

APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS NAS FASES DE INVENTÁRIO E VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE BABAQUARA DO RIO XINGU

JALES LOUSA

Geólogo. Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores

KIITIRO MASUDA

Geólogo. Escritório de Geólogos e Engenheiros Associados

HOMERO TEIXEIRA

Msc. Geólogo. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.

RESUMO

O aproveitamento Hidrelétrico de Babaquara faz parte da divisão da queda natural do rio Xingu, estabelecida para fins de geração de energia elétrica, durante os estudos de inventário hidrelétrico da bacia do rio Xingu, desenvolvidos pelo CNEC - Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A. para a Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. - ELETRONORTE.

A utilização de métodos geofísicos, sísmicos e elétricos nas fases de inventário e viabilidade e aqui discutida, apresentando-se as metodologias usadas, os resultados obtidos e a eficácia dos métodos face aos objetivos pretendidos.

1 - INTRODUÇÃO

A aplicação de métodos geofísicos de prospecção vem se tornando comum nos estudos geológico-geotécnicos de aproveitamentos hidrelétricos, fazendo parte da metodologia recomendada pelos manuais editados pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETRORBRÁS, tanto para as fases de inventário como de viabilidade.

Nos estudos de inventário hidrelétrico da bacia do rio Xingu, foram largamente usados os métodos sísmico de refração e de eletrorresistividade, os quais voltaram a ser aplicados nos estudos de viabilidade, complementados pelo método sísmico de reflexão contínua, conhecido por sísmica subaquática.

O sítio I do Aproveitamento de Babaquara, objeto deste trabalho, situa-se na borda sul da Bacia Sedimentar do Amazonas, cerca de 10 km a montante da cidade de Altamira - PA, no rio Xingu, abrangendo rochas ígneas e sedimentares.

A utilização conjunta dos métodos sísmico de refração e de eletrorresistividade em áreas emersas (ombreiras e ilhas) e do método sísmico de reflexão no leito do rio, possibilita um conhecimento bastante rápido e a custos relativamente baixos de grandes áreas. Ela e de extrema ajuda às investigações geológico-geotécnicas convencionais, em que se incluem os mapeamentos geológicos, as sondagens a trado, os poços de inspeção, as sondagens a percussão e rotativas, executadas em maior ou menor quantidade ou tipo, consoante a fase dos estudos que se considere e as finalidades pretendidas.

Neste trabalho relatam-se as metodologias empregadas e os resultados

dos obtidos na definição de um modelo geológico local, na estimativa das características dos solos e rochas de fundação e na indicação preliminar de fontes de materiais naturais de construção, nas fases de inventário e de viabilidade.

2 - ESTUDOS DE INVENTÁRIO

As investigações nesta fase dos estudos são restritas a um eixo de barramento, definido basicamente em função das características topográficas do vale e da possibilidade de nele se implantar um arranjo geral do aproveitamento. Tal eixo é então materializado no terreno através do levantamento topográfico de seu perfil. A picada aberta para possibilitar o levantamento topográfico serve de base aos estudos geológico-geotécnicos em que se insere a prospecção geofísica.

O eixo implantado tem comprimento de 4.725 m em terra firme, incluindo-se ombreiras e ilhas, para um comprimento total do barramento de 7.800 m.

2.1 - Metodologia da Investigação

Realizada a implantação do eixo, denominado BAB I-A, foi executado um reconhecimento geológico local que permitiu a elaboração do programa de investigação que incluiu, além da prospecção geofísica, a abertura de poços de inspeção e execução de sondagens a trado.

O eixo foi investigado por meio de 17 sondagens sísmicas e de 16 sondagens elétricas verticais, locadas em função das características topográficas e geológicas.

As sondagens sísmicas foram realizadas com utilização de impacto de martelo como gerador das ondas sísmicas, tendo sido usado um sísmógrafo portátil PS-10, modelo 1.170, fabricado pela NYO Corporation, dispondo de 12 canais de registro para geofones, sendo o sísmograma registrado em filme foto-sensível.

O arranjo utilizado dispunha os 12 geofones espaçados entre si de 7,5 m, com 4 pontos de impacto por base sísmica, 2 nas extremidades do arranjo (registros normal e reverso) e 2 internos à base.

As sondagens elétricas verticais foram obtidas através de medições feitas com um resistivímetro portátil modelo ER-300, da MULTITRON. O arranjo utilizado foi o de Schlumberger, com um espaçamento máximo entre eletrodos de corrente de 400 m.

A orientação das sondagens geofísicas foi sempre paralela ao eixo implantado, uma vez que o reconhecimento geológico prévio havia mostrado que as rochas sedimentares presentes nas ombreiras tinham sua direção sensivelmente paralela ao eixo, com ligeiro mergulho para jusante, não denotando, a priori, a necessidade de investigação em seções transversais.

De uma forma geral procurou-se realizar sondagens sísmicas e elétricas nos mesmos pontos de investigação. Em alguns pontos, contudo, foram realizadas isoladamente um ou outro tipo de sondagem, em função de problemas topográficos ou geológicos específicos.

Os sísmogramas obtidos foram manuseados de forma a poderem ser traçadas as curvas dromocrônicas e a partir delas se definiriam as velocidades sísmicas e as espessuras das camadas na zona de influência de cada base.

As resistividades aparentes calculadas a partir das medições da intensidade de corrente e da diferença de potencial para cada arranjo geométrico, durante a realização das sondagens elétricas verticais, permitiram a elaboração de curvas geoeétricas que foram interpretadas por

comparação com curvas teóricas dos ábacos de Orellana e Mooney e por comparação relativa das condutâncias e resistências.

