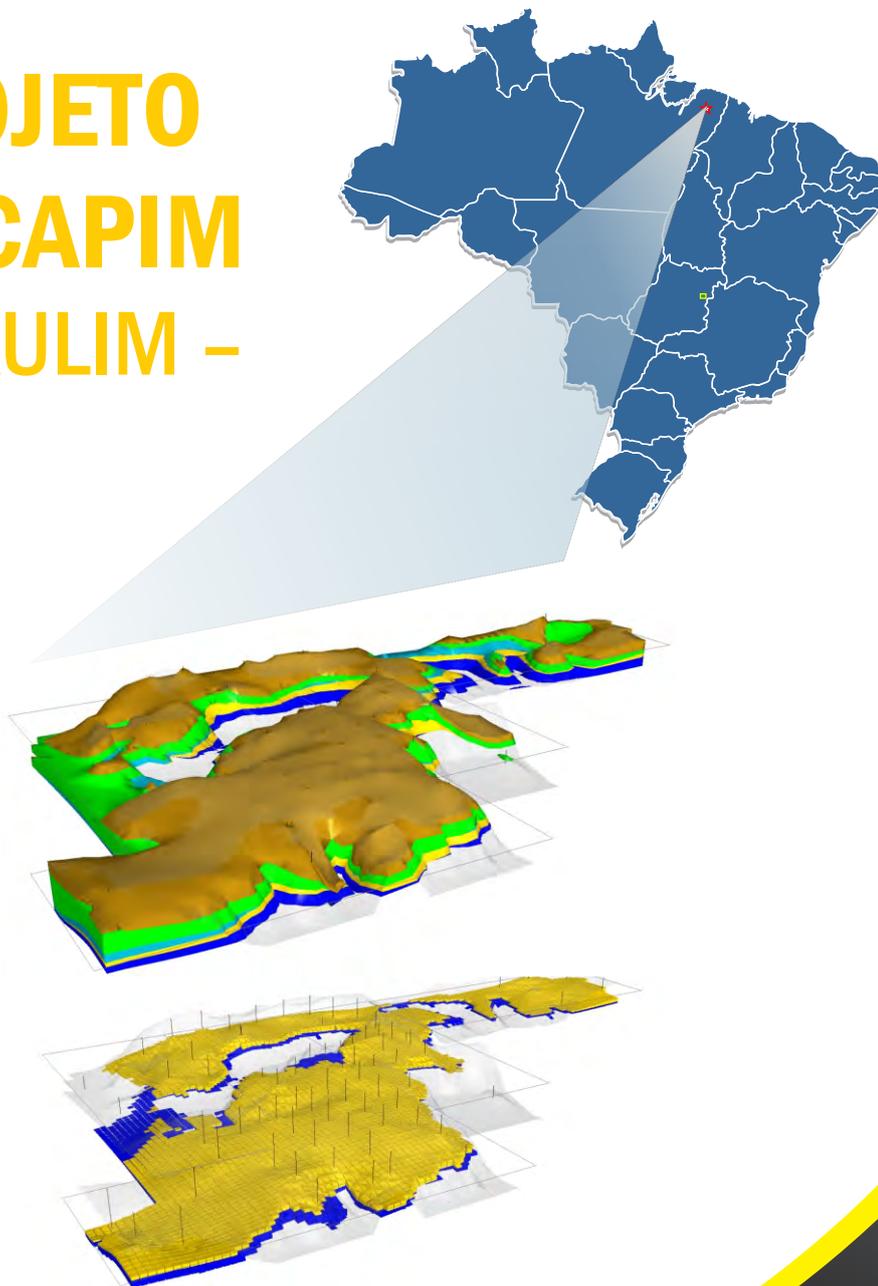


# Reavaliação do Patrimônio Mineral

## PROJETO RIO CAPIM – CAULIM –



**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais  
Departamento de Recursos Minerais  
Divisão de Avaliação de Recursos Minerais  
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

**Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral**

**PROJETO RIO CAPIM**

**ESTADO DO PARÁ**



**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

PARÁ  
2018

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais  
Departamento de Recursos Minerais  
Divisão de Avaliação de Recursos Minerais  
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

**Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral**

**PROJETO RIO CAPIM**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais  
Departamento de Recursos Minerais  
Divisão de Avaliação de Recursos Minerais  
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

**Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral**

**PROJETO RIO CAPIM**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

Wellington Moreira Franco

*Ministro de Estado*

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Maria José Gazzí Salum

Secretária

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

Esteves Pedro Colnago

*Diretor-Presidente*

*José Leonardo Silva Andriotti*

*Diretor de Geologia e Recursos Minerais*

Antônio Carlos Bacelar Nunes

*Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial*

Fernando Pereira de Carvalho

*Diretor de Infraestrutura Geocientífica*

Juliano de Souza Oliveira

*Diretor de Administração e Finanças*

Lúcia Travassos da Rosa Costa

*Chefe do Departamento de Geologia*

Marcelo Esteves Almeida

*Chefe do Departamento de Recursos Minerais*

*Ruben Sardou Filho*

*Chefe da Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória*

Valter Alvarenga Barradas

*Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação*

Washington José Ferreira dos Santos

*Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação*

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE Belém**

Homero Reis de Melo Júnior (interino)

*Superintendente Regional*

César Chaves

*Gerente de Geologia e Recursos Minerais*

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais  
Departamento de Recursos Minerais  
Divisão de Avaliação de Recursos Minerais  
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

**RELATÓRIO DE REAVALIAÇÃO DO PATRIMÔNIO MINERAL**  
**PROJETO RIO CAPIM**

---

**EQUIPE TÉCNICA**

**Coordenação Geral**  
Ruben Sardou

**Digitalização e Editoração de Figuras**  
Daniella Pascoal de Paiva Macedo

**Supervisão Técnica Nacional**  
Ricardo Wosniak

**Compatibilização e Revisão**  
Eduardo Moussalle Grissolia

**Chefe do Projeto**  
Eduardo Moussalle Grissolia  
Firmino Coutinho Correia Junior

**Normalização e Documentação**  
Lauro Gracindo Pizzatto

**Equipe Técnica (Executores do Informe)**  
Pesquisadores em Geociências  
Firmino Coutinho Correia Junior (Geologia)  
Eduardo Moussalle Grissolia (Modelagem 3D e Estimativa de Recursos)  
Bruce Fabini Franco Chiba (Geofísica e Topografia)  
Marcos Ferreira (Geofísica)  
Rogério Celestino de Almeida (GIS)  
Elias Bernard da Silva do Espírito Santo (GIS)  
Gustavo Alexandre Silva (Avaliação Econômica)  
Luciana Felício Pereira (Socioambiental)

**Organização, Preparo e Controle da Editoração Final**  
Lauro Gracindo Pizzatto

---

**COLABORADORES TÉCNICOS**  
**Pesquisadores em Geociências**  
Lucia Travassos da Rosa Costa  
César Chaves  
Cíntia Maria Gaia da Silva

---

**APOIO TÉCNICO**  
**Técnicos em Geociências**  
Paulo Ricardo Almeida Sampaio – DIEMGE RJ  
Djalma Luiz Hartery Neto- SUREG BE  
Edilberto Raimundo Lisboa Leão - SUREG BE  
Avelino Moraes - SUREG BE  
Linaldo de Sousa Mesquita – SUREG BE  
Alceu Percy Mendel Junior – SUREG BE  
Daniella Pascoal de Paiva Macedo – SUREG SA

---

**APOIO ADMINISTRATIVO**  
Maria Madalena Figuerêdo de Lima

---

**ESTAGIÁRIOS**  
Camila Evangelista Fonseca  
Alane Iasmin Cordara da Silva

---

**REVISÃO FINAL**  
Ricardo Wosniak

---

**EDIÇÃO DO PRODUTO**

Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento  
Divisão de Marketing e Divulgação – DIMARK – Washington José Ferreira Santos  
Divisão de Geoprocessamento – DIGEOP – Hiran Silva Dias – SIG/GEOSGB

## Lista de Figuras

Nº	Legenda	Página
01 -	Mapa de localização das áreas da CPRM no projeto Rio Capim. ....	29
02 -	Vista aérea do porto de Vila do Conde (Barcarena, PA) .....	30
03 -	Vista aérea do Porto de Belém (PA).....	31
04 -	Mapa de localização da hidrovia Guamá-Capim .....	33
05 -	Área de influência da hidrovia Guamá-Capim.....	34
06 -	Vista aérea do aeroporto internacional de Belém Júlio Cezar Ribeiro/Val-de-Cans. ....	34
07 -	Malha energética do estado do Pará.....	35
08 -	Distribuição dos direitos minerários da CPRM na região do rio Capim. ....	37
09 -	Domínios geomorfológicos do estado do Pará.....	40
10 -	Bacia hidrográfica da região em que a CPRM detém alvarás de pesquisa para caulim .....	40
11 -	Mapa de localização de bacias sedimentares e plataformas na região norte do Brasil com exposições de depósitos miocênicos. ....	41
12 -	Arcabouço estratigráfico da formação Ipixuna na porção média do rio Capim, propondo unidades, superfícies de descontinuidade e ambientes de sedimentação.....	43
13 -	Coluna estratigráfica mostrando a disposição e as correlações litoestratigráficas das unidades cretáceas da região de rio Capim (sub-bacia Cametá), com depósitos equivalentes em subsuperfície e depósitos cretáceos da bacia São Luís-Grajaú .....	44
14 -	Carta litoestratigráfica da bacia do Marajó proposta por Villegas (1994) .....	46
15 -	Arcabouço do <i>graben</i> do Marajó, posicionando as prováveis rochas-fonte graníticas para formação de depósitos de caulim e os principais depósitos-alvo no contexto da bacia hidrográfica do rio Capim, em relação às minas das empresas IRCC e PPSA, e as áreas de direitos minerários da CPRM. ....	47
16 -	Mapa geológico da área do projeto Rio Capim .....	48
17 -	Estratigrafia da área e legenda do mapa geológico da região do rio Capim.....	49
18 -	Vista geral das camadas de caulim e suas correlações verticais e horizontais. ....	51
19 -	Corte vertical mostrando o contato erosivo (SD2) da camada de caulim duro com a formação Barreiras e a superfície discordante (S3) marcando o início da sedimentação pós-Barreiras. ....	52
20 -	Corte vertical mostrando as relações estratigráficas entre a formação Ipixuna e as unidades superiores .....	53
21 -	Formas de apresentação mais comuns do estéril interno ao minério .....	54
22 -	Imagens em MEV de caulinitas típicas da região do rio Capim .....	56
23 -	Resistivímetros Syscal Pro (canto inferior esquerdo) e Switch 72 (canto inferior direito) e respectivas baterias .....	57
24 -	Participantes da equipe responsável pelo levantamento geofísico .....	57
25 -	Esquema simplificado do método de eletrorresistividade utilizado no arranjo Wenner-Schlumberger .....	58
26 -	Exemplo de diferentes contrastes entre camadas.....	58
27 -	Seção geométrica da linha-base com espaçamento de 2,5 m entre os eletrodos .....	60
28 -	Seção geométrica da linha-base com espaçamento de 5 m entre os eletrodos .....	61
29 -	Seção geométrica da linha-base com espaçamento de 10 m entre os eletrodos .....	61
30 -	Seção geométrica da transversal T-5 com espaçamento de 5 m entre os eletrodos .....	62
31 -	Seção geométrica da transversal T-5 com espaçamento de 5 m entre os eletrodos .....	62

32 - Seção geométrica da transversal T-5 com espaçamento de 10 m entre os eletrodos .....	62
33 - Seção geométrica da transversal T-5 com espaçamento de 10 m entre os eletrodos .....	63
34 - Seção geométrica da transversal T-9 com espaçamento de 5 m entre os eletrodos .....	63
35 - Seção geométrica da transversal T-9 com espaçamento de 5 m entre os eletrodos .....	64
36 - Seção geométrica da transversal T-9 com espaçamento de 10 m entre os eletrodos .....	64
37 - Vista do interior de um poço de pesquisa. ....	65
38 - Vista dos poços de pesquisa. ....	66
39 - Vista geral externa (esquerda) e interior (direita) do cachimbo na época da pesquisa. ....	66
40 - Prospecção com trado mecanizado. ....	67
41 - Perfil descritivo do poço de pesquisa RCN15 executado na campanha de 2016 .....	68
42 - Perfil descritivo do poço de pesquisa RCN20 executado na campanha de 2016. ....	69
43 - Perfil descritivo do poço de pesquisa RCN22 executado na campanha de 2016. ....	70
44 - Perfil descritivo do poço de pesquisa RCS03 executado na campanha de 2016. ....	71
45 - Perfil descritivo do poço de pesquisa RCS08 executado na campanha de 2016. ....	71
46 - Tamponamento do Poço T-1-5. ....	72
47 - Tamponamento do Poço T-2-4. ....	72
48 - Tamponamento do Poço T-6-2. ....	72
49 - Tamponamento do Poço T-7-2. ....	73
50 - Tamponamento do Poço T-8-3. ....	73
51 - Tamponamento do Poço RCN22. ....	73
52 - Tamponamento do Poço T-13-7. ....	74
53 - Proteção do Poço T-13-15. ....	74
54 - Proteção do Poço RCN15. ....	74
55 - Proteção do Poço RCN20. ....	75
56 - Modelo original de perfil descritivo de furo de sondagem ou poço de pesquisa .....	78
57 - Modelo atual de ficha descritiva de levantamento geodésico de sondagem ou poço de pesquisa .....	79
58 - Mapas georreferenciados da área do projeto Rio Capim, com a distribuição dos poços levantados em campo e digitalizados .....	81
59 - Mapas do modelo digital de terreno com o arquivo original e o arquivo final tratado .....	82
60 - Resultado da comparação entre as cotas do DGPS com os novos resultados da interpolação .....	83
61 - Resultado da digitalização das curvas de nível da região do rio Capim .....	84
62 - Estações topográficas realizadas nas etapas 1 e 2 no Bloco Norte. ....	85
63 - <i>Grid</i> gerado pela interpolação dos dados geodésicos pelo método Kriging. ....	86
64 - Dados reamostrados do Topodata .....	86
65 - Malha regular usada para construção do MDT do Bloco Norte .....	86
66 - <i>Grid</i> resultante da média ponderada entre os dados DGPS e Topodata .....	87
67 - Modelo digital de terreno e curvas de nível em intervalos de 5m. ....	87
68 - Modelo de perfil descritivo de sondagem e de poço criado para a reavaliação do projeto Rio Capim .....	88
69 - Mapa de localização da área de estudo, destacando-se as áreas de alvarás de pesquisa detidos pela CPRM .....	90
70 - Seção vertical, gerada no <i>software</i> Strat3D, exibindo a correlação dos estratos a partir de	

poços de pesquisa e respectivos dados analíticos utilizados para o estudo .....	91
71 - Perspectiva do modelo geológico desenvolvido para o bloco Norte .....	92
72 - Perspectiva do modelo geológico desenvolvido para o bloco Sul .....	92
73 - Mapa em planta do bloco Norte, destacando-se a camada de caulim macio modelada e as posições das seções verticais .....	94
74 - Mapa em planta do bloco Sul, destacando-se a camada de caulim macio modelada e as posições das seções verticais .....	95
75 - Mapa em planta do bloco Norte, destacando-se a camada de caulim arenoso modelada e as posições das seções verticais .....	96
76 - Mapa em planta do bloco Sul, destacando-se a camada de caulim arenoso modelada e as posições das seções verticais .....	97
77 - Seção geológica vertical T-4 (bloco Norte) .....	98
78 - Seção geológica vertical T-5 (bloco Norte) .....	98
79 - Seção geológica vertical T-9 (bloco Norte) .....	99
80 - Seção geológica vertical T-50 (bloco Sul) .....	99
81 - Seção geológica vertical T-52 (bloco Sul) .....	100
82 - Seção geológica vertical T-57 (bloco Sul) .....	100
83 - Histogramas de frequência com distribuição lognormal para os comprimentos dos intervalos das amostras originais inseridas nos corpos de minério do bloco Norte .....	101
84 - Histogramas de frequência com distribuição lognormal para os comprimentos dos intervalos das amostras originais inseridas nos corpos de minério do bloco Sul .....	101
85 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para índice de alvura da camada de caulim macio do bloco Norte .....	104
86 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para índice de alvura da camada de caulim arenoso do bloco Norte .....	104
87 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para rendimento em peneiras de 325 mesh da camada de caulim macio do bloco Norte .....	104
88 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para rendimento em peneiras de 325 mesh da camada de caulim arenoso do bloco Norte .....	104
89 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 $\mu\text{m}$ da camada de caulim macio do bloco Norte .....	104
90 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 $\mu\text{m}$ da camada de caulim arenoso do bloco Norte .....	104
91 - Box plot para índice de alvura dos dois tipos de minério do bloco Norte .....	105
92 - Box plot para rendimento em peneiras de 325 mesh dos dois tipos de minério do bloco Norte .....	105
93 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para índice de alvura da camada de caulim macio do bloco Sul .....	108
94 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para índice de alvura da camada de caulim arenoso no bloco Sul .....	108
95 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para rendimento da camada de caulim macio do bloco Sul .....	108
96 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para rendimento da camada de caulim arenoso do bloco Sul .....	108
97 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 $\mu\text{m}$ da camada de caulim macio do bloco Sul .....	108
98 - Histograma de frequência com distribuição lognormal para distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 $\mu\text{m}$ da camada de caulim arenoso do bloco Sul .....	108

99 - Box plot para índice de alvura dos dois tipos de minério do bloco Sul.....	109
100 - Box plot para rendimento em peneiras de 325 mesh dos dois tipos de minério do bloco Sul	109
101 - Perspectiva dos modelos de blocos das duas camadas de caulim economicamente importantes modeladas do bloco Norte .....	110
102 - Perspectiva dos modelos de blocos das duas camadas de caulim economicamente importantes modeladas do bloco Sul .....	110
103 - Mapa em planta do modelo de blocos da camada de caulim macio do bloco Norte.....	111
104 - Mapa em planta do modelo de blocos da camada de caulim arenoso do bloco Norte....	112
105 - Mapa em planta do modelo de blocos da camada de caulim macio do bloco Sul .....	113
106 - Mapa em planta do modelo de blocos da camada de caulim arenoso do bloco Sul.....	114
107 - Seção vertical T-4 do bloco Norte exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo .....	115
108 - Seção vertical T-5 do bloco Norte exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo .....	115
109 - Seção vertical T-9 do bloco Norte exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo .....	116
110 - Seção vertical T-50 do bloco Sul exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo.....	116
111 - Seção vertical T-52 do bloco Sul exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo.....	117
112 - Seção geológica vertical T-57 do bloco Sul exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim macio e caulim arenoso.....	117
113 - Mapa em planta do bloco Norte apresentando os valores de índice de alvura estimados para a camada de caulim macio.....	119
114 - Mapa em planta do bloco Norte apresentando os valores de índice de alvura estimados para a camada de caulim arenoso.....	120
115 - Mapa em planta do bloco Norte apresentando os valores de índice de alvura estimados para a camada de caulim total .....	121
116 - Mapa em planta do bloco Sul apresentando os valores de índice de alvura estimados para a camada de caulim macio. ....	122
117 - Mapa em planta do bloco Sul apresentando os valores de índice de alvura estimados para a camada de caulim arenoso .....	123
118 - Mapa em planta do bloco Sul apresentando os valores de índice de alvura estimados para a camada de caulim total.....	124
119 - Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para a camada de caulim macio do bloco Norte .....	125
120 - Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para a camada de caulim arenoso do bloco Norte .....	125
121 - Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para a camada de caulim macio do bloco Sul.....	125
122 - Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para a camada de caulim arenoso do bloco Sul .....	126
123 - Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para o total de recursos de caulim (CCM + CCA) do bloco Norte .....	126
124 - Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para o total de recursos de caulim (CCM + CCA) do bloco Sul.....	126
125 - Relação entre as espessuras da camada de caulim macio x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Norte .....	127

126 - Mapa em planta do bloco Norte apresentando as espessuras da camada de caulim macio.	128
127 - Relação entre as espessuras da camada de caulim arenoso x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Norte .....	129
128 - Mapa em planta do bloco Norte apresentando as espessuras da camada de caulim arenoso.	130
129 - Relação entre as espessuras da camada total de caulim (CCM + CCA) x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Norte.....	131
130 - Mapa em planta do bloco Norte apresentando as espessuras da camada total de caulim	132
131 - Relação entre as espessuras da camada de caulim macio x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Sul .....	133
132 - Mapa em planta do bloco Sul apresentando as espessuras da camada de caulim macio .	134
133 - Relação entre as espessuras da camada de caulim arenoso x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Sul.....	135
134 - Mapa em planta do bloco Sul apresentando as espessuras da camada de caulim arenoso	136
135 - Relação entre as espessuras da camada total de caulim (CCM + CCA) x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Sul.....	137
136 - Mapa em planta do bloco Sul apresentando as espessuras da camada total de caulim...	138
137 - Relação entre as espessuras de cobertura estéril sobre a camada mineralizada x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Norte .....	140
138 - Mapa em planta do bloco Norte apresentando as espessuras de capeamento sobre o minério .....	141
139 - Relação entre as espessuras de cobertura estéril sobre a camada mineralizada x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Sul .....	142
140 - Mapa em planta do bloco Sul apresentando as espessuras de capeamento sobre o minério	143
141 - Mapa em planta do bloco Norte apresentando a distribuição da relação estéril/minério	144
142 - Parametrização de recursos do bloco Norte a partir de categorias estabelecidas da relação estéril/minério e correlação com o índice de alvura média .....	145
143 - Mapa em planta do bloco Sul apresentando a distribuição da relação estéril/minério... .	146
144 - Parametrização de recursos do bloco Sul a partir de categorias estabelecidas da relação estéril/minério e correlação com o índice de alvura média. ....	147
145 - Comparação entre o índice de alvura das amostras compostas e o dos modelos de blocos para cada tipo de minério em cada bloco de estudo.....	149
146 - Diagrama simplificado de beneficiamento de caulim via úmida .....	151
147 - Preparação das amostras para os ensaios de beneficiamento.....	151
148 - Esquema do primeiro circuito de classificação por hidrociclone .....	155
149 - Esquema do segundo circuito de classificação por hidrociclone .....	155
150 - Evolução da produção de papel no Brasil .....	157
151 - Produção de papel no Brasil por segmento em 2016 .....	158
152 - Consumo aparente <i>per capita</i> de papel dos principais países em 2016 .....	158
153 - Participação da produção mundial dos principais produtores de caulim em 2014 (dados preliminares) .....	159
154 - Localização das minas do grupo Imerys e traçado de seus minerodutos .....	161
155 - Evolução do preço médio de caulim beneficiado entre 2005 e 2015.....	164
156 - Evolução do Preço médio de caulim beneficiado entre 2003 - 2014. Fonte: Elaboração dos autores com dados do IBRAM e DNPM. Nota: média de preços nacionais de bens primários para o mercado externo; (r) revisado; (p) preliminar; .....	167
157 - Caminhamento na área dos alvarás de pesquisa para caulim da CPRM na região do projeto	

Rio Capim .....	169
159 - Mapa de localização das áreas protegidas próximas às áreas com alvarás de pesquisa para caulim da CPRM .....	171
160 - Uso e ocupação do solo na área do projeto Rio Capim.....	173

## LISTA DE QUADROS

Nº	Legenda	Página
1	Códigos das principais litologias encontradas nos depósitos de caulim do projeto Rio Capim da CPRM.....	50
2	Poços de pesquisa excluídos da modelagem.....	90

## LISTA DE SIGLAS

AHIMOR.....	Administração Hidroviária da Amazônia Oriental
ALBRAS.....	Alumínio Brasileiro S.A.
ALUNORTE.....	Alumina do Norte do Brasil S.A.
ANM.....	Agência Nacional de Mineração
APP.....	Área de Preservação Permanente
ARCON-PA....	Agência de Regulação e Controle de Serviços Públicos do Estado do Pará
CCA.....	Camada de Caulim Arenoso
CCM.....	Camada de Caulim Macio
CCN.....	Carbonato de Cálcio Natural
CCP.....	Carbonato de Cálcio Precipitado
CDP.....	Companhia Docas do Pará
CEFEM.....	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CELPA.....	Centrais Elétricas do Pará
CETEM.....	Centro de Tecnologia Mineral
CFEM.....	Contribuição Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
COFINS.....	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ.....	Conselho Nacional de Política Fazendária
CPRM.....	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC.....	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSSL.....	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
DDP.....	Diferença de Potencial
DEREM.....	Departamento de Recursos Minerais
DGPS.....	Differential Global Positioning System
DICART.....	Divisão de Cartografia
DIEMGE.....	Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória
DIGEOF.....	Divisão de Geofísica
DIGEOQ.....	Divisão de Geoquímica
DNPM.....	Departamento Nacional de Produção Mineral
ELETOBRAS.....	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ELETRONORTE.....	Centrais Elétricas do Norte do Brasil
EUA.....	Estados Unidos da América
FAPESPA.....	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará
GCC.....	Ground Carbonate Calcium
GPS.....	Global Positioning System
IBAMA.....	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS.....	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDHM.....	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INPE.....	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQD.....	Inverso do Quadrado da Distância

