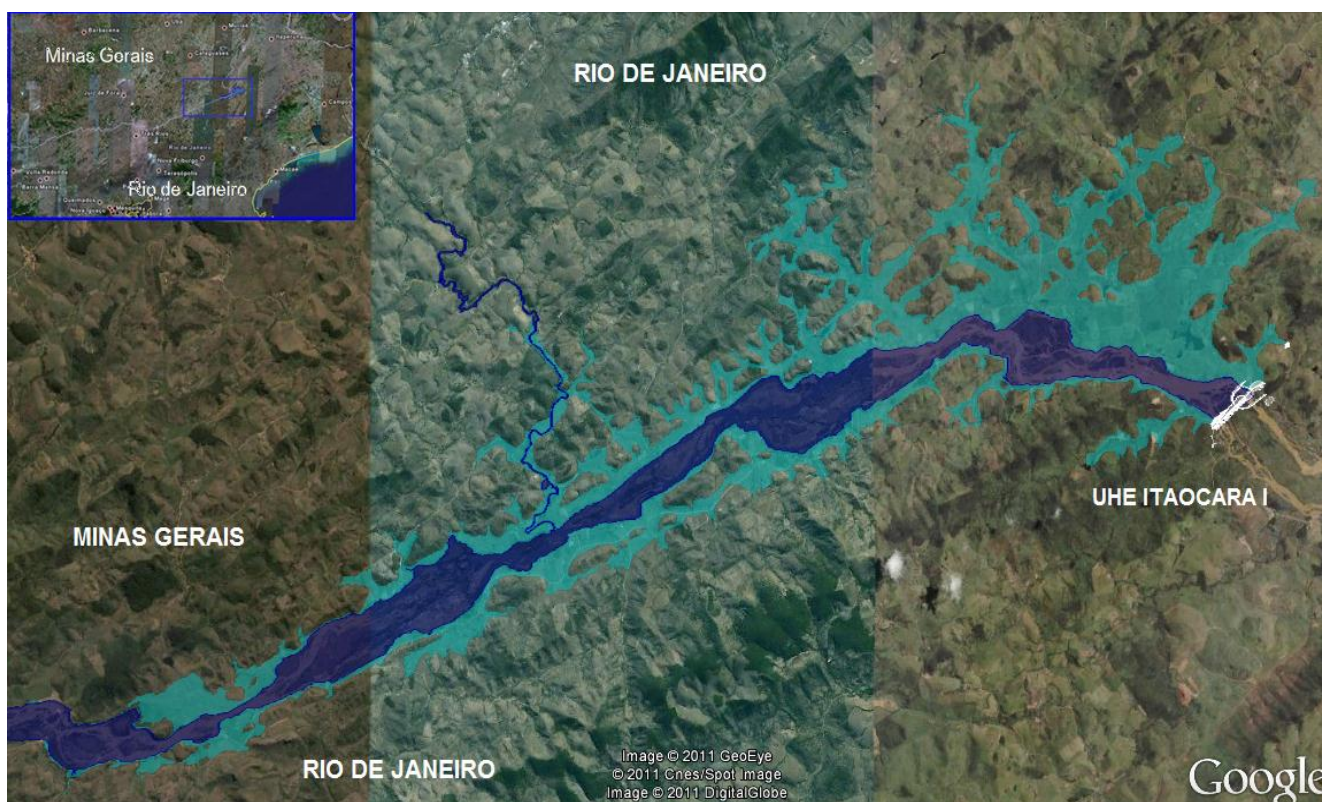


Atendimento às Condições 2.6 e 2.7 da LP nº 428/2011

## ***ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DO EIXO, OMBREIRAS E ÁREAS DE EMPRÉSTIMO DA UHE ITAOCARA I***



Abril/2012

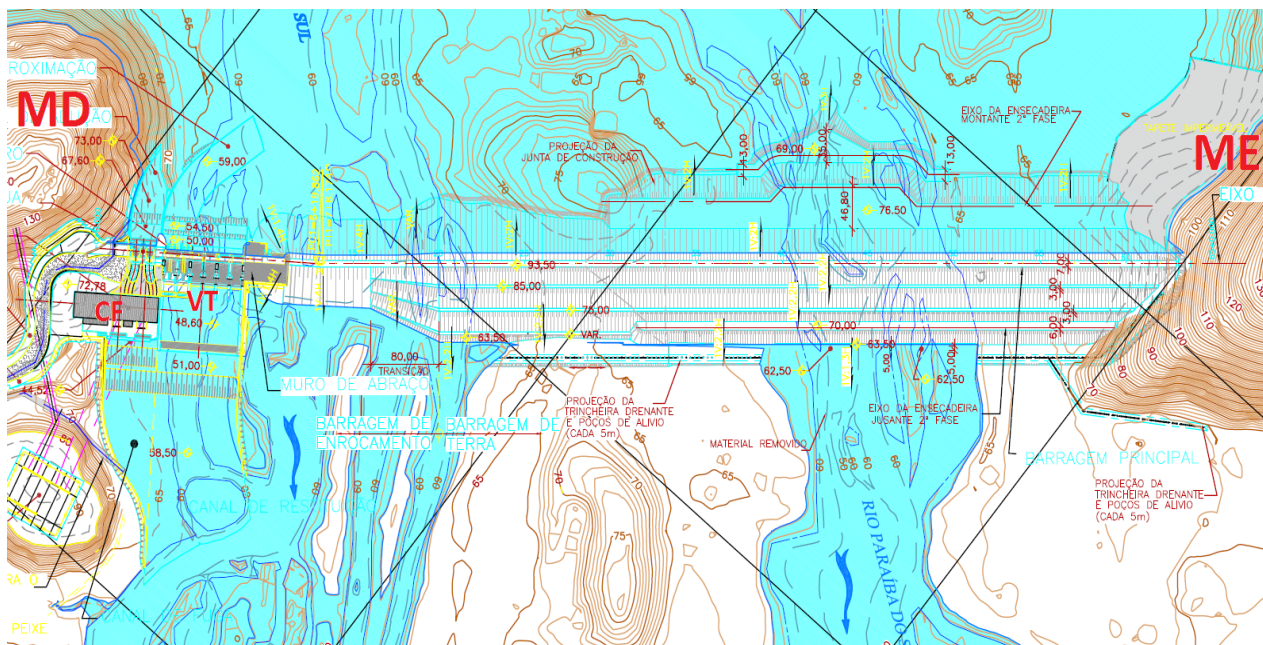
## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	3
OBJETIVO.....	4
1 - PROJETO BÁSICO DA AHE ITAOCARA I - PCE.....	5
1.1 DADOS GEOLÓGICOS EXISTENTES.....	5
1.2 LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS.....	5
1.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS.....	6
1.3.1 Aspectos Gerais.....	6
1.3.2 Geologia local.....	6
1.3.3 Estudos para as escavações e fundações.....	6
1.3.3.1 Considerações Gerais.....	6
1.3.3.2 Ensecadeiras.....	7
1.3.3.3 Barramento.....	7
Ombreira Direita.....	7
Leito do Rio.....	7
Ombreira Esquerda.....	7
1.3.3.4 Dique de Terra.....	8
1.3.3.5 Estrutura de Concreto.....	8
1.3.4 Materiais Naturais de Construção.....	8
1.3.4.1 Solos Finos.....	8
1.3.4.2 Areias.....	9
1.3.4.3 Rochas.....	9
2 - OTIMIZAÇÃO DO PROJETO BÁSICO - SPEC.....	10
2.1 Característica regional.....	10
2.2 Aspectos Geológicos Regionais.....	10
2.3 Geologia Estrutural.....	11
2.4 Geomorfologia.....	11
2.5 Avaliação Geológico-Geotécnica do Aproveitamento.....	12
2.6 Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas.....	14
2.6.1 Sondagens Geomecânicas.....	14
2.6.2 Poços de Inspeção e Amostragem.....	15
2.7 Materiais de Construção.....	15
2.7.1 Área de Empréstimo de Solos.....	15
2.7.2 Jazidas de Areia.....	15
2.7.3 Pedreiras.....	16
2.8 Ensaio de Solos e Materiais de Construção.....	16
2.8.1 Ensaio Existentes.....	16
2.8.2 Ensaio em Solos Complementares.....	16
2.9 Tratamentos Previstos.....	17
3 - SONDAJENS COMPLEMENTARES - MINAS SOLOS.....	18
ANEXO I – Mapas do Projeto Básico - PCE.....	20
ANEXO II – Apêndice B do Projeto Básico – PCE (Estudos Geológicos-geotécnicos).....	21
ANEXO III – Mapas da Otimização do Projeto Básico - SPEC.....	22
ANEXO IV – Relatório de Sondagens Complementares – Minas Solos.....	23