2.2 - Análise e Interpretação dos Dados Obtidos

Os trabalhos desenvolvidos no sítio levaram à definição do seguinte modelo geológico:

Ocorrem na área rochas pré-cambrianas do Complexo Xingu, constituídas por granitos, granito-gnaisses e migmatitos, rochas sedimentares siluro-devonianas da Sineclise do Amazonas, constituídas por folhelhos, siltitos e arenitos da Formação Trombetas e arenitos e siltitos da Formação Maecuru, com mergulho de até 20 para NW e direção geral N 650 E; "sills" de diabásio de idade juro-cretácea, intrusivos no topo da Formação Maecuru, e uma cobertura terciária de caráter continental, constituída por arenitos caulínicos, finos a conglomeráticos, semiconsolidados, friáveis, com lentes de argilitos. Ocorrem ainda, depósitos aluvionares quaternários, formando extensas baixadas e ilhas.

Nesta fase dos estudos, a interpretação de sondagens geofísicas executadas no eixo, auxiliada pelos demais trabalhos de mapeamento geológico de superfície e investigações por meio de sondagens a trado e poços de inspeção, levaram a:

- Definição da posição do contato entre o embasamento granítico e as rochas sedimentares;
- Determinação do topo rochoso granítico e do topo do sedimento compacto;
- Distinção entre dois pacotes sedimentares: um inferior, de baixa resistividade e outro superior, de alta resistividade;
- Estimativa da espessura da cobertura de solo nas ombreiras;
- Estimativa da espessura da cobertura aluvionar nas ilhas;
- Identificação de camadas secas ou saturadas;
- Obtenção de anomalias geofísicas de difícil interpretação.

O contato entre o embasamento cristalino e as rochas sedimentares, correspondente ao topo rochoso granítico, foi determinado pelos ramos ascendentes das sondagens elétricas, encontrando-se, de modo geral, em torno da cota 100 m e com comportamento irregular na ombreira direita.

O topo rochoso assinalado pela velocidade sísmica em torno de 2.000 a 2.850 m/s corresponde ao topo do sedimento compacto, de geralmente a pequena profundidade (3 a 10 m). As velocidades sísmicas maiores que 4.000 m/s assinalam o topo rochoso granítico a maiores profundidades (10 a 20 m), quando fora da área de superposição de rochas predominantares nas ombreiras ou quando representativas do substrato em ilhas.

As rochas sedimentares sobrepoem-se às rochas cristalinas nas ombreiras e são constituídas por dois espessos pacotes: um inferior, de baixa resistividade e um superior, de alta resistividade. O inferior, de sua espessura média em torno de 30 m e é representado por folhelhos e siltitos bem estratificados, com resistividade em torno de 27 a 50 ohm.m, atribuído à Formação Trombetas. O superior com uma espessura de até 50 m e constituído por arenitos e siltitos subordinados, com resistividade de 750 a 1.130 ohm.m, correlacionado às rochas saturadas da Formação Maecuru.

A espessura da cobertura de solo ao longo das ombreiras, varia entre 5 e 35 m, dependendo da morfologia e da natureza do substrato rochoso, tendo velocidade sísmica entre 600 e 700 m/s.

As sondagens sísmicas e elétricas executadas em ilhas e nas baixas marginais indicam uma cobertura aluvionar com espessura de até 10 m sobre as rochas graníticas.

De uma maneira geral, foi possível determinar, através dos valores das resistividades aparentes, a presença de camadas secas e saturadas, tanto nas formações predominantemente arenosas quanto nas que predominam litologias mais finas. Também, os solos residuais do Complexo Xingu, quando saturados, refletem a litologia da rocha matriz nos valores das resistividades, com as mais baixas associadas a faixas gnáissicas e migmatíticas (50 a 80 ohm.m) e as mais altas ligadas a faixas graníticas (100 a 300 ohm.m).

As sondagens elétricas envolvendo rochas graníticas, consideradas anômalas por apresentarem distorções no ramo ascendente da curva, foram interpretadas como representativas de zonas de maior fraturamento e/ou alteração da rocha. Aquelas referentes a rochas sedimentares ficaram sem explicação nesta fase dos estudos, pois o modelo geológico idealizado supunha a predominância de um determinado tipo litológico dentro de cada um dos pacotes sedimentares.

Os resultados das investigações geológico-geotécnicas da fase de inventário são apresentados na Figura 2, onde se incluem o mapa geológico local e uma seção geológico-geotécnica pelo eixo BAB I-A, elaborada predominantemente com base na interpretação da prospecção geofísica realizada. A legenda para este desenho é apresentada na Figura 1.

3 - ESTUDOS DE VIABILIDADE

Com o início dos estudos de viabilidade técnico-econômica do aproveitamento e dentro da sequência normal dos serviços, as investigações realizadas na fase de inventário foram o ponto de partida para a programaçãõ de uma detalhada campanha de prospecção geológico-geotécnica do tipo dos métodos de prospecção.

Considerando os resultados bastante satisfatórios da aplicação dos métodos geofísicos na fase de inventário, optou-se por reiniciar os estudos geológico-geotécnicos através de uma campanha sistemática de prospecção geofísica, abrangendo os métodos sísmicos de refração de pacto a explosivo e de eletrorresistividade para as áreas das ilhas e margens do rio e uso do método sísmico de reflexão para o leito do rio, e região cujo conhecimento na fase de inventário ficou limitado ao mapeamento geológico das ilhas e das rochas emersas durante a época de estia-gem.

A prospecção geofísica teve como objetivos melhorar o modelo geológico estabelecido anteriormente, obter informações quanto às características sísmicas e elétricas das diversas litologias presentes, visando associá-las a características mecânicas e hidráulicas e, principalmente, orientar a programação e minimizar os dispêndios com a campanha de sondagens rotativas e a percussão.

