais erros cometidos nos estudos geológicos. A utilização da experiência adquirida é importante, mas não pode ser usada como máscara para a negligência. Por fim, sabe-se que todos os métodos aqui descritos são complementares, portanto o ideal é que sejam usados todos, aproveitando o potencial de cada método, com muito bom senso.

CAPÍTULO 5 – PROGRAMA MINAS PCH – DEFINIÇÕES, ALOCAÇÃO DE RISCOS E CONTRATO EPC

5.1. PROGRAMA MINAS PCH

O Programa Minas PCH foi lançado através de uma Chamada Pública (GN 02/2004), na qual a CEMIG convocou os interessados em participar de um processo de seleção para formação de parcerias, visando constituir Sociedade de Propósito Específico – SPE - para implantação e exploração de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) localizadas, necessariamente, no estado de Minas Gerais.

Foi definida uma seqüência de etapas para seleção dos projetos e uma estrutura básica para a formatação do negócio, após a seleção, a ser aplicada para todos os interessados. A implantação e exploração das PCH ocorrerá através de SPE, tendo como acionistas Empresas e/ou Investidor(es) e a CEMIG, sendo que esta participará acionariamente até o limite de 49%. A energia da PCH será comercializada através de contrato de venda, com preço negociado, firmado entre a SPE e um consumidor. A CEMIG garantirá para a SPE a comercialização da energia nas condições estabelecidas no contrato de venda.

Algumas vantagens para este investimento foram oferecidas pela CEMIG:

- Credibilidade junto a consumidores de energia;
- Grande experiência no negócio geração;
- Capacidade de aportar capital próprio;
- Redução dos custos de implantação, operação e manutenção com a utilização da infra-estrutura existente e experiência da CEMIG;
- Garantia do contrato de venda de energia;
- Minimização de risco.

Do início do processo até o momento cerca de trinta projetos foram apresentados e avaliados pela CEMIG, sendo que um acordo de confidencialidade protege as informações apresentadas pelas partes, não podendo estas serem divulgadas.

Após a avaliação técnica e financeira do negócio, verificando-se a viabilidade, firma-se um memorando de entendimentos e inicia-se o processo de licitação e contratação da obra.

5.1.1 A PCH Cahoeirão

A PCH Cachoeirão, alvo deste trabalho, foi a primeira PCH a chegar ao final do processo, ou seja, a ordem de serviço para início das obras. Sendo a primeira, algumas definições do formato de contratação, definições de risco, texto dos documentos e do contrato tiveram um período maior de maturação e discussões, sendo que os demais contratos seguiram os moldes deste.

5.2. DEFINIÇÕES DO CONTRATO

A seguir serão reproduzidos, literalmente, os trechos do contrato da PCH Cachoeirão que tratam do risco geológico e do Relatório de Risco. A numeração apresentada nos itens do contrato foi mantida conforme o documento original, não correspondendo a numeração deste capítulo.

A cláusula primeira define que o Relatório Técnico de Riscos Geológicos é parte integrante do contrato firmado entre as partes. Este relatório foi definido como integrante do contrato desde o edital de licitação da obra, definido como um relatório elaborado pelo Contratante e referendado pelo Contratado.

1 CLÁUSULA PRIMEIRA - DOCUMENTOS INTEGRANTES DO CONTRATO

1.1 *Fazem parte integrante deste Contrato os documentos abaixo relacionados, devidamente rubricados pelas Partes, doravante denominados "Documentos do Contrato":*

Anexo I *Proposta Consolidada do CONTRATADO n.º 25/1118 – Rev2, compreendendo a Proposta Técnica (a qual inclui as Especificações Técnicas Consolidadas, o Termo de Referência Sócio-Ambiental, o Escopo Detalhado e o Cronograma de Implantação), o* ***Relatório Técnico de Riscos Geológicos****, a Proposta Comercial (a qual inclui o Cronograma de Eventos e Pagamentos e a Tabela de Preços de Equipamentos e Serviços, a Tabela de Preços Unitários de Eventuais Materiais e Serviços Extraordinários e a Planilha de Preços de Custos Reembolsáveis Decorrentes de Suspensão do Empreendimento*

Anexo II *Projeto Básico Consolidado*

Anexo III *Contrato de Constituição do CONSÓRCIO CONSTRUTOR CACHOEIRÃO*

Anexo IV *Condições para Contratação de Seguros*

A cláusula segunda apresenta as definições dos termos utilizados no contrato. Devido à extensão desta cláusula foram reproduzidas apenas as definições relacionadas ao tema Risco Geológico.

2 CLÁUSULA SEGUNDA - DEFINIÇÕES

2.1 *Sempre que empregados no presente Contrato, os termos e expressões abaixo listados terão o significado que lhes tiver sido atribuído neste item, salvo se o contexto exigir de outra forma:*

"Modelo Geológico-Geotécnico*: é um dos estudos integrantes do Relatório Técnico de Riscos Geológicos que define as condições geológicas do Local de Implantação.*

"Modelo Hidrogeológico": *é um dos estudos integrantes do relatório técnico de riscos geológicos que se destina a apresentar uma análise do comportamento hidrodinâmico do sistema hidrogeológico no Local de Implantação.*

Ocorrência não Prevista": *são todas as ocorrências geológicas ou hidrológicas que venham a ser verificadas durante a Implantação do EMPREENDIMENTO e que não integrem aquelas indicadas e quantificadas no Relatório Técnico de Riscos Geológicos integrantes do Anexo I e os Riscos Hidrológicos contidos no Projeto Básico Consolidado - Anexo II.*

"Risco Geológico"*: são todos os riscos identificados para cada estrutura do EMPREENDIMENTO conforme Relatório Técnico de Riscos Geológicos, integrante do Anexo I - Proposta Consolidada do CONTRATADO nos termos da CLÁUSULA QUINTA – ALOCAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS ENTRE CONTRATANTE E CONTRATADO.*

A cláusula quinta é a mais importante em termos de risco geológico. Ela define a forma como este será considerado à luz deste contrato e ainda os procedimentos que deverão ser seguidos para a sua avaliação.

5 CLÁUSULA QUINTA – ALOCAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS ENTRE CONTRATANTE E CONTRATADO

5.1 Os Riscos Geológicos e os Riscos Hidrológicos identificados, respectivamente, no Relatório Técnico de Riscos Geológicos, integrante do Anexo I, e no Projeto Básico Consolidado - Anexo II são de inteira responsabilidade do CONTRATADO, sem prejuízo das responsabilidades atribuídas à CONTRATANTE estabelecidos nesta Cláúsula, considerando-se que todos os seus impactos na Implantação do EMPREENDIMENTO, seja em custos, cronograma ou qualquer outro, foram devidamente avaliados pelo CONTRATADO integrando o Preço Global indicado no item 11.1.

5.2 Durante a Implantação do EMPREENDIMENTO, o CONTRATADO deverá qualificar e quantificar imediatamente as variações originadas da identificação de qualquer Ocorrência não Prevista, além dos limites dos Modelos apresentados e não integrantes dos Riscos Geológicos definidos, devendo apresentá-las prontamente, com as circunstâncias de sua motivação, inclusive providências a serem tomadas, ao CONTRATANTE. ***Os impactos nos custos, se houver, depois de aprovados pela CONTRATANTE, serão pagos nos termos do item 5.6 e conforme Tabela de Preços Unitários de Material e Serviços Eventuais Extraordinários, integrante do Anexo I – Proposta Consolidada do CONTRATADO.***

5.2.1 Não será pago qualquer valor adicional ao valor de origem do Contrato, decorrente de Ocorrência não Prevista, que não tenha sido previamente qualificado, quantificado, apresentado e aprovado pela CONTRATANTE imediatamente após sua ocorrência durante a Implantação do EMPREENDIMENTO.

5.3 Durante a Implantação do EMPREENDIMENTO, o CONTRATADO deverá qualificar e quantificar imediatamente as variações originadas da identificação de qualquer Ocorrência não Prevista além dos critérios e Riscos Hidrológicos definidos no texto do relatório final do Projeto Básico Consolidado - Anexo II, devendo apresentá-las prontamente, com as circunstâncias de sua motivação, inclusive providências a serem tomadas, à CONTRATANTE. Os impactos nos custos, se após aprovados pela CONTRATANTE, serão pagos conforme Tabela de Preços Unitários de Material e Serviços Eventuais Extraordinários, integrante do Anexo I – Proposta Consolidada do CONTRATADO.

5.3.1 Os custos decorrentes das Ocorrências não Previstas deverão ser constatados e submetidos imediatamente à CONTRATANTE para fins de aprovação na forma indicada no item 5.3.

5.4 Caso não haja aprovação pela CONTRATANTE dos custos decorrentes das

Ocorrências não Previstas será contratada consultoria independente, definida em consenso pelas Partes, para emitir parecer técnico, indicando possíveis soluções para divergências.

5.4 Em nenhuma hipótese o andamento da obra será descontinuado em razão de quaisquer impasses verificados entre as Partes com relação ao reembolso pagamento de custos pela CONTRANTANTE a CONTRATADA decorrente de Ocorrências não Previstas.

5.5 Observado o disposto nos itens 5.2 e 5.2.1, o pagamento dos serviços adicionais devido à Ocorrência não Prevista será efetuado a preço unitário de planilha, conforme abaixo:

5.5.1 Variações para cima serão multiplicadas por 0,85.

5.6 No caso da não existência de preço unitário de planilha, para atendimento ao disposto no item 5.6, este preço será substituído por aquele apurado pela média das cotações oriundas de duas cotações efetuadas pelo CONTRATANTE e duas efetuadas pelo CONTRATADO, equalizadas sob as mesmas condições comerciais, tributárias e técnicas, descartadas a de menor e a de maior valor.

Conforme pode ser observado no texto do contrato, toda a definição da responsabilidade sobre as ocorrências não previstas é baseada no Relatório Técnico de Risco Geológico, sendo ele então o principal documento para solução de futuras pendências. Desta forma ele deve ser o mais completo e elucidativo possível, com o maior número de informações baseadas em dados e não em interpretações.

5.3. DEFINIÇÕES DO RELATÓRIO TÉCNICO DE RISCO GEOLÓGICO

Na tentativa de resolver de maneira mais ágil e simples as pendências geradas a partir de ocorrências geológicas não previstas, e de se evitar o pagamento dobrado das conseqüências e das soluções destes, a Cemig e seu parceiro empreendedor, decidiram

elaborar um documento que expressasse da melhor maneira possível a realidade geológica do local de implantação e os possíveis riscos associados.