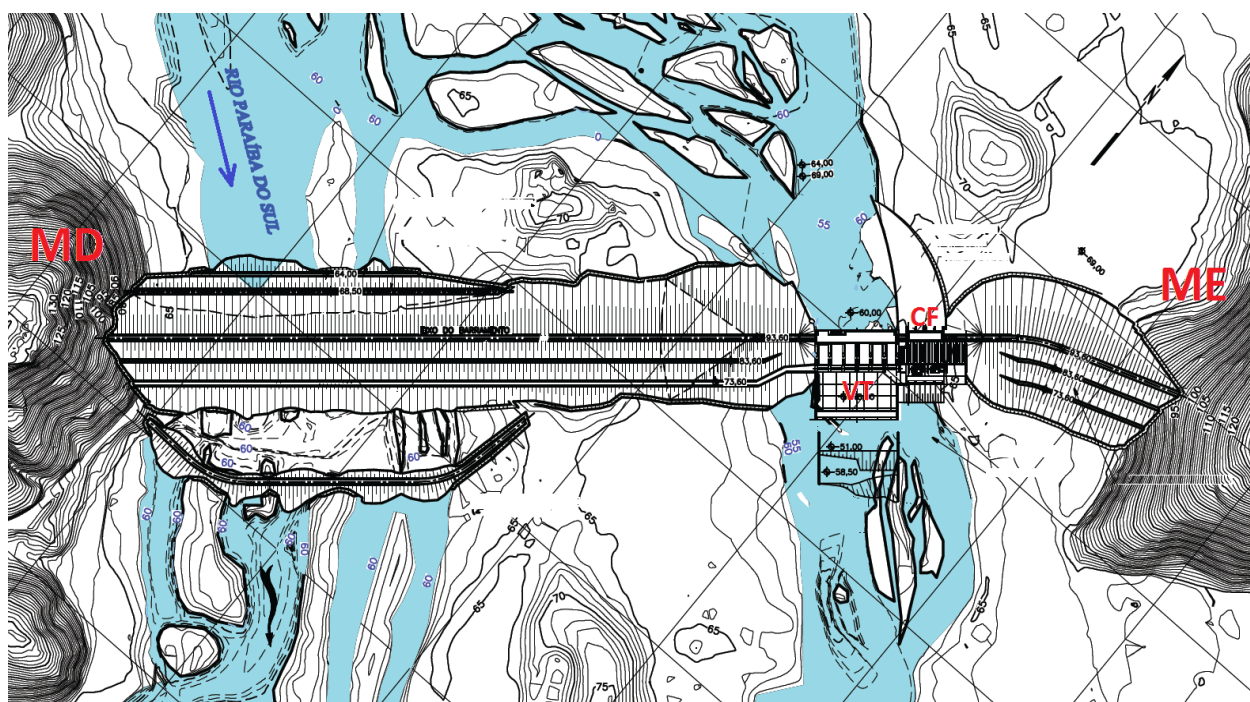
## INTRODUÇÃO

O Projeto Básico da UHE Itaoca I, elaborado entre os anos de 2009 e 2010 pela PCE Projetos e Consultoria de Engenharia, previa que a Casa de Força (CF) e o Vertedouro (VT) fossem construídos na margem direita (leito do rio, município de Itaocara/RJ) do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: PCE modificado

No mesmo ano de 2010, o Consórcio UHE Itaocara, contratou a SPEC Planejamento, Engenharia e Consultoria Ltda. para realizar novos estudos técnicos de otimização que levaram a uma alteração no layout da usina passando tanto a Casa de Força quanto o Vertedouro para a margem esquerda, locada também no leito Rio Paraíba do Sul, porém no município de Aperibé/RJ.



Fonte: SPEC modificado

Na elaboração dos dois layouts o eixo do barramento não foi alterado, porém, como será apresentado neste documento, foram necessárias a realização de sondagens complementares, na região da Casa de Força localizada no leito do rio, em função da mudança da estrutura da MD para a ME.

A secção 1, “Projeto Básico da AHE Itacara I – PCE”, apresenta os estudos geológicos e geotécnicos presente no Projeto Básico.