IR .....	Imposto de Renda
IRCC.....	Imerys Rio Capim Caulim
MDT .....	Modelo Digital de Terreno
MEV .....	Microscopia Eletrônica de Varredura
MMC.....	Método de Mínima Curvatura
OGMO .....	Órgão Gestor de Mão de Obra
PAC.....	Programa de Aceleração do Crescimento
PCC.....	Precipitated Calcium Carbonate
PIB.....	Produto Interno Bruto
PIS.....	Programa de Integração Social
PPP.....	Posicionamento de Ponto Preciso
PPSA .....	Pará Pigmentos SA
RBMA.....	Reserva da Biosfera da Mata Atlântica
RBMC.....	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
REM .....	Relação Estéril/Minério
SAR.....	Radar de Abertura Sintética
SEMAS .....	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SEUC .....	Sistema Estadual de Unidades de Conservação
SGB.....	Sistema Geodésico Brasileiro
SGR.....	Sistema Geodésico de Referência
SIN.....	Sistema Interligado Nacional
SNUC .....	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SPGD .....	Sistema de Posicionamento Global Diferencial
SRTM .....	Shuttle Radar Topography Mission
SUREG .....	Superintendência Regional
TI .....	Terras Indígenas
ZCI.....	Zona de Convergência Intertropical



## Lista de Tabelas

Nº	Legenda	Página
01	- Recursos calculados e individualizados por blocos de estudo e por tipo de minério na reavaliação do projeto Rio Capim.....	25
02	- Diferenças de cota entre dados do Topodata e do DGPS para um mesmo ponto .....	82
03	- Comparação entre os tamanhos de amostras originais e os tamanhos de amostras compostas testados para o bloco Norte.....	102
04	- Comparação entre os tamanhos de amostras originais e os tamanhos de amostras compostas testados para o bloco Sul .....	102
05	- Resultados estatísticos obtidos a partir de dados de amostras originais e compostas da camada de caulim macio do bloco Norte .....	103
06	- Resultados estatísticos obtidos a partir de dados de amostras originais e compostas da camada de caulim arenoso do bloco Norte .....	103
07	- Resultados estatísticos obtidos a partir de dados de amostras originais e compostas da camada de caulim macio do bloco Sul .....	107
08	- Resultados estatísticos obtidos a partir de dados de amostras originais e compostas da camada de caulim arenoso do bloco Sul .....	107
09	- Parâmetros para geração de modelos de blocos individualizados por setor (blocos Norte e Sul) .....	109
10	- Análise da aderência do modelo de blocos ao modelo geológico .....	111
11	- Parâmetros para definição das dimensões dos elipsoides de busca.....	118
12	- Parametrização de recursos por espessura da camada de caulim macio do bloco Norte. .	127
13	- Parametrização de recursos por espessura da camada de caulim arenoso do bloco Norte	129
14	- Parametrização de recursos por espessura da camada total de caulim do bloco Norte....	131
15	- Parametrização de recursos por espessura da camada de caulim macio do bloco Sul.....	133
16	- Parametrização de recursos por espessura da camada de caulim arenoso do bloco Sul.. .	135
17	- Parametrização de recursos por espessura da camada total de caulim (CCM + CCA) do bloco Sul .....	137
18	- Parametrização de recursos geológicos totais por espessura de capeamento do bloco Norte	140
19	- Parametrização de recursos geológicos totais por espessura de capeamento do bloco Sul.	140
20	- Parametrização de recursos geológicos totais a partir da relação estéril/minério do bloco Norte.....	145
21	- Parametrização de recursos geológicos totais a partir da relação estéril/minério do bloco Sul .....	147
22	- Resultado final da estimativa de recursos de caulim do projeto Rio Capim.....	148
23	- Quadro de recursos com a distribuição da tonelagem de minério de acordo com os graus de confiabilidade adotados no projeto Rio Capim .....	148
24	- Recursos de caulim do projeto Rio Capim categorizados segundo critérios de confiabilidade	149
25	- Composição média das amostras originais.....	151
26	- Resultado da análise de alvura das amostras originais .....	152
27	- Composição granulométrica média do caulim amostrado.....	152
28	- Resultados de ensaios de filtragem de caulim .....	153
29	- Melhores resultados dos ensaios de filtragem de caulim .....	153
30	- Análise granulométrica da amostra recebida .....	154

31 - Análise granulométrica comparativa de -325# (44 µm) .....	155
32 - Análise granulométrica da amostra original do minério .....	155
33 - Amostras (percentual passante) do primeiro circuito de classificação .....	155
34 - Rendimento em massa (%) do primeiro circuito de classificação .....	155
35 - Rendimento em massa (%) do segundo circuito de classificação. ....	155
36 - Amostra (percentual passante) do segundo circuito de classificação .....	156
37 - Resultado para o material fino do caulim original.....	156
38 - Principais dados de caulim na balança comercial brasileira entre 2011 e 2014 .....	160
39 - Produção e consumo aparente de caulim no Brasil entre 2011 e 2016.....	160

# SUMÁRIO

---

SUMÁRIO EXECUTIVO .....	23
1 - INTRODUÇÃO.....	27
2 - LOCALIZAÇÃO, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA .....	29
2.1 - LOCALIZAÇÃO .....	29
2.2 - RODOVIAS .....	29
2.3 - PORTOS .....	29
2.3.1 - PORTO DE VILA DO CONDE.....	29
2.3.2 - PORTO DE BELÉM.....	31
2.4 - HIDROVIAS .....	32
2.5 - AEROPORTOS.....	33
2.6 - RECURSOS ENERGÉTICOS .....	35
3 - ASPECTOS LEGAIS .....	37
4 - FISIOGRAFIA.....	39
4.1 - CLIMA, QUALIDADE DO AR E EMISSÕES SONORAS .....	39
4.2 - GEOMORFOLOGIA E SOLOS .....	39
4.3 - ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS .....	39
5 - GEOLOGIA REGIONAL .....	41
5.1 - UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS.....	42
5.1.1 - EMBASAMENTO .....	42
5.1.2 - FORMAÇÃO (GRUPO) ITAPECURU .....	42
5.1.3 - FORMAÇÃO IPIXUNA .....	43
5.1.4 - FORMAÇÃO BARREIRAS.....	44
5.1.5 - COBERTURAS LATERÍTIAS .....	45
5.1.6 - SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS.....	45
6 - GEOLOGIA LOCAL .....	47
6.1 - UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS LOCAIS.....	50
6.1.1- FORMAÇÃO BARREIRAS E SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS .....	50
6.1.1.1 - Camada 1 .....	51
6.1.1.2 - Camada 2 .....	51
6.1.2- FORMAÇÃO IPIXUNA .....	52
6.1.2.1 - Camada 3 .....	52
6.1.2.2 - Camada 4 .....	53
6.1.2.3 - Camada 5 .....	53
6.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE MINÉRIO APROVEITÁVEL E ESTÉRIL .....	53
7 - TIPO DE DEPÓSITO .....	55
7.1 - GÊNESE DO CAULIM DA REGIÃO DO RIO CAPIM .....	55
8 - PROSPECÇÃO GEOFÍSICA.....	57
8.1 - MÉTODO GEOFÍSICO UTILIZADO .....	57
8.2 - METODOLOGIA DE ESTUDO .....	58
8.3 - RESULTADOS .....	58

8.3.1 - Linha base.....	58
8.3.2 - Linha Transversal T - 5 .....	59
8.3.3 - Linha Transversal T - 9 .....	59
8.4 - CONCLUSÕES.....	59
8.5 - RECOMENDAÇÕES.....	59
<b>9 - TRABALHOS DE PESQUISA .....</b>	<b>65</b>
9.1 - TOPOGRAFIA .....	65
9.2 - POÇOS E CACHIMBO .....	65
9.3 - SONDAGEM .....	66
9.4 - AMOSTRAGEM.....	67
9.5 - QUALIFICAÇÃO DO CAULIM .....	67
9.6 - POÇOS DE VALIDAÇÃO .....	67
9.7 - PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA .....	68
<b>10 - PROCEDIMENTOS DE RESGATE DOS DADOS ANALÓGICOS .....</b>	<b>77</b>
10.1 - ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PERFURAÇÃO .....	77
10.1.1 - Resgate dos Perfis Descritivos dos Furos de Sondagem .....	77
10.2 - ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS .....	77
10.2.1 - Levantamento Geodésico .....	77
10.2.2 - Georreferenciamento e Digitalização dos Mapas .....	78
10.2.3 - Topografia.....	80
10.2.3.1 - Levantamento topográfico complementar .....	83
10.2.3.1 - Geração do Modelo Digital de Terreno e Curvas de Nível.....	85
10.3 - Novos Perfis Descritivos .....	87
<b>11 - MODELAGEM GEOLÓGICA .....</b>	<b>89</b>
11.1 - METODOLOGIA.....	89
11.2 - MODELAGEM GEOLÓGICA DO DEPÓSITO DE CAULIM.....	91
<b>12 - ESTIMATIVAS DE RECURSOS.....</b>	<b>101</b>
12.1 - ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS .....	101
12.1.1 - Compostas .....	101
12.1.2 - Teores .....	102
12.1.3 - Densidade.....	106
12.2 - MODELOS DE BLOCOS .....	106
12.3 - METODOLOGIA DE ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DE RECURSOS .....	106
12.4 - PARAMETRIZAÇÕES DOS RECURSOS GEOLÓGICOS .....	125
12.4.1 - Parametização por teor de alvura crua .....	125
12.4.2 - Parametização por espessura da camada.....	127
12.4.3 - Parametização por capeamento.....	139
12.5 - RELAÇÃO ESTÉRIL/MINÉRIO.....	139
12.5.1 - Bloco Norte.....	139
12.5.2 - Bloco Sul .....	139
12.6 - QUADRO DE RECURSOS.....	147
12.7 - VALIDAÇÕES DAS ESTIMATIVAS .....	148

<b>13 - TESTE DE BENEFICIAMENTO (ENSAIOS PRELIMINARES)</b> .....	<b>151</b>
13.1 - Preparação de Amostras .....	151
13.2 - Ensaios de Dispersão .....	151
13.3 - Ensaios de Floculação.....	152
13.4 - ENSAIOS DE ESPESAMENTO .....	152
13.4.1 - Apresentação dos resultados.....	152
13.5 - ENSAIOS DE FILTRAGEM .....	152
13.5.1 - Apresentação dos resultados.....	152
13.6 - ENSAIOS DE CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA .....	154
13.6.1 - Primeiro circuito de classificação .....	154
13.6.2 - Segundo circuito de classificação .....	154
13.7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	156
<b>14 - ANÁLISE ECONÔMICA</b> .....	<b>157</b>
14.1 - ASPECTOS MERCADOLÓGICOS DO CAULIM.....	157
14.2 - CAULIM.....	158
14.3 - PANORAMA MUNDIAL .....	158
14.4 - COMÉRCIO EXTERIOR.....	159
14.5 - PANORAMA NACIONAL .....	160
14.6 - ESTRUTURA PRODUTIVA/ASPECTO CONCORRENCIAL .....	161
14.7 - REGIÃO DO RIO CAPIM.....	161
14.8 - LAVRA E BENEFICIAMENTO .....	162
14.8.1 - Lavra.....	162
14.8.2 - Beneficiamento .....	162
14.9 - Usos e Aplicações .....	163
14.10 - Especificações .....	163
14.11 - Preços .....	163
14.12 - Tributação dos Produtos de Caulim.....	164
14.13 - Investimentos e Projetos em Andamento e/ou Previstos .....	166
14.14 - Perspectivas.....	166
<b>15- DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL</b> .....	<b>169</b>
15.1 - INTRODUÇÃO .....	169
15.2 - LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PERTINENTE .....	170
15.3 - ECOSISTEMAS E BIODIVERSIDADE.....	170
15.4 - ESPAÇOS TERRITORIAIS PROTEGIDOS .....	171
15.5 - SOCIOECONOMIA .....	172
15.6 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	172
15.7 - IMPACTOS PROVÁVEIS.....	172
<b>16 - RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES</b> .....	<b>175</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>177</b>
<b>ANEXO I: CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DO CAULIM DA CPRM</b> .....	<b>183</b>



# **PROJETO RIO CAPIM**

## **ESTADO DO PARÁ**



# SUMÁRIO EXECUTIVO

O Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral tem como objetivo resgatar e reavaliar dados e informações geológicas, geoquímicas e geofísicas geradas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) entre as décadas de 1970 e 1990, os quais constituem o patrimônio mineral da empresa, validando-os, organizando-os em um sistema de banco de dados, integrando-os e reinterpretando-os à luz do conhecimento geológico atual.

Esses dados, tanto quanto possível, foram integrados e modelados conforme preconizado nos códigos JORC, da Australásia (JORC, 2012), e NI 43-101, do Instituto Canadense de Mineração (CIM, 2011), objetivando-se a definição de nova cubagem para os depósitos e a atualização da classificação de seus recursos.

No âmbito da pesquisa mineral nacional, a região nordeste paraense é conhecida por seus depósitos minerais formados em circunstâncias especiais, associadas, principalmente, a condições parcialmente estáveis, incrementadas por intemperismo e ação de efeitos supergênicos. Nesse cenário, o Distrito Caulínico do Rio Capim é um dos mais importantes da Amazônia, com as maiores reservas de caulim de alta brancura do país.

Nesse contexto, espera-se que o estudo de reavaliação levado a efeito do Projeto Rio Capim (Pará) sirva de parâmetro para avaliações econômicas em nível conceitual que permitam estimar o valor do ativo mineral e a melhor forma de atuação da CPRM em futuras licitações.

## **Localização e Acesso**

A região do Projeto Rio Capim está situada a nordeste do estado do Pará, no município de Ipixuna, distante 270 km da capital (Belém). O acesso à área se dá tanto por vias rodoviárias – partindo de Belém, passando por Santa Maria do Pará e seguindo pelas rodovias Capitão Pedro Teixeira (BR-316) e Bernardo Sayão, esta conhecida popularmente como Belém-Brasília (BR-010) – como fluviais, em qualquer época do ano, utilizando embarcações de pequena e média tonagem e navegando, inicialmente, cerca de 120 km pelo rio Guamá e, em seguida, 120 km pelo rio Capim.

## **Infraestrutura e Logística**

No contexto regional, a área do projeto é assistida por dois portos, localizados em posições estratégicas: Belém e Vila do Conde.

O Aeroporto Internacional de Belém Val-de-Cans/Júlio Cezar Ribeiro, o mais movimentado no norte do Brasil, gerencia o tráfego aéreo doméstico e internacional de Belém.

A rede de infraestrutura energética do estado do Pará é constituída por importantes usinas hidrelétricas, com capacidade de geração projetada para atender à demanda de grandes projetos instalados, com destaque para aqueles que objetivam a exploração e a exploração de recursos minerais.

## **Situação Legal dos Processos Minerários**

As áreas do Projeto Rio Capim constituem dois conjuntos de cinco requerimentos de pesquisa denominados Bloco Sul e Bloco Norte, totalizando 10 áreas de 1.000 ha cada uma, protocolizados no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), atual Agência Nacional de Mineração (ANM), sob os números 812.869 a 812.878/71. As autorizações de pesquisa, concedidas pelos alvarás nºs 868 a 877, de 13.07.1972, foram publicadas no Diário Oficial da União (DOU) de 02.07.1972.

## **Geologia**

A região do projeto é localizada na parte leste da Sub-Bacia Cametá, abrangida pela Bacia Hidrográfica do Rio Capim, e tem como principais depósitos minerais aqueles formados, principalmente, pela ação supergênica sobre arenitos arcoseanos e pelitos oriundos, predominantemente, de rochas graníticas da Plataforma Bragantina e, em menor proporção, de rochas paleozoicas da Bacia do Parnaíba.

De acordo com Urdinínea (1977 apud KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT; HIERONYMUS, 1996), a distribuição dos sedimentos cretáceos e cenozoicos 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 esse processo ocorreu apenas no Terciário Superior, levando à deposição das formações Pirabas e Barreiras.

A Formação Ipixuna, portadora de camadas mineralizadas, é caracterizada por arenitos médios a finos, moderadamente selecionados, caulinizados, muito desferrificados, com intercalação de argilitos caulínicos (KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT; HIERONYMUS, 1996). De acordo com Ros-

setti e Góes (2004), essa formação é 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.

### Atividades de Exploração e Perfuração

Na região, foram perfurados, na década de 1970, diversos poços de pesquisa e executados furos de sondagem pela CPRM. Entretanto, para o presente trabalho, foram selecionados somente os trabalhos de escavação e sondagem que estavam com os dados completos, totalizando 1.817,05 m lineares de profundidade de investigativas, distribuídos em 93 pontos de observação, dentre poços de pesquisa, sondagens a trado e rotativa e trincheiras. Desse total, 78 pontos estão localizados no Bloco Norte (1.572,25 m) e 15 no Bloco Sul (244,80 m)

### Recursos Minerais

A modelagem geológica e a estimativa de recursos do depósito de caulim consideraram dois tipos de minério, diferenciados, basicamente, pelo conteúdo de areia. Dessa forma, o minério caulínico foi individualizado em Camada de Caulim Macio (CCM), caracterizado por baixo conteúdo de areia, e Camada de Caulim Arenoso (CCA), em que a quantidade de areia é mais significativa. As camadas de caulim foram modeladas, dando origem a sólidos tridimensionais que refletem o comportamento, a forma e a extensão da mineralização.

A Camada de Caulim Macio (CCM), que caracteriza o nível superior do pacote mineralizado, possui, em média, 8 m de espessura e ocupa, aproximadamente, 39 km<sup>2</sup> no Bloco Norte; já a porção centro-sul do Bloco Sul ocupa uma área em torno de 4 km<sup>2</sup> e tem espessura média de 2 m. As maiores espessuras no Bloco Norte ocorrem na porção centro-noroeste, ao passo que no Bloco Sul estão no centro-sul das áreas. A camada tem comportamento tabular sub-horizontal, com mergulhos insignificantes menores que 1 grau em média. Apresenta valor de índice de alvura média de 81% no Bloco Norte e de 77% no Bloco Sul, com rendimento em torno de 75%.

Posicionada na base do pacote mineralizado, a Camada de Caulim Arenoso (CCA) apresenta espessura média de 4,5 m, cobrindo uma área em torno de 42 km<sup>2</sup> no Bloco Norte e ocupando 22 km<sup>2</sup> no Bloco Sul. Distribui-se em toda a extensão do Bloco Norte, enquanto no Bloco Sul está presente nas porções sudoeste, centro e nordeste. As maiores espessuras no Bloco Norte ocorrem na porção centro-sudoeste, ao passo que, no Bloco Sul, manifes-

tam-se nas porções sudoeste e centro. Essa camada comporta-se, da mesma forma como a CCM, de forma tabular sub-horizontal, com mergulhos insignificantes menores que 1 grau em média. Os valores de índice de alvura média giram em torno de 81% no Bloco Norte e de 77% no Bloco Sul, com rendimento em torno de 60% e 47%, respectivamente.

O atual projeto de reavaliação apresenta o total de recursos calculados e individualizados por blocos de estudo e por tipo de minério. Foram estimados os valores de índice de alvura e rendimento para os dois tipos de minério. No Bloco Norte, obteve-se o total de 574 milhões de toneladas, com relação estéril/minério (REM) de 1.1, enquanto no Bloco Sul o total de recursos foi de 218 milhões de toneladas e relação estéril/minério de 0.9. A soma de todos os recursos atingiu o valor de 792 milhões de toneladas de caulim, com índice de alvura média de 80%. Considerando uma recuperação média de 65%, o total de recursos diminui para 520 milhões de toneladas, acompanhado de aumento da relação estéril/minério (Tabela 1).

### Beneficiamento

O caulim, normalmente, ocorre associado a diversas impurezas, de modo que, para atender às especificações de mercado, é necessário submetê-lo a processos de beneficiamento. Há dois métodos de beneficiamento do caulim: via seca e via úmida. O primeiro, mais simples, destina-se a caulins que já apresentem alvura e granulometria adequadas ao mercado a que se destinam. O processo por via úmida envolve as etapas de dispersão, desareamento, fracionamento em hidrociclone ou centrifuga, separação magnética, floculação seletiva, alveamento químico, filtragem e secagem.

### Economia Mineral

De acordo com dados do DNPM (2014), as maiores mineradoras de caulim do Brasil situam-se na região Norte do país. O estado do Pará participou com 71% do total da produção interna de caulim brasileiro em 2013, com 1.516.163 t produzidas.

A produção brasileira de caulim apresentou pequeno decréscimo, saindo em 2012 de aproximadamente 2,2 milhões de toneladas para cerca de 2,14 milhões em 2013; mesmo assim, manteve-se na quinta posição no *ranking* mundial de produtores.

Destaca-se que o Brasil é o principal produtor mundial do produto beneficiado (pronto para uso na indústria de papel), e a produção nacional de caulim tende a acompanhar a demanda mundial de cobertura para papel. Convém ainda ressaltar o crescimento da indústria de papel no Brasil e no mundo, mesmo em períodos de instabilidade econômica, o que

Tabela 1 – Recursos calculados e individualizados por blocos de estudo e por tipo de minério na reavaliação do projeto Rio Capim.

Quadro de Recursos - Projeto Rio Capim											
Bloco	Tipo de minério	Classificação	Volume (m³)	Densidade	Tonelagem Bruta	Índice de Alvura média (%)	Espessura Média Minério (m)	REM Média	Rendimento (%) Recuperação de Lavra	Q (Mt) - Recuperação de Lavra	REM - Recuperação de Lavra
Norte	CCM	Inferido	214.027.875	1.55	331.743.206	80.81	11.84	1.02	66.16	219.482.518	3.41
	CCA	Inferido	147.646.587	1.64	242.140.403	81.12	4.49	1.19	63.92	154.772.012	3.48
Subtotal	CCM + CCA	Inferido	361.674.462	1.59	573.883.609	80.94	8.74	1.10	65.21	374.254.530	3.44
Sul	CCM	Inferido	4.995.768	1.55	7.743.441	76.60	2.27	0.69	66.49	5.148.785	1.55
	CCA	Inferido	128.367.677	1.64	210.522.991	76.62	7.23	0.52	66.66	140.342.303	1.29
Subtotal	CCM + CCA	Inferido	133.363.445	1.64	218.266.431	76.62	7.05	0.53	66.66	145.491.088	1.30
Recurso Inferido Total			495.037.907	1.60	792.150.040	79.73	8.27	0.94	65.61	519.745.619	2.84

Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

oferece boas perspectivas para o aproveitamento do caulim estudado no Projeto Rio Capim.

### Situação Socioambiental

Nas áreas de alvarás de pesquisa da CPRM existem poucos fragmentos de floresta preservada, sem a presença de árvores altas. No Bloco Norte, restam pequenos retalhos de floresta em diferentes graus de recuperação, que perfazem cerca de 20% da área. Já no Bloco Sul, na porção sudoeste, ocorre floresta preservada sobre aproximadamente 25% do total da área. Uma pequena parte de dois projetos de assentamento de reforma agrária – PA Minas Pará e PA Carandiru – sobrepõe cerca de 40% das áreas de alvarás do Bloco Sul em suas porções nordeste, leste

e sudeste. Poucos cursos d'água, representando as cabeceiras de pequenos afluentes do rio Capim, cruzam os dois blocos de áreas. As margens desses cursos d'água estão bastante alteradas por atividades agrícolas, sem preservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs). O restante das áreas está coberto por pastagens e culturas de mandioca, banana e pimenta, principalmente.

De acordo com o relatório “Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros” (MMA, 2002), não existem áreas de interesse especial na região em torno dos alvarás de pesquisa.



# 1 – INTRODUÇÃO

A CPRM detém, na atualidade, 321 processos de direitos minerários ativos no DNPM (atual ANM), em fases variáveis entre alvarás de pesquisa e relatórios finais de pesquisa aprovados, os quais constituem 30 blocos ou projetos referentes a 14 bens minerais, distribuídos por todo o país. Dentre as substâncias que constituem o portfólio, incluem-se fosfato (1), cobre (1), chumbo (1), zinco (1), ouro (4), caulim (1), níquel laterítico (2), gipsita (1), carvão (5), turfa (8), diamante (2), nióbio (1), terras-raras (1) e calcário (1).

O Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral tem como objetivo resgatar e reavaliar dados e informações geológicas, geoquímicas e geofísicas geradas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) entre as décadas de 1970 e 1990, os quais constituem o patrimônio mineral da empresa, validando-os, organizando-os em um sistema de banco de dados, integrando-os e reinterpretando-os à luz do conhecimento geológico atual.

Nesse contexto, com o Projeto Rio Capim (PA) tem-se como objetivo resgatar e reavaliar os dados e informações geológicas das áreas que compõem o Bloco de Caulim do Rio Capim, o qual é constituído por dois conjuntos de cinco requerimentos de pesquisa denominados Bloco Sul e Bloco Norte, totalizando 10 áreas de 1.000 ha cada uma, protocolizados no DNPM sob os números 812.869 a 812.878/71. As autorizações de pesquisa, concedidas pelos alvarás nºs 868 a 877, de 13.07.1972, foram publicadas no Diário Oficial da União (DOU) de 02.07.1972.

Para consecução dos estudos, procedeu-se à execução de diversas etapas. Dentre elas, citam-se:

- Recuperação de dados históricos analógicos, transformando-os em formato digital, incluindo mapas geológicos e topográficos, dados de escavações e sondagens e dados analíticos.
- Organização do acervo de dados em banco de dados auditável, objetivando atender às normas internacionais aplicadas à exploração mineral.
- Consistência de todas as informações e dados históricos inseridos no banco de dados, visando a maximizar a confiança nos dados originais.
- Visita técnica à região, para reconhecimento geológico e avaliação da situação atual das áreas, com elaboração de diagnósticos

e proposições de medidas para ajustes.