Para a PCH Cachoeirão foi definido pelos empreendedores que este documento seria elaborado pela projetista do Projeto Básico e aprovado por suas equipes técnicas. O documento seria apresentado juntamente ao edital de licitação da obra e aquelas empresas que apresentassem propostas deveriam anexar a esta um documento referendando o texto do relatório.

Em uma primeira etapa, buscou-se definir o conceito de risco geológico a ser utilizado na elaboração do relatório. Optou-se então pela utilização dos conceitos apresentados por Brito (1998) e descritos no Capítulo 3. No texto do Relatório Técnico de Risco Geológico estes conceitos foram apresentados, de forma a serem referendados pelo Contratado.

Após isto, foi necessária a definição do que deveria ser contemplado pelos estudos apresentados no relatório. Como deveria ser retratada da maneira mais completa possível a realidade geológica-geotécnica da área, decidiu-se pela elaboração de um modelo geológico-geotécnico local. Para isto buscou-se primeiramente definir o que este modelo deveria conter. Com discussões internas e ainda contando com consultorias, decidiu-se pela elaboração de três modelos para a área, com base nas informações disponíveis.

5.3.1. Definição dos Modelos

As definições adotadas para a elaboração do relatório são apresentadas a seguir:

5.3.1.1. Modelo Geológico-Geotécnico

O modelo geológico-geotécnico estabelecerá as condições do local do empreendimento de maneira a definir a mineralogia e tipo de rocha, as feições estruturais, o grau de alteração, a espessura e disposição espacial das diferentes litologias, a espessura e

estruturação do perfil do solo, os volumes de cada material estudado e as propriedades físico-químicas dos materiais aplicáveis na construção e suas interações ambientais.

O modelo deverá ser gerado utilizando-se de pesquisa bibliográfica, mapeamentos regionais e locais, elementos de prospecção geofísica, mecânica (incluindo sondagens de recuperação integral, televisionamento de furos e galerias de investigação), além de ensaios *in situ* e em laboratório, tais como ensaios de perda d'água e ensaios de cisalhamento e de resistência à tração a partir da amostragem de testemunhos representativos das várias classes de maciço, aliados às observações/mapeamentos de campo.

O uso da foto-interpretação e a análise de imagens de satélite também deve ser inserido como ferramenta para melhoramento do modelo.

5.3.1.2. Modelo Geomecânico

O modelo geomecânico deverá contemplar o meio rochoso no seu conjunto, envolvendo todas as informações necessárias à elaboração do modelo físico, sobre o qual o projeto de engenharia será desenvolvido.

O modelo deverá ser elaborado após a caracterização e classificação do maciço, reunindo todas as investigações, análises e mapeamentos geológico-geotécnicos detalhados, representando o comportamento atual e futuro do maciço após as escavações. O modelo orientará a escolha dos métodos construtivos a serem adotados, assim como os seus respectivos tratamentos ou dispositivos de estabilização. A experiência técnica em situações semelhantes também deve ser levada em conta.

Dessa forma, o modelo geomecânico estabelecerá todas as situações previsíveis do comportamento geomecânico para cada estrutura do empreendimento.

5.3.1.3. Modelo Hidrogeológico

Deverá apresentar uma análise do comportamento hidrodinâmico do sistema hidrogeológico local, incluindo informações como permeabilidade e condutividade hidráulica, modelagem do fluxo, tipos de aqüíferos e barreiras existentes, áreas de recarga e de descarga, informações sobre a qualidade das águas e vulnerabilidade dos aqüíferos. Esta análise deverá ser realizada a partir do desenvolvimento de um modelo conceitual, utilizando-se do recurso de simulações matemáticas, da situação atual do sistema de fluxo de água subterrânea, considerando recargas relativas aos períodos de chuva, e de caráter preditivo do comportamento futuro das unidades aqüíferas de ocorrência na área do empreendimento, considerando o enchimento do reservatório.

5.3.2. Elaboração do Relatório Técnico de Risco Geológico

No caso da PCH Cachoeirão, o Relatório Técnico de Risco Geológico foi elaborado, em conjunto, pelo empreendedor e pela projetista do Projeto Básico, e apresentado aos proponentes, juntamente com o edital de licitação. Este deveria então ser referendado pelos proponentes.

Dos proponentes apenas um referendou o relatório no formato que ele foi apresentado. Os demais fizeram comentários e apresentaram questionamentos sobre o mesmo. As principais dúvidas foram em relação ao volume investigado e aos pontos não sondados. Alguns questionamentos quanto à classificação do maciço estimada e ao tratamento definido também foram apresentados.

O proponente escolhido não havia referendado o relatório e foi preciso buscar solução para o impasse, uma vez que o contrato previa a aceitação do relatório pelo Contratado. A solução encontrada foi a revisão do texto do relatório de modo que atendesse as partes, sem ferir as definições do edital e do contrato, e as informações geológicas e hidrogeológicas. Para isto inúmeras reuniões foram realizadas entre todos os envolvidos para a definição de um texto consolidado. O texto final do relatório é apresentado literalmente no Capítulo 6 desta dissertação.

CAPÍTULO 6 - RELATÓRIO TÉCNICO DE RISCOS GEOLÓGICOS - PCH CACHOEIRÃO

6.1. INTRODUÇÃO

Este documento tem por finalidade apresentar o modelo geológico-geotécnico, geomecânico e hidrogeológico do local de implantação da PCH Cachoeirão, compreendendo uma descrição detalhada do contexto geológico regional e local e das feições geológicas previstas para os locais de escavação e fundação das principais estruturas do empreendimento, além dos tratamentos preconizados em cada estrutura e os critérios adotados na sua definição.

6.2. DEFINIÇÕES

6.2.1 Risco Geológico

É o risco de ocorrência de uma **Mudança nas Condições Geológicas** (considerada como uma situação geológica), encontrada durante a execução da obra, diferente das previstas e identificadas para cada estrutura do **EMPREENDIMENTO**.

6.2.2 Mudança nas Condições Geológicas

É quando ocorrerem em uma feição geológica prevista, condições diferentes das antecipadas nos modelos propostos. Isto pode ocorrer por mudanças geométricas (extensão e/ou orientação são diferentes das previstas), por mudança de qualidade (propriedades ou comportamento diferentes do previsto) e ainda pela ocorrência de feição geológica nunca associada ao tipo de maciço e na região encontrada ou não relatada na bibliografia (desconhecida pelo estado da arte). Essas situações deverão também refletir em modificações volumétricas complementares de escavações e tratamentos, variações no cronograma da obra e modificações de métodos construtivos.

6.3. ARRANJO GERAL DO PROJETO

Na Figura 6.1, está indicado a projeção em planta do arranjo das estruturas hidráulicas do empreendimento.

O arranjo previsto é composto por um Vertedouro de Soleira Livre, disposto na parte central do vale do Rio Manhuaçu, ladeado por dois Muros Ala que contêm as Barragens de Enrocamento (na margem esquerda) e CCV (na margem direita), que fecham as ombreiras.

O vertedouro apresenta a soleira livre posicionada na El. 232 m (correspondente ao N.A. Normal do Reservatório), largura de soleira vertente = 90 m e carga hidráulica máxima sobre a soleira = 4,40 metros, correspondente à vazão decamilenar $Q_{TR10.000}$= 1.775 m³/s.

O Circuito de Adução é composto pela Tomada D'água posicionada na ombreira direita, não incorporada à barragem, direcionando o fluxo do Rio Manhuaçu por um Túnel de Adução de 450 metros de extensão, aproximadamente, até a Casa de Força. A seção do túnel é arco-retângulo, com diâmetro de 6,60 m.

Nos 50 metros finais do túnel ocorre a transição para um trecho blindado, que engloba uma trifurcação até a casa de força. Esse trecho revestido em aço tem, inicialmente, a transição com diâmetro interno de 4,40 metros, passando após a trifurcação para condutos com diâmetro de 2,60 metros.

A Casa de Força do tipo abrigada é provida de três turbinas Francis de eixo horizontal, com potência instalada de 10,9 MW por unidade.

O Canal de Fuga, escavado quase que totalmente em rocha, desemboca imediatamente no Rio Manhuaçú. Para sua escavação está prevista uma ensecadeira dimensionada para o período de estiagem (TR=25 anos), com crista na El. 185 metros.

