

# USP

## Campus de São Carlos

CONSIDERAÇÕES SOBRE A OCORRÊNCIA  
DE CANALÍCULOS EM LOCAIS DE  
BARRAGEM NA REGIÃO AMAZÔNICA

**Wilmar José Jury**

Orientador: Prof. Dr. Antenor Braga Paraguassu

## UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



**ESCOLA DE ENGENHARIA  
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

" CONSIDERAÇÕES SOBRE A OCORRÊNCIA DE  
CANALÍCULOS EM LOCAIS DE BARRAGEM NA  
REGIÃO AMAZÔNICA "

WILMAR JOSÉ JURY

DEDALUS - Acervo - EESC



31100035645

Dissertação apresentada à  
Escola de Engenharia de  
São Carlos, da Universida  
de de São Paulo, para ob  
tenção do título de Mes  
tre em Geotecnia

Orientador:

Antenor Braga Paraguassu

1989

À D. Maria Joana, minha mãe.  
Ao Pedro Ivo, meu filho e  
A toda minha família.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A OCORRÊNCIA DE CANALÍCULOS EM LOCAIS DE BARRAGEM NA REGIÃO AMAZÔNICA

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	1
RESUMO .....	2
RELAÇÃO DE FIGURAS, QUADROS E FOTOGRAFIAS .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	5
2. GEOLOGIA REGIONAL .....	8
2.1. ASPECTOS GERAIS .....	8
2.2. GEOTECTÔNICA, ESTRATIGRAFIA E LITOLOGIAS .....	8
2.3. GEOMORFOLOGIA .....	11
2.4. HIDROGEOLOGIA .....	16
3. GEOLOGIA DA ÁREA DE INTERVENÇÃO .....	20
3.1. LOCAL DA BARRAGEM .....	20
3.2. LOCAIS DOS DIQUES .....	21
3.2.1. Solos Residuais de Granito .....	21
3.2.2. Colúvios .....	26
3.2.3. Aluviões .....	27
3.2.4. Sedimentos Arenosos de Paleocanal .....	28
3.2.5. Sedimentos da Planície de Inundação .....	28
4. MÉTODOS DE INVESTIGAÇÕES PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CAVIDADES .....	30
4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	30
4.2. INVESTIGAÇÕES CONVENCIONAIS E ESPECIAIS .....	33
4.2.1. Sondagens a Trado, a Percussão, Poços de Inspeção e Trincheiras de Reconhecimento .....	33
4.2.2. Ensaios de Permeabilidade em Cava Rasa .....	33
4.2.3. Ensaio de Erodibilidade em Canalículos .....	35
4.2.4. Ensaio Macroteste de Permeabilidade das Fun- dações .....	37
4.2.5. Sondagens Rotativas para Datação de Sedimentos	40
4.2.6. Ensaios de Bombeamento e Recuperação em Poços Tubulares Profundos .....	41

4.2.7. Ensaio de Bombeamento e Recuperação em Trincheiras .....	43
4.2.8. Ensaio de Comunicabilidade em Trincheiras com Auxílio de Traçadores Fluorescentes .....	47
5. CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS CANALÍCULOS .....	50
5.1. HISTÓRICO .....	50
5.2. PARÂMETROS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS CANALÍCULOS .....	55
5.3. TIPOS DE CANALÍCULOS .....	58
5.3.1. Canalículos do Grupo I .....	58
5.3.2. Canalículos do Grupo II .....	60
5.3.3. Canalículos do Grupo III .....	62
5.3.4. Canalículos do Grupo IV .....	63
5.3.5. Canalículos do Grupo V .....	65
5.3.6. Canalículos do Grupo VI .....	67
6. CONCLUSÕES .....	71
7. BIBLIOGRAFIA .....	72

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

À Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, ao seu corpo docente, aos colegas de curso e a todos os funcionários, pela oportunidade de obtenção do título de mestre em Geotecnica.

À Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A - ELETRONORTE e à Sondotécnica Engenharia de Solos S/A, pelos apoios financeiro, técnico e humano necessários à execução deste trabalho e pela autorização para a publicação das informações aqui contidas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Antenor Braga Paraguassu pela atenciosa e prestativa orientação e pelo interesse demonstrado durante a realização deste trabalho.

À todos os técnicos, engenheiros e geólogos ligados ao projeto da UHE Samuel pelo apoio nas discussões sobre o tema escolhido e pela contribuição na execução dos serviços de campo e escritório.

Aos colegas Paulo A. Amaral, João B. Mesquita, Carlos Lúcio L. Pinto e Ginaldo C. Raymundo, pela contribuição na escolha do tema e pela leitura crítica das minutas da dissertação.

Aos desenhistas Newton Cantieri, Luiz A. V. Guimarães, Jucemir M. Silva e Romildo A. Silva, pela dedicação na confecção dos desenhos e ilustrações apresentadas no trabalho.

Às Srtas Sandra A. Gusmão, Estela M. Lima e Márcia C.L. Silva pela atenciosa e paciente execução dos serviços de datilografia.

Desejo aqui, externar um agradecimento especial aos técnicos e auxiliares do Setor de Geologia da UHE Samuel, pelos ensinamentos transmitidos, o amigável convívio e a dedicação nos serviços executados.

## RESUMO

O presente trabalho objetiva ampliar o conhecimento sobre as características dos solos da região de Rondônia, especialmente nas áreas de fundação de barragens, dentro do que se refere à ocorrência de cavidades em solo, originados pela evolução de processos físico-químicos e/ou biológicos.

São apresentados aqui estudos e investigações, utilizando-se de técnicas convencionais e especiais, desenvolvidas no projeto da Usina Hidrelétrica de Samuel - Rondônia, de propriedade da ELETRONORTE, onde se tornou possível avaliar a presença destas feições e o seu comportamento morfológico, hidrogeológico e geotécnico.

## ABSTRACT

The purpose of the present work is to develop the knowledge about the characteristics of the Rondonia soils area, especially in the areas of dams foundation, referring to the occurrence of cavities originated by the evolution of the biological and/or physicochemical processes.

Studies and investigations are presented using conventional and special techniques, developed in the Hidreletric Usine of Samuel project - Rondonia - Eletronorte's property - where became available the presence of these features and their morphological, hidrogeological and geotechnical behaviour.

RELAÇÃO DE FIGURAS, QUADROS E FOTOGRAFIAS

- FIGURA 01 - Localização e Acessos
- FIGURA 02 - Mapa Geológico Regional
- FIGURA 03 - Glaciações Quaternárias - Flutuações do Nível do Mar
- FIGURA 04 - Morfologia Regional - Corte Esquemático sem Escala
- FIGURA 05 - Área de Intervenção - Mapa Geológico
- FIGURA 06 - Dique da Margem Direita - Seção Geológica Longitudinal  
- Folha I/II
- FIGURA 07 - Dique da Margem Direita - Seção Geológica Longitudinal  
- Folha II/II
- FIGURA 08 - Dique da Margem Esquerda - Seção Geológica Longitudinal
- FIGURA 09 - Esquema das Posições das Investigações Especiais
- FIGURA 10 - Aparelho Utilizado no Ensaio de Erodibilidade dos  
Canalículos
- FIGURA 11 - Ensaio Macroteste de Permeabilidade - Fases e  
Resultados
- FIGURA 12 - Esquema do Correntômetro - Micromolinete Hidrométrico
- FIGURA 13 - Perfilagem das Velocidades da Água com Uso do  
Correntômetro
- FIGURA 14 - Esquema do Ensaio de Bombeamento
- FIGURA 15 - Grupos de Canalículos - Formas de Ocorrência
- QUADRO 01 - Investigações Geológico-Geotécnicas - Quantitativo
- QUADRO 02 - Datação por Carbono 14

QUADRO 03 - Ensaio de Bombeamento e Recuperação em Poços Tubulares Profundos - Resultados

QUADRO 04 - Classificação dos canalículos

FOTO 01 - Canalículo do Grupo I

FOTO 02 - Canalículo do Grupo II

FOTO 03 - Canalículo do Grupo III

FOTO 04  
- Canalículo do Grupo IV

FOTO 05

FOTO 06 - Canalículo do Grupo V

FOTO 07 - Canalículo do Grupo VI

## 1 - INTRODUÇÃO

Cavidades em solo, eventualmente designadas pelo termo "Canalículos", têm sido observadas há pouco mais de dez anos nos locais de implantação de barragens da Região Amazônica, especialmente nos aproveitamentos de Tucuruí, Balbina e Samuel.

Devido as conseqüências que estas feições podem provocar em obras de terra, foram desenvolvidos estudos, de forma sistemática pela Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A - ELETRONORTE, no sentido de detectar, caracterizar e classificar as diversas formas observadas. Através da análise detalhada dos vários tipos de cavidades, foi possível traçar um programa orientativo de tratamento necessário a garantir a estabilidade dos maciços compactados e a estanqueidade dos reservatórios por ela construídos.

Em função do volume dos serviços executados ao longo destes anos e a evolução dos conhecimentos sobre o assunto, foi escolhido para as considerações deste trabalho, o local onde hoje se instalou a Usina Hidrelétrica de Samuel. Este aproveitamento se localiza no rio Jamari, a 50 km a sudeste da cidade de Porto Velho, estado de Rondônia (figura 01). A obra é caracterizada principalmente pelas suas dimensões (60 km de diques de terra) e pela heterogeneidade dos materiais que constituem os solos da área de intervenção das obras civis.

Neste trabalho, são apresentados a metodologia aplicada na classificação geral e os ensaios utilizados para a caracterização e o comportamento das diversas feições encontradas nos locais de fundação das obras construídas.

As principais conclusões decorrem dos trabalhos de equipe integrada por técnicos da Eletronorte e Sondotécnica, durante a fase de projeto executivo. As diversas informações constam dos relatórios de andamento da obra que serviram de apoio para consultas técnicas e bibliográficas.

O autor deste trabalho fez parte do quadro da projetista no

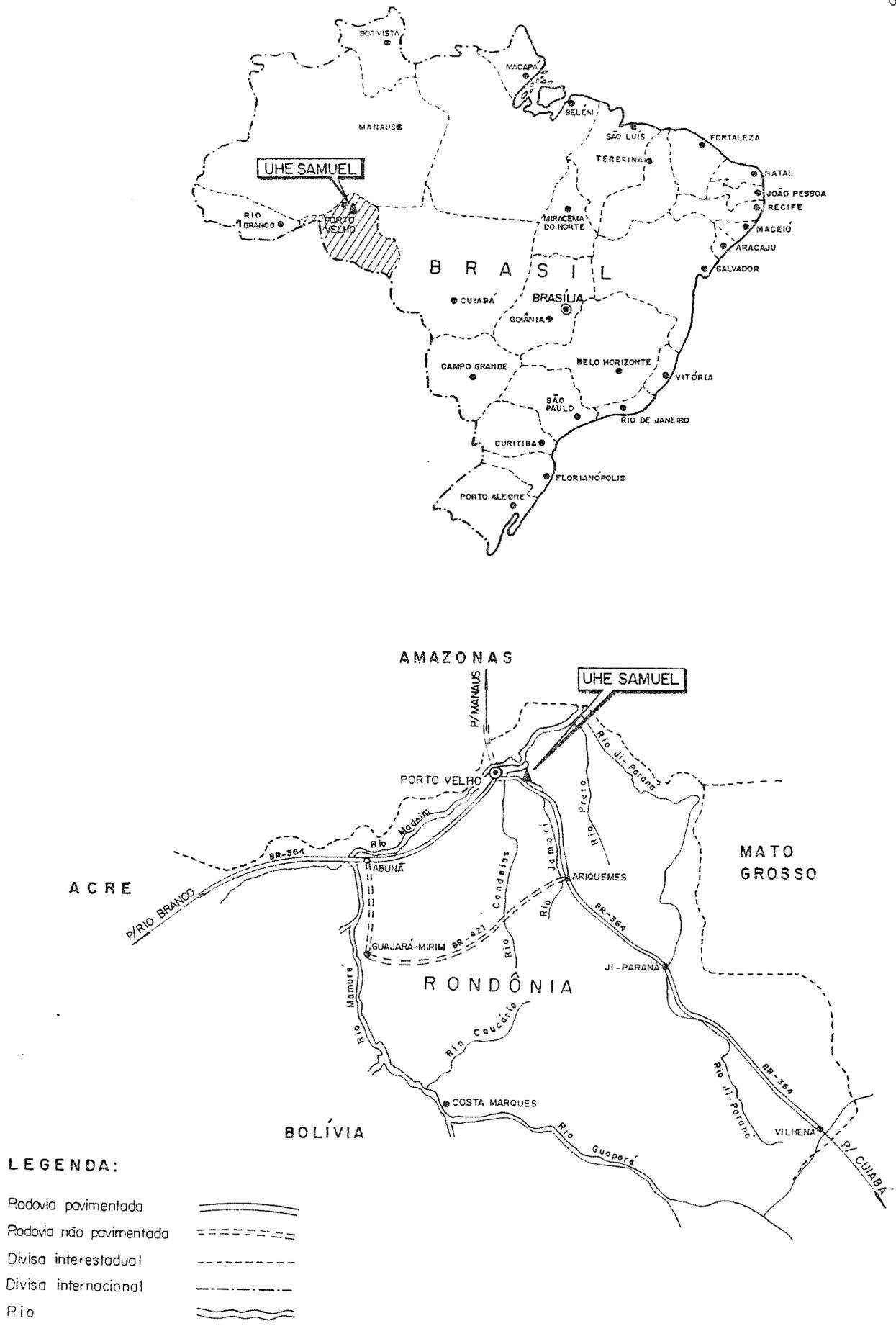


FIGURA 01 - Localização e Acessos

canteiro de obras entre 1982 a 1986, onde teve a oportunidade de acompanhar a execução dos serviços de campo.

## 2 - GEOLOGIA REGIONAL

### 2.1 - ASPECTOS GERAIS

A região de implantação da UHE Samuel e de seu reservatório possui geologia relativamente simples (figura 02), sendo constituída de rochas cristalinas do Complexo Jamari e da Suíte Intrusiva Rondônia (Projeto Noroeste de Rondônia, MME/DNPM/CPRM, 1975), de idade Pré-Cambriana (superior a 600 milhões de anos), de sedimentos continentais inconsolidados da Formação Içá, de idade quaternária (últimos 2,5 milhões de anos) e de solos eluviais, coluviais e aluviais, também quaternários, desenvolvidos a partir dos materiais mais antigos.

A distribuição e a identificação destes solos são complexas, em consequência da evolução geomorfológica regional desenvolvida durante os períodos terciário e quaternário.

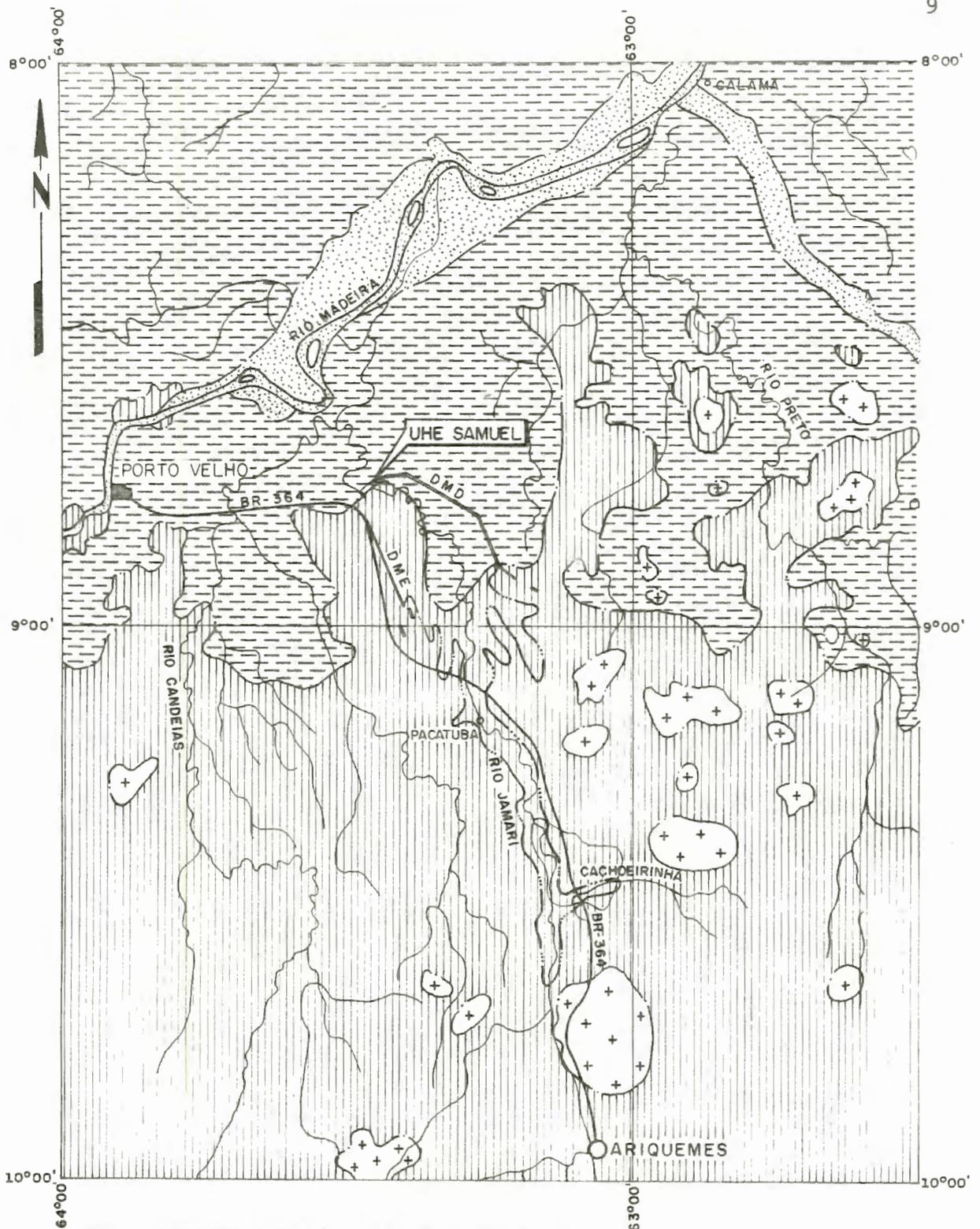
### 2.2 - GEOTECTÔNICA, ESTRATIGRAFIA E LITOLOGIA

A região situa-se na borda noroeste do escudo Brasil-Central, composto essencialmente de rochas e estruturas arqueanas, trabalhadas menos ou mais intensamente no evento tectônico transamazônico (+ 2 bilhões de anos) e localmente no evento rondoniense (1,0 a 1,3 milhões de anos).

O Complexo Jamari (Xingu) é representado principalmente por granitos metamórficos (de anatexia), gnaisses e migmatitos.

Os granitos de anatexia originaram-se da fusão de rochas vulcano-sedimentares pré-existentes e possuem estruturas nebulíticas e/ou homófonas típicas, com marcante isotropismo estrutural.

Predominam as texturas pegmatóides e porfiróides e podem, localmente, assumir fortes semelhanças mesoscópicas com os granitos intrusivos, que são geralmente de textura mais fina.



