



**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

gl

# PLANO DE TRABALHO

## PLANO DE PESQUISA COMPLEMENTAR

|                  |                                                                                                                                  |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROCESSOS ANM Nº | 812.869/71 812.870/71 - 812.871/71 - 812.872/71 - 812.873/71 -<br>812.874/71 - 812.875/71 - 812.876/71 - 812.877/71 - 812.878/71 |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                      |
|------------------------------------------------------|
| TITULAR: COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS  |
| CNPJ: 00.091.652/0001-89                             |
| MUNICÍPIO: IPIXUNA/PA – SÃO DOMINGOS DO RIO CAPIM/PA |
| SUBSTÂNCIA: CAULIM                                   |

|                                                       |                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RESPONSÁVEL TÉCNICO: João Marcelo Rodrigues de Castro | <br>Serviço Geológico do Brasil |
| FORMAÇÃO: GEÓLOGO                                     |                                                                                                                      |
| CREA: 1501489070PA                                    |                                                                                                                      |

|      |            |
|------|------------|
| DATA | 05/04/2021 |
|------|------------|



## SUMÁRIO

- 1. INTRODUÇÃO**
- 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**
  - 2.1 Localização e vias de acesso
  - 2.2 Poligonal requerida
  - 2.3 Clima
  - 2.4 Recursos hídricos
- 3. GEOLOGIA REGIONAL**
  - 3.1 Unidades Litoestratigráficas
    - 3.1.1 - Embasamento
    - 3.1.2 - Formação (Grupo) Itapecuru
    - 3.1.3- Formação Ipixuna
    - 3.1.4- Formação (Grupo) Barreiras
    - 3.1.5- Coberturas Lateríticas
    - 3.1.6- Sedimentos Pós-Barreiras
- 4. GEOLOGIA LOCAL**
  - 4.1- Unidades litoestratigráficas locais
- 5. ETAPAS DA PESQUISA COMPLEMENTAR**
  - 5.1 OBJETIVOS
  - 5.2 Programa mínimo de pesquisa geológica
    - 5.2.1 Topografia
    - 5.2.2 Adensamento da malha de sondagem
    - 5.2.3 Análises químicas e testes de qualidade do minério
    - 5.2.4 Cronograma
    - 5.2.5 Relatório
    - 5.2.6 Orçamento preliminar de pesquisa mineral complementar
- 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**
- 7. RESPONSABILIDADE TÉCNICA**
- 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

gk

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente plano de pesquisa mineral complementar foi elaborado sob a responsabilidade dos técnicos João Marcelo Rodrigues de Castro CPRM-PARÁ e Ruben Sardou Filho (CPRM-BRASÍLIA). Informações relativas ao conhecimento geológico do domínio sudeste do estado do Pará estão presentes neste plano, sendo descritas as técnicas e os métodos a ser utilizado para a avaliação do depósito mineral denominado Rio Capim, com os respectivos trabalhos programados e os indispensáveis cuidados a serem observados com o meio ambiente.

O Distrito Caulínico do rio Capim é atualmente um dos mais importantes distritos da Amazônia, com as maiores reservas de caulim de alta brancura do país.

A região nordeste paraense é conhecida pelos seus depósitos minerais formados em condições especiais, associadas principalmente a condições parcialmente estáveis, incrementadas pelo intemperismo e pela ação de efeitos supergênicos.

Na região foram realizados, na década de 1970, diversos poços de pesquisa e furos de sondagem pela CPRM, e no trabalho de reavaliação foram selecionados somente os trabalhos de escavações e sondagem que estavam com os dados completos, totalizando 1.530,15 metros lineares de profundidade de investigativas distribuídos em 93 pontos de observação, sendo 8 sondagem rotativa (165,85 m) e 70 poços de pesquisa e trincheiras (1.126,20 m) no Bloco Norte e 15 poços de pesquisa (238,10 m) no Bloco Sul.

Posteriormente a reavaliação efetuada pela CPRM, foi contratada através de licitação a SAGA CONSULTORIA E SERVIÇOS DE ENGENHARIA para a valoração econômica de depósito mineral de Caulim. Os estudos foram elaborados de acordo com as melhores práticas internacionais de avaliação econômica de depósitos minerais. O Relatório abordou a revisão das informações técnicas da pesquisa exploratória realizada pela CPRM e apresentou uma análise econômica para o aproveitamento dos bens minerais da área e sua valoração.

Para a avaliação econômica do Projeto Rio Capim foi elaborado um Projeto Conceitual de exploração dos bens minerais.

O trabalho de estimativa de recurso foi desenvolvido pela equipe técnica da CPRM, com utilização do método IQD.

A análise de mercado realizada mostrou que o segmento de papel tem sido o maior segmento consumidor de Caulim, responsável por uma participação na receita de 37,7% em 2019, devido ao aumento do uso de papel na indústria de embalagens.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Os principais participantes globais da indústria de caulim incluem BASF SE, Sibelco NV e Imerys SA. A região do Pacífico, na Ásia, detém a maior participação na receita em 2019, devido à alta penetração da aplicação nas indústrias de papel e tintas na região.

Conforme apresentado no Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral - Projeto Rio Capim (2018) desenvolvido pela CPRM, a estruturação do depósito é de baixa complexidade, com camadas horizontais de grande continuidade.

Segundo estudos da *Grand View Research*, o mercado mundial de Caulim deve crescer a uma taxa anual de 3,5% de 2020 a 2027. Desta maneira, espera-se que este mercado atinja em 2027 receitas totais da ordem de US\$ 6,28 bilhões e uma demanda total da ordem de 37,5Mt.

Com relação à Geologia do Projeto Rio Capim, o depósito de caulim originou-se pela ação supergênica sobre arenitos arcoseanos e pelitos oriundos de rochas graníticas da Plataforma Bragantina. Sua porção meridional experimentou alguma subsidência no Cretáceo, o que resultou na deposição das formações Ipixuna e Itapecuru.

Os depósitos de caulim pertencem à Formação Ipixuna, sobreposta à Formação Itapecuru.

A Formação Ipixuna, portadora de camadas mineralizadas, é caracterizada por arenitos médios a finos, moderadamente selecionados, caulinizados, muito desferrificados, com intercalação de argilitos cauliníticos. A zona mineralizada no depósito Rio Capim pode ser dividida em dois horizontes:

- Caulim Arenoso, localizado na base do perfil intempérico e composto principalmente por quartzo e caulinita com diferentes tamanhos de grão.
- Caulim Macio possui cerca de 7 m de espessura, sua cor é branca com manchas avermelhadas sendo constituída por caulinita com algum quartzo minerais acessórios como hematita e anatásio.

De acordo com o relatório desenvolvido pela CPRM, o modelo de blocos foi obtido através das camadas dos sólidos de caulim gerados durante a modelagem geológica. Desta forma, com a cubagem do modelo pode-se obter os recursos pertinentes a cada região.

A CPRM utilizou o software Strata 3D para a construção do modelo.

O presente plano de pesquisa mineral complementar prevê um programa exploratório mínimo para os blocos Norte e Sul do Projeto Rio Capim, visando o reconhecimento geológico de toda a área dos alvarás de pesquisa e detalhamento de duas regiões favoráveis ao início das atividades de lavra.



## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

### 2.1. Localização e vias de acesso

A região do projeto Rio Capim está localizada a nordeste do estado do Pará, no município de Ipixuna, que fica a uma distância de 270 km da capital Belém (Figura 01). O Acesso a área pode ser feito por vias rodoviárias, saindo da capital Belém passando por Santa Maria do Pará seguindo pela BR-316 e BR-010 (mais conhecida como Belém – Brasília).

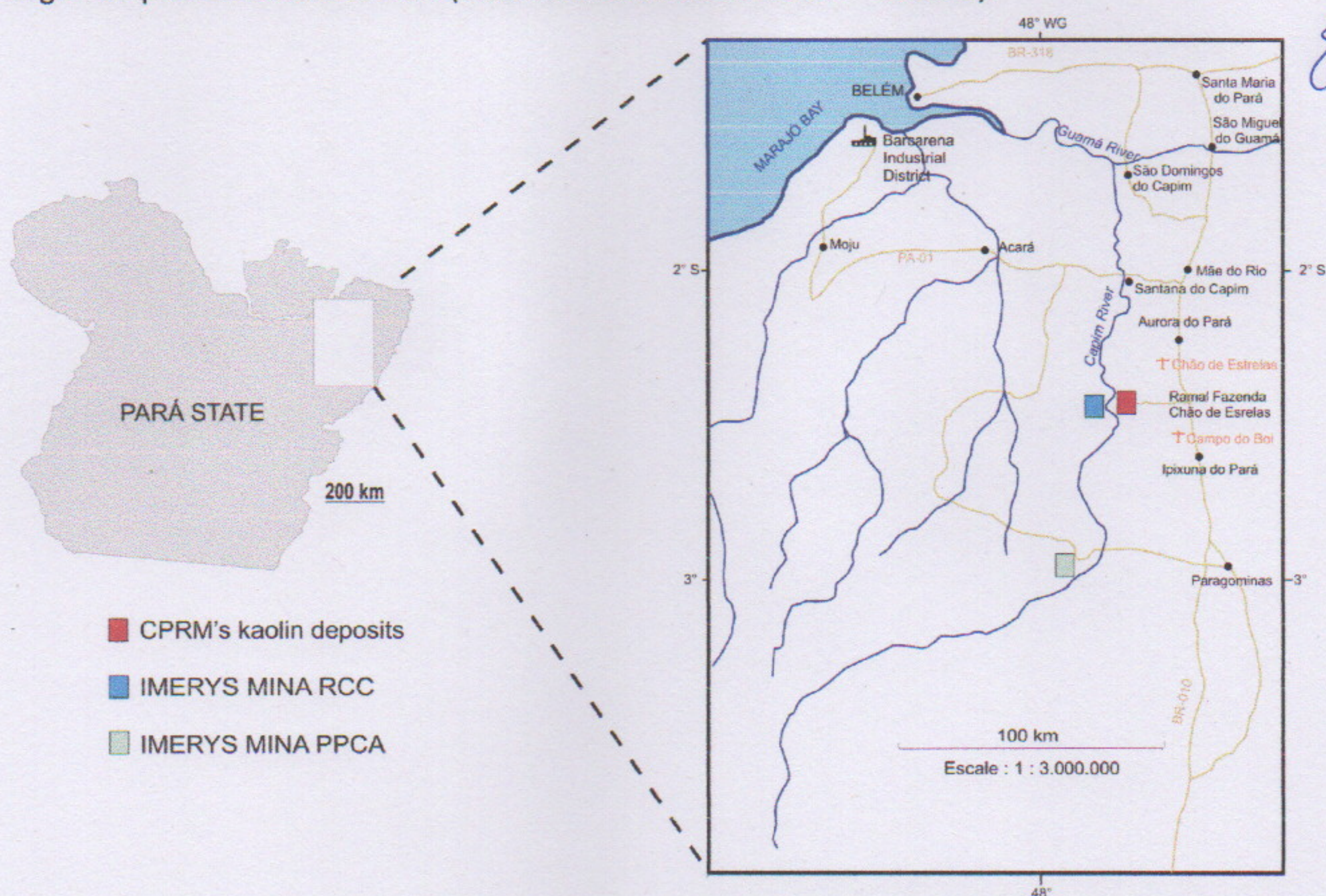


Figura 01: Localização dos depósitos caulínicos da CPRM

Outra alternativa de acesso a região é através da via fluvial, em qualquer época do ano, através de embarcações de pequena e média tonelagem, navegando, inicialmente, cerca de 120 km pelo rio Guamá e, em seguida, 120 km pelo rio Capim.

Na região encontram-se grandes e importantes centros comerciais do norte do país, sendo altamente favoráveis no que se refere à disponibilidade de infraestrutura rodoviária básica, necessária a instalação de um futuro empreendimento mineiro.



## 2.2. Poligonal requerida

O conjunto das poligonais da ANM são divididas em duas regiões (Figura 02). Cinco processos ao norte, denominado Bloco Norte, e cinco ao sul, Bloco Sul. São dez áreas de 1000 ha, protocolizadas na ANM sob os números 812.869 a 812.878/1971. Destes, cinco (Bloco Norte) têm o caulim como substância principal e cinco (Bloco Sul) são para argila refratária. As autorizações de pesquisa, concedidas pelos alvarás nº 868 a 877, de 13.07.1972, foram publicadas no Diário Oficial da União (DOU) de 02.07.1972.

Todas as áreas tiveram seus relatórios finais de pesquisa aprovados pela ANM, havendo apenas algumas movimentações posteriores, no caso do processo 812.869/1971, que não afetam o direito de prioridade e/ou a integridade dos direitos sobre o caulim no depósito. A seguir é apresentada uma visão geral dos processos, mostrando a disposição e poligonais da CPRM.