- Levantamento, com Sistema de Posicionamento Global Diferencial/Differential Global Positioning System (SPGD/DGPS), da superfície topográfica das áreas e das posições geográficas de poços e sondagens.
- Atualização do conhecimento geológico da jazida a partir de bibliografia atual, visando ao melhor entendimento sobre a sua gênese e seus aspectos litológicos e econômicos, bem como à aplicabilidade das técnicas exploratórias utilizadas no passado.
- Modelagem tridimensional das camadas de minério e geração de modelos de blocos para cálculos de tonelagem de minério e estimativa de teores, com uso do *software* DATAMINE Strat3D.
- Parametrização dos recursos geológicos por teor de alvura crua, espessura de camada e capeamento.
- Geração de quadro de recursos atualizado, com base em orientações contidas nos códigos JORC, da Australásia (JORC, 2012), e NI 43-101, do Instituto Canadense de Mineração (CIM, 2011).

Os trabalhos inerentes ao Projeto de Reavaliação do Patrimônio Mineral – Projeto Rio Capim (PA) descritos neste relatório foram conduzidos pelo Departamento de Recursos Minerais (DEREM) da CPRM, por meio da Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória (DIEMGE), com apoio direto da Superintendência Regional de Belém (SUREG-BE), Divisão de Geofísica (DIGEOF), Divisão de Geoquímica (DIGEOQ) e Divisão de Cartografia (DICART). Todas as atividades foram acompanhadas por um ou mais técnicos da CPRM local, possibilitando, assim, treinamento e transferência de conhecimento em avaliação de recursos minerais.



## 2 – LOCALIZAÇÃO, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

### 2.1 - Localização

A região em que se insere o Projeto Rio Capim está localizada a nordeste do estado do Pará, no município de Ipixuna, distante 270 km da capital (Belém). O acesso à área se dá tanto por vias rodoviárias – partindo de Belém, passando por Santa Maria do Pará e seguindo pelas rodovias BR-316 e BR-010 – como fluviáveis, em qualquer época do ano, por meio de embarcações de pequena e média tonelagem, navegando-se, inicialmente, cerca de 120 km pelo rio Guamá e, em seguida, mais 120 km pelo rio Capim (Figura 1).

### 2.2 - Rodovias

A malha rodoviária na área de influência do depósito caulínico possibilita acesso às cidades de Belém e Barcarena (PA), como também a São Luís (MA), centros urbanos utilizados para escoamento de produtos minerais.

A BR-010 é uma rodovia de integração nacional, que se constitui na ligação rodoviária de longa distância mais bem-sucedida da Amazônia. Com extensão total de 2.039 km, dos quais 470 km em território paraense, seu início é na cidade de Brasília (DF) e o final, em Belém (PA).

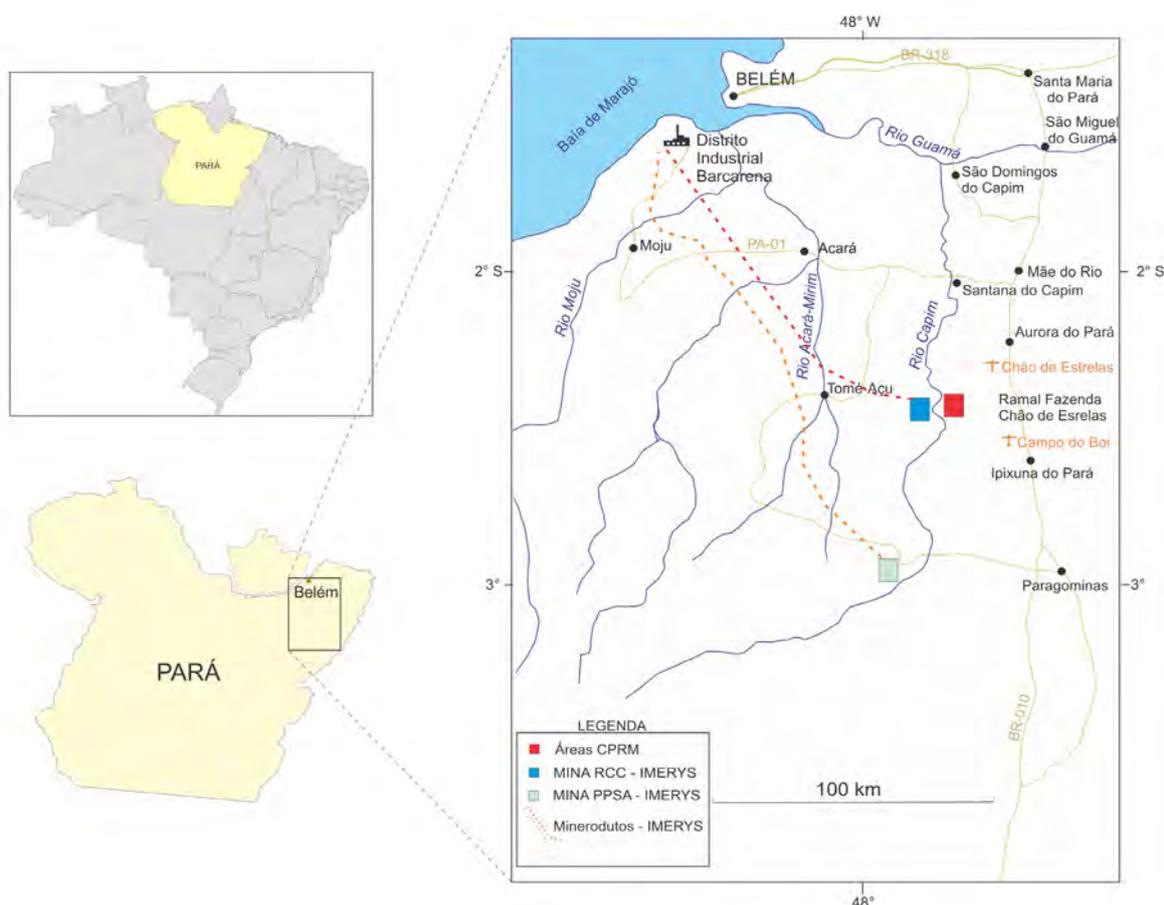
### 2.3 - Portos

No contexto regional, a área do projeto é assistida por dois portos localizados em posições estratégicas: Vila do Conde e Belém.

#### 2.3.1 Porto de Vila do Conde

Esse porto foi inaugurado pela Companhia Docas do Pará (CDP) em 24.10.1985 e está situado em Ponta Grossa, município de Barcarena (PA), à margem direita do rio Pará (Figura 2).

Figura 1 - Localização dos depósitos caulínicos da CPRM.



Fonte: Elaborada pela equipe do projeto, 2015.

Muitos fatores transformam esse porto em eficiente ligação da região com o resto do mundo, tendo em vista seu privilegiado posicionamento geográfico e sua grande extensão de frente acostável, com seis berços de atracação, calado de 14 m, ampla disponibilidade de áreas para expansão e fácil acesso, seja marítimo, fluvial ou rodoviário, tais como.

- Acesso rodoviário: a ligação de Belém ao Porto de Vila do Conde pode ser feita pela BR-316 até o município de Marituba, seguindo pela Alça Viária até o entroncamento com a PA-151 e, daí, para a Vila do Conde, no Km 2 da PA-481. Todo o trajeto tem 120 km.
- Acesso rodofluvial: é realizado por meio de travessia em balsas, serviço 24 horas, até o Terminal do Arapari (10 km ~ 1 h). Nesse local, toma-se a Rodovia PA-151 até o entroncamento com a PA-483 (~ 22 km), prosseguindo até o Km 2 da PA-481 (~ 20 km), observando a sinalização precária.
- Acesso fluviomarítimo: baía de Marajó: o canal de navegação vai da Vila do Conde até a foz do rio Pará, com 500 m de largura e 170 km de comprimento. As profundidades variam de 13 a 15 m. O acesso marítimo é através do rio Pará, que deságua no oceano Atlântico.

Quanto à navegação e manobra, o canal de acesso é o mesmo utilizado para chegar ao Porto de Belém, apresentando profundidades variáveis de 9,0

a 10,5 m, em função da maré, até atingir a ilha do Mosqueiro. De Salinópolis até Belém, embarcações levam de sete a oito horas, em velocidade de 15 nós (28 km/h) sob condições normais. O ponto crítico é o Banco do Espadarte, a 12 milhas de Salinópolis e em frente à costa Taipu.

O calado máximo recomendado é limitado pelas profundidades dos canais de acesso, quais sejam: Canal do Espadarte (Baixo do Taipu): 12,20 m (40,0 pés) na preamar; Canal do Quiriri: quando demandando o porto pelo Canal do Quiriri, considerando-se a velocidade do navio em 8 nós, navios com calado superior a 10,70 m (35,1 pés) deverão levar em consideração a maré da hora antes de demandar o citado canal, de forma a manter uma separação em relação ao fundo de, no mínimo, 2,28 m (7,48 pés). O porto conta com seis berços, sendo: berços externos (101, 201, 301): 20,0 m (65,5 pés); berços internos (102, 202, 302): 16,0 m (52,5 pés). O comprimento total do cais é de 800 m de extensão.

No que concerne às instalações, o Porto de Vila do Conde abrange uma área territorial de 3.748.891,74 m<sup>2</sup>. Seu território é constituído de vias de tráfego asfaltadas e iluminadas, disponíveis à utilização para movimentação de cargas.

O porto dispõe de três instalações acostáveis distintas: Terminal de Múltiplo Uso 1 (TMU-1), destinado à atracação de navios; Terminal de Graneis Líquidos (TGL), destinado à atracação de navios e barcas; Terminal Rodofluvial, destinado à atracação com barcas.

Figura 2 – Vista aérea do porto de Vila do Conde (Barcarena, PA).



Fonte: TECNOLÓGICA, 2018.

Dispõe, ainda, de instalações acostáveis, configurando formato em “T”, com uma ponte de acesso ao píer de aproximadamente 400 m, defensas fixas, píer de concreto armado e protendido, plataforma de transição entre o píer e a ponte, tendo à esquerda um píer corrido com 251 m de comprimento e 45 m de largura com dois berços paralelos e, do lado direito, no mesmo alinhamento, outro píer, com *dolphins* de amarração e atracação, também com quatro berços paralelos (201/202 e 301/302), podendo receber navios de até 60.000 DWT. Oferece calado com profundidade de 20 m na baixa-mar nos berços externos (graneis sólidos), e 18 m de profundidade na baixa-mar nos berços internos (carga geral). O píer possui cabeços de amarração espaçados de 20 m com capacidade para 90 t, quatro tomadas de alimentação elétrica em 380/220 V e 440 V e hidrômetros para abastecimento de água potável de 2,5 polegadas, além de rede de hidrantes de combate a incêndio.

Dispõe, ainda, de um armazém coberto com telhas de alumínio, medindo 50 m x 150 m, ocupando uma área de 7.500 m<sup>2</sup>, e dotado de instalações para escritório. O pátio externo ocupa uma área de 13.000 m<sup>2</sup>.

Dentro da área do porto existem quatro silos com capacidade para 13.500 t, dois armazéns de 7.500 m<sup>2</sup>, quatro tanques de armazenamento de graneis líquidos e dois pátios preparados em concreto armado para armazenagem de graneis e cargas gerais, com áreas de 25.000 m<sup>2</sup> e 19.338 m<sup>2</sup>, respectivamente, sendo este dividido em duas pilhas de 4.446,88 m<sup>2</sup> e 5.329 m<sup>2</sup> cada.

Fora da área do porto existem três silos de 30.000 t, dentre outros que estão sendo utilizados para estocagem de alumina, coque e bauxita.

### 2.3.2 Porto de Belém

O Porto de Belém também é administrado pela Companhia Docas do Pará (CDP). Localizado na margem direita da baía de Guajará, em posição frontal à ilha das Onças, na cidade de Belém (PA), dista aproximadamente 120 km do oceano Atlântico (Figura 3).

O canal de acesso se desenvolve por cerca de 4 km, com largura variando entre 90 m e 180 m e profundidade mínima de 6 m.

O acesso rodoviário se dá pelas rodovias BR-316 e PA-150, enquanto o acesso fluviomarítimo é da foz do rio Pará, que deságua no oceano Atlântico, e deste através da baía de Guajará até o porto. Não há acesso ferroviário ao porto.

O Porto de Belém possui dois canais de acesso: o canal Ocidental, denominado, a partir da ilha da Barra, de “Canal do Minas Gerais” ou “Canal da Ilha das Onças”, com largura média da ordem de 500 m, 9 km de comprimento e 10 m de profundidade, e o canal Oriental ou da Cidade, denominado, a partir do terminal de Miramar, de “Canal do Porto de Belém”, com largura média da ordem de 100 m, 6 km de comprimento e 5,10 m de profundidade, sendo a principal entrada fluvial do porto. A bacia de evolução está localizada em frente à doca do mercado do

Figura 3 – Vista aérea do Porto de Belém (PA).



Fonte: FORÇA MARÍTIMA, 2018.

Ver-o-Peso, possuindo 500 m de comprimento por 500 m de largura.

O calado máximo de entrada do Porto de Belém é de 7,00 m (23,0 pés), dependendo da altura da maré na ocasião. Já o calado máximo de saída do porto é de 7,30 m (24,0 pés), dependendo também da altura da maré na ocasião. As profundidades não são homogêneas ao longo dos berços de atracação, sendo passíveis de variação, devendo-se fazer consulta permanente à Autoridade Portuária quanto às atuais profundidades.

O Porto de Belém abrange uma área territorial de 353.231,12 m<sup>2</sup>, constituída de vias de tráfego asfaltadas e iluminadas, disponíveis à utilização para movimentação de cargas.

Possui um *dolfin* de amarração, situado a jusante do berço 500, constituído por bloco assente sobre estacas, executado em concreto armado com cabeço para 100 tf, destinado para a situação mais desfavorável para amarração de navios de até 40.000 DWT.

Quase todos os órgãos intervenientes no trabalho portuário estão instalados nos altos do armazém nº 10 do porto, como Alfândega, Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Ministério do Trabalho, Vigilância Sanitária etc. Em outras áreas do porto estão as instalações da Secretaria de Estado da Fazenda e do Órgão Gestor de Mão de Obra (OGMO).

## 2.4 - Hidrovias

O sistema hidrográfico da região em que se inserem as áreas pesquisadas da CPRM é comandado pelo rio Capim, que nasce no sudeste do estado do Pará, percorre uma extensão de aproximadamente 450 km até desembocar no rio Guamá, após receber abundante rede de afluentes, entre os quais o rio Candiru-Açu e os igarapés Candiru-Mirim, Tauari e Ciputeua ou Bacuri.

A existência de meandros de grande raio e a falta de cachoeiras e corredeiras conferem ao rio Capim um estágio evolutivo que pode ser considerado senil ou em fase de senilização. O arcabouço geológico dos terrenos em que esse rio modelou o seu leito é refletido por boa navegabilidade em toda a sua extensão por embarcações de pequeno e médio porte.

Os rios Guamá e Capim, no estado do Pará, vêm sendo utilizados como vias navegáveis para transporte de minérios e outras cargas desde a década de 1960, constituindo, dessa forma, a hidrovía Guamá-Capim. Diversos estudos e levantamentos vêm sendo realizados, nos últimos anos, tanto por empresas interessadas no transporte fluvial dos mi-

nérios da região atravessada pelo rio Capim como por organismos governamentais de incentivo à navegação, além dos próprios usuários e, até, por trabalhos acadêmicos. Na realidade, o rio Capim tem sido navegado, desde épocas bem anteriores, por pequenas embarcações para transporte de passageiros e para abastecimento das populações dispersas ao longo de suas margens. Ainda que o tráfego de "lanchas" e de "montarias" não seja suficiente para demonstrar a existência de condições satisfatórias para um transporte comercial de carga, é indício seguro da não ocorrência de sérios obstáculos ao tráfego de embarcações de maior porte em um longo percurso de mais de 400 km do rio. Aliando a esse fato a navegabilidade do rio Guamá, de que é afluente o rio Capim, que garante o acesso direto a Belém e ao transporte marítimo, justifica-se o interesse de seu aproveitamento para transporte das reservas de caulim e bauxita existentes a distâncias relativamente curtas de seu leito e de produtos agrícolas, sobretudo em uma região sabidamente carente de transporte terrestre.

O governo do estado do Pará, levando em consideração o valor estratégico da hidrovía Guamá-Capim, tem desenvolvido programas voltados à ampliação da área agricultável, melhoria da infraestrutura de armazenamento e beneficiamento de grãos e de apoio à produção, bem como ao aumento da oferta de insumos, serviços e mão de obra. Atualmente, ainda com as jazidas minerais determinando o perfil econômico da hidrovía, observa-se a formação de relevantes polos agropecuários, especialmente na região de Paragominas e Ulianópolis, capazes de ampliar sensivelmente os benefícios socioeconômicos gerados por essa hidrovía (Figura 4).

O rio Guamá, no estado do Pará, nasce em cotas inferiores a 100 m, percorrendo cerca de 400 km, até lançar suas águas na baía de Guajará (Belém).

Além da capital do Pará, localizam-se às suas margens as cidades de Bujaru, São Domingos do Capim, São Miguel do Guamá e Ourém, todas elas sedes de municípios. A foz do rio Guamá, juntamente com a foz do rio Acará, forma a baía de Guajará, apresentando 900 m de largura de margem a margem (Belém à direita e ilha do Cumbu à esquerda).

O rio Capim, afluente da margem esquerda do rio Guamá, nasce nos contrafortes da serra dos Coroados, no sudeste do estado do Pará. Sua extensão total é da ordem de 600 km, dos quais cerca de 470 km na planície amazônica. Nesse trecho, o rio apresenta-se meandroso, com fortes curvas e demais características típicas de um rio de planície.

No rio Guamá, a hidrovía compreende o trecho que vai de sua foz, na baía de Guajará, junto a

Belém, até a cidade de São Miguel do Guamá (PA), passando pela confluência de seu afluente de margem esquerda, o rio Capim, aproximadamente no Km 110. O rio Capim integra a hidrovia no Km 110, altura de sua desembocadura no rio Guamá. Desse ponto em diante, a hidrovia continua ao longo do rio Capim, estendendo-se até a cidade de Jurupari (PA) (Km 372). Considerando-se ainda 60 km a distância da foz do Guamá ao porto de Vila do Conde, a extensão total da hidrovia Guamá-Capim atinge 479 km (Figura 5).

Os principais acessos rodoviários que permitem a integração da hidrovia com o sistema viário da região são constituídos pelas rodovias federais BR-316 e BR-010 e estaduais PA-475, PA-451, PA-127, PA-252 e PA-256.

## 2.5 - Aeroportos

O Aeroporto Internacional de Belém Val-de-Cans/Júlio Cezar Ribeiro gerencia o tráfego aéreo doméstico e internacional de Belém, constituindo-se no mais movimentado no norte do Brasil. Possui uma área de mais de 33.000 m<sup>2</sup> (Figura 6).

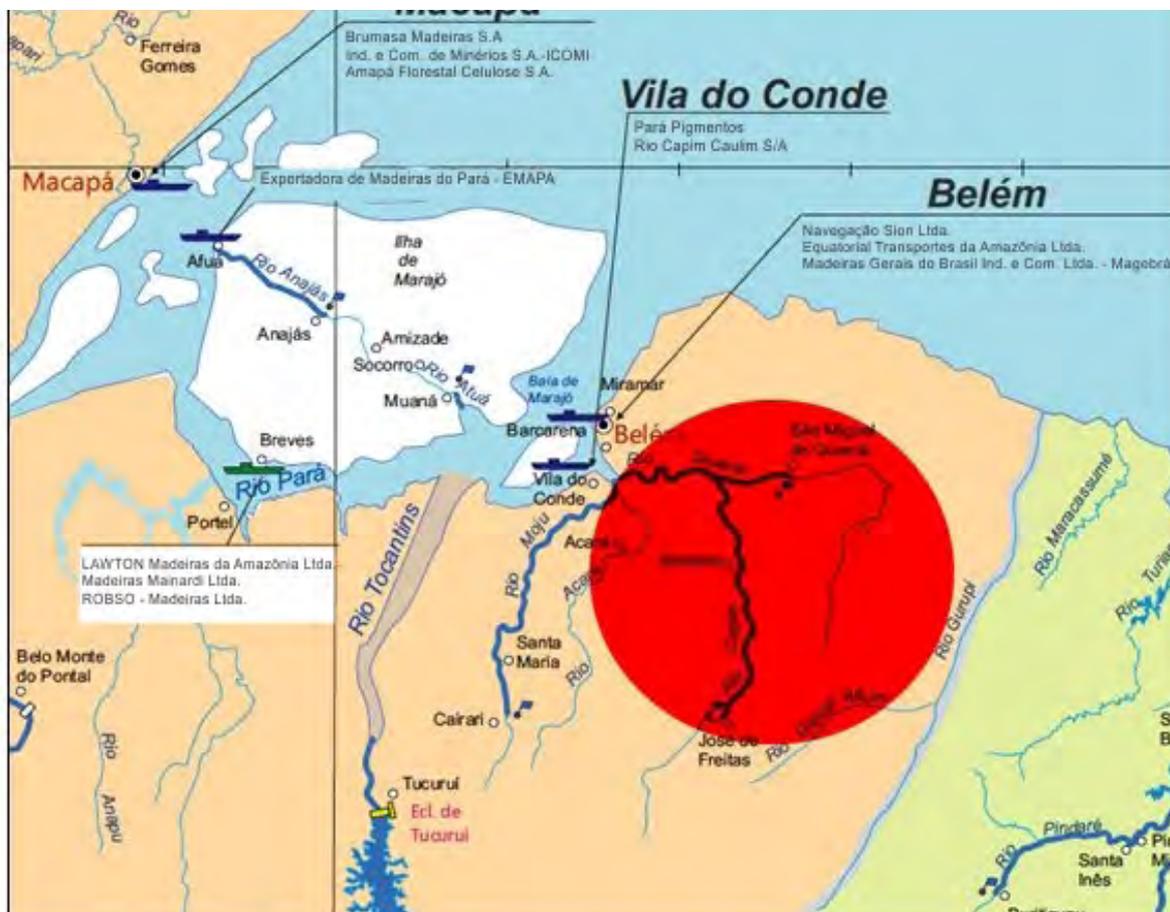
O aeroporto está localizado em Val-de-Cans, 12 km (8 milhas) do centro de Belém, na Avenida

Júlio César s/n°. Serve voos de cabotagem para todos os principais destinos no Brasil e também opera com alguns voos internacionais, principalmente para Miami, Guianas e algumas ilhas do Caribe. Tem um número significativo de destinos internacionais, mas com escala.

A despeito de ter sido projetado para atender a 2,7 milhões de passageiros por ano, a revisão da metodologia de cálculo da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), realizada em 2011, ampliou a capacidade desse aeroporto para 3,9 milhões de passageiros/ano. A atual sala de embarque do terminal consegue processar 653 passageiros por hora em razoável nível de conforto, conforme informações da estatal que administra o aeroporto. Cerca de 3,8 milhões de passageiros passaram pelo aeroporto em 2014.

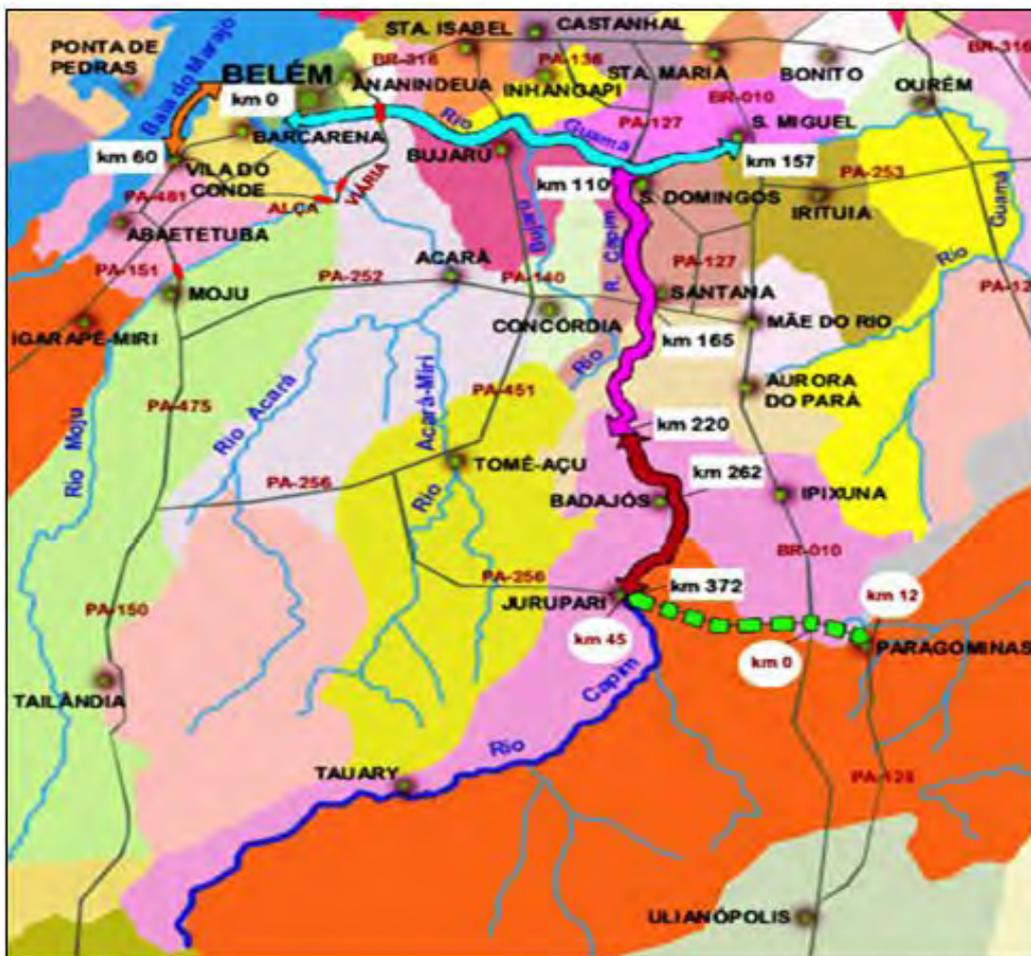
O complexo aeroportuário é constituído por: sítio aeroportuário (5.615,22 m<sup>2</sup>); pátio das aeronaves (82.384 m<sup>2</sup>); duas pistas, com dimensões de 1.500 x 45 m; área de terminal de passageiros, com 33.225 m<sup>2</sup>; estacionamento de aeronaves para nove posições e seis pontes de embarque. As companhias aéreas que operam no aeroporto são: Azul, Gol, TAP, SETE, TAM, MAP, Avianca, PQB Piquiatuba e Surinam Airways.

