

# ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS PARA O COMPLEXO HIDRELÉTRICO DE ALTAMIRA, RIO XINGU

RAIMUNDO M. CARVALHO

Engenheiro. Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores

NOBUTUGU KAJI

Engenheiro. Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores

WALDO D. DE MATOS

Engenheiro. Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores

*Obs: para ver  
Reputar de*

## SUMÁRIO

O presente trabalho trata dos estudos geológicos que orientaram o posicionamento das obras que compõem o Complexo Hidrelétrico de Altamira, afimido durante os estudos do Inventário Hidrelétrico da Bacia do Rio Xingu, realizado pelo CNEC para a ELETRONORTE.

A importância desta obra e a conceituação de se levar os estudos a um nível de maior detalhe exigiram uma adaptação da metodologia tradicional de investigações para fazer face às dificuldades impostas pela região. Apresenta-se a descrição da geologia da área e os principais aspectos geotécnicos das formações, abordando-se a efetiva participação dos estudos geológico-geotécnicos na análise das alternativas concebidas.

## - INTRODUÇÃO

O Complexo Hidrelétrico de Altamira situa-se no curso médio inferior do rio Xingu, no trecho denominado Volta Grande, localizado entre a cidade de Altamira e a Vila de Belo Monte, no Estado do Pará.

Trata-se de um sistema hidrogenerador de grande capacidade, 14.600 MW, que detém cerca de 70% do potencial total da bacia. Parte integrante dos Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia do rio Xingu, o Complexo de Altamira foi idealizado no percurso da Volta Grande, por existir ali um desnível natural de 85 m, associado a uma grande vazão do rio. Este sistema compõe-se de dois aproveitamentos, o primeiro para regularização da geração, situado a montante de Altamira e o segundo, apenas para geração, situado a jusante, no final da Volta Grande.

Estes aproveitamentos hidrelétricos estão situados na borda norte Craton do Guaporé, na região do contato entre o embasamento cristalino pré-cambriano e as rochas sedimentares paleozóicas da Bacia Sedimentar Amazonas.

Com a finalidade de atender aos critérios básicos de inventário estabelecidos pelo Manual da ELETRONORTE, os estudos para aproveitamento da Volta Grande foram divididos em três fases: na primeira, procurou-se investigar as posições de barramento mais evidenciadas pela restituição de fotografamétrica e criar arranjos gerais compatíveis com as alternativas de divisão da queda do rio; na 2ª fase, em função do conhecimento geológico adquirido, buscou-se posicionar as estruturas em locais que oferecessem maiores facilidades construtivas e menores custos; e na 3ª fase, procedeu-se a uma otimização das soluções adotadas na 2ª fase, dando-lhe

um aprimoramento técnico a partir de análises dos custos e benefícios gerados.

O reconhecimento geológico nesta ampla área, realizado com o fim de definir e delimitar as unidades geológicas presentes, assim como avaliar suas características geotécnicas gerais, teve, ao lado dos levantamentos topográficos, importância fundamental na verificação da exequibilidade das obras concebidas e, conseqüentemente, na escolha da alternativa mais promissora.

## 2 - METODOLOGIA

Dentro dos estudos de inventário hidrelétrico da bacia do rio Xingu, os estudos geológicos realizados no Complexo Hidrelétrico de Altamira vieram em muito contribuir para o aperfeiçoamento da metodologia empregada no levantamento do potencial hidrelétrico da Bacia Amazônica.

Assim, com o fim de minimizar os efeitos das condições regionais adversas, representadas basicamente pelas dificuldades de acesso e transporte e pela densa cobertura vegetal, além de outras de natureza geológica e geotécnica, desenvolveu-se nestes estudos uma adaptação à metodologia tradicionalmente aceita, dando-se ênfase às técnicas mais avançadas para obtenção de dados básicos, objetivando sistematizar ao máximo os trabalhos de campo e minimizar os seus custos.

Dentre os recursos largamente empregados nestes estudos destaca-se: a foto-interpretção de imagens de radar a 1:250.000 utilizada durante a interpretação das feições geológicas regionais; interpretação de fotografias aéreas a 1:60.000; métodos geofísicos de sísmica de refração e de eletrorresistividade nas investigações de campo; e utilização de helicóptero como meio de transporte nas regiões ínvias, meio este responsável, em grande parte, pelo sucesso do esquema logístico implantado.

Os estudos geológicos da primeira fase foram iniciados após a escolha dos locais de interesse para aproveitamento hidrelétrico, através dos estudos de arranjos gerais, nos quais procuravam-se soluções adequadas para a implantação das obras utilizando-se restituição aerofotogramétrica na escala 1:25.000.

Os trabalhos desenvolvidos nesta fase constaram de foto-interpretção, mapeamento geológico de superfície, e investigações de subsuperfície efetuadas através da abertura de poços de inspeção, sondagens a trado, sondagens geofísicas de eletrorresistividade e de sísmica de refração com impacto a martelo. Para a realização destas investigações foram utilizadas as picadas abertas para os levantamentos topográficos.

A interpretação das fotos a 1:60.000 foi considerada primordial na orientação dos trabalhos de campo, permitindo com um número reduzido de pontos a elaboração preliminar do mapa geológico regional. Destaca-se também, a importância da geofísica nas investigações, em face das grandes espessuras do manto de intemperismo, método este que possibilitou a rápida identificação das formações geológicas, através dos contrastes de resistividade e da velocidade de ondas sísmicas, possibilitando uma avaliação, a baixo custo, das condições gerais das fundações de cada local estudado.

Na 2ª fase, desenvolveu-se uma metodologia que permitisse, no menor tempo possível, o conhecimento geológico básico para o estudo de novas alternativas de arranjo.

Novamente, destaque especial foi dado à interpretação de fotografias aéreas na escala 1:60.000, auxiliada pelo mosaico de radar a 1:250.000.

A foto-interpretção possibilitou a delimitação preliminar das unidades geológicas, e, em especial, do contato geológico entre a bacia sedimentar e o embasamento cristalino, na região de interesse.

sozônicas correspondem as maiores espessuras do manto de intemperismo, alcançando espessuras superiores a 20 m e, as rochas sedimentares paleozóicas, associam-se solos residuais com espessura em torno de 5 a 10 m.

As menores espessuras de solo são restritas ao leito dos rios e drenagens, ou ainda às encostas escarpadas nos domínios das rochas sedimentares. Os coluviões, no entanto, com espessuras de 0,5 a 4 m, capeiam frequentemente as encostas, desde íngremes a suaves, cobrindo o solo residual ou a própria rocha, impedindo a sua observação "in situ".

Tendo em vista estas elevadas espessuras de solo, é patente a dificuldade de se verificar as características lito-estruturais das unidades geológicas indicadas na Figura 1, a não ser no leito dos rios ou cortes da rodovia Transamazônica, fato este que prejudicou sobremaneira o mapeamento de campo.

Nas áreas de rochas graníticas, a frequente ocorrência de matacões constituiu a chave para o seu mapeamento, já na área das rochas sedimentares, as características dos seus solos residuais foram o fator preponderante no reconhecimento das unidades, vez por outra corroborado pela existência de blocos superficiais remanescentes.

Na área do contato cristalino-sedimentar, nas cotas topográficas mais altas de ambas as litologias, sedimentos terciários e seus espessos coluviões mascararam bastante o reconhecimento das unidades subjacentes, em geral, emprestando às mesmas suas feições morfológicas aplainadas.

### 3.1 - Estratigrafia e Litologia

O Quadro abaixo relaciona cronologicamente as unidades estratigráficas presentes na área.

ERA	PERIODO	UNIDADE
Cenozóica	Quaternário	Aluviões
	Terciário	Formação Alter do Chão
	Jurássico-Cretáceo	Intrusivas Básicas
Mesozóica	Devoniano Superior	Formação Curuã
	Devoniano Médio	Formação Ererê
	Devoniano Inferior	Formação Maecuru
	Siluriano Inferior	Formação Trombetas
	Pré-Cambriano Superior	Grupo Uatumã
Proterozóica	Pré-Cambriano Inferior a Médio	Complexo Xingu

A divisão estratigráfica proposta pelo Projeto RADAM e adotada nos estudos de Inventário da Bacia do rio Xingu foi substituída no presente trabalho pela coluna proposta por Caputo, M. V. et alii (1971), por ser constatado na área, a ocorrência de mais duas formações devonianas - Ererê e Maecuru - englobadas no Projeto RADAM como Formação Trombetas.

Atendendo também à nomenclatura proposta pelo mesmo autor, utilizouse a denominação Formação Alter do Chão para designar os sedimentos ásticos continentais da Bacia Sedimentar, conhecidos pela denominação generalizada e imprópria de Formação Barreiras.