Tabela 01: Direitos Minerários das áreas pertencentes à CPRM no depósito de Rio Capim

| Processo | Ano  | Área (ha) | Município                  | Substância        | Último Evento                                    |
|----------|------|-----------|----------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|
| 812.869  | 1971 | 1000      | Ipixuna Do Pará            | Caulim            | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.870  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim   | Caulim            | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.871  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim   | Caulim            | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.872  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim   | Caulim            | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.873  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim   | Caulim            | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.874  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim   | Argila Refratária | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.875  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim   | Argila Refratária | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.876  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim A | Argila Refratária | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.877  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim   | Argila Refratária | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |
| 812.878  | 1971 | 1000      | São Domingos<br>Do Capim   | Argila Refratária | Aut Pesq/Rel<br>Pesq Aprov Publ<br>em 25.01.1974 |



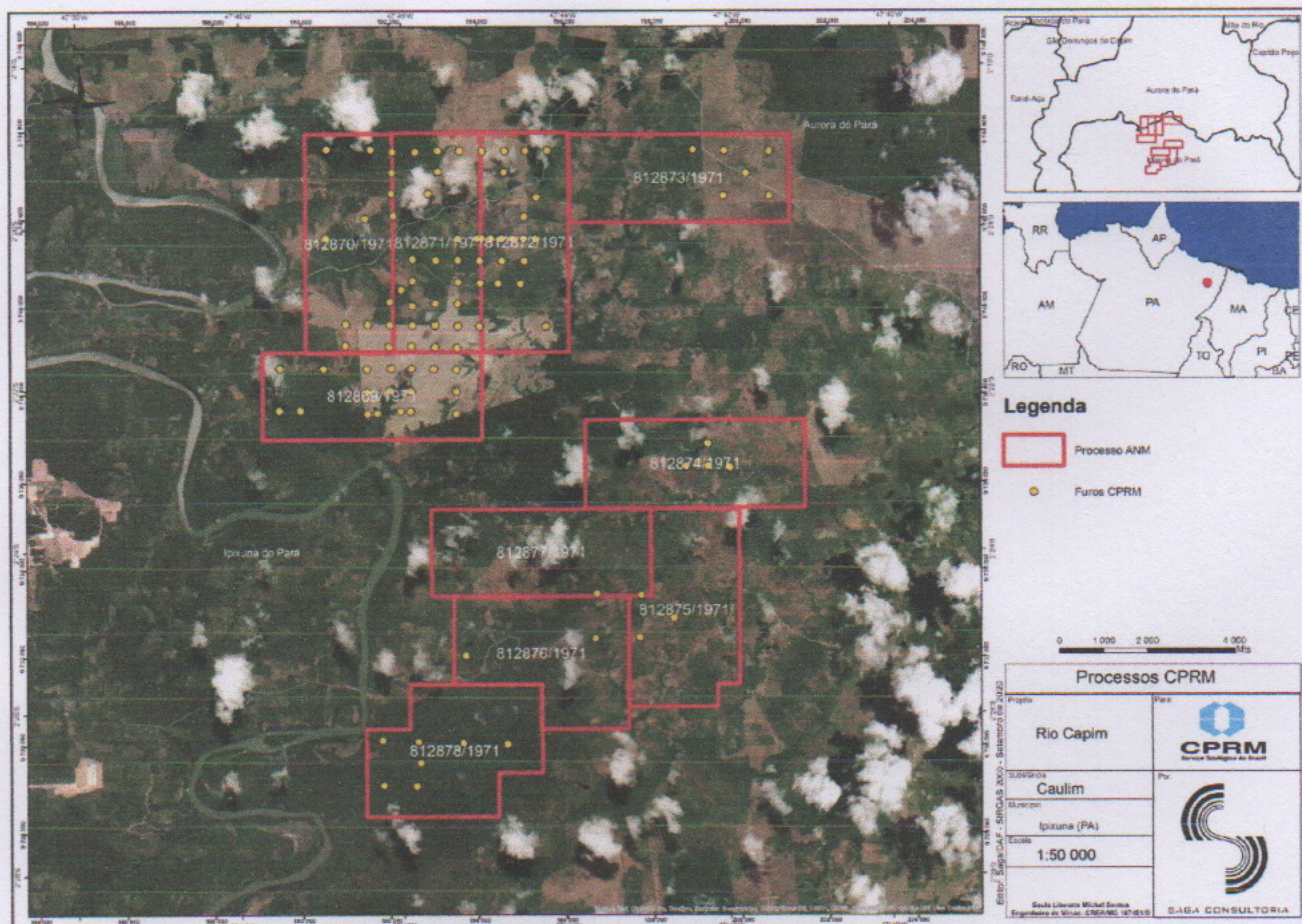


Figura 02: Distribuição das propriedades minerais da CPRM na região de estudo.

### 3. GEOLOGIA REGIONAL

A Sub-Bacia de Cametá está ao Norte do Brasil, mais precisamente na porção sul da Bacia do Marajó. Segundo Azevedo (1991) e Galvão (1991), essa Sub-Bacia possui uma geometria alongada com orientação NW-SE, devido ao estiramento litosférico proveniente da abertura do Oceano Atlântico Equatorial no início do Cretáceo. É limitada pelo Arco Capim a sudeste, pelo Arco Gurupá a sudoeste, pelas plataformas do Pará e Bragantina a norte e pelo Lineamento de Tocantins a noroeste. Faz parte do Sistema Graben do Marajó onde também estão encaixadas as bacias Limoeiro e Mexiana. As plataformas Bragantina e do Pará correspondem às áreas de embasamento, cujas mesmas permanecem estáveis entre as bacias sedimentares pertencentes ao Sistema de Graben do Marajó (AZEVEDO, 1991; VILLEGAS, 1994)

De maneira geral, o embasamento da Sub-Bacia de Cametá é pouco conhecido, mas é possível afirmar, segundo Nascimento e Góes (2005), que são expostas rochas pré-cambrianas dos crátons Amazônico e São Luís, das faixas Tocantins-Araguaia e Gurupi, assim como rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Amazonas de idade paleozoica.



O Sistema de Graben do Marajó, em sub-superfície, é constituído, segundo Villegas (1994), por depósitos de idade albo-cenomianos da Formação Breves, cretáceos superiores da Formação Limoeiro, paleocenos/miocenos médios da Formação Marajó e miocenos e pleistocenos da Formação Tucunaré e Pirarucu. Essas unidades têm como depósitos correlatos, nas áreas de superfície, as Formações Itapecuru (Góes 1981), Ipixuna de idade Neocretáceo (?)–Paleógeno (ROSSETTI, 2004; ROSSETTI ; SANTOS JR., 2006), Pirabas de idade Oligo-Mioceno (GÓES et al. 1990), Barreiras de idade Meso a Neomioceno (ROSSETTI, 2000; ROSSETTI ; GÓES, 2004) e os Sedimentos Pós-Barreiras do Quaternário (ROSSETTI et al. 1989, ROSSETTI 2004).

De acordo com Urdininea (1977 apud KOTSCHOUBEY et al., 1996), a distribuição dos sedimentos cretáceos e cenozóicos reflete a migração da subsidência da crosta do sul ao norte. Enquanto a porção meridional da plataforma Bragantina experimentou alguma subsidência somente no Cretáceo, o que resultou na deposição das Formações Ipixuna e Itapecuru, na parte setentrional, este processo ocorreu apenas no Terciário Superior levando à deposição da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras.

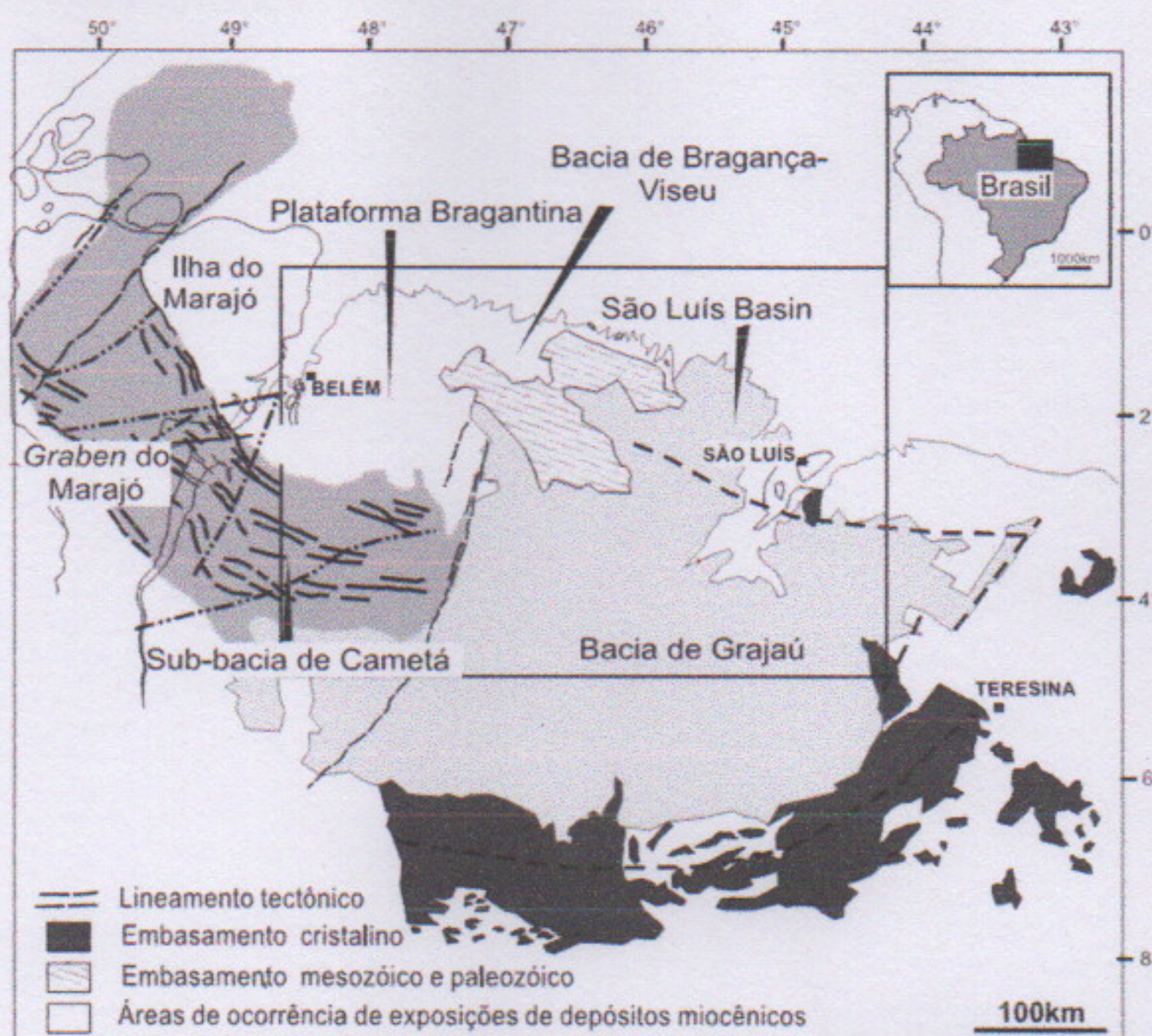


Figura 03: Mapa de localização das bacias sedimentares e plataformas na região Norte do Brasil que possuem exposições de depósitos miocênicos (ROSSETTI, 2006).



### **3.1 - UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**

Essas unidades no âmbito da Sub-bacia Cametá estão neste trabalho descritas da base para o topo, e podem ser individualizadas segundo suas características litológicas e idade de formação.

São elas divididas dessa forma: Embasamento (Proterozoico/ Paleozoico), Formações Itapecuru (Meso-Cretáceo), Ipixuna (Neo-Cretáceo), Barreiras (Oligo-Plioceno), Coberturas lateríticas e Pós-Barreiras (Pleistoceno).

#### **3.1.1 - Embasamento**

Segundo Nascimento e Góes (2005), várias rochas devem compor o embasamento da Sub-Bacia Cametá, desde os crátons e faixas proterozoicos do seu entorno bem como de rochas pertencentes à Bacia do Amazonas.

O Cráton Amazônico, a partir do trabalho de Cordani et al. (1984), contém uma grande variedade de rochas, sendo elas representada por gnaisses, granodioritos, migmatitos, andesitos, riolitos, monzonitos, rochas metabásicas e ultra básicas, metassedimentos, granulitos, granitoides e anfibolitos.

O Cráton São Luís é representado por quatro unidades, sendo elas: Grupo Arizona, suítes intrusivas Tromaí, Traquateua (MOURA et al. 2003 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005) e Rosário (GORAYEB et al., 1999).

Segundo Souza et al. (1985), Moura e Gaudette (1993) apud Nascimento e Góes (2005), a Faixa Tocantins-Araguaia possui essencialmente metassedimentos de baixo a alto grau metamórfico do Super Grupo Baixo Araguaia, Complexo Colméia e Gnaiss Cantão, possuindo orientação estrutural N-S.

O Super Grupo Baixo Araguaia é formado por dois grupos: Estrondo e Tocantins, que por sua vez, compreendem as Formações Morro do Campo (meta-conglomerado, quartzito, micaxisto e xisto com estauroлита, cianita e granada), Formação Canto da Vazante (xisto feldspático com biotita e granada) e Xambioá (micaxisto, xisto-calcífero, mármore e lentes de anfibolito – Hassui et al., 1984 apud Nascimento e Góes, 2005).

Gorayeb et al. (1999) caracterizou a Faixa Gurupi por rochas, predominantemente, paleoproterozóicas. Sendo elas, rochas da sequência metavulcano-sedimentar do Grupo Gurupi (metaconglomerado, quartzito, ardósia, formações ferríferas, filito, metadioritos, variedades de micaxisto e veios de quartzo), além do Complexo Maracaçumé (suítes TTG's com anfibolito) e corpos granitoides Ourém, Itamoari, Cantão e Ney Peixoto.