Figura 4 – Mapa de localização da hidrovia Guamá-Capim.



Fonte: AHIMOR, 2015.

Figura 5 – Área de influência da hidrovía Guamá-Capim.



Fonte: AHIMOR, 2015.

Figura 6 – Vista aérea do aeroporto internacional de Belém Val-de-Cans/Júlio Cezar Ribeiro.



Fonte: INFRAERO, 2017.

## 2.6 - Recursos Energéticos

A rede de infraestrutura energética do estado do Pará é constituída de grandes usinas hidrelétricas, com capacidade de geração projetada para atender à demanda de importantes projetos instalados, com destaque para aqueles que objetivam a exploração e a exploração de recursos minerais.

Dessa forma, a construção da malha de distribuição de energia elétrica no estado foi fortemente influenciada pelo desenvolvimento de grandes projetos e pela trilha migratória com incremento demográfico de algumas localidades. Nesse cenário, destacam-se a região sudeste do estado e a região metropolitana de Belém como os espaços contemplados com a mais bem estruturada malha energética a partir da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Figura 7).

Com a implantação das empresas Alumínio Brasileiro S.A. (ALBRAS) e Alumina do Norte do Brasil S.A. (ALNORTE), respectivamente produtoras de alumínio e alumina, coube à Usina Hidrelétrica de Tucuruí, generosamente subsidiada, a responsabilidade pela oferta de energia abundante e barata para obtenção desses insumos. Mais do que isso, a hidroenergia gerada em Tucuruí abastece, também, o Projeto Ferro Carajás e a eletrificação da Estrada de Ferro Carajás.

De acordo com dados da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA), o estado do Pará, em 2014, gerou 41.951 GWh, o que corresponde a 7,10% de participação do total de

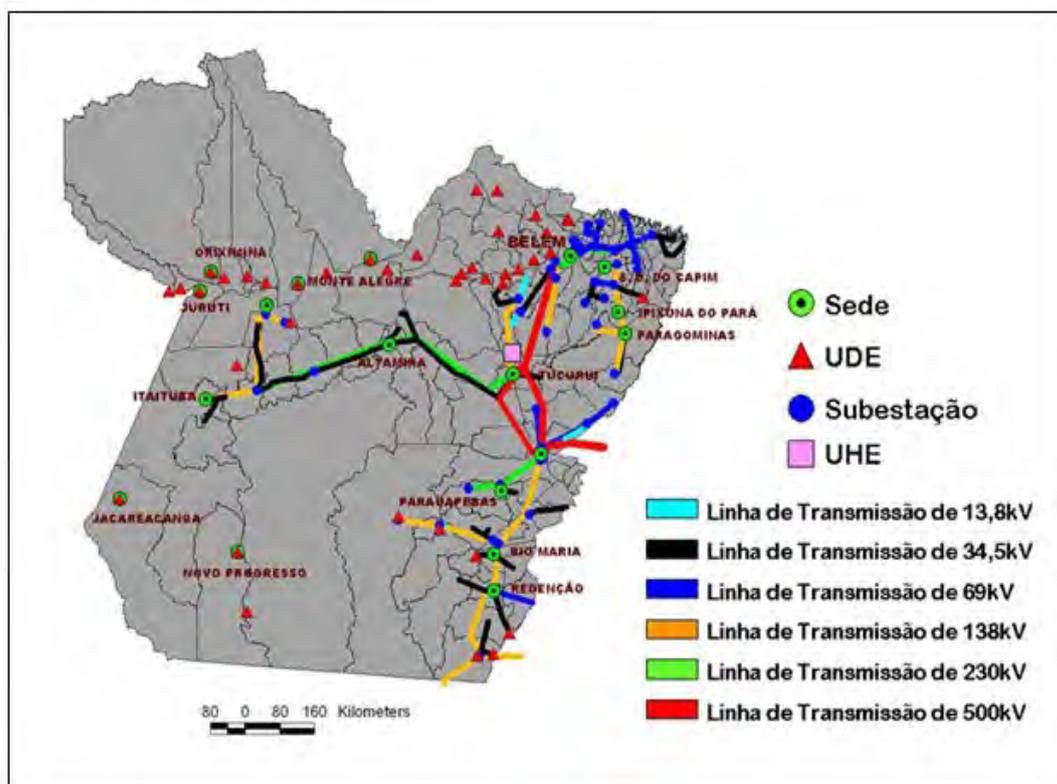
energia gerada no Brasil, ocupando a quinta posição no *ranking* de produção. Já o consumo foi de 18.406 GWh, correspondendo a 3,88% do total de energia utilizada, alcançando a oitava posição no *ranking* de consumo (FAPESPA, 2016).

O perfil do consumo de energia elétrica do Pará possui características diferentes do da média nacional, no que concerne à composição e expansão. Em 2014, o consumo de energia residencial no total do estado foi de 17,39%, representando 2,42% no consumo residencial nacional – os maiores percentuais da série 2004-2014. Nesse período, em média, a participação no total do estado foi de 14,27% e, no nacional, de 2,13%. A expansão do consumo de energia residencial regional, entre 2004 e 2014, praticamente dobrou – 93,0% –, apresentando uma taxa média de crescimento anual de 6,16%.

Entre 2004 e 2014, em média, a participação das outras classes de consumo no total do estado foi de 85,73%; no nacional, 4,38%, e sua expansão nesse período foi de 37,11%, com média de crescimento anual de 2,91%.

As concessionárias do serviço público de energia elétrica que atuam no Pará são: Centrais Elétricas do Pará (CELPA), que detêm, praticamente, o monopólio da distribuição de energia elétrica, e Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE), que abarca quase que a totalidade da geração. Além destas, atuam no território paraense produtores independentes de energia.

Figura 07 - Malha energética do estado do Pará.



A ELETRONORTE é uma subsidiária de Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS). Criada em 20 de junho de 1973, com sede no Distrito Federal, gera e fornece energia elétrica aos nove estados da Amazônia Legal – Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN). Também é responsável pelo fornecimento de energia a compradores das demais regiões do país. Dos 25.478.352 milhões de habitantes que vivem na Região Amazônica, segundo Censo 2010 do IBGE, mais de 15 milhões se beneficiam da energia elétrica gerada por essa empresa (<http://www.eletronorte.gov.br/opencms/opencms/aEmpresa/>).

O parque gerador da ELETROBRAS/ELETRONORTE conta com quatro hidrelétricas: Tucuruí (PA), a maior usina genuinamente brasileira e a quarta do mundo, Coaracy Nunes (AP), Samuel (RO) e Curuá-Una (PA), além de parques termelétricos em Acre,

Amapá, Rondônia e Roraima. A empresa tem uma capacidade de geração instalada de 9.294,33 MW e opera cerca de 10 km de linhas de transmissão e 56 subestações para levar energia elétrica a todo o país por meio do SIN (<http://www.eletronorte.gov.br/opencms/opencms/aEmpresa/historia/>).

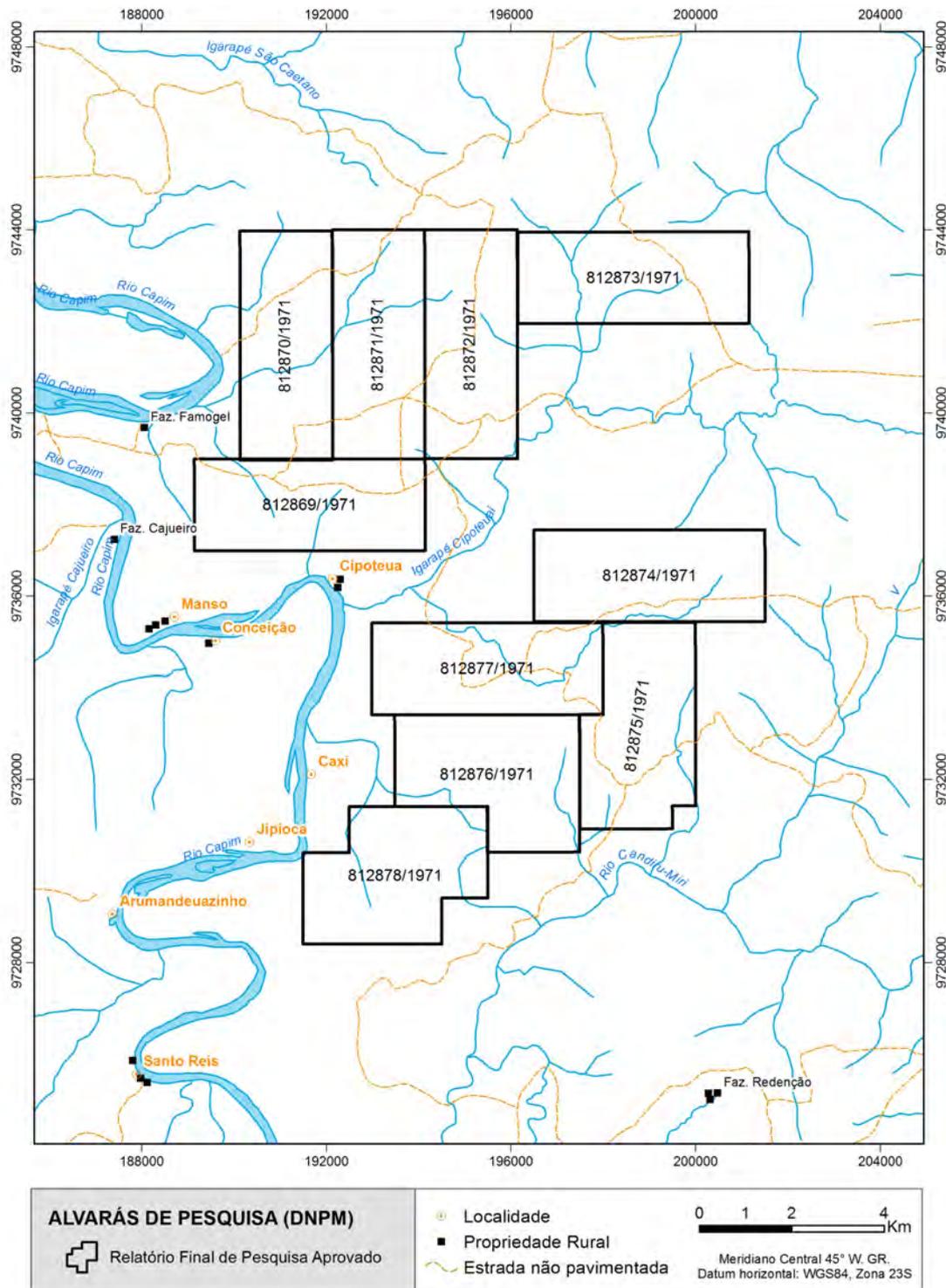
Em 05 de maio de 2016, foi inaugurada a Usina Hidrelétrica de Belo Monte. Localizada no município de Altamira, sudoeste do Pará, e construída no rio Xingu, a usina é a maior hidrelétrica 100% nacional e a terceira maior do mundo, com capacidade instalada de 11.233 MW de energia. Isso significa carga suficiente para atender a 60 milhões de pessoas em 17 estados, o que representa cerca de 40% do consumo residencial de todo o país. Juntamente com o reservatório intermediário, a área alagada do empreendimento totaliza 478 km<sup>2</sup>. A empresa Norte Energia S.A. é responsável por sua construção e operação.

### 3 – ASPECTOS LEGAIS

Os direitos minerários da CPRM constituem dois conjuntos de cinco áreas, denominadas Bloco Sul e Bloco Norte, totalizando 10 áreas de 1.000 ha cada uma, abrangendo a superfície total dos 10.000 ha protocolizados no DNPM sob os números 812.869

a 812.878/71. As autorizações de pesquisa, concedidas pelos alvarás nºs 868 a 877, de 13.07.1972, foram publicadas no Diário Oficial da União (DOU) de 02.07.1972 (Figura 8).

Figura 8 – Distribuição dos direitos minerários da CPRM na região do rio Capim.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.



## **4 – FISIOGRAFIA**

As áreas do Projeto Rio Capim (PA) estão situadas na porção nordeste do estado do Pará e inseridas na divisa dos municípios de Ipixuna do Pará e Aurora do Pará.

### **4.1 - Clima, Qualidade do Ar e Emissões Sonoras**

Segundo dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o clima no estado é equatorial úmido e subúmido, controlado por ação de ventos alísios e baixas pressões equatoriais e pela Zona de Convergência Intertropical (ZCI). Na porção nordeste, o clima sofre também interferência da massa equatorial marítima. As chuvas são constantes, com ausência de estação de secas. Considerando as precipitações pluviais, o clima da região é marcado por duas estações: verão, de julho a outubro (temperaturas máximas próximas de 35°C), e inverno, de novembro a junho (temperaturas mínimas próximas de 19°C). O inverno é a estação das grandes chuvas. A precipitação anual alcança, em média, 2.500 mm. A temperatura média anual é de 26°C, atingindo as máximas anuais de 33°C.

As áreas em que se inserem os alvarás de pesquisa situam-se em zona rural, sem a presença de tráfego intenso de veículos ou indústrias de transformação, o que garante baixa intensidade de ruídos e de emissão de efluentes atmosféricos. No entanto, durante o período de chuvas reduzidas, as queimadas de pastos e de mata são frequentes, contribuindo negativamente para a qualidade do ar.

### **4.2 - Geomorfologia e Solos**

A área situa-se em uma região de baixas altitudes, com cotas máximas em torno de 90 m, apresentando relevo suave e uniformemente ondulado, caracterizado por baixos platôs, com patamares rebaixados e terraços escalonados (CPRM, 1973a).

De acordo com o “Mapa de domínios geomorfológicos do estado do Pará” (JOÃO; TEIXEIRA; FONSECA, 2013), a área se insere no domínio dos Tabuleiros da Zona Bragantina (Zona 4), que ocupam o nordeste do estado do Pará e consistem em um prolongamento da extensa faixa de deposição dos sedimentos da Formação Barreiras ao longo da costa brasileira. Esse domínio é exclusivamente representado por extensos tabuleiros de baixa amplitude de relevo (invariavelmente inferiores a 30 m). A dissecação dos

tabuleiros exhibe formas de relevo arredondadas, que se assemelham a colinas amplas e suaves.

Sobre esses terrenos desenvolve-se, originalmente, a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (IBGE, 2004). Ocorrem solos bem drenados e de baixa fertilidade natural, espessos e lixiviados, predominando Latossolos Amarelos distróficos. Subordinadamente, observam-se Plintossolos Háplicos distróficos, Plintossolos Pétricos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos. Nos amplos fundos de vales dos rios principais predominam, nos baixos cursos, Gleissolos Háplicos distróficos e eutróficos e, nos médios cursos, Neossolos Flúvicos eutróficos (IBGE; EMBRAPA, 2001) (Figura 9).

### **4.3 - Águas Superficiais e Subterrâneas**

O nordeste do Pará encontra-se inserido na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, que tem uma área de 254.100 km<sup>2</sup>, dos quais 9% pertencem ao Pará, divididos em três sub-regiões: Guamá-Moju, Gurupi e Costa Atlântica (PACA; LIMA; FORTES, 2014).

As áreas de alvarás de pesquisa para caulim da CPRM ocorrem na sub-região hidrográfica Guamá-Moju, na Bacia Hidrográfica do Rio Capim (Figura 10).

O rio Capim nasce a oeste da serra dos Coroados e desemboca no rio Guamá. É um dos formadores da baía de Marajó, com um curso sinuoso superior a 1.000 km. Apesar de considerado ligeiramente estreito, tem um volume de descarga superior à do rio Guamá. Navegável em quase todo o seu curso por embarcações de pequeno porte, apresenta apenas uma cachoeira, que desaparece na época chuvosa (CRUZ et al., 2011).

As águas subterrâneas do estado do Pará, de modo geral, são de boa qualidade, apresentando de baixa a média mineralização e pH médio variando entre 4,8 e 8,0. O território paraense está dividido, segundo suas afinidades hidrogeológicas, em sete grandes domínios. No nordeste do Pará, o Sistema Aquífero Barreiras é amplamente utilizado para abastecimento da população.



## 5 – GEOLOGIA REGIONAL

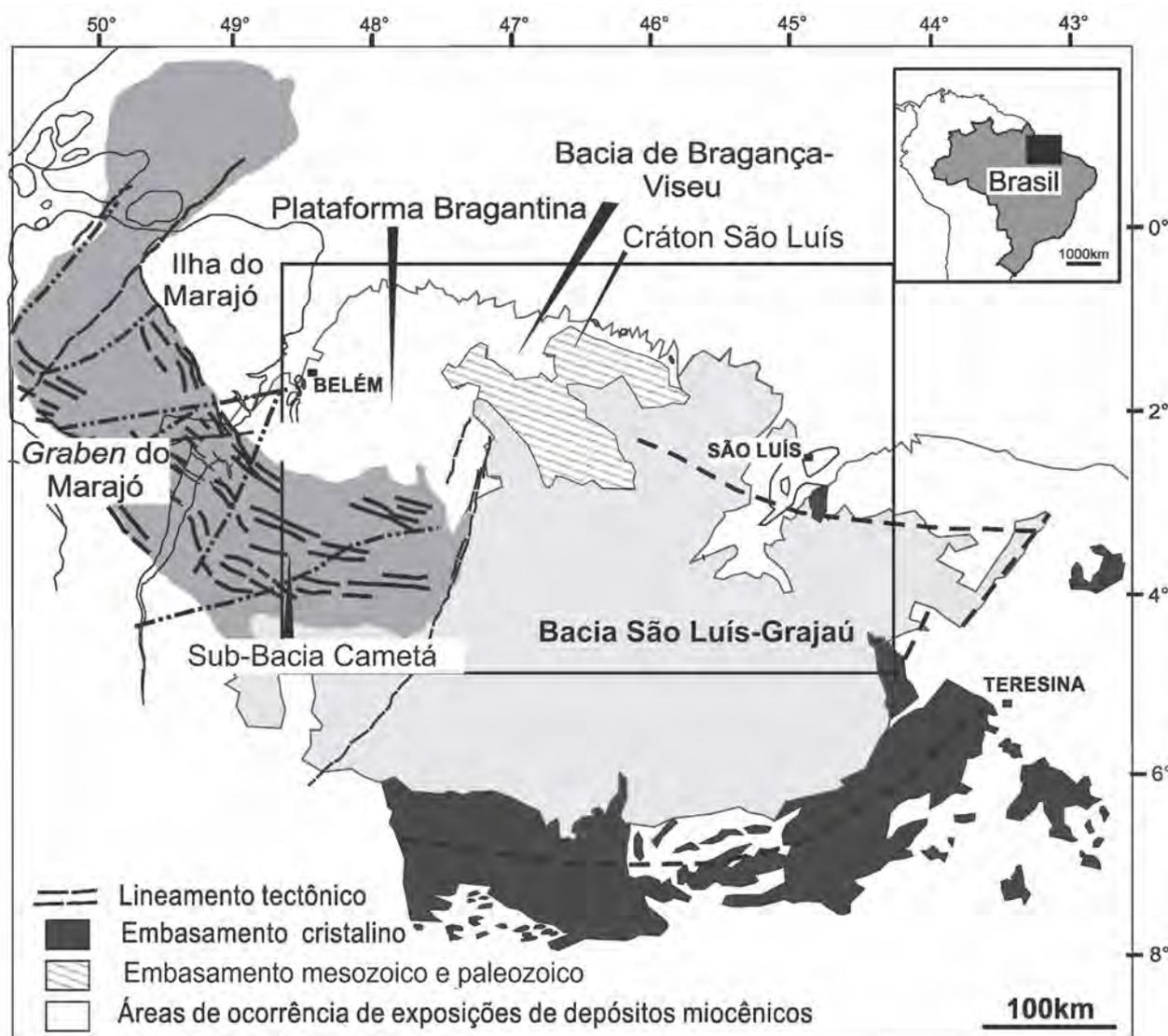
A Sub-Bacia Cameté está ao norte do Brasil, mais precisamente na porção sul da Bacia do Marajó. Segundo Azevedo (1991) e Galvão (1991), essa sub-bacia possui geometria alongada, com orientação NW-SE, devido ao estiramento litosférico proveniente da abertura do oceano Atlântico Equatorial no início do Cretáceo. É limitada pelo Arco Capim a sudeste, Arco Gurupá a sudoeste, plataformas do Pará e Bragantina a norte e Lineamento de Tocantins a noroeste (Figura 11). 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 que permanecem es-

táveis entre as bacias sedimentares pertencentes ao Sistema de *Graben* do Marajó (AZEVEDO, 1991; VILLEGAS, 1994).

De maneira geral, o embasamento da Sub-Bacia Cameté 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 subsuperfície, é constituído, segundo Villegas (1994),

Figura 11 – Mapa de localização de bacias sedimentares e plataformas na região norte do Brasil com exposições de depósitos miocênicos.



Fonte: Modificado de ROSSETTI, 2006.

por depósitos albiano-cenomanianos da Formação Breves, cretáceos superiores da Formação Limoeiro, paleocenos/miocenos médios da Formação Marajó e miocenos e pleistocenos das formações Tucunaré e Pirarucu. Essas unidades têm como depósitos correlatos, nas áreas de superfície, as formações Itapecuru (GÓES, 1981), Ipixuna, de idade neocretácea (?) - paleógena (ROSSETTI; GÓES, 2004; ROSSETTI; SANTOS JÚNIOR, 2006), Pirabas, de idade oligoceno-miocena (GÓES et al., 1990), Barreiras, de idade meso- a neomiocena (ROSSETTI, 2000; ROSSETTI; GÓES, 2004), Sedimentos Pós-Barreiras do Quaternário (ROSSETTI; GÓES, 2004; ROSSETTI; TRUCKENBRODT; GÓES, 1989).

De acordo com Urdinínea (1977 apud KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT; HIERONYMUS, 1996), a distribuição dos sedimentos cretáceos e cenozoicos 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 esse processo ocorreu apenas no Terciário Superior, levando à deposição das formações Pirabas e Barreiras.

## 5.1 - 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: Embasamento (Proterozoico/Paleozoico), formações Itapecuru (Mesocretáceo), Ipixuna (Neocretáceo) e Barreiras (Oligoceno-Plioceno), Coberturas Lateríticas e Sedimentos Pós-Barreiras (Pleistoceno).

### 5.1.1 - EMBASAMENTO

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

O Cráton Amazônico, a partir do trabalho de Cordani et al. (1984), contém grande variedade de rochas, representadas por gnaisses, granodioritos, migmatitos, andesitos, riolitos, monzonitos, metabásicas e ultrabásicas, metassedimentos, granulitos, granitoides e anfíbolitos.

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

Segundo Souza, Dall'Agnol e Teixeira (1985) e Moura e Gaudette (1993 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005), a Faixa Tocantins-Araguaia possui essencialmente metassedimentos de baixo a alto grau metamórfico do Supergrupo Baixo Araguaia, Complexo Colmeia e Gnaiss Cantão, possuindo orientação estrutural N-S.

O Supergrupo Baixo Araguaia é formado por dois grupos: Estrondo e Tocantins, que, por sua vez, compreendem as formações Morro do Campo (metaconglomerado, quartzito, micaxisto e xisto com estauroлита, cianita e granada), Canto da Vazante (xisto feldspático com biotita e granada) e Xambioá (micaxisto, xisto calcífero, mármore e lentes de anfíbolito (HASSUI et al., 1984 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005).

Gorayeb et al. (1999) caracterizaram a Faixa Gurupi por rochas predominantemente paleoproterozoicas da sequência metavulcanossedimentar do Grupo Gurupi (metaconglomerado, quartzito, ardósia, formações ferríferas, filito, metadioritos, variedades de micaxisto e veios de quartzo), além do Complexo Maracaçumé (suítes TTGs com anfíbolito) e corpos granitoides Ourém, Itamoari, Cantão e Ney Peixoto.

### 5.1.2 - FORMAÇÃO (GRUPO) ITAPECURU

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

Essa unidade, no trabalho de Rossetti e Truckenbrodt (1997), foi elevada à hierarquia de grupo, pois, a partir de estudos desses autores, ela compreenderia três outras unidades – Unidade Indiferenciada e formações Alcântara e Cujupe –, mas isso no contexto da Bacia São Luís-Grajaú. As duas últimas são correlatas, no contexto da Sub-Bacia Cametá, às formações Itapecuru e Ipixuna, respectivamente (SANTOS JÚNIOR; ROSSETTI, 2003).

Rossetti e Góes (2004) consideram essa unidade cretácea como pertencente ao quadro estratigráfico das bacias do Marajó (Sub-Bacia Cametá), São Luís-Grajaú e Bragança-Vizeu, simultaneamente. Seguindo a mesma linha de pensamento, Santos Júnior e Rossetti (2003) explicam que a primeira bacia é constituída pela Formação Ipixuna (Cretáceo Superior) e Unidade Indiferenciada (Albiano); a segunda engloba as formações Cujupe e Alcântara e a Unidade Indiferenciada; enquanto na terceira bacia as rochas desse grupo não afloram.