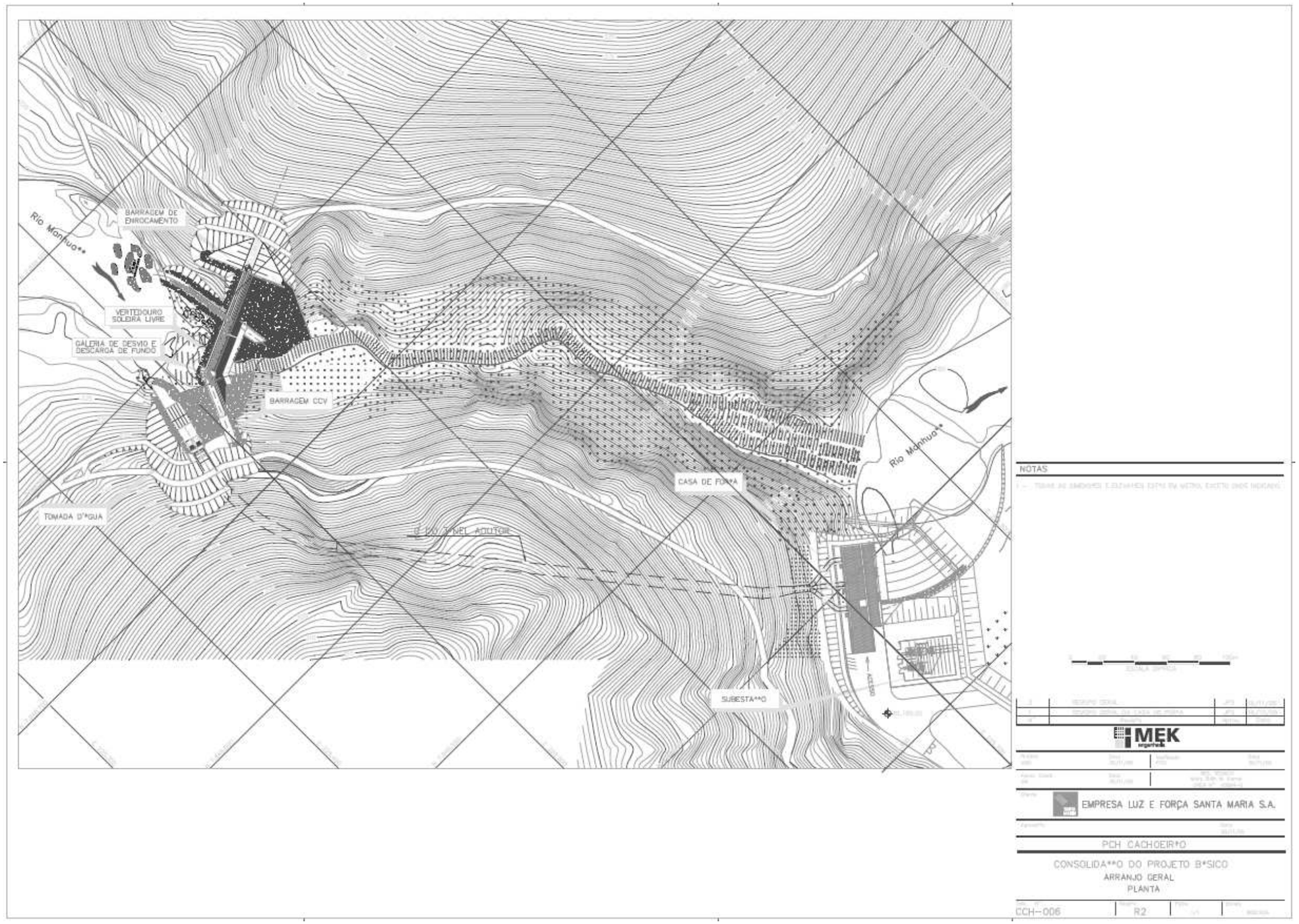


Figura 6.1 – CCH006 - ARRANJO GERAL – PLANTA

O Desvio do rio, para a execução das obras do Barramento e Adução, será feito através de canal na margem esquerda (segunda etapa) e de galeria na margem direita (terceira etapa) inserida em um bloco do Vertedouro.

A galeria ou adufa foi projetada com largura L= 4,00 m, altura H= 4,00 m e extensão de cerca de 17,00 m, dimensionada para a vazão de Q=140 m^3/s (TR=10 anos), período de estiagem adotado de maio a outubro. Esta galeria de desvio será aproveitada como descarga de fundo, acionada e acessada na crista por uma ponte implantada sobre parte do vertedouro, na margem direita.

6.4. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

A área do empreendimento está localizada na região leste de Minas Gerais, entre as cidades de Pocrane e Alvarenga. Apresenta rochas metamórficas de idade pré-Cambriana, onde distintas unidades sofreram mais de um evento metamórfico, como as rochas dos Complexos Pocrane e Juiz de Fora, inseridas dentro do período Arqueano.

Ocorrem na região outras unidades mais recentes, derivadas de rochas sedimentares e intrusivas, englobando os Grupos São Tomé e Crenaque e as Suítes Intrusivas Galiléia e Aimorés.

O Complexo Pocrane, unidade de maior expressão espacial, ocorre na porção sudoeste da região. Esta unidade possui litotipos oriundos de rochas ígneas e sedimentares. Os principais tipos encontrados são biotita e/ou hornblenda gnaisses bem foliados, com ou sem granadas. Localmente ocorrem migmatitos mobilizados, metatexitos com paleossoma de anfibolitos, ortognaisses de composição granodiorítica a tonalítica, além de xistos e quartzitos em quantidades subordinadas. Este complexo possui, no mínimo, três fases distintas de deformação e é considerado como terreno de alto grau metamórfico, comum em regiões de idade arqueana.

O Complexo Juiz de Fora encontra-se localizado na porção mais a oeste, sendo constituído por litotipos derivados de rochas ígneas e sedimentares. Esses litotipos caracterizam-se por bandamentos marcantes, de origem tectônica, retratados por bandas máficas e félsicas. É observada a presença de quartzo discóide, uma intensa catáclase e a ocorrência de dobras intrafoliais disruptas, indicando o metamorfismo.

A porção norte da área é constituída pelo Grupo São Tomé, unidade composta de quartzo-biotita xistos, localmente com granada e sillimanita, apresentando intercalações restritas de biotita-quartzo xistos e lentes de calcossilicáticas, raramente gnáissicas. Ocorrem, ainda, intercalações subordinadas de quartzitos, anfibólio xistos, mármores e migmatitos de injeção, nas proximidades de corpos granitóides.

A porção central é constituída pelo Grupo Crenaque, unidade litológica de origem sedimentar, composta por quartzitos puros a quartzitos com muscovita de granulação média a grossa, ocasionalmente fina, com coloração creme e intercalações subordinadas de biotita xisto granatíferos com estaurolita e/ou sillimanita e mármores.

A Suíte Intrusiva Galiléia localiza-se, preferencialmente, na porção nordeste da região, podendo também estar dispersa em outras áreas. Apresenta-se sob a forma de batólitos e alguns “stocks” de caráter intrusivo. A rocha possui composição tonalítica-granodiorítica, diorítica e quartzo-diorítica e granítica, geralmente de granulação média, rica em encraves microgranulares e diques sin-intrusivos. Os encraves apresentam comumente forma elíptica, de mesma composição, com granulação mais fina, às vezes, contendo mega cristais de feldspato em seu interior.

A Suíte Intrusiva Aimorés é representada por uma pequena porção isolada (perto da cidade de Itanhomi) e, em maior quantidade, fora da área de estudo. Esta unidade apresenta rochas de composição que variam de granítica-tonalítica a norítica, com granulação grossa, com mega cristais de feldspato, maciços ou com foliação cataclástica, de coloração (muitas vezes) esverdeada, possuindo raros encraves micro granulares e xenólitos. Este tipo de rocha é denominada charnockítica.

6.5. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DO LOCAL

6.5.1. Campanhas de Investigações

A área de interesse ao empreendimento foi palco de levantamentos geológicos e geotécnicos, já durante os Estudos de Viabilidade, desenvolvidos pela PRONERG - Empreendimentos Energéticos Ltda.

Nessa fase foram executados cerca de 16 poços de inspeção e 12 sondagens rotativas, visando as diversas alternativas de arranjo das estruturas. Essas investigações não estão sendo apresentadas devido ao grau elevado de imprecisão quanto às suas locações.

Posteriormente, no início do ano de 2000, foi desenvolvido o Projeto Básico, ocasião em que se realizaram outros furos de sondagens, também visando alternativas diversas de arranjo. Nesse período executaram-se nove sondagens mistas, sendo que somente quatro na área selecionada para os estudos futuros.

Essas quatro sondagens são apresentadas na planta de investigações geológicas (Figura 6.2), com a designação SM-M-20 a SM-M-23 e foram executadas pela SOLOTOP Ltda para a ELFSM (Empresa Luz e Força Santa Maria S/A).

Ao final do ano de 2001, uma outra campanha de investigação foi desenvolvida, agora para a Consolidação do Projeto Básico, pela MINAS SOLOS Sondagem Ltda, para a SANTA MARIA Energética S/A. Na área de interesse foram executadas as sondagens SMs 101 a 109, totalizando 139,83 metros em rocha e 108,10 metros em solo, com 17 ensaios de perda d´água (EPA).

Em meados de 2002 iniciaram-se os estudos de Alternativas de Arranjo Geral Civil, quando se realizaram mais quatro sondagens (SMs 201 a 204), também pela MINAS SOLOS para a SANTA MARIA, com um total de 71,62 metros em rocha, 26,65 metros em solo e 22 EPAs.

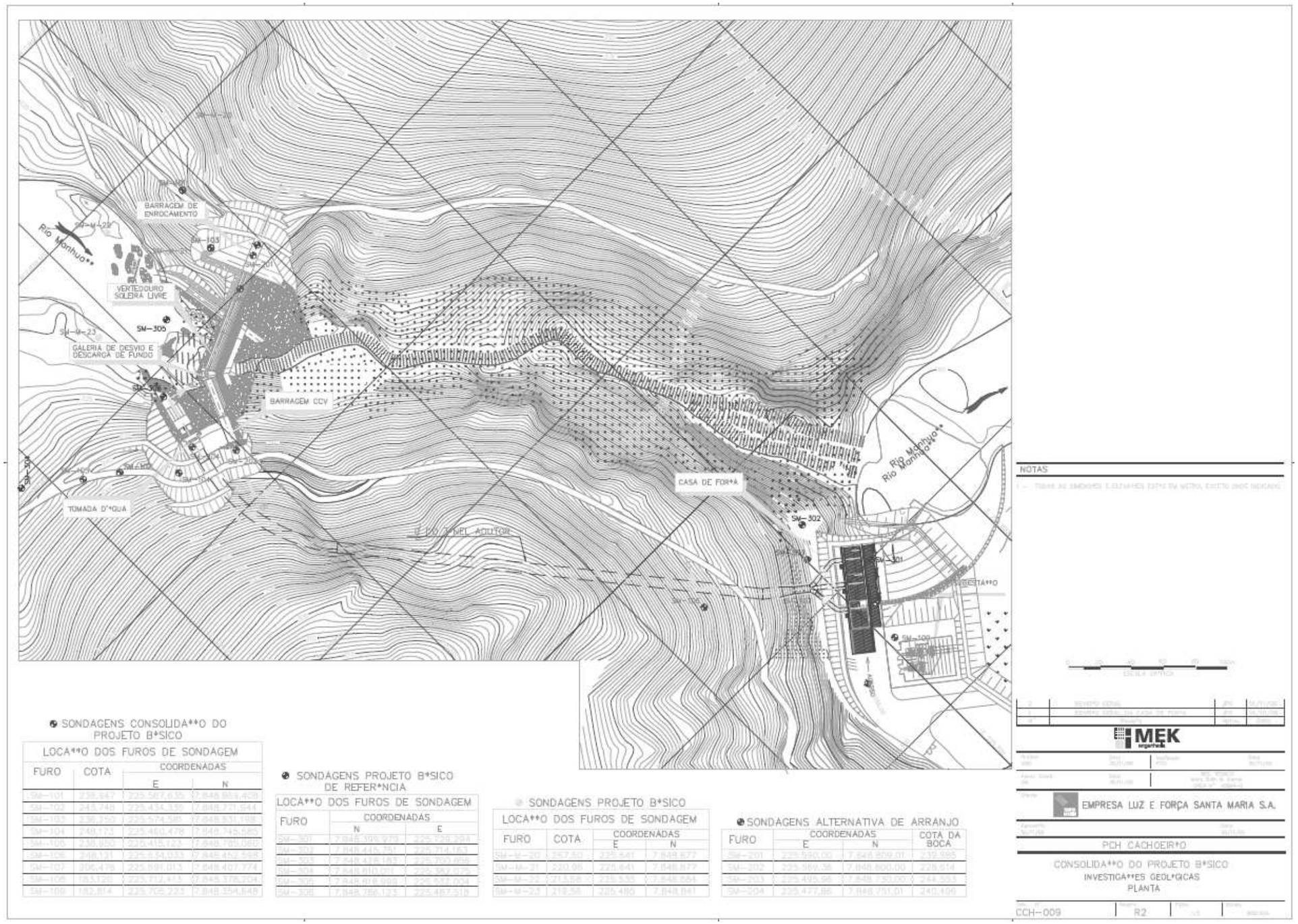


Figura 6.2 - CCH-009 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS - PLANTA

Para o atual Projeto Básico de Referência, foram executadas mais seis sondagens na área selecionada para as principais estruturas, denominadas SMs 301 a 306. Essas investigações foram feitas pela PROGEO Engenharia Ltda para a ELFSM, compreendendo 32 EPAs em 103,93 metros perfurados em rocha, além de 22,46 metros em solo.