### 3.1.2 - Formação (Grupo) Itapecuru

As litologias predominantes são arenitos em camadas métricas ou em corpos lenticulares e camadas de pelitos associados a folhelhos, relacionado a ambientes deposicionais do tipo delta, marés e tempestades (GÓES, 1981). Vale ressaltar que Rossetti (2001) encontrou nessas rochas deformações sin-sedimentares, relacionadas a sismos.

Essa unidade, no trabalho de Rossetti e Truckenbodt (1997) foi elevada à hierarquia Grupo, pois a partir de estudos desses autores, essa compreenderia três outras unidades, sendo elas: Unidade Indiferenciada e as Formações Alcântara e Cujupe, mas isso dentro do contexto da Bacia de São Luís-Grajaú. As duas ultimas, são correlatas dentro do contexto da Sub-Bacia de Cametá, às Formações Itapecuru e Ipixuna, respectivamente (Figura 1.3) (SANTOS JR. ; ROSSETTI, 2003).

Rossetti e Góes (2004) consideram esta unidade cretácea como pertencente ao quadro estratigráfico das bacias de Marajó (sub-bacia de Cametá), São Luiz-Grajaú e Bragança-Vizeu, simultaneamente. Seguindo a mesma ideia de Santos jr. e Rossetti (2003), explicam que na primeira bacia é constituído pela Formação Ipixuna (Cretáceo Superior) e Unidade Indiferenciada (Albiano), na segunda engloba as formações Cujupe, Alcântara e Unidade Indiferenciada, enquanto que na terceira bacia, as rochas deste grupo não afloram.

Este grupo é considerado um espesso pacote essencialmente siliciclástico na porção ocidental da Bacia do Grajaú, sendo formado sobretudo por arenitos caulínicos finos com níveis argilosos e conglomeráticos, depositados em ambiente fluvial, sob condições climáticas semiáridas. São arenitos arcoseanos que exibem normalmente estratificações cruzadas e posteriormente sofreram intenso intemperismo. Também ocorrem igualmente siltitos e argilitos vermelhos subordinados contendo brechas intraformacionais e estruturas de corte e preenchimentos (KOTSCHOUBEY et al., 2005).

### 3.1.3- Formação Ipixuna

Esta unidade é caracterizada por arenitos médios a finos, moderadamente selecionados, caulinizados muito desferrificados com intercalação de argilitos caulíníticos (KOTSCHOUBEY ET AL., 1996). De acordo com Rossetti (2004), essa formação foi atribuída a um sistema deposicional, cujo complexo fluvial na base, grada verticalmente para um complexo estuarino no topo. As estratificações cruzadas que marcam o complexo fluvial, retratam mergulhos de paleocorrentes preferenciais para NNE e SE.

Na Região do médio rio Capim, a Formação Ipixuna pode atingir até 40m de espessura (KOTSCHOUBEY ET AL. 1996), e sobreposta a essa formação foi identificado uma sucessão sedimentar com cerca de 10m de espessura, caracterizada principalmente por argilitos maciços,



registrados na literatura como caulim semi-flint (HUST & BOSIO 1975 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005; KOTSCHOUBEY et al., 1996) ou “caulim endurecido” (ROSSETTI, 2004).

Esta sucessão é limitada na base e no topo por superfícies de descontinuidade erosivas, denominadas S1 e S2, respectivamente (ROSSETTI 2004) o que a torna este pacote uma sucessão distinta da Formação Ipixuna (KOTSCHOUBEY et al., 1996; SANTOS JR., 2002; ROSSETTI, 2004). Entretanto, em função de uma definição estratigráfica mais específica para esta unidade, Nascimento e Góes (2005) tratam esta como pertencente aos depósitos da Formação Ipixuna.

Santos Jr. e Rossetti (2003) já tinham proposto a separação de unidades na Formação Ipixuna que permitia agrupar esta em dois intervalos estratigráficos (A1 e A2), com superfícies de descontinuidades (SD1 e SD2), a primeira entre A1 e A2, e a segunda na parte superior da sedimentação cretácea, considerando nesse caso o caulim semi-flint como integrante da formação.

A análise faciológica e estratigráfica da Formação Ipixuna (Cretáceo Superior-?Terciário Inferior), realizada por Santos Jr. e Rossetti (2003), revelou uma variedade de ambientes deposicionais, incluindo canal fluvial influenciado por maré (?), meandro abandonado/planície de inundação, planície de maré, preenchimento de baía, canal de maré e delta de maré. Segundo os autores, estes depósitos são melhores justificados considerando-se um modelo de estuário com domínio de ondas. A influência marinha é atestada pela natureza das estruturas sedimentares atribuídas a processos de maré, bem como pela assembleia icnológica encontrada.

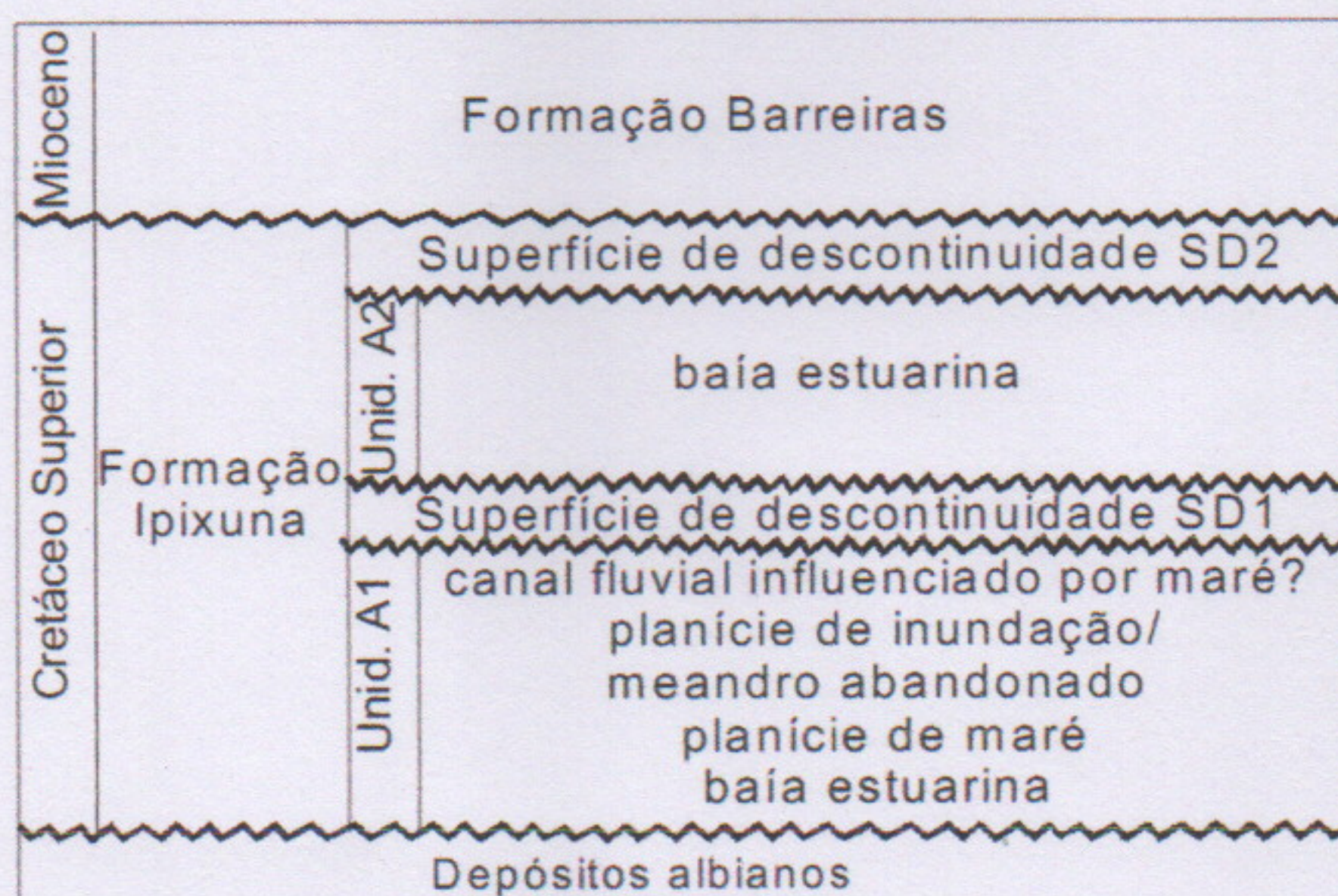


Figura 04: Arcabouço estratigráfico da Formação Ipixuna na porção média do rio Capim (SANTOS JR. E ROSSETTI, 2003), propondo as unidades, superfícies de descontinuidade e ambientes de sedimentação.



### 3.1.4- Formação (Grupo) Barreiras

Esta unidade é aflorante em falésias e cortes de estradas, com espessuras de até 30m, na região nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. Segundo Rossetti (2000, 2001), a mesma consiste de arenitos friáveis quartzosos, argilitos variegados e conglomerados. Estes autores interpretam esta como pertencente a um sistema estuarino de vale inciso, onde sua evolução está ligada a eventos tectônicos cenozoicos e mudanças no nível relativo do mar.

É correlata com a Formação Marajó, por estar em discordância erosiva com a Formação Ipixuna, e sotoposta pelos sedimentos Pós-Barreiras, na região do Rio Capim. Rossetti (2000) agrupou os sedimentos depositados dessa formação em três unidades deposicionais, onde a Unidade 1 é caracterizada principalmente por calcários da Formação Pirabas; a Unidade 2 inclui argilito e arenito da Formação Barreiras e de forma secundária calcários intercalados da Formação Pirabas; a Unidade 3 se caracteriza por argilitos intercalados a arenitos, argilitos e arenitos da porção média e superior da Formação Barreiras.

Rossetti e Santos Jr. (2004 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005) reconheceram na região de Rio Capim, três sequências deposicionais (unidade 1, 2 e 3). A Unidade 1 é composta por um complexo de canais de maré e planície de maré/mangue, correspondente a parte interna do estuário. A Unidade 2 é caracterizada por depósitos de baía/laguna estuarina, deltas de maré atribuídos à foz do estuário. A Unidade 3 se inclui planícies de maré/mangue e principalmente canais de maré com barras em pontal.

Segundo Góes et al. (1990 apud VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008) o Grupo Barreiras é a sucessão de estratos oligo-miocênicos, geneticamente relacionados, que abrange as unidades litoestratigráficas conhecidas como Formação Pirabas e Formação (ou Grupo) Barreiras. Rochas da sucessão oligo-miocênica afloram na zona costeira desde o estado do Amapá (rio Cassiporé), onde ocorrem em longa faixa contínua, até o estado do Rio de Janeiro. No Pará, esses estratos recobrem áreas de plataforma, as bacias de Bragança-Viseu e Sub-bacia de Cametá (Bacia de Marajó), e preenchem o Graben Vigia-Castanhal e outras possíveis pequenas fossas tectônicas. Em escala de afloramento, atingem espessuras de no máximo 40 m (ROSSETTI; GÓES, 2004).

A idade do grupo ainda é um assunto polemico, no entanto Rossetti e Góes, (2004) adotam a idade de oligo-miocenica para a sedimentação que se dá em sistemas de vales estuarinos encaixados em zonas de falhas, resultantes da combinação de fatores eustáticos e reativação tectônica. Enquanto que Arai (2006 apud VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008) informa que esta sedimentação se iniciou no Eomioceno finalizando no Plioceno, após uma nova transgressão sobre a discordância tortoniana, depositando o que ele refere ser o Barreiras Superior.



### 3.1.5- Coberturas Lateríticas

É importante ressaltar que na região amazônica são reconhecidos pelo menos dois ciclos de lateritização, segundo Kotschoubey e Truckenbrodt (1981), Truckenbrodt et al. (1982) e Kotschoubey et al. (2005), entre outros.

O primeiro, que pode ter iniciado no Cretáceo Superior quando o clima na região era tropical úmido, deu origem as bauxitas, em parte fragmentadas no Mioceno-Pleistoceno, período de intensa alternância entre clima úmido e seco. O segundo ciclo ocorreu durante o Pleistoceno, sob regime climático úmido e relativamente seco, favoreceu a formação das crostas lateríticas exclusivamente ferruginosas. Mas essas teorias ainda são fortemente discutidas no meio científico.

Kotschoubey et al. (1996) descreveu na região de Rio Capim, coberturas ferruginosas do Neógeno (Mioceno Superior), cuja mesma encontra-se em contato brusco com sobre os sedimentos do Terciário Superior. É caracterizada por estruturas preferencialmente colunares e prismáticas. Em porções onde há o maior desenvolvimento da crosta, os sedimentos Ipixuna são afetados pela lateritização. Feições brechóides são encontradas na parte inferior da crosta, proveniente do processo de lateritização dos arenitos e argilitos desta unidade, exibindo um padrão reticular anastomosado nessa porção (KOTSCHOUBEY et al. 1996).