Essa unidade é considerada um espesso pacote essencialmente siliciclástico na porção ocidental da Bacia São Luís-Grajaú, sendo formada, 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; TRUCKENBRODT; CALAF, 2005).

### 5.1.3- Formação Ipixuna

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

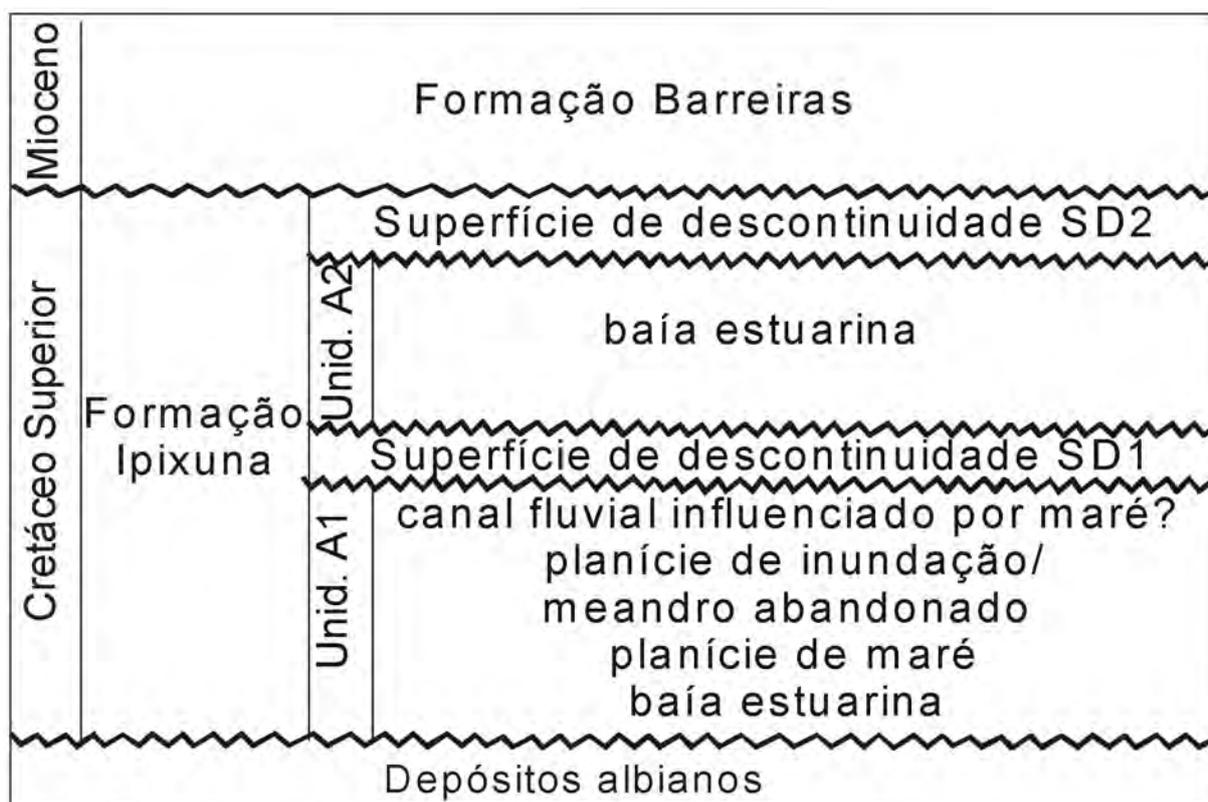
Na região do médio rio Capim, a Formação Ipixuna pode atingir até 40 m de espessura (KOTS-

CHOUBEY; TRUCKENBRODT; HIERONYMUS, 1996). Sobreposta a essa formação, identificou-se uma sucessão sedimentar com cerca de 10 m de espessura, caracterizada, principalmente, por argilitos maciços, registrados na literatura como caulim semiflint (HUST; BOSIO, 1975 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005; KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT; HIERONYMUS, 1996) ou “caulim endurecido” (ROSSETTI; GÓES, 2004).

Essa sucessão é limitada, na base e no topo, por superfícies de descontinuidades erosivas, denominadas S1 e S2, respectivamente (ROSSETTI; GÓES, 2004), o que torna esse pacote uma sucessão distinta da Formação Ipixuna (KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT; HIERONYMUS, 1996; ROSSETTI; GÓES, 2004; SANTOS JÚNIOR, 2002). Entretanto, em função de uma definição estratigráfica mais específica, Nascimento e Góes (2005) tratam essa unidade como pertencente aos depósitos da Formação Ipixuna.

Santos Júnior e Rossetti (2003) já haviam proposto uma separação de unidades na Formação Ipixuna, que permitia agrupá-la 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 semiflint como integrante da formação (Figura 12).

Figura 12 – Arcabouço estratigráfico da formação Ipixuna na porção média do rio Capim, propondo unidades, superfícies de descontinuidade e ambientes de sedimentação.



Fonte: SANTOS JÚNIOR; ROSSETTI, 2003.

A análise faciológico-estratigráfica da Formação Ipixuna (Cretáceo Superior-? Terciário Inferior), realizada por Santos Júnior 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, esses depósitos são mais bem 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.

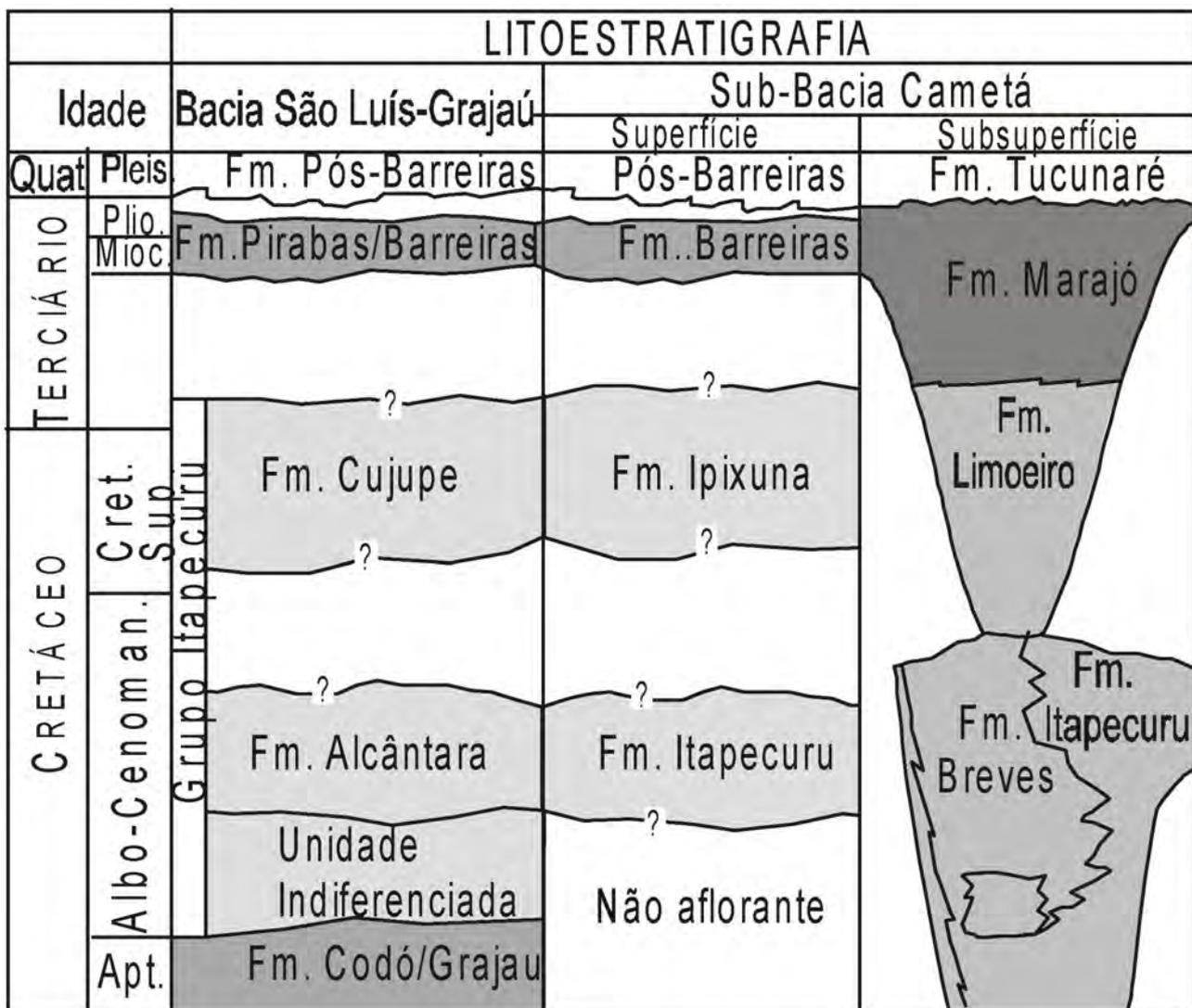
5.1.4- Formação Barreiras

A Formação Barreiras é aflorante em falésias e cortes de estradas, com espessuras de até 30 m, nas regiões nordeste do Pará e noroeste do Mara-

nhão. Segundo Rossetti (2000; 2001), essa unidade consiste de arenitos friáveis quartzosos, argilitos variegados e conglomerados. A autora interpreta essa formação como pertencente a um sistema estuarino de vale inciso e que sua evolução está ligada a eventos tectônicos cenozoicos e a mudanças no nível relativo do mar.

A unidade é correlata à Formação Marajó, por estar em discordância erosiva com a Formação Ipixuna, estando sotoposta por Sedimentos Pós-Barreiras na região do rio Capim (Figura 13). Rossetti (2000) agrupou os sedimentos depositados dessa formação em três unidades deposicionais: a Unidade 1 é caracterizada, principalmente, por calcários da Formação Pirabas; já a Unidade 2 inclui argilito e arenito da Formação Barreiras e, de forma secundária, calcários intercalados da Formação Pirabas; enquanto a Unidade 3 é caracterizada por argilitos intercalados

Figura 13 – Coluna estratigráfica mostrando a disposição e as correlações litoestratigráficas das unidades cretáceas da região de rio Capim (sub-bacia Cameté), com depósitos equivalentes em subsuperfície e depósitos cretáceos da bacia São Luís-Grajaú.



Fonte: SANTOS JÚNIOR; ROSSETTI, 2003.

a arenitos, argilitos e arenitos das porções média e superior da Formação Barreiras.

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

Segundo Góes et al. (1990 apud VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008), a Formação Barreiras é a sucessão de estratos oligomiocênicos geneticamente relacionados, que abrange as unidades litoestratigráficas conhecidas como formações Pirabas e Barreiras. Rochas da sucessão oligomiocênica 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 a Sub-Bacia Cameté (Bacia do Marajó), 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 da formação ainda é um assunto polêmico. No entanto, Rossetti e Góes (2004) adotam idade oligomiocênica 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 Arai (2006 apud VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008) informa que essa sedimentação se iniciou no Eomioceno, finalizando no Plioceno, após nova transgressão sobre a discordância tortoniana, depositando o que ele considera ser a Formação Barreiras Superior.

### 5.1.5- Coberturas lateríticas

É importante ressaltar que, na Região Amazônica, são reconhecidos pelo menos dois ciclos de laterização, segundo Kotschoubey e Truckenbrodt (1981), Kotschoubey, Truckenbrodt e Calaf (2005), Truckenbrodt, Kotschoubey e Góes (1982) dentre outros.

O primeiro, que pode ter se iniciado no Cretáceo Superior, quando o clima na região era tropical úmido, deu origem às 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, que favoreceu a forma-

ção das crostas lateríticas exclusivamente ferruginosas. Entretanto, essas teorias ainda são fortemente discutidas no meio científico.

Kotschoubey, Truckenbrodt e Hieronymus (1996) descreveram, na região de rio Capim, coberturas ferruginosas do Neógeno (Mioceno Superior), as quais se encontram em contato brusco com os sedimentos do Terciário Superior. As referidas coberturas são caracterizadas por estruturas preferencialmente colunares e prismáticas. Em porções em que há maior desenvolvimento da crosta, os sedimentos lipixuna são afetados pela laterização. Feições brechoides são encontradas na parte inferior da crosta, provenientes do processo de laterização dos arenitos e argilitos dessa unidade, exibindo um padrão reticular anastomosado nessa porção.

### 5.1.6- Sedimentos pós-Barreiras

Rossetti, Góes e Souza (2001) identificaram, em subsuperfície, por meio de radar de penetração no solo, dois episódios de sedimentação no Pós-Barreiras. Provavelmente, exista 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, 2001 apud VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

Para Rossetti e Góes (2004), episódios de sedimentação, vistos também por Rossetti, Góes e Souza (2001), foram divididos em Sedimentos Pós-Barreiras I, na porção inferior, com espessura de aproximadamente 10 m, predominância de areias médias a grossas, 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, que possuem espessuras variáveis de 2 a 5 m, compostos por areias finas a muito finas, bem selecionadas, com acamamento maciço (ROSSETTI; TRUCKENBRODT; GÓES, 1989).

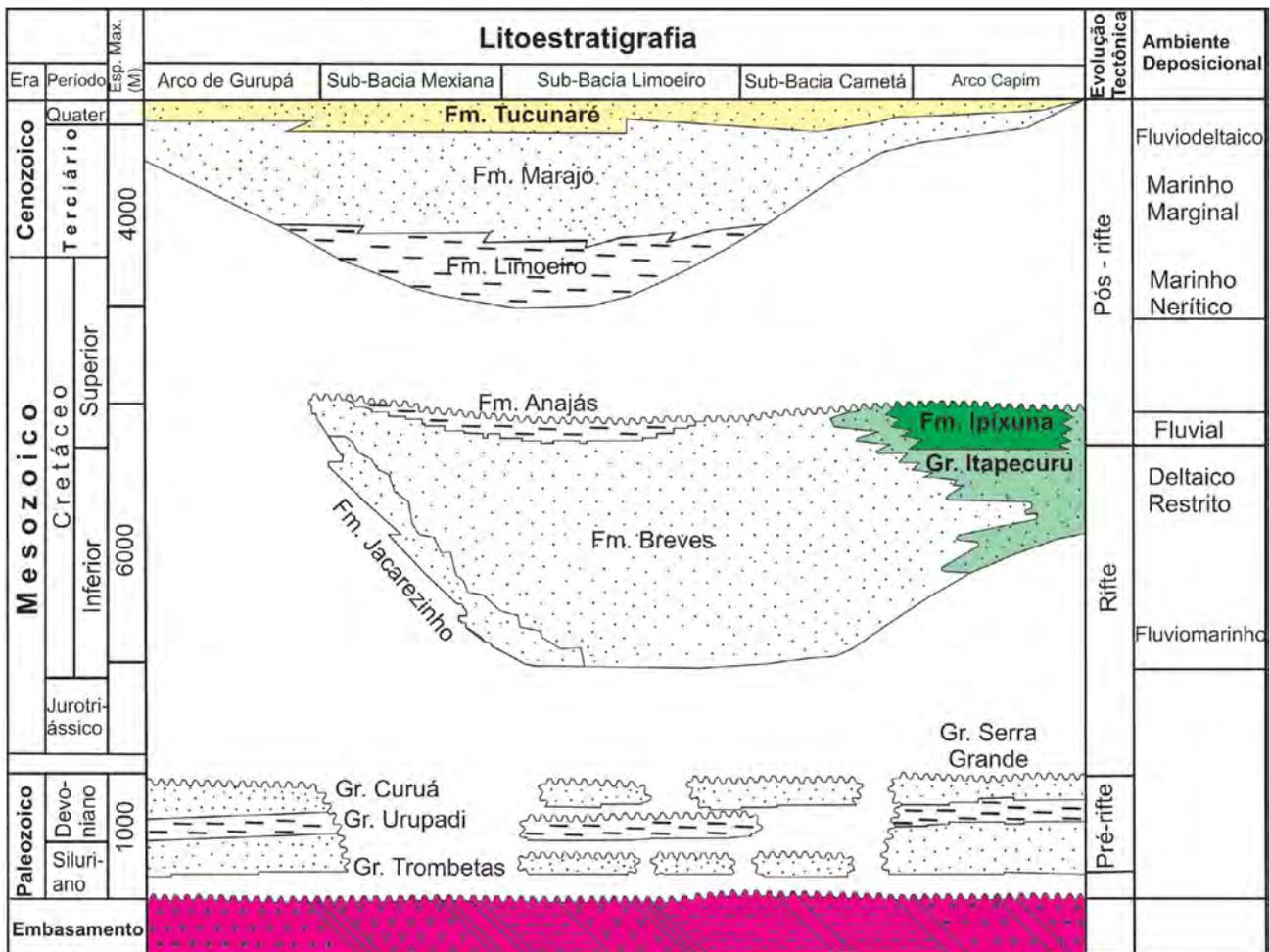
Segundo Vasquez e Rosa-Costa (2008), devido à carência de uma estratigrafia bem definida para essa unidade, admite-se como Sedimentos Pós-Barreiras os depósitos que recobrem discordantemente a sucessão Pirabas/Barreiras e horizontes de perfis das Coberturas Lateríticas Imaturas. Sua principal área de ocorrência abrange a área central entre os rios Tocantins e Pará, o sudoeste e a parte central da ilha do Marajó e a margem direita da Baía do Marajó.

Analisando-se a proposta sumarizada e adaptada de Villegas (1994 apud VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008) da carta estratigráfica 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 Sedimentos Pós-Barreiras não são citados no que tange ao espaço reservado à

Sub-Bacia Cametá, sendo exibidos apenas seus correlatos: formações Marajó e Tucunaré (Figura 14).

Figura 14 – Carta litoestratigráfica da bacia do Marajó proposta por Villegas (1994).



Fonte: VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008.

Nota: As unidades sem cor não afloram no estado do Pará

## 6 – GEOLOGIA LOCAL

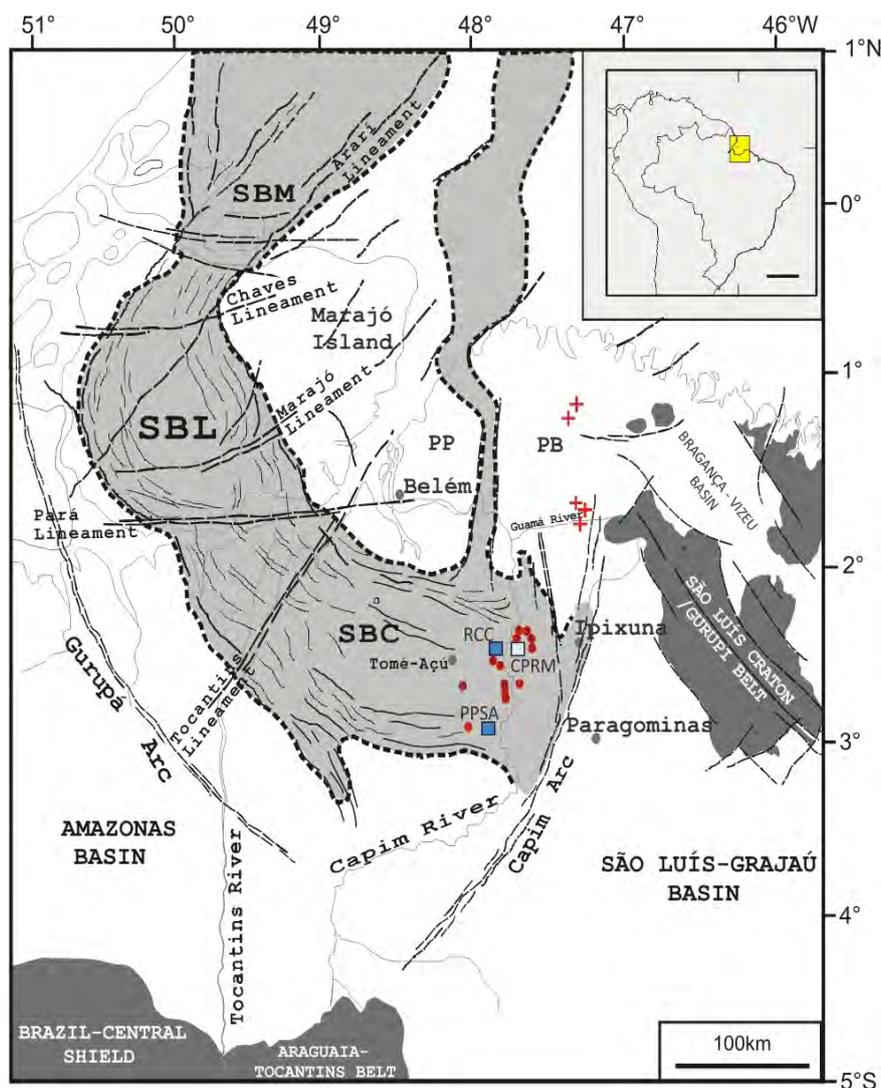
A região nordeste paraense é conhecida por seus depósitos minerais formados em circunstâncias especiais, associadas, principalmente, a condições parcialmente estáveis, incrementadas por intemperismo e ação de efeitos supergênicos.

A região do rio Capim, como é conhecida a área que hoje é abrangida pela Bacia Hidrográfica do Rio Capim, localizada na parte leste da Sub-Bacia Cameté, tem como principais depósitos minerais aqueles formados, principalmente, pela ação supergênica sobre arenitos arcoseanos e pelitos oriundos, predominantemente, de rochas graníticas da Plataforma Bragantina e, em menor proporção, de rochas paleozoicas da Bacia do Parnaíba.

Esse processo deu origem aos principais depósitos de caulim do tipo *coating* da Amazônia, conhecidos não só nessa região do Pará como também internacionalmente por sua qualidade de cobertura e alvura para a indústria de pigmentos e papéis.

Apesar de a região experimentar, atualmente, processo de exploração desse caulim pela indústria francesa Imerys Rio Capim Caulim (IRCC), também controladora dos direitos minerários da Pará Pigmentos SA (PPSA), 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 desse tipo de caulim, tendo em vista a sua localização no entorno das plantas de produção (Figura 15).

Figura 15 – Arcabouço do *graben* do Marajó, posicionando as prováveis rochas-fonte graníticas para formação de depósitos de caulim e os principais depósitos-alvo no contexto da bacia hidrográfica do rio Capim, em relação às minas das empresas IRCC e PPSA, e as áreas de direitos minerários da CPRM.



Fonte: Adaptado de NASCIMENTO, 2002.

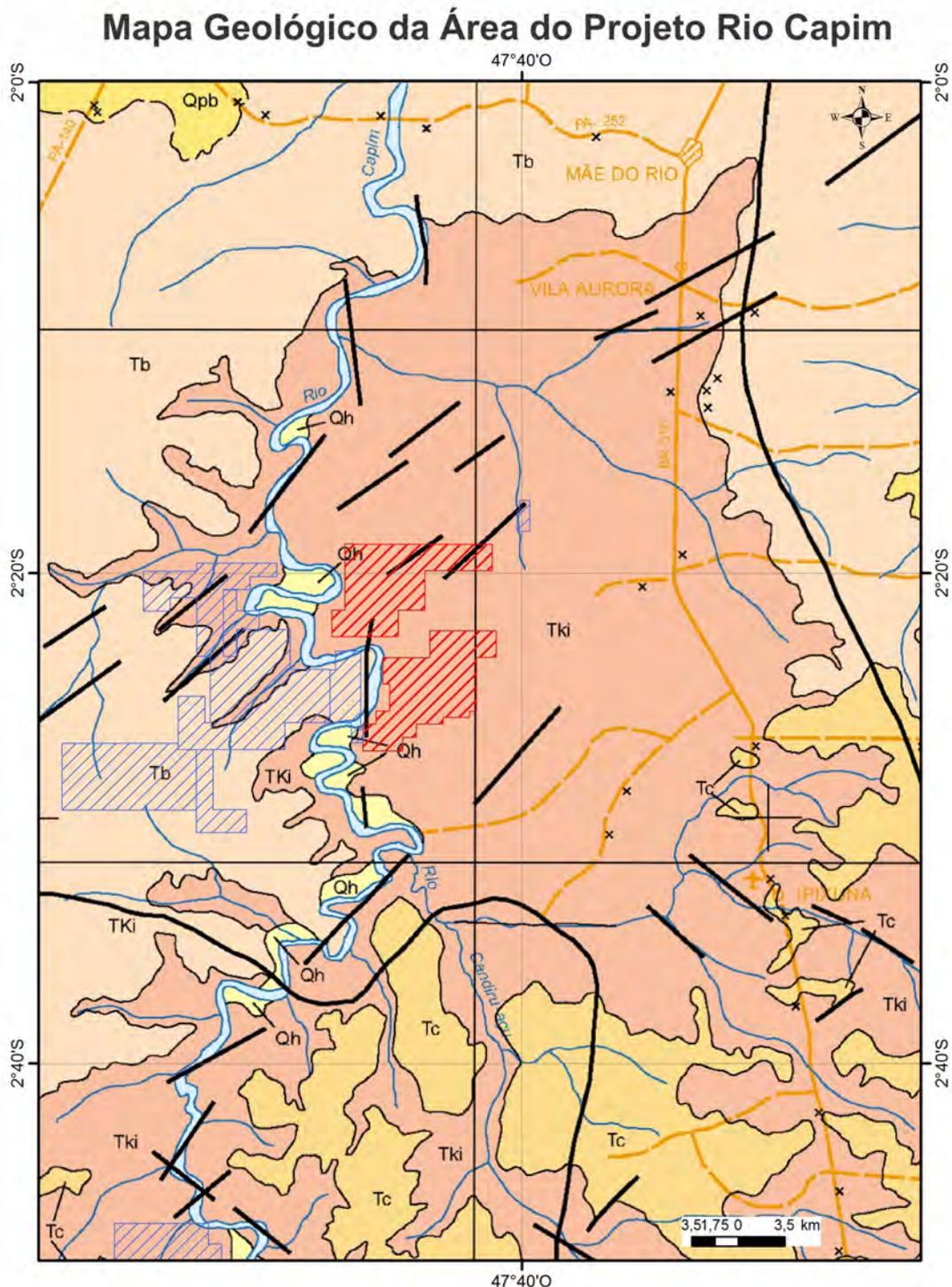
Nota: As cruces vermelhas representam possíveis fontes graníticas para formação de depósitos de caulim; os pontos vermelhos indicam os principais depósitos-alvo de caulim na bacia hidrográfica do rio Capim; os quadrados em azul-escuro representam as minas das empresas IRCC/PPSA; em azul-claro, as áreas de direitos minerários da CPRM.