A secção 2, “Otimização do Projeto Básico - SPEC”, apresenta os estudos geológicos e geotécnicos presente nos estudos de Otimização do Projeto Básico.

A secção 3, “Sondagens Complementares – Minas Solos”, apresenta os estudos geológicos e geotécnicos complementares, na região das estruturas de concreto – Leito do Rio ME, que foram necessários para compor o Projeto Básico, visando assim, a certificação dos estudos técnico e orçamentário.

O Anexo I contém os mapas e desenhos técnicos relativos aos estudos geológico e geotécnicos elaborados pela PCE.

O Anexo II contém o Apêndice B do Projeto Básico elaborado pela PCE. Apresenta o detalhamento dos estudos geológicos-geotécnicos.

O Anexo III contém os mapas e desenhos técnicos relativos aos estudos geológicos e geotécnicos elaborados pela SPEC.

O Anexo IV contém todo estudo de sondagens complementares realizado na região da Casa de Força pela Minas Solos, após a otimização do Projeto Básico.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste documento é apresentar ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA os estudos geológicos/geotécnicos do eixo da barragem, áreas de empréstimos e ombreiras da UHE Itacara I em atendimento às seguintes condicionantes da LP nº 428/2011:

*“Cond. 2.6 – Detalhar no Plano Ambiental para Construção as características geológicas/geotécnicas do eixo da barragem e das áreas de empréstimo a partir da realização de sondagens e ensaios geomecânicos de resistência de materiais”;*

*“Cond. 2.7 – Apresentar estudo geotécnico complementar que ateste a segurança da estabilidade do local de instalação das ombreiras”.*

## **1 - PROJETO BÁSICO DA AHE ITACARA I - PCE**

As seções que se seguem, estão consubstanciadas no Projeto Básico da AHE Itacara I elaborado pela PCE Projetos e Consultoria de Engenharia Ltda., e que se encontram protocolados na ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica.

As informações originais podem ser encontradas no Volume I – Texto (PJ0722-B-R00-GR-RL-101-1A) do Projeto Básico datado de abril de 2010.

### **1.1 DADOS GEOLÓGICOS EXISTENTES**

Os dados geológicos existentes foram obtidos dos “Estudos de Viabilidade – UHE Itacara - Relatório Final”, desenvolvido pela Engevix Engenharia S/C Ltda, em 2001 e pelo “Relatório Final das Investigações Geológico Geotécnicas Complementares na Área da Barragem Realizadas no Período de Dezembro de 2001 a Janeiro de 2002 (DCT.T03.003.2002-R0)”, elaborado por Furnas Centrais Elétricas S.A.

### **1.2 LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS**

Para a elaboração dos estudos de caracterização do Projeto Básico foram utilizados os dados dos levantamentos executados nas campanhas de investigações geológico-geotécnicas realizadas pela Engevix para os Estudos de Viabilidade da UHE Itacara em 2001. Os serviços constituíram-se na execução de 15 sondagens rotativas com ensaios de perda d’água em rocha, 5 sondagens mistas com ensaios de infiltração e SPT em solos e de perda d’água em rocha, 20 poços de inspeção e amostragem de solos, no local da barragem e nas áreas de empréstimo. Com 03 amostras de solos foram executados ensaios de laboratório (caracterização e compactação).

Posteriormente Furnas Centrais Elétricas S.A. executou serviços complementares de investigações geológico-geotécnicas de campo. Os serviços constituíram-se na execução de 5 sondagens rotativas, 1 poço de inspeção (incluindo coleta de amostra) e ensaio de perda d’água sob pressão, na área de estudo. Os dados levantados foram apresentados no Relatório Final das Investigações Geológico-Geotécnicas Complementares na Área da Barragem em Janeiro de 2002, sob a forma de perfis, tabelas e fotos.

Após a identificação das amostras por meio de registros sequenciais foram realizadas análises tátil-visuais. Os ensaios de perda d’água foram realizados em apenas um furo de sondagem, localizado na ombreira direita, de acordo com as especificações técnicas do serviço.

Com o desenvolvimento dos estudos, foram realizados ainda caminhamentos/mapeamentos geológicos no local dos estudos, quando afloramentos, cortes de estrada, ravinas naturais, pedrais expostos no leito do rio, barrancas de rio, etc., foram inspecionados e correlacionados aos dados de subsuperfície.

Para o aprofundamento das investigações de campo, na atual fase dos estudos, foram executados sondagens a trado e poços de inspeção com objetivo de coletar amostras deformadas e indeformadas, respectivamente, para realização de ensaios de laboratório.



### 1.3 ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Os textos, a seguir, foram transcritos do Volume I do Projeto Básico da AHE Itacara I e todos os mapas podem ser encontrado no Anexo I.

#### 1.3.1 Aspectos Gerais

A topografia do local do futuro barramento pode ser considerada como acidentada, com encostas que, por vezes, apresentam escarpas rochosas subverticalizadas com desníveis da ordem de 100-110 metros desde o leito do rio (elevação 60-65 m) até o alto das ombreiras (165-170m).

O vale do barramento apresenta fundo chato com largura da ordem dos 1.100 m e encostas com inclinações médias da ordem dos 30° a 45°. O controle geral da drenagem e das elevações mais altas e seus alinhamentos de crista na região é comandado pelo lineamento gnáissico regional de direção NE-SW.

O leito do rio é constituído por um grande numero de ilhas normalmente encobertas por solos aluvionares, sendo que entre essas aparecem corredeiras onde é difícil a navegabilidade.

#### 1.3.2 Geologia local

O maciço rochoso no local das futuras obras está representado por rochas Pré-Cambrianas gnáissicas do Grupo Paraíba do Sul, conforme já descrito na Geologia Regional, no item 3.1 do Apêndice B – Estudos Geológico-Geotécnicos.

No local do barramento a rocha local passou a ser denominada de “Granitóide”, por sua textura característica muito próxima dos granitos. Merece destaque ainda o fato de que dentro da massa rochosa são identificáveis corpos de Xenólitos, por vezes de dimensões consideráveis, da ordem do metro ou maiores.

Detalhamento quanto à estratigrafia, litologia e estruturas geológicas são apresentadas no Anexo II, correspondente ao Apêndice B do Projeto Básico.

#### 1.3.3 Estudos para as escavações e fundações

##### 1.3.3.1 Considerações Gerais

Neste item enfoca-se a caracterização dos materiais “in situ” visando, principalmente, a avaliação do comportamento desses materiais em função das exigências a serem impostas por cada diferente estrutura a ser implantada.