### 3.1.6- Sedimentos Pós-Barreiras

Rossetti et al. (2001) identificaram, em sub superfície, através de radar de penetração no solo, dois episódios de sedimentação no Pós-Barreiras. Provavelmente exista uma significativa variedade faciológica para os Sedimentos Pós-Barreiras, incluindo depósitos eólicos (dunas costeiras), bem como depósitos de cordão litorâneo, planície de maré, canal e mangue (ROSSETTI 2001b apud VASQUEZ E ROSA-COSTA, 2008)

Para Rossetti (2004) episódios de sedimentação vistos também por Rossetti et al. (2001), foram divididos em Sedimentos Pós-Barreiras I, porção inferior, com espessura de aproximadamente 10m, tendo predominância de areias media a grossa de coloração vermelho-clara a alaranjada, maciças, friáveis a endurecidas, bioturbadas, podendo ser localmente grossas a conglomeráticas. Além de pelitos e argilitos localmente presentes, esses depósitos são recobertos em discordância erosiva pelos Sedimentos Pós-Barreiras II. Este segundo possui espessura variáveis de 2 a 5 m, composto por areias finas a muito finas, bem selecionadas, com acamamento maciço (ROSSETTI et al. 1989).

Segundo Vasquez e Rosa-Costa (2008), devido à carência de uma estratigrafia bem definida para esta unidade, admite-se como Sedimentos Pós-Barreiras os depósitos que recobrem discordantemente a sucessão Pirabas/Barreiras e horizontes de perfis das Coberturas



Lateríticas Imaturas. Sua principal área de ocorrência abrange a área central entre os rios Tocantins e Pará, o sudoeste e parte central da Ilha do Marajó e a margem direita da Baía de Marajó.

Uma proposta sumarizada e adaptada de Villegas (1994 apud VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008), da carta estratigrafia da Bacia do Marajó com suas diversas sub-bacias que formam o substrato do Estado do Pará e adjacências. Observa-se que os termos Formação Barreiras e Pós-Barreiras não são citados no que tange o espaço reservado a Sub-Bacia Cametá, mas mostram apenas seus correlatos Formação Marajó e Tucunaré.

| LITOESTRATIGRAFIA |                       |                        |                  |               |
|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| Idade             | Bacia São Luís-Grajaú |                        | Sub-Bacia Cametá |               |
|                   | Quat.                 | Pleis.                 | Superfície       | Subsuperfície |
| TERCIÁRIO         | Plio.                 | Fm. Pós-Barreiras      | Pós-Barreiras    | Fm. Tucunaré  |
|                   | Mioc.                 | Fm. Pirabas/Barreiras  | Fm. Barreiras    | Fm. Marajó    |
|                   |                       | ?                      | ?                | Fm. Limoeiro  |
|                   |                       | ?                      | ?                |               |
| CRETÁCEO          | Cret. Sup.            | Fm. Cujupe             | Fm. Ipixuna      |               |
|                   |                       | ?                      | ?                |               |
|                   | Albo-Cenoman.         | Fm. Alcântara          | Fm. Itapecuru    | Fm. Itapecuru |
|                   |                       | Unidade Indiferenciada | ?                | Fm. Breves    |
|                   | Apt.                  | Fm. Codó/Grajaú        | Não aflorante    |               |

Figura 05: Coluna estratigráfica proposta por Santos Jr. e Rossetti (2003), mostrando a disposição e correlações litoestratigráficas das unidades cretáceas da área do Rio Capim (Sub-Bacia de Cametá) com depósitos equivalentes em subsuperfície, bem como depósitos cretáceos da Bacia de São Luís-Grajaú.

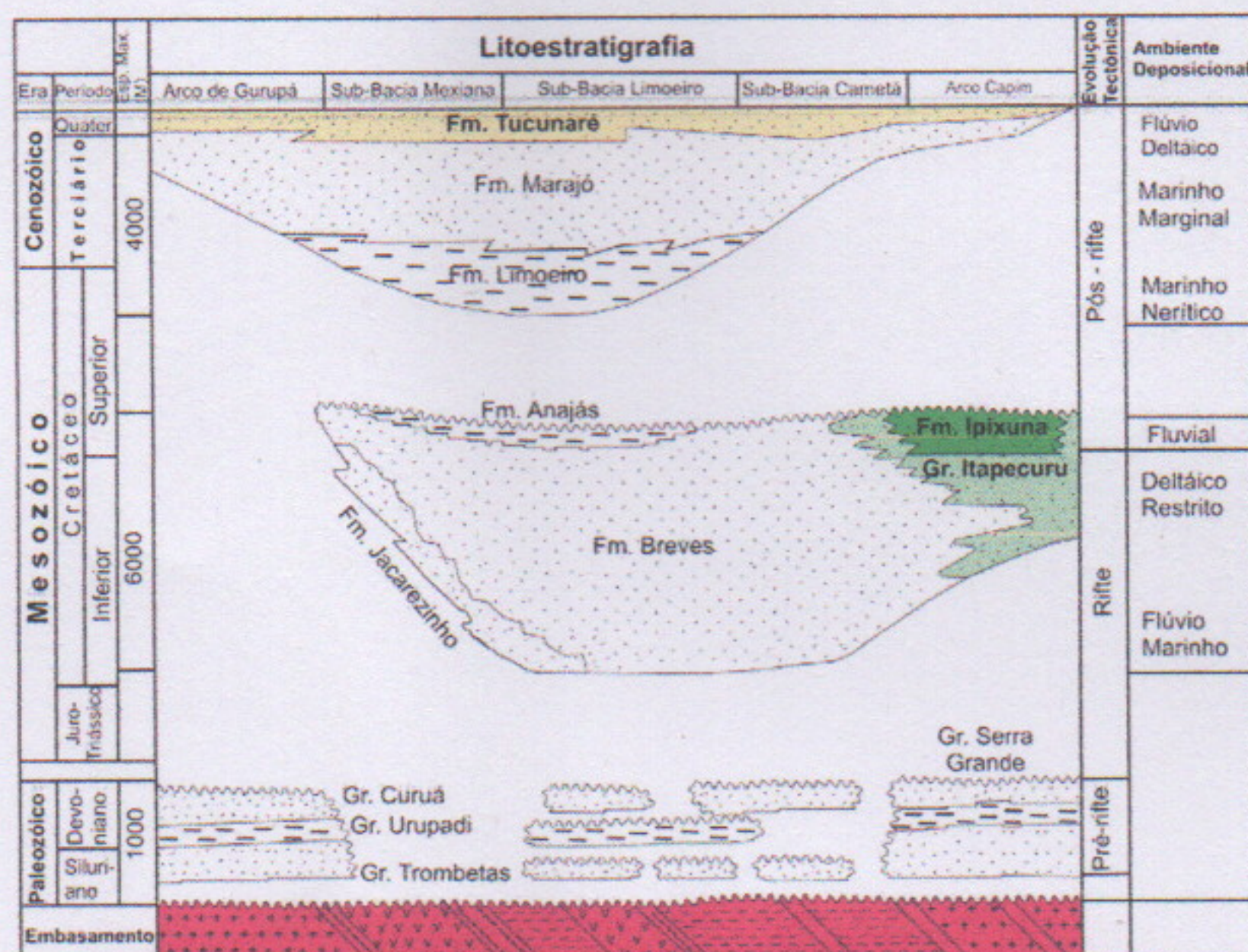


Figura 06: Carta litoestratigráfica da Bacia do Marajó apresentada em Vasquez e Rosa-Costa (2008) a partir de uma adaptação de Villegas (1994). As unidades sem cor não afloram no estado do Pará.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

#### **4. GEOLOGIA LOCAL**

A região nordeste paraense é conhecida pelos seus depósitos minerais formados em condições especiais, associadas principalmente a condições parcialmente estáveis, incrementadas pelo intemperismo e pela ação de efeitos supergênicos.

Neste caso a região do Capim, como é conhecida a região que hoje é abrangida pela bacia hidrográfica do rio Capim, localizada na parte leste da Sub-Bacia Cametá, tem como principais depósitos minerais aqueles formados pela ação supergênica sobre principalmente arenitos arcoseanos e pelitos oriundos predominantemente de rochas graníticas da Plataforma Bragantina, e menos metamórficas e outras, como as rochas paleozoicas da Bacia do Parnaíba.

O resultado desse processo deu origem aos principais depósitos de caulim do tipo coating da Amazônia, conhecidos nessa região do Pará e internacionalmente pela sua qualidade de cobertura e alvura para a indústria de pigmentos e papeis.

Apesar de a região experimentar atualmente processo de exploração desses caulins pela indústria francesa Imerys Rio Capim Caulim (IRCC), também controladora dos direitos minerários da Para Pigmentos SA. (PPSA), ainda há alguns desses depósitos (alvos, para a indústria) licenciados para IRCC/PPSA que ainda não foram lavrados, e que são considerados estratégicos para o desenvolvimento da indústria deste tipo de caulim, visto as suas localizações no entorno das suas plantas de produção.



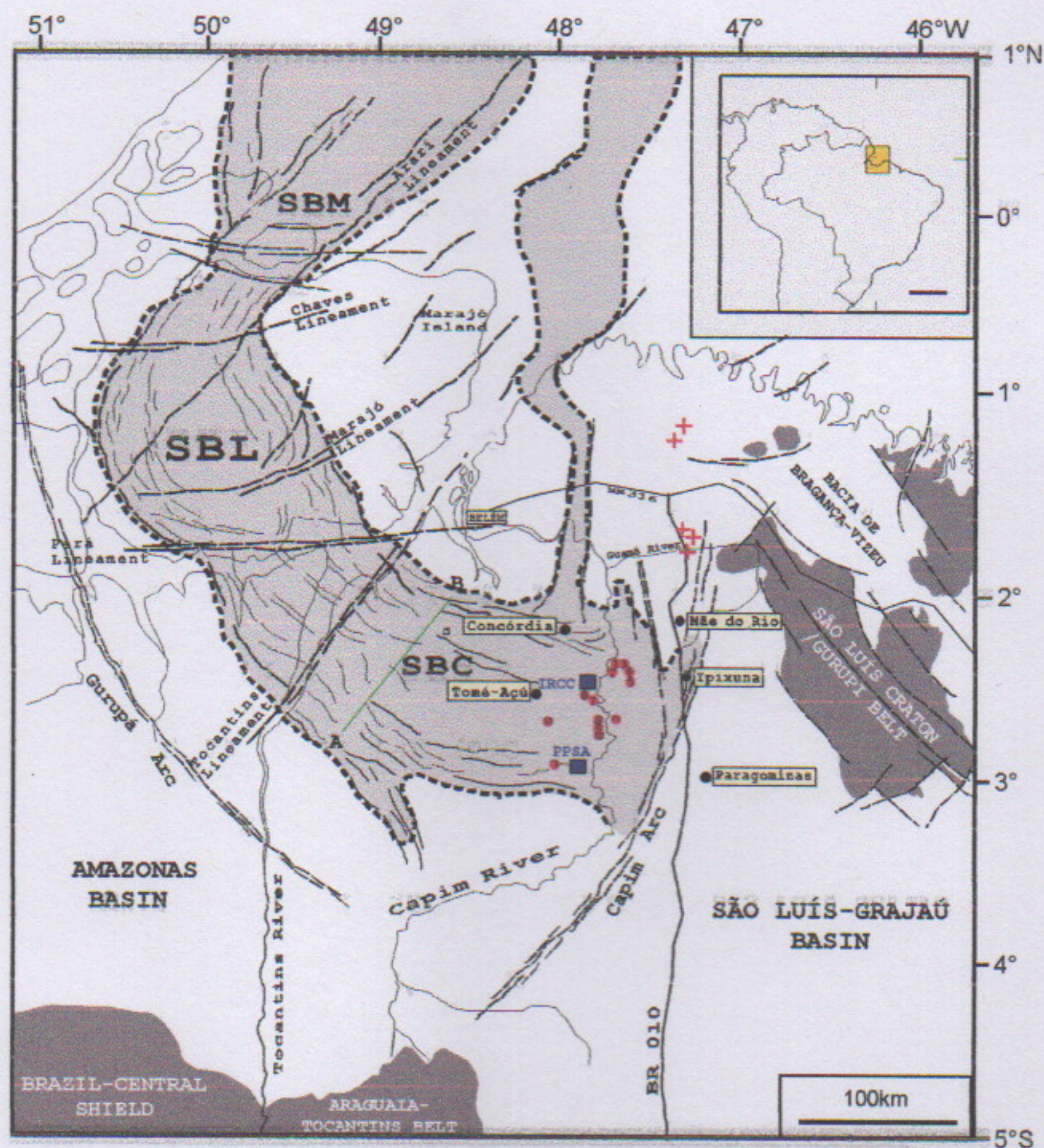
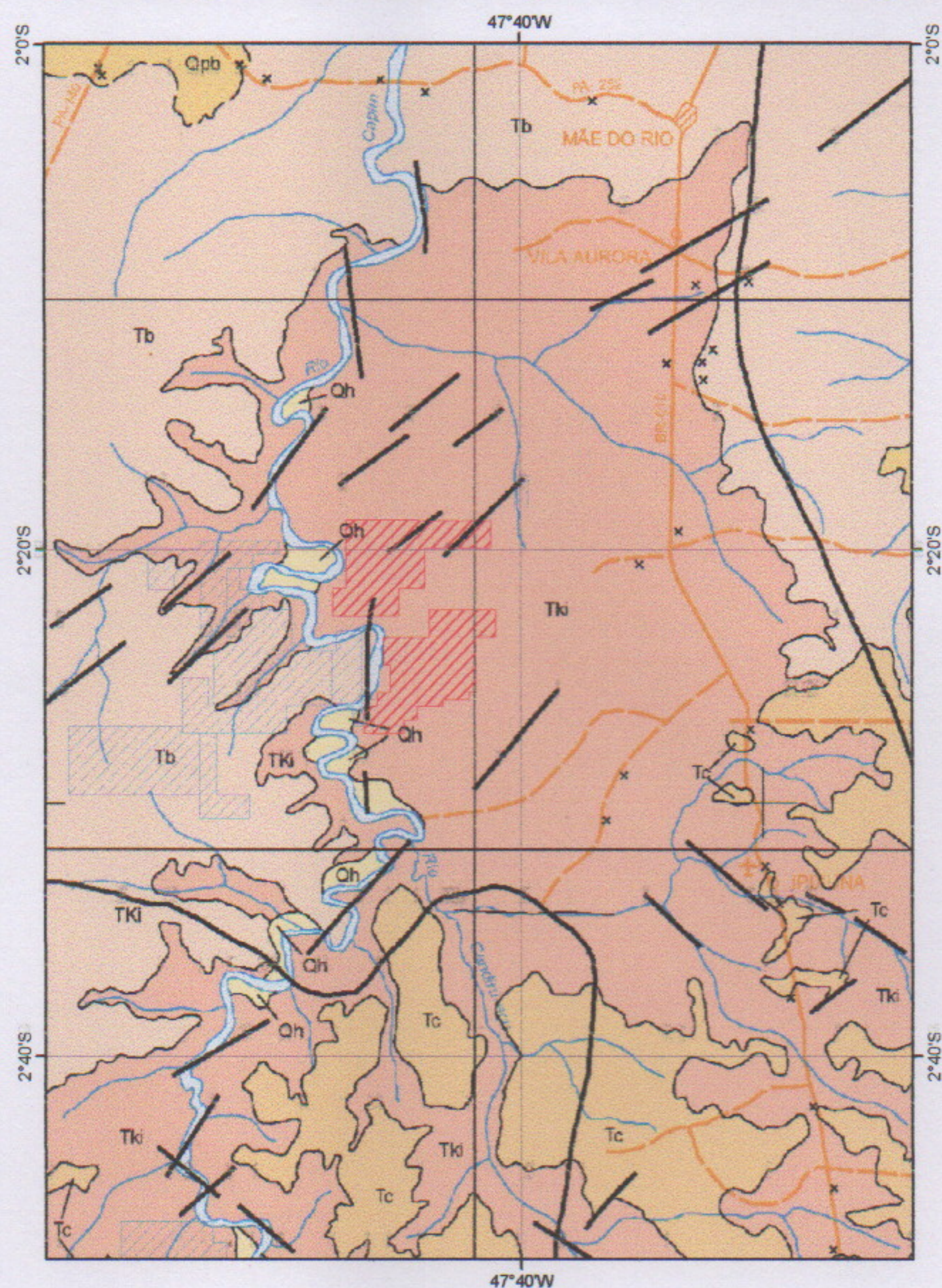