Como apresentado nas principais unidades litoestratigráficas regionais, observa-se que, nessa região do rio Capim, estão presentes, como unidades principais, as formações Ipixuna e Barreiras, os Sedimentos Pós-Barreiras, as coberturas laterítico-bauxíticas e os sedimentos quaternários, esse último presente, principalmente, nos paleocanais recentes e no entorno das planícies de inundação dos rios atuais

(Figuras 16 e 17). A Formação Itapecuru, mais basal, em geral integra perfis mais profundos de difícil observação regional.

As áreas de direitos minerários da CPRM, principal foco deste trabalho, estão localizadas na margem direita do rio Capim e têm como ponto central as coordenadas 47°44'30''W e 02°22'24''S. Essas áreas apresentam condições morfológicas similares

Figura 16 – Mapa geológico da área do projeto Rio Capim.



Fonte: ALMEIDA, 2000.

Nota: Em vermelho, áreas com alvarás de pesquisa da CPRM; na cor azul estão identificadas as propriedades minerais das principais jazidas em atividade na região.

àquelas lavradas pela empresa IRCC, que se encontram a W e SW das áreas da CPRM, separadas apenas pela calha principal do rio Capim.

Por se tratar de depósitos sedimentares caracterizados por extensas camadas tabulares, horizontais a sub-horizontalizadas, de quase nenhuma perturbação tectônica, é praticamente incontestável

a similaridade entre esses depósitos e aqueles já lavrados em suas cavas iniciais pela IRCC. Dessa forma, entende-se que as litologias presentes em ambas as áreas sejam correspondentes, bem como os macroambientes de sedimentação responsáveis pela formação do depósito e os processos supergênicos envolvidos.

Figura 17 – Estratigrafia da área e legenda do mapa geológico da região do rio Capim.

### MAPA DE SITUAÇÃO



### COLUNA ESTRATIGRÁFICA



### CONVENÇÕES



Fonte: ALMEIDA, 2000.

Os poços abertos pela CPRM durante a pesquisa realizada na década de 1970 forneceram dados importantes sobre as características geológicas e estratigráficas acerca das estações, porém, reduzindo a capacidade de gerar informações a respeito da continuidade lateral das camadas em um raio de 500 m, podendo alcançar, em alguns casos, até 1.000 m. Essa continuidade lateral foi dada por meio de interpretações geológicas baseadas, principalmente, na época, pelas encostas formadas no leito do rio Capim e do conhecimento de depósitos similares encontrados na bibliografia.

Atualmente, com a abertura das minas na região do rio 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. Aquelas observadas na natureza, como as falésias formadas nos leitos dos rios da região, muitas vezes são encobertas ou destruídas por processos de erosão e deposição recente, mascarando sua originalidade, o que dificulta a interpretação das fácies e suas correlações laterais.

## 6.1 - Unidades Litoestratigráficas Locais

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

Segundo Santos Júnior e Rossetti (2003), essas características sedimentares são correspondentes às

da Formação Alcântara do Grupo Itapecuru, exposto na Bacia São Luís-Grajaú, cuja idade é albiânica superior-cenomaniânica.

Essa formação 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, marcado por relevo erosional, havendo, localmente, *lags* constituídos de seixos de quartzo, argilito e arenito. Similarmente, o topo da unidade caulínica, tanto na Sub-Bacia Cameté quanto na Bacia São Luís-Grajaú, é também discordante com os depósitos sobrejacentes da Formação Barreiras, de idade miocênica.

Para melhor entendimento das litologias presentes, optou-se por descrevê-las em camadas, do topo para a base, estando estas mais bem individualizadas nas áreas das minas (Quadro 1; Figura 18).

### 6.1.1 - Formação Barreiras e sedimentos pós-Barreiras

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

#### 6.1.1.1 - Camada 1

Geralmente, é capeada por solos estruturados e pode apresentar, localmente, alguns fragmentos laterítico-bauxíticos. É constituída, basicamente, por sedimentos argilosos a argiloarenosos, podendo apresentar composições mais sílticas a arenosas, de coloração creme-amarelada, tornando-se avermelhada para a base; podem ter feições grumadas

Quadro 1 – Códigos das principais litologias encontradas nos depósitos de caulim do projeto Rio Capim da CPRM.

Unidade	Código Litológico	Descrição
Sedimentos Pós-Barreiras	CAP	Sedimentos inconsolidados constituídos por areias, siltes e argilas
Formação Barreiras		Sedimentos mioceno-pleistocênicos compostos por argilas variegadas, siltitos e arenitos de granulação variável.
Caulim Duro	CCD	Caulim Duro ( <i>Flint Kaolin</i> )
Caulim Intermediário	CCI	Caulim Intermediário ou Zona de Transição
Fm. Ipixuna	CCM	Caulim Macio ( <i>Soft Kaolin</i> )
	CCA	Caulim Arenoso ( <i>Sandy Kaolin</i> )
	EST	Lentes de Argila vermelha
	ARE	Lentes ou níveis de areia inconsolidada

Fonte: Elaborado por Eduardo M. Grissolia, 2017.

e colunares. Essa camada, na área, tem variação de 0,5 m a, no máximo, 2,0 m e é reconhecida como Sedimentos Pós-Barreiras. Em encostas mais íngremes, próximo a drenagens e vertentes mais retrabalhadas, essa camada, às vezes, está ausente.

#### 6.1.1.2 - 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 sílticas e pode ser friável. Ocasionalmente, apresenta, na base, níveis conglomeráticos contendo grãos de quartzo e grãos subarredondados de feldspato caulinizado, além de linhas/lentes de lateritas de centímetros a blocos de até 0,5 m.

Localmente, ocorre estratificação cruzada, como também lentes de caulim cinza. A espessura da camada na área varia de 4,0 m a 6,0 m, podendo chegar a 10,0 m quando há paleocanais escavados. Essa camada está relacionada a paleocanais e planícies de inundação que existiam no momento da sedimentação da Formação Barreiras.

Ainda há autores que discutem a existência de uma superfície erosional entre as camadas 1 e 2, porém, os trabalhos de campo trazem evidências de uma superfície discordante, podendo ser chamada aqui apenas de S3 (Figura 19).

### 6.1.2 - Formação Ipixuna

Muitos autores têm associado à Formação Ipixuna a camada de caulim do tipo *flint* (caulim duro) posicionada imediatamente acima dela. Isso se deve à falta de melhor entendimento estratigráfico dessa camada com seus correspondentes regionais. Porém, para melhor qualificação do minério, a camada de caulim *flint* foi individualizada em uma nova unidade.

#### 6.1.2.1 - Camada 3 (CCD e CCI)

Essa camada é formada por sedimentos pelíticos resultantes do retrabalhamento regional, devido a pequenos tectonismos que atingiram a Sub-Bacia Cameté e, principalmente, as camadas caulínicas do tipo *soft*. O contato entre essa camada e a sobreposta a ela é discordante e erosional, tratada aqui como superfície discordante SD2 ou S2 (Figura 19).

Devido ao referido retrabalhamento e ao processo de cimentação ocasionado durante a diagênese, essa camada apresenta-se mais endurecida. Conhecida por possuir o caulim do tipo *flint*, ela é também denominada, localmente, camada de caulim duro e reconhecida neste trabalho por CCD. Muitos autores usam o termo “semiflint” para essa camada.

A camada 3 é constituída, basicamente, por um pacote de caulim duro, fino, com coloração va-

Figura 18 – Vista geral das camadas de caulim e suas correlações verticais e horizontais.



Fotografia: Firmino Coutinho Correia Junior, 2015.

riando de branca a amarela, rósea, lilás ou vermelha, dependendo do grau de impregnação de hidróxidos e óxidos de ferro e titânio. A sua espessura varia de 4,0 m a 10,0 m.

A grande quantidade de contaminantes químicos ao longo da camada e, principalmente, em sua base, além de características granulométricas e cristalográficas, torna essa camada caulínica um minério de baixíssimo teor (alvura), sendo considerada, por isso, material estéril nas avaliações econômicas.

A face intermediária entre essa camada e a de minério a ela sotoposta apresenta características transicionais, apesar de limitada, na base, por uma segunda superfície de erosão SD1 ou S1. Para efeito de tratamento de dados, foi inserida outra unidade transicional neste trabalho, denominada Camada de Caulim Intermediário (CCI), a qual, além de apresentar baixa qualidade do minério, também tem disposição muito irregular, podendo estar presente na

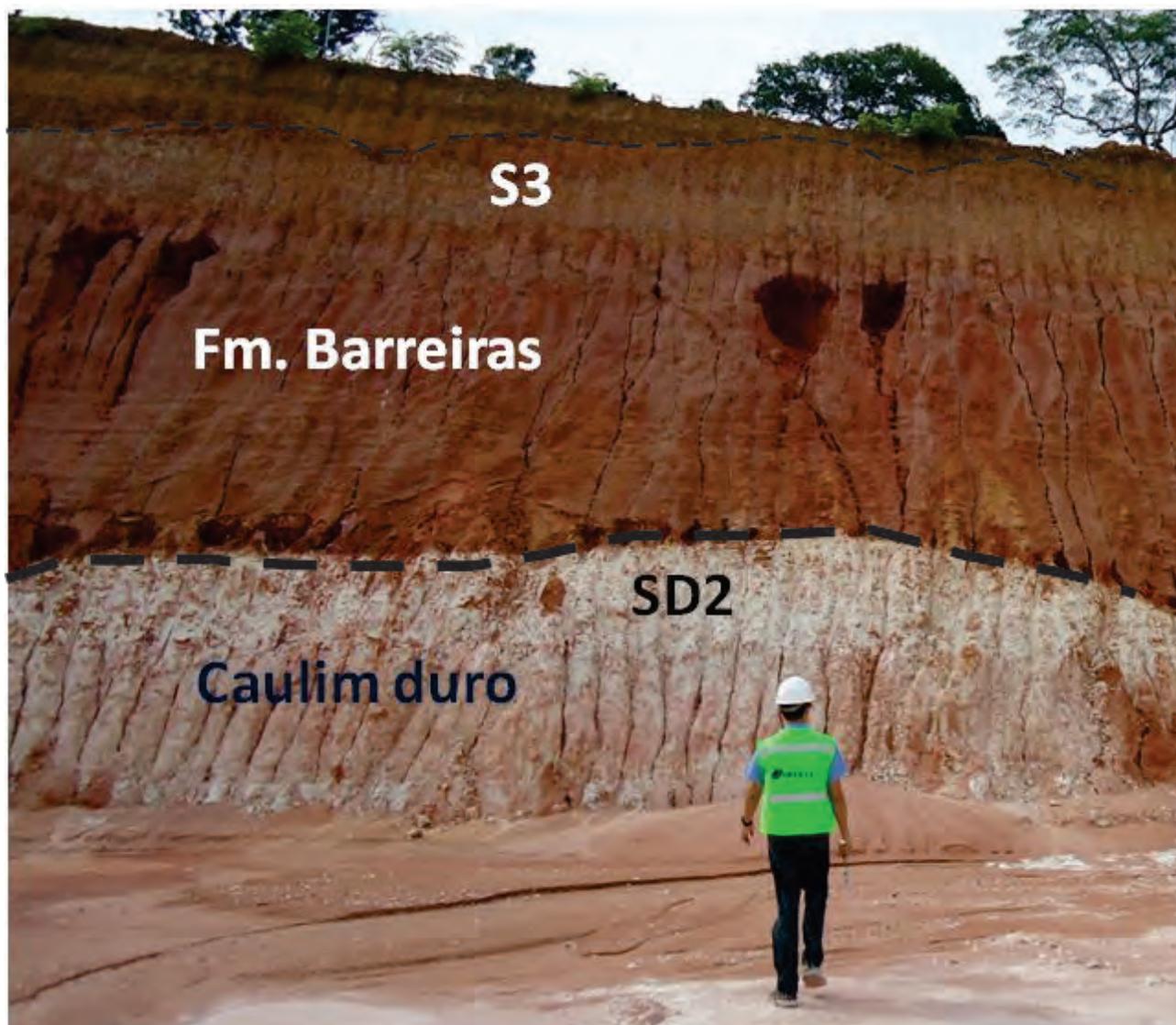
maioria dos perfis com várias espessuras (0,3 a 1,5 m). Mas, nesse caso, não é considerada uma camada aproveitável (Figura 20).

#### 6.1.2.2 - Camada 4 (CCM)

Abaixo da camada SD1 encontra-se a principal camada mineralizada do depósito em questão dentro da Formação Ipixuna, a qual é constituída, principalmente, por pelito desferrificado, formado quase todo de caulinitas e traços de quartzo, óxidos de ferro e titânio. O minério dessa camada pode ser considerado o de mais alto nível de alvura e de melhores características reológicas no perfil da região do rio Capim.

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

Figura 19 – Corte vertical mostrando o contato erosivo (SD2) da camada de caulim duro com a formação Barreiras e a superfície discordante (S3) marcando o início da sedimentação pós-Barreiras.



Fotografia: Firmino Coutinho Correia Junior, 2015.

### 6.1.2.3 - Camada 5 (CCA)

Na continuação desse minério *soft* do tipo CCM em direção à base, esse caulim tende a ser arenoso, aumentando a quantidade de quartzo presente. Frequentemente, esse pacote apresenta estratificações plano-paralelas, evidenciadas por linhas de minerais pesados escuros identificados, principalmente, como zircão e turmalina.

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

A referida mudança proporciona maior porosidade, em virtude de maior quantidade de cristais

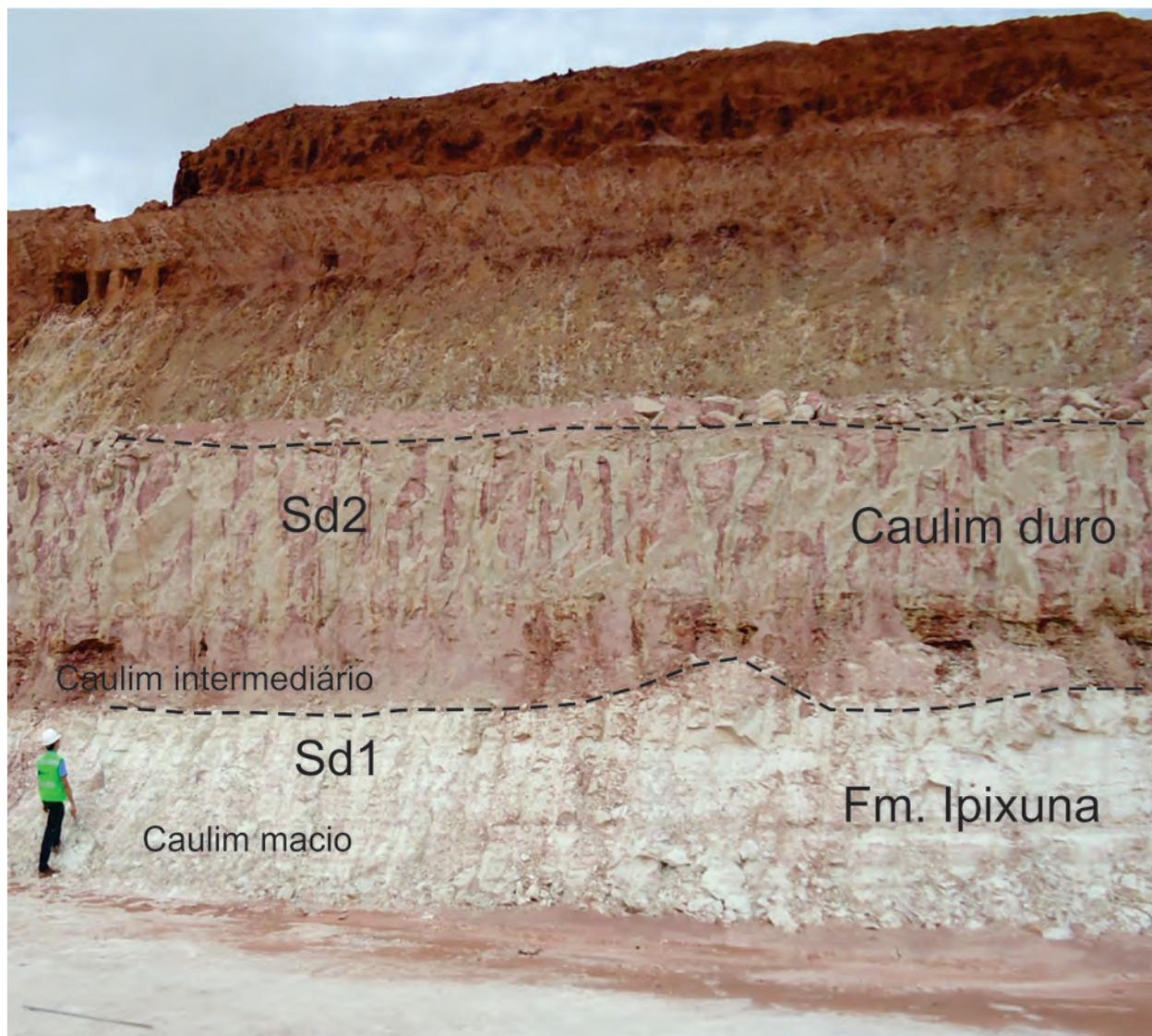
granulares de quartzo, dando a esse mineral uma textura silto-arenosa e, por vezes, levemente friável localmente. A camada é tratada como de caulim arenoso (CCA) e sua espessura varia de 3,0 a 10,0 m, ficando completamente arenoso da base para baixo.

### 6.2 - Considerações sobre Minério Aproveitável e Estéril

Nas camadas CCM e CCA, onde estão os principais pacotes mineralizados, registram-se feições manchadas amareladas, alaranjadas e vermelhas, que representam níveis contaminados por óxidos de ferro e titânio. Esses níveis são considerados estéreis e representam menos de 5% do total do minério. Foram identificados neste estudo pelo código EST (Figura 21).

Esse estéril, que pode ser siltoso ou totalmente pelítico, apresenta comportamento errático e não forma camadas, apenas feições de manchas ou corpos lenticulares. Sua origem não está bem definida,

Figura 20 – Corte vertical mostrando as relações estratigráficas entre a formação Ipixuna e as unidades superiores.



Fotografia: Firmino Coutinho Correia Junior, 2015.

mas pode estar relacionada à matéria orgânica dos ambientes de deposição e a porções não afetadas pelo processo de desferrificação sofrido pelos pelitos.

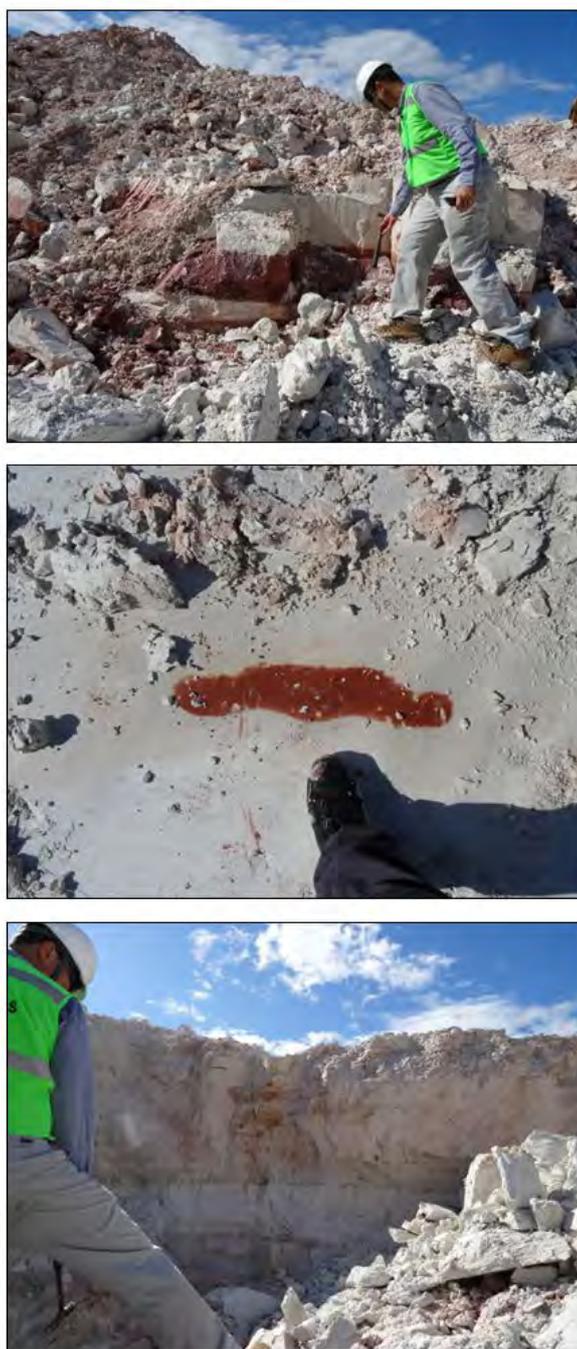
Outro fato importante é que os arenitos da base da Formação Ipixuna contêm quantidade de caulinitas de alta qualidade (alvura).

Observa-se que, na maioria dos poços escavados na pesquisa realizada na década de 1970, por diversos motivos operacionais, não se conseguiu atravessar essas camadas areníticas da base. No entanto, essas camadas são potencialmente reconhecidas

como minério. Apesar de excelentes níveis de alvura, apresentam recuperação em massa menor em relação às camadas CCM e CCA.

Os processos industriais que melhoram a recuperação dessa 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 neste relatório detêm substancial potencial de minério agregado que ainda precisa ser medido, mas que já é uma realidade na produção de caulim.

Figura 21 – Formas de apresentação mais comuns do estéril interno ao minério.



Fotografia: Firmino Coutinho Correia Junior, 2015.

Nota: (A) em lente avermelhada; (B) em mancha avermelhada dentro do caulim macio; (C) em manchas amarelo-avermelhadas no caulim arenoso.

## 7 - TIPO DE DEPÓSITO

### 7.1- Gênese do Caulim da Região do Rio Capim

Sobreposta à Formação Ipixuna ocorre uma sucessão sedimentar caracterizada, essencialmente, por argilitos, citados por Kotschoubey, Truckenbrodt e Hieronymus (1996) como caulim semiflint.

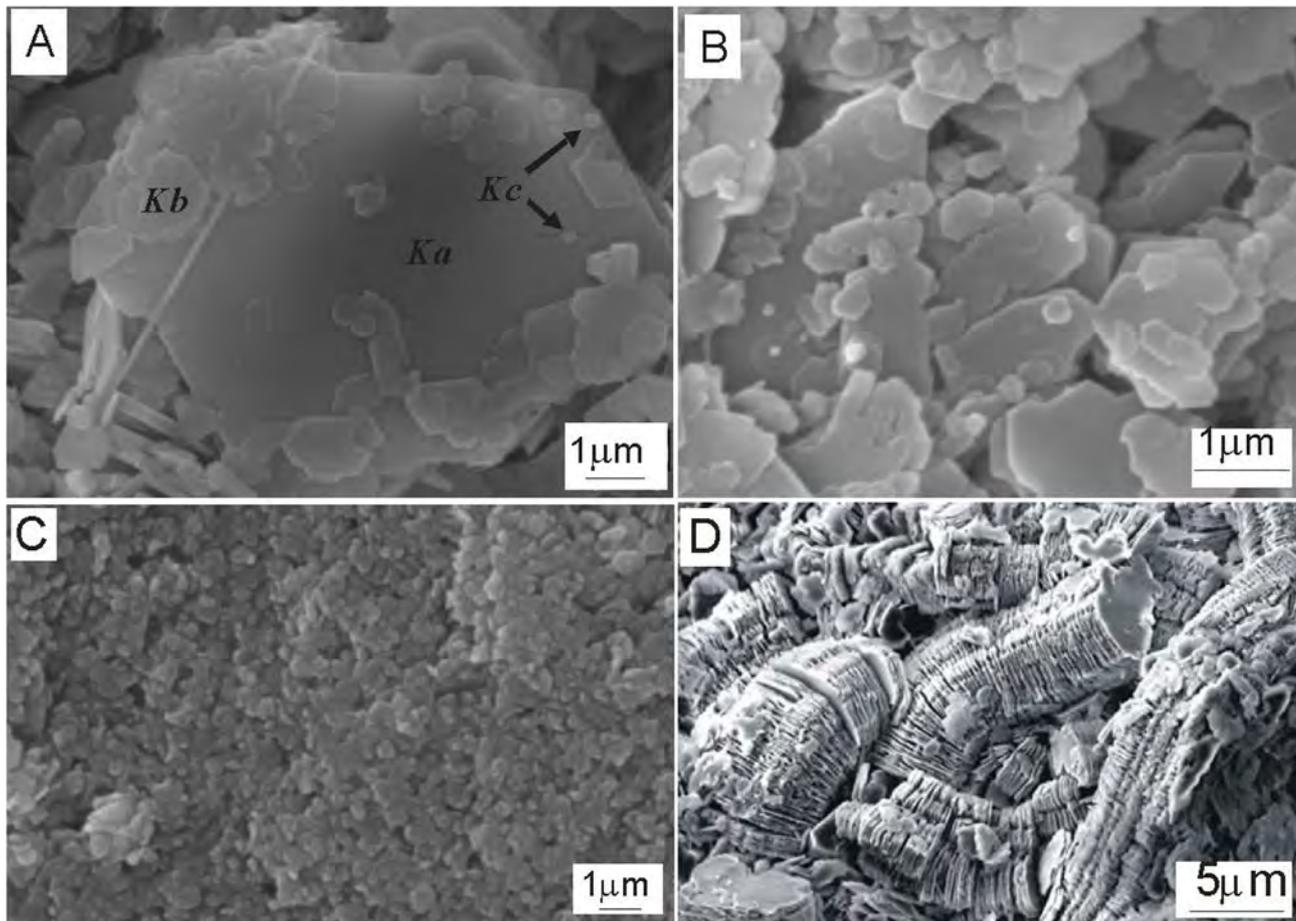
Há algumas interpretações referentes à gênese dos depósitos de caulim da região do rio Capim. Uma das mais antigas é de autoria de Krebs e Arantes (1973 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005), que consideravam uma origem alóctone para o caulim de Ipixuna. Em 1975, Hurst e Bosio (apud NASCIMENTO; GÓES, 2005) consideraram uma origem *in situ* a partir da alteração dos sedimentos da Formação Barreiras (Mioplioceno). Já Monteiro (1977 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005) se baseou em estudos de minerais pesados e elementos-traço para chegar à conclusão de que a origem do caulim foi *in situ* ou fracamente alóctone, devido a alterações de rochas graníticas. Costa e Moraes (1998 apud NASCIMENTO; GÓES, 2005) relacionaram a origem desse mineral à formação da bauxita no Terciário Inferior. Kotschoubey, Truckenbrodt e Hieronymus (1996) sugeriram um tipo particular de intemperismo profundo, no qual a origem do caulim da porção inferior dessa formação (caulim *soft*) seria devida ao rebaixamento do nível freático, em ambiente tectônico estável, que perdurou durante o Cretáceo Superior e o Quaternário. À porção superior, denominada caulim semiflint, segundo esses autores, não se pode atribuir a mesma origem, devido à falta de estruturas sedimentares e a seu estado litificado, sendo considerado originário a partir de sedimentos argilosos que sofreram retrabalhamento mecânico, sendo, logo depois, cimentados por argila caulinitica.