PERÍODO		FORMAÇÃO E/OU UNIDADE	CONVENÇÃO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA SUMÁRIA
QUATERNÁRIO	HOLOCENO	FORMAÇÃO ALUVIÓES RECENTES		SEDIMENTOS ARENOSOS SILTOSOS E ARGILOSOS, DEPÓSITOS DE LEITOS DE RIOS ATUAIS.
	PLEISTOCENO	FORMAÇÃO IÇÁ		SEDIMENTOS DEPOSITADOS EM AMBIENTES FLUVIAIS COMPLEXOS (PREDOMINANTEMENTE OXIDANTES E PARCIALMENTE LATERIZADOS)
PRÉ-CAMBRIANO	MÉDIO A SUPERIOR	SUITE INTRUSIVA RONDONIA		GRANITOS ANOROGÊNICOS E ROCHAS BÁSICAS INTRUSIVAS EM FORMA DE DIQUES.
	INFERIOR	COMPLEXO JAMARI		GRANITOS DE ANATEXIA E ROCHAS CATACLÁSTICAS DE ZONAS DE TECTONISMO INTENSO.

CONVENÇÕES :

- CONTATO LITOESTRATIGRÁFICO.
- DMD, DME - DIQUE MARGEM DIREITA, ESQUERDA.
- LIMITE DO RESERVATÓRIO.
- BR - 364.
- RIOS OU IGARAPÉS.



FONTE: RELATÓRIO SAM-13-2150-RE

FIGURA 02 - Mapa Geológico Regional

Estes granitos constituem as maiores ocorrências no Complexo Jamari e mantêm contatos gradacionais com as demais rochas desta unidade.

Os gnaisses possuem um certo interrelacionamento litológico-estrutural com os migmatitos, admitindo-se a existência de passagem de um tipo a outro, sendo raramente possível uma zona de contato. Estas ocorrências englobam corpos reliquiais de rochas anfibolitizadas, geralmente, sob forma de diques.

As ocorrências de fases recorrentes de tectonismo condicionaram a formação, em muitos locais, de gnaisses e de granitos cataclásticos, xistos, milonitos e brechas, a partir das rochas do Complexo Jamari.

A distribuição destas litologias é bastante irregular, ocorrendo com maior frequência em zonas restritas e alinhadas, próximo a grandes falhas, observando-se nestas áreas, em geral, processos de silicificação.

A Suíte Rondônia é composta por dezenas de maciços graníticos, pertencentes à família Rapaviki, com grande variação de tipos de rocha, de natureza calcialcalina a alcalina. São granitos anorogênicos e subvulcânicos, riolitos, riodacitos e graisens. Os corpos intrusivos constituem batólitos ou "stokes", em estruturas circulares, ovaladas e oblongas, que ocupam áreas de dezenas a centenas de quilômetros quadrados, e apresentando contatos bruscos com as rochas encaixantes.

Esta unidade é a mais importante do ponto de vista de recursos minerais, estando associada a jazimentos estaníferos (cassiterita), com alta concentração de topázio e de outros elementos (W, Ta, Nb, F, Li).

Cortando as rochas das duas unidades (Complexo Jamari e Suíte Intrusiva Rondônia) são encontradas intrusões de rochas básicas na forma de diques. A rocha mais comum é o diabásio,

ocorrendo também olivina-basalto, gabro ofítico e rochas uranitizadas.

A extensa sedimentação cenozóica que recobre a planície amazônica, com limite no escudo Brasil-Central para norte, recebeu as mais variadas designações desde o século passado. Através do reconhecimento da superfície na região do Alto Solimões (Maia et alii, 1977), foram individualizadas duas formações: Solimões e Içã, sendo que a última, de idade pleistocênica ou plio-pleistocência, recobre discortantemente a primeira, de idade mio-pliocena, da qual foi desmembrada.

A Formação Iça é predominantemente arenosa, podendo incluir intercalações de argilito cinza avermelhado e camadas de turfa. Os arenitos são friáveis, argilosos, brancos e amarelados, intercalando níveis centimétricos de ferrificações. Esta formação constitui uma planície com drenagem aberta, incluindo freqüentes paleomeandros, com relevo extremamente plano e interflúvios tabulares, apresentando sedimentos inconsolidados, parcialmente laterizados, mantendo localmente forte semelhança com as coberturas eluvial e/ou coluvial desenvolvidas sobre as rochas das unidades anteriores.

A unidade Aluviões Recentes engloba aluviões e coluviões que ocorrem nas calhas e nas planícies de inundações dos rios e igarapés da rede de drenagem atual. A granulometria varia entre cascalho e argila, destacando-se entretanto a fração areia.

### 2.3 - GEOMORFOLOGIA

A análise da compartimentação do relevo revela uma evolução geomorfológica bastante complexa, resultante da interação de fatores geotectônicos e climáticos e das oscilações do nível de base regional ocorridas principalmente durante o período Quaternário, sendo identificadas superfícies de aplainamento dispostas em níveis topográficos diferenciados (Projeto RADAM

Brasil, MME/DNPM, 1978).

A construção de aplainamentos regionais requer a coexistência de ambientes geologicamente estáveis e de processos geomorfológicos persistentes durante milhares de anos. Tais pediplanos resultam da coalescência de múltiplos pedimentos, que são formas de erosão de climas semi-áridos, suavemente inclinados, provocados por escoamentos pluviais difusos muito intensos e por movimentos de massa.

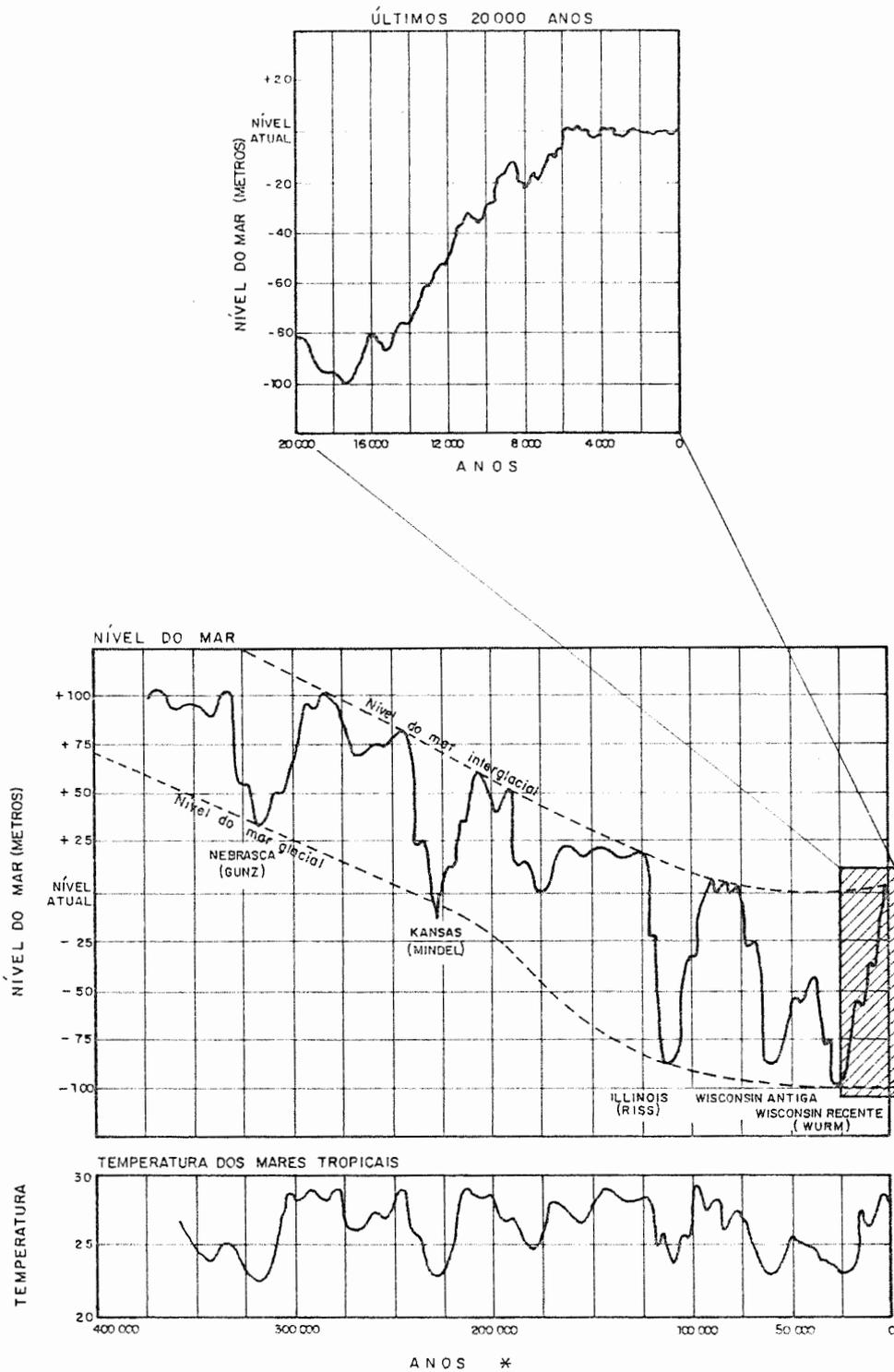
Os pediplanos constituem processos decorrentes essencialmente de recuo de encostas permanentemente íngremes, sofrendo grande translação horizontal, com maior ou menor lentidão em função da resistência das formas erodidas.

Os períodos de aridez assinalados por precipitações e escoamentos intensos favoreceram a mobilização de grandes massas e sedimentos e a erosão de espessos mantos alterados em fase anterior úmida.

Tais condições climáticas resultaram em recobrimentos detríticos e/ou superfícies aplainadas, truncando o relevo trabalhado sob o clima anterior.

Enquanto no Terciário o clima foi consideravelmente mais quente que o atual, durante o quaternário a Terra foi caracterizada por uma sucessão de épocas glaciais; com temperaturas acentuadamente inferiores às atuais, alternadas com épocas interglaciais, de temperatura ligeiramente superiores às atuais. A figura 03 apresenta a curva representativa das flutuações do nível do mar, durante as glaciações quaternárias (Fairbridge, 1961).

As características principais contrastantes das épocas glaciais e interglaciais, sob o ponto de vista do processo de sedimentação, com mecânica do intemperismo, transporte e deposição continental, podem ser descritas como apresentado a seguir:



FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DO MAR SEGUNDO FAIRBRIDGE R.W - "EUSTATIC CHANGES IN SEA LEVEL" - PHYSICS AND CHEMISTRY OF THE EARTH - VOL 4 - 1961

\* NOTA:

DATAÇÕES POSTERIORES (LAPORTE, LF - AMBIENTES ANTIGOS DE SEDIMENTAÇÃO - 1969 - EDITORA DA U.S.P) INDICARAM AS SEGUINTE IDADES PARA AS EPOCAS GLACIAIS

- WURM / WISCONSIN - 15 000 A 110 000 ANOS
- RISS / ILLINOIS - 330 000 A 415 000 ANOS
- MINDEL / KANSAS - 1060 000 A 1200 000 ANOS
- GUNZ / NEBRASCA - 1308 000 A 1500 000 ANOS

FIGURA 03 - Glaciações Quaternárias - Flutuações do nível do mar

Na época glacial a temperatura média anual da superfície cai para um nível muito abaixo do atual, o clima se torna mais seco nas regiões equatoriais e migram a flora e a fauna.

Quanto à água, esta se acumula em grandes geleiras, ocupando extensas áreas a partir dos pólos e das altas cadeias de montanhas e, conseqüentemente, o nível do mar desce dezenas de metros.

Toda a rede de drenagem do globo entra em franca erosão, aumentando consideravelmente a capacidade de transporte dos cursos d'água, predominando fortemente o intemperismo mecânico sobre o químico, dando origem preferencialmente a solos imaturos, feldspáticos e/ou líticos.

O manto de intemperismo das áreas elevadas é removido e transportado através das encostas, mediante escoamento em lençol, durante curtos períodos de chuvas torrenciais, favorecendo a formação de sedimentos e de leques aluviais, próximo às elevações, e de depósitos aluviais bem selecionados no fundo dos vales. Esta mecânica é favorecida pelo domínio da vegetação herbácea, representativa de savanas, que não retém o solo.

Na época interglacial a temperatura média anual da superfície sobe sensivelmente; o clima nas regiões equatoriais se torna muito úmido, migram a flora e a fauna e as geleiras recuam, ocupando áreas restritas nos pólos e nos topos das grandes cadeias de montanhas.

Com o degelo, grande volume de água é liberado, provocando o aumento do nível do mar e reduzindo a capacidade de transporte dos rios, inundando toda a rede de drenagem, em especial a das áreas mais baixas, provocando um rápido assoreamento dos vales. Os rios começam a meandrar, saindo de seus leitos bem definidos da época glacial anterior.

O intemperismo químico predomina francamente sobre o físico, iniciando-se a formação de espesso manto de solo. A floresta

tropical, nas baixas latitudes, ocupa o lugar das savanas, protegendo o solo e contribuindo para o intemperismo químico e os rios, com pequena capacidade de transporte, depositam sedimentos predominantemente finos, em ambiente de planície de inundação. Desta forma, por se tratar de uma região predominantemente baixa, a Amazônica foi muito sensível às oscilações do nível do mar no quaternário.

Os trabalhos geológicos de âmbito regional, as investigações geoeconômicas para a pesquisa de cassiterita em Rondônia, e as investigações geológico-geotécnicas desenvolvidas para o projeto da UHE Samuel revelaram que a área foi escavada em profundos paleovales; pelo menos até a cota zero nas proximidades da Obra, provavelmente na penúltima época glacial (Riss ou Illinois).

Os paleovales foram parcialmente preenchidos na época interglacial seguinte (Riss/Wurn ou Illinois/Wisconsin), submetidos posteriormente a novo aprofundamento da erosão na última época glacial (Wurn ou Wisconsin) e em seguida preenchidos, gradativamente, em consequência de ascensão do nível de base até a última transgressão marinha (Flandriana), quando o nível do mar atingiu cerca de 4,0 a 6,0 m acima do atual. A regressão após esta última transgressão teria provocado a retomada da erosão pela rede de drenagem, processo atualmente em desenvolvimento.

Entende-se por paleovales os vales relativamente profundos e amplos, com fundo plano e margens escarpadas, preenchidos durante o pleistoceno (Quaternário) por um conjunto de camadas caracterizadas por grande heterogeneidade de materiais, nos quais se incluem os depósitos de paleocanais. Estes materiais, depositados sob regime fluvial de grande capacidade de transporte, são constituídos principalmente de areia, com algumas intercalações de sedimentos de granulação fina.

O aproveitamento de Samuel está situado no triplo domínio de interação entre os processos atuais, os do quaternários mais

antigos e os do terciário, envolvendo os materiais do embasamento rochoso original, profundamente intemperizados e retrabalhados nos períodos mencionados.

Na figura 04 é apresentado um corte esquemático ilustrando a morfologia regional, desenvolvida segundo os processos descritos acima.

Os trabalhos realizados não permitiram definir a relação precisa entre a Formação Içá e os sedimentos de preenchimento dos paleovales, inclusive pelo fato da área estudada ser muito pequena quando comparada com a área de ocorrência desta Formação. Os paleovales desenvolveram-se, tanto sobre os sedimentos da Formação Içá quanto sobre as rochas e os solos do escudo cristalino.

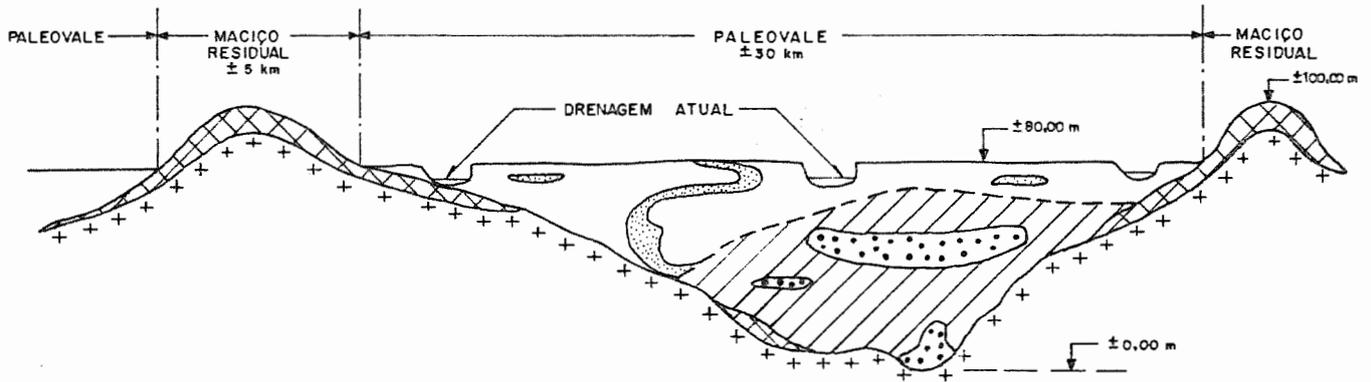
Desta forma, a Formação Içá, representada nos mapas geológicos regionais, abrange os sedimentos depositados em diferentes estágios do período quaternário.

#### 2.4 - HIDROGEOLOGIA

O ciclo hidrológico (Bloom, 1969) é o sistema pelo qual a natureza faz a água circular da crosta para atmosfera e retornar a esta devido a um conjunto de processos relacionados com o tempo e o espaço.

A circulação contínua da água, conceituadamente, inicia-se pelos reservatórios terrestres, uma vez que estes cobrem aproximadamente 3/4 da superfície da terra.

A irradiação solar, associada ao desprendimento de calor do núcleo terrestre, provoca a evaporação das águas superficiais formando nuvens. Sob certas condições (temperatura, pressão atmosférica, ventos, etc.) ocorre a concentração, condensação e posterior precipitação destas nuvens sob a forma de chuvas, granizo ou neve. Calcula-se que aproximadamente  $33,5 \times 10^{15}$  l nos oceanos e  $6,5 \times 10^{15}$  l nos continentes são evaporados anualmente e da precipitação de  $40 \times 10^{15}$  l, cerca de  $10 \times 10^{15}$  l são precipitados sobre os continentes. Parte da água



### CONVENÇÕES

	DEPÓSITO DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO - CICLO MAIS JOVEM		DEPÓSITO DE PALEOCANAL CICLO ANTIGO
	DEPÓSITO DE PALEOCANAL CICLO MAIS JOVEM		SOLO RESIDUAL E COLUVIAL (RECENTE E ANTIGO)
	DEPÓSITO DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO - CICLO ANTIGO		MACIÇO ROCHOSO (GRANITO GNAISSE, MIGMATITO, ETC.)
	SUPERFÍCIE DE EROSIÃO		

FONTE: JURY W. J - SGS - 833, SÃO CARLOS 1987

FIGURA 04 - Morfologia regional - Corte esquemático SEM ESCALA

precipitada escoar superficialmente em direção aos cursos de água. Outra parte porém infiltra no solo movendo através dos poros da matéria do subsolo, alcançando os reservatórios de água subterrânea. A água subterrânea estabelece um nível oscilante denominado nível d'água freático e pode aparecer superficialmente onde for superior ao nível topográfico do terreno, originando fontes e cursos de água.

A ocorrência de água na subsuperfície está relacionada com as condições físicas dos materiais ou formações geológicas e com fatores de infiltração. As condições de infiltração dependem principalmente da natureza do solo, do estado de umidade do solo por ocasião da precipitação e da rede de drenagem da bacia hidrográfica.

Na bacia do rio Jamari considera-se a existência de duas unidades hidrogeológicas distintas, relacionadas com as seguintes litologias: as rochas cristalinas do Complexo Jamari e da Suíte Intrusiva Rondônia com seus respectivos mantos de solos residuais e os depósitos sedimentares de preenchimento dos paleovales e da Formação Iça.

A unidade relacionada com as rochas cristalinas é praticamente desprovida de vazios intergranulares, exceto na camada superficial que constitui o manto de solo. Desta forma, a água subterrânea fica limitada aos vazios proporcionados pelas estruturas geológicas rígidas, basicamente as falhas e as fraturas, e só se estabelece lençol freático na camada de solo.