Figura 07: Arcabouço do Graben do Marajó posicionando a região provável das rochas graníticas fontes para a formação dos depósitos de caulim (cruzes vermelhas). Os principais depósitos/alvos (pontos vermelhos) e a posição destes na bacia hidrográfica do Rio Capim. E os principais sites (minas e plantas) da indústria do caulim (quadrados azuis), (Adaptado de NASCIMENTO, 2002).

Dentro desse enfoque, e como apresentado nas principais unidades lito-estratigráficas regionais, observa-se que nessa região do Capim estão presentes como unidades principais, as formações Ipixuna, Barreiras, Pós-Barreiras, coberturas laterítico-bauxíticas e os sedimentos quaternários, este último presente principalmente nos paleocanais recentes e nas áreas dos entornos das planícies de inundação dos rios atuais a formação Itapecuru, mais basal, em geral integra perfis mais profundos de difícil observação regional.



**Mapa Geológico da Área do Projeto Caulim do Rio Capim**

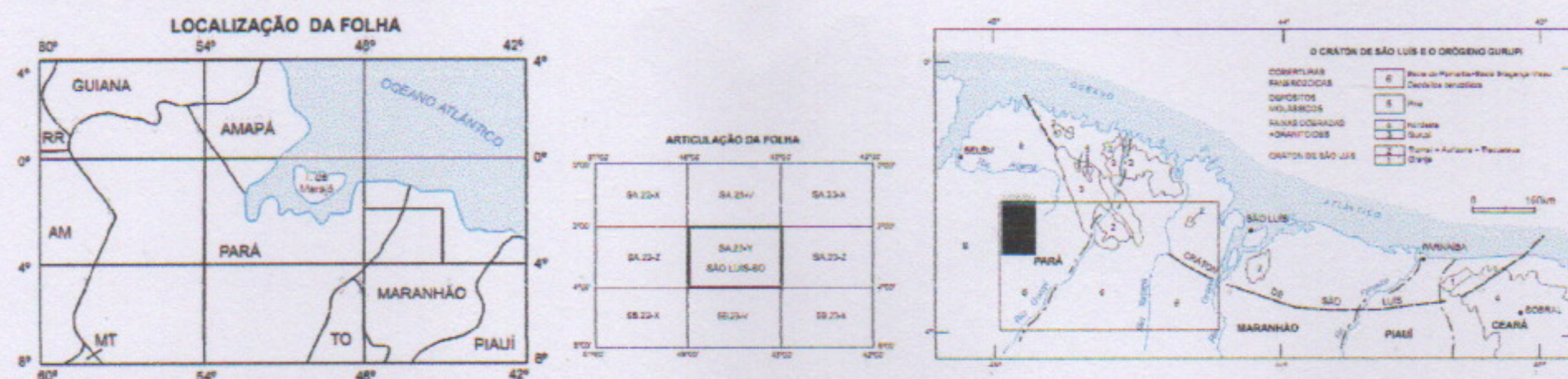


Fonte: ALMEIDA, 2000.

Figura 08: Mapa Geológico da área do entorno do Projeto Caulim do Rio Capim da CPRM. Em vermelho alvarás de pesquisa da CPRM e azul as propriedades minerais das principais jazidas em atividade.



## MAPA DE SITUAÇÃO



## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

### QUATERNÁRIO HOLOCENO (< 0,01Ma)

**Qh** Coberturas Holocênicas - Sedimentos recentes inconsolidados, de ambientes continentais (lacustres e fluviais) representados por areias, cascalhos fluviais e pelitos laminados.

### PLEISTOCENO (0,01 a 1,6Ma)

**Qp** Sedimentos sub-recentes, caracterizados por pelitos maciços esverdeados, com restos fósseis de raízes, arenito fino, friável, esbranquiçado, desestruturado; sedimentos carbonosos, constituindo turfeiras com clásticos associados.

**Qpb** Sedimentos Pós-Barreiras - Sedimentos inconsolidados areno-argilosos e argilo-arenosos, amarelados e avermelhados.

### TERCIÁRIO PLIOCENO (1,6 a 5,3Ma)

**Tb** Grupo Barreiras - Arenitos com estratificação cruzada tabular ou do tipo "tidal bundle", além de conglomerados e pelitos, representantes de ambientes continentais e transitórios (fluvial/leques aluviais, lagos e planície de maré).

### MIOCENO (5,3 a 23,7Ma)

**Tc** Cobertura Detritica-Laterítica: Crosta laterítico-bauxítica, argila caulínica (Argila de Belterra), arenito argiloso às vezes conglomerático, crosta laterítico-ferruginosa.

**Tkl** Formação Ipixuna-Arenitos caulinizados com estratificação cruzada tangencial, e argilitos caulínicos por vezes vermelhos, de ambiente continental, fluvio-lacustre.

## CONVENÇÕES

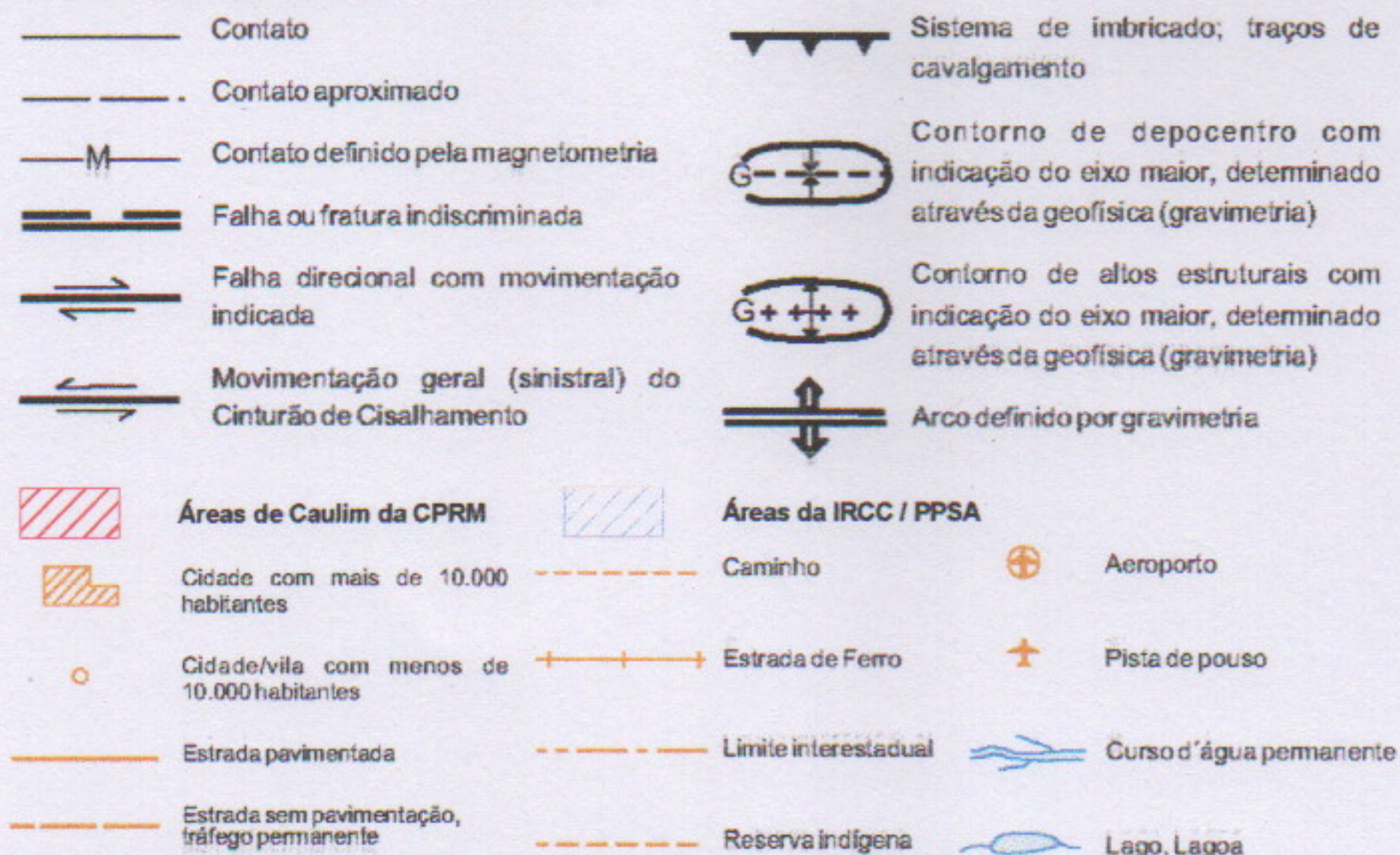


Figura 09: Estratigrafia da área e legenda do mapa geológico da região do Capim.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

As áreas de direitos minerários à CPRM, principal foco desse trabalho, estão localizadas na margem direita do rio Capim, e tem como ponto central as coordenadas 47º 44' 30" W e 02º 22' 24" S. Essas também apresentam condições morfológicas similares a aquelas lavradas pela companhia IRCC, que se encontram a W e SW das áreas da CPRM, separadas apenas pela calha principal do rio Capim.

Por se tratarem de depósitos sedimentares, caracterizados neste caso, pelas suas extensas camadas tabulares, horizontais a sub-horizontalizadas, de quase nenhuma perturbação tectônica, é praticamente incontestável a similaridade entre estes e aqueles já lavrados em suas cavas iniciais pela IRCC. Dessa forma entende-se que a litologia presente em ambas sejam correspondente, bem como os macro ambientes de sedimentação responsáveis pela formação do depósito e os processos supergênicos envolvidos.

Os poços abertos pela CPRM, durante a pesquisa realizada na década de 70, forneceram dados importantes sobre as características geológicas e estratigráficas a cerca das estações, porém reduzindo a capacidade de gerar informações a respeito da continuidade lateral das camadas dentro de um raio de 500m, podendo chegar em alguns caso até a 1000 m. Essa continuidade lateral foi dada através das interpretações geológicas realizadas, baseadas principalmente na época pelas encostas formadas no leito do rio Capim, e através do conhecimento de depósitos similares encontrados na bibliografia.