Para a caracterização desses materiais, foram usados, na descrição dos testemunhos de sondagens, os critérios recomendados pela ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia) para a determinação dos diferentes parâmetros, sendo esses utilizados na classificação geotécnica das litologias encontradas.

A avaliação dos parâmetros utilizados dependeu, na maioria dos casos, de critérios subjetivos. Alguns recursos básicos destinados a reduzir tal subjetividade foram seguidos buscando-se atingir uma homogeneidade satisfatória e compatível com a atual fase de estudos.

### 1.3.3.2 Ensecadeiras

O condicionante básico à implantação das ensecadeiras é a presença das aluviões recentes que, em grande parte, deverão exigir a sua remoção da fundação. Onde esses se tornam muito espessos, no entanto, deverão permanecer, exigindo assim a execução de um cut-off até o topo da rocha sã.

### 1.3.3.3 Barramento

#### **Ombreira Direita**

Nessa ombreira esta prevista uma barragem de concreto, de pequenas dimensões, denominada Barragem de Fechamento. Tendo em vista que no local o topo da rocha ocorre à pequena profundidade, cerca de 1-2 metros, essa estrutura deverá ser fundada sobre a rocha sã ou sobre a rocha pouco alterada.

No que se refere aos tratamentos de fundação, o maior grau de fraturamento nos horizontes mais superficiais da rocha, com maiores coeficientes de permeabilidade, conduziram à necessidade de se prever uma cortina de injeções de impermeabilização. Deve-se levar em consideração que esta fundação será bem caracterizada, pois as escavações dos Canais de Adução e Restituição e da Tomada d'Água deverão expor o maciço rochoso.

#### **Leito do Rio**

A implantação da barragem de terra / enrocamento na região do leito do rio deverá encontrar pelo menos três situações distintas, a saber:

- Fundação direta sobre topo rochoso – Em grande parte do leito do rio, a rocha deverá estar aflorante devendo, após limpeza e regularização, receber os materiais do futuro aterro.

Nesse trecho de fundação, o tratamento dependerá dos condicionantes geológico-geotécnicos e contará com uma cortina de injeções de impermeabilização sob o eixo de barramento.

- No braço esquerdo do rio foi identificado um canal, com fundo a cerca de 7,00 m abaixo da elevação média das margens do rio, que poderá conter blocos de rocha de diversas dimensões, o que conduzirá à necessidade de cuidados especiais de forma a garantir uma vedação eficiente.
- Fundação sobre aluviões/solos residuais – Em certos trechos da fundação da barragem de terra, como na passagem por ilhas, as aluviões e eventuais horizontes de alteração de rocha poderão atingir espessuras significativas, da ordem dos 5-8 metros, o que, provavelmente, implicará em remoção superficial dos solos mais fofos (que registraram SPT da ordem dos 3-8 golpes) e tratamento da fundação antes do lançamento do aterro.

Nesse caso, no que se refere a tratamentos, está prevista a implantação de um cut-off no eixo do barramento, que deverá atingir o topo da rocha sã, e sistema de trincheira drenante e poços de alívio a jusante. A partir de camada de concreto de proteção que deverá capear o piso do cut-off, será executada uma cortina de injeções profundas que deverá atingir no mínimo 15 metros de profundidade.

#### **Ombreira Esquerda**

No trecho de fundação da ombreira esquerda, a barragem de terra deverá ser fundada sobre colúvio e/ou solo residual.

As altas permeabilidades, associadas à presença de uma camada de rocha alterada, conduzirão a um tapete impermeável a montante da barragem e a um sistema de trincheira drenante e poços de alívio à jusante.

O tapete impermeável estende-se na ombreira esquerda até a El. 91,00 m e, na sua extremidade situada em cota inferior, está prevista a implantação de um pequeno cut-off, com altura inferior a 5 metros, assente no topo da rocha sã.

#### 1.3.3.4 Dique de Terra

Na ombreira esquerda, cerca de 270 metros a montante do eixo, está prevista a execução de um dique em solo compactado para o fechamento do ponto de fuga do reservatório.

Em termos de tratamento está previsto uma escavação de cerca de 1 metro para fundação do aterro. De modo geral estes solos apresentam valores baixos de permeabilidade, não sendo necessário nenhum tratamento específico.

#### 1.3.3.5 Estrutura de Concreto

Na região das estruturas de concreto, detectou-se junto à margem direita do rio, a presença de um maciço rochoso, do tipo Granitóide, de boa qualidade, normalmente são (A.1 e C.1) e pouco fraturado (F.1). Os trechos fraturados estão ligados a sistemas estruturais subverticalizados que aparecem em faixas normalmente estreitas e alongadas, onde a rocha pode atingir parâmetros de fraturamento F.5.

Em relação ao tipo de tratamento profundo, está prevista uma cortina de injeções a partir da galeria, juntamente com uma cortina de drenagem, ambas com 15 metros de comprimento.

### 1.3.4 Materiais Naturais de Construção

#### 1.3.4.1 Solos Finos

As investigações geológico-geotécnicas identificaram sete áreas de empréstimo próximas ao eixo de barramento, sendo quatro na margem esquerda e três na margem direita. As áreas da margem esquerda apresentam-se com espessura média da ordem de 6 metros, totalizando um volume estimado de 4.300.000 m<sup>3</sup> de material terroso. As áreas de empréstimo da margem direita são menos promissoras e a espessura média está por volta de 5 metros, totalizando aproximadamente 2.300.000 m<sup>3</sup>.

Os solos coluvionares (cor marrom-amarelado) e os residuais de granitóide disponíveis nas áreas citadas (cor avermelhada) possuem, geralmente, características plásticas, pois são constituídos predominantemente de argila, com presença de silte, de areia fina a grossa e pequena porcentagem de pedregulho.

Todas as áreas investigadas constituem a parte superior de morros denominados “meialaranja”, onde a topografia é relativamente suave e o perfil dos solos de intemperismo é mais espesso, com solos residuais maduros bem desenvolvidos. Recobrimo esses horizontes de alteração, ocorrem ainda, com maior ou menor espessura, os solos coluvionares, também adequados para utilização nos aterros compactados da barragem, dique e ensecadeiras.



#### 1.3.4.2 Areias

Depósitos aluvionares arenosos foram identificados no leito, nas ilhas e nas margens do rio Paraíba do Sul.