Nestas rochas as condições de recarga dependem fundamentalmente do relevo, da espessura e da permeabilidade da camada de solo sobrejacente, enquanto as de circulação e armazenamento de água subterrânea dependem das características hidrogeológicas das falhas e fraturas, notadamente das suas aberturas e de seus preenchimentos, permeabilidade e continuidade.

Os depósitos sedimentares propiciam o estabelecimento da

bacia aquífera, com lençol freático contínuo desenvolvendo-se a partir do nível da drenagem, no sentido ascendente das encostas. As condições de recarga, circulação, armazenamento e captação da água subterrânea são determinadas fundamentalmente pelos vazios intergranulares dos sedimentos e anormalmente pela ocorrência de canalículos.

Ressalta-se que são comuns as ocorrências de zonas argilosas (colúvios e sedimentos de planície de inundação) altamente permeáveis, mais ainda do que as camadas arenosas dos paleocanais, devido à presença localizada de densa rede de canalículos.

Na área pediplanizada o lençol freático sofre grandes variações sazonais, permanecendo praticamente à superfície no período chuvoso (outubro a março), onde formam extensas áreas alagadas, aprofundando-se cerca de 10,0m no período de estiagem.

### 3 - GEOLOGIA DA ÁREA DE INTERVENÇÃO

São consideradas como áreas de intervenção da UHE Samuel o local da barragem, onde estão implantadas as obras principais e o canteiro, os diques das margens direita e esquerda, e as áreas de exploração dos materiais naturais de construção.

#### 3.1 - LOCAL DA BARRAGEM

Das litologias ocorrentes na região, já discutidas anteriormente, interessam ao local da barragem o granito do Complexo Jamari e os solos residuais, coluviais e aluviais.

O granito ocorre em afloramentos na calha do rio, na ilha e nas margens imediatamente adjacentes. Nas áreas cobertas por solos, em ambas as margens, o maciço rochoso situa-se em cotas extremamente variadas, uma vez que mergulha, a partir dos afloramentos, nos sentidos de montante e jusante do eixo da barragem, e ascende suavemente no sentido da margem esquerda, onde ocorrem as maiores elevações topográficas do local.

Ressalta-se que o leito do rio Jamari, a montante e a jusante da cachoeira de Samuel, se desenvolve sobre aluviões antigos, de preenchimento de paleovales, somente ocorrendo rochas em pontos esparsos e localizados, sendo que os mais próximos se situam a mais de 2 km do local da barragem.

As duas principais famílias de fraturas possuem mergulhos subverticais ( $70^0$  a  $90^0$ ) e são entre si aproximadamente ortogonais. Uma terceira família, de grande importância para a estabilidade das obras de concreto, possui mergulho subhorizontal ( $0^0$  a  $20^0$ ), acompanhando aproximadamente a topografia e tendo sido originada por alívio de tensões.

Os solos residual e coluvial ocorrem em ambas as margens, com espessuras extremamente variadas, geralmente crescentes no sentido do afastamento dos afloramentos, atingindo valores

superiores a 40m. Os horizontes superiores destes solos apresentam forte laterização, sendo comum a presença de concreções lateríticas.

Os solos aluviais são representados por depósitos atuais, no leito do rio e nas planícies de inundação, e por depósitos antigos, de preenchimento dos paleovales.

O coeficiente de permeabilidade nesses solos é bastante variável, estando os valores associados à existência de estruturas canaliculares e, eventualmente, à ocorrência de lentes e paleocanais arenosos.

### 3.2 - LOCAIS DOS DIQUES

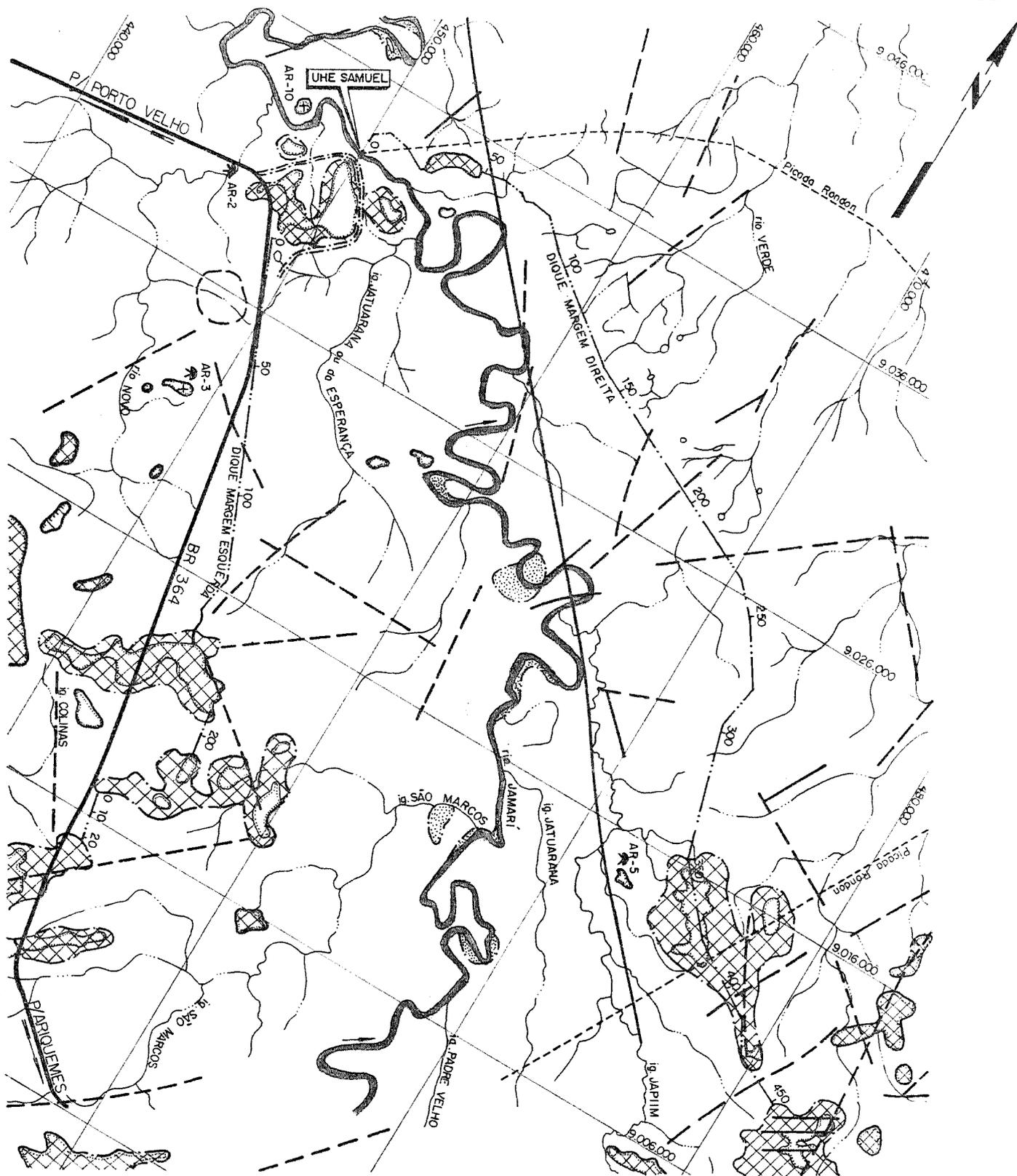
A constituição e as propriedades dos terrenos das fundações dos diques da UHE Samuel estão associadas não apenas à complexidade dos processos geomorfológicos, mas também à ocorrência de canalículos de diversos tipos.

O local onde foram assentados os diques são caracterizados como sedimentares quaternários (Formação Içã e depósito de preenchimento de paleovales) e solos residuais nas elevações que delimitam os trechos parciais dos diques. A análise dos resultados das investigações possibilitou indentificar e caracterizar as diversas camadas e lentes de materiais, definindo suas características geológico-geotécnicas e hidrogeológicas.

A figura 05 apresenta o mapa geológico da área dos diques e as figuras 06, 07 e 08 as seções geológico-geotécnicas ao longo dos mesmos.

#### 3.2.1 - Solos Residuais de Granito

Ocorrem próximo ao leito do rio nas margens direita e esquerda, recobrando o maciço rochoso e, em pontos



FONTE: DOC. SAM - 13 - 2152

**CONVENÇÕES**

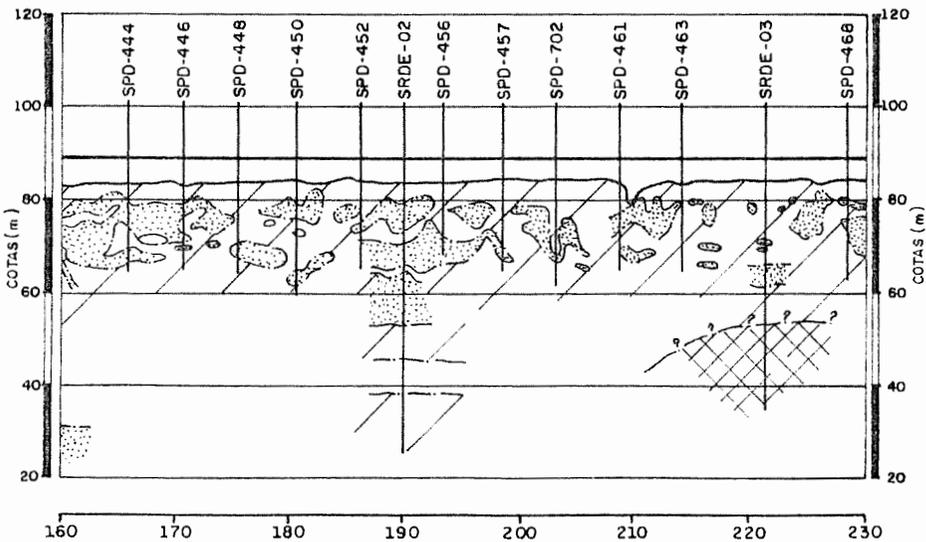
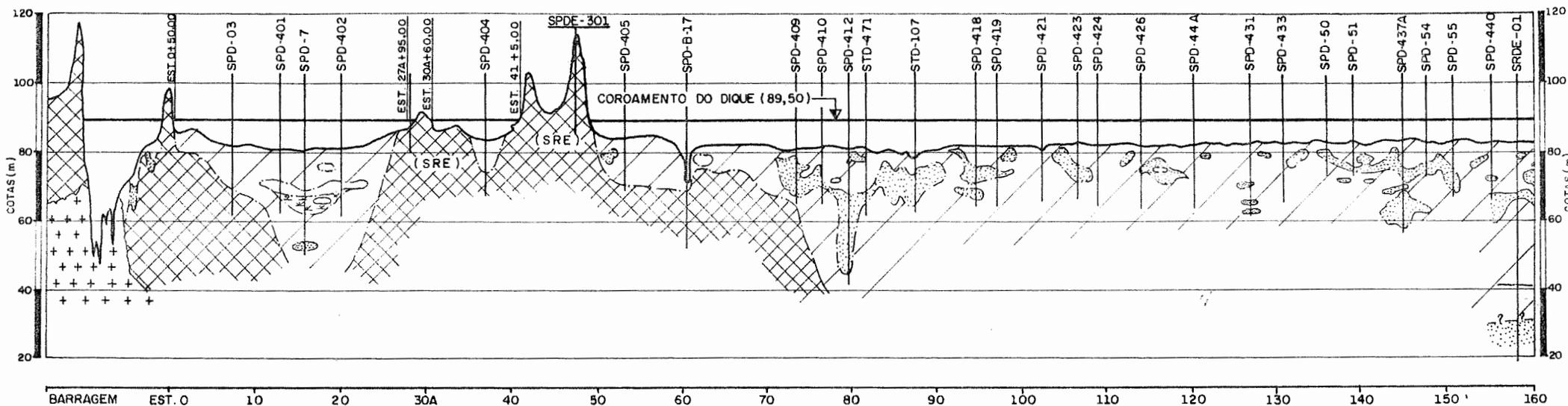
- |  |                     |  |                                      |
|--|---------------------|--|--------------------------------------|
|  | RIO, IGARAPÉ        |  | CONTATO LITOLÓGICO                   |
|  | ESTRADA PAVIMENTADA |  | AR PEDREIRA                          |
|  | ESTRADA SECUNDÁRIA  |  | ALUVIÕES ATUAIS                      |
|  | PICADA              |  | SEDIMENTOS DE PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO |
|  | FALHA               |  | SOLO RESIDUAL                        |
|  | FRATURA             |  | ROCHA GRANÍTICA                      |
|  | DIQUES              |  | ELEVAÇÃO TOPOGRÁFICA RESIDUAL        |

0 2 4 6 8 10 km  
 ESCALA APROXIMADA 1:200.000

**NOTAS:**

- 1- AS ELEVAÇÕES TOPOGRÁFICAS FORAM IDENTIFICADAS ATRAVÉS DE FOTOINTERPRETAÇÃO.
- 2- AS ESTRUTURAS GEOLÓGICAS (FALHA, FRATURA) ESTÃO BASEADAS NO MAPA GEOLÓGICO DO PROJETO PROVÍNCIA ESTANIFÉRA DE RONDÔNIA (DNPM/ CPRM, 1978).
- 3- OS SEDIMENTOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO PREENCHERAM PALEOVALES NOS SEDIMENTOS DE FORMAÇÃO IÇÁ E NAS ROCHAS E SOLOS DO ESCUDO.

FIGURA 05 - Área de intervenção - Mapa Geológico



**NOTAS:**

- 1 - A distância entre as estacas é de 100 metros.
- 2 - A posição do dique é apresentada no mapa geológico da figura 5.
- 3 - Estão indicadas na seção apenas as sondagens mais representativas, utilizadas para definir as feições litológicas em sub-superfície.

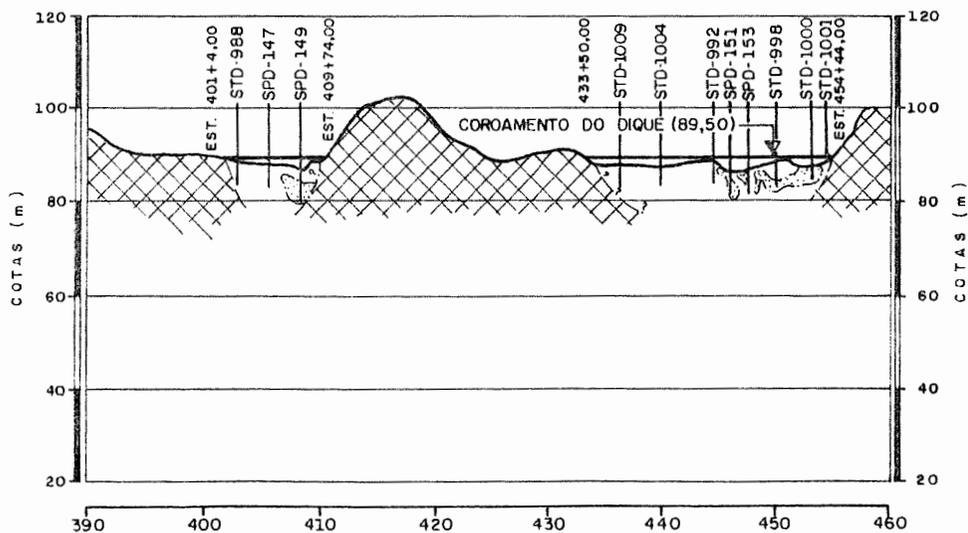
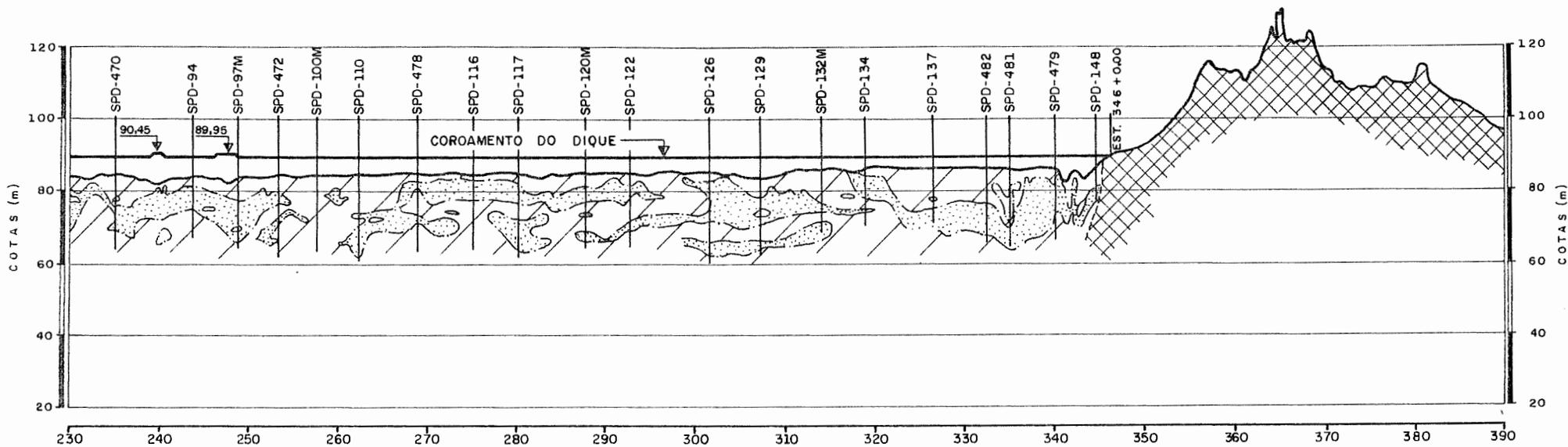
**CONVENÇÕES:**

- DEPÓSITOS DE PREENCHIMENTO (SEDIMENTOS ARGILOSOS COM MATÉRIA ORGÂNICA).
- DEPÓSITOS DE PLANÍCIES DE INUNDAÇÕES (SEDIMENTOS ARGILOSOS E SILTOSOS).
- DEPÓSITOS DE PALEOCANAIS (ALUVIÕES ARENOSOS).
- SOLO COLUVIAL.
- SOLO RESIDUAL DE GRANITO.
- GRANITO.
- CONTATO LITOLÓGICO
- CONTATO INFERIDO

Esc. Original V = 1: 200  
H = 1: 20 000

FONTE: DOC. SAM-13-2153

FIGURA 06 - Dique da margem direita - Seção Geológica Longitudinal FI. I/II



**NOTAS:**

- 1 - A distância entre as estacas é de 100 metros.
- 2 - A posição do dique é apresentada no mapa geológico da figura 5.
- 3 - Estão indicadas na seção apenas as sondagens mais representativas, utilizadas para definir as feições litológicas em sub-superfície.