Atualmente, com a abertura das minas na região do Capim, bem como de novas estradas e rodovias, é possível reavaliar (ratificar e retificar) as interpretações geradas naquela época e perceber que muitas estruturas sedimentares foram destruídas ou não foram claramente expostas na abertura dos poços. E aquelas observadas na natureza, como as encontradas nas falésias formadas nos leitos dos rios da região, muitas vezes são encobertas ou destruídas pelo processo de erosão e deposição recente, mascarando sua originalidade, o que dificulta a interpretação das fácies e as suas correlações laterais.

#### **4.1- Unidades litoestratigráficas locais**

Em uma resumida análise estratigráfica tem-se na área a Formação Ipixuna como unidade principal, e na base desta unidade caulínica ocorre um contato discordante com arenitos quartzosos e estratificados, bem como siltitos e argilitos de coloração vermelho-chocolate, associados à Formação Itapecuru, o qual contém estruturas sedimentares típicas da ação de ondas, como estratificação cruzada swaley e laminação cruzada que trunca os sets em baixo ângulo.

Segundo Santos Jr. e Rossetti (2003) estas características sedimentares são correspondentes a Formação Alcântara do Grupo Itapecuru exposto na Bacia de São Luís-Grajaú, cuja idade é albiiana superior-cenomaniana.



Esta mesma Formação Alcântara também está coberta por depósitos caulínicos, designados naquela bacia de Formação Cujupe, nesse caso o correspondente local seria a Formação Ipixuna. Em ambos os casos, o contato inferior da unidade caulínica é claramente discordante, sendo marcado por relevo erosional e, localmente, lags constituídos de seixos de quartzo, argilito e arenito. Similarmente, o topo da unidade caulínica, tanto na Sub-bacia de Cametá, quanto na Bacia de São Luís-Grajaú, é também discordante com os depósitos sobrejacentes da Formação Barreiras, de idade miocênica.

Sendo assim, para um melhor entendimento das litologias presentes, prefere-se descrevê-las em camadas, do topo para a base, estando estas mais bem individuadas nas áreas atualizadas das minas.

Tabela 02: Códigos das principais litologias encontradas nos depósitos de caulim da CPRM.

| CÓDIGOS LITOLÓGICOS  |      |                                                                                                                  |
|----------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unidade              | Cód. | Descrição                                                                                                        |
| Pós-Barreiras        | CAP  | Sedimentos inconsolidados constituídos por areias, siltes e argilas                                              |
| Fm. Barreiras        |      | Sedimentos mioceno-pleistocênicos compostos por argilas variegadas, siltitos e arenitos de granulação variáveis. |
| Caulim Duro          | CCD  | Caulim Duro (Flint Kaolin)                                                                                       |
| Caulim Intermediário | CCI  | Caulim Intermediário ou Zona de Transição                                                                        |
| Fm. Ipixuna          | CCM  | Caulim Macio (Soft Kaolin)                                                                                       |
|                      | CCA  | Caulim Arenoso (Sandy Kaolin)                                                                                    |
|                      | EST  | Lentes de Argila vermelha                                                                                        |

#### 4.1.1- Formação Pós-Barreiras e Barreiras (CAP)

Essas correspondem as camadas 1 e 2 respectivamente, e estão presentes na maioria dos topos dos platôs da região. Para efeito dos tratamentos dos dados para a avaliação do depósito da CPRM essas camadas são correlacionáveis ao capeamento estéril especificado pela sigla CAP.





Figura 10: Visão geral das camadas de caulim e as suas correlações verticais e horizontais.

### Camada 1

Geralmente é capeada pelos solos estruturados e podem apresentar localmente alguns fragmentos lateríticos-bauxíticos. É constituída basicamente por

sedimentos argilosos a argilo-arenosos, podendo apresentar composições mais silticas a arenosas, de coloração creme-amarelado tornando-se avermelhado para a base, podem ter feições grumadas e colunares. Esta camada na área tem uma variação de 0,5m à no máximo 2,0m e é reconhecida como os sedimentos da Formação Pós-Barreiras. Em encostas mais íngremes próximas às drenagens e vertentes mais retrabalhadas, essa camada às vezes esta ausente.

### Camada 2

Situada logo abaixo da camada 1 é composta predominantemente por arenito avermelhado de granulometria média a fina e argilas variegadas, em alguns casos tem porções mais silticas, e pode ser friável. Ocasionalmente apresenta na base níveis conglomeráticos contendo grãos de quartzo e grãos subarrendondados de feldspato caulinizado, além de linhas/ lentes de lateritas de centímetros a blocos de ate 0,5 m.

Localmente, ocorre a presença de estratificação cruzada e ainda lentes de caulim cinza. A espessura da camada na área varia de 4,0 m a 6,0m, podendo chegar a 10,0 m quando há a presença de paleocanais escavados. Essa camada está relacionada a paleocanais e planícies de inundação que ocorrem durante a sedimentação da Formação Barreiras.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

#### **4.1.2- Formação Ipixuna**

Como tem sido visto na bibliografia por muitos autores a Formação Ipixuna tem englobado a camada superior de caulim flint a ela, por falta de um melhor entendimento estratigráfico desta camada com seus correspondentes regionais. Porém para efeito de uma melhor qualificação do minério esta será individualizada em uma camada separada.

#### **Camada 3 (CCD e CCI)**

Esta é formada por sedimentos pelíticos resultado do retrabalhamento regional devido a pequenos tectonismos que atingiram a Sub-Bacia Cametá e principalmente as camadas caulínicas do tipo soft. E o contato entre esta camada e a sobreposta é discordante e erosional tratada aqui como superfície discordante SD2 ou S2.

Devido a esse retrabalhamento e ao processo de cimentação ocasionado durante a diagênese, essa camada apresenta-se mais endurecida. Esta camada é conhecida por possuir o caulim do tipo flint, também denominada localmente de camada de caulim duro e reconhecida neste trabalho por CCD. Muitos autores usam o termo semi-flint para esta mesma camada.

Esta camada é constituída basicamente por um pacote de caulim duro, fino, com coloração variando de branco a amarelo, róseo, lilás ou vermelho, dependendo do grau de impregnação dos hidróxidos e óxidos de Ferro e Titânio. A espessura desta camada varia de 4,0m a 10,0m.

A grande quantidade de contaminantes químicos ao longo da camada e principalmente na sua base, e além de características granulométricas e cristalográficas, tornam essa camada caulínica um minério de baixíssimo teor (Alvura), devido a isso a mesma é considerada material estéril nas avaliações econômicas.

gl





Figura 11: Perfil mostrando os contatos e as superfícies de discontinuidades presentes no perfil acima do caulim duro, topo da Formação Ipixuna.

A face intermediária entre esta camada e a camada de minério sotoposta, apresenta superfície de características transicionais, apesar de ser limitada na base por uma segunda erosão SD1 ou S1 . Para efeito dos tratamentos dos dados, foi inserida outra unidade transicional neste trabalho, na qual denominada de camada de caulim intermediário (CCI). Esta camada, além de apresentar baixa qualidade do minério, também tem disposição muito irregular, ela pode estar presente na maioria dos perfis com varias espessuras (0,3 a 1,5 m), mas neste caso não é considerada como uma camada aproveitável.



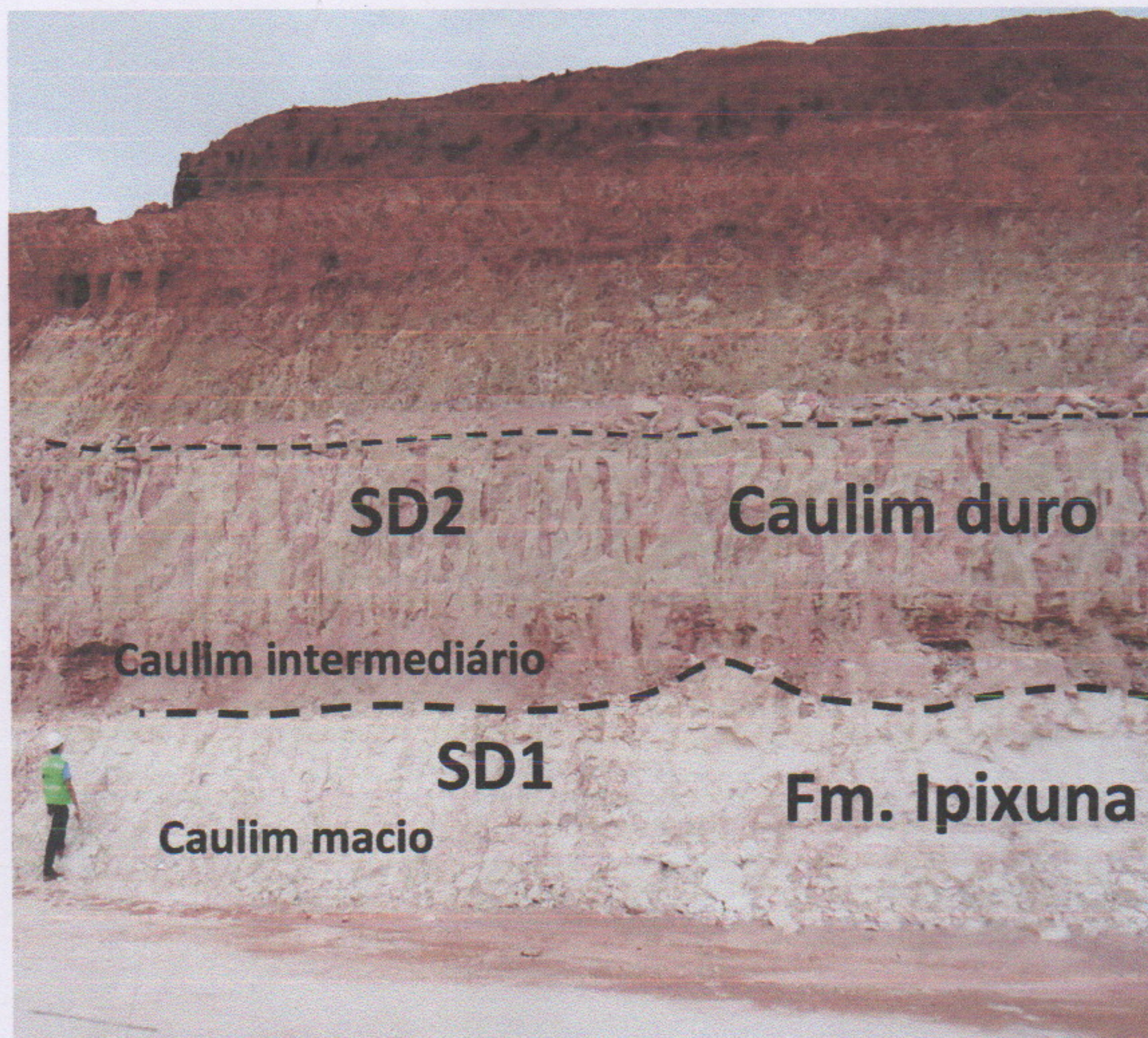


Figura 12: Perfil mostrando os contatos e as superfícies de discontinuidades acima da Formação Ipixuna e aspecto geral do minério.

#### Camada 4 (CCM)

Abaixo da SD1 encontra-se a principal camada mineralizada do depósito em questão dentro da Formação Ipixuna. Essa camada é constituída principalmente de um pelito desferrificado, formado quase todo de caulinitas e traços de quartzo, óxidos de ferro e titânio. Este pode ser considerado o minério com a mais alta alvura e de melhores características reológicas no perfil do capim.

Essa camada é composta por um pacote de caulim do tipo soft, de coloração branca, com poucas manchas lilás, vermelhas ou amareladas. A espessura máxima desse pacote pode chegar a 6,0 m, mas em geral apresenta bons perfis em torno de 4,0 m.

#### Camada 5 (CCA)

Na continuação deste minério soft do tipo CCM em direção à base, este caulim tende a ser arenoso, aumentando a quantidade de quartzo presente. Frequentemente este pacote





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

apresenta estratificações plano-paralelas, evidenciadas por linhas de minerais pesados escuros identificados, principalmente, como zircão e turmalina.

Na verdade trata-se do mesmo caulim, evidenciado pelos tipos de caulinitas formadas, similares em ambas as camadas, porém de menor recuperação em massa em relação à CCM. Não há um contato formal, a passagem de um para outro é feito de forma gradacional e por vezes até combinada lateralmente. O que de fato marca é a mudança do ambiente sedimentar, que neste caso, é de maior energia que o da camada sobreposta a ela.

Essa mudança proporciona maior porosidade em virtude da maior quantidade de cristais granulares de quartzo, dando a este uma textura silto-arenosa, e por vezes levemente friável localmente. A camada é tratada como camada de caulim arenoso (CCA) e sua espessura varia de 3,0 a 10,0 m, ficando completamente arenoso desta base para baixo.