Ressalta-se que a utilização do método sísmico de reflexão teve por objetivo, além do conhecimento geológico-estrutural e da presença ou não de aluviões no leito do rio, a obtenção de cartas batimétricas detalhadas do topo rochoso e do leito do rio, independente de sua natureza geológica, de extrema importância para os estudos de seleção final do eixo do barramento.

3.1 - Metodologia da Investigação

3.1.1 - Métodos Sísmico de Refração e de Eletrorresistividade

A prospecção utilizando os métodos sísmico de refração e de ele-

trorresistividade na fase dos estudos de viabilidade do aproveitamento, abrangendo uma área de cerca de 40 km², englobando 3 eixos alternativos de barramento e várias seções transversais aos mesmos nas ombreiras e ilhas, totalizando 113 sondagens sísmicas e 121 sondagens elétricas verticais, com cobertura linear investigada de 18.645 m e de 32.450 m, respectivamente.

Para a realização das sondagens sísmicas foi utilizado um sísmógrafo portátil modelo RS-4, de fabricação da PRESSER Systems, com 12 canais para geofones e registro das ondas sísmicas em papel foto-sensível, sendo as ondas sísmicas geradas pela detonação de explosivos.

O arranjo empregado foi o dos perfis conectados, com 5 pontos de tiro por base sísmica de 12 geofones, espaçados entre si de 15 metros. Os tiros foram dados entre os geofones 1 e 2, 6 e 7, 11 e 12 e dots externos à base, com distâncias variando de 50 a 75 m dos pontos de tiro externos de cada base.

Os cinco sísmogramas obtidos em cada base sísmica permitiram definir as velocidades de propagação das ondas sísmicas em cada camada atravessada e a determinação das espessuras e profundidades das camadas refratoras sob cada geofone. O cálculo das profundidades dos refratores sísmicos foi realizado pelo método "Delay Time".

A prospecção usando o método da eletrorresistividade seguiu a mesma técnica descrita no item 2.2.

A programação das investigações geofísicas orientou-se pelos objetivos a atingir, dentre os quais se ressaltava a delimitação do topo rochoso compacto, sobretudo onde ele não tinha sido bem definido na fase de inventário, face as limitações da penetração de ondas geradas pelo impacto de martelo.

A aplicação simultânea dos métodos sísmico e elétrico foi mantida, em função das respostas diferentes dadas pelas litologias presentes numa dada seção a investigar.

Os eixos de barramento investigados foram cobertos continuamente por sondagens sísmicas, com recobrimento de 2 geofones por base. As seções transversais aos eixos foram investigadas com bases sísmicas separadas de 150 m.

As sondagens elétricas verticais foram realizadas com seus centros espaçados de 150 m, tanto nos eixos de barramento quanto nas seções transversais.

3.1.2 - Método Sísmico de Reflexão Contínua (Sísmica Subaquática)

Os serviços foram desenvolvidos pelo Agrupamento de Geofísica do IPT, utilizando o Sistema Hydrosound M-2A, fabricada no Canadá pela HUNTEC, perfilador contínuo composto de quatro partes principais:

- Receptor/gravador;
- Transmissor;
- Fontes de ondas sísmicas;
- Hidrofonos.

O receptor/gravador e o transmissor são colocados em um barco que navega ao longo das linhas a investigar, rebocando a fonte de ondas sísmicas e os hidrofonos. O receptor/gravador comanda todo o sistema, enviando e recebendo sinais, processando-os e registrando-os em papel eletro-sensível. O transmissor armazena energia e a descarrega nas fontes de ondas sísmicas, que transformam os pulsos elétricos em pulsos acústicos que são captados pelos hidrofonos, que por sua vez os transformam em pulsos elétricos equivalentes.

No Aproveitamento de Babaquara foi utilizada uma fonte de ondas sísmicas do tipo Boomer ED-10, apoiada sobre um catamaran, devido a seu peso.

A localização das seções sísmicas em planta, é obtida por processamento de triangulação topográfica, com medições simultâneas das posições dos arranjos Boomer/Hidrofone a cada 30 segundos, a partir de três estações de coordenadas conhecidas, controladas via rádio a partir do barco. No sítio I do Aproveitamento de Babaquara foram implantadas cerca de 60 estações para permitir a determinação precisa da posição do arranjo ao longo de toda a área levantada, compatível com a escala pretendida para o serviço.

Os sinais provenientes das reflexões das ondas sísmicas são gravados em papel eletro-sensível na forma de um perfil, que mostra as camadas atravessadas em escalas de tempo selecionadas pelo operador e permitem a interpretação pelo geólogo especialista, em função do seu conhecimento geológico da região.

A investigação realizada abrangeu uma área de cerca de 11 km², tendo sido levantadas 172 linhas sísmicas sensivelmente paralelas ao fluxo e separadas de cerca de 40 m, totalizando 254,1 km, com o objetivo de definir o contorno do topo rochoso, a espessura dos aluviões e/ou solos de alteração sobre a rocha sã, a batimetria do rio Xingu e a presença de eventuais estruturas geológicas de porte, na área de implantação do Aproveitamento de Babaquara.

Foram ainda investigadas duas áreas de depósitos de areia, para este aproveitamento, com 25 linhas sísmicas, num total de 36 km, não analisadas neste trabalho.

3.2 - Análise e Interpretação dos Dados Obtidos

3.2.1 - Métodos Sísmico de Refração e Eletrorresistividade

Os métodos contrastes obtidos, tanto para as velocidades de propagação de ondas sísmicas como para as resistividades das camadas, permitem delinear um modelo geológico-geotécnico bastante detalhado do sítio I.