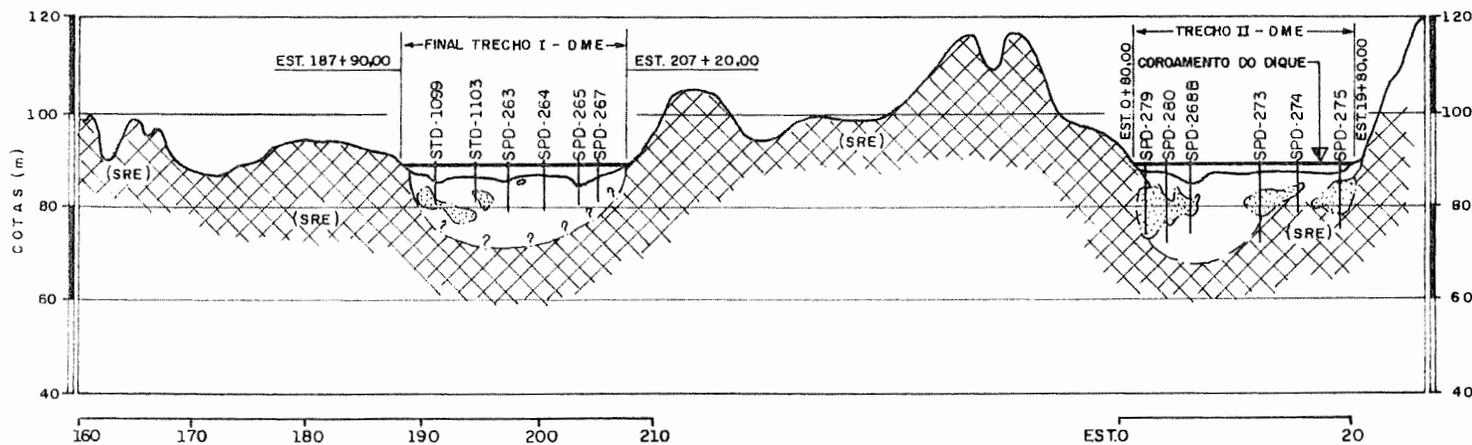
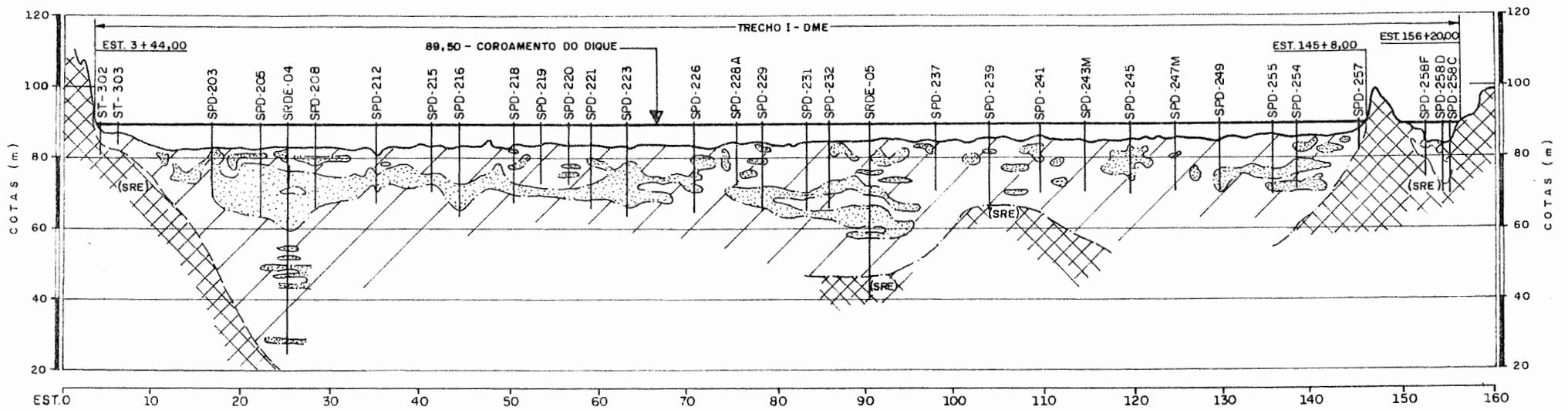
**CONVENÇÕES:**

-  DEPÓSITOS DE PREENCHIMENTO (SEDIMENTOS ARGILOSOS COM MATÉRIA ORGÂNICA).
-  DEPÓSITOS DE PLANÍCIES DE INUNDAÇÕES (SEDIMENTOS ARGILOSOS E SILTOSOS).
-  DEPÓSITOS DE PALEOCANAIS (ALUVIÕES ARENOSOS).
-  SOLO COLUVIAL.
-  SOLO RESIDUAL DE GRANITO.
-  GRANITO.
-  - - - - - CONTATO LITOLÓGICO
-  - ? - ? - - CONTATO INFERIDO

Esc. Original V = 1: 200  
H = 1: 20 000

FORNE: DOC. SAM-13-2153

FIGURA 07 - Dique margem direita - Seção Geológica Longitudinal  
FI. II/II



**NOTAS:**

- 1 - A DIST. ENTRE AS ESTACAS É DE 100 METROS
- 2 - A POSIÇÃO DO DIQUE É APRESENTADA NO MAPA GEOLÓGICO DA FIGURA 5.
- 3 - ESTÃO INDICADAS NA SEÇÃO APENAS AS SONDAGENS MAIS REPRESENTATIVAS, UTILIZADAS PARA DEFINIR AS FEIÇÕES LITOLÓGICAS EM SUB-SUPERFÍCIE.

**CONVENÇÕES:**

- DEPOSITOS DE PREENCHIMENTO (SEDIMENTOS ARGILOSOS COM MATERIA ORGANICA).
- DEPOSITOS DE PLANICIES DE INUNDAÇÃO (SEDIMENTOS ARGILOSOS E SILTOSOS).
- DEPOSITOS DE PALEOCANAIAS (ALUVIÕES ARENOSOS).
- SOLO COLUVIAL.
- SOLO RESIDUAL DE GRANITO.
- GRANITO.
- CONTATO LITOLÓGICO
- ?-?- CONTATO INFERIDO

FONTE: DOC. SAM-13-2154

FIGURA 08 - Dique da margem esquerda - Seção Geológica Longitudinal

Esc. Original V = 1: 200  
H = 1: 20 000

localizados, nas superfícies elevadas da área dos diques.

A partir das margens do rio Jamari em direção às ombreiras, as possanças aumentam, atingindo mais de 40,0m de profundidade. Ao longo dos diques ocorrem variavelmente a grandes profundidades, sendo que nas investigações realizadas o maciço rochoso não foi alcançado.

Os solos residuais foram caracterizados, em sua totalidade, através de ensaios de laboratório e campo, com a textura predominante siltosa com frações variáveis de areia e argila, coloração vermelha a variegada, apresentando níveis e concreção laterizados.

A permeabilidade varia geralmente de  $1,0 \times 10^{-4}$  a  $5,0 \times 10^{-5}$  cm/s. Todavia foram obtidos valores anômalos da ordem de  $10^{-1}$  e  $10^{-2}$  cm/s, em função da presença de cavidades (canalículos) até uma profundidade de 8,0m.

A resistência à penetração SPT desses solos apresentou, em todas as sondagens, índices superiores a dez golpes.

### 3.2.2 - Colúvios

Os solos coluviais, incluindo o horizonte superficial removido pela atividade biológica, ocorrem de maneira generalizada na área da barragem e dos diques, formando geralmente capeamentos poucos espessos (da ordem de 0,5 a 5,0m) sobre os solos residuais e os sedimentos inconsolidados.

A textura é predominante argilo-siltosa com frações subordinadas de areia e com maior concentração de matéria orgânica nas camadas mais superficiais. Apresentam, também, horizontes com laterização incipiente e às vezes com nódulos e concreções ferruginosas.

Esses solos exibiram, geralmente, baixa resistência à penetração SPT (2 a 5 golpes), crescente com a

profundidade, e valores anômalos mais elevados em pontos de ocorrência de concreções lateríticas.

A consistência variou de mole a dura, e nos ensaios de compressibilidade em laboratório não apresentaram características de colapsibilidade.

Quanto à permeabilidade "in situ", verificou-se a variação entre os valores de  $1,0 \times 10^{-4}$  a  $5,0 \times 10^{-5}$  cm/s, sendo muito freqüente a ocorrência de valores anômalos, da ordem de  $1,20 \times 10^{-2}$  cm/s, que se deve principalmente à grande concentração de canalículos, que na parte mais superficial do colúvio adquirem direções aleatórias, ao invés da atitude predominantemente subvertical.

### 3.2.3 - Aluviões

Constituem depósitos arenosos atuais e antigos com larga distribuição geográfica em toda a área dos diques.

Os aluviões atuais são predominantemente arenosos e ocupam principalmente a calha do rio Jamari, onde ocorrem sistematicamente submersos com espessuras variáveis, atingindo mais de 15,0m. São encontrados em maior quantidade a jusante da cachoeira de Samuel, onde o vale do rio aumenta de largura.

Ocorrem também nas planícies marginais do rio, a montante e a jusante da ilha, constituindo depósitos periodicamente inundáveis. É comum a ocorrência de lentes de sedimentos mais finos e eventualmente argila orgânica.

Quanto à compacidade, as camadas superficiais apresentaram-se fofas, tornando-se medianamente compactas a compactas na medida em que aumentam em profundidade. Apresentaram permeabilidade da ordem de  $10^{-1}$  a  $10^{-2}$  cm/s, para o material arenoso do leito do rio e da ordem  $10^{-2}$  a  $10^{-4}$  cm/s para os depósitos marginais mais finos.

### 3.2.4 - Sedimentos Arenosos de Paleocanal

Os paleocanais apresentam solos de textura arenosa, variando de areia média a cascalhos, e ocorrem em lentes ou bolsões que se encontram próximos à superfície ou a grandes profundidades.

Especialmente na área dos grandes igarapês, existem casos em que se situam a profundidades superiores a 15,0m. Possuem distribuição espacial aleatória e espessura de poucos centímetros a mais de 10,0m.

Apresentaram-se pouco compactos a compactos, com valores de permeabilidade da ordem de  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$  cm/s.

São depósitos de areia limpa, apresentando, geralmente no seu topo, contaminação por solos finos, siltes e argilas até uma espessura média de 0,5m. Nessas camadas contaminadas o coeficiente de permeabilidade é da ordem de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s.

### 3.2.5 - Sedimentos da Planície de Inundação

Os sedimentos da planície de inundação são os de maior ocorrência na área dos diques, apresentando espessuras variáveis, que podem chegar a dezenas de metros. Representaram a principal condicionante em termos de permeabilidade por encerrar a maior concentração de canalículos e cavidades.

São de textura predominantemente silto-argilosa, de plasticidade média a elevada e consistência de mole a dura, sendo que as camadas mais superficiais são em geral de menor consistência, com tendência a aumentar gradativamente com a profundidade.

Esses sedimentos apresentam-se parcialmente laterizados nos dez primeiros metros de profundidade. A laterização é

variável com a profundidade, ocorrendo desde incipiente até concreções consistentes. É bastante comum a ocorrência de laterização em forma de estrutura esquelética, com grande quantidade de cavidades total ou parcialmente preenchidas por solo argiloso flocoado fofo.

Apresentaram valores de permeabilidade variando de  $5,50 \times 10^{-2}$  a  $2,90 \times 10^{-6}$  cm/s, obtidos nos vários ensaios realizados em sondagens a percussão, e de  $0,90 \times 10^{-2}$  cm/s a  $6,70 \times 10^{-3}$  cm/s, nos ensaios de bombeamento em trincheiras e poços tubulares profundos. Os valores mais altos se concentraram principalmente na faixa de ocorrência dos canaliculos, que corresponde à zona de variações do lençol freático, ou seja, nos dez primeiros metros de profundidade. Abaixo dessa profundidade, os valores de permeabilidade decresceram para valores compatíveis com as características granulométricas dos sedimentos (da ordem de  $10^{-4}$  cm/s a  $10^{-5}$  cm/s), o que certamente caracteriza uma menor frequência de cavidades e canaliculos.

#### 4 - MÉTODOS DE INVESTIGAÇÕES PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CAVIDADES

##### 4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

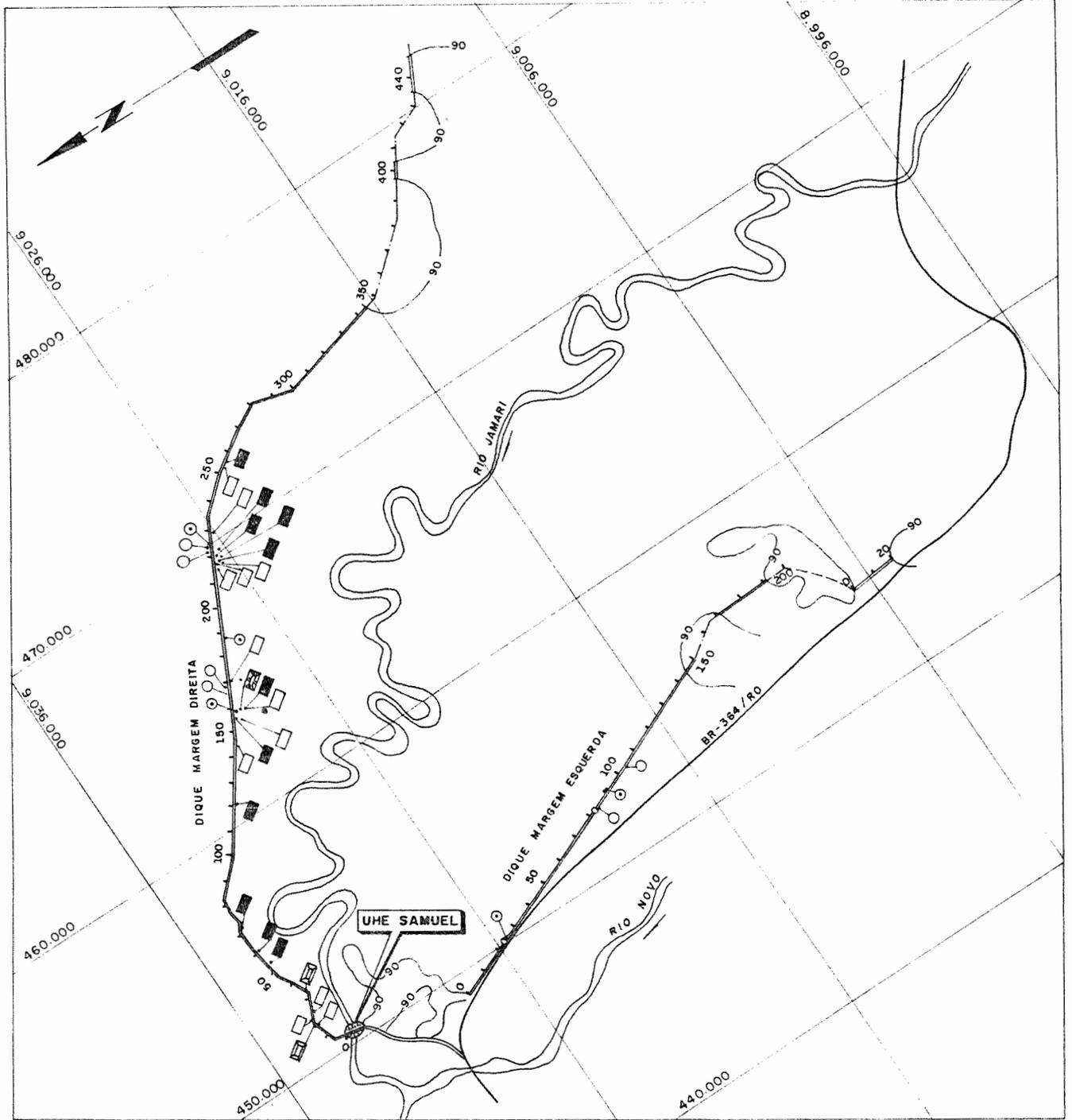
Na fase do projeto básico, foram programadas investigações geológico-geotécnicas através de métodos convencionais, onde a quantidade executada foi suficiente para a caracterização dos materiais de construção e das condições do terreno das fundações, dentro do nível de conhecimento até então estudado, no que se referia à geologia da região.

Durante o projeto executivo, as atividades de campo resultaram na exposição dos terrenos de fundação em decorrência dos desmatamentos e escavações obrigatórias. Foi observada, através do mapeamento sistemático, a existência de cavidades em solos cujas origens estão supostamente ligadas a fenômenos biológicos e físico-químicos e a interação de ambos.

Desta forma, devido ao ineditismo da situação encontrada, onde as cavidades se apresentavam com características variadas, foi elaborado um programa minucioso de investigação incluindo técnicas não convencionais, de aplicação pioneira na área de barragens, para a determinação dos locais de ocorrência das feições e seu comportamento quanto às condições morfológicas, geotécnicas e hidráulicas.

Essa programação especial foi realizada por técnicos da projetista, com a devida aprovação da Eletronorte, e a assessoria de especialistas e laboratórios das áreas de estudo envolvidas como biólogos, zoólogos, geoquímicos e pedólogos.

A figura 09 e o quadro 01 apresentam a posição e um quadro-resumo das investigações geológico-geotécnicas executadas para o projeto, nos locais das obras civis e nas áreas de exploração dos materiais naturais de construção.



- ▭ - ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM CAVA RASA ( MATSUO )
- ▣ - ENSAIO MACROTESTE DE PERMEABILIDADE DA FUNDAÇÃO
- - ENSAIOS DE BOMBEAMENTO E RECUPERAÇÃO EM POÇO TUBULAR PROFUNDO
- ⊙ - SONDAGENS ROTATIVAS PARA DATAÇÃO DE SEDIMENTOS
- - ENSAIOS DE BOMBEAMENTO E RECUPERAÇÃO EM TRINCHEIRAS
- - ENSAIOS DE COMUNICABILIDADE EM TRINCHEIRAS COM AUXILIO DE TRAÇADORES



ESTACAS DISTANCIADAS DE 100 EM 100 METROS

OBS :

SONDAGENS A TRADO, A PERCUSSÃO E POÇOS DE INSPEÇÃO FORAM EXECUTADAS PARA INVESTIGAÇÃO DA FUNDAÇÃO E ÁREAS DE EMPRÉSTIMO AO LONGO DOS DIQUES .

FONTE: RELATÓRIO SAM-13-2150-RE

FIGURA 09 - Esquema das posições das investigações especiais

DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS		BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO, MARGEM DIREITA	BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM ESQUERDA	MARGEM DIREITA	CALHA DO RIO	MARGEM ESQUERDA	ÁREAS DE EMPRÉSTIMO PARA BARRAGENS	T O T A L	
Sondagem Rotativa	Quantidade de furos	6	2	5	3	9	-	25	
	Perfuração e amostragem em solo (m)	2,33	15,05	181,57	11,27	143,28	-	353,83	
	Perfuração e amostragem em rocha (m)	179,69	15,05	22,57	85,88	65,39	-	368,76	
Sondagem a Percussão	Quantidade de furos	9	-	368	-	164	3	544	
	Perfuração e amostragem (m)	220,7	-	5.386,45	-	2.112,48	62,45	7.782,08	
Sondagem a Trado	Quantidade de furos	50	-	1.671	-	587	244	2.552	
	Perfuração e amostragem (m)	313,00	-	9.180,90	-	3.040,30	2.463,34	14.997,54	
Poços de Inspeção + Trincheiras	Quantidade	6	-	512	-	212	5	735	
	Perfuração e amostragem (m)	28,25	-	2.663,1	-	787,45	50	3.528,80	
Ensaio Especial de Campo (Quantidade)	Ensaio de Infiltração	Em cava rasa tipo Matsuo	-	-	2	-	-	-	2
		Com permeamento em poço de inspeção	-	-	2	-	-	-	2
			2	2	-	-	-	-	4
		Em furos de sondagem	18	-	1.734	70	389	-	2.211
	Ensaio de perda d'água em sondagem rotativa		59	-	6	23	24	-	112
	Ensaio de Bombeamento e Recuperação	Em poço tubular profundo-PTP	-	-	4	-	2	-	6
		Em trincheiras	-	-	34	-	-	-	34
	Ensaio de comunicabilidade em trincheiras com auxílio de traçadores fluorescentes		-	-	13	-	-	-	13
		-	-	1	-	-	-	1	
Ensaio macroteste de permeabilidade das fundações		-	-	1	-	-	-	1	
Ensaio Especial de Laboratório (Quant.)	Ensaio de erodibilidade de canalículos	-	-	8	-	4	-	12	
	Ensaio laboratorial de datação de sedimentos	-	-	4	-	2	-	6	

Quadro 01 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - QUANTITATIVO

## 4.2 - INVESTIGAÇÕES CONVENCIONAIS E ESPECIAIS

### 4.2.1 - Sondagens a Trado, a Percussão, Poços de Inspeção e Trincheiras de Reconhecimento

Estas investigações foram realizadas de acordo com as Diretrizes básicas da ABGE (Boletins nº 3, 1977 e nº 4, 1981) com o objetivo básico de:

- Conhecimento em subsuperfície das diversas camadas que constituem o perfil do solo e sua caracterização quanto a granulometria, cor, textura, grau de laterização, etc.
- Definição das fundações das diversas obras com relação ao traçado original e às modificações efetuadas quando da execução em campo.
- Definição das feições geológico-geotécnicas e suas implicações para as obras previstas.
- Observações táctil-visual direta dos diversos tipos de solo e mapeamento geológico sistemático da distribuição espacial dos mesmos.
- Caracterização dos diversos tipos de solo quanto a deformabilidade, permeabilidade e resistência à penetração (SPT).
- Execução de ensaios de infiltração "in situ" e amostragem representativa para ensaios de laboratório.
- Observação direta de cavidades e a correlação de sua ocorrência nas diversas camadas do perfil do solo.