Em seguida, procedeu-se ao reconhecimento de campo, com a finalidade de se verificar "in situ" a geologia foto-interpretada. Este trabalho foi executado inicialmente ao longo da rodovia Transamazônica e dos seus avessões, ao longo do rio Xingu e das maiores drenagens e, posteriormente, em pontos previamente escolhidos, utilizando-se helicóptero. Nos pontos investigados com helicóptero foram feitas observações tanto nos solos, amostrados com trado, quanto em rocha, amostrada em afloramentos ou matacões.

O mapa preliminar foto-interpretado foi reanalisado à luz dos dados do reconhecimento de campo e o traçado dos contatos e estruturas geológicas foram lançados numa base de restituição aerofotogramétrica, em escala 1:50.000.

De posse da geologia da região da Volta Grande, prosseguiram-se os estudos dos arranjos gerais com o objetivo de identificar os eixos mais destacados do ponto de vista geotécnico. Em todos estes eixos foram realizadas investigações geológico-geotécnicas segundo a metodologia empregada na 1ª fase, porém de forma mais detalhada. Obteve-se, então, a avaliação geotécnica das fundações das obras, que grande importância teve na comparação dos custos entre as alternativas.

Em paralelo, foi investigada, junto aos eixos que se mostravam mais atraentes do ponto de vista hidráulico e geológico, a ocorrência de materiais naturais de construção para verificação da sua disponibilidade. Utilizou-se também, para este fim, a interpretação das fotografias aéreas.

#### - ASPECTOS GEOLÓGICOS

O Complexo Hidrelétrico de Altamira está localizado na faixa do contato entre a Bacia Sedimentar do Amazonas e o Embasamento Cristalino Pré-Cambriano, abrangendo, principalmente, formações sedimentares de idade siluriana a devoniana e rochas granítico-gnaíssicas, estas reunidas sob a denominação de Complexo Xingu, conforme indicado na Figura 1.

As formações sedimentares são constituídas de clásticos finos e médios e ocorrem na porção norte da área, ocupando uma faixa de direção NE. Exibem um relevo muito ondulado, profundamente dissecado e algumas feições tabulares. As camadas mergulham suavemente para NW e estão afetadas por fraturas e falhas de rejeito predominantemente vertical. Ocorrem intercalados, ou cortando estes sedimentos, sills e diques de diabásio de idade juro-cretácea, a mesma do tectonismo rígido que afetou a Bacia Sedimentar.

O Complexo Xingu ocupa a porção sul da área e está representado por rochas granítico-gnaíssicas, diferenciadas. Sustenta relevos ondulados a montanhosos, nos quais o manto de intemperismo atinge consideráveis espessuras. O embasamento cristalino apresenta evidências de acentuado tectonismo de caráter rígido, representado principalmente por falhas e fraturas orientadas a MNW, NNE e EW, destacando-se entre elas, falhas de eixos de uma dezena de quilômetros de extensão.

Sedimentos clásticos continentais, de idade terciária, recobrem as unidades paleozóicas, transgredindo em parte o embasamento cristalino. Analisando o quadro geológico da área, destacam-se ainda os aluviões quaternários, distribuídos ao longo dos principais cursos d'água e cobrindo todas as unidades mais antigas.

A cada feição lito-estrutural e/ou morfológica das unidades geológicas presentes na Volta Grande, associam-se caracteres geotécnicos específicos, marcados pelo comportamento diferencial das unidades frente às diversas condições intempéricas reinantes na região.

Assim, as rochas cristalinas pré-cambrianas e as rochas básicas me-

A unidade basal, denominada Complexo Xingu, reúne rochas consolidadas no Pré-Cambriano Inferior a Médio, representadas por granitos, gnaiss, dioritos, gnaisses, migmatitos e, localmente, diques ácidos cataclásicos.

O Grupo Uatumã, do Pré-Cambriano Superior, expõe-se numa área bastante restrita, indicada no canto SW da Figura 1 e está representado, basicamente, por andesitos, biotita - andesitos e propilitos.

A unidade mais antiga pertencente à Bacia Sedimentar, atribuída ao Siluriano, está representada pela Formação Trombetas, constituída de arenitos finos, branco - acinzentados, coesos, interlaminaados com folhelhos cinza escuros e siltitos cinza, micáceos. Sua espessura na área foi estimada através do mapeamento de superfície e de ensaios geofísicos em cerca de 30 a 50 m.

A Formação Trombetas apresenta como valores médios de resistividade de 30 a 50 ohm.m quando saturada e 100 a 300 ohm.m quando seca, e velocidade de propagação de onda sísmica variável entre 1500 e 3700 m/s.

A Formação Maecuru, atribuída ao Devoniano Inferior, sobrepoë-se à Formação Trombetas, em discordância erosiva e está representada por arenitos finos a médios, friáveis, com abundante estratificação cruzada e intercalações pouco espessas de siltito lilás, micáceo. Esta unidade tem espessura avaliada em cerca de 40 a 60 m, apresentando resistividades bastante variáveis, da ordem de 600 a 1200 ohm.m para os arenitos saturados e de 5000 a 20000 ohm.m para os arenitos secos e velocidades de onda sísmica variável entre 1200 e 2850 m/s.

Concordante com a Formação Maecuru, em contato geralmente gradacional, a Formação Ererê é constituída por uma sequência de siltitos cinza-avermelhados ou esverdeados, intercalados com arenitos finos argilosos, cinza, micáceos, com leitos de folhelhos carbonosos e de arenitos finos a grosseiros com estratificação cruzada.

A Formação Ererê apresenta espessura avaliada em cerca de 40 a 70 m, variação esta que se deve à sua semelhança litológica, em alguns locais, com a unidade subjacente. É caracterizada, em linhas gerais, pelas resistividades de 60 a 160 ohm.m correlacionadas aos siltitos e arenitos argilosos e de 300 a 1900 ohm.m correspondentes aos arenitos secos da base. As velocidades das ondas sísmicas oscilam entre 1800 e 3000 m/s.

Sobreposta à Formação Ererê, em contato gradacional abrupto, a Formação Curuá representa a última unidade paleozóica da Bacia Sedimentar. Constitui-se por folhelho siltico, cinza escuro e siltito cinza, micáceo, ambos bastante coerentes. A espessura desta unidade na área é estimada em cerca de mais de 100 m, com resistividade da ordem de 20 ohm.m e velocidade de onda sísmica variável entre 1700 e 4500 m/s.

Entremeados às formações paleozóicas ocorrem "sills" e, menos frequentemente, diques de diabásio, em geral totalmente alterados em corpos estes com extensão de até algumas dezenas de km<sup>2</sup> e espessuras de até 50 m.

Capendo todas as unidades mais antigas, e invadindo em parte os domínios do Complexo Xingu, a Formação Alter do Chão representa o testemunho do último grande evento deposicional a que a região esteve submetida. Esta unidade se constitui de arenitos finos a grosseiros de cores variadas, mal consolidados, com intercalações de argilitos vermelhos pouco coesos e, subordinadamente, de conglomerados. Apresenta espessura da ordem de 20 a 30 m e resistividades variáveis entre 10000 e 20000 ohm.m, quando seca.

Os aluviões são, em geral, constituídos de argilas siltosas de coloração cinza ou variegada, areias de cores claras e cascalhos localmente cimentados com óxido de ferro. Os maiores danos são aluvionares da

Área são encontrados ao longo das margens e formando ilhas no rio Xingu, com espessuras de até 8 m.

#### 4 - ASPECTOS GEOTÉCNICOS

As características geotécnicas gerais das unidades geológicas presentes na região da Volta Grande, estão associadas às suas feições tito-estruturais e/ou morfológicas.

Basicamente, ocorrem três grandes comportamentos geotécnicos, correspondentes aos três grandes grupos litológicos da região: as rochas cristalinas, as rochas sedimentares e os sedimentos cenozóicos.

As rochas cristalinas são representadas pelos granitos, gnaiesses e migmatitos do Complexo Xingu e pelos silts e diques de diabásio, que apresentam como característica mais notável sua profunda alteração mineralógica, através da qual se desenvolvem solos com espessuras bastante elevadas, alcançando até 35 m nas encostas e no alto dos morros. As rochas do Complexo Xingu dão origem a solos silto-argilosos ou silto-arenosos e o diabásio origina solos argilosos.

A rocha sã ocorre nas cotas mais baixas, expondo-se tão somente em algumas drenagens. No leito do rio Xingu, as rochas granítico-gnaissicas apresentam-se sãs e, em geral, pouco fraturadas, com excelentes características geomecânicas de resistência para fundação de qualquer tipo de estrutura de concreto. A permeabilidade destas rochas é determinada pela presença de descontinuidades, de caráter restrito, representadas de modo geral, por fraturas e, mais particularmente, por falhas. Todavia, estes maciços podem ser considerados como impermeáveis.

Com base nestes aspectos, depreende-se também, que o Complexo Xingu constitui, com as intrusivas básicas, áreas potenciais para a pesquisa de materiais naturais de construção, o primeiro especialmente para obtenção de rocha para agregado gráudo e enrocamento, e ambos para pesquisa de solo. Todavia, as ocorrências locais de grande quantidade de matações de granito podem dificultar a utilização destes solos.