Nascimento e Góes (2005), a partir da proveniência de minerais pesados da Formação Ipixuna, confirmaram que esses depósitos foram formados em diferentes condições estratigráficas e têm como procedência a participação de fontes metamórficas, ígneas e sedimentares, sendo que a cianita e a estauroлита indicam fontes metamórficas de médio grau. Para esses autores, os depósitos de caulim *soft* (parte inferior da Formação Ipixuna) foram formados *in situ* a partir de arenitos arcoseanos sob regime intempérico efetivo. A natureza arcoseana desses arenitos sugere que foram produzidos durante clima árido a semiárido e, posteriormente, alterados em condições climáticas úmidas tropicais relacionadas ao evento de bauxitização do Paleógeno. Como é interpretado por Nascimento e Góes (2005), o ana-

tásio presente nos depósitos da unidade de caulim semiflint indica que essa parte superior da Formação Ipixuna sofreu transformações pedogenéticas, diferenciando-se na unidade inferior (caulim *soft*), onde não existem essas evidências.

Santos Júnior (2006), a partir de estudos de caracterização por petrografia e microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos caulins do médio rio Capim (Figura 22) concluiu que os depósitos de caulim semiflint são constituídos, principalmente, por grãos retrabalhados dos depósitos de caulim *soft* posicionados na unidade subjacente e grãos provenientes de rochas-fonte metamórficas e graníticas. As caulinitas da unidade de semiflint são predominantemente representadas por caulinita Kc, as menores encontradas (de 200  $\mu\text{m}$  de diâmetro), geradas, principalmente, durante intemperismo pretérito. Complementando com estudos de isótopos de hidrogênio e oxigênio, foi possível a esse autor concluir que as caulinitas não se formaram em equilíbrio com as condições intempéricas atuais, mas representam a composição isotópica de seu tempo de formação, podendo refletir contaminações mineralógicas provenientes de substituição parcial e/ou total de grãos originais do arcabouço. Os valores isotópicos das caulinitas do tipo Kc da unidade de caulim semiflint são amplamente variáveis, em decorrência da diversidade de fontes, incluindo caulinitas retrabalhadas dos depósitos subjacentes de caulim *soft*, como também caulinitas formadas durante diferentes fases de intemperismo, além de fases tardias de caulinitas geradas ao longo de fraturas.

Figura 22 – Imagens em MEV de caulinitas típicas da região do rio Capim.



Fonte: SANTOS JÚNIOR, 2006.

Nota: A-B) caulinitas dos tipos Ka (dominante em arenitos caulinizados) e Kb (dominante em pelitos), sendo (A) de arenitos e (B) de argilitos presentes na unidade de caulim *soft*. C) caulinita Kc, típica da unidade de caulim semiflint. D) caulinita tipo Ka em livretos (*booklets*).

## 8 – PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

O levantamento geofísico teve como objetivo principal verificar se a geofísica, por meio do método da eletrorresistividade, poderia ser utilizada como ferramenta para estudo do depósito de caulim, uma vez que as camadas de interesse (basicamente todas argilosas) podem não apresentar o contraste de resistividade necessário para determinação dos limites entre elas. Logo, pontuamos como objetivos:

- Fornecer estimativas de profundidade dos limites entre as camadas, principalmente entre capeamento/caulim e caulim/areia.
- Avaliar a continuidade lateral das camadas da reserva.

O método geofísico sugerido nessa etapa foi o da eletrorresistividade, usando-se a tomografia elétrica como metodologia de levantamento de dados. Para consecução desse objetivo, utilizaram-se os seguintes equipamentos (Figura 23):

- 01 resistímetro Syscal Pro (IRIS Instruments)
- 01 resistímetro Switch Pro 72 (IRIS Instruments)
- 08 cabos multieletródos (nove eletrodos cada)
- 02 baterias automotivas (12 V e 70 A)

A equipe de trabalho dessa etapa foi composta pelos seguintes profissionais (Figura 24):

- Bruce Chiba – Geofísico (SUREG-BE)
- Marcos Ferreira – Geofísico (SUREG-BE)
- Djalma Neto – Técnico (SUREG-BE)
- Edilberto Leão – Técnico (SUREG-BE)

Figura 23 – Resistímetros Syscal Pro (canto inferior esquerdo) e Switch 72 (canto inferior direito) e respectivas baterias.



Fotografia: Bruce Chiba, 2016.

- Srº Pedro – Auxiliar técnico contratado.
- Srº Tomaz – Auxiliar técnico contratado.

### 8.1 - Método Geofísico Utilizado

O método da eletrorresistividade (ER) fornece a resistividade do substrato rochoso a partir de medidas de diferença de potencial (DDP) entre dois pontos no momento da injeção de uma corrente elétrica contínua (ou de baixa frequência) de valor conhecido na superfície.

A resistividade elétrica do substrato rochoso é uma propriedade que depende de muitos fatores, principalmente a composição mineralógica e a quantidade e natureza dos fluidos nos poros.

A metodologia de levantamento de dados foi a tomografia elétrica, pois ela fornece informações de variação de resistividade tanto lateral como em profundidade. Há diversas configurações (arranjos) para os eletrodos de injeção de corrente e eletrodos de medição de DDP. No presente estudo, utilizou-se o arranjo Wenner-Schlumberger, que possui boa resolução vertical (Figura 25).

Nota: A e B: eletrodos de injeção de corrente; M e N: eletrodos de medida de potencial.

Para distinguir as camadas, é necessário que haja contraste de propriedade física (resistividade elétrica) entre elas; caso contrário, elas se comportam como uma camada. Quanto maior o contraste de resistividade elétrica, melhor a definição da superfície de separação entre as camadas (Figura 26).

O espaçamento entre os eletrodos tem influência direta na resolução da seção geoeletrica.

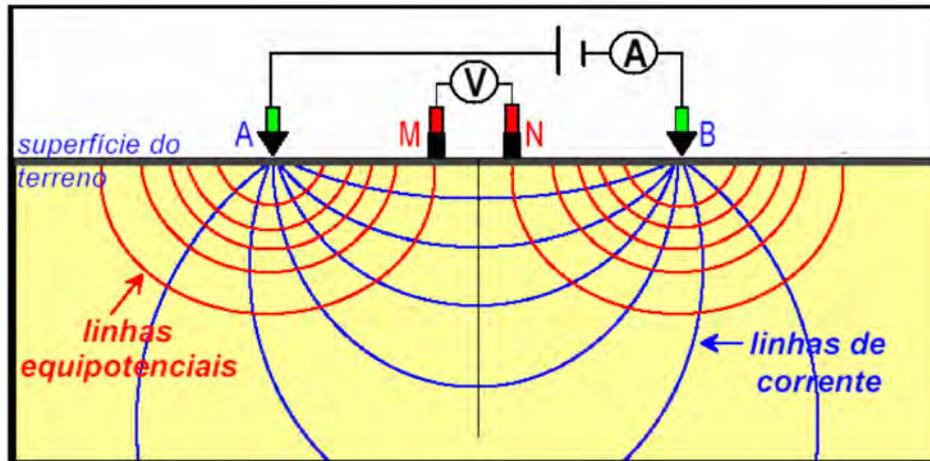
Figura 24 – Participantes da equipe responsável pelo levantamento geofísico.



Fotografia: Bruce Chiba, 2016.

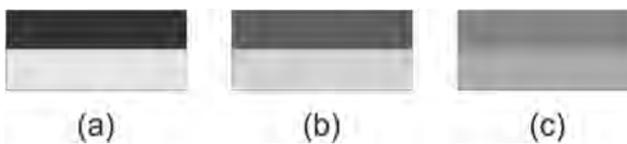
Nota: Da esquerda para a direita: Marcos, Bruce, Leão, Tomaz e Pedro.

Figura 25 – Esquema simplificado do método de eletrorresistividade utilizado no arranjo Wenner-Schlumberger.



Fonte: PLANAL TECNOLOGIA, 2016.

Figura 26 – Exemplo de diferentes contrastes entre camadas.



Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Nota: Em (a), o contraste é de 90%; em (b), de 60%; em (c), de 20%.

Quanto menor o espaçamento, melhor a resolução. Entretanto, a profundidade de investigação é afetada pela abertura total da linha. Por exemplo, para uma abertura máxima de 710 m, a profundidade de investigação pode chegar a 120 m. Portanto, a definição de camadas delgadas (menores que o espaçamento entre eletrodos) muito profundas fica comprometida, pois a profundidade depende da abertura entre os eletrodos.

## 8.2 - Metodologia de Estudo

Como o objetivo era identificar a interface entre as camadas capeamento/caulim e caulim/areia, que estão a profundidades bem distintas – a primeira, rasa (alguns metros) e a segunda, a dezenas de metros –, foram realizadas seções de tomografia elétrica com três espaçamentos distintos entre os eletrodos (10 m, 5 m e 2,50 m) na mesma linha de pesquisa. Como o equipamento utilizado permite o uso de apenas 72 eletrodos simultaneamente, cada seção possui um comprimento que varia com o espaçamento entre os eletrodos. Para seções com espaçamento de 10 m entre eletrodos, a seção realizada tem 710 m de comprimento; para aquelas com espaçamento de 5 m, 355 m de comprimento e para espaçamento de 2,50 m, o comprimento da seção é de apenas 175 m. Além disso, a profundidade de in-

vestigação depende da abertura entre os eletrodos: quanto maior a abertura, maior a profundidade de investigação.

A escolha das linhas de estudo obedeceu a dois critérios:

- linhas com pouca variação topográfica, pois não seria executado, naquele momento, um levantamento topográfico necessário para dar maior precisão aos limites detectáveis em sub-superfície;
- facilidade de acesso às linhas.

Os dados levantados em cada seção geoeletrica foram correlacionados com o perfil geológico do poço disponível na linha e fornecidos na forma digital (arquivo PDF), de modo que os limites entre as camadas de interesse foram traçados.

## 8.3 - Resultados

Neste estudo, serão usados os mesmos códigos das principais litologias encontradas nos poços abertos na área da jazida (ver Quadro 1):

- CAP: capeamento representando a Formação Barreiras e os Sedimentos Pós-Barreiras
- CCD: camada de caulim duro
- CCI: camada de caulim intermediário
- CCM: camada de caulim macio
- CCA: camada de caulim arenoso
- ARE: camada de areia

### 8.3.1 - Linha-base

Na direção da linha-base foram executadas seções geoeletricas com espaçamento de 10 m, 5 m e 2,50 m, usando-se como referência para interpretação o poço T-4-5.

Na seção geolétrica com espaçamento de 2,50 m e comprimento de 175 m, identificaram-se as interfaces CAP/CCD e CCD/CCM. Entretanto, não houve resolução nem profundidade de investigação suficiente para delinear a interface CCM/CCA, que estaria logo abaixo da interface CCD/CCM (Figura 27).

Na seção geolétrica com espaçamento de 5 m, foi possível identificar as interfaces CAP/CCD e CCD/CCM. A seção também mostra que, a partir da profundidade média de 35 m, há queda na resistividade elétrica aparente, a qual pode ser interpretada como a presença de lençol freático. Deve-se atentar para o fato de o limite estar em uma zona de baixa sensibilidade do método e, portanto, de pouca confiabilidade (Figura 28).

Na seção geolétrica usando-se 10 m de espaçamento, a interface CAP/CCD não fica bem definida, mas preserva a definição da interface CCD/CCM. Nessa seção, é possível definir melhor a influência de possível lençol freático (Figura 29).

### 8.3.2 - Linha transversal T-5

Na direção da T-5, foram executadas quatro seções geolétricas: duas com espaçamento de 10 m e duas com espaçamento de 5 m. Os poços utilizados como referência para a interpretação foram: T-5-3, T-5-4 e T-5-7.

Nas seções geolétricas com espaçamento de 5 m, identificou-se a interface CAP/CAULIM, mas não foi possível definir as interfaces entre camadas de caulim. Também podem ser observados pontos onde uma camada mais arenosa faz contato com o capeamento, indicando o acunhamento das camadas de caulim (Figuras 30 e 31).

Nas seções geolétricas com 10 m de espaçamento, conseguiu-se definir a interface entre uma camada argilosa (CAP + CAULIM) e uma camada com conteúdo arenoso (CCA + ARE), e, em 60 m de profundidade, a influência de possível lençol freático (Figuras 32 e 33).

### 8.3.3 - Linha transversal T-9

Nessa linha foram executadas três seções geolétricas: duas com espaçamento de 5 m e uma com espaçamento de 10 m entre os eletrodos. Foram usados para a interpretação os poços T-9-2, T-9-5 e T-9-9.

Nas duas seções com espaçamento de 5 m, identificou-se uma interface entre uma camada argilosa (CAP + CAULIM) e uma camada arenosa (Figuras 34 e 35). Já na seção com espaçamento de 10 m, a interface entre as camadas argilosa e arenosa se mantém e ainda é possível perceber a influência de provável lençol freático a partir de 60 m de profundidade (Figura 36).

## 8.4 - CONCLUSÕES

O presente trabalho limitou-se ao estudo da resposta geofísica, por meio de método da eletrorresistividade, na determinação das interfaces que a reserva de caulim faz com o capeamento e com a camada mais arenosa, além de fornecer uma avaliação qualitativa quanto à continuidade lateral.

Logo, podemos concluir de forma sintetizada que:

- O método da eletrorresistividade se apresentou adequado ao estabelecer a espessura do capeamento (CAP), usando-se espaçamento de 5 m entre os eletrodos.
- A profundidade do pacote predominantemente arenoso pode ser estimada (não calculada) a partir das seções com espaçamento de 10 m entre os eletrodos.
- A profundidade do provável lençol freático na área da reserva pode ser estimada, usando-se seções com espaçamento de 10 m entre os eletrodos.
- A continuidade lateral da reserva pode ser avaliada apenas de forma qualitativa, ou seja, as seções mostram que há tendência, em alguns trechos, de a camada arenosa (CAP ou CCA) fazer contato com o capeamento, mas o espaçamento utilizado (10 m) não tem resolução suficiente para quantificar o adelgaçamento das camadas de interesse (caulim).

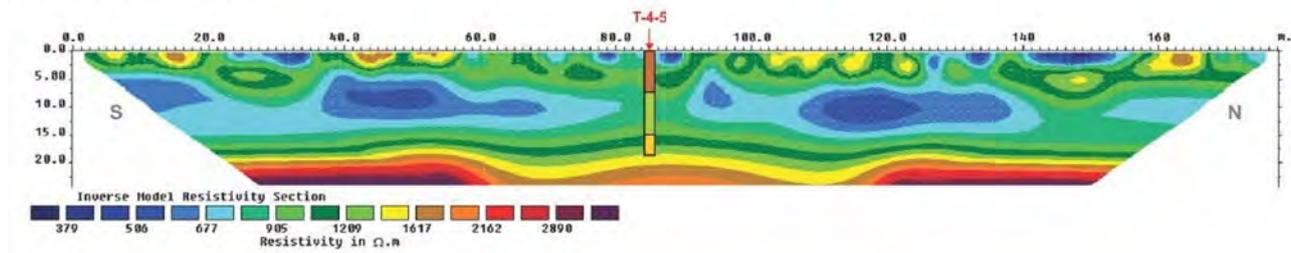
## 8.5 - RECOMENDAÇÕES

Considerando-se a necessidade de um estudo geofísico mais detalhado, com vistas a fornecer informações mais precisas sobre a reserva de caulim, recomenda-se:

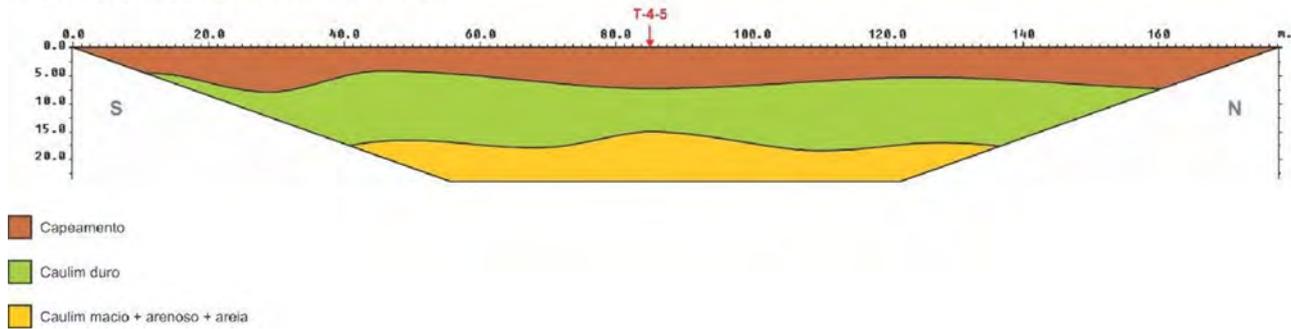
- Realizar seções geolétricas na direção N-S (usando 5 m de espaçamento entre os eletrodos), com 125 m de separação máxima entre elas, o que possibilitará o cálculo do volume de capeamento.
- Realizar seções geolétricas na direção W-S (usando 10 m de espaçamento entre os eletrodos), com 250 m de separação máxima entre elas. Assim, será possível estimar a profundidade da interface inferior da reserva, pois as seções com 5 m de espaçamento podem não atingir a profundidade de investigação necessária.
- Efetuar o levantamento topográfico com espaçamento máximo de 10 m em todas as seções geofísicas a serem executadas.

Figura 27 – Seção geoeletrica da linha-base com espaçamento de 2,5 m entre os eletrodos.

**SEÇÃO GEOELÉTRICA**



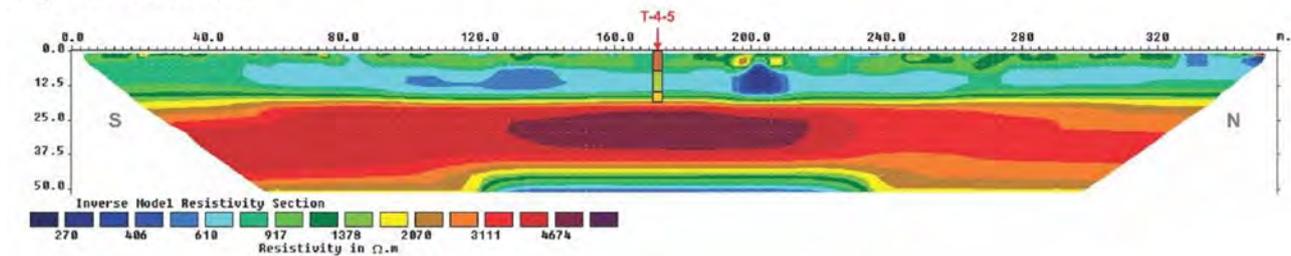
**SEÇÃO GEOELÉTRICA INTERPRETADA**



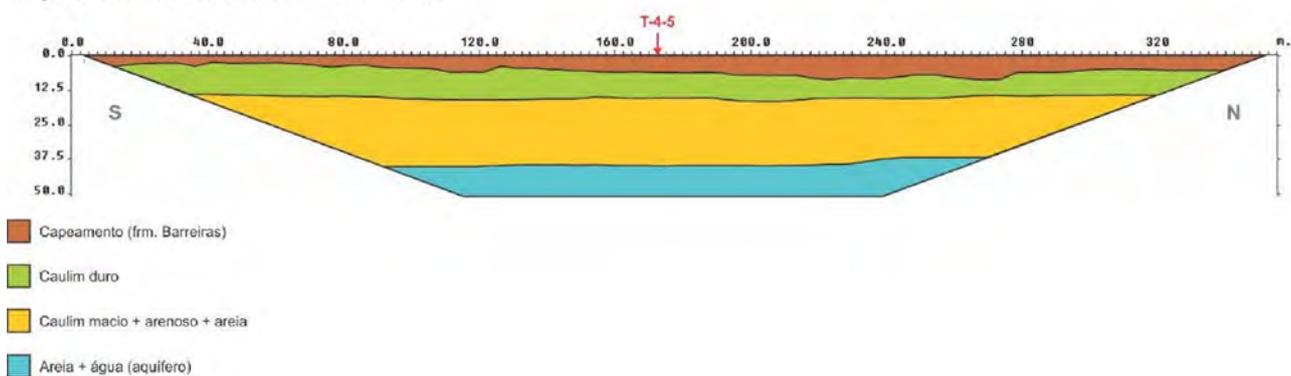
Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 28 – Seção geoeletrica da linha-base com espaçamento de 5 m entre os eletrodos.

**SEÇÃO GEOELÉTRICA**



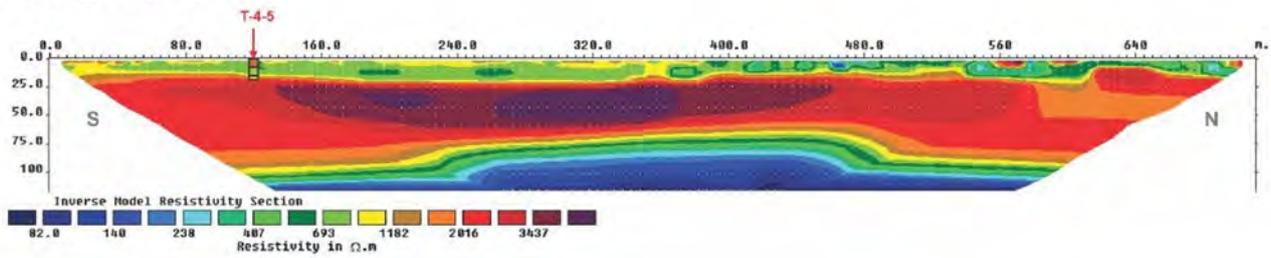
**SEÇÃO GEOELÉTRICA INTERPRETADA**



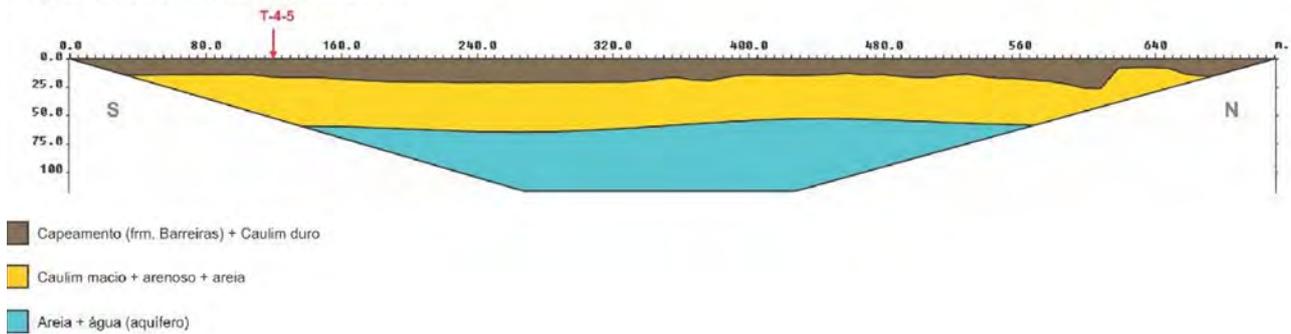
Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 29 – Seção geoeétrica da linha-base com espaçamento de 10 m entre os eletrodos.