6.5.2. Condições Geológico-Geotécnicas no Local das Principais Estruturas

O arranjo selecionado previu as principais estruturas de concreto do empreendimento (barragem, vertedouro, desvio, tomada d´água e casa de força) fundadas em rochas constituídas por granito, granitóide e gnaisse, com graus de alteração A1 (são), coerência C1 (coerente), fraturamento F1/F2 (pouco fraturada) e condutividade hidráulica H1/H2 (baixa), de acordo com a Figura 6.3.

Na área do barramento as sondagens detectaram passagens, no maciço são, com fraturas subhorizontais a subverticais, abertas, com paredes rugosas e com película de oxidação. Em afloramentos de rocha observa-se a continuidade dessas fraturas em superfície, configurando um quadro de juntas de alívio, por vezes sem preenchimento e com abertura de mais de cinco centímetros.

Na margem esquerda, o fechamento da barragem foi projetado em solo/enrocamento, devido ao gradativo aumento da espessura de solo, na medida que se alcançam cotas mais elevadas. Já o pacote de rocha alterada e fraturada apresenta uma tendência inversa, isto é, diminui sua espessura nas cotas mais elevadas.

O Túnel foi projetado, em sua maior parte, em um granitóide são, coerente e pouco fraturado, enquadrado como de classes I/II (metodologia Bieniawski Modificada, mostrada no Quadro 1 da Figura 6.5). Nos emboques está sendo prevista a ocorrência de maciço classe III e em dois trechos, ao longo do túnel, pode ocorrer maciço de classe IV, na presença de zonas de falhas/fraturas (Figura 6.3).

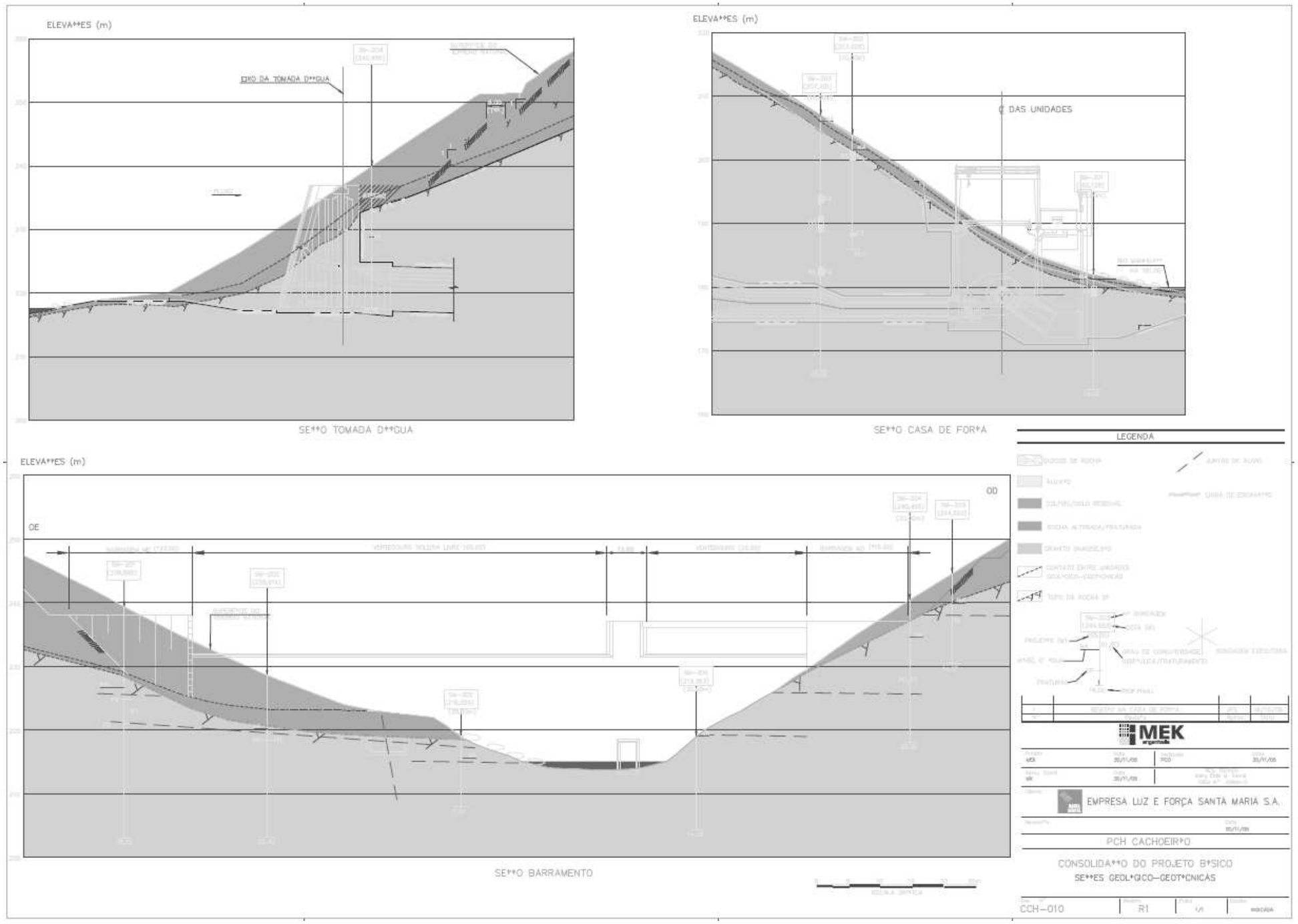


Figura 6.3 - CCH-010 - SEÇÕES GEOLÓGICAS - GEOTÉCNICAS

As sondagens executadas na área dos taludes da casa de força apresentaram em profundidade uma rocha classificada como granitóide são, coerente e pouco fraturado, mas em alguns trechos, mostra-se muito fraturada (F3 e F4) e com alta condutividade hidráulica (H3 e H5).

6.6. TRATAMENTOS PRECONIZADOS

Com o assentamento das principais estruturas de concreto em rocha sã, todo o material sobrejacente, composto por solo e rocha alterada/fraturada, além de blocos soltos, deverá ser removido. Em seguida será uma feita limpeza com jatos de ar e água da superfície rochosa, seguida da regularização da mesma e da aplicação de concreto dental.

A presença de descontinuidades no maciço íntegro (são) impõe ao projeto uma intensificação no tratamento de fundação, através de uma cortina de injeção com furos espaçados a cada três metros, nas partes da fundação de cota mais baixa. Em elevações maiores, o espaçamento passa a ser de seis metros. As injeções serão executadas a partir de uma base de concreto, junto ao paramento de montante do barramento (Figura 6.4). Também foi prevista a necessidade de execução de uma malha de furos de injeção rasos para consolidação do maciço rochoso.

Em alguns trechos mais próximos da superfície do terreno, no encontro de juntas subhorizontais com fraturas subverticais, pode ocorrer uma compartimentação do maciço de fundação, formando blocos isolados, que deverão ser removidos. Quando da remoção de blocos, podem ser configuradas grandes saliências e/ou promontórios com taludes negativos, que devem ser regularizados com a aplicação de concreto dental.

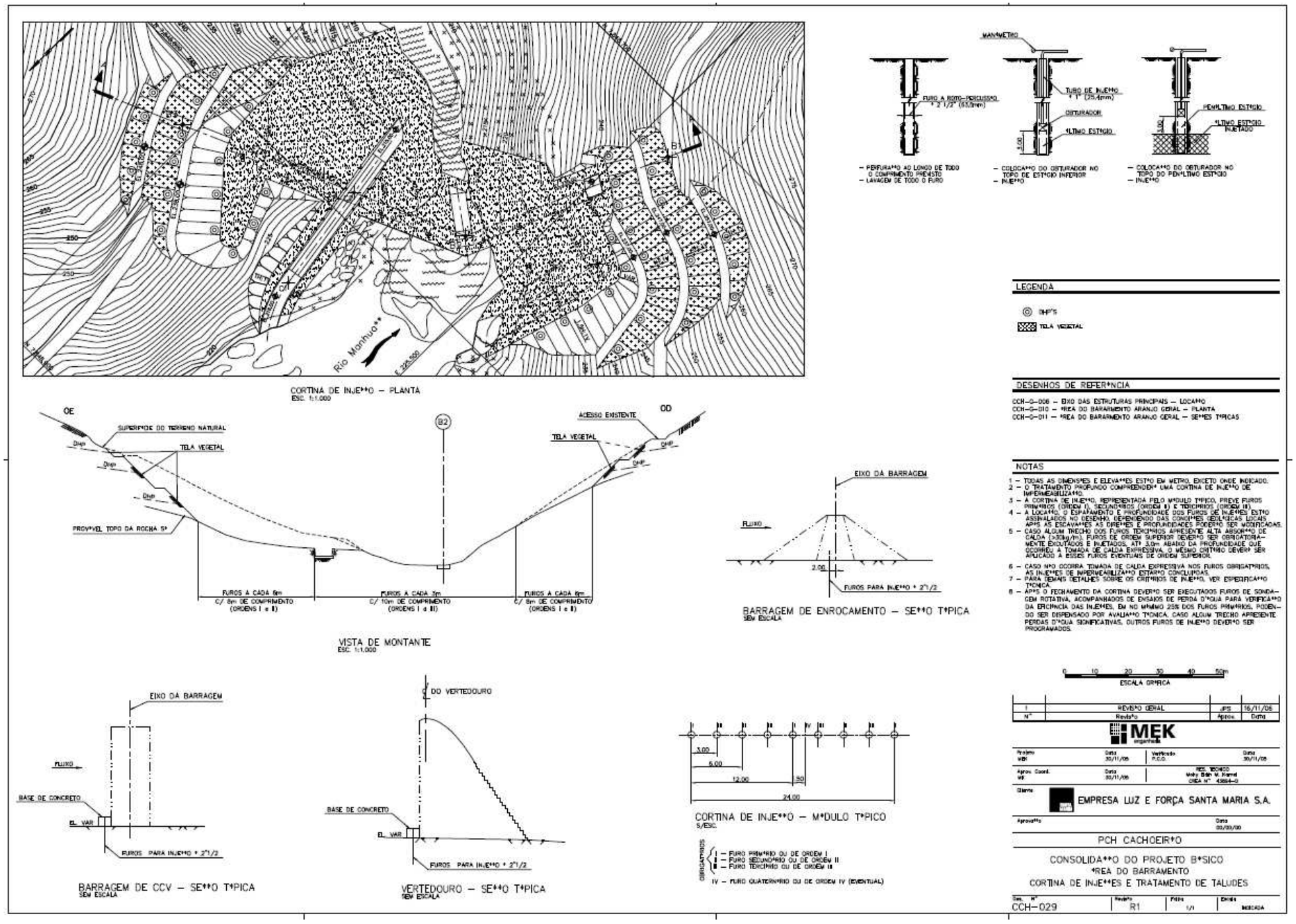


Figura 6.4 - CCH-029 - ÁREA DO BARRAMENTO - CORTINA DE INJEÇÕES

Na margem esquerda, o pacote de menos de dois metros de espessura de rocha alterada/ fraturada, sob a barragem de terra, deverá ser removido, em vez de tratado, no intuito de prevenção de um eventual fluxo de água de montante (do reservatório) para jusante, por esse material.