As rochas sedimentares, representadas pelas unidades paleozóicas, diferentemente das cristalinas, apresentam características de resistência mecânica inferiores e ação intemperica menos profunda. De modo geral, as unidades Trombetas, Maecuru e Ererê apresentam frequentes estratos de folhelhos ou siltitos de espessuras bastante variáveis, ou de arenitos friáveis, rochas estas de baixa resistência ao cisalhamento e alta deformabilidade, não aconselháveis para fundação de estruturas de concreto e com muita restrição à produção de materiais de construção. Ao lado destas características, destacam-se ainda a permeabilidade das unidades sedimentares associadas ao fraturamento e às suas estratificações, de características sempre inferiores às das rochas cristalinas.

Em particular, a Formação Maecuru apresenta, nos seus afloramentos de paredes verticais, uma feição característica, representada por pequenas cavernas que acompanham suas estratificações. Tudo indica que essas cavernas não ocorrem em profundidade, não representando, portanto, problemas geotécnicos adicionais.

Os solos residuais e coluviões desenvolvidos sobre as rochas sedimentares paleozóicas são em geral pouco espessos, de constituição arenossiltsosa a argilosa com níveis lateríticos bastante comuns. Já os solos da formação terciária são bastante espessos e predominantemente areno-argilosos.

Estes aspectos indicam as características desfavoráveis da utilização das rochas sedimentares paleozóicas com relação à fundação de estruturas, como fonte de material rochoso para concreto e enrocamento e mesmo, como áreas de empréstimo.

Os sedimentos terciários, constituídos por materiais pouco consolidados e até mesmo fofos e incoerentes, apresentam características de resistência e deformabilidade inferiores, mas oferecem, por outro lado, boas áreas de empréstimo.

Os depósitos aluvionares, notadamente os espessos depósitos de areia e cascalho, podem constituir excelentes jazidas de material natural de construção. Por outro lado, os espessos depósitos argilosos das baixadas marginais e ilhas do rio Xingu merecerão atenção especial para implantação das obras de barramento, pois apresentam baixa resistência.

##### 5 - ALTERNATIVAS ESTUDADAS

Antes mesmo de se ter as plantas da restituição aerofotogramétrica da região, aventava-se a hipótese de se desviar parte das águas do Xingu através de um longo canal, seccionando a Volta Grande, com o objetivo de aproveitar na sua outra extremidade o desnível total de 85 m.

Posteriormente, com o auxílio da restituição em 1:25.000, foi possível criar-se uma série de alternativas para o aproveitamento do grande potencial hidrelétrico concentrado nesta região.

O primeiro estudo de arranjos gerais desenvolvidos consistia das seguintes obras: uma barragem para regularização e geração a montante da cidade de Altamira no local Babaquara I (BAB I), uma barragem para ateamamento do nível d'água natural do rio Xingu a jusante de Altamira, denominada Koatinema I (KTN I), que possibilitava o desvio das águas do rio ao longo de um canal natural de cerca de 30 km até uma barragem próxima a Belo Monte no outro extremo da Volta Grande, esta somente para geração, denominada Kararaó III (ver Figura 2).

Para esta primeira alternativa, foram executados estudos geológicos nos eixos de barramento Babaquara I, Koatinema I e Kararaó (KR0), este último em três posições, nos eixos denominados I, II e III, conforme mostrado na Figura 1.

Este sistema, por encontrar-se em terreno da Bacia Sedimentar, foi objeto de uma ampla campanha de investigações geológicas e geotécnicas, com o objetivo de se verificar a exequibilidade da implantação de Kararaó, assim como de Babaquara.

Estes estudos vieram mostrar a ocorrência, nas fundações das obras do sítio Kararaó, de rochas sedimentares constituídas por arenitos finos e siltitos laminados das Formações Maecuru e Ereçê, de baixa capacidade de carga para suporte das estruturas de concreto. Nos sítios Babaquara e Koatinema, foi revelada a presença de arenitos finos a médios friáveis da Formação Maecuru e de folhelhos com siltitos da Formação Trombetas, rochas estas também de baixa resistência e alta deformabilidade, contraindicadas como fundação para as estruturas de concreto.

Tal fato fez com que fossem escolhidos outros locais para a implantação das barragens de Babaquara e Kararaó. As investigações geológicas passaram a ser desenvolvidas, então, não mais em locais ou eixos previamente escolhidos, mas em áreas mais extensas dos sítios de Babaquara e de Kararaó, constituindo a 2ª fase dos estudos.

Na 2ª fase dos estudos, de posse da geologia da região de interesse, foram concebidos outros arranjos gerais na tentativa de posicionar as estruturas para geração em terrenos do cristalino, criando-se então duas outras alternativas para o aproveitamento de jusante do Complexo. Numa delas, efetuava-se o desvio do rio Xingu a jusante de Koatinema, no local denominado Juruá, através da implantação de uma barragem e de um sistema de derivação, usufruindo-se de condições topográficas favoráveis, conduzindo suas águas até a usina de Kararaó (eixo V), conforme Figura 3. A outra alternativa constituía-se do aproveitamento do barramento de Kararaó

em cascata com o aproveitamento de Piranga (ver Figura 4). No sítio Babaquara, com um eixo alternativo, as investigações geológicas conduziram à escolha do eixo I-A, com fundação das estruturas no embasamento cristalino, conforme indicado na Figura 1.

Na 1ª concepção, foi ainda estudada uma nova posição para a barragem de Koatinema, também com fundações no cristalino, localizando-se esta no eixo denominado Koatinema II.

O local de implantação do aproveitamento de Babaquara (BAB I-A) está situado em área de granitos e granito-gnaisses do Complexo Xingu e de rochas sedimentares paleozóicas, representadas por folhelhos, siltitos e arenitos, as cristalinas constituindo o leito do rio e sustentando a parte inferior das ombreiras e as sedimentares constituindo a parte superior das ombreiras.

As rochas graníticas aflorantes no leito do rio apresentam-se são medianamente a pouco fraturadas, com excelentes condições geomecânicas para implantação das estruturas de geração e extravasão. Nas baixadas marginais e ilhas, os aluviões apresentam espessuras de 4 a 7 m e, nas ombreiras, os solos alcançam espessuras variáveis entre 10 e 30 m.

A alternativa Kararaó V - Jurua situa-se na região cristalina, envolvendo granitos e migmatitos, indiferenciados, e, particularmente no eixo KR0 V, também um pacote de rochas sedimentares. Na barragem de Jurua, a cobertura de solo nas ombreiras é bastante espessa, variando de 3 a 25 m e, no leito do rio, as rochas graníticas apresentam-se sãs, pouco fraturadas, exceto no canal principal, onde se apresentam pouco alteradas e muito fraturadas.

A usina de Kararaó, situa-se fora do leito do rio Xingu, em área de rochas cristalinas e de rochas sedimentares da Formação Trombetas, capeadas nas cotas mais altas por arenitos semiconsolidados da Formação Alter do Chão. Desde as cotas mais baixas até meia encosta, ocorrem granito-gnaisses e, no alto das ombreiras, siltitos, folhelhos e arenitos. A cobertura de solo varia de 3 a 30 m, atingindo as maiores espessuras nos granito-gnaisses e nos sedimentos semiconsolidados Alter do Chão. Ao longo das drenagens, o granito-gnaisse apresenta-se são e pouco fraturado, com excelentes características de resistência e deformabilidade.

A alternativa Cachoeira Grande - Piranga situa-se também na região cristalina, envolvendo granitos e migmatitos, indiferenciados. Em ambos os aproveitamentos, a rocha de fundação apresenta-se sã, medianamente a pouco fraturada, com boas características de resistência e deformabilidade para fundação de qualquer tipo de estrutura. A cobertura de solo nas ombreiras é bastante espessa em ambos os aproveitamentos, atingindo nas cotas mais altas e 5 m nos aluviões marginais.

Para os aproveitamentos de Kararaó e Piranga foram consideradas, alternativamente, três cotas para o nível d'água máximo normal: 95 m, 108 m e 120 m. Destas, apenas a cota 95 m não implicaria no alargamento da cidade de Altamira. Associado à cota 95 m, o aproveitamento de montante e Babaquara no eixo denominado I-A e, associado à cota 108 m, esse aproveitamento passa a ser Araras, situado 80 km a montante de Altamira. Para a cota 120 m, é necessário que sejam associados dois aproveitamentos regulamentares: Assurini, no rio Xingu e Mossoró, no rio Iriri, situados, respectivamente, 120 km e 135 km a montante de Altamira.

A alternativa de cota 120 m para nível d'água máximo normal do aproveitamento de Jusante do Complexo foi descartada por não se ter caracterizado uma grande concentração de energia num pequeno número de aproveitamentos próximos entre si.