### 4.2.2 - Ensaio de Permeabilidade em Cava Rasa

Os ensaios de permeabilidade "in situ" em cava rasa, denominados também de ensaios Matsuo, tiveram como

finalidade avaliar a influência das cavidades na permeabilidade dos solos das fundações dos diques e permitir a comparação com a permeabilidade medida em amostras indeformadas nos testes de laboratório.

Foram realizados três ensaios, dois no mesmo local, porém com o fundo das cavas em cotas diferentes a jusante do dique da margem direita, e o terceiro localizado na fundação sobre o eixo do mesmo dique.

Os locais foram selecionados pela presença de grande quantidade de canalículos em solo superficial sedimentar da planície de inundação e em solo residual de granito.

Foram executados em dois estágios, seguindo orientações do Boletim nº 4 da ABGE (Ensaio de Permeabilidade em Solos, orientação para execução no Campo, 1981).

Para os cálculos foram consideradas taxas de evaporação, descontadas das vazões medidas, e uma temperatura média de 28° C para a permeabilidade a 20° C.

O primeiro ensaio apresentou como resultado a permeabilidade de  $1,60 \times 10^{-4}$  cm/s para as seguintes vazões de absorção:

- 1º estágio - 38,18 cm<sup>3</sup>/s;
- 2º estágio - 43,90 cm<sup>3</sup>/s.

O segundo apresentou a permeabilidade de  $2,24 \times 10^{-3}$  cm/s para as seguintes vazões:

- 1º estágio - 18,117 cm<sup>3</sup>/s;
- 2º estágio - 45,17 cm<sup>3</sup>/s.

As amostras indeformadas, através de testes de laboratório, apresentaram como resultados as seguintes permeabilidades:

- 1ª amostra

Horizontal:  $K_h = 2,0 \times 10^{-4}$  cm/s;

Vertical:  $K_v = 3,8 \times 10^{-4}$  cm/s.

- 2ª amostra

Horizontal :  $K_h = 2,3 \times 10^{-4}$  cm/s;

Vertical :  $K_v = 4,2 \times 10^{-4}$  cm/s.

O terceiro ensaio apresentou a permeabilidade variando entre  $2,09$  e  $3,60 \times 10^{-4}$  cm/s para as seguintes vazões:

- 1º estágio -  $21,19$  cm<sup>3</sup>/s;

- 2º estágio -  $27,87$  cm<sup>3</sup>/s.

Foi coletada uma amostra indeformada, próximo ao local do ensaio, apresentando a permeabilidade igual a  $2,11 \times 10^{-4}$  cm/s.

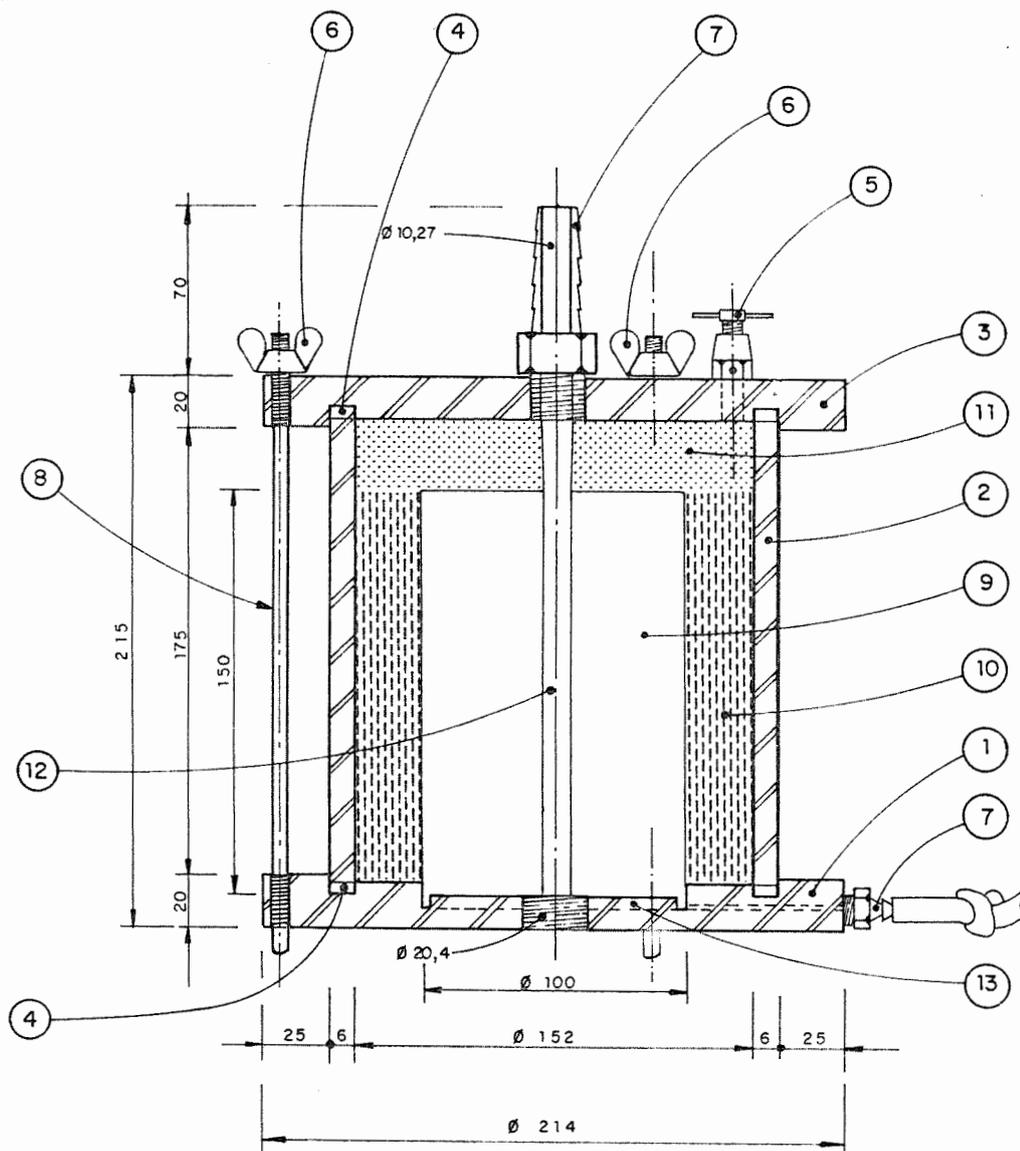
#### 4.2.3 - Ensaio de Erodibilidade em Canalículos

Os ensaios de erodibilidade foram realizados em amostras indeformadas, com o objetivo detectar a resistência das paredes das cavidades pela percolação de água, em velocidades bem superiores às esperadas nos terrenos de fundação dos diques.

Procurou-se coletar blocos de todos os materiais terrosos existentes na área do projeto, com ocorrência de canalículos com diâmetro da ordem de  $8,0$ mm, contínuos e sem ramificações.

O aparelho utilizado foi adaptado na própria obra, cujo esquema é mostrado na figura 10.

Basicamente, o ensaio constitui-se em submeter o canalículo a uma percolação contínua durante 10 minutos, em estágios



- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| ① - BASE DO CILINDRO             | ⑧ - HASTE DE FIXAÇÃO DA TAMPA E BASE DO CILINDRO |
| ② - CORPO DO CILINDRO            | ⑨ - CORPO DE PROVA                               |
| ③ - TAMPA DO CILINDRO            | ⑩ - BENTONITA                                    |
| ④ - ANEL DE BORRACHA P/ VEDAÇÃO  | ⑪ - SOLO CIMENTO                                 |
| ⑤ - VÁLVULA P/ ESPURGO DE AR     | ⑫ - CANALÍCULO                                   |
| ⑥ - PORCA TIPO BORBOLETA         | ⑬ - BIDIM OP 20                                  |
| ⑦ - BICO P/ LIGAÇÃO DE MANGUEIRA |  |

FIGURA 10 - Aparelho utilizado no ensaio de Erodibilidade dos Canaliculos

de velocidades especificadas de 0,5 m/s, 1,0 m/s e 3,0 m/s e observar, na água coletada em caixa de medida de vazão, indícios de erosão do material atravessado. Concluídos os ensaios, os corpos de prova foram abertos ao meio para observação direta dos canalículos.

Como resultado das observações efetuadas durante e depois da realização dos ensaios, não foi constatada erosão em nenhum canalículo submetido à percolação contínua de água, nas diversas velocidades empregadas.

É importante assinalar que os ensaios foram realizados em solos com canalículos, que apresentavam as paredes endurecidas pela atividade dos minhocuçus, conferindo alguma resistência à erosão por percolação de água.

Os solos fofos representativos de preenchimentos seriam carreáveis, porém não influenciando na análise das paredes dos canalículos que foram submetidos à avaliação da resistência por percolação de água.

#### 4.2.4 - Ensaio Macroteste de Permeabilidade das Fundações

O ensaio macroteste de permeabilidade consistiu na execução de um reservatório experimental em modelo reduzido onde, quando do seu enchimento, pudesse reproduzir os gradientes hidráulicos que ocorreriam na fundação dos diques durante a operação normal da barragem.

Tal ensaio foi programado para ser realizado em três etapas:

- a primeira, com o solo de fundação diretamente em contato com o reservatório;
- a segunda, ainda com o solo de fundação em contato com o reservatório e com a abertura de quatro trincheiras laterais, para verificação da continuidade dos canalículos através da introdução de traçadores;

- a terceira, com a execução de um tapete impermeável em 50% da área do reservatório.

De acordo com as condições de execução no campo e disponibilidade de equipamentos na época da execução do ensaio, foram obedecidas algumas fases dentro da primeira etapa:

- Primeira fase

A primeira fase do ensaio do macroteste foi realizada no período de 12/julho-22/agosto/85. Durante sua realização foi obtida uma vazão igual a 1.000 cm<sup>3</sup>/s, correspondente a um valor de coeficiente de permeabilidade igual a  $3,1 \times 10^{-5}$  cm/s. Este valor da permeabilidade foi obtido segundo o modelo de cálculo apresentado na figura 11.

Provavelmente, o baixo valor do coeficiente de permeabilidade foi devido a uma selagem na área de infiltração do ensaio, apesar de ter-se tirado nesta região uma placa de material argiloso com aproximadamente 10 cm de espessura.

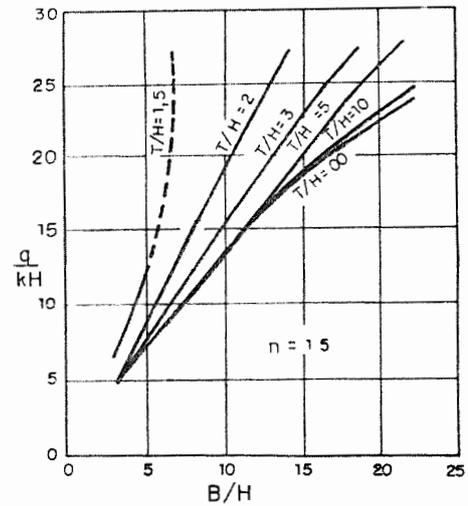
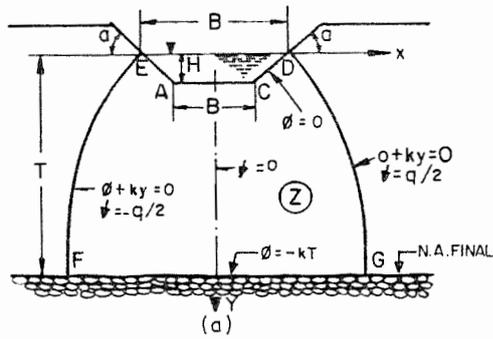
Após a conclusão desta fase, o reservatório do macroteste foi esvaziado, tendo o ensaio sido dado como concluído.

Posteriormente, devido ao fato de terem sido observadas trincas de ressecamento em praticamente toda a extensão dos diques construídos, e como nos diques do macroteste surgiram trincas de ressecamento semelhantes às encontradas no maciço dos diques da margem direita e da margem esquerda, realizou-se uma experiência enchendo-se novamente o reservatório e observando-se o comportamento das trincas com o reservatório cheio. Sendo assim, aproveitou-se o enchimento do reservatório do macroteste para repetir-se o ensaio, executando-se então, as fases complementares:

- Segunda fase

A segunda fase do ensaio foi realizada no período de 2-

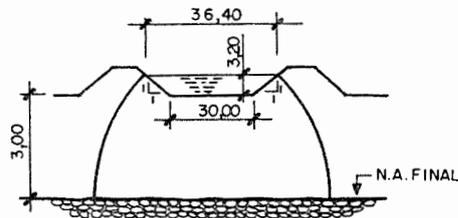
MODELO DE CÁLCULO  
"GROUND WATER AND SEEPAGE" HARR  
CAP. 9-ITEM 9,5



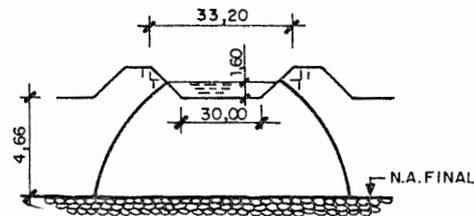
$N = 3,20 \text{ m}$   
 $T = 6,20 \text{ m}$   
 $Q = 3,600 \text{ l/h} = 1000 \text{ cm}^3/\text{s}$   
 $B = 36,4 \text{ m}$

$\frac{T}{H} = \frac{6,2}{3,2} = 1,94$   
 $\frac{B}{H} = \frac{36,4}{3,2} = 11,38$   
 $\frac{Q}{KH} = 20 \text{ (ÁBACO)}$

$K = \frac{1000}{20 \times 320} = 3,1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$



1ª FASE (ANO 85)

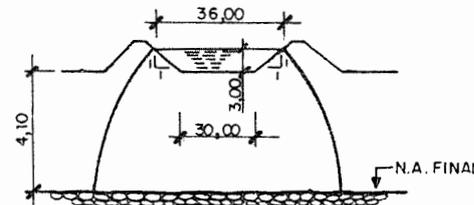


2ª FASE (OUTUBRO/86)

$H = 1,60 \text{ m}$   
 $T = 6,26 \text{ m}$   
 $Q = 67,000 \text{ l/h} = 18,611 \text{ cm}^3/\text{s}$   
 $B = 33,20 \text{ m}$

$\frac{T}{H} = \frac{6,26}{1,60} = 3,91$   
 $\frac{B}{H} = \frac{33,20}{1,60} = 20,75$   
 $\frac{Q}{KH} = 28 \text{ (ÁBACO)}$

$K = \frac{18611}{28 \times 160} = 8,3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

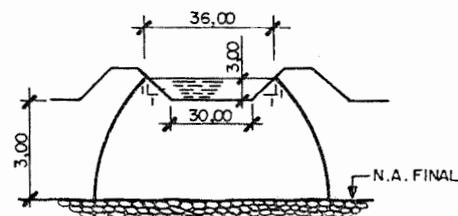


3ª FASE (NOVEMBRO/86)

$H = 3,00 \text{ m}$   
 $T = 7,10 \text{ m}$   
 $Q = 98,000 \text{ l/h} = 27,222 \text{ cm}^3/\text{s}$   
 $B = 36,00 \text{ m}$

$\frac{T}{H} = \frac{7,10}{3,00} = 2,37$   
 $\frac{B}{H} = \frac{36,00}{3,00} = 12,00$   
 $\frac{Q}{KH} = 20 \text{ (ÁBACO)}$

$K = \frac{27.222}{20 \times 300} = 9,1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$



4ª FASE (FEVEREIRO/87)

$H = 3,00 \text{ m}$   
 $T = 6,00 \text{ m}$   
 $Q = 5.000 \text{ cm}^3/\text{s}$   
 $B = 36,00 \text{ m}$

$\frac{T}{H} = \frac{6,00}{3,00} = 2,00$   
 $\frac{B}{H} = \frac{36,00}{3,00} = 12,00$   
 $\frac{Q}{KH} = 2,45 \text{ (ÁBACO)}$

$K = \frac{5000}{2,45 \times 300} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

FORNTE: RELATÓRIO SAM-13-2150-RE

FIGURA 11 – Ensaio Macroteste de permeabilidade – fases e resultados

30/outubro/86, com lâmina d'água igual a 1,60 m, tendo sido obtida uma vazão igual a 18.610 cm<sup>3</sup>/s, que correspondeu a uma permeabilidade igual a  $8,3 \times 10^{-4}$  cm/s.

- Terceira fase

A terceira fase do ensaio foi realizada no período de 14-22/novembro/86, com lâmina d'água igual a 3,0 m, tendo sido obtida uma vazão igual a 27.220 cm<sup>3</sup>/s, correspondendo a um coeficiente de permeabilidade igual a  $9,1 \times 10^{-4}$  cm/s.

- Quarta fase

A quarta fase foi realizada no período de 4-13/fevereiro/87, de forma semelhante à terceira, tendo-se obtido uma vazão igual a 5.000 cm<sup>3</sup>/s, que corresponde a uma permeabilidade igual a  $1,3 \times 10^{-4}$  cm/s.

A diferença nos valores obtidos entre a terceira e a quarta fases foi devido, provavelmente, à posição do nível d'água da região na época de realização de cada etapa.

#### 4.2.5 - Sondagens Rotativas - Datação de Sedimentos

Foram executadas nas fundações dos diques cinco sondagens rotativas, três na margem direita e duas na margem esquerda, com a finalidade de analisar de forma mais precisa a origem e a formação dos solos existentes na área.

As sondagens permitiram uma amostragem contínua e representativa, possibilitando a caracterização completa dos solos, a identificação dos ambientes de deposição e a datação dos sedimentos.

As sondagens foram programadas com base nos resultados das investigações geológico-geotécnicas realizadas para o projeto do maciço e para o tratamento de fundação dos

diques, onde foi dada maior importância às áreas de ocorrência de cavidades.

As amostras utilizadas na campanha de ensaios para datação absoluta, realizadas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada do Instituto de Física da UFBA, foram colhidas tanto nas sondagens rotativas como em outros furos a percussão e áreas de empréstimo localizadas ao longo dos diques. Isso ocorreu para permitir uma melhor amostragem e caracterizar com maior precisão a distribuição espacial e temporal dos solos existentes em toda a área do projeto.

Nas sondagens rotativas, o critério de seleção das amostras variou, para cada camada, em função da cota de ocorrência, da espessura e das feições identificadas na classificação das sondagens. Nos demais locais, foram selecionadas amostras efetivamente com grande quantidade de matéria orgânica.