No canal de desvio, ainda na margem esquerda, o material composto por rocha alterada/ fraturada será removido, ficando todo o canal em rocha sã, mas com eventuais juntas de alívio nas paredes. A ocorrência dessas juntas acarretou a previsão da necessidade de lançamento de concreto projetado, ao longo da faixa de domínio da feição, no intuito de proteção contra erosão e infiltração de água para a área ensecada.

Os taludes permanentes em solo devem ser protegidos com tela vegetal e drenos horizontais profundos (DHPs). Já nos taludes permanentes em rocha alterada/fraturada devem ser aplicados concreto projetado e chumbadores. Na área do reservatório, os taludes tratados são apenas aqueles situados acima do N.A. máximo do reservatório. O trecho correspondente à zona de oscilação do N.A. do reservatório será protegido com uma camada de enrocamento, sobreposta ao material de transição.

Nos taludes de escavação do espelho de rocha sã, ao redor da casa de força, estão previstas como formas de tratamento chumbadores e drenos, devido à presença de descontinuidades importantes.

A maior parte das escavações na região da Casa de Força será conduzida abaixo do lençol freático, de acordo com os dados extraídos das sondagens. Para tal, as escavações comuns serão executadas com cuidados especiais, inclusive com drenagens nos taludes, buscando garantir a integridade e segurança dos mesmos. Haverá, portanto, a necessidade do uso de bombas de recalque para o esgotamento de água no interior das escavações.

No túnel de adução os tratamentos recomendados estão de acordo com cada classe de rocha prevista.

Todas as escavações a céu aberto e em subterrâneo deverão ser acompanhadas por geólogo experiente, no intuito de garantir um mapeamento geológico-estrutural e de, junto com os engenheiros de campo, determinar e aplicar as devidas formas de tratamento.
Ressalta-se que, tanto a definição aqui proposta, quanto a classificação de maciço por ocasião da escavação, dependem diretamente da experiência do profissional envolvido, assim como da sua interpretação.

Os tratamentos preconizados para a implantação das diversas estruturas do empreendimento prevalecem sobre aqueles apresentados nos desenhos de Projeto Básico. As mudanças no quantitativo dos tratamentos (porcentagem de cada classe) só serão avaliadas como alteração dos limites estabelecidos quando ocorrerem Mudanças nas Condições Geológicas.

A geometria da escavação deverá ser ajustada em função de um novo posicionamento do topo de rocha sã, assim como a definição final dos tratamentos geológicos e seus limites laterais serão feitos baseados nos mapeamentos das superfícies escavadas, durante as escavações.

6.7. ESCLARECIMENTOS E ACORDO DE ENTENDIMENTO

Estes esclarecimentos e acordo de entendimento foram elaborados em várias reuniões entre os empreendedores e o Consórcio Construtor.

6.7.1. Critério Geral

Conforme discutido nas reuniões, de modo geral as divergências entre as quantidades previstas e as executadas durante a obra provém de duas situações distintas:

- Erro na previsão de quantitativos durante a formulação do orçamento;

- Ocorrência de mudanças nas condições geológicas previstas no projeto básico.

Ficou definido e acordado pelas partes envolvidas que as eventuais alterações de quantidades provenientes do primeiro item (erro na avaliação de quantidades) seriam de responsabilidade do CONSÓRCIO CONSTRUTOR, não sendo cabível nenhum pleito de preços adicionais, preservando o espírito de uma contratação por preço global.

Ficou igualmente definido e acordado pelas partes estar sujeitas a adicionais de preços das obras civis, as alterações de quantidade referentes ao segundo item (mudanças das condições geológicas), que serão objeto de procedimentos para acertos específicos entre o CONSÓRCIO CONTRUTOR e o EMPREENDEDOR, após avaliação e anuência do EMPREENDEDOR, sem comprometimento do prazo para a execução.

Com a finalidade de minimizar dificuldades de entendimentos nos acertos feitos, a seguir estão expostos os entendimentos discutidos para as várias possibilidades de riscos geológicos durante as obras civis da PCH Cachoeirão.

6.7.2. Escavações em Rocha a Céu Aberto

As escavações em rocha a céu aberto precisam ser executadas com competência para que não ocorram sobre-escavações (*overbreak*) decorrentes da aplicação de métodos inadequados, que, por conseqüência, resultam ainda num aumento do volume previsto de concreto. Nesse sentido, fica estabelecida a responsabilidade do CONSÓRCIO CONTRUTOR nas escavações quanto à aplicação de um plano de fogo coerente com as condições geológicas locais previstas no projeto básico, ou seja, será sua responsabilidade corrigir ou assumir todas as conseqüências provocadas por técnicas ou métodos inadequados de escavação. O EMPREENDEDOR poderá solicitar e/ou consultar os planos de fogo que estiverem sendo utilizados para avaliar a adequação do mesmo.

Por outro lado, caso a geometria de escavação seja modificada por feições geológicas não previstas no projeto básico, impossíveis de serem previstas com os dados geológicos disponíveis, será de responsabilidade do EMPREENDEDOR o ressarcimento dos custos decorrentes dos serviços adicionais.

6.7.3. Tratamentos de Fundação

Os tratamentos de fundações das estruturas de concreto, em especial da barragem de concreto, consistem basicamente de uma cortina de injeções na fundação rochosa da barragem, conforme a Figura 6.4, que define os fatores geométricos da perfuração e injeção de calda de cimento.

Os riscos geológicos referentes à cortina de injeção foram definidos da seguinte forma:

- Sem evidências de mudanças nas condições geológicas da fundação da barragem: o CONSÓRCIO CONTRUTOR assumirá a responsabilidade dos quantitativos de perfuração e absorção de calda de cimento;
- Com evidências de mudanças nas condições geológicas da fundação da barragem: o EMPREENDEDOR assumirá a responsabilidade pelo excedente de quantidades de perfuração e absorção da calda de cimento.

Essas mudanças geológicas representam falhas e/ou feições geológicas, não previstas nas sondagens, que provoquem excessivas absorções de calda. Não serão consideradas mudanças nas condições geológicas às juntas de alívio, sub-horizontais, identificadas pelas sondagens e mencionadas no Relatório de Riscos Geológicos. À parte das juntas de alívio, o maciço de fundação apresenta-se são, coerente, pouco fraturado e com baixa condutividade hidráulica.

6.7.4. Tratamentos no Túnel

Os tratamentos nas paredes do túnel de adução foram definidos no orçamento segundo as prescrições apresentadas na figura 6.5, onde são apresentados os trechos previstos

para cada classe de tratamento prevista (Classes I, II, III e IV) e as demais recomendações quanto aos tratamentos nos emboques do túnel.

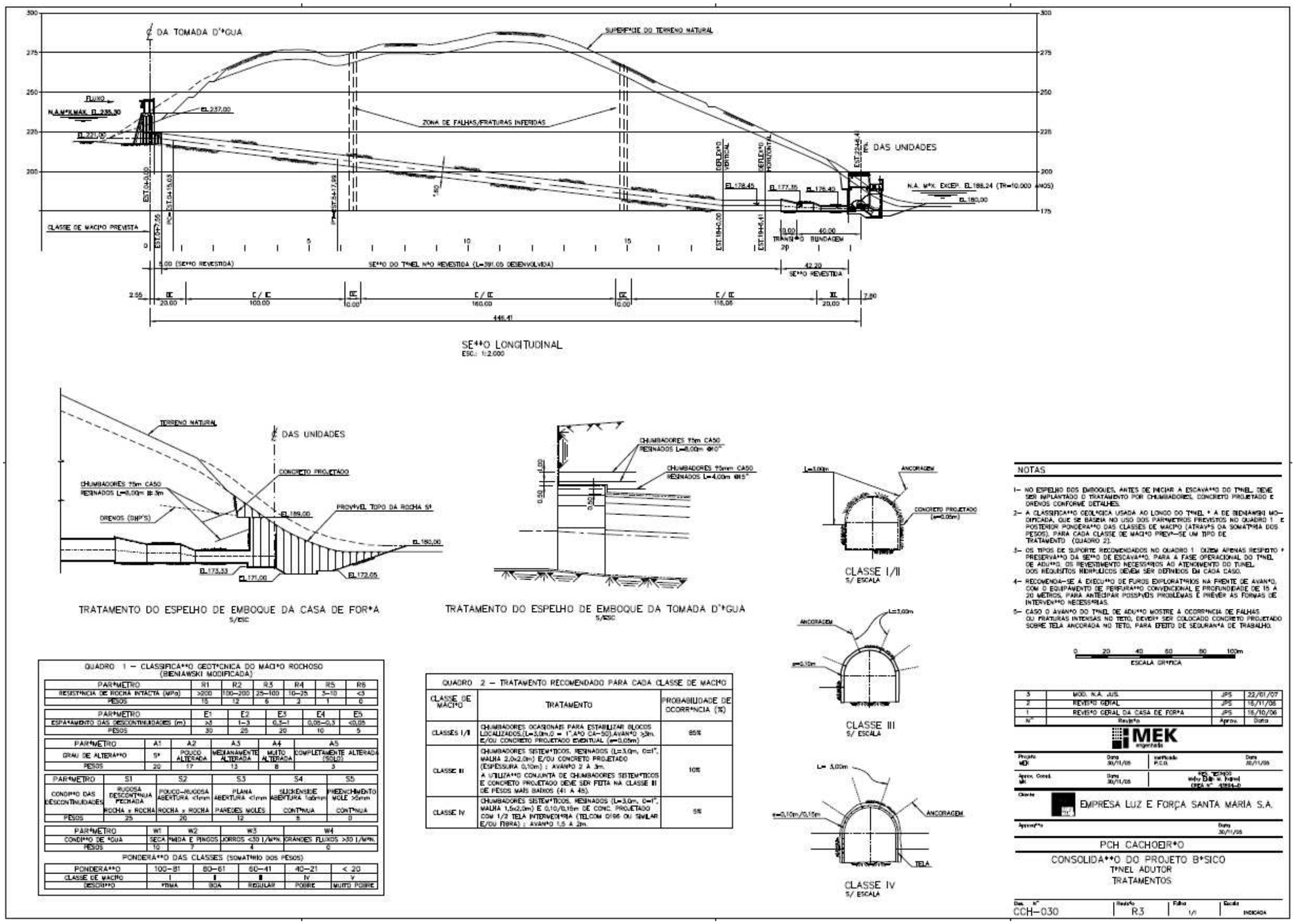
Ficou estabelecido, corroborando a descrição do Relatório de Riscos Geológicos, que estes percentuais previstos de tratamento ao longo do túnel representam a responsabilidade do CONSÓRCIO CONTRUTOR, tendo sido prevista no orçamento das obras civis. Os quantitativos de tratamento que extrapolem essas quantidades previstas, por uma mudança nas condições geológicas do maciço, para cada classe de tratamento serão de responsabilidade do EMPREENDEDOR e qualificarão o CONSÓRCIO CONTRUTOR para pleitear ressarcimento dos valores adicionais correspondentes.