Estabelecidos estes arranjos para aproveitamento do Complexo, eles foram analisados conjuntamente com a divisão da queda total do rio e desta análise resultaram as alternativas para o Complexo de Altamira, apre-



sentadas no Quadro abaixo.

APROVEITAMENTO DE MONTANTE	N. A. MAX. NORMAL	APROVEITAMENTO DE JUSANTE	N. A. MAX. NORMAL
Babaquara I-A	165 m	Kararaõ III / Koatinema II	95 m
Babaquara I-A	165 m	Kararaõ V / Juruã	95 m
Babaquara I-A	167 m	Cachoeira Grande + Piranga	95 m
Babaquara I-A	147 m	Kararaõ III / Koatinema II	95 m
Babaquara I-A	147 m	Kararaõ V / Juruã	95 m
Babaquara I-A	147 m	Cachoeira Grande + Piranga	95 m
Araras	165 m	Kararaõ III / Koatinema II	108 m
Araras	165 m	Kararaõ V / Juruã	108 m
Araras	165 m	Cachoeira Grande + Piranga	108 m
Araras	147 m	Kararaõ III / Koatinema II	108 m
Araras	147 m	Kararaõ V / Juruã	108 m
Araras	147 m	Cachoeira Grande + Piranga	108 m

Computou-se, então, para cada uma das alternativas do Complexo os respectivos potenciais e custos e chegou-se a custos índices totais inferiores para a alternativa em que a usina de jusante do Complexo era representada por Kararaõ V - Juruã. Análise das potências e dos custos envolvidos nas várias alternativas de divisão da queda do rio, ao lado dos aspectos técnicos e dos fatores de ordem econômica, social e territorial, levou à escolha, para o Complexo, das cotas de nível d'água máximo normal para Kararaõ V - Juruã e 165 m para Babaquara I-A, estando incluído numa alternativa de divisão da queda que tinha o menor custo índice total para o rio desenvolvido.

A terceira fase dos estudos caracterizou-se por um refinamento dos arranjos gerais dos aproveitamentos do Complexo.

O fato de Babaquara ser o aproveitamento prioritário, em razão de sua função regularizadora no Complexo e a existência de condições topográficas favoráveis, ensejou a consideração de um sítio mais a jusante para posicionamento da casa de força e vertedouro, com fundações no cristalino, no local denominado Babaquara III, onde há um ganho adicional de 8 m de queda (ver Figura 1).

O local de implantação das estruturas de geração e extravasão do aproveitamento de Babaquara (BAB III) situa-se em área de rochas cristalinas do Complexo Xingu representadas por migmatitos e granito-gnaisses, capeadas na baixada por extensos aluviões.

A cobertura de solo é da ordem de 30 a 40 m nas ombreiras e de 7 a 25 m na baixada, dos quais 7 m, em média, são aluviões. Ao longo das drenagens, os migmatitos e granito-gnaisses apresentam-se são e medianamente a pouco fraturados, com boas características de resistência e de deformabilidade para fundação das estruturas de concreto.

Não obstante se tivesse optado na 2ª fase por Kararaõ V - Juruã, como aproveitamento de jusante do Complexo, prosseguiu-se na 3ª fase a pesquisa de outras soluções, visto ter-se constatado, através de uma complementação da restituição aerofotogramétrica, a possibilidade de implantação do Aproveitamento de Cachoeira Grande com nível d'água máximo normal na cota 95 m.

A análise das potências e dos custos envolvidos no aproveitamento de Cachoeira Grande (NA = 95 m), comparados à combinação dos aproveitamentos de Cachoeira Grande (NA = 57 m) e Piranga (NA = 95 m), evidenciou que embora fossem iguais as potências envolvidas, o custo índice era cerca

e 6% inferior no primeiro caso, que também permite um ganho em economia e escala, com a construção de um único aproveitamento.

Por outro lado, a análise das potências e custos envolvidos no aproveitamento de Jusante do Complexo (Cachoeira Grande ou Kararaó V - Juruá), considerando-se a casa de força de Babaquara no sítio III (ver Figuras 5 e 6), mostrou ser mais vantajoso o arranjo composto por Kararaó V - Juruá, com custo cerca de 10% inferior. Considerando a casa de força de Babaquara em BAB I-A a diferença em favor de Kararaó é ainda maior.

Quanto ao aproveitamento de montante, permanece em aberto a questão do nível d'água máximo normal do reservatório (cota 147 ou 165 m), que está sendo estudado na fase de viabilidade, em função do volume de diques necessários para a contenção do reservatório na margem direita.

Outra questão em aberto é a localização da casa de força e do vertedouro em Babaquara I-A ou Babaquara III. A grosso modo, pode-se dizer que o sítio Babaquara III exige um volume adicional de diques, mas oferece, em compensação, as seguintes vantagens: mais 8 m na queda bruta, o que significa maior quantidade de energia a ser gerada na primeira fase de implantação do Complexo; construção em seco da casa de força e de um vertedor complementar; proteção efetiva da cidade de Altamira contra as enchentes; e possibilidade de se fixar o N.A. máximo de Kararaó na cota 87 m, o que possibilita o abaixamento de 8 m na cota de coroamento das estruturas de Juruá, Kararaó e dos diques de contenção do seu reservatório.

Os aspectos geológicos e geotécnicos que condicionaram as diretrizes para os arranjos dos aproveitamentos alternativos do Complexo podem ser assim resumidos:

- a. fundações das obras da 1ª concepção de aproveitamento do Complexo (Babaquara I e Kararaó - Koatinema) sobre rochas sedimentares da Bacia Paleozóica, de características geomecânicas contra-indicadas, tanto para o aproveitamento das estruturas de concreto quanto para o emprego como material de construção;
- b. necessidade do reconhecimento do contato geológico entre a base sedimentar e as rochas cristalinas pré-cambrianas, para que se pudesse idealizar novos arranjos com fundações dos barramentos sobre terrenos estalinos;
- c. constatação de melhores condições geotécnicas de fundação nos locais das novas alternativas: Babaquara I-A, Kararaó V - Juruá, Cachoeira Grande - Piranga, todas situadas sobre terrenos cristalinos e com grande disponibilidade de materiais naturais de construção;
- d. constatação de topo rochoso muito mais alto no sítio BAB III do que em BAB I, o que poderá representar grande economia de concreto nas fundações e extravasão em BAB III;
- e. verificação das condições de escavação para tomada d'água, casa de força e canal de fuga em Kararaó V, para cálculo de custos mais realistas na alternativa Babaquara III - Juruá - Kararaó V, na cota 87 m;
- f. escolha das seções tipo das barragens em função dos materiais naturais de construção disponíveis em cada sítio;
- g. orientação para os estudos geológico-geotécnicos mais detalhados, a serem realizados na fase de viabilidade.

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos estudos de inventário hidrelétrico na bacia amazônica, é indispensável a adoção de uma metodologia apropriada, para fazer face aos altos custos de apoio logístico que incidem sobre os serviços de campo. Grande importância deve também ser atribuída aos critérios de avaliação das alternativas estudadas, quando os grandes traços geológicos e geotécni-

cos, ainda que preliminares, podem participar de forma decisiva.

As próprias alternativas podem ser concebidas mais realisticamente com a contribuição do reconhecimento geológico-geotécnico, fato mais que comprovado ao se optar por alternativas, cujas obras estão posicionadas sobre terrenos do embasamento cristalino e não sobre terrenos sedimentares.

Mais uma vez, deve-se reforçar em trabalhos desta natureza, a validade da orientação de se obter um bom grau de detalhamento das características geológico-geotécnicas de cada local de aproveitamento e da verificação da disponibilidade de materiais naturais de construção, que têm implicações diretas com a escolha dos tipos de barragens, com os arranjos gerais das estruturas e seus aspectos construtivos e, finalmente, com os custos globais de implantação das obras.

A utilização de fotos aéreas por técnicos especializados, que muito pode contribuir na redução dos serviços de campo e consequentemente nos custos globais, e o emprego da geofísica, barata, rápida e de grande capacidade de resolução, são recursos de grande valia em trabalhos deste tipo.