A utilização de resultados de algumas poucas sondagens mecânicas, executadas à época da realização da prospecção geofísica, foi indispensável para o estabelecimento de correlações entre a natureza dos estratos geológicos e as velocidades de propagação das ondas e das resistividades correspondentes.

Assim, o modelo geológico do sítio I estabelecido na fase de inventário foi melhorado, sendo descrito a seguir, separadamente por região investigada:

. Margem Esquerda

O embasamento granítico, do Complexo Xingu, caracteriza-se por velocidades sísmicas entre 5.000 e 7.000 m/s e resistividades tendendo ao infinito. Em geral, o embasamento apresenta-se ondulado, mergulhando ao ra NW e, de forma geral, horizontalizado segundo a seção do eixo de barramento IA, na cota aproximada de 107 m, em contato selado com a unidade sedimentar sobrejacente.

Sobrepo-se ao embasamento um espesso pacote sedimentar de cerca de 100 m, com as seguintes características: folhelhos compactos com síltitos e arenitos intercalados da Formação Trombetas, com velocidades sísmicas de 3.500 a 4.000 m/s e resistividade entre 30 e 50 ohm.m, com espessura de cerca de 40 m. Sobre eles, os arenitos da Formação Maecuru, com resistividades de 500 a 1.000 ohm.m em zona saturada e de 5.000 a 20.000 ohm.m na parte superior seca e velocidade sísmica entre 2.500

e 3.000 m/s, com espessura total de cerca de 60 metros.

Ressalta-se que, de maneira geral, o topo rochoso delimitado pela sísmica de refração no pacote sedimentar corresponde ao impenetrável das sondagens a percussão (SPT > 30).

A seção é completada por um sill de diabásio coberto por sedimentos terciários semiconsolidados, que não interferem diretamente no aproveitamento, por se situarem acima da cota 169 m, correspondente à crista da barragem.

. Ilhas

O embasamento granítico apresenta-se, em geral, plano, entre cotas 90 e 95 m, com velocidades na rocha oscilando entre 4.500 e 6.000 m/s e resistividades tendendo ao infinito. Ocorrem, localmente, e pressões abruptas de pequena continuidade, com profundidade de 20 m, representadas por velocidades de 2.500 a 3.000 m/s. Tais velocidades são atribuídas a fácies mais biotítica e/ou fraturamento mais intenso nas rochas graníticas, onde a decomposição é mais acentuada. Recobridos o embasamento ocorrem aluviões arenosos e/ou argilosos, secos ou saturados, com espessura de 4 a 8 m, com as seguintes características: aluviões secos com velocidades sísmicas entre 300 e 500 m/s e resistividade acima de 1.000 ohm.m; aluviões saturados com velocidades sísmicas entre 1.300 a 2.000 m/s.

. Margem Direita

Nesta margem, até praticamente a metade do comprimento do eixo investigado, incluindo-se suas seções transversais, não há presença de rochas sedimentares e o embasamento granítico do Complexo Xingu apresenta seu topo ondulado entre as cotas 80 e 110 m. Sua velocidade sísmica é de 5.000 a 6.000 m/s e tem resistividade tendendo para o infinito. Nesse trecho, o embasamento está coberto por solos residuais, coluviões e aluviões, com velocidades sísmicas entre 350 e 600 m/s e resistividade entre 50 e 500 ohm.m dependendo da composição mais ou menos argilosa de materiais e de seu estado de saturação. Os solos secos superficiais apresentam resistividade de cerca de 1.000 ohm.m. As espessuras dos solos das algumas depressões locais do topo rochoso, com solos de identificação cerca de 15 m de espessura e resistividade de 90 ohm.m. As sondagens eletro embutido no complexo cristalino junto ao contato com as unidades alimentares, recobrimdo o solo de alteração das rochas do embasamento. Assim se característias granulométricas e grau de saturação dos seus materiais constituintes.

Nas partes mais elevadas da ombreira, aparecem as rochas sedimentares que induzem aos comportamentos sísmico e elétrico a seguir descritos:

O topo rochoso delimitado pela sísmica de refração ocorre entre as cotas 145 e 180 m, correspondendo ao topo dos sedimentos compactos, com velocidades sísmicas entre 3.000 e 4.000 m/s, geralmente coincidente com o impenetrável em sondagens a percussão (SPT > 30).

O embasamento elétrico, definido entre as cotas 110 e 120 m, responde sempre às rochas cristalinas, o que permitiu definir com precisão a espessura do pacote sedimentar. Acima desse embasamento, foi definida o pacote de folhelhos e siltitos da Formação Trombetas, com resistividade entre 20 e 30 ohm.m, com espessura de cerca de 35 m e no meio do qual ocorre uma anomalia geoeletrica representada por uma camada resistiva de 4.600 ohm.m, interpretada como uma camada de arenito seco ou mesmo um sill de diabásio. Sobrepostos aos folhelhos, os arenitos Mgacuru, geralmente secos, apresentam-se extremamente resistivos, com até 20.000

0m.m e espessuras de até 40 m. Solos coluviais ou residuais superficiais das rochas sedimentares têm velocidades entre 300 e 400 m/s e espessuras de 3 a 5 m e os solos de alteração, com espessuras de até 25 m, apresentam velocidades de 600 a 1.600 m/s conforme os seus estados de saturação e/ou de compactidade. Anomalias geotérmicas em alguns locais chamam a atenção para possíveis zonas de fraturamento intenso associadas ou não a corpos intrusivos verticais.

3.3.2 - Método Sísmico de Reflexão Contínua

A interpretação dos perfis sísmicos obtidos permitiu a elaboração de um mapa para o fundo do rio e de um mapa para o topo rochoso na área investigada, na escala de 1:2.000 e intervalo de contorno de 1 m, bem como a confecção de uma listagem que relaciona as cotas do fundo do rio e do topo da rocha em todos os pontos triangulados ao longo das linhas de navegação.