O mapeamento do túnel deve ser realizado como parte do ciclo de escavação e a definição dos tratamentos baseada na classificação do maciço realizada antes da aplicação dos mesmos. Caso ocorram diferenças nos quantitativos de tratamentos, entre o previsto e o realizado, o mapeamento geológico das paredes do túnel servirá de atestado para tais justificativas.

6.7.5. Tratamentos de Taludes

Os tratamentos das superfícies de taludes resultantes das escavações de solo ou rocha devem ser executados conforme os tipos definidos no Relatório de Risco Geológico, para cada estrutura.

Para os taludes naturais não foi previsto nenhum tipo de tratamento e caso seja necessária uma intervenção para estabilização dos mesmos, estes serviços serão objeto de acertos específicos que serão encaminhados pelo CONSÓRCIO CONTRUTOR para o EMPREENDEDOR. Neste caso também se incluem todos os taludes naturais na área do reservatório, acima ou não do nível do NA, bem como o trecho referente à zona de oscilação do referido NA.



QUADRO 1 – CLASSIFICA**O GEOT*CNICA DO MACI*O ROCHOSO (BIENIAWSKI MODIFICADA)

PAR*METRO	R1	R2	R3	R4	R5	R6
RESIST*NCIA DE ROCHA INTACTA (MPa)	>200	100–200	25–100	10–25	3–10	<3
PESOS	15	12	6	2	1	0

PAR*METRO	E1	E2	E3	E4	E5
ESPA*AMENTO DAS DESCONTINUIDADES (m)	>3	1–3	0,3–1	0,05–0,3	<0,05
PESOS	30	25	20	10	5

PAR*METRO	A1	A2	A3	A4	A5
GRAU DE ALTERA**O	S*	POUCO ALTERADA	MEDIANAMENTE ALTERADA	MUITO ALTERADA	COMPLETAMENTE ALTERADA (SOLO)
PESOS	20	17	13	8	3

PAR*METRO	S1	S2	S3	S4	S5
CONDI**O DAS DESCONTINUIDADES	RUGOSA DESCONT*NUA FECHADA ROCHA x ROCHA	POUCO-RUGOSA ABERTURA <1mm ROCHA x ROCHA	PLANA ABERTURA <1mm PAREDES MOLES	SLICKENSIDE ABERTURA 1-5mm CONT*NUA	PREENCHIMENTO MOLE >5mm CONT*NUA
PESOS	25	20	12	5	0

PAR*METRO	W1	W2	W3	W4
CONDI**O DE *GUA	SECA	M*DIA E PINGOS	JORROS <30 l/M*N.	GRANDES FLUXOS >30 l/M*N.
PESOS	10	7	4	0

PONDERA**O DAS CLASSES (SOMA*RIO DOS PESOS)

PONDERA**O	100–81	80–61	60–41	40–21	< 20
CLASSE DE MACIO	I	II	III	IV	V
DESCRI**O	*TIMA	BOA	REGULAR	POBRE	MUITO POBRE

QUADRO 2 – TRATAMENTO RECOMENDADO PARA CADA CLASSE DE MACI*O		
CLASSE DE MACI*O	TRATAMENTO	PROBABILIDADE DE OCORR*NCIA (%)
CLASSES I/II	CHUMBADORES OCASIONAIS PARA ESTABILIZAR BLOCOS LOCALIZADOS.(L=3,0m,Ø = 1",ANO C4-50),AVAN*O >3m. E/OU CONCRETO PROJETADO EVENTUAL (e=0,05m)	85%
CLASSE III	CHUMBADORES SISTEM*TICOS, RESINADOS (L=3,0m, Ø=1", MALHA 2,0x2,0m) E/OU CONCRETO PROJETADO (ESPESSURA 0,10m) ; AVAN*O 2 A 3m. A UTILIZA**O CONJUNTA DE CHUMBADORES SISTEM*TICOS E CONCRETO PROJETADO DEVE SER FEITA NA CLASSE III DE PESOS MAIS BAIXOS (41 A 45).	10%
CLASSE IV	CHUMBADORES SISTEM*TICOS, RESINADOS (L=3,0m, Ø=1", MALHA 1,5x2,0m) E 0,10/0,15m DE CONC. PROJETADO COM 1/2 TELA INTERVEDI*RIA (TELCOM D196 OU SIMILAR E/OU FIBRA) ; AVAN*O 1,5 A 2m.	5%

Figura 6.5 - CCH-030 - TÚNEL ADUTOR – TRATAMENTOS

6.7.6. Mapeamento Geológico, Classificação de Maciço e Definição de Tratamentos

O mapeamento é fundamental para a avaliação de todas as questões em torno das mudanças nas condições geológicas.

Devem ser definidos os critérios de mapeamento geológico, de classificação de maciço e de definição dos tratamentos, a serem utilizados no túnel e nas demais superfícies escavadas, evitando que, uma vez tratada a superfície pelos critérios de segurança, o mapeamento torne-se impossível. O mapeamento e os tratamentos devem ocorrer como parte do ciclo de escavação, evitando a dificuldade de acesso pelo avanço dos trabalhos.

6.8. REFERÊNCIAS

O caderno do Projeto Básico de Referência apresenta os desenhos das escavações das estruturas, com as cotas das fundações das estruturas definidas, entre outros. A planilha das quantidades dos serviços, junto com os desenhos, mostra os tratamentos das fundações e dos taludes previstos.

CAPÍTULO 7 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo busca-se analisar e discutir os principais fatores relacionados aos projetos de PCH, aos tipos de contrato e a responsabilidade assumidas quanto aos riscos geológicos, salientando o que deve ser avaliado e esclarecido antes destas definições.

Estas decisões deverão ser tomadas com base no tipo, qualidade e grau de desenvolvimento e otimização do projeto, no nível de investigação e de certeza do modelo geológico definido, grau de conhecimento e capacidade de acompanhamento técnico do empreendedor, experiência e qualificação do construtor.

Verifica-se ainda a eficácia do modelo adotado para a PCH Cachoeirão, através da análise do relatório elaborado e da eficiência do mesmo na implantação do projeto.

7.2. ANÁLISE GERAL

7.2.1. Tipo de Contrato e Responsabilidade pelo Risco Geológico

A definição do tipo de contrato traz várias conseqüências em termos de responsabilidades pelos riscos geológicos. O tipo mais comum, e talvez mais discutido, o contrato EPC, onde todo o risco é imputado ao contratado, vem sendo muito criticado e em muitos casos, substituído pelos contratos com risco compartilhado. No Programa Minas PCH, vários formatos foram adotados, porém todos com certo nível de compartilhamento.

Na PCH Cachoeirão o compartilhamento é limitado pelo modelo geológico definido no relatório, que é integrante do contrato e foco deste trabalho. Outros contratos definiram áreas do projeto onde os riscos são assumidos pelo contratado e áreas onde o risco é compartilhado, com base nas definições do projeto básico e contratos nos quais todo o risco é assumido pelo empreendedor. A definição do melhor formato depende das condições locais, do tipo de estruturas presentes no projeto, do grau de investigação e de

conhecimento da área e do limite de risco que o empreendedor e o construtor estão dispostos a assumir. Para cada caso um tipo de compartilhamento é mais adequado, devendo a avaliação ser criteriosa e realizada por profissionais das diversas áreas envolvidas (geologia, financeiro, contratos, etc.).

7.2.2. Alterações no Projeto

Um fato comum nos projetos de PCH é a alteração do projeto durante ou mesmo após a contratação, devido à falta de investimento nas etapas iniciais do projeto, tanto em investigações como no desenvolvimento e otimização do projeto. Com isto, muitas vezes o arranjo que está sendo contratado não conta com nenhuma investigação, ou apenas com aquelas que forem em regiões coincidentes com a dos arranjos anteriormente estudados. Muitas vezes o volume de investigações é grande, porém estas não correspondem aos locais de interesse do projeto. Este fato foi observado em vários empreendimentos avaliados no Programa Minas PCH.

7.2.3. Adequação do Local do Projeto e Soluções Inovadoras

Outro fator de extrema relevância, não só no caso de PCHs como também das grandes usinas é a escassez de locais de implantação de arranjos simples. Cada vez mais é necessário o aproveitamento de locais com soluções complexas, com longos túneis e estruturas principais subterrâneas, escavações subterrâneas em solo, aproveitamento de regiões com falhas geológicas e outras estruturas desfavoráveis. Tem-se aplicado ainda soluções inovadoras, tais como diques de proteção de cidades, rodovias e ferrovias, bombeamentos permanentes, estruturas não fundadas em rochas, reservatórios subterrâneos, transposições de águas, entre outros.

Estas soluções são viáveis, mas exigem uma avaliação muito criteriosa e estudos mais detalhados e onerosos. Neste ponto nos depara-se com a questão da qualidade dos estudos e dos projetos e da experiência da equipe envolvida, para que a avaliação das propostas seja real e não irresponsavelmente otimista, como na maioria dos casos.