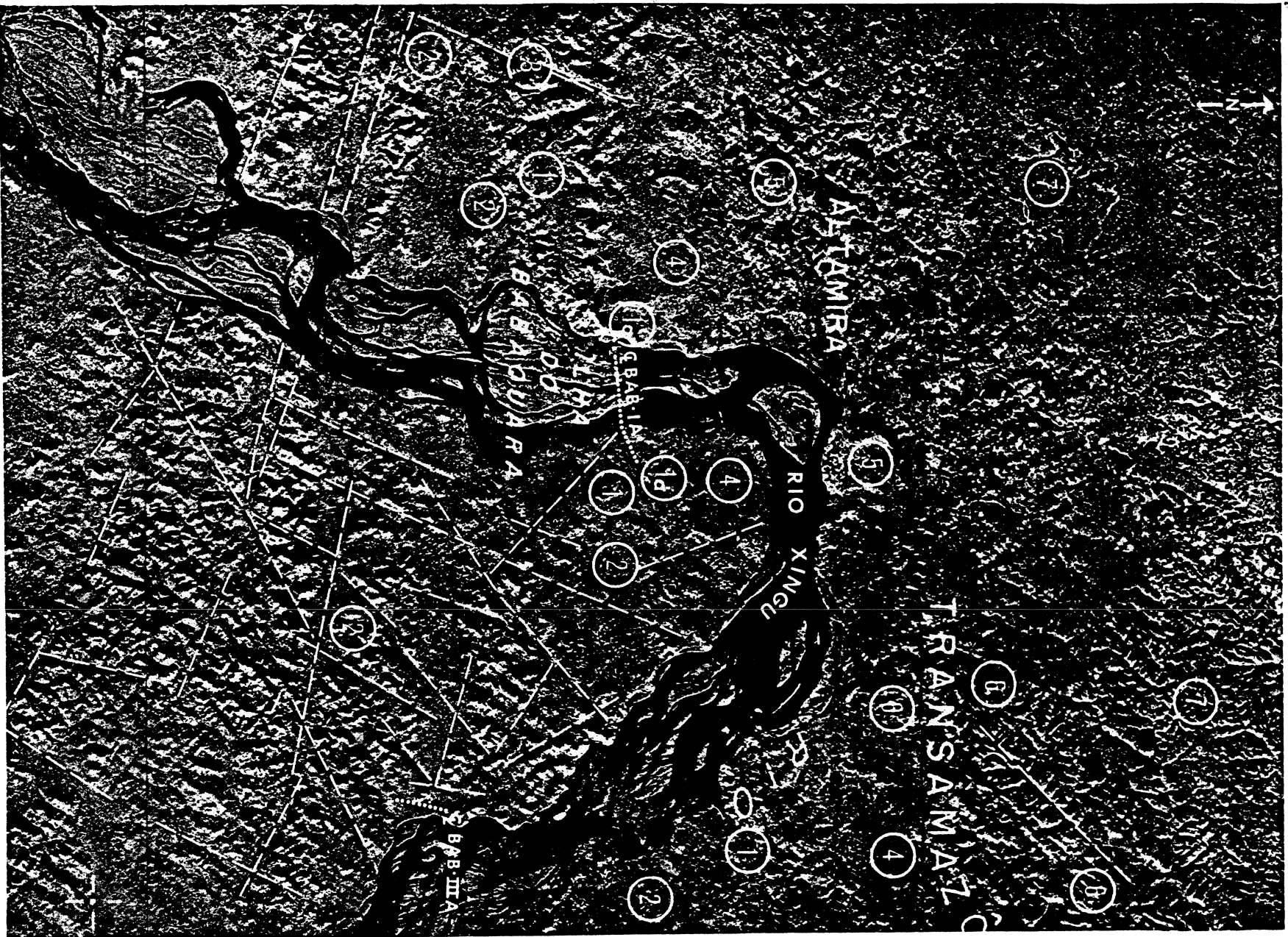
O desafio representado pela bacia amazônica, exigirá a permanente vigília de nossa capacidade criadora, para que sejam encontradas novas técnicas e novos métodos de investigações para esta tão vasta região. Já dizia Euclides da Cunha, no início do século, que a "inteligência humana não suportaria de improviso o peso daquela realidade portentosa. Terá que crescer com ela, adaptando-se-lhe para dominá-la. É uma guerra de mil anos contra o desconhecido, cujo triunfo só virá ao fim de trabalhos incalculáveis em futuro remotíssimo...". E o remotíssimo futuro a que se referia o escritor já começa a chegar.

#### 7 - AGRADECIMENTOS

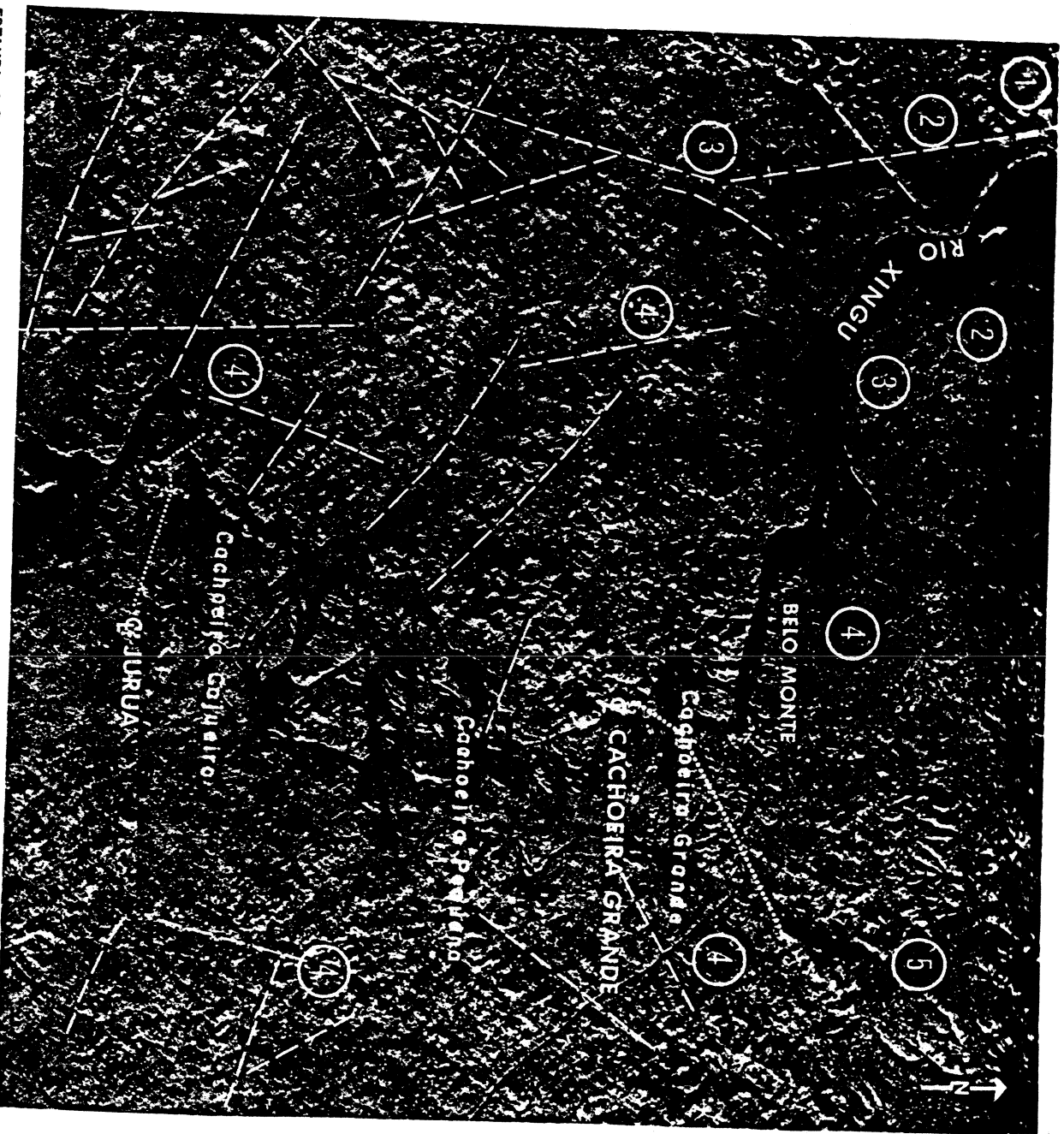
Os autores agradecem à Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. - ELETRONORTE, pela autorização para divulgação dos dados apresentados neste trabalho.