A jusante do eixo do barramento, jazidas de aluviões arenosas ocorrem na forma de acumulações esparsas desde o fim da Ilha Serena até a localidade de Itaocara. As mais próximas do eixo, localizadas no Areal Serra da Bolívia e apresentadas no desenho PJ0722-B-G04-GR-DE-101 como Jazida de Areia 2, totalizam cerca de 115.000 m<sup>3</sup>.

Da mesma forma, cerca de 800 metros a montante do eixo, ocorre, numa faixa longitudinal ao rio, uma fonte identificada como Jazida de Areia 1, com cerca de 60.000 m<sup>3</sup> de areia quartzosa pouco micácea, bem graduada.

#### 1.3.4.3 Rochas

A rocha proveniente das escavações obrigatórias é constituída do granitóide são ou pouco alterado, material adequado à utilização como agregado de concreto e materiais de transição.

Para a Barragem no leito do rio foi identificada a Pedreira 04 na margem direita, a cerca de 100, metros do eixo do barramento.

## **2 - OTIMIZAÇÃO DO PROJETO BÁSICO - SPEC**

Conforme descrito anteriormente, com as mudanças da Casa de Força e Vertedouro da margem direita para a margem esquerda, a SPEC também mencionou no seu estudo as características geológicas-geotécnicas identificadas, utilizando os próprios estudos anteriores desenvolvidos pela Engevix (antigo projeto que considerava somente um barramento na cota 102m) e PCE, e cuja finalidade foi desenvolver um projeto otimizado, no que tange layout das estruturas e estudos energéticos.

Estes estudos de otimização, constataram um ganho no conteúdo energético, que aumentou de 145MW para 151MW instalados.

As características geológico-geotécnicas presente no estudo de otimização da SPEC serão integralmente transcritas nas secções a seguir. Além disso, o Anexo III contém os mapas deste estudo.

### **2.1 Característica regional**

A região em estudo está geotecnicamente contida na Província Mantiqueira, entidade geotectônica com franca orientação nordeste instalada a oeste do Cráton de São Francisco.

O Aproveitamento de Itaocara I será implantado no baixo curso do rio Paraíba do Sul, onde este assume direção nordeste, paralelamente às direções das unidades lito-estratigráficas.

### **2.2 Aspectos Geológicos Regionais**

No aspecto lito-estratigráfico, a região é caracterizada pelo predomínio de litotipos representativos das rochas metamórficas pré-cambrianas do Complexo Paraíba do Sul.

Também ocorrem na área as suítes ígneas associadas à deformação e metamorfismo da sequência metamórfica do Complexo Paraíba do Sul, resultante do Ciclo Orogênico Brasileiro.

Secundariamente, sobre estas sequências, são observados sedimentos cenozóicos de idades quaternárias.

#### **Complexo Paraíba do Sul**

O Complexo Paraíba do Sul corresponde as unidades basais das rochas Pré-Cambrianas de idade Proterozóica observadas na região em estudo, sendo composto por três unidades estratigráficas informais, a saber:

- Unidade Itaocara;
- Unidade Italva;
- Unidade São Fidelis.

O Aproveitamento Hidrelétrico de Itaocara I será implantado em rochas da Unidade Itaocara.

As Unidades Italva e São Fidelis ocorrem lateralmente ao reservatório e não tem influência direta no Empreendimento.

A Unidade Itacara contem gnaisses e migmatitos porfiroclásticos ou não, e por vezes os gnaisses tem estrutura xistosa. Intercalados aos gnaisses e migmatitos ocorrem quartzitos e discretos níveis de mármore.

A faixa ocupada pela Unidade Itacara mostra-se rebaixada em relação ao relevo regional, correspondente a zona derivada pelo rio Paraíba do Sul e seus afluentes pela margem esquerda. A topografia orienta-se preferencialmente segundo NE-SW, condicionando um sistema de drenagem secundária, paralela.

As rochas do Complexo Paraíba do Sul sofreram de modo geral, processos tectomagmáticos durante o mesozóico que resultaram na presença de inúmeros diques de diabásio intrudidos indiscriminadamente nas rochas cristalinas por toda a região.

### **2.3 Geologia Estrutural**

A evolução tectono-magmática da região em estudo, está inserida no Domínio de Falhas Juiz de Fora/Paraíba do Sul, apresentando estruturas marcantes de direção NE-SW e estruturas secundárias perpendiculares associadas.

A característica estrutural mais proeminente da área é a extrema linealidade dos litótipos que apresentam franca orientação NE em concordância com as principais zonas de Cisalhamento regionais.

Dentre as zonas, destaca-se o Lineamento Além Paraíba, com orientação N60°-70° E, interpretada como uma falha direcional, responsável pela instalação do leito do rio Paraíba do Sul

### **2.4 Geomorfologia**

A área do reservatório do AHE Itacara I está situada na Unidade Geomorfológica Alinhamento de Cristas do rio Paraíba do Sul.

É caracterizada por um relevo acidentado-ondulado a fortemente ondulado com cotas entre 120m e 310m e dissecado por cursos d'água, formando um paredão de drenagem fina com aprofundamentos variando de 50 a 140 metros.

A morfologia dessa unidade está intimamente relacionada com as características litroestruturais das rochas e das condições climáticas locais.

O relevo é suportado por rochas gnáissica-migmatíticas, em geral cataclásticas do Complexo Juiz de Fora e por muscovita-quartzo xistos da unidade listostratigráfica Xisto Santana do Deserto, na maior parte da área do reservatório.

A presença de fraturas nas rochas condiciona trechos do rio Paraíba do Sul às suas direções e propicia o desenvolvimento de corredeiras, permitindo, também, que o intemperismo atinja maiores profundidades, formando solos residuais mais espessos.

O rio corre, em grande parte da sua extensão, sobre a rocha exposta.

O rio tem padrão anastomosado, onde algumas ilhas são barras de areias e argilas depositadas em pontos onde a rocha está mais superficial, permanecendo nos locais transitoriamente em função do regime de cheias do rio.

Já outras ilhas são fixas, caso da Ilha Serena que é interceptada transversalmente pelo eixo da UHE de Itaocara I, quando os sedimentos se consolidam com volumes tais que a energia do rio não é mais capaz de erodi-las, ou mesmo constituem-se de extensos afloramentos de rocha no leito do rio recobertos por solos residuais/coluvionares e com espessa cobertura vegetal arbórea e arbustiva.

As elevações são em forma de colinas, em geral orientadas segundo a direção ENE, convexo – côncavas, com alturas em torno de 120m e 140m em relação aos fundos dos vales.