A datação por Carbono 14 se baseou na matéria orgânica total de cada amostra, convertida em CO por combustão. A idade conveniente foi baseada na meia vida de 5.568 anos do Carbono 14.

O quadro 02 sintetiza os resultados relativos às amostras submetidas à análise de datação através deste método.

#### 4.2.6 - Ensaio de Bombeamento e Recuperação em Poços Tubulares Profundos

Os ensaios de bombeamento e recuperação em poços tubulares profundos objetivaram caracterizar os sedimentos de planície de inundação com presença de macrocavidades, sobretudo nos aspectos relativos ao comportamento hidrogeotécnico. Atigiram profundidades de 10,0 a 25,0m e tiveram expressiva contribuição no conhecimento das condições de permeabilidade dos sedimentos atravessados.

## QUADRO 02 - DATAÇÃO POR CARBONO 14

SONDAGEM/AMOSTRA (a)	PROFUNDIDADE DA AMOSTRA (m)	IDADE (anos) (b)
Dique de margem direita SPD-401 3	11,00 a 13,51	24.860 $\pm$ 3.010
Dique da margem esquerda SRDE-04 (c) 419	33,95 a 34,50	23.450 $\pm$ 2.440
427	40,50 a 40,74	13.410 $\pm$ 670
427	40,50 a 40,74	21.180 $\pm$ 1.840
428	40,84 a 41,10	17.590 $\pm$ 1.140
Margem esquerda SPR-90 (c) 1	33,00 a 33,45	21.680 $\pm$ 1.950
2	45,00 a 45,45	12.460 $\pm$ 570
SPR-91 2	35,00 a 35,45	24.450 $\pm$ 2.770

LEGENDA

- a) Todas as amostras foram obtidas em sondagens com circulação de água, utilizando amostrador cravado por processo estático (SRDE-04) ou por processo dinâmico (demais sondagens).
- b) A ocorrência de amostras efetivamente mais antigas (maior profundidade) com idade convencional inferior à de amostra sotoposta, deve-se certamente à contaminação das amostras ensaiadas.

Foram executados quatro conjuntos de ensaios na margem direita e dois na margem esquerda. O quadro 03 apresenta, de forma sintetizada, as medidas de rebaixamento, recuperação, vazões e coeficientes de permeabilidade médios dos vários estágios de cada ensaio.

Foram realizados também ensaios com auxílio de micromolinete hidrométrico (correntômetro) para determinar a zona de ocorrência de cavidades, observando a contribuição da vazão dessas zonas localizadas em comparação com a vazão total dos poços.

O aparelho de fabricação da Coppe-UFRJ pode ser observado no croqui esquemático da figura 12 e os resultados da perfilagem de velocidade nos quatro poços ensaiados estão na figura 13. Os trechos de grandes velocidades de rotação indicaram importantes fluxos d'água localizados dentro do poço, correspondendo aos locais com grandes concentrações de cavidades. Essas situações ocorreram freqüentemente entre 3,0 e 8,0m de profundidade, praticamente em todos os locais ensaiados, tendo no poço PTP-02B, entretando, ocorrido também entre 10,0 e 12,0m.

#### 4.2.7 - Ensaio de Bombeamento e Recuperação em Trincheiras

Os ensaios de bombeamento e recuperação em trincheiras visaram a determinação da permeabilidade horizontal equivalente dos sedimentos da planície de inundação nos locais com incidência de canalículos, em especial as macrocavidades, e permitindo a caracterização estatística dos mesmos manifestados nas paredes das trincheiras. Em decorrência da limitação do alcance do equipamento de escavação (retroescavadeira), o conhecimento dos sedimentos com a presença de canalículos ficaram restritos à profundidade de 6,0m. Exceções se deram em determinados locais onde os ensaios atingiram a profundidade de 10,0m quando executados a partir do fundo de caixas de empréstimos exploradas.

POÇO (PTP)	0,00 a 10,00 m						0,00 a 15,00 m						0,00 a 20,00 m						0,00 a 25,00 m					
	BOMBAMENTO			RECUPERAÇÃO			BOMBAMENTO			RECUPERAÇÃO			BOMBAMENTO			RECUPERAÇÃO			BOMBAMENTO			RECUPERAÇÃO		
	VAZÃO ℓ/min	REBAI- XAMEN- TO(cm)	K (cm/s)	Δh (cm)	TEMPO (min)	K (cm/s)	VAZÃO ℓ/min	REBAI- XAMEN- TO(cm)	K (cm/s)	Δh (cm)	TEMPO (min)	K (cm/s)	VAZÃO ℓ/min	REBAI- XAMEN- TO(cm)	K (cm/s)	Δh (cm)	TEMPO (min)	K (cm/s)	VAZÃO ℓ/min	REBAI- XAMEN- TO(cm)	K (cm/s)	Δh (cm)	TEMPO (min)	K (cm/s)
01-A	360,0	332,0	$1,0 \times 10^{-2}$	332,0	140	$1,2 \times 10^{-2}$	96,0	315,0	$2,3 \times 10^{-2}$	315,0	60	$4,7 \times 10^{-2}$	39,8	326,0	$6,6 \times 10^{-2}$	326,0	50	$1,8 \times 10^{-2}$						
	219,2	301,0	$9,0 \times 10^{-2}$	301,0	100	$1,8 \times 10^{-2}$																		
01-B	21,6	362,0	$6,6 \times 10^{-3}$	362,0	70	$6,5 \times 10^{-3}$	96,0	361,0	$6,1 \times 10^{-3}$	361,0	50	$2,8 \times 10^{-2}$	49,7	400,0	$3,5 \times 10^{-3}$	400,0	50	$1,1 \times 10^{-2}$	48,4	383,0	$2,6 \times 10^{-3}$	383,0	45	$1,0 \times 10^{-2}$
	14,0	103,0	$7,0 \times 10^{-3}$	103,0	40	$9,6 \times 10^{-3}$																		
	16,0	290,0	$4,8 \times 10^{-3}$	290,0	60	$8,6 \times 10^{-3}$																		
	21,6	304,0	$6,2 \times 10^{-3}$	304,0	70	$6,9 \times 10^{-3}$																		
02-A	141,6	403,0	$4,1 \times 10^{-2}$	403,0	40	$3,4 \times 10^{-2}$	96,6	394,0	$7,1 \times 10^{-3}$	394,0	60	$2,2 \times 10^{-2}$	227,7	327,0	$1,1 \times 10^{-2}$	327,0	70	$2,9 \times 10^{-2}$						
	72,0	100,0	$3,6 \times 10^{-2}$	100,0	10	$9,8 \times 10^{-2}$																		
	105,6	200,0	$3,1 \times 10^{-2}$	200,0	10	$6,3 \times 10^{-2}$																		
	121,4	300,0	$3,4 \times 10^{-2}$	300,0	30	$3,6 \times 10^{-2}$																		
02-B	78,3	398,0	$1,9 \times 10^{-1}$	398,0	50	$5,3 \times 10^{-2}$	201,8	289,0	$1,3 \times 10^{-1}$	289,0	35	$4,4 \times 10^{-2}$												
	51,9	100,0	$6,3 \times 10^{-2}$	100,0	12	$8,2 \times 10^{-2}$																		
	71,4	202,0	$5,8 \times 10^{-2}$	202,0	18	$6,4 \times 10^{-2}$																		
	79,6	301,0	$6,5 \times 10^{-2}$	301,0	18	$5,0 \times 10^{-2}$																		
03-B	294,5	119,0	$3,4 \times 10^{-2}$	119,0	50	$4,9 \times 10^{-2}$	205,2	452,0	$3,7 \times 10^{-3}$	452,0	50	$1,1 \times 10^{-1}$												
	461,7	344,0	$2,1 \times 10^{-2}$	344,0	100	$2,8 \times 10^{-2}$																		
	418,0	200,0	$3,1 \times 10^{-2}$	200,0	70	$2,8 \times 10^{-2}$																		
04-B	331,0	197,0	$9,7 \times 10^{-2}$	197,0	35	$7,9 \times 10^{-2}$	187,5	198,0	$6,9 \times 10^{-3}$	198,0	80	$9,7 \times 10^{-2}$												
	373,5	403,0	$7,3 \times 10^{-2}$	403,0	70	$3,6 \times 10^{-2}$																		
	264,3	100,0	$1,1 \times 10^{-1}$	100,0	-	-																		

Quadro 03 - Ensaio de Bombeamento e Recuperação em Poços Tubulares Profundos - Resultados

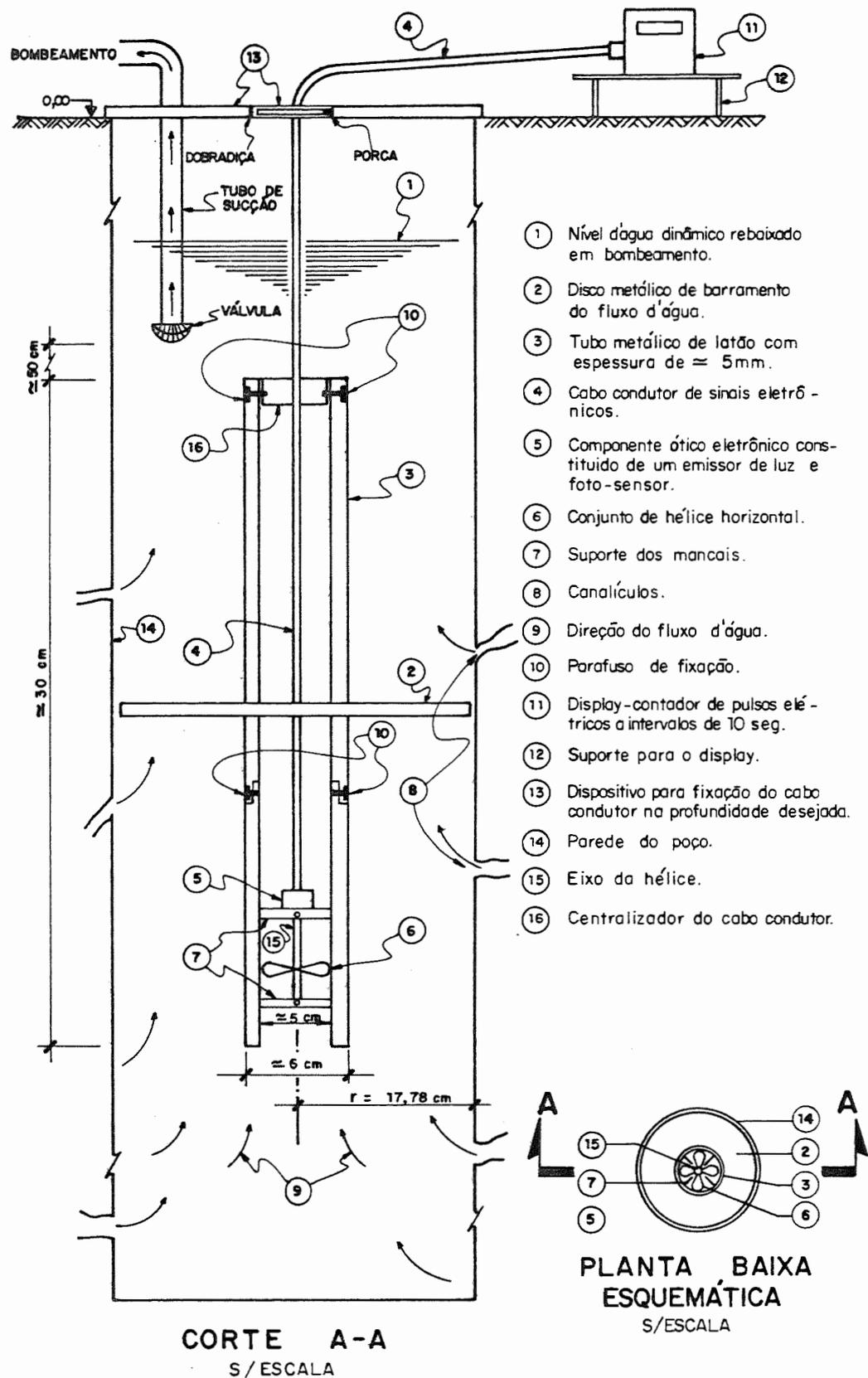


FIGURA 12 - Esquema do Correntômetro - Micromolinete hidrométrico

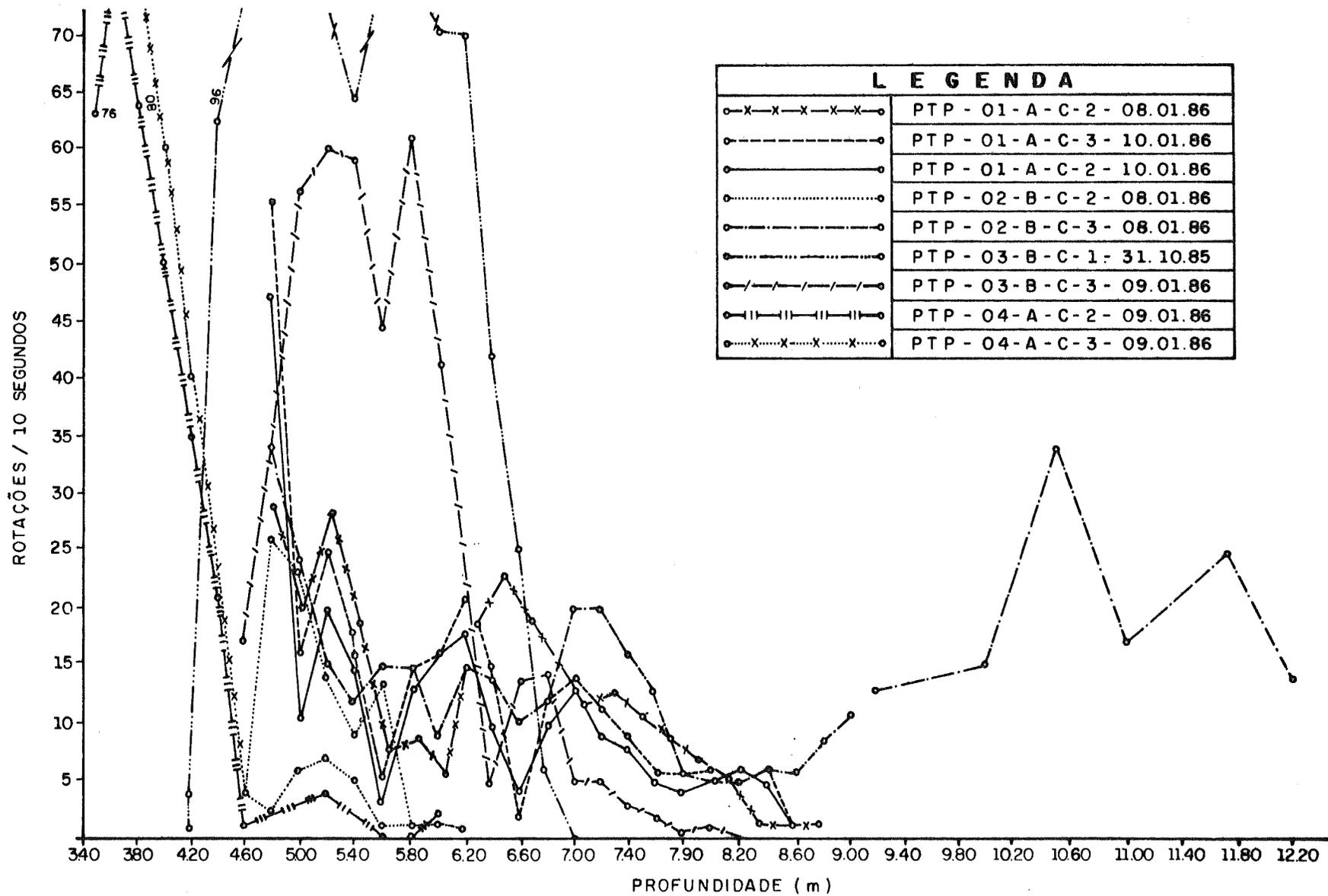


FIGURA 13 - Perfilagem das velocidades da água com uso do correntômetro

Basicamente, o ensaio de bombeamento é realizado em trincheiras dispostas geralmente em posição paralela e consiste em se esgotar uma trincheira em um determinado nível, fazendo-se leituras de nível d'água e vazão em intervalos de tempo predeterminados. O tempo de duração do ensaio é definido em função do tempo de estabilidade do nível dinâmico na trincheira e demais medidores.

Por outro lado, o ensaio de recuperação é realizado imediatamente após o desligamento das bombas, efetuando-se, seqüencialmente e a intervalos de tempo predeterminados, as medidas de recuperação do nível d'água na trincheira e nos medidores até que se restabeleça o nível d'água inicial (nível estático natural).

#### 4.2.8 - Ensaio de Comunicabilidade em Trincheiras com Auxílio de Traçadores Fluorescentes

Os ensaios de comunicabilidade em trincheiras com auxílio de traçadores fluorescentes (Roldão, 1985) visaram a determinação das características de continuidade e interligação das cavidades. O ensaio consiste basicamente em depositar substâncias fluorescentes em determinados pontos (trincheiras) da rede de fluxo e coletar amostra da água em tempos determinados nos locais de captação para identificação em laboratório.

A identificação em laboratório é bastante rápida e consiste em submeter a amostra a um feixe de luz com comprimento de onda já predeterminado em função da substância que se quer utilizar. Havendo presença de traçadores na água coletada, a amostra fica excitada e a luz emitida é captada por uma célula fotoelétrica, que através de uma escala indica inclusive a concentração da solução. Cada operação completa de leitura demora cerca de 3 minutos.

Através da análise dos ensaios de bombeamento em trincheiras, tornou-se possível dimensionar e especificar os ensaios com traçadores fluorescentes.

O ensaio de bombeamento consiste em manter esgotada uma trincheira com auxílio de bombas e se fazer leituras de nível d'água e vazão até o estabelecimento de fluxo estacionário (níveis e vazão constantes) nesta trincheira e os níveis d'água nas demais trincheiras adjacentes, conforme croqui apresentado na figura 14.

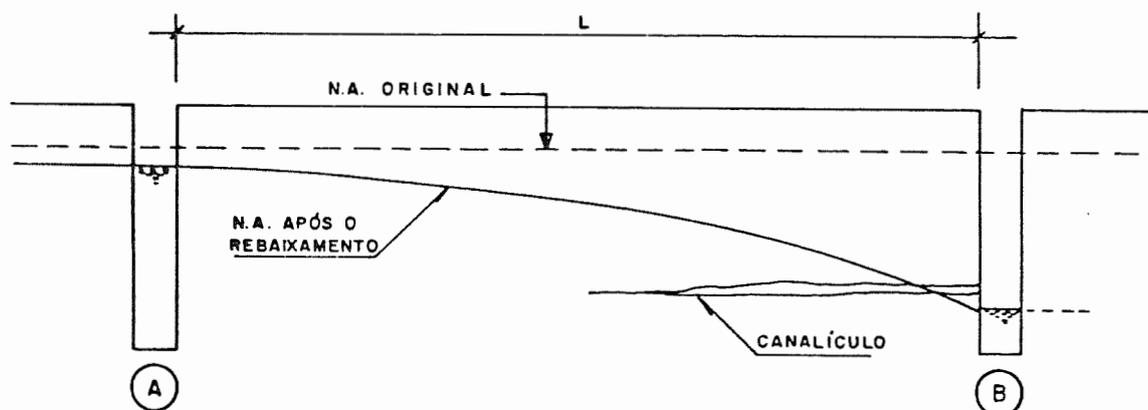


FIGURA 14 - Esquema do ensaio de bombeamento

O fato de se observar cavidades com grandes vazões na trincheira rebaixada (B), não indica necessariamente que tal cavidade possua uma extensão bastante grande para interligar as trincheiras A e B. É possível que a mesma tenha um comprimento limitado e esteja funcionando como um dreno em meio poroso. A diferenciação entre os dois modelos só é possível com a utilização de traçadores.