#### 8 - BIBLIOGRAFIA

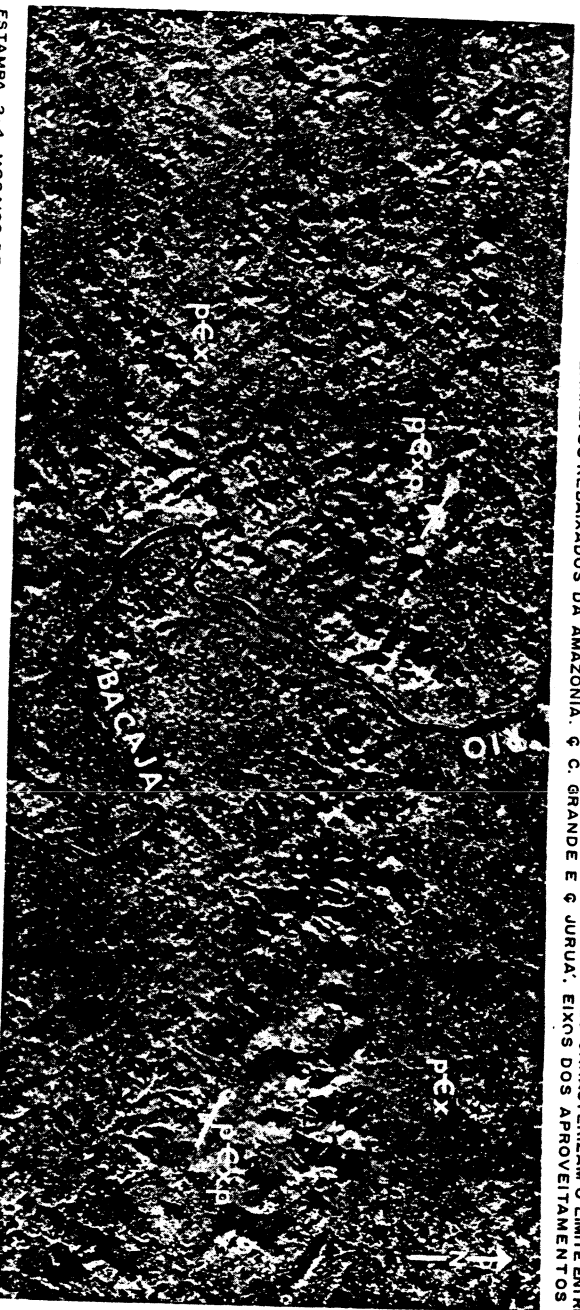
- CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R. e VASCONCELOS, D. N. N. (1971). Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. Petrobrás. Relatório Interno 641-A.
- CNEC. Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Brasília, Jan/80.
- ISSLER, R. S. et alii. Projeto RADAM. Folha SA.22 Belém (Levantamento de Recursos Naturais - Geologia V. 5). Belém, 1974.
- MACAMBIRA, E. M. B. et alii. Projeto Sulfetos de Altamira - Itaituba. DNP/CPRM. Relatório Final. Belém, 1975.



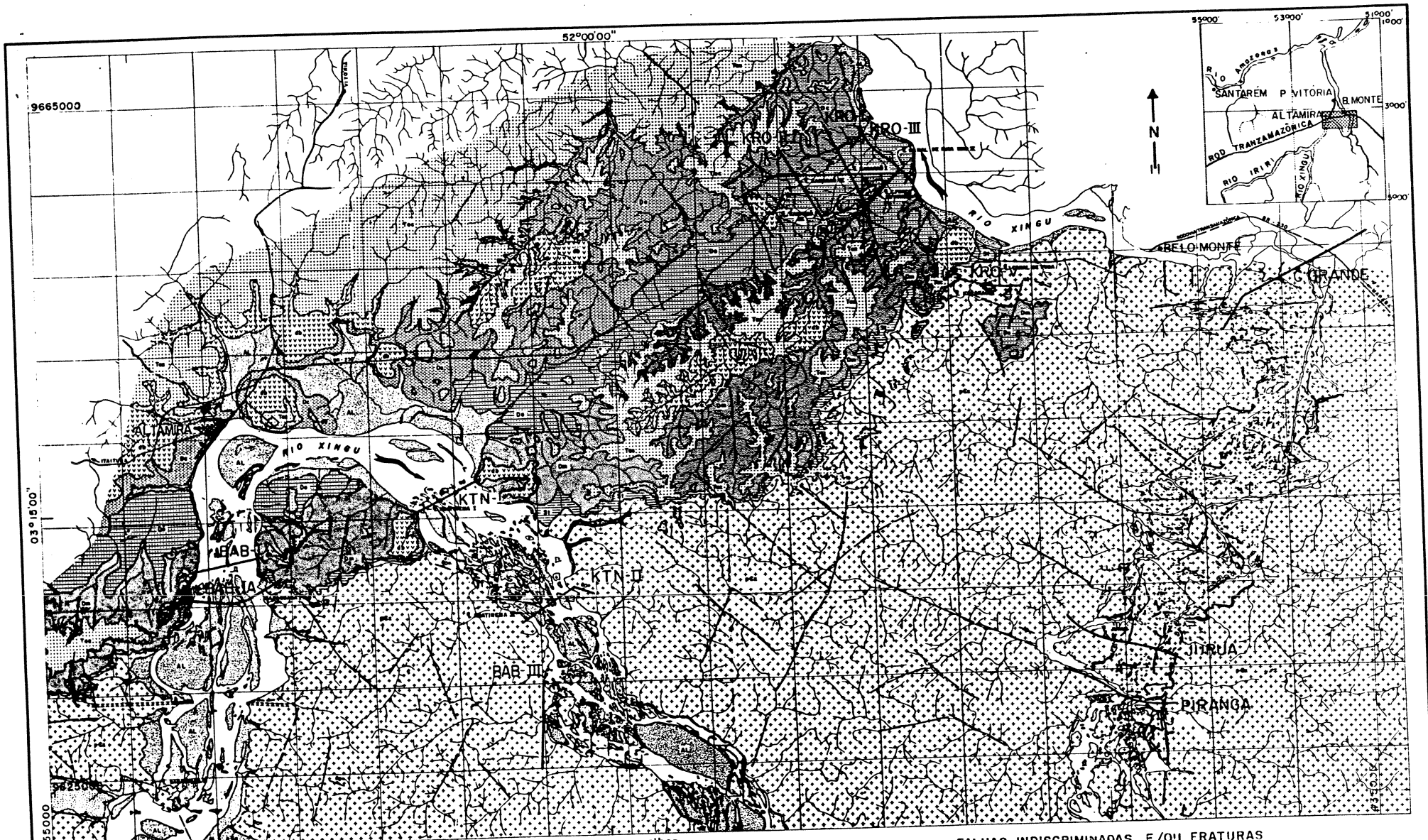
ESTAMPA 2.2. MOSAICO DE IMAGENS DE RADAR FOLHA SA. 22-YD-ESCALA 1:250000-REGIÃO DE ALTAMIRA. 1 FORMAÇÃO MAECURU E TROMBETAS SUSTENTANDO PLATOS E RELEVOS ONDUADOS; NOTE-SE NO CANTO ESCUREDO DA ESTAMP A CUESTA BEM PRONUNCIADA ASSINALANDO O LIMITE ENTRE AS ROCHAS SEDIMENTARES E O GRANITO. 2 COMPLEXO DE AS ROCHAS CRISTALINAS DO BASTANTE DISSECADO. 3 SILL COM FORTE CONTINUIDADE ESTRUTURAL DESTACA-SE NA IMAGEM DO RIO MOSTRANDO RELEVOS BASTANTE INDICATIVOS DE FALHAS E SEDIMENTARES E O COMPLEXO "UM SILL" 4 FORMAÇÃO UM GRANDE NÚMERO DE LINEAMENTOS CORTANDO AS FALHAS E SEDIMENTARES E O COMPLEXO "UM SILL" 5 FORMAÇÃO RELEVOS SUSTENTANDO RELEVOS REBAIXADOS E APLANADOS. 6 DIAZISO PENITICAUA FORMANDO "UM SILL" NA FORMAÇÃO CURUA. OS SOLOS SÃO BEM DESENVOLVIDOS E BASTANTE CLIVADOS DAI A TEXTURA CARACTERÍSTICA. 7 FORMAÇÃO BARREIRAS APRESENTANDO A RELEVOS ONDUADOS. 8 DIAZISO PENITICAUA, SUSTENTANDO RELEVOS APLANADOS, DISSECADOS EM COLINAS DE TIPO APLANADO E PLATOS E, LOCALMENTE, EM VALES BEM ENCAIXADOS. 9 BABAUARA I A E 10 BABAUARA III A - EIXOS DOS APROVEITAMENTOS.



ESTAMPA. 2. 3. MOSAICO DE IMAGENS DE RADAR-FOLHA SA. 22 - YD. ESCALA. 1: 250000 - REGIÃO DE BELO MONTE. 1. FORMAÇÃO CURUXÁ APRESENTANDO RELEVO BASTANTE DISSECADO. 2. FORMAÇÃO ERERE CORRESPONDENDO A UM RELEVO ARRASADO. 1. FORMAÇÃO CALAMENTE CAPEADA POR UM SILL DIABÁSIO. 4. COMPLEXO XINGU APRESENTANDO RELEVO BASTANTE DISSECADO. PRINCIPAIS LINEAMENTOS BASTANTE EXTENSOS. 5. TERCIÁRIO BARREIRAS OU (ALTER DO CHÃO) TRANSGREDINDO O EMBASAMENTO CRISTALINO E AS SEDIMENTARES PALEOZOICAS FORMANDO PLATOS, CUJOS REBORDOS QUESTIFORMES CARACTERIZAM O LIMITE ENTRE A DEPRESSÃO PERIFÉRICA E OS PLANALTOS REBAIXADOS DA AMAZÔNIA. § C. GRANDE E § JURUA: EIXOS DOS APROVEITAMENTOS.