Os principais depósitos sedimentares estão distribuídos ao longo do rio Paraíba do Sul, dando origem a planícies fluviais com cotas inferiores a 80m.

As feições do modelado mais comuns são as linhas de cristas, linhas de cumeadas (ou interflúvios) e sulcos estruturais.

Os morros apresentam solos residuais próximos ao topos e colúvios da meia encosta para base.

Ocorrem anfiteatros de erosão com ou sem depósitos de tálus, sendo esses depósitos oriundos de material deslizado.

As encostas apresentam áreas de erosão acelerada, indicadas por sinais de movimento de massa anteriores.

O movimento de massa mais comum é o rastejo ou “creep”, que ocorre mormente nos locais de declividades acentuadas.

Ocorrem cicatrizes de escorregamentos de solo e rocha com exposição de solo.

Tais cicatrizes ocorrem, também, cobertas por vegetação colonizadora (cicatrizes estabelecidas).

Os movimentos de massa concentrados e acelerados renovam a cobertura do solo, dando origem a sulcos erosivos e ravinas localizadas.

## **2.5 Avaliação Geológico-Geotécnica do Aproveitamento**

O local selecionado para o eixo do empreendimento tem uma topografia acidentada, apresentando desníveis médios da ordem de 100,00m.

O Pré-Cambriano, representado por gnaisses, é aqui denominado de granitóides, devido sua aparência próxima a um granito. A rocha granitóide ocupa a calha do rio e grande parte da ombreira direita conforme inspeção de campo, bem como dos resultados das investigações realizadas nos estudos de Viabilidade. Na região da calha e leito do rio, o maciço rochoso ora é recoberto por solos de alteração (Ilha Serena), ora por aluviões recentes, estes em cotas baixas nas margens do rio e em ilhas.



As informações aqui apresentadas tiveram por base o mapeamento geológico local, as investigações geológico-geotécnicas, bem como o conhecimento geológico da região com base no Mapeamento realizado pelo DRM-RJ.

Também foram baseadas nas inspeções realizadas quanto da visita técnica de campo, em 27 e 28/04/2010.

Com base nas seções geológico-geotécnicas o maciço rochoso de fundação onde serão apoiadas as Estruturas Hidráulicas da AHE Itaocara I é representado por um granitóide com leve estruturação gnáissica ocorrendo por vezes, zonas com forte foliação, correspondentes aos xenólitos, que contem biotita-gnaisses cuja “xistosidade” apresenta-se bastante caótica, não obedecendo ao padrão regional.

A rocha de modo geral apresenta um grau de fraturamento baixo, entre F1 e F2 e mais raramente pequenos trechos de F3, a exceção dos primeiros metros, onde o maciço rochoso apresenta-se um pouco mais fraturado.

Os principais sistemas de fraturas no maciço rochoso são:

- N45°-50° E / Sub-vertical – paralelo à xistosidade das rochas locais;- N40° W / Vertical
- Perpendicular à xistosidade das rochas locais;- N50° W / Vertical - transversal à xistosidade das rochas locais;- N80°W a EW / Vertical - transversal à xistosidade das rochas locais.

A condutividade hidráulica do maciço rochoso de fundação, baseada nos ensaios de perda d’água executados em furos de sondagens mostraram-se valores baixos, entre H1 e H2. O horizonte mais superficial, não ensaiado, deverá provavelmente ser mais permeável, entre H2 e H3, em função de seu maior grau de fraturamento.

Recobrimo ambas as margens e a meia encosta, ocorre uma camada pouco espessa de solo coluvionar, que devido à sua pouca espessura, às vezes não está representada nas seções geológicas e, imediatamente abaixo, solos de alteração de rocha que na maioria das vezes exibem um perfil completo desde solos residuais maduros até a rocha totalmente alterada; a espessura deste pacote é muito variável, pois está intimamente ligada a inclinação dos terrenos. Na região da ombreira esquerda os horizontes coluvionares, residuais e saprolitos são mais desenvolvidos se comparados com os da ombreira direita. A espessura total destes solos na ombreira varia de 2,0 a 15,0m.

A permeabilidade dos solos residuais é bastante variada com valores entre 10-2 e 10-7 cm/s e com resistência ao ensaio SPT variando entre 10 e 30 golpes.

Os solos residuais transicionam para solos saprolíticos com a profundidade. Este solo apresenta-se como um material arenoso a areno-argiloso, micáceo, caulínico, de cores variadas.

Os ensaios SPT mostraram valores elevados e com permeabilidade de ordem de 10-4 cm/s.

Para o fechamento da Barragem de Terra na ombreira esquerda deverá ser estudada a alternativa de um cut-off de modo a interceptar os horizontes permeáveis dos solos residuais e saprolíticos.

Em posição mais baixa, constituindo planícies aluvionares, ocorrem, junto às margens e ilhas, depósitos de sedimentos compostos essencialmente por areias puras, quando situados na calha do rio.

A espessura dos aluviões é da ordem de 3,0 a 5,0m, podendo não estar presentes em alguns trechos do rio. Os ensaios de SPT indicam valores baixos da ordem de 2 a 7 golpes e permeabilidade variável, de  $10^{-2}$  a  $10^{-7}$  cm/s.

Nas margens e ilhas, em cotas mais elevadas, as ocorrências são constituídas por solos residuais/saprolitos siltes-argilo-arenosos e argilas silto-arenosas.

## 2.6 Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas

No sítio da AHE Itacara I foram realizadas dezenove (19) sondagens na região de fundação das Estruturas Hidráulicas, bem como sondagens investigativas acompanhadas de amostras deformadas onde foram realizados ensaios de caracterização.

A seguir são mostradas as tabelas resumos com as investigações e ensaios de laboratório realizados.