Para a obtenção das cotas do fundo do rio e do topo rochoso foram utilizadas as velocidades de propagação das ondas sísmicas na água, de 1.500 m/s e, de 1.600 m/s nos sedimentos arenosos, tendo havido boa correlação dos dados de profundidade obtidos a partir destes valores com os medidos diretamente em duas sondagens realizadas no leito do rio.

Os resultados obtidos não revelaram anomalias topográficas no leito do rio que indiquem a presença de estruturas geológicas de porte; ocorrem apenas algumas depressões isoladas, provavelmente associadas a zonas de litologia mais erodível, que acusaram profundidades de até 16 m.

A presença de sedimentos arenosos no leito do rio é mínima, ocorrendo depósitos localizados com até 6 m de espessura.

A Figura 4 apresenta o mapa geológico local e a seção geológico-geotécnica pelo eixo BAB I-A, elaborados predominantemente com base nas investigações geofísicas realizadas. A legenda deste desenho é apresentada na Figura 3.

4 - CONCLUSÕES

A aplicação de métodos geofísicos nos estudos de inventário e viabilidade do Aproveitamento de Babaquara, permitiu chegar às seguintes conclusões:

• Nas áreas emersas, a aplicação simultânea dos métodos sísmico de refração e de eletroresistividade, tanto nas fases de inventário quanto de viabilidade, foi decisiva no estabelecimento do modelo geológico, pela diversidade com que as litologias envolvidas respondem às características geo-sísmicas ou geotérmicas;

• A aplicação da sísmica de refração com impacto de martelo, na fase de inventário, apesar da rapidez do método, teve sua limitação na definição precisa do topo rochoso até cerca de 20 m de profundidade em áreas de ocorrência de rochas sedimentares e até aproximadamente 35 m em áreas do cristalino;

• A aplicação da sísmica de refração com explosivos, na fase de viabilidade, associada ao arranjo usado, permitiu uma grande confiabilidade nos sismogramas e facilidade na sua interpretação, chegando-se à definição de refratores em profundidades de até 40 m e excepcionalmente de até 60 m;

• De um modo geral, os modelos estabelecidos nas fases de inventário e de viabilidade são bastante semelhantes, na sua concepção geológica básica;

• O modelo obtido na fase de viabilidade atingiu um melhor grau

de detalhamento devido à maior quantidade de investigações realizadas, permitindo definir tipos litológicos de características geotécnicas distintas, dentro de cada formação geológica;

· A variação nos valores das velocidades sísmicas e nas resistividades das diversas litologias presentes, obtidas nas duas fases de investigação, apesar da pequena quantidade de pontos de aferição, revelou-se mínima, contribuindo para uma boa definição das espessuras e profundidades das camadas determinadas pela geofísica;

· Os bons contrastes das velocidades sísmicas e resistividades das litologias presentes, associados ao caráter sub-horizontal das formações sedimentares assentadas sobre o embasamento cristalino, favoreceram o sucesso da investigação;

· As anomalias geoeletricas encontradas em ambas as fases, permitiram programar sondagens rotativas que vieram a definir as variações litológicas das formações sedimentares, identificando-se níveis de arentos dentro do pacote de folhelhos da Formação Trombetas e níveis mais argilosos nos arenitos da Formação Maecuru, sendo afastada a hipótese de presença de silts de diabásio entre as formações sedimentares paleozóicas, hipótese esta levantada durante a interpretação dos dados geofísicos;

· A aplicação da eletrorresistividade foi decisiva no estabelecimento dos modelos geológicos nas duas fases de investigação, pois permitiu delimitar o contato entre o embasamento cristalino e as rochas sedimentares e separar os clásticos finos da Formação Trombetas dos clásticos grossos da Formação Maecuru;

· Os resultados de prospecção geofísica nas ombreiras permitiram orientar campanha de estudos de áreas de empréstimo de solos na fase de viabilidade, além de indicarem áreas potenciais a serem pesquisadas como fontes de rocha;

· A aplicação do método sísmico de reflexão contínua, na fase de viabilidade, constitui uma inovação metodológica de grande utilidade em estudos de leito de rio em locais barráveis, tendo sido de grande valia os dados obtidos. A definição do topo rochoso, a presença ou não de sedimentos e mais do que isso a batimetria, com erros inferiores a 5% na sedimentação do fundo do rio e de no máximo 20% no topo rochoso quando coberto por sedimentos, é decisiva para a orientação de campanhas de sondagens e elaboração de esquemas de desvio do rio e de arranjo geral das estruturas do barramento;

· A aplicação bem programada de métodos geofísicos, executada e interpretada por especialistas, apoiada em investigações diretas e, acionada de tudo, em mapeamentos geológicos de superfície cuidadosamente realizados, é uma ferramenta eficaz, rápida e barata que deve ser sempre indicada pelo responsável pela condução de investigações geológico-geotécnicas de aproveitamentos hidroeletricos, nas fases de inventário e viabilidade.

5 - BIBLIOGRAFIA

- CNEC. Estudos Xingu - Investigações Geofísicas nos Locais de Inventário, Rel. IHX-13-2245, Vol. I e II, março de 1980, Brasília.
- CNEC. Estudos Xingu - Investigações Geofísicas no Aproveitamento de Babaquara (Rel. Interno), agosto 1980, Brasília.
- IPT. Ensaios de Sísmica de Reflexão em Locais de Implantação do Projeto Babaquara, Rio Xingu, Altamira - PA, Rel. nº 14.286, outubro de 1980, São Paulo.
- KUNETZ, G. Principles of Direct Current Resistivity Prospecting, Gebrü-

der Borntraeger, Berlin, 1966.