A inovação é uma necessidade, mas devem ser respeitadas as questões técnicas e de segurança, com estudos fundamentados e comprovados, que na maioria dos casos exige investimentos significativos, uma equipe qualificada e um número de horas adequado ao estudo.

7.2.4. Impacto Financeiro dos Riscos Geológicos

Devido ao porte e ao orçamento de uma obra de PCH, o impacto provocado pelos imprevistos, qualquer que seja a origem, geológicos, ambientais, de projeto, é muito grande. A maior parte dos problemas geológicos que ocorrem nas obras é corrigido com tratamentos ou alterações de projeto não muito complexas. Obviamente existem alguns imprevistos geológicos que podem até inviabilizar a continuidade da implantação da obra ou mesmo impedir a geração futura, mas são casos extremamente isolados.

O maior problema, em se tratando de PCHs, é que para a viabilização dos projetos, os orçamentos e os prazos são extremamente reduzidos. Deve-se considerar que, normalmente, nos orçamentos o contingenciamento para cobertura de riscos é feito através de um percentual do valor da obra. Logo, os recursos de reserva são bem menores que em uma grande obra.

Quanto ao prazo, observa-se que os imprevistos geológicos normalmente ocorrem no início da implantação do projeto. Nas grandes obras, com prazos de implantação da ordem de três a quatro anos, existe um tempo para se recuperar o atraso provocado pelo imprevisto, com adequações de cronograma. Já nas PCHs, além dos prazos serem normalmente de um ano, no máximo dois, a maioria dos sistemas de desvio não suportam os períodos de cheia, sendo que a adequação do cronograma é muito mais complicada e às vezes requer alterações drásticas no projeto, sobretudo no desvio, provocando novos impactos financeiros e de prazo.

7.2.5. Volume Investigado X Análise de Risco

O questionamento sobre o volume investigado para cada arranjo estudado das pequenas centrais é constante. Não é possível se imaginar a realização de um modelo geológico confiável sem as informações necessárias. As etapas iniciais de análise regional e mapeamento de superfície são muitas vezes negligenciadas e/ou realizadas para cumprir as formalidades exigidas para a elaboração de Projetos Básicos, conforme os manuais da Eletrobrás.

Quanto às investigações diretas, é normal que os empreendedores não queiram investir muito antes da viabilização do negócio, portanto postergam ao máximo a execução das mesmas, muitas vezes chegando a realizar cotações para a obra sem nenhuma investigação realizadas ou com volumes muito pequenos.

Quanto às investigações indiretas, seja por preconceito ou por desconhecimento, ainda é muito pequeno o número de projetos que contam com esta útil ferramenta, principalmente considerando o tipo de informação espacial (bidimensional) que ela pode fornecer, a facilidade de execução de investigações em locais de difícil acesso às sondas e o prazo curto de execução das mesmas. No caso do Projeto Minas PCH apenas um projeto (PCH Unaí Baixo) constava com investigações geofísicas.

7.2.6. Mapeamento, Classificação Geomecânica e Definição dos Tratamentos

Independentemente do tipo de contrato e das definições de responsabilidade sobre o risco, o mapeamento, a classificação geomecânica e a defnição dos tratamentos com base nestes, todos realizados com muito critério, são absolutamente necessários. Apesar disto, tem sido difícil a inclusão deste serviço no escopo das equipes de campo, tanto do construtor quanto do empreendedor.

Nas PCHs, geralmente, nem a equipe do construtor nem a do empreendedor conta com um geólogo constante na obra, ficando este acompanhamento delegado a um técnico. Em alguns casos nem mesmo este é fixo na obra, sendo o trabalho de mapeamento,

classificação e tratamento realizado em visitas periódicas destes profissionais e, neste caso, a resposta a uma situação de risco pode ser impossível, seja pela não detecção ou pela capacidade técnica de fornecer uma resposta adequada, ou dependerá do tempo de mobilização dos profissionais, que pode ser influenciada pela disponibilidade, distância da obra, logística de transporte, comunicação e outros.

No caso da PCH Cachoeirão, não existe geólogo permanente na obra, mas a equipe conta com técnicos experientes e as visitas dos geólogos são, no mínimo, mensais. Nos documentos do contrato, sobretudo nas Especificações Técnicas dos serviços de escavação, é definido que todo o serviço de mapeamento, classificação e tratamento deve ser concomitante com a execução da escavação e que qualquer alteração nas condições previamente acordadas no modelo geológico definido devem ser comunicadas imediatamente para a mobilização da equipe de técnicos responsáveis por uma avaliação conjunta do empreendedor e do construtor, através da equipe da empresa responsável pelo Projeto Executivo da PCH.

7.2.7. Equipes do Projeto e da Obra

Um fator diretamente influenciado pela opção de tipo de contrato e de compartilhamento de riscos é o dimensionamento das equipes de campo e de projeto. Quando o risco é assumido pelo Consórcio Construtor, as exigências em termos de acompanhamento e controle do executado por parte do empreendedor são reduzidas, ao passo que no risco compartilhado o controle da execução precisa ser constante e detalhado, para que as condições da ocorrência do imprevisto possam ser claramente definidas e as responsabilidades imputadas, dentro dos termos do contrato.

A experiência e a qualificação da equipe do construtor é fundamental para que se possa adequar as práticas na obra às condições locais, principalmente com relação aos desmontes, para antecipar e remediar condições inseguras e mitigar a situação após algum imprevisto, o mais breve possível.

Já para a equipe do empreendedor dois aspectos principalmente devem ser observados: o grau de conhecimento e a capacidade de acompanhamento técnico do projeto e da obra. Este fato se deve principalmente a abertura do mercado para pequenos produtores e para investidores, reduzindo a participação das concessionárias e grandes empresas, que possuem experiência adquirida ao longo de décadas, no mercado de produção de energia. Com esta abertura, muitas pessoas que não tem o conhecimento teórico e prático da elaboração e implantação de projetos de geração de energia entraram no mercado, reduzindo assim o rigor da elaboração, praticado pelos empreendedores tradicionais, fragilizando o controle da implantação dos projetos e abrindo brechas perigosas em termos de segurança. Este fato pode ser comprovado pelo número de acidentes que vem ocorrendo e pela quantidade de projetos abandonados, parados ou com enormes prejuízos.

A consultoria ou acompanhamento de empresas gabaritadas no processo de implantação de projetos de geração de energia é fundamental para os investidores que não estão acostumados ao processo, sendo este um dos focos do Programa Minas PCH, disponibilizar para os parceiros a experiência da Cemig, reduzindo os riscos do negócio.

7.3. ANÁLISE DO RELATÓRIO TÉCNICO DE RISCO GEOLÓGICO DA PCH CACHOEIRÃO

A maior dificuldade encontrada para a elaboração do Relatório de Risco Geológico-Geotécnico foi a insuficiência de dados básicos. Na elaboração foram utilizadas as informações do Projeto Básico, com as limitações do mesmo, não tendo sido geradas novas informações específicas para o relatório. O ideal seria a complementações dos dados, de modo a esclarecer os pontos onde não havia definição clara ou acordo entre as partes. Apesar da utilização dos dados já descritos e utilizados para a elaboração dos desenhos do Projeto Básico, a elaboração do relatório se justifica pela discussão mais profunda dos dados, pelo exercício de consolidação dos modelos, pela explicitação dos pontos obscuros, pela formulação de hipóteses sobre estes pontos, e pelo detalhamento dos tratamentos e soluções possíveis. Além disso, a interação entre as partes envolvidas no contrato, previamente a assinatura do mesmo, foi muito proveitosa.

A elaboração deste primeiro relatório foi mais difícil pela falta de referência e experiência, sendo que alguns pontos ficaram faltando. O relatório foi focado nas estruturas principais, sendo que a primeira dúvida ocorrida na implantação, que deveria ter sido resolvida com base no relatório, a fundação do canal de fuga não foi contemplada no relatório. É necessária a criação de um banco de dados sobre as experiências com esta metodologia e/ou a elaboração de um modelo básico para evitar que o mesmo fique incompleto ou inconsistente.

Das análises, observações e ressalvas feitas sobre o relatório, as principais foram:

- Poucas informações geológicas consistentes e muitas delas não coincidentes com os locais da estruturas;
- O relatório é qualitativo e subjetivo, contando com poucas quantificações;
- Há algumas incompatibilidades entre os tratamentos preconizados no Projeto Básico e no relatório, principalmente provocados pelo detalhamento e adoção de novas alternativas, sendo que o Projeto Básico não foi revisado após a consolidação do relatório;
- No relatório busca-se uma definição muito precisa da geometria da escavação mas admite-se que ela deverá variar com a definição real da posição do topo rochoso, dando uma falsa impressão de inconsistência, uma vez que a definição precisa só é possível após a escavação;
- A falta de um modelo hidrogeológico definido dificultou a consolidação das previsões de tratamento da fundação da barragem;
- Seria necessária uma definição mais clara dos critérios utilizados para a definição e a quantificação mais detalhadas dos tratamentos a serem executados, facilitando a orçamento dos mesmos.

7.3.1. Consolidação do Modelo

A consolidação do modelo geológico para a PCH Cachoeirão foi uma etapa trabalhosa e demorada, que envolveu uma grande equipe, com participação da Cemig, da parceira empreendedora, das empresas projetistas dos Projetos Básico e Executivo, da

construtora e da diretoria do consórcio construtor, em uma série de reuniões prévias a assinatura do contrato, onde estavam presentes geólogos e engenheiros das partes interessadas.

No início do processo de licitação o formato deste relatório foi definido como um texto elaborado pela equipe da projetista do Projeto Básico, aprovado pelos empreendedores e aceito e validado pelo Consórcio Construtor. Como o nível de incertezas por parte do consórcio era grande optou-se pela discussão e consolidação do modelo antes da assinatura do contrato.