### 2.6.1 Sondagens Geomecânicas

Quadro B – Resumo dos Poços

SONDAGEM	LOCAL	ESTRUTURA	PROFUNDIDADE	
			SOLO (m)	ROCHA (m)
SR1	MD	Ensecadeira de montante 2ª fase	20,14	11,26
SR2	MD	Barragem MD	12,48	6,20
SR3	MD	Barragem MD	0,46	7,07
SR4	MD	Ensecadeira de Jusante	8,14	6,86
SR5	MD	Barragem MD	2,34	10,66
SR6	MD	Barragem MD	0,70	10,40
SR7	Canal D	Barragem MD	0,00	7,05
SR8	MD	Barragem MD	1,33	6,72
SR9	Canal D	Barragem MD	0,00	6,38
SR10	Ilha Serena	Barragem MD	3,37	7,13
SR11	Ilha Serena	Ensecadeira de montante 1ª fase	6,45	7,10
SR12	Ilha Serena	Barragem MD	6,00	7,04
SR13	Ilha Serena	Barragem MD	6,00	7,06
SR14	Ilha Serena	Barragem MD	2,30	7,00
SR15	Canal E	Casa de Força	3,55	7,35
SM-01	ME	Barragem ME	4,06	3,94
SM-02	ME	Barragem ME	12,88	4,12
SM-03	ME	Barragem ME	12,92	4,20
SM-04	ME	Barragem ME	11,07	5,47
SM-05	ME	Barragem ME	22,59	5,56

## 2.6.2 Poços de Inspeção e Amostragem

Além das sondagens mecânicas foram abertos 24 poços nos quais foram coletadas amostras para ensaios de caracterização

**Quadro B – Resumo dos Poços**

POÇOS	LOCALIZAÇÃO	PROF.	POÇO	LOCALIZAÇÃO	PROF.
PBD-1	Ombreira Direita	2,30	PEB-3	M.E. Área de Empréstimo B	5,10
PBE-1	Ombreira Esquerda	4,00	PEC-1	M.E. Área de Empréstimo C	6,40
PBI-1	Ilha Serena	3,00	PEC-2	M.E. Área de Empréstimo C	5,00
PDI-1	M.E. Dique I	5,70	PEC-3	M.E. Área de Empréstimo C	6,10
PDI-2	M.E. Dique I	5,20	PEC-4	M.E. Área de Empréstimo C	3,50
PDII-1	M.E. Dique II	2,20	PED-1	M.E. Área de Empréstimo D	4,80
PDII-2	M.E. Dique II	5,10	PEE-1	M.E. Área de Empréstimo E	4,30
PDIII-1	M.E. Dique III	5,50	PEF-1	M.E. Área de Empréstimo F	4,40
PEA-1	M.E. Área de Empréstimo A	5,20	PEF-2	M.E. Área de Empréstimo F	5,10
PEA-2	M.E. Área de Empréstimo A	3,50	PEF-3	M.E. Área de Empréstimo F	2,50
PEB-1	M.E. Área de Empréstimo B	8,10	PEG-1	M.E. Área de Empréstimo G	4,40
PEB-2	M.E. Área de Empréstimo B	6,20	PEG-2	M.E. Área de Empréstimo G	5,30

## 2.7 Materiais de Construção

### 2.7.1 Área de Empréstimo de Solos

O quadro a seguir apresenta as áreas de empréstimos de solos pesquisadas, com a respectiva avaliação de quantitativos, com base nos resultados apresentados pelos poços de inspeção e amostragem.

**Quadro C – Resumo das áreas de empréstimos de solos**

ÁREA DE EMPRÉSTIMO	LOCAL (MARGEM)	ÁREA PESQUISADA (m <sup>3</sup> )	VOLUME ESTIMADO (m <sup>3</sup> )
A	Esquerda	70.000	420.000
B	Esquerda	255.000	1.530.000
C	Esquerda	310.000	1.860.000
H	Esquerda	90.000	540.000
E	Direita	70.000	350.000
F	Direita	195.000	970.000
G	Direita	200.000	1.000.000
<b>VOLUME TOTAL ESTIMADO</b>			<b>6.700.000</b>

### 2.7.2 Jazidas de Areia

Depósitos aluvionares arenosos foram identificados no leito do rio Paraíba do Sul, tanto a jusante como a montante do eixo.

A 800 metros a montante do eixo, foi identificada a jazida de areia 1, com cerca de 60.000 m<sup>3</sup> de areia quartzosa pouco micácea, bem graduada .

A jusante do eixo foi identificada a jazida de areia 2, localizada no Areal Serra da Bolívia, com cerca de 115.000 m<sup>3</sup>.

### **2.7.3 Pedreiras**

A rocha proveniente das escavações obrigatórias é constituída de granitóide são ou pouco alterado, material adequado à utilização como agregado de concreto e enrocamento.

Os estudos geológicos identificaram quatro locais para implantação de pedreiras, três na margem esquerda e o quarto na ombreira direita, todos situados bem próximos do eixo do barramento.

## **2.8 Ensaios de Solos e Materiais de Construção**

### **2.8.1 Ensaios Existentes**

Para a fundação das obras de terra da barragem e dique foram realizados somente 4 ensaios de caracterização completa que caracterizaram solos argilosos de baixa plasticidade – CL na classificação USCS.

Para as amostras deformadas coletadas na fundação foram realizados também ensaios de compactação Proctor Normal para avaliar a sua utilização tendo em vista o aproveitamento dos solos oriundos das escavações obrigatórias (S1).

Nas amostras indeformadas coletadas em dois poços de fundação (barragem e dique) foram realizados também ensaios de permeabilidade.

Estes dados foram apresentados em tabelas com o gráfico das curvas granulométricas no desenho do Projeto Básico PJ0722-B-T03-GR-DE-102 (Anexo I – Mapas do Projeto Básico da PCE).

Para as jazidas de areia e cascalho foram apresentados os resultados dos ensaios tecnológicos no desenho PJ0722-B-T03-GR-DE-103 (Anexo I) juntamente com o gráfico das curvas granulométricas das areias.

Com base nas informações contidas no desenho de Ensaios Geotécnicos – Áreas de Empréstimo – Margem direita e Margem Esquerda – PJ072-B-703-GR-DE-101 (Anexo I) foram apresentados os resultados de ensaios de solos (S2) de caracterização completa que definiram predominantemente solos do tipo CL em ambas as margens dos empréstimos.

Foram realizados também ensaios de compactação Proctor Normal em todas amostras deformadas coletadas, e no caso dos empréstimos AE-A e AE-B de margem esquerda foram realizados dois ensaios de permeabilidade.

### **2.8.2 Ensaio em Solos Complementares**

No Projeto Executivo deverão ser consolidadas as caracterizações e ensaios realizados durante o Projeto Básico.

Prevê-se novas amostragens em poços de inspeção tanto de solos de fundação (S1) quanto de solos das áreas de empréstimos (S2).

Para os novos poços de inspeção da fundação serão coletadas amostras deformadas e indeformadas.



Os ensaios previstos serão de caracterização completa e compactação Proctor Normal para as amostras deformadas, e para as amostras indeformadas prevê-se além da caracterização completa, ensaios especiais de compressão triaxial, adensamento oedométrico e permeabilidade de carga variável horizontal e vertical.