ORELLANA, E. e Mooney, H.M. Master Tables and Curves For Vertical Electrical Sounding Over Layered Structures, Interiência Madrid, 1966.

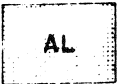
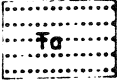
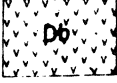
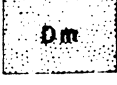
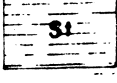
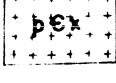
REDPATH, B.B. Seismic Refraction Exploration For Engineering Site Investigations Technical Report E-73-4, Livermore, Califórnia - 1973.

6 - AGRADECIMENTOS




À Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. - ELETRONORTE, pela permissão para publicação dos dados apresentados neste trabalho.

INVENTÁRIO- LEGENDA DA FIGURA 2

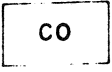





COLUNA ESTRATIGRÁFICA

QUATERNÁRIO		ALUVIÃO: AREIAS, SILTES, ARGILAS E CASCALHOS
TERCIÁRIO		FORMAÇÃO ALTER DO CHÃO: ARENITOS, ARGILITOS E CONGLOMERADOS SEMICONSOLIDADOS.
JURO-CRETÁCEO		INTRUSIVAS BÁSICAS: DIABÁSIO.
DEVONIANO		FORMAÇÃO MAECURU: ARENITOS FINOS A MÉDIOS, FRIÁVEIS, COM LENTES DE ARENITO CONGLOMERÁTICO E DE SILTITO.
SILURIANO		FORMAÇÃO TROMBETAS: FOLHELHOS E SILTITOS COM ARENITOS SUBORDINADOS.
PRÉ - CAMBRIANO INFERIOR		COMPLEXO XINGU: GRANITOS, GNAISSES E MIGMATITOS

CONVENÇÕES ESTRUTURAIS

	FALHA INDISCRIMINADA E/OU FRATURA
	CONTATO GEOLÓGICO
	ACAMAMENTO COM MERGULHO INDICADO

CONVENÇÕES GEOTÉCNICAS

	COLUVIÃO
	SOLO DE ALTERAÇÃO
	ZONA DE MAIOR FRATURAMENTO
	PROVÁVEL TOPO DE ROCHA
	CONTATO ENTRE TIPOS DE SOLOS
	AFLORAMENTO

CONVENÇÕES GERAIS






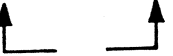
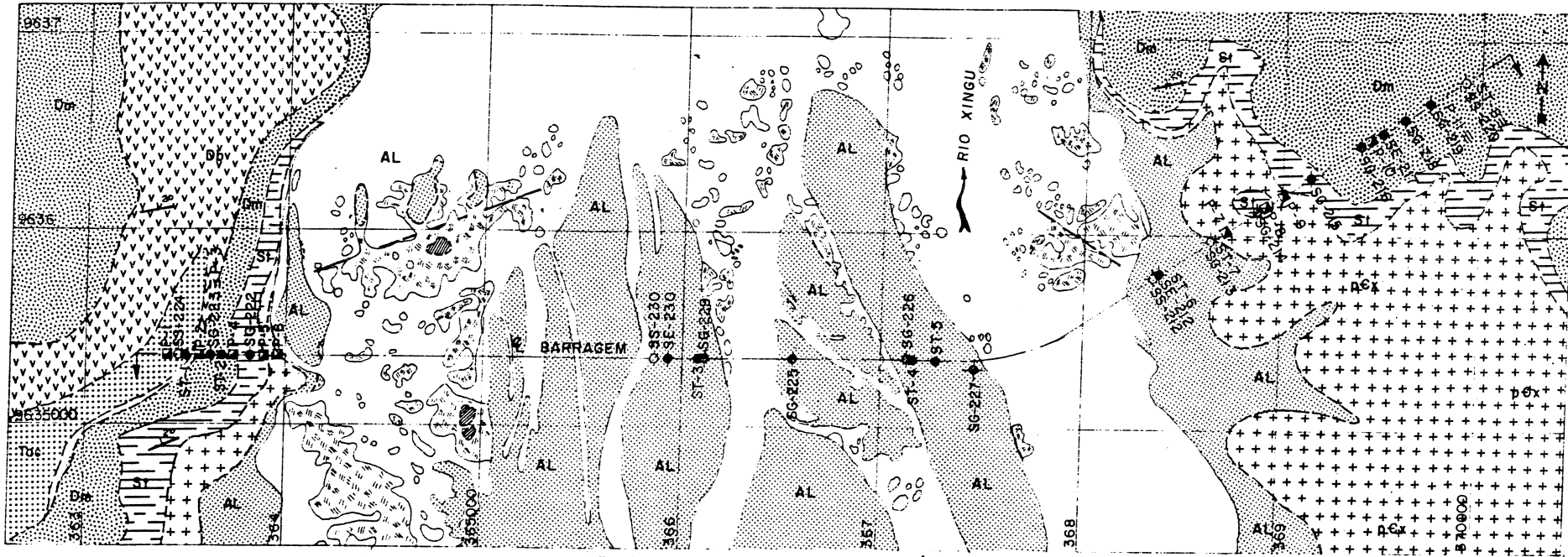
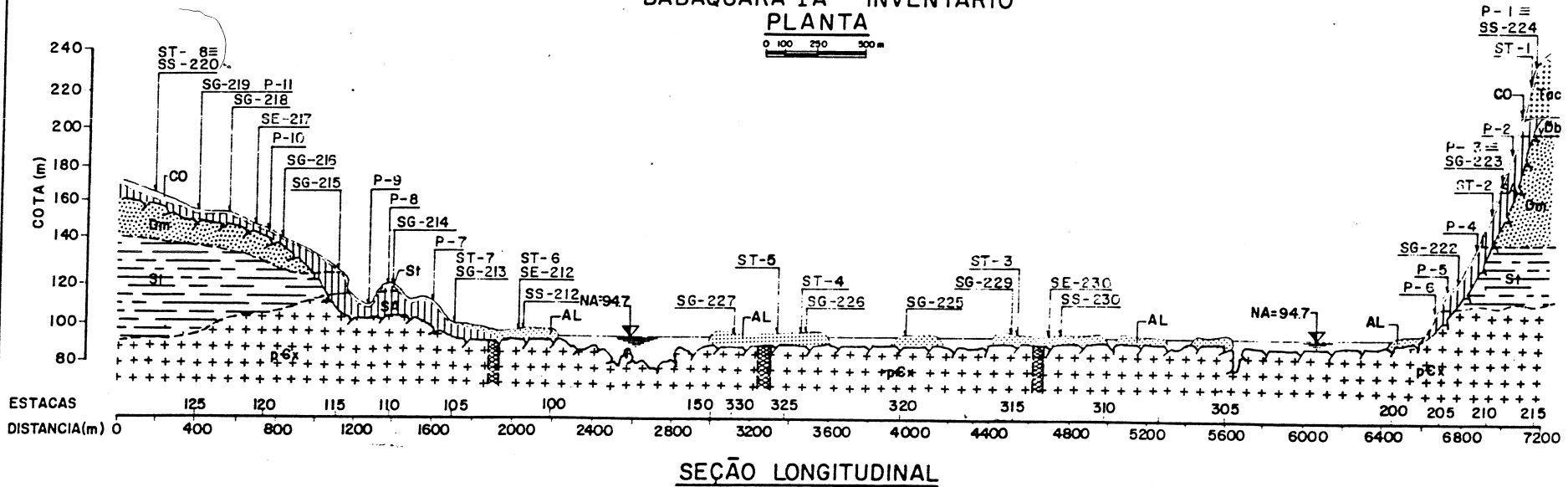
 P-10	POÇO DE INSPEÇÃO
 ST-8	SONDAGEM A TRADO
 SG-225	SONDAGEM GEOFÍSICA (SE+SS)
 SE-230	SONDAGEM ELÉTRICA
 SS-230	SONDAGEM SÍSMICA
	SEÇÃO GEOLÓGICA