Foi uma experiência interessante e muito proveitosa, pois normalmente as partes só discutem em detalhes a geologia após a ocorrência de algum imprevisto. Como a discussão é baseada nas poucas informações existentes, com baixo nível de detalhamento, um modelo formulado em conjunto reduz a possibilidade de acusação da outra parte sobre a não previsão de alguma ocorrência e sobre alguma omissão deliberada, pois as partes apresentam suas preocupações e discutem a responsabilidade, mesmo que o fato nem venha a ocorrer. Se nada foi registrado no relatório, isto indica que nenhuma das partes foi capaz de detectar aquela possibilidade. Além disso, quanto maior a equipe, o número de pontos de vista distintos e de profissionais experientes envolvidos na elaboração do modelo, maior será a confiabilidade do mesmo.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES

Após a revisão teórica realizada, a elaboração do relatório técnico de risco geológico, a participação na consolidação do contrato da PCH Cachoeirão e da avaliação preliminar dos fatos ocorridos na obra durante a implantação do projeto, foi possível concluir:

- As definições de risco, imprevisto, imprevisível, surpresa, acidente, incidente geológicos são extremamente confusas e tem interpretações distintas de acordo com a área de aplicação, por exemplo, urbana, mineração, aplicada a obras, etc.;
- É necessária a separação dos fatos não previstos e dos não previsíveis com base nas informações existentes, pois muito do que é computado atualmente com imprevisível não o é de verdade, simplesmente não foi considerado durante a elaboração do projeto e do orçamento do mesmo;
- Dos fatos relatados na bibliografia sobre acidentes geológicos a maior parte está relacionada a feições comuns no contexto geológico em questão;
- O excesso de confiança e otimismo, aliado aos cortes extremos dos custos do projeto e do prazo de elaboração do mesmo tem levado à redução do volume de investigações e à adoção de soluções ousadas e sem as devidas comprovações técnicas da sua adequação e segurança;
- Não foi possível encontrar na bibliografia e nem definir um critério para o volume a ser investigado em um projeto, pois esta definição depende de vários fatores, tais como contexto geológico, tipo de estruturas, porte do empreendimento, entre outros;
- Pode-se observar que a definição do volume a ser investigado no projeto depende mais do conhecimento do empreendedor, quanto mais técnico ele é, maior o volume investigado, da seriedade da empresa projetista e dos problemas geológicos identificados nas diversas fases do estudo;
- Em muitos dos projetos avaliados fica clara a preocupação exclusiva com o topo rochoso, ou seja, uma vez alcançada a rocha, as investigações são interrompidas, não se avaliando a qualidade da mesma e a sua estruturação;
- Outro fato muito observado é a utilização restrita de métodos indiretos, geralmente motivados por preconceito e/ou falta de costume de muitos projetistas, com isso

perde-se a possibilidade de informações espaciais, muito importantes principalmente nos túneis e demais escavações subterrâneas;

- A falta de integração das equipes de decisão (técnica do projeto, da elaboração do contrato, de definição da equipe de campo, da equipe técnica de implantação e da equipe de gestão da implantação) causa a perda de informações sobre definições e acordos, gerando inconsistências e resoluções contraditórias. Neste ponto a elaboração do relatório do modelo resolve este problema;
- A consolidação de um modelo geológico previamente à assinatura do contrato foi muito proveitosa, pela oportunidade de definição de um modelo entre contratante e contratado, antes da ocorrência de qualquer evento, ou seja, sem nenhum interesse financeiro envolvido, fato que muitas vezes impede discussões técnicas após os incidentes;
- A necessidade de consolidação do modelo e do relatório envolveu profissionais com conhecimento técnico na elaboração e consolidação dos termos do contrato relativos a risco geológico, adequando os termos e tornando-os mais práticos;
- A maior dificuldade encontrada para a elaboração do Relatório de Risco Geológico-Geotécnico foi a insuficiência de dados básicos. O ideal seria que houvesse prazo para as devidas complementações e elucidações;
- Apesar da utilização dos dados do Projeto Básico, a elaboração do relatório se justifica pela discussão mais profunda dos dados, pelo exercício de consolidação dos modelos, pela explicitação dos pontos obscuros, pela formulação de hipóteses sobre estes pontos, e pelo detalhamento dos tratamentos e soluções possíveis;
- Apesar das propostas de modelos geológico-geotécnico, geomecânico e hidrogeológico, apenas o primeiro pode ser elaborado devido à ausência de informações que embasasse os outros dois;
- Para possibilitar a aplicação desta metodologia de consolidação de modelo geológico-geotécnico, previsão de tratamentos, definição dos riscos e das responsabilidades sobre eles previamente à assinatura do contrato, conforme adotada para a PCH Cachoeirão, é necessária a definição e consolidação do projeto;
- Nas definições dos seguros a serem contratados são muito consideradas as questões relativas às informações geológicas e ao grau de conhecimento do local. A definição

do modelo confere transparência e maior tranqüilidade para a contratação destes, reduzindo os custos.

Visando trabalhos futuros, seguem algumas sugestões de temas correlacionados a este estudo:

- Busca de critérios claros para definição de volume de investigações em projetos para minimização de riscos;
- Comparativo de projetos implantados utilizando diferentes modelos contratuais e tipos de compartilhamento de riscos geológicos;
- Relatos consistentes de previstos X realizado em obras concluídas, com quantificação dos prejuízos;
- Comparativos entre os custos de realização de investigações nos pontos de dúvida dos projetos e acidentes ocorridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL Resolução 394/98, de 04 de dezembro de 1998.

ANEEL Resolução 652/03, de 09 de dezembro de 2003.

ALMEIDA, J.H. 2006. Caracterização e avaliação de imprevistos geológicos em obras de pequenas centrais hidrelétricas (PCH's). Dissertação de Mestrado, UFOP, Ouro Preto.

BRITO, S. N. A. 1998. Imprevistos Geológicos em Túneis de Empreitada por Preço Global ("Turn-Key"), I Simpósio Brasileiro de Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Poços de Caldas, p.339-345.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. 1998. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S. e BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo, 1998, p. 301-310.

CHOW, C. K. R.; CERRI, L.E.S. 2005. Análise de Riscos Geológicos em Dutovias. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Florianópolis.

DNAEE/ELETROBRÁS. 1982. Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Inventários – Estudos – Projetos, Brasília.

ELETROBRÁS. 2000. Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas. Brasília: Eletrobrás. Disponível em http://www.eletrobras.com.br. Acesso em 10/10/2006.

JACOB, V. 2002. Modalidades de Contratos para execução de Pequenas Centrais Hidrelétricas – III Simpósio Brasileiro de Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas – Foz do Iguaçu, p.261 – 265.

MARQUES FILHO e GERALDO. 1998. Barragens e Reservatórios. In: oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A.. Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.

MATOS, A. C.; PINTO, P.L. 2004. Course on Geotechnical Risk in Rock Tunnels. Disponível em <http://www.dec.uc.pt/georisk2004>. Acesso em 23/05/2006.

NIEBLE, C.M. 2004. O Imprevisível e o Imprevisto me Obras de Engenharia, Palestra (19/08/2004) – São Paulo. Informações disponíveis em <http://www.abge.com.br/BOLETIM2/palestra_imprevistos.htm>. Acesso em 23/05/2006.

PITTA, A. S.; INFANTI JÚNIOR, N.; PITTA, D. M.; OLIVEIRA, H. M.; SIMON, M. F. 2005. A Influência de Fatores Imprevisíveis às Ciências da Engenharia e Geologia nas Obras de Infra-estrutura Viária. 10º ENACOR. Joinville.

POISEL, R. 1990. The Dualism Discret - Continuum of Jointed Rock, Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Viena.

SAKS, N.C.O.; BORGES, A.O.; SILVA JÚNIOR, E.P.; CABALLERO, M.; DELGADO, P. 200). Riscos devido aos atrasos no cronograma de implantação de uma central hidrelétrica – III Simpósio Brasileiro de Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas – Foz do Iguaçu, pp. 195 – 211.

SANTOS, A. R. 1994. A Metodologia da Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.

SIMÕES L.M.F. A Importância da Integração dos Riscos Geológicos no Planejamento, no Ordenamento do território e na proteção do Meio Ambiente: Conceitos e Algumas Idéias. Disponível em <http://www.ipv.pt> consulta em 23/05/2006.

SOUZA, L. A. P., SILVA, R. F., IYOMASA, W. S. 1998. Métodos de Investigação. In: Oliveira, A.M. S. e Brito, S.N. A. Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.

VAZ, L. F. 2006. As Obras Subterrâneas em Aproveitamentos Hidrelétricos. In: COMITÊ BRASILEIRO DE TÚNEIS (CBT). Túneis do Brasil. Editores: Celestino, T.B., Koshima, A., Telles R.C.A e Assis, A., p. 222 – 225.

VILHENA, R.M.; DINIZ, N. C. 2006. Estudos Geológico-Geotécnicos para Projetos Básicos de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH. V Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Florianópolis.

PROJETOS BÁSICOS DOS EMPREENDIMENTOS DO PROGRAMA MINAS PCH

GEOLOGOS CONSULTORES LTDA / ELETRORIVER. 1998. PCH AIURUOCA – PROJETO BÁSICO.

MEK ENGENHARIA E CONSULTORIA / EMPRESA LUZ E FORÇA SANTA MARIA S.A. 2006. PCH CACHOEIRÃO – PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO.

SPEC PLANEJAMENTO, ENGENHARIA, CONSULTORIA LTDA / HP2. 2001. PCH PIPOCA – PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / BARBOSA MELLO. 2001. PCH DORES DE GUANHÃES. PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / BARBOSA MELLO. 2001. PCH SENHORA DO PORTO. PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / BARBOSA MELLO. 2001. PCH JACARÉ. PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / BARBOSA MELLO. 2001. PCH FORTUNA II. PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / BARBOSA MELLO. 2001. PCH BREJAÚBA. PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / BARBOSA MELLO. 2001. PCH QUIMQUIM. PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / BARBOSA MELLO. 2001. PCH MONJOLO. PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / BARBOSA MELLO. 2001. PCH SUMIDOURO. PROJETO BÁSICO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / ELETRORIVER. 1999. PCH CORRENTE GRANDE – PROJETO BÁSICO OTIMIZADO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / ELETRORIVER. 1999. PCH BARRA DA PACIÊNCIA – PROJETO BÁSICO OTIMIZADO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / ELETRORIVER. 1999. PCH SÃO GONÇALO – PROJETO BÁSICO OTIMIZADO.

PCE PROJETOS E CONSULTORIA DE ENGENHARIA / QUEIROZ GALVÃO. 2001. PCH MUCURI. PROJETO BÁSICO OTIMIZADO.

LARROSA & SANTOS / CONSTRUMIL CONSTRUTORA E TERRAPLENAGEM LTDA. 2004. PCH UNAÍ BAIXO – PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO.

PRONERG EMPREENDIMENTOS ENERGÉTICOS LTDA / CONSITA. 2001. PCH PAIOL – PROJETO BÁSICO.

PRONERG EMPREENDIMENTOS ENERGÉTICOS LTDA / CONSITA. 2001. PCH SANTA CRUZ – PROJETO BÁSICO.

PRONERG EMPREENDIMENTOS ENERGÉTICOS LTDA / CONSITA. 2001. PCH CACHOEIRA GRANDE – PROJETO BÁSICO.