ESTAMPA. 2. 4. MOSAICO DE IMAGENS DE RADAR-FOLHA SA. 22 - YD - ESCALA. 1: 250000 - REGIÃO DA FÓZ DO RIO BACAJÁ. GARGANTA DE SUPERIMPOSIÇÃO. FORMADA PELO ENCAIXAMENTO DO RIO BACAJÁ NOS XISTOS SUBVERTICAIS DA FORMAÇÃO TRÊS PALMEIRAS - (p-3p); O COMPLEXO XINGU (p-x) APRESENTA UM RELEVO ARRASADO COM DISSECAÇÃO MAIS INTENSA NA MARGEM ESQUERDA DO BACAJÁ.



- |                                |  |  |
|--------------------------------|--|--|
| QUATERNÁRIO                    |  | ALUVIÕES: areias, siltes, argilas e cascalhos.                         |
| TERCIÁRIO                      |  | FORMAÇÃO ALTER DO CHÃO: arenitos, argilitos e conglomerados.           |
| JURÁSSICO CRETÁCEO             |  | INTRUSIVAS BÁSICAS: diabásio.  |
| DEVONIANO SUPERIOR             |  | FORMAÇÃO CURUA: siltitos e folhelhos cinza.                            |
| DEVONIANO MÉDIO                |  | FORMAÇÃO ERERÊ: arenitos finos e siltitos.                             |
| DEVONIANO INFERIOR             |  | FORMAÇÃO MAECURU: arenitos finos a conglomeráticos, brancos, friáveis. |
| SILURIANO                      |  | FORMAÇÃO TROMBETAS: siltitos, folhelhos e arenitos finos micáceos.     |
| PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR         |  | GRUPO UATUMÁ: anéisitos e propilitos.                                  |
| PRÉ-CAMBRIANO INFERIOR A MÉDIO |  | COMPLEXO XINGU: migmatitos, gnaisses, granitos e diques ácidos.        |

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
|  | FALHAS INDISCRIMINADAS E/OU FRATURAS |
|  | DIQUE ÁCIDO                          |
|  | CONTATO GEOLÓGICO INFERIDO           |
|  | CONTATO GEOLÓGICO APROXIMADO         |
|  | ACAMAMENTO                           |
|  | BANDEAMENTO OU XISTOSIDADE VERTICAL  |
|  | EIXO ALTERNATIVO                     |
|  | BR-230. ROD. TRANZAMAZÔNICA          |