FIGURA - I



BABAQUARA IA - INVENTÁRIO
PLANTA

0 100 200 300 m



SEÇÃO LONGITUDINAL

FIGURA - 2

VIABILIDADE- LEGENDA DA FIGURA-4

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

PERÍODO	GRUPO/FORMAÇÃO	LITOLOGIA		
QUATERNÁRIO	ALUVIÃO (Qha)		ALUVIÃO areia fina silto-argilosa com camadas de argila siltoosa, plástica, cinza, lentes de areia fina e nível de areia grossa na base	
	COLUVIÃO (Qhc)		COLUVIÃO areia silto-argilosa a argila silto-arenosa, vermelha amarelada, com nível laterítico na base.	
	COLUVIÃO (Qpc)		COLUVIÃO areia fina argilosa com grãos grosseiros e fragmentos de laterita, variegada, e areia fina à média, caulínica, variegada	
TERCIÁRIO	FORMAÇÃO ALTERDOCHÃO (Toc)		ARENITO SEMICONSOLIDADO: predominantemente grosseiro, rosa avermelhado e amarelo, caulínico, com lentes de argilito variegado.	
JURÁSSICO CRETÁCEO	FORMAÇÃO PENATECAUA (Jkp)		DIABÁSIO formando um "sill", em geral totalmente alterado em solo.	
DEVONIANO	FORMAÇÃO MAECURU (Dm)	MEMBRO LONTRA (DmL)		ARENITO de fino a médio com lâminas conglomeráticas, cinza claro, friável.
		MEMBRO JATAPU (DmJ)		ARENITO de granulação fina à média, cinza claro a arroxeadado, friável, com intercalações de argilito e siltito cinza claro e nível conglomerático na base.
SILURIANO	FORMAÇÃO TROMBETAS (St)	MEMBRO MANACAPURU (StM)		FOLHELHO preto a cinza escuro, com lâminas de arenito muito fino e siltito cinza.
				ARENITO muito fino, laminado, cinza claro, coeso com intercalações de ritmitos pouco espessos.
		MEMBRO PITINGA (StP)		FOLHELHO: preto a cinza, com níveis de diamantito, RITMITO: intercalações laminares do folhelho preto e arenito fino cinza, ARENITO CONGLOMERÁTICO: cinza claro com seixos de quartzito, folhelho e granito
PRÉ-CAMBRIANO INFERIOR A MÉDIO	COMPLEXO XINGU (pCx)		GRANITO (Gr): de textura fina à média, róseo, GRANITO-GNAISSES (Gr-Gn) de textura fina com lineações, MIGMATITO (Mg): cinza e róseo bandeado.	