Em conseqüência, adotou-se como procedimento de ensaio, a colocação de substâncias fluorescentes na trincheira A e a coleta de amostra d'água na trincheira B em tempos predeterminados, em vários canalículos no fundo da trincheira. As operações de colocação das substâncias exigiram cuidados especiais.

onde:

$h$  = rebaixamento efetuado na trincheira B (m),  
 $L$  = distância entre as duas trincheiras (m),  
 $v'$  = velocidade aparente de percolação (cm/s),  
 $n$  = porosidade do solo,  
 $v$  = velocidade real de percolação (cm/s),  
 $i$  = gradiente médio.

Posto isto, o tempo gasto para o traçador percolar da trincheira A para a B é um critério altamente seguro para determinação da continuidade dos canalículos.

A partir da análise dos ensaios em trincheiras já realizados, pode-se estimar o tempo necessário para que o traçador colocado na trincheira A atingisse a trincheira B.

Conhecendo-se o espaçamento (L) entre as trincheiras e observando-se que a velocidade aparente de percolação nos canálculos varia entre 0,10 e 0,50 m/s, pode-se concluir que, caso os canálculos estejam interligando as trincheiras A e B, o tempo gasto para detectar-se traçadores na trincheira B é aproximadamente:

$$t = \frac{L}{V}, \text{ onde } V = \frac{Q_c}{A_c},$$

onde:

- L = distância entre as duas trincheiras (m),
- t = tempo gasto para o traçador percorrer a distância L (s),
- V = velocidade aparente (m/s),
- Q<sub>c</sub> = vazão medida no canálculo (cm<sup>3</sup>/s)
- A<sub>c</sub> = área do canálculo (cm<sup>2</sup>).

Observa-se portanto que, caso haja continuidade de canálculos de uma trincheira até a outra, o tempo de percurso será bastante curto.

Por outro lado, os ensaios em trincheiras permitiram estimar valores de permeabilidade equivalente da ordem de 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-2</sup> cm/s.

Admitindo-se fluxo em meio poroso, pode-se estimar os seguintes tempos mínimos para que o traçador colocado na trincheira A atinja a trincheira B:

$$t = \frac{L}{v}, \text{ sendo } v = \frac{V}{n}, v' = k.i \text{ e } i = \frac{h}{L},$$

## 5 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS CAVIDADES DA ÁREA DA UHE SAMUEL

### 5.1 - HISTÓRICO

A ocorrência de cavidades na região Amazônica tem sido investigada de maneira sistemática por diferentes especialistas. Tendo em vista a importância do problema em análise, para a UHE Samuel em Porto Velho foi estudada e analisada, detalhadamente, a ocorrência de distintos tipos de canalículos, apoiando-se em várias hipóteses existentes, no que se refere a sua origem.

Overall (1979) estudando as cavidades da UHE Tucuruí, apresentou uma explicação onde defende a hipótese da ação de raízes, fundamentada no fato de que raízes de pequeno diâmetro foram observadas preenchendo alguns canalículos à pequena profundidade. A argumentação esbarra, porém, na profundidade em que o enraizamento da grande maioria das árvores puderam alcançar, geralmente menor que as observadas para as cavidades.

A atividade de erosão pedo-Kárstica (Ab'Saber, 1979), que é atribuída a processo erosivo de natureza exclusivamente geológica, teria contribuição da alta pluviosidade da região e elevada porosidade dos materiais componentes das camadas sedimentares, na formação de bueiros naturais.

Estudando as cavidades da UHE Tucuruí, (Buosi e Cadmam, 1984) levantaram uma hipótese baseada na evidência da intensa laterização nos solos onde a concentração dos canalículos é maior.

Assim, os mesmos seriam resultado da dissolução e posterior lixiviação de certos elementos químicos, que normalmente ocorrem nos processos de laterização, onde é favorecida a infiltração de água através do solo. Sob condições climáticas e topográficas favoráveis, os canalículos teriam seus diâmetros aumentados pelo carregamento de materiais por estas águas de percolação.

A hipótese sobre a origem dos canalículos, relacionando a ação de termitas como fator contribuinte na formação de lateritas (Machado, 1983), foi defendida devido a similaridade das cavidades alvéolo-tubulares existentes nestes materiais com as desenvolvidas nas construções termíticas. Esta similaridade é abordada sob o ponto de vista da forma, estrutura e constituição das galerias, das características dos restos orgânicos encontrados nas mesmas e do processo de formação de psólitos, que sugere ser ocasionado pelas termitas.

Em suas conclusões, Machado afirma que características morfológicas de uma laterita devem sua origem à atividade construtiva das termitas. Em outras palavras, indica que a construção de uma rede de galerias, pelas termitas, em solos ou saprolitos, vem a ser uma pré-condição para a formação de uma laterita típica, na qual o estágio final é a acumulação de sesquióxidos.

Existem as suposições levantadas por diversos técnicos ligados aos projetos hidrelétricos de que os canalículos ou galerias foram escavadas no solo por cupins ativos, na região, há milhares ou milhões de anos. Essas galerias são indícios de uma intensa atividade termítica.

Os cupins (Fontes, 1984) são insetos terrestres, sociais, de distribuição predominantemente intertropical. Habitam ninhos que podem durar de alguns anos a várias décadas, e cuja população pode chegar a vários milhões de indivíduos.

Muitas espécies exploram o solo como fonte de alimento, água e materiais de construção e edificam um amplo sistema de galerias subterrâneas pelo qual transitam os indivíduos. Chegam mesmo a causar profundas modificações no solo, tanto de natureza física como química.

Foram registrados inúmeros casos de modificações na distribuição e no estado de agregação das partículas do solo, de sua capacidade de drenagem e retenção da água, aeração, penetração das raízes, porosidade e conteúdo orgânico, entre outras alterações que os cupins podem causar. Tais efeitos

podem abranger áreas consideráveis e decorrem do hábito social de todas as espécies deste inseto, que formam colônias muito populosas, e que se estabelecem em grande número ao longo de extensões territoriais (Lee e Wood, 1971).

A origem dos canalículos presentes no solo amazônico, à luz da interpretação que os atribui à atividade termítica, não é recente. Ao contrário, eles remontam a pelo menos 12.000 - 18.000 anos atrás, por ocasião do último período glacial quaternário, quando na Amazônia o clima era seco e predominavam formações vegetais abertas, do tipo cerrado, caatinga ou ambos. A floresta semelhante à atual restringia-se a "ilhas" de umidade nas serras e nas margens dos rios. A expansão dos cerrados e caatingas proveria a área de densa e diversa fauna de cupins de solo, muito inclinada à construção de galerias, em contraste com a fauna da floresta amazônica, onde há escassez de cupins de solo e predomínio de espécies arborícolas.

Escavados os túbulos em solo originalmente fofo, suas paredes foram gradualmente concrecionadas pela deposição de derivados de ferro, que preservam atualmente boa parte de suas características originais. É oportuno lembrar que as flutuações climáticas do quaternário não se resumem a um único episódio seco, mas a uma sucessão complexa e ainda não inteiramente desvendada de fases úmidas e secas. O padrão atual de canais pode, portanto, ser resultado de uma atividade cumulativa, sucessiva, na mesma fase ou no decorrer de várias fases secas. É provável que zonas de solo canaliculados estejam presentes em toda região amazônica, com a possível exceção das encostas e das serras úmidas, que permaneceram florestadas durante as oscilações climáticas do quaternário (Brito, 1985).

A região amazônica caracteriza-se pela presença de solos tropicais onde predomina largamente o intemperismo químico, formando solos profundos, geralmente com processos de laterização.

Os processos de laterização disseminados por toda a área do projeto da UHE Samuel implicam em dissoluções e lixiviações

com formação de minerais de menor volume, levando a formação solos de menores massas específicas aparentes. Além disso podem ocorrer dissoluções e precipitações posteriores, que têm por consequência o aumento da permeabilidade do solo.

A laterização é processo geral ocorrente na área acarretando o aumento da porosidade dos solos. Níveis lateríticos são encontrados nos solos residuais de rochas graníticas, solos coluviais e aluviais. Mesmos os solos aluviais recentes mostram o processo de laterização em andamento. Assim, a porosidade inicial depende dos espaços entre os grãos (poros) oriundos da laterização e da não consolidação dos sedimentos jovens.

Sobre este substrato poroso, pode haver a ação das raízes, de minhocas e/ou termitas, assim como de outros organismos, que encontram ambiente propício para realizar as suas perfurações em busca do lençol freático ou procurando a construção de suas galerias. Entretanto, o processo de laterização continua se intensificando dada a maior permeabilidade apresentada pelo solo, crescendo a porosidade local, modificando os caminhos percorridos pela água através da dissolução - precipitação do ferro, provocando a formação de vazios de retração, e os vazios de eluviação (remoção mecânica e partículas finas e coloidais).

Na área da UHE Samuel, durante a fase de estudos para distinção dos diversos tipos de cavidades, foi observada e diferenciada uma ocorrência, até então desconhecida, com características próprias e típicas da atividade de minhococcus.

Os minhococcus são animais de grandes dimensões, podendo atingir 90cm de comprimento e 1,0cm de diâmetro, que ocupam a faixa de solo com presença de matéria orgânica, e onde, durante suas atividades biológicas, produzem perfurações contínuas, homogêneas que em grandes quantidades têm significativa contribuição na permeabilidade dos solos em que ocorrem.

Foram efetuados estudos específicos cujo objetivo foi

conhecer alguns aspectos da biologia do minhocucu "Andiorrhinus Banirwa Righi", com intenção de esclarecer principalmente:

- parâmetros da biologia dos minhocucus, e compreender seu comportamento;
- quais os estímulos que determinam a construção das galerias (canalículos), e sua orientação no solo;
- qual a capacidade dos minhocucus de perfuração do solo e a profundidade máxima a que chegam.

Para tanto, procurou-se conhecer o animal e seu ambiente. Do animal, estudou-se aspectos de sua morfologia e fisiologia; do ambiente, procurou-se avaliar os fatores relacionados com o comportamento dos minhocucus, tentando caracterizar o seu habitat natural.

Nos estudos faltaram conclusões de como ficará o ecossistema da floresta e qual será a resposta da espécie estudada ao impacto causado pelo reservatório da UHE Samuel já na fase de operação.

A imensa floresta fornece ininterruptamente a fitomassa que cai e transforma-se no "litter" (camada de matéria orgânica semidecomposta situada sobre a 1ª camada de solos). O material, sofrendo a decomposição, forma a matéria-prima para a manutenção da fauna do solo, da qual fazem parte os minhocucus (Buck e Abe, 1985).

Estes são animais erráticos, que percorrem grandes distâncias no solo em tempo relativamente curto, o que facilita em muito a obtenção do alimento. Por outro lado, têm sido encontrados em muitos locais, onde foi removida a cobertura de solo orgânico, o que permite imaginar que os minhocucus também podem viver em solos com cobertura vegetal pobre.

Vários estudos e medidas revelaram que o clima da região

apresenta-se com duas estações climáticas bem definidas: a chuvosa ou de inverno, que ocorre nos meses de novembro a março, e a seca ou de verão, que ocorre no período de abril a outubro, aproximadamente (relatórios da Eletronorte). As precipitações pluviométricas são altas, tendo alcançado valores próximos de 400 milímetros em um mês (março/85). Percebe-se que o ambiente é rico em água, embora na época seca ocorra o aprofundamento do lençol freático, e o solo torna-se menos úmido.

Em todas as observações, verificou-se que os minhocuçus acompanham com muita regularidade as variações do nível freático, o que permitiu estabelecer uma correlação positiva entre o nível da água no solo e a presença desses animais.

Os minhocuçus movimentam-se muito mais durante o período chuvoso. Isto quer dizer que o aumento do metabolismo se deve à movimentação. Esta maior movimentação está relacionada ao período de atividade quando os minhocuçus vêm às camadas mais superficiais para alimentação e reprodução.

Portanto, após uma série de estudos efetuados pode-se concluir que existe uma correlação positiva muito alta entre o nível freático, ou umidade do solo, e a presença desses animais, devido a sua baixa capacidade de controle da concentração osmótica. As perfurações são feitas em direção à água, atingindo a profundidade no lençol freático.

## 5.2 - PARÂMETROS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS CANALÍCULOS

O entendimento da formação e desenvolvimento dos canalículos presentes nos solos da UHE Samuel é importante para adequação de medidas preventivas de engenharia que visem resguardar a segurança da barragem no decorrer de sua vida útil prevista.

As investigações realizadas permitiram identificar, para os

diversos tipos de canalículos, possíveis causas que provocaram ou auxiliaram sua formação (algumas bem definidas).

As observações de campo nos diversos locais expostos para fundação e escavações auxiliares tornaram possível definir os parâmetros (Satler e Mesquita, 1984) que foram utilizados para diferenciar os canalículos, de acordo com suas características básicas principais.

- Gênese

- Orgânica - atividade animal e vegetal, por termitas, formigas, minhocuçus e raízes
- Mecânica - erosão interna e lixiviação
- Mista - interação mecânica e orgânica

- Modo de Ocorrência

- Isolado - apenas um canalículo
- Ramificado - tronco principal com ramificações
- Anastomosado - intercomunicação intensa e aleatória

- Densidade de Ocorrência

- Pequena - menos de 1/m
- Média - até 10/m
- Elevada - mais de 10/m

- Profundidade

- Pequena - até 5,0m da superfície
- Média - de 5,0 a 10,0m da superfície
- Grande - acima de 10,0m da superfície

- Continuidade (tamanho médio)
  - Pequena - até 1,0m
  - Média - de 1,0 a 10,0m
  - Grande - maior que 10,0m
  
- Dimensões (diâmetro médio)
  - Microcanalículo - menor que 2,0mm
  - Canalículo - de 2,0 a 100mm
  - Macrocanalículo - maior que 10,0cm
  
- Forma
  - Regular - seção circular uniforme
  - Irregular - seções variáveis de ovais a circulares
  
- Inclinação
  - Subvertical - inclinação maior que 70°
  - Inclinado - inclinação de 20° a 70°
  - Subhorizontal - inclinação menor que 20°
  - Variável
  
- Revestimento das Paredes
  - Simples - material de parede com consistência de solo
  - Consistente - película de material endurecido revestindo as paredes
  - Laterizada - parede e solo endurecidos por laterização
  
- Preenchimento
  - Vazios - sem preenchimento ou com água

- Parcial ou totalmente preenchidos - solo, resto de animais e vegetais

- Idade

- Atuais - em processo de formação
- Antigos - processo de formação já interrompido

Através dos resultados obtidos nos estudos e investigações, a partir da constatação da existência dos canalículos até a análise do comportamento em relação a fatores geotécnicos e hidráulicos, foi possível uma classificação preliminar, considerando as características marcantes para cada tipo de cavidade.

O quadro 04 a seguir relaciona estes diferentes grupos com as principais características e a provável causa que lhes deu origem.

### 5.3 - TIPOS DE CANALÍCULOS

#### 5.3.1 - Canalículos do Grupo I

Constituem cavidades em solos coluvionar, aluvionar, residual parcialmente laterizados ou solo de alteração de granito próximo ao topo rochoso. Foram observados em pés de taludes, encostas e barrancos de igarapês (Figura 15-I). As condições de campo sugerem a interpretação da origem como associação de lixiviação e erosão (Mello, 1985).

Na laterização ocorre a lixiviação dos elementos alcalinos, alcalino-terroso e sílica combinada. A alta pluviosidade local, favorecendo a infiltração d'água na direção das encostas e a variação do lençol freático, quando comparado

GRUPO	LOCAL/MODO DE OCORRÊNCIA	CONTINUIDADE	DIMENSÃO (cm) DIÂMETRO MÉDIO	FORMA/INCLINAÇÃO	PREENCHIMENTO/TIPO	PAREDES	TIPO DE SOLO	ORIGEM PROVÁVEL
I	Encostas e barrancos de igarapés	Contínuo no pé dos taludes e	2,0 a 10,0	Irregular, ramificadas ou anastomadas	Vazios ou parcialmente preenchidos /	Laterizadas endurecidas e/ou oxidadas	Solos residuais, coluviais e de planícies de inundação	Lixiviação e erosão
II	Agrupados com densidade variável, eventualmente isolados	Contínuos (individualizados)	0,5 a 1,2	Seção circular de alongamento sinuoso sem ramificação/SV	Vazio ou parcialmente preenchido/ Orgânico fecal	Endurecidas, lisas	Qualquer tipo de solo, sendo raros paleocanais	Escavação por minhocas
III	Isolados em pequena densidade	Descontínuos	2,0 a 30,0	Arredondada/SV. I	Parcialmente preenchidos/Material pulverulento ou orgânico	Revestimento termítico	Solos residuais, coluviais e de planície de inundação	Interação raízes termíticas
IV	Agrupados em solo sedimentar sob brejacentes ao aluvião arenoso	Contínuos	Predominância de 3 a 30cm	Irregular ramificada a não ramificada/Variável	Abertos ou parcialmente preenchidos/ Material pulverulento	Oxidadas ou parcialmente laterizadas	Solo de planície de inundação	Erosão interna podendo apresentar atividade termítica a posteriori
V	Agrupados em grande densidade em solo superficial	Não perceptível a olho nu	0,2	Ramificada/Variável	Preenchidos ou vazios/Terrosos ou com finas raízes	Não perceptível a olho nu	Solos residuais, coluviais e sedimentares	Interação - intemperismo, erosão, micro-organismo e vermes
VI	Ninho isolado em áreas restritas	Contínuos com pequenas profundidade e distância	1,0 a 8,0	Circular elíptica/SH e SV	Aberto ou parcialmente preenchido/ Termítico	Revestimento termítico	Solos residuais, coluviais e de planícies de inundação	Escavação por formigas e atuais cupins

SV - Subvertical;  
SH - Subhorizontal.

Quadro 04 - CLASSIFICAÇÃO DOS CANALÍCULOS

com a época da estiagem, facilita o intemperismo e conseqüente carregamento dos elementos solúveis, graças ao desenvolvimento de maior força de percolação. A presença de solo bastante siltoso, facilmente erodível quando submetido a percolação d'água, favorece a preservação das cavidades pela laterização.

São cavidades com dimensões variando entre 2,0 a 10,0cm de diâmetro e continuidade de poucos metros, sendo que, cortando o lençol freático, podem apresentar jorros d'água com vazões elevadas. Ocorrem de forma irregular, ramificadas ou anastomosadas e inclinação aleatória, com as paredes parcial ou totalmente laterizadas e oxidadas, eventualmente com preenchimentos orgânicos (Foto 01).

#### 5.3.2 - Canalículos do Grupo II

São galerias formadas por minhocuçus "oligochaeta", onde a grande incidência situa-se até 4,0m de profundidade em colúvio, sedimento pouco consistente e principalmente na camada superficial de solo com material orgânico. Neste tipo de solo os animais movimentam-se intensamente, e se locomovem em todas as direções estimulados por fatores como umidade, temperatura e matéria orgânica (Buck, 1986).

No solo mais profundo, aproximadamente a 10,0m, o estímulo fundamental é a água do lençol freático e a migração vertical origina galerias subverticais, onde simplesmente pela ação animal não deve ocorrer comunicação horizontal entre elas. São canalículos geralmente contínuos e individualizados (Foto 02).

Apresentam seção geométrica arredondada, inconfudível pela regularidade e forma ligeiramente sinuosa, não apresentando ramificações. Possuem diâmetro mínimo da ordem de 0,5cm e máximo de 1,2cm.