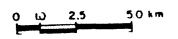


FIGURA-1

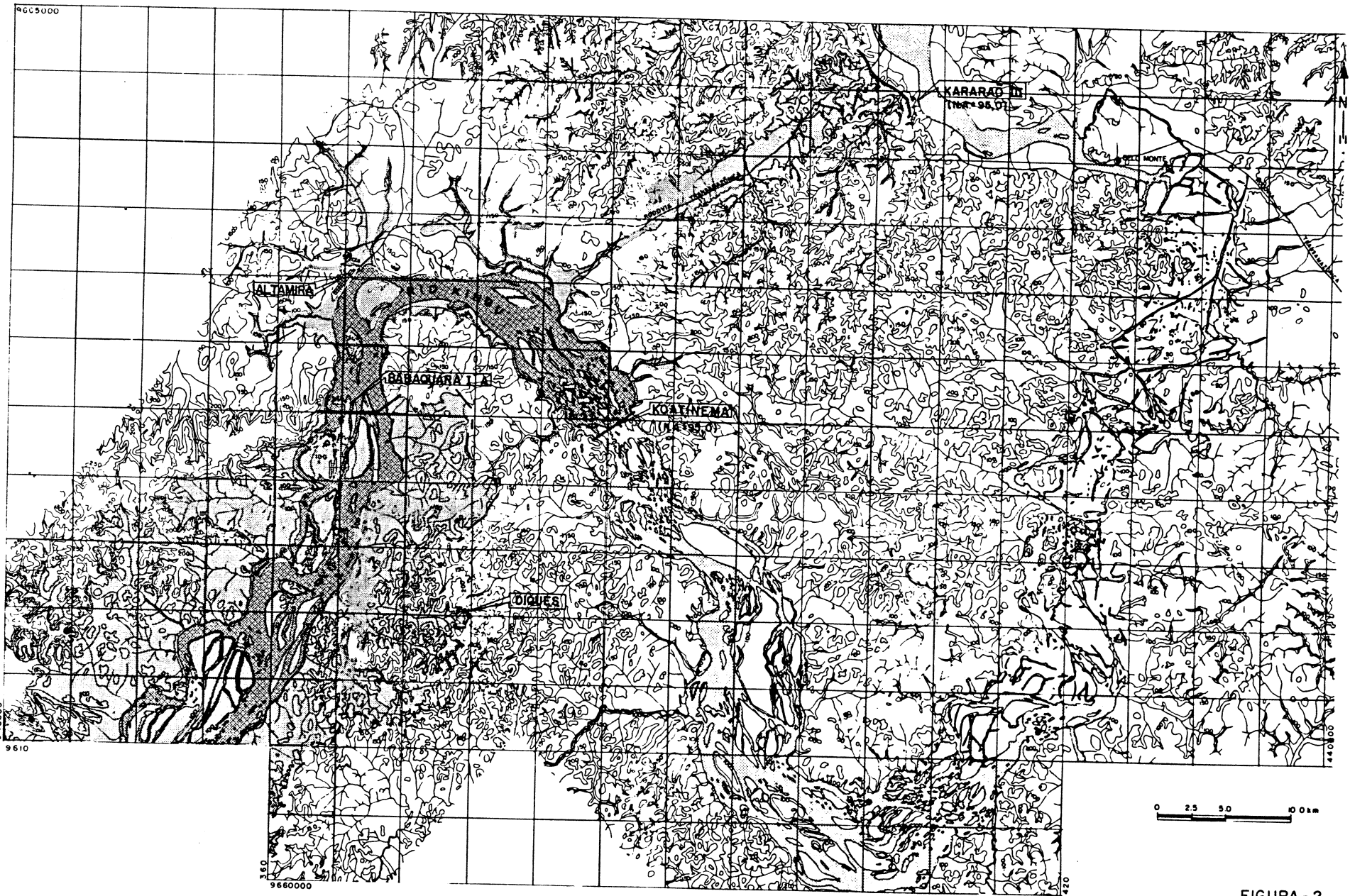


FIGURA - 2

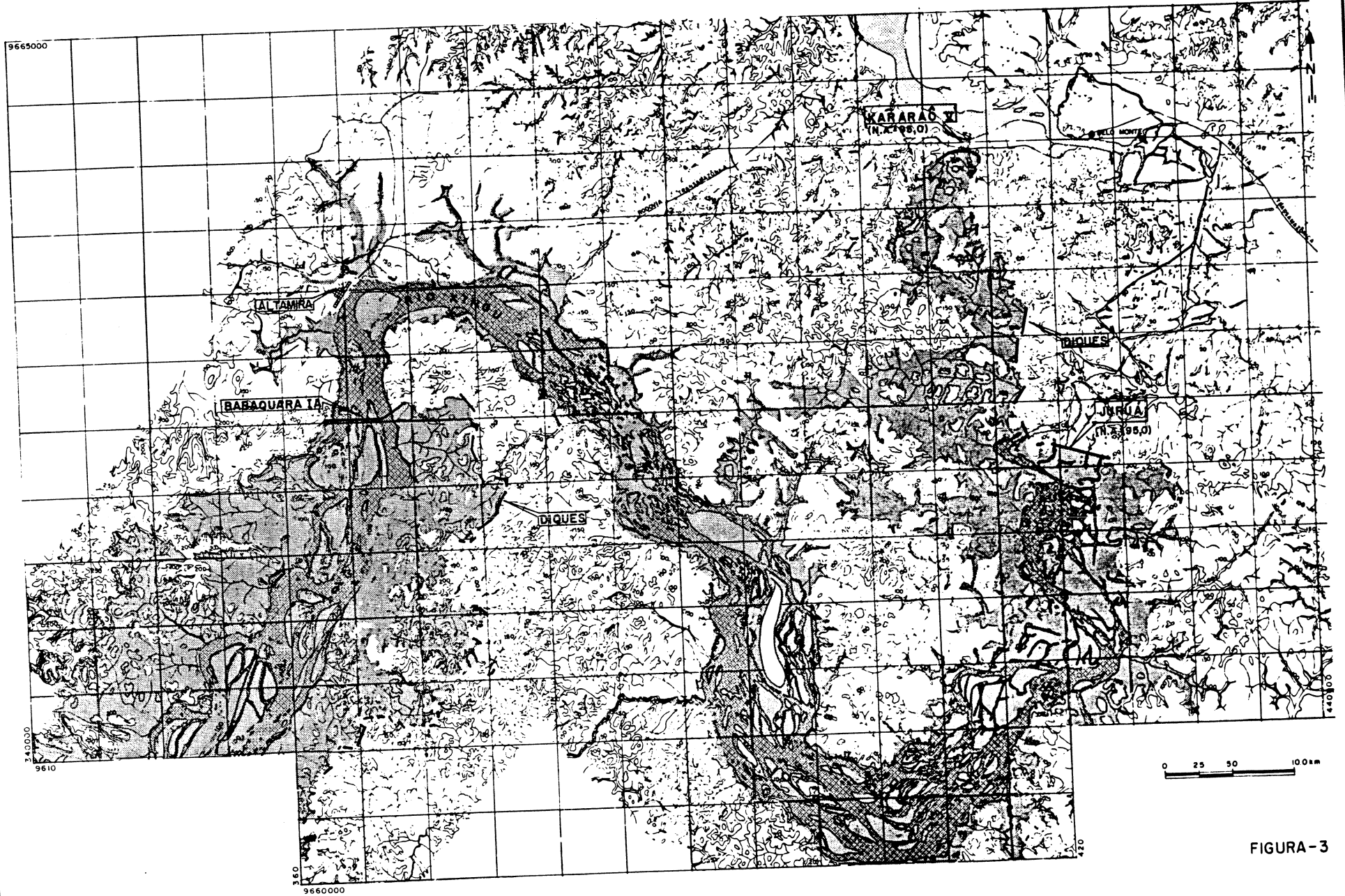
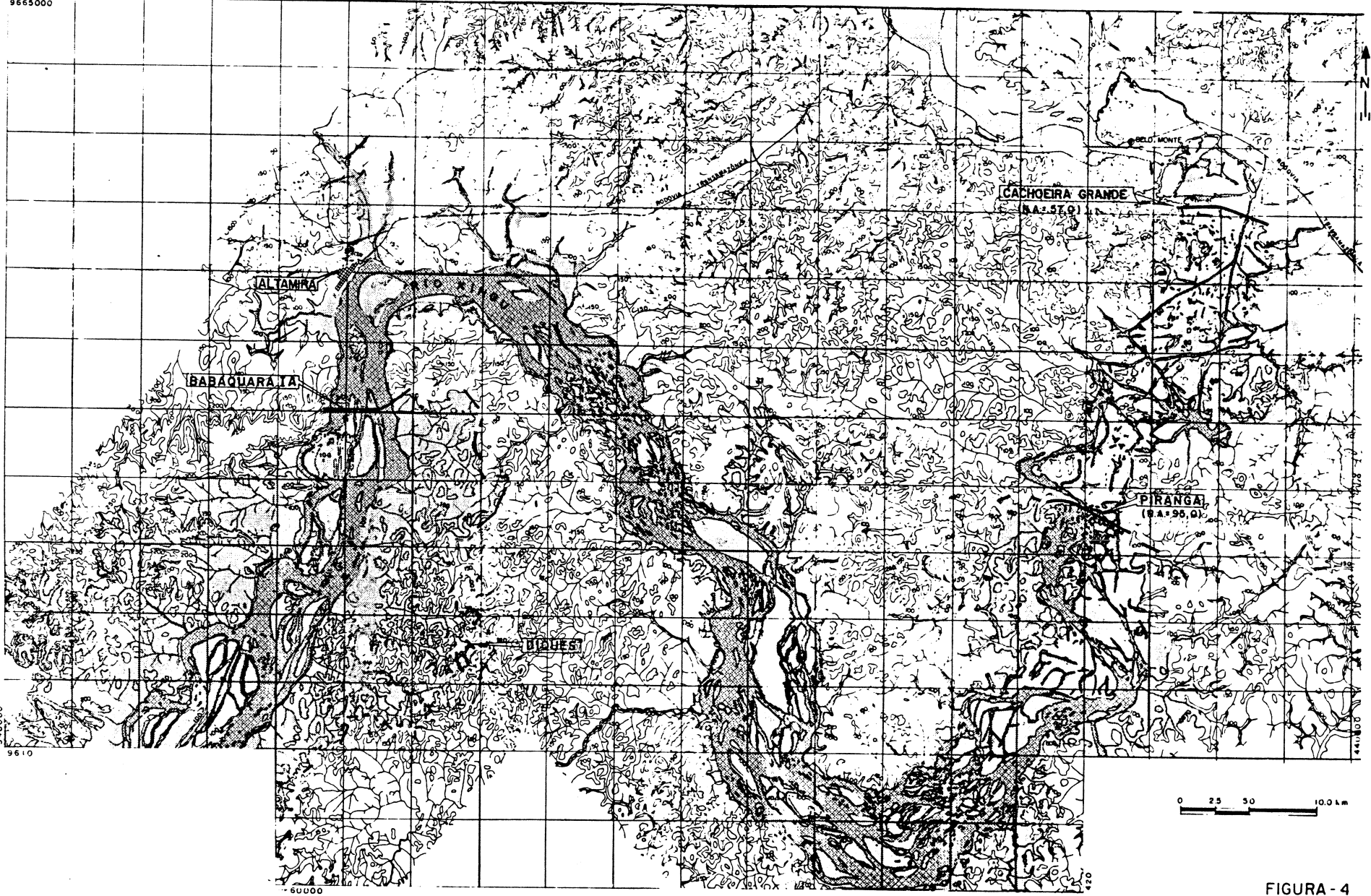


FIGURA - 3



9665000



145000  
9610

60000

0 25 50 10.0 km

FIGURA - 4

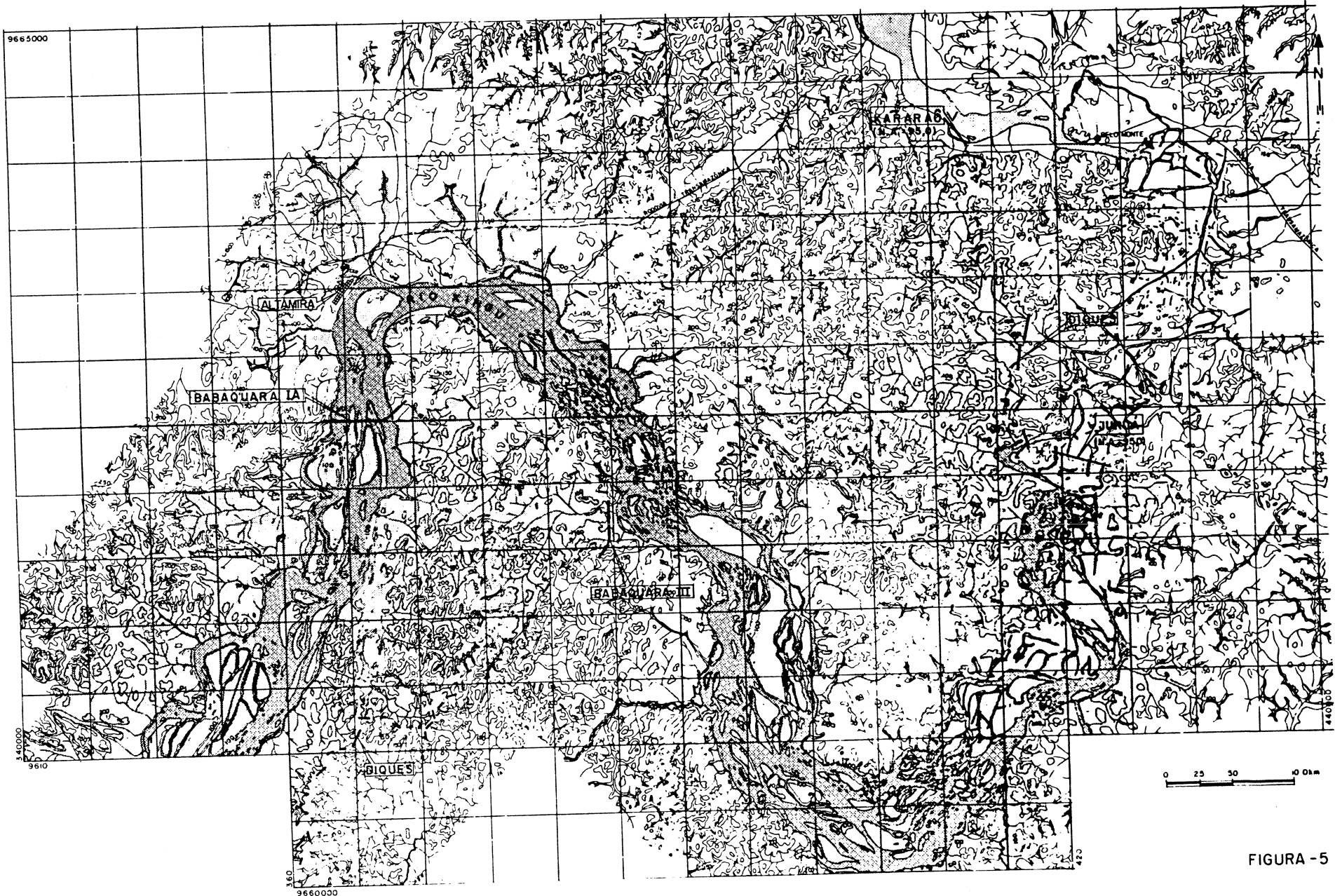


FIGURA - 5