CONVENÇÕES ESTRUTURAIS

- CONTATO GEOLÓGICO ENTRE FORMAÇÕES
- CONTATO GEOLÓGICO ENTRE MEMBROS
- CONTATO LITOLÓGICO
- DISCORDÂNCIA EROSIVA
- FALHA INDISCRIMINADA E/OU FRATURAS
- ACAMAMENTO COM MERGULHO INDICADO
- DIREÇÃO DE FRATURA VERTICAL

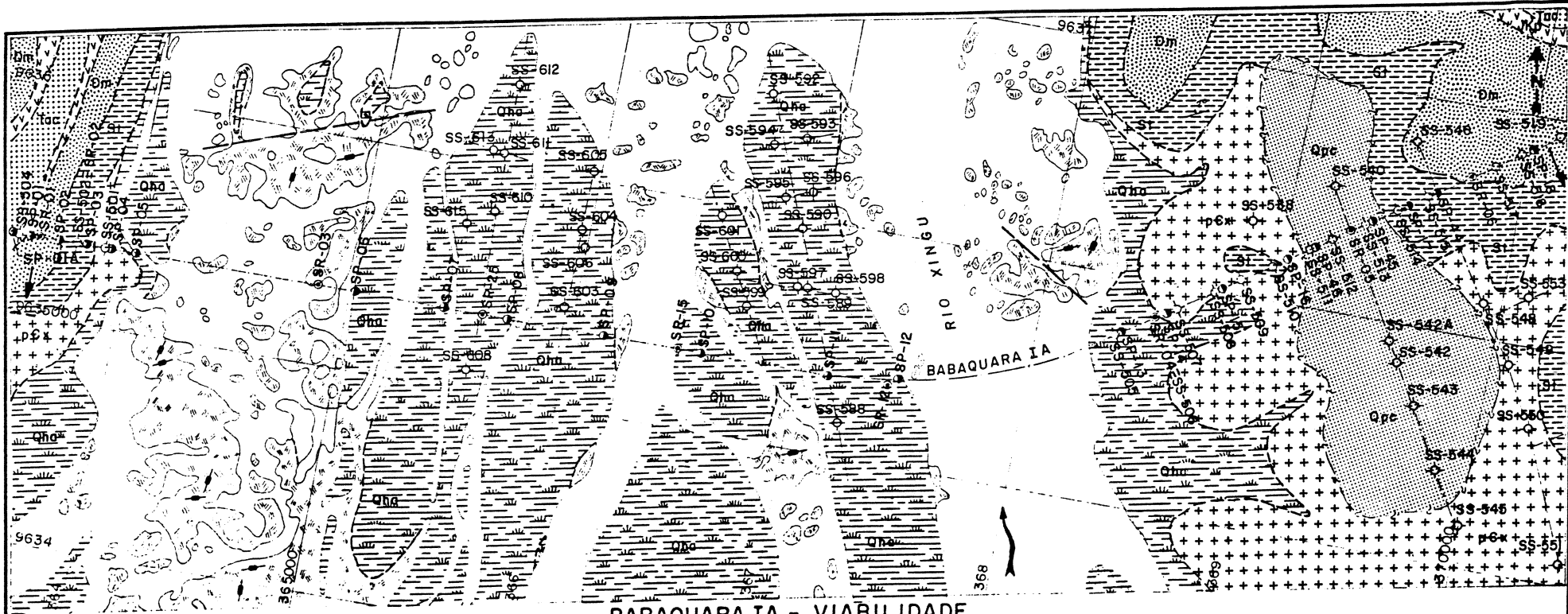
CONVENÇÕES GEOTÉCNICAS

- ALUVIÃO RECENTE
- COLUVIÃO RECENTE
- PÁLEO-COLUVIÃO
- SOLO DE ALTERAÇÃO E/OU RESIDUAL
- CONTATO ENTRE TIPOS DE SOLOS
- PROVÁVEL TOPO ROCHOSO
- AFLORAMENTO

CONVENÇÕES GERAIS

- SR-02 SONDAGEM ROTATIVA
- SP-01 SONDAGEM À PERCUSSÃO
- SS-511 SONDAGEM SÍSMICA
- SE- SONDAGEM ELÉTRICA (não indicada na fig. 4)
- SEÇÃO GEOLÓGICA

FIGURA - 3



BABAQUARA IA - VIABILIDADE PLANTA

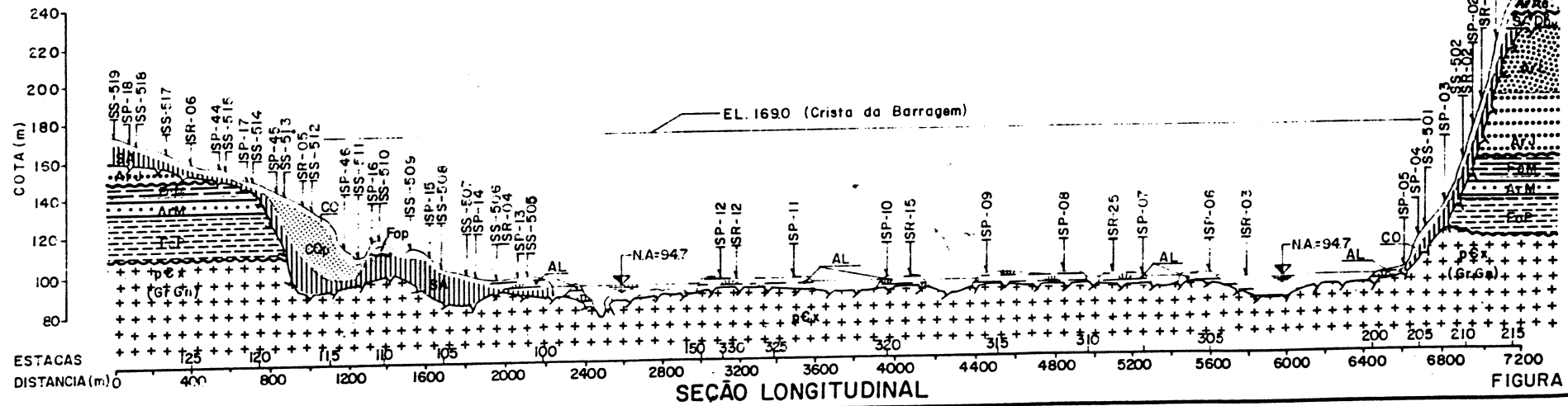
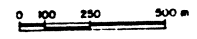


FIGURA - 4