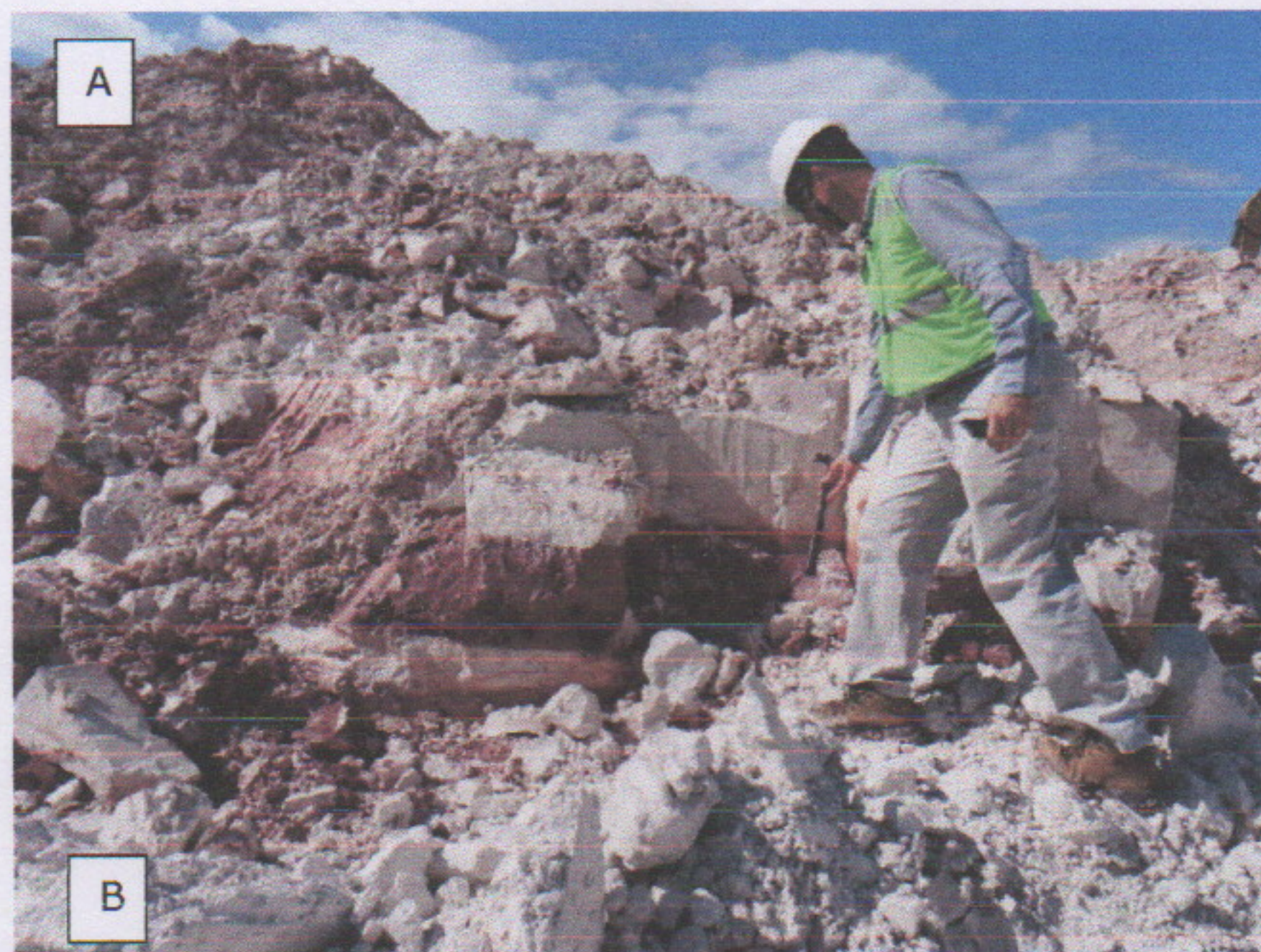
#### **4.2- CONSIDERAÇÕES SOBRE MINÉRIO APROVEITÁVEL E ESTÉRIL**

Em ambas CCM e CCA onde estão os principais pacotes mineralizados há a presença de feições manchadas amareladas, laranjadas e vermelhas, são tratadas pelo código EST, e estes representam um tipo de estéril interno ao minério, formado basicamente por óxidos de ferro e titânio e representam menos de 5% do total do minério.

Este estéril pode ser siltoso ou totalmente pelítico, apresenta comportamento errático e não chega a formar camadas, apenas feições de manchas ou corpos lenticulares, sua origem ainda não é bem definida, mas pode estar relacionada à matéria orgânica dos ambientes de deposição e a porções não afetadas pelo processo de desferrificação sofrida pelos pelitos.

Um outro fato importante que deve ser mencionado neste relatório é que os arenitos da base da Formação Ipixuna, ainda contem quantidade de caulinitas de alta qualidade (Alvura).





B



C



gle





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Figura 13: Apresentações mais comuns do estéril interno ao minério (EST) em lente avermelhada (A) e mancha avermelhada (B) dentro do caulim macio, e manchas amarelo avermelhadas no caulim arenoso (C).

O que se observa é que a grande maioria dos poços escavados na pesquisa da década de 70 não conseguiu atravessar essas camadas areníticas da base, por diversos motivos operacionais na época. No entanto essas camadas são potencialmente reconhecidas como minério, mas apesar das excelentes alvuras, apresentam recuperação em massa menor em relação às camadas de CCM e CCA.

Atualmente, os processos industriais que melhoram a recuperação desta camada de arenito, também conhecida por camada de arenito caulínico, evoluíram e estão presentes nas duas minas próximas ao depósito da CPRM. Dessa forma, entende-se que os arenitos não analisados nesse relatório representam um substancial potencial de minério agregado, que ainda precisa ser medido, mas que já é uma realidade nas produções de caulim.

## **5. PESQUISA COMPLEMENTAR**

### **5.1 OBJETIVOS**

Os principais objetivos da pesquisa complementar proposta são:

- ✓ Aumentar o nível de confiabilidade nos recursos reportados migrando para categoria mínima de indicado, com o adensamento das malhas de sondagem nos alvos definidos.
- ✓ Ensaios de beneficiamento mineral, visando caracterização do minério processado. Os testes servirão como base para definição do empreendimento a ser instalado, definição da qualidade do minério e mercados que poderão ser atendidos.

### **5.2 Programa pesquisa geológica**

Propõe-se um programa exploratório mínimo para os blocos Norte e Sul do Projeto Rio Capim, visando o reconhecimento geológico de toda a área dos alvarás de pesquisa e detalhamento de duas regiões favoráveis ao início das atividades de lavra.

#### **5.2.1 Topografia**

É proposto um levantamento topográfico de todos os alvarás dos blocos Norte e Sul em escala de detalhe, totalizando 10.000 ha, incluindo o levantamento das bocas de furos a serem realizados e de eventuais marcos preservados de sondagem/poços já realizados.



### 5.2.2 Adensamento da malha de sondagem

A partir do modelo geológico e da estimativa de recursos determinados na reavaliação do projeto executada pela CPRM e validada pela Saga, propõe-se um programa mínimo de exploração do depósito visando a caracterização do depósito nos primeiros anos de operação da lavra.

A campanha visa o detalhamento de sondagem em uma área específica do bloco Norte denominado “Detalhe\_2” (Figura 14), que será a área onde as operações de lavra devem se iniciar devido à menor relação estéril/minério. Nessa área será executada uma malha de sondagem espaçada de 250 x 250 metros e servirá para refinar o modelo geológico dessa área, principalmente nas questões da qualidade do minério e nas relações estéril/minério que serão encontradas nos primeiros anos de operação do empreendimento.

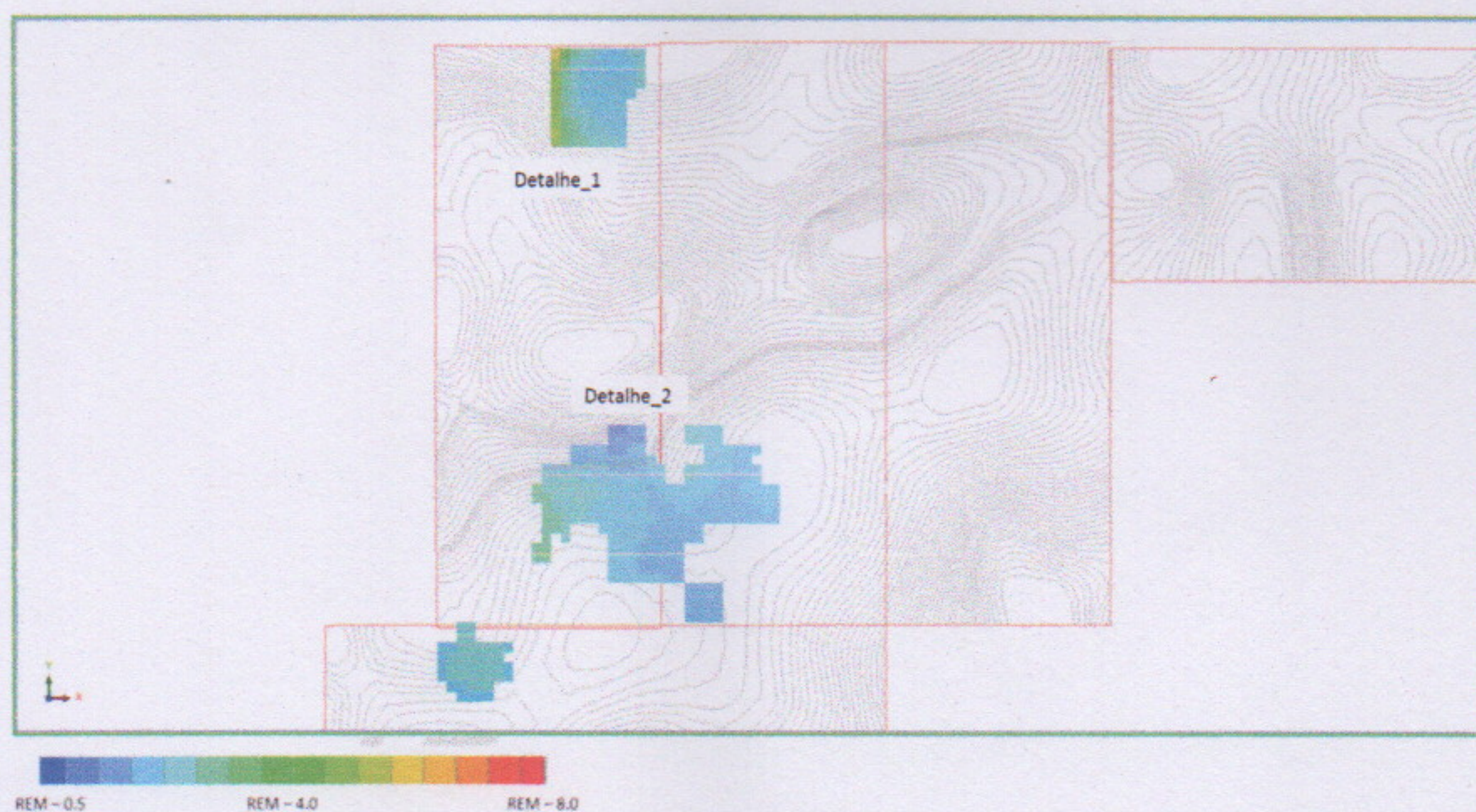


Figura 14: Área de Detalhamento

Considerando a malha com espaçamento de 250x250 deverão ser realizados em torno de 39 furos de sondagem e a partir da profundidade média a ser sondada nessa área de 26 metros deverão ser executados aproximadamente 1.000 metros lineares de sondagem ao longo dessa campanha de pesquisa, conforme ilustra a Tabela 03.



**Erro! Fonte de referência não encontrada.**03: Quantitativo relacionado à sondagem proposta:

| Resumo - Sondagem |       |       |          |                           |                                   |
|-------------------|-------|-------|----------|---------------------------|-----------------------------------|
| BLOCO             | MALHA | FUROS | METRAGEM | PROFUNDIDADE<br>MÉDIA (m) | PROFUNDIDADE<br>MÍNIMA/MÁXIMA (m) |
| Norte Detalhe_2   | 250 m | 39    | 1000     | 26                        | 10/33                             |

O critério para determinação da profundidade dos furos é a interceptação da base do horizonte Caulim Silicoso.

### 5.2.3 Análises químicas e testes de qualidade do minério

É proposto suporte amostral de 1 m (granulometria, alvura, separação magnética, etc.) para os intervalos mineralizados (Caulim Macio e Caulim Arenoso). Considerando oito amostras de minério por furo (39 furos), seriam necessários 312 testes de caracterização do minério.

### 5.2.4 Ensaios de beneficiamento

Os ensaios de beneficiamento visam caracterizar o minério após processamento mineral, processamento que será realizado no empreendimento a ser instalado visando a venda desse minério para os mercados de tinta, papel e cerâmica.

Os ensaios serão realizados com as amostras provenientes dos furos de sondagem que serão enviados para laboratório de caracterização mineral que será o responsável pela execução desses testes de beneficiamento e elaboração do relatório final dessa etapa de pesquisa.

Dentre os teste a serem realizados para as amostras de minério a fim de se caracterizar sua qualidade e requisitos mínimos para atendimento dos mercados a serem atendidos por esse minério, podemos citar os testes de:





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

- ✓ Classificação granulométrica;
- ✓ Separação magnética;
- ✓ Alvejamento;
- ✓ Viscosidade e pH;
- ✓ Beneficiamento (testes de beneficiamento em bancada).

A partir do resultado desses testes, será possível orientar com mais precisão os investimentos necessários para a construção da planta de beneficiamento assim como quais os mercados poderão ser melhor atendidos assim como o preço que poderá ser cobrado no produto final a partir de suas características.

#### **5.2.5 Relatório**

Ao final das etapas de pesquisa geológica, será elaborado o Relatório Final de Pesquisa Mineral que deverá ser apresentado à CPRM que fará a revisão final e endossará os dados para apresentação a essa agência.