As amostras deformadas coletadas em poços das áreas de empréstimos (S2) serão caracterizadas, compactadas por Proctor Normal e submetidas a ensaios geomecânicos de compressão triaxial, adensamento oedométrico e permeabilidade de carga variável horizontal e vertical.

Prevê-se ainda uma verificação da estabilidade desde solos com ensaios de dispersão de granulometria comparada e furo da agulha.

## **2.9 Tratamentos Previstos**

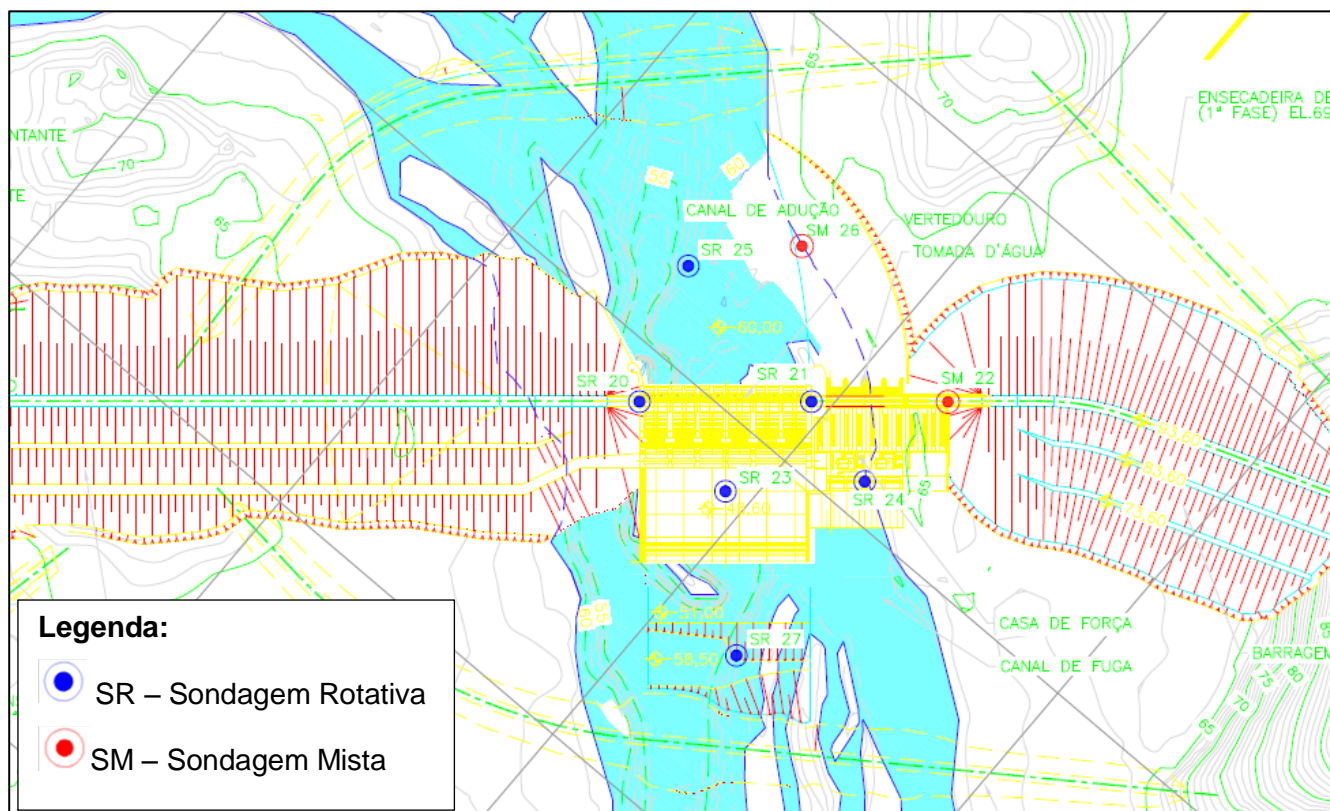
Com base nos dados de sondagens, seções geológicas e observações feitas durante a visita técnica, foram estimados os tratamentos de fundação e de taludes de escavação necessários a implantação do empreendimento.

### 3 - SONDAGENS COMPLEMENTARES - MINAS SOLOS

Conforme mencionado, no ano de 2010, o Consórcio UHE Itacara, contratou a SPEC Planejamento, Engenharia e Consultoria Ltda. para realizar novos estudos técnicos de otimização que levaram a alteração no layout da usina passando tanto a Casa de Força quanto o Vertedouro para a margem esquerda, locada no leito Rio Paraíba do Sul (município de Aperibé/RJ).

Em razão da viabilidade técnica e econômica desta otimização, onde se manteve as características da planta original, porém com as estruturas de concreto locadas na margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, que visualmente apresentava um afloramento rochoso de seu leito, com condições de fundação para as estruturas, foi solicitado pela SPEC, um plano de investigação composto de sondagens rotativas, mistas, ensaios de perda d'água e infiltração em solo.

As sondagens foram realizadas conforme o mapa ilustrado na figura a seguir:



Fonte: Consórcio UHE Itacara modificado

As características destas sondagens estão descritas na tabela a seguir, e tiveram a finalidade de comprovar as condições geológicas já levantadas no Projeto Básico, e naturalmente comprovar as condições do topo rochoso e de fundações definidas no projeto otimizado.

**Tabela – Características das Sondagens Complementares**

SONDAGENS	COORDENADAS		Prof. (m)	Ensaio
	E	N		
<b>SR 20</b>	795.116,73	7.598.372,67	25,00	EPA
<b>SR 21</b>	795.189,87	7.598.434,85	30,00	EPA
<b>SM 22</b>	795.247,99	7.598.484,10	25,00	INF / EPA
<b>SR 23</b>	795.185,71	7.598.365,65	20,00	-
<b>SR 24</b>	795.241,42	7.598.420,16	30,00	-
<b>SR 25</b>	795.088,45	7.598.448,04	15,00	-
<b>SM 26</b>	795.129,57	7.598.497,57	15,00	-
<b>SR 27</b>	795.249,71	7.598.299,78	15,00	-

EPA - Ensaio de Perda D'água em rocha em trechos de 3,00m.

INF - Ensaio de Infiltração em solo a cada metro

As sondagens solicitadas pela SPEC, e realizadas pela Minas Solo, conforme relatório do Anexo IV, vieram comprovar a as condições geológicas apresentadas no Projeto Básico, e a viabilidade desta otimização quanto a locação das estruturas.