As paredes apresentam uma película de revestimento



Foto 01 - Canalículos do Grupo I - Formados por lixiviação e erosão em encostas e barrancos.



Foto 02 - Canalículos do Grupo II - Originados pela atividade de minhocuçus.

endurecida, sendo constituída pelo próprio solo local, compactado pelo processo de perfuração do animal. Este, ao se movimentar dentro da galeria, por contração muscular, expele líquido, plastificando e construindo essa fina camada, lisa, com marcas de estrias anelares. Podem ocorrer vazios, parcial ou totalmente preenchidos.

Nas camadas superficiais apresentam-se obliteradas por material fecal e nas camadas profundas são geralmente vazias ou com preenchimentos de origem secundária de ação intempérica ou de atividade biológica.

Os solos com porosidade elevada constituem ambiente adequado com caminhos fáceis para as perfurações dos minhocuçus. Alguns desses canalículos se encontram preenchidos com material fino.

As perfurações dos minhocuçus (10 a 15 por metro quadrado) aumentam a permeabilidade dos solos e são caminhos mais fáceis para as águas de lixiviação. Estas, responsáveis pelo ataque químico dos minerais secundários menos resistentes e dos poucos minerais primários detríticos ainda existentes, podem dissolver e reprecipitar os óxidos de ferro conforme o sistema de oxidação-redução e variação de pH, importantes no comportamento geoquímico do ferro (Figura 15-II).

### 5.3.3 - Canalículos do Grupo III

Constituem macrocanalículos de ocorrências isoladas em pequenas quantidades, apresentando características de origem associada à interação raízes-termitas.

Ocorrem descontinuamente, restringindo-se a profundidades geralmente inferiores a 5,0m, limitados pela presença de raízes em decomposição, uma vez que as termitas não se

alimentam das raízes de vegetais vivos. Possuem diâmetro médio variando de 2,0 a 30,0cm, originados pelo hábito dos animais em formar galerias de alimentação e abastecimento d'água. São galerias recentes com ferruginação pouco acentuada, e com orientação mais ou menos horizontalizada em função do enraizamento e do lençol freático local na época da execução (Foto 03).

As características das paredes apresentam revestimento termítico, sendo parcial ou totalmente preenchidos de material pulverulento e fofo, com vestígios orgânicos e paletas termíticas. Estes são materiais inorgânicos trabalhados com as garras e misturados com sucos digestivos e/ou excreções fecais originalmente pastosos em forma de discos.

Através de observações rigorosas, pode-se indicar que a formação desses canalículos foi realizada por termitas, mas tendo como causa primeira o processo de laterização. Desta forma constituíram vazios de pós-laterização, causados por organismo (termitas e raízes), e também por posteriores dissoluções e eluviação que são conseqüências respectivas da ação lixiviante e transportadora de água (Figura 15 - III).

#### 5.3.4 - Canalículos do Grupo IV

São canalículos antigos de origem físico-química por erosão e laterização, podendo apresentar atividades termíticas a posteriori. Constituem as estruturas de maior expressão geotécnica que ocorrem nas áreas em questão e são correlacionáveis entre si.

São macrocavidades ocorrentes nos sedimentos siltsos da planície de inundação, podendo atingir os aluviões arenosos (paleocanais) subjacentes. Geralmente ocorrem nos contatos do sedimento com o material arenoso destes paleocanais.



Foto 03 - Canalículos do Grupo III - Originados pela interação entre raízes e termitas.

São contínuos, ocorrendo predominantemente agrupados, embora tenham sido observados isoladamente em densidades variáveis e possuem formas ramificadas, comumente anastomosadas.

Constituem macrocavidades com dimensões variando de 3,0 a 30,0cm, com seções extremamente irregulares por estrangulamentos e alongamentos e paredes oxidadas, total ou parcialmente laterizadas (Fotos 04 e 05). A grande maioria destas cavidades ocorrem abertas devido a grande percolação d'água, ou parcialmente preenchidas com material terroso fofo e pulverulento resultantes certamente da erosão das paredes.

Esses canalículos se encontram, geralmente, associados a paleocanais arenosos, que seriam fatores importantes para a percolação das águas e a conseqüente lixiviação e eluviação necessária à formação de macrocavidades. Foram observados até 8,0m de profundidade, prevendo-se que constitui a zona de contato entre o sedimento e o paleocanal arenoso.

Em alguns locais, o aluvião arenoso (paleocanal) se encontra sotoposto à areia contaminada com material silto-argiloso, certamente transportado. O paleocanal geralmente é constituído de areia grossa, limpa e com pedregulhos finos.

A gênese desse macrocanalículo se encontra associada à lixiviação e à importante evasão de material, fazendo com que as cavidades atinjam dimensões de dezenas de centímetros. A preservação de canalículos em areia é rara, mas é possível, particularmente, onde a areia é contaminada por finos (Figura 15-IV).

#### 5.3.5 - Canalículos do Grupo V

São microcanalículos de diâmetro menor que 2,0cm, originados pela interação de fenômenos físicos, químicos e biológicos



Fotos 04 e 05 - Canalículos do Grupo IV - Origem físico-química por laterização e erosão interna.

devido aos processos de intemperismo, erosão, microorganismos, insetos, vermes e radículas (Foto 06). Ocorrem principalmente nos solos coluvionares superficiais. Nos sedimentos da planície de inundação ocorrem associados aos microcanalículos.

Ocorrem agrupados em grande densidade, não apresentando continuidades perceptíveis, entretanto são responsáveis por valores de permeabilidade da ordem de  $10^{-4}$  cm/s em solos de granulometria fina (silte e argila).

Possuem orientação totalmente aleatória e formas ramificadas, com características das paredes praticamente imperceptíveis a olho nu.

Podem ocorrer vazios ou preenchidos, geralmente com material terroso, e ainda por finas raízes (Figura 15-V).

#### 5.3.6 - Canalículos do Grupo VI

São canalículos de origem termítica em atividade atual e constituem cavidades tubulares que se manifestam em solos superficiais com a presença do animal termita do gênero "Syntermas" e formigas em plena atividade.

São estruturas contínuas, embora observados a pequenas profundidades, com dimensões variando de 1,0 a 8,0cm de diâmetro e forma predominante circular passando a elíptica. Normalmente ocorrem isoladas, porém com comunicações retrabalhadas por formigas ou erosão e possuem inclinação aleatória, com predominância de posição mais ou menos horizontal, tratando-se sem dúvida de galerias de alimentação em matéria vegetal.

Estabelecem-se em redes não muito distantes da superfície devido a fatores como distância das fontes alimentares,



Foto 06 - Canaliculos do Grupo V - Formados por processos diversos: intemperismo, vermes, microorganismos e radículas.

granulometria do solo e capacidade escavadora do animal.

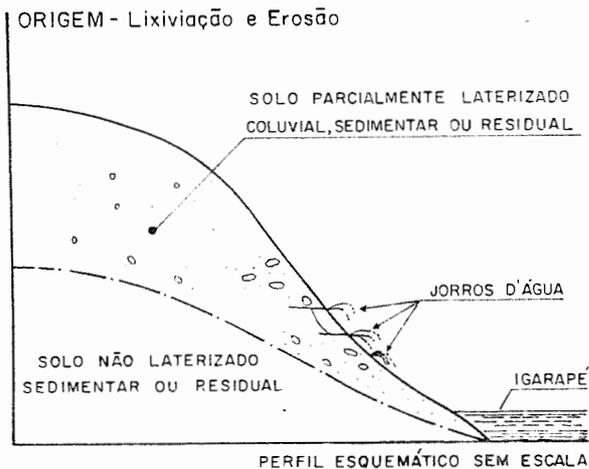
As paredes das galerias possuem pastilhas formadas por camadas sobrepostas de paletas fecais achatadas e sucos digestivos com presença de grão de quartzo. O grão tem distribuição bimodal e diâmetro da ordem de 2,0mm, transportado pela boca menor de 1,0mm e expelido junto com fezes. O material é totalmente diversificado, onde ocorrem solos fofos de próprio material, raízes, areia e material plástico sob a forma de papa argilosa (Foto 07).

São cavidades, em geral, sem preenchimento. Geneticamente, assemelham-se ao grupo III, constituindo apenas uma fase menos avançada de laterização ou não consolidação do sedimento, anterior à formação do canalículo. Os processos posteriores de dissolução e eluviação ainda não são conspícuos (Figura 15-VI).

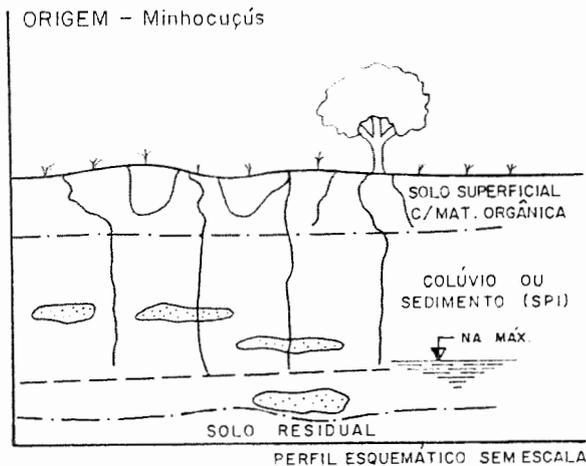


Foto 07 - Canalículos do Grupo VI - Produto da escavação de formigas e cupins atuais.

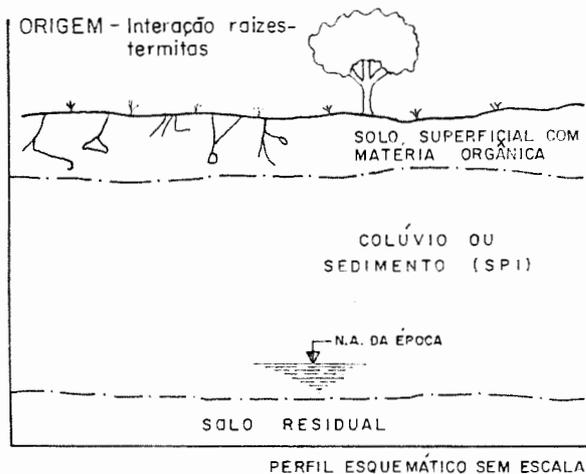
CANALÍCULOS - Grupo I



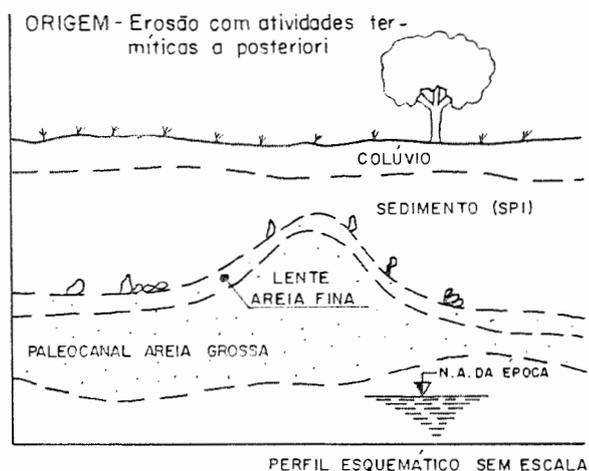
CANALÍCULOS - Grupo II



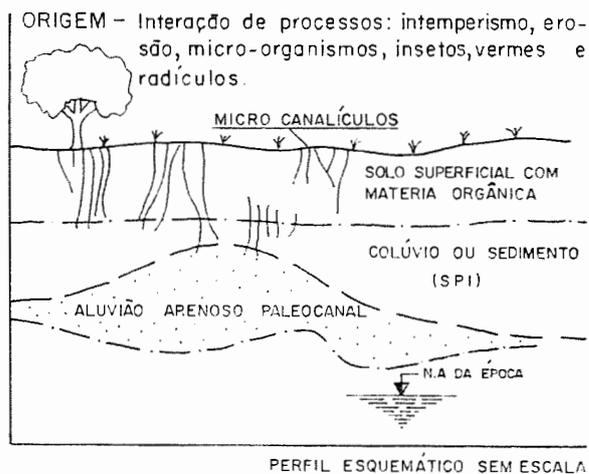
CANALÍCULOS - Grupo III



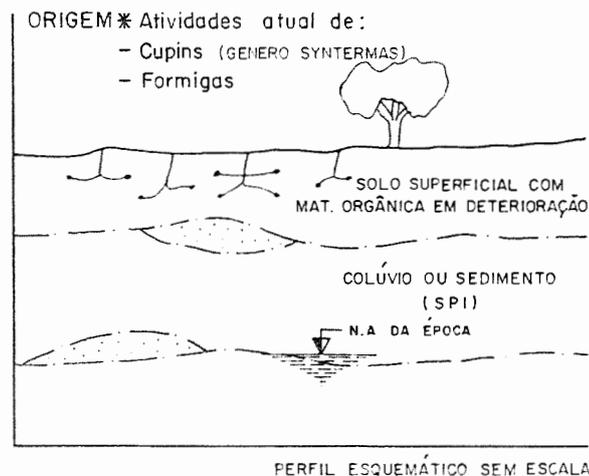
CANALÍCULOS - Grupo IV



CANALÍCULOS - Grupo V



CANALÍCULOS - Grupo VI



FONTE: JURY W.J. - SGS-833, SÃO CARLOS 1987

FIGURA 15 - Grupos de Canaliculos - Formas de ocorrência

## 6 - CONCLUSÕES

Na área da UHE Samuel foi possível diferenciar os vários tipos de canalículos e avaliar a influência que eles exercem sobre a permeabilidade dos solos onde ocorrem.

A área de ocorrência destas feições, onde a faixa de sedimentos com maior incidência atinge 6,0m de profundidade, possui coeficiente de permeabilidade da ordem  $10^{-1}$  cm/s. A partir deste nível, a permeabilidade decresce para valores compatíveis com suas características de granulometria, com coeficientes da ordem de  $10^{-4}$  cm/s a  $10^{-5}$  cm/s.

A origem dos canalículos, seja por processos físico-químicos ou por ação de agentes biológicos, apontou os processos de laterização como responsáveis diretos ou indiretos pela sua formação, mais decisivamente quando considerados os solos residuais de granito e sedimentos da planície de inundação.

Os canalículos, formados por processos físico-químicos, sempre caracterizaram uma extensão mais acentuada dos condutos formados e possuem inclinação predominantemente vertical, com pequenos componentes horizontais.

Os canalículos formados por processos biológicos, considerando as colônias de termitas, possuem componentes verticais e horizontais da mesma ordem de grandeza e ocorrem de forma sistemática até uma profundidade média de 5,0m. Aqueles originados por minhocuçus possuem inclinação subvertical com a profundidade determinada, principalmente, pela oscilação do nível freático.

A continuidade máxima verificada por interligação dos canalículos é da ordem de 20,0m.

7 - BIBLIOGRAFIA

- ABGE (1977) - Diretrizes para execução de sondagens (2ª tentativa). Boletim nº 3, 25 p.
- ABGE (1981) - Ensaio de permeabilidade em solos. Orientação para execução no campo. Boletim nº 4, 38 p.
- AB' SABER, A. (1977) - Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul por ocasião dos períodos glaciais quaternários. Paleoclimas, nº 3, 55 p.
- AB' SABER, A. (1979) - Sobre a ocorrência de cavidades pedo-kársticas no sítio da barragem de Tucuruí (Pará). Relatório da Eletronorte, 8 p.
- BRITO, S.N.A. (1985) - Relatório nº 5 de visitas à obra da UHE Samuel. Relatório da Eletronorte, 20 p.
- BUCK, N. (1986) - Dossiê da pesquisa sobre minhocuçus na área de implantação da obra da UHE Samuel (Rondonia). Relatório da Eletronorte, 36 p.
- BUCK, N. e ABE, A.S. (1984) - Alguns aspectos da biologia de *Andiorrhinus Banirva Righi* (Oligochaeta, Glossoscolecidae). Porto Velho, 15 p.
- BUOSI, M.A. e CADMAM, J.D. (1984) - Sobre a ocorrência de cavidades tubulares em solos lateríticos na região amazônica. IV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Belo Horizonte, 14 p.
- CEDERGREN, H.R. (1967) - Ground Water And Seepage. John Wiley & Sons, cap. 9, New York, 489 p.
- FAIRBRIDGE, R.W. (1961) - Estatic Changes in Sea Level. Physics and Chemistry of the Earth, 145 p.

- FONTES, L.R.O. (1983) - Canalículos Observados na Área da Represa Hidrelétrica de Tucuruí (Pará); Relatório da Eletronorte, 18 p.
- FONTES, L.R.O. (1984) - Sinais Fósseis da Ação de Cupins. Revista Ciência de Hoje, volume 2, nº 12, p. 52-55, 65 p.
- JURY, W.J. (1987) - Considerações Sobre Cavidades em Solo Para Fundação de Barragens e Estradas - SGS-833, USP - São Carlos-SP, 35 p.
- LAPORTE, L.F. (1969) - Ambientes Antigos de Sedimentação, Editora da USP, São Paulo, 145 p.
- LEE, K.E. and WOOD, T.G. (1971) - Termites and Soils, C.S.I.R.O., division of soils, Adelaide, South Australia - Academic press, 151 p.
- MACHADO, A.B. (1982) - The Contribution of Termites to the Formation of Laterites. II International Seminary of Laterization Processes. São Paulo, 14 p.
- MACHADO, A.B. (1982) - Termitic Remains in Some Bauxites. II International Seminary of Laterization Processes. São Paulo, 8 p.
- MACHADO, A.B. (1983) - Inspeção dos Canalículos nos Solos Residuais das Áreas das Usinas Hidrelétricas de Tucuruí (PA), Balbina (AM) e Samuel (RO). Relatório da Eletronorte, 25 p.
- MELLO, V.F.B. (1985) - Os Canalículos de Samuel. Relatório da Eletronorte, 12 p.
- MELLO, V.F.B. (1985) - Fundação dos Diques da UHE Samuel. Relatório da Eletronorte, 14 p.
- ROLDÃO, J.S.F. (1985) - Ensaio Fluorimétricos na Área do Dique da Margem Direita da UHE Samuel (RO). Relatório Final. Relatório da Eletronorte, 60 p.

- ROLDÃO, J.S.F. (1985) - Uso de Traçadores Fluorescentes Associados a Estudos em Fundações e Maciços de Terra de Barragem. Uma Nova Visão. XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte, 10 p.
- SAM-13-1034 RE (1985) - Diques. Dossiê Informativo e Estudos Geológicos e Geotécnicos Para o Tratamento das Fundações. Relatório da Eletronorte, 44 p.
- SAM-13-1034 RE (1985) - Diques. Coletânea de Informações e Resultados das Investigações Geológico-Geotécnicas. Anexo I, 85 p.
- SAM-13-2101 RE (1985) - Os Canalículos de Samuel. Caracterização Geral e Classificação. Estado Atual do Conhecimento. Relatório da Eletronorte, 72 p.
- SAM-13-2106 RE (1985) - Diques e Fundações. Considerações Sobre os Estudos e Investigações. Relatório da Eletronorte, 35 p.
- SAM-13-2130 RE (1985) - Diques. Sondagens Estratigráficas. Relatório da Eletronorte, 26 p.
- SAM-13-2145 RE (1985) - Diques. Estudo das Fundações. Datação de Sedimentos. Relatório da Eletronorte, 28 p.
- SAM-13-2150 RE (1989) - Relatório Integrado de Investigações e Estudos Geológico-Geotécnicos. Relatório da Eletronorte, 116 p.
- SATHLER, G. e MESQUITA, J.B. (1984) - Canalículos. Sugestões de Classificação e Metodologia de Investigações de Campo. IV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Belo Horizonte, 12 p.