#### **5.2.6 Cronograma**

Estima-se um prazo de 3 anos para a realização do programa proposto, conforme Tabela 04.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Tabela 04: Cronograma das atividades da Pesquisa Geológica complementar.

| ATIVIDADE                         | ANO 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ANO 2 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ANO 3 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
|-----------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|
|                                   | J     | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J     | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J     | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |  |  |
| Revisão Bibliográfica             |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Reconhecimento local              |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Campanha sondagem                 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Análises químicas                 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Banco de Dados                    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Modelagem Geológica               |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Estimativa e Cubagem dos recursos |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Estudos Beneficiamento            |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Avaliação Econômica               |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
| Relatório Final de Pesquisa       |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |

84

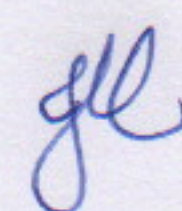


### 5.2.7 Orçamento

O orçamento proposto para os trabalhos a serem realizados nessa pesquisa complementar é de 1,5 milhão de reais e deverá ser desembolsado de acordo com os trabalhos a serem realizados ao longo dos 3 anos de pesquisa, conforme Tabela 05.

Tabela 05: Estimativa de investimento

| ATIVIDADE                   | ORÇAMENTO     |
|-----------------------------|---------------|
| Revisão bibliográfica       | R\$ 10.000    |
| Reconhecimento local        | R\$ 100.000   |
| Campanha sondagem           | R\$ 750.000   |
| Análises químicas           | R\$ 250.000   |
| Banco de Dados              | R\$ 10.000    |
| Modelagem Geológica         | R\$ 15.000    |
| Cubagem dos recursos        | R\$ 15.000    |
| Estudos Beneficiamento      | R\$ 250.000   |
| Avaliação Econômica         | R\$ 50.000    |
| Relatório Final de Pesquisa | R\$ 50.000    |
| Orçamento final             | R\$ 1.500.000 |



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto de Avaliação Econômica do Rio Capim, em nível conceitual, indicou a viabilidade técnico econômica da exploração dos recursos de Caulim do depósito da CPRM.

O relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral Projeto Rio Capim – Caulim foi confeccionado de maneira clara e serviu como importante fonte de informações para o trabalho realizado pela Saga Consultoria. Os resultados da integração de dados geológicos, geofísicos e topográficos foram repassados pela CPRM e validados pela SAGA, assim como o modelo geológico tridimensional para as camadas de Caulim.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

A pesquisa feita pela CRRM teve o espaçamento entre poços de 2.000 m. Nos locais mais favoráveis geologicamente, estreitou-se a distância para 1.000 m, e, em seguida, para 500 m.

Os recursos minerais apresentados pela CPRM foram validados pela Saga e a diferença percentual em massa foi considerada desprezível, inferior a 2%. Os recursos avaliados no estudo da CPRM foram classificados em sua totalidade como inferidos. Tal classificação foi feita considerando que a malha de poços possui espaçamento insatisfatório e a materialidade das informações geradas pela pesquisa geológica ficaram comprometidas pelo tempo, uma vez que a pesquisa teve início na década de 1970.

Recomenda-se a execução de ampla campanha de determinação de densidade e umidade in situ, diferenciando intervalos sazonais de chuvas e seca, em toda a área do empreendimento e em todo o perfil a ser lavrado (estéril e minério).

A pesquisa complementar proposta relatada apresentou, em linhas gerais, as atividades mínimas sugeridas a serem executadas para a ampliação do conhecimento do depósito mineral. Todavia, o detalhamento da pesquisa para fins de produção deverá ser ainda maior, tendo em vista a grande extensão da área e as várias possibilidades de geração de produtos para o atendimento aos mais diversos mercados consumidores.

Conforme apresentado, o mercado global de Caulim movimentou em 2019 US\$4,7 bilhões. O segmento de papel representou a maior quota de mercado em 2019 (37,7%), enquanto o segmento de cerâmica ficou na segunda posição, cerca de 30%. Os principais players globais da indústria de caulim incluem BASF SE, Sibelco NV e Imerys SA. O mercado mundial de Caulim deve crescer a uma taxa anual de 3,5% de 2020 a 2027. Desta maneira, espera-se que este mercado atinja em 2027 receitas totais da ordem de US\$ 6,28 bilhões, conforme dados do Grand View Research apresentados neste plano.

O presente trabalho considerou como premissa o atendimento ao mercado de papel, tendo em vista a limitação dos dados de caracterização tecnológica até então obtidos e a similaridade do valor agregado no atendimento a outros mercados, como o de cerâmica. Aplicações mais nobres do Caulim foram também discutidas, porém não consideradas na avaliação econômica do depósito.

A partir de parâmetros econômicos levantados pela SAGA, foi realizado o cálculo da função benefício para estimar o inventário mineral, evidenciando o potencial do depósito para a produção de Caulim.

Considerando os códigos internacionais, não há a qualificação de reservas prováveis ou provadas no presente estudo, uma vez que todo o recurso é classificado como Inferido. Deste modo, o material aproveitado no plano de lavra é denominado Inventário Mineral.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Apesar de os Recursos terem sido apontados apenas como inferidos e da necessidade de aprimoramento da pesquisa geológica para a definição das melhores frentes de lavra, o estudo preliminar de sequenciamento foi realizado procurando atingir menores REM (Relação Estéril-Minério) no início da lavra, o que maximiza os resultados financeiros do Projeto. Como resultado do processo, observou-se, sob os parâmetros adotados, a possibilidade de produção com uma REM média de 1,59.

O processo de beneficiamento proposto neste estudo conceitual levou em consideração informações preliminares de estudos e testes disponibilizados pela CPRM. Estes estudos sinalizam algumas tendências para a qualidade dos produtos e para as recuperações em massa das etapas de desareamento, que define a quantidade de descarte de rejeito (areia) e a recuperação da fração fina presente no minério. Para a operação de delaminação, proposta para o aumento da recuperação, foram assumidas premissas com base na similaridade do caulim da CPRM com outros depósitos da região. Estas premissas carecem de comprovações e recomenda-se que sejam levantadas por meio de um detalhado programa de laboratório que contemple, por exemplo, a separação em centrífugas (piloto e/ou bancada), com a determinação da massa efetiva a ser recuperada na fração abaixo de 2 micrômetros; testes de delaminação e alvura da fração grosseira e testes de separação magnética com campos mais elevados dos produtos finos com as alvuras correspondentes. Outros testes também são necessários, como é o caso da determinação das taxas de espessamento e filtragem, além de estudos de variabilidade.

Como base nas premissas relacionadas acima, foram determinados os balanços de massa e o dimensionamento dos principais equipamentos do circuito, com o levantamento dos seus custos por meio de dados disponíveis de outros projetos. As estimativas de CAPEX e OPEX foram realizadas adotando-se índices normalmente aceitos para este tipo de empreendimento mineral, mas recomenda-se sejam revisados com outros levantamentos e estudos mais detalhados.

Foram levantadas possíveis alternativas de negócio para uma parceria público-privada para a exploração do ativo. O modelo de concessão para complementação de pesquisa e posterior arrendamento da área poderá conferir a estatal ganhos futuros maiores tendo em vista o atual conhecimento acerca do depósito e as possibilidades futuras de produção e aproveitamento do bem mineral.

O diagnóstico socioambiental realizado pela própria CPRM não identificou restrições ambientais significativas que inviabilizem a atividade de mineração na região.

Os resultados dos fluxos de caixa demonstraram a viabilidade econômica do Projeto. A análise da TIR, no entanto, evidencia que os resultados financeiros obtidos são bastante ajustados se





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

comparados com outros projetos mineiros. Isto se deve aos expressivos investimentos demandados, principalmente para a construção da Planta de beneficiamento e Mineroduto. A taxa interna de retorno obtida na análise pelo Fluxo de Caixa do Projeto foi de 12,5%, enquanto o VPL nos 20 anos de produção avaliada foi de R\$ 760,88 Milhões.

A análise de sensibilidade realizada mostra que as variáveis “Preço de Venda” e “Recuperação na Planta” apresentam maior impacto ao projeto. Portanto, devem ser alvo de detalhamento em estudos futuros, principalmente contemplando a caracterização tecnológica ampla do material conforme recomendado na pesquisa mínima.

Como discutido, se fixarmos a TIR em 12%, taxa mínima de atratividade observada em projetos similares, o investimento na aquisição do ativo seria da ordem de R\$ 67,3 Milhões, valor inferior ao que poderia ser obtido em royalties pela estatal ao longo dos 20 anos analisados (considerando valores médios praticados em acordos de arrendamento). No caso-base apresentado, Royalties de 1,5% resultariam ganhos a estatal da ordem de R\$ 85 Mi, valor já descontado à taxa de desconto utilizada no fluxo de caixa. Ademais, o modelo de Royalties poderia gerar ganhos ainda mais expressivos à CPRM, em casos de aumento de produção ou aplicações mais nobres do Caulim.

Considerando também o estágio em que se encontra o projeto, uma venda direta agora provavelmente atrairia poucos interessados, fazendo com que este modelo seja considerado de baixa liquidez. Reforça-se, portanto, a análise de que o ativo se encontra em fase extremamente incipiente para uma eventual venda direta, que poderia culminar em subvalorização e redução de ganhos futuros à estatal. Assim, conforme recomendado a abordagem ideal de parceria público-privada, e que remuneraria a CPRM em situações de ganhos extraordinários, passa, necessariamente, por acordos que envolvam o pagamento de Royalties ao longo da exploração do depósito mineral.

Em comparação com modelos de negócios similares, pode-se citar as parcerias público-privadas que vêm sendo realizadas pela CBPM (Companhia Baiana de Pesquisa Mineral). A estatal têm executado leilões de áreas para diversas commodities minerais, conforme modelo apresentado no Capítulo 9, obtendo-se Royalties de até 4% a partir de leilões tendo como valor inicial de 0,5% à 1%.

Diante das razões apresentadas neste PLANO DE PESQUISA, e considerando os resultados obtidos, considera-se necessário aprofundar mais os estudos e, dessa forma, permitir a reavaliação do ativo mineral.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Solicitamos finalmente, a devida AUTORIZAÇÃO proposta neste requerimento, para o desenvolvimento de novos trabalhos de pesquisa, objetivando a PESQUISA COMPLEMENTAR DAS RESERVAS DE CAULIM, contidas no processo em apreço.

## **7. RESPONSABILIDADE TÉCNICA**

João Marcelo Rodrigues de Castro

CREA: 1501489070PA



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, R.P. de. Tectonic evolution of Brazilian Equatorial continental margin basins. 1991. 412 f. Tese de Doutorado – Royal School of Mines Imperial College, Londres, 1991

BAUMANN, D., KELLER, W.D. 1975. Bulk Densities of Selected Dried Natural and Fired Kaolin Clays. Clays Clay Miner. 23, 424–427.

CHERATA, I.D. 2016. Caracterização da caulinita da região do Rio Capim, Pará. Dissertação de Mestrado – Universidade do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, RS, BR, 2016, 47p.

CIM – CANADIAN INSTITUTE OF MINING, METALLURGY AND PETROLEUM. National Instrument 43-101: standards of disclosure for mineral projects, form 43-101. 24 jun. 2011. Quebec: CIM, 2011.

CIM - CANADIAN INSTITUTE OF MINING, METALLURGY AND PETROLEUM. Standards and Guidelines for Valuation of Mineral Properties. Canadá, 2003.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Avaliação econômica da jazida de caulim do rio Capim. Rio de Janeiro: CPRM, 1974.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Kaolin exploration in the Capim river region, state of Pará. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 16 p. (Informe de Recursos Minerais. Série Oportunidades Minerais. Exame Atualizado de Projeto, 23).

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Navegação nos rios Capim e Guamá, trecho Belém-jazidas de caulim: relatório preliminar. Belém: CPRM, 1973b.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Projeto Rio Capim – Pará: adendo ao relatório final. Belém: CPRM, 1973c.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Projeto Rio Capim: amostras de caulim para testes industriais. Programação para Ambitec/Engelhard. Belém: CPRM, 1990.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral - Projeto Rio Capim: CPRM, 2018.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Relatório final de pesquisa de caulim no município de São Domingos do Capim, estado do Pará: alvarás de pesquisa nºs 868 a 877, de 13 de julho de 1972. Belém: CPRM, 1974.





**Serviço Geológico do Brasil**

Ministério de Minas e Energia

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Relatório único de pesquisa de caulim na região do rio Capim, estado do Pará: alvarás 868 a 877, de 13 de julho de 1972; DNPM 812.869 a 812.878/71. Belém: CPRM; DNPM, 1973a. 94 p. il.color.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral 2015. Vol. 35. Brasília, DF: DNPM/MME, 2016.

GRAND VIEW RESEARCH - CVR. Kaolin Market Analysis, 2019.

J.MENDO CONSULTORIA. Perfil do Caulim. Agosto de 2009.

JORC – JOINT ORE RESERVES COMMITTEE. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. The JORC Code 2012 edition.

SAGA CONSULTORIA E SERVIÇOS DE ENGENHARIA, Relatório Final – Avaliação econômica do Projeto Rio Capim. Setembro de 2020.

gfe