**SEÇÃO GEOELÉTRICA**



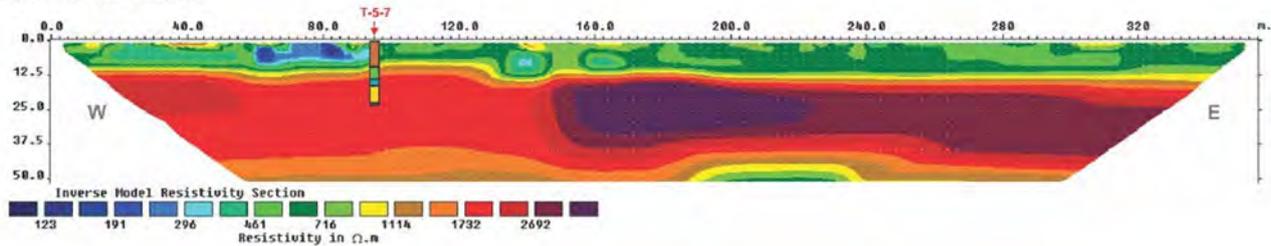
**SEÇÃO GEOLÓGICA INTERPRETADA**



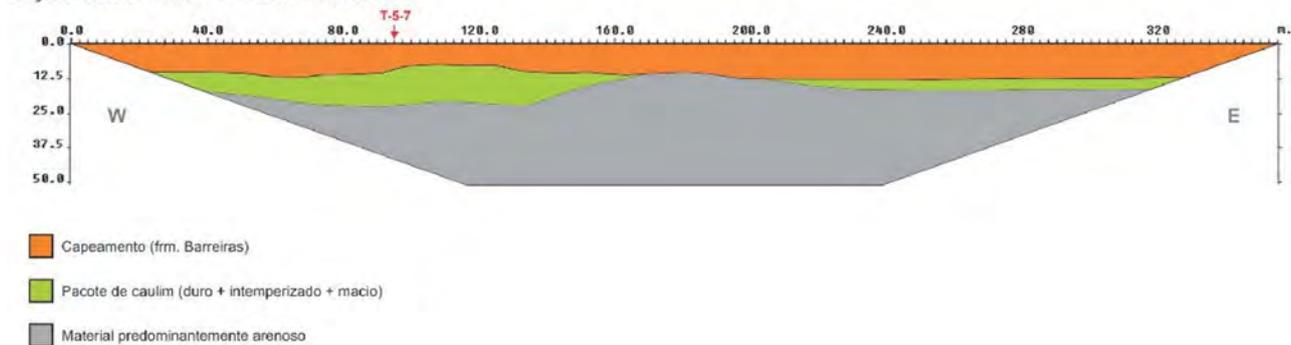
Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 30 – Seção geoeétrica da transversal T-5 com espaçamento de 5 m entre os eletrodos.

**SEÇÃO GEOELÉTRICA**

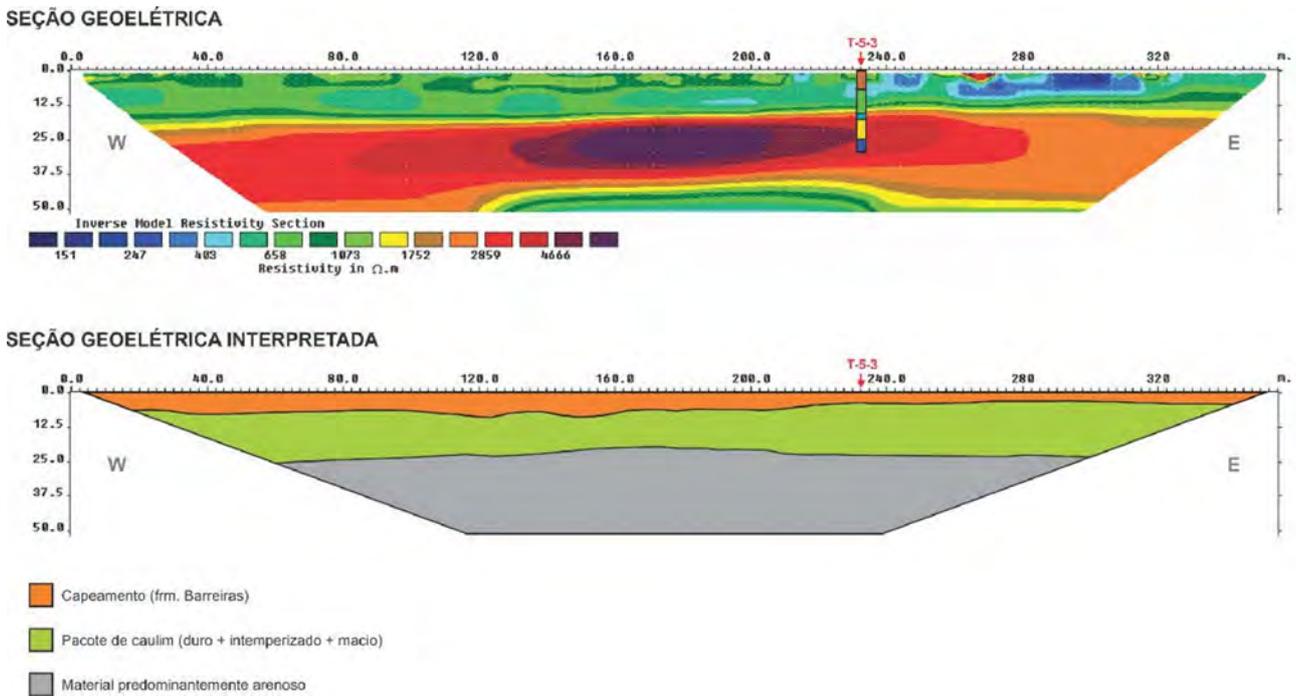


**SEÇÃO GEOELÉTRICA INTERPRETADA**



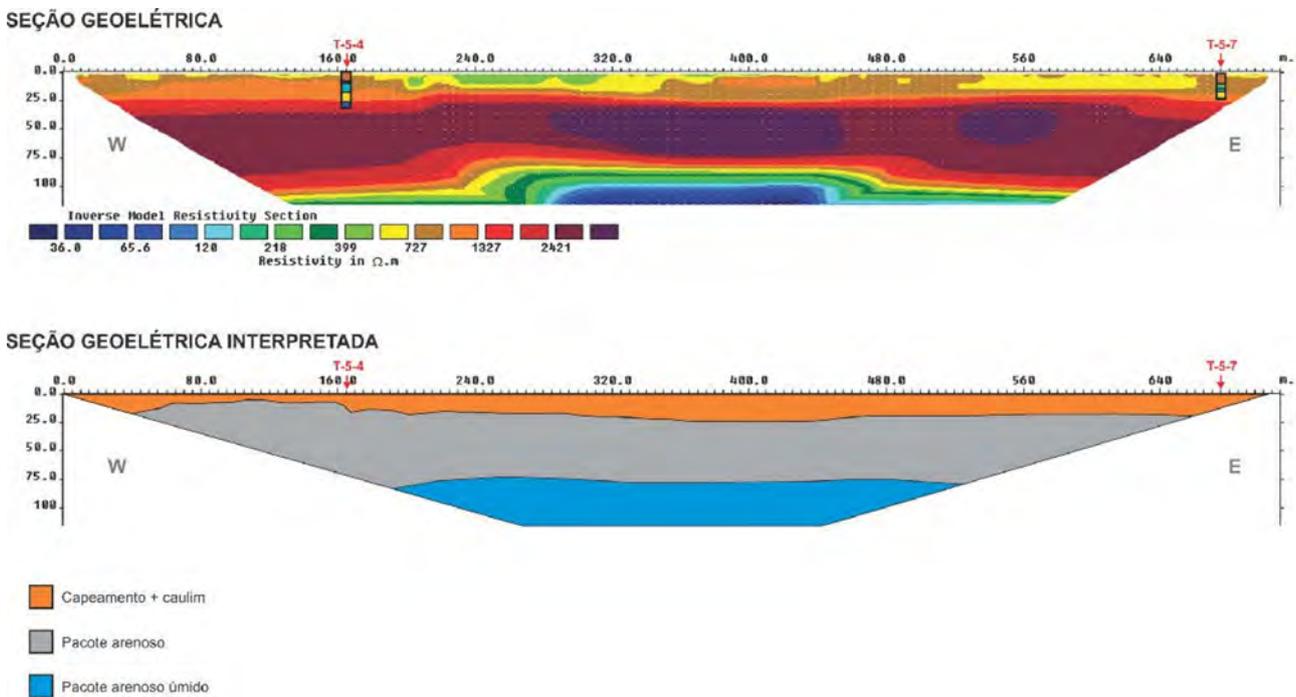
Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 31 – Seção geoeétrica da transversal T-5 com espaçamento de 5 m entre os eletrodos.



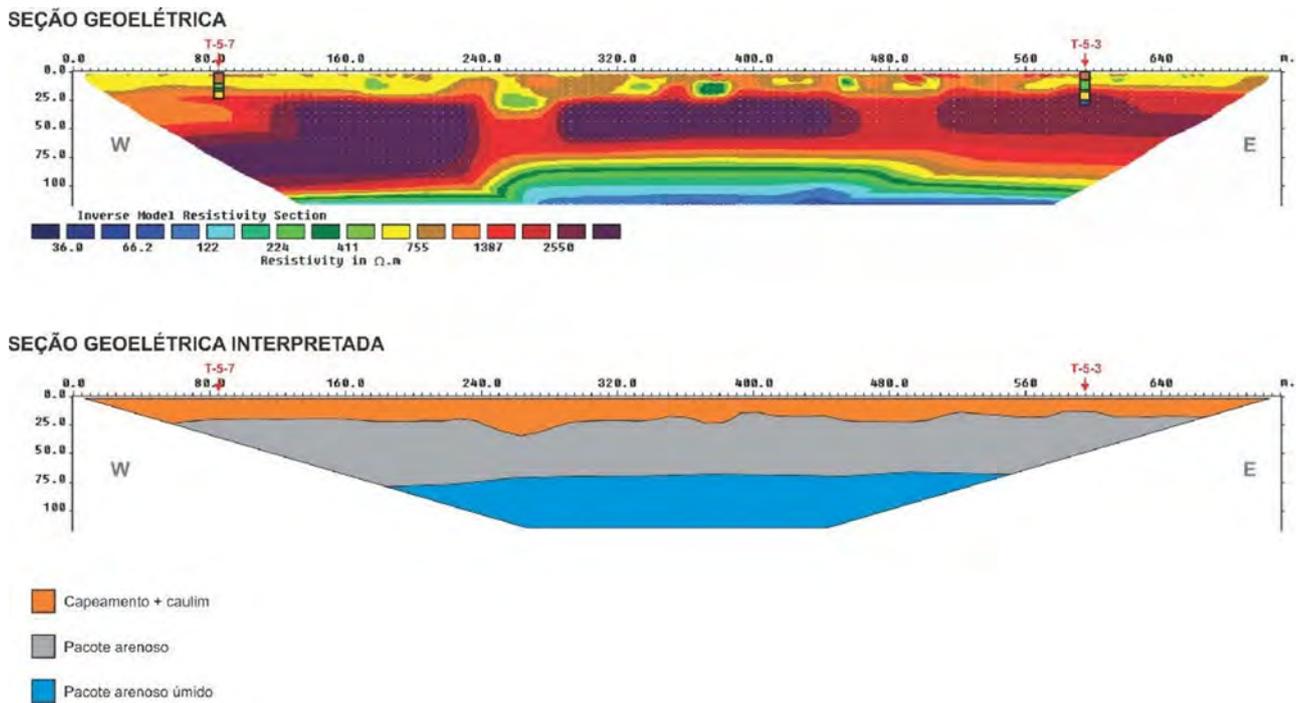
Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 32 – Seção geoeétrica da transversal T-5 com espaçamento de 10 m entre os eletrodos.



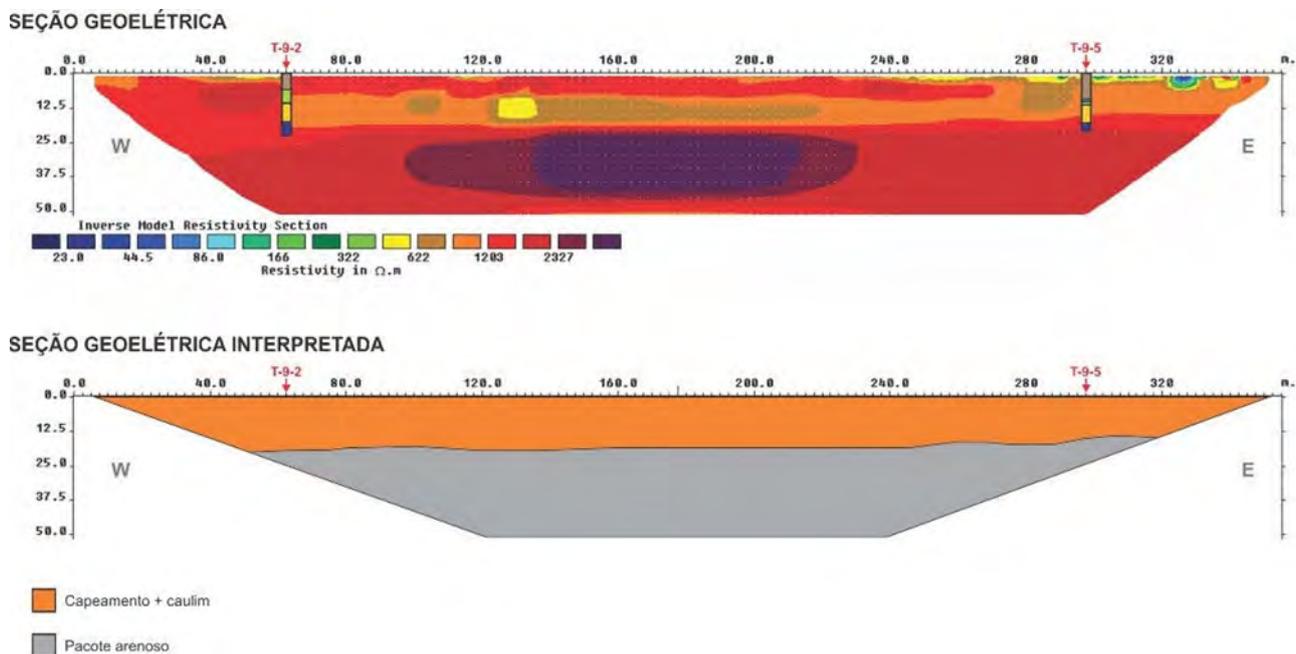
Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 33 – Seção geoeletrica da transversal T-5 com espaçamento de 10 m entre os eletrodos.



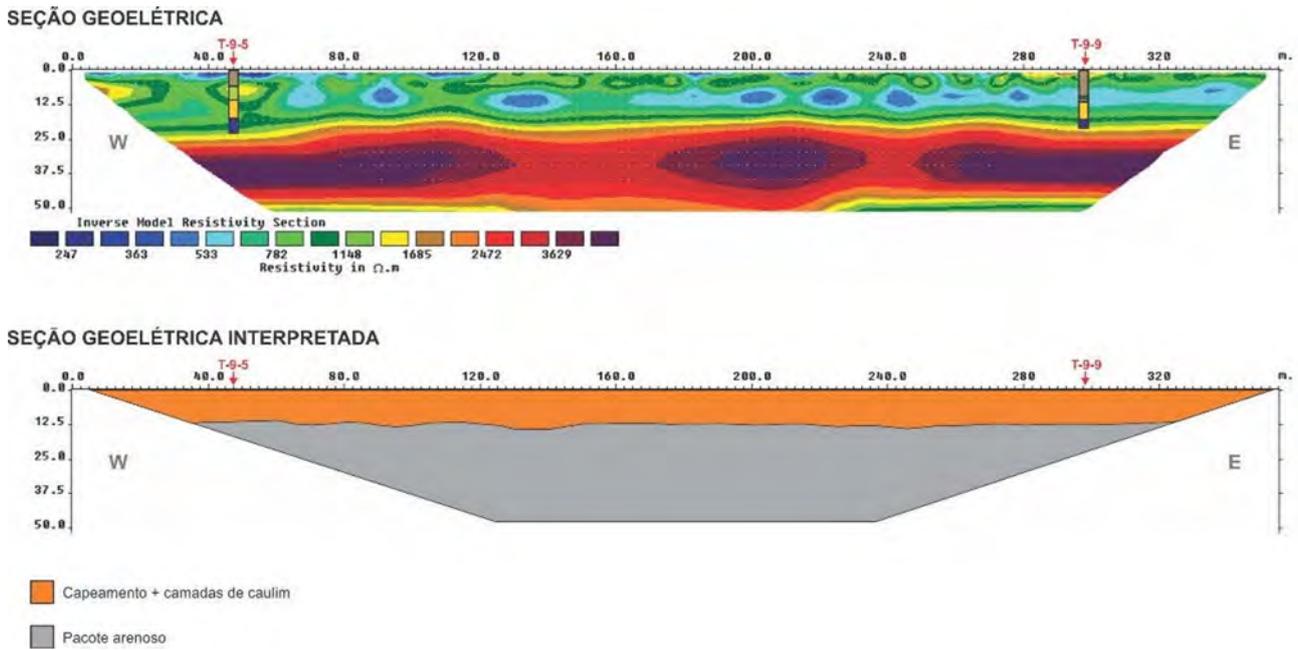
Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 34 – Seção geoeletrica da transversal T-9 com espaçamento de 5 m entre os eletrodos.



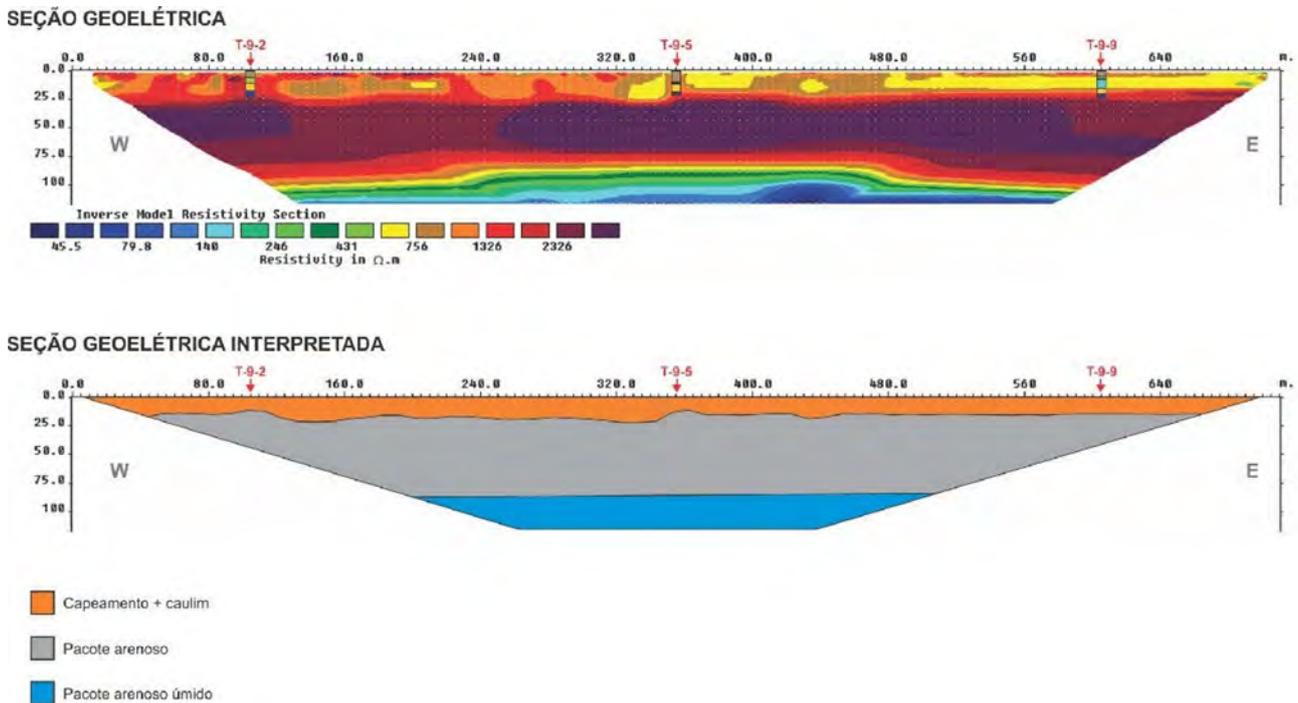
Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 35 – Seção geoeétrica da transversal T-9 com espaçamento de 5 m entre os eletrodos.



Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

Figura 36 – Seção geoeétrica da transversal T-9 com espaçamento de 10 m entre os eletrodos.



Fonte: Elaborada por Bruce Chiba, 2016.

## 9- TRABALHOS DE PESQUISA

Os trabalhos de pesquisa tiveram início em fins de julho de 1971, quando se constatou a presença de espesso pacote de caulim branco nos barrancos do rio Capim, executados pelos geólogos José Luiz Gonçalves Arantes e Antônio Sílvio Jornada Krebs e pelo engenheiro de minas Paulo Fernando Vieira de Melo, da então denominada Agência Belém da CPRM, assistidos pelo geólogo Eduardo de Jesus Bulhões Wesche, chefe do Serviço de Pesquisas Próprias.

A supervisão esteve a cargo da Diretoria de Operações, inicialmente, por meio do engenheiro de minas e civil Francisco Moacyr de Vasconcellos e, posteriormente, do engenheiro de minas e civil João Batista de Vasconcelos Dias.

### 9.1 - Topografia

Objetivando estabelecer uma cronologia adequada para o andamento dos trabalhos de pesquisa daquela época, realizaram-se, inicialmente, as operações de levantamento topográfico, que foram desenvolvidas em duas fases.

Na primeira, realizada a partir de julho de 1972, cuidou-se de calcular a declinação magnética de um ponto situado na foz do igarapé Ciputeua (com fluência com o rio Capim), já que tal ponto, por estar situado em uma posição central, serviu generalizadamente para todas as áreas requeridas. Esse trabalho foi calcado em moderna carta isogônica, datada de 1970, confeccionada pelo Projeto RADAM. Determinou-se um valor de  $17^{\circ}27'W$  para a citada declinação. Para o ponto de amarração (marco de origem) situado próximo à foz do igarapé Ciputeua, foi arbitrada a cota de 33,30 m. Utilizou-se nos trabalhos topográficos teodolito Wild T1A.

Na segunda etapa, desenvolveu-se a abertura de picadas, perfeitamente amarradas, com fechamento de poligonais com o mínimo de erro, trabalho ainda efetuado com o mesmo tipo de equipamento topográfico da fase anterior. Estabeleceu-se uma linha-base norte-sul, atravessando toda a área e, a partir desta, de 1.000 em 1.000 m abriram-se transversais leste-oeste, também cortando inteiramente a área nesse sentido. O total de picadas abertas atingiu 100 km, sendo 50 km na área sul e 50 km na área norte.

Posteriormente, foi executada a altimetria de cada uma dessas linhas, a partir da qual se construíram perfis topográficos convenientes.

### 9.2 - Poços e Cachimbo

Observando-se uma malha quadrangular, foram executados furos a trado mecanizado, objetivando a visualização preliminar do capeamento.

Em malha semelhante, controlada pelas linhas topográficas anteriormente descritas, procedeu-se à abertura de poços de pesquisa com profundidades variáveis entre 20 a 26 m, iniciando-se pelas áreas de menor capeamento.

Essa malha inicial teve o espaçamento de 2.000 m e serviu para seleção das áreas mais favoráveis. Nesses locais, estreitou-se, posteriormente, a distância para 1.000 m, e, em seguida, para 500 m.

Foram abertos 78 poços, perfazendo um total de 1.335,00 m lineares, sendo retirados 842,00 m<sup>3</sup> de material escavado.

Por estar o caulim capeado por material predominantemente argiloso e compacto, diminuiu razoavelmente a incidência de desmoronamento dos poços, situação que contribuiu sobremaneira para o bom andamento das operações, seja do ponto de vista da rapidez da execução, seja da segurança, tendo havido poucas ocasiões em que se fez necessário o escoramento de alguns poços.

Usou-se a forma circular, com diâmetro de 90 cm. Tais características possibilitam facilidade de abertura e aumentam os coeficientes de segurança, dificultando os desabamentos (Figura 37).

Nos poços onde houve desmoronamento, optou-se pela escavação de novos, desta feita de secção retangular, com dimensões de 0,90 x 1,20 m, tendo sido escorados com madeira desde o seu início até o fundo.

Figura 37 – Vista do interior de um poço de pesquisa.



Fonte: CPRM, 1973a.

Procedeu-se à retirada do material utilizando-se baldes previamente dimensionados, com capacidade de 18 litros, os quais foram alçados até a boca do poço por meio de moitões, roldanas ou sarilhos. Normalmente, dois braçais constituem uma equipe suficiente para a escavação de um poço, sendo o tempo gasto de 15 dias aproximadamente para a abertura de cada poço com 20 m de profundidade, embora tal período variasse de 10 a 25 dias, dependendo das características do material atravessado. Em poços onde surgiu o problema de emanações gasosas tóxicas, foi utilizada uma ventoinha acoplada a uma mangueira plástica de duas polegadas de diâmetro introduzida no poço, obtendo-se, assim, a necessária ventilação (Figura 38).

Tendo em vista a falta de afloramentos na área do projeto, foi escavado um cachimbo visando à melhor exposição da camada caulínica, na encosta do platô, próximo à transversal T-01, com o seguinte dimensionamento: 1,20 m de largura x 20 m de comprimento x 5 m de profundidade (Figura 39). A partir de sua base, escavou-se um poço, que atingiu a profundidade de 11 m.

### 9.3 - Sondagem

Na fase inicial da pesquisa, utilizou-se o trado mecanizado STIHL, no sentido de se obter uma ideia do comportamento do corpo mineral e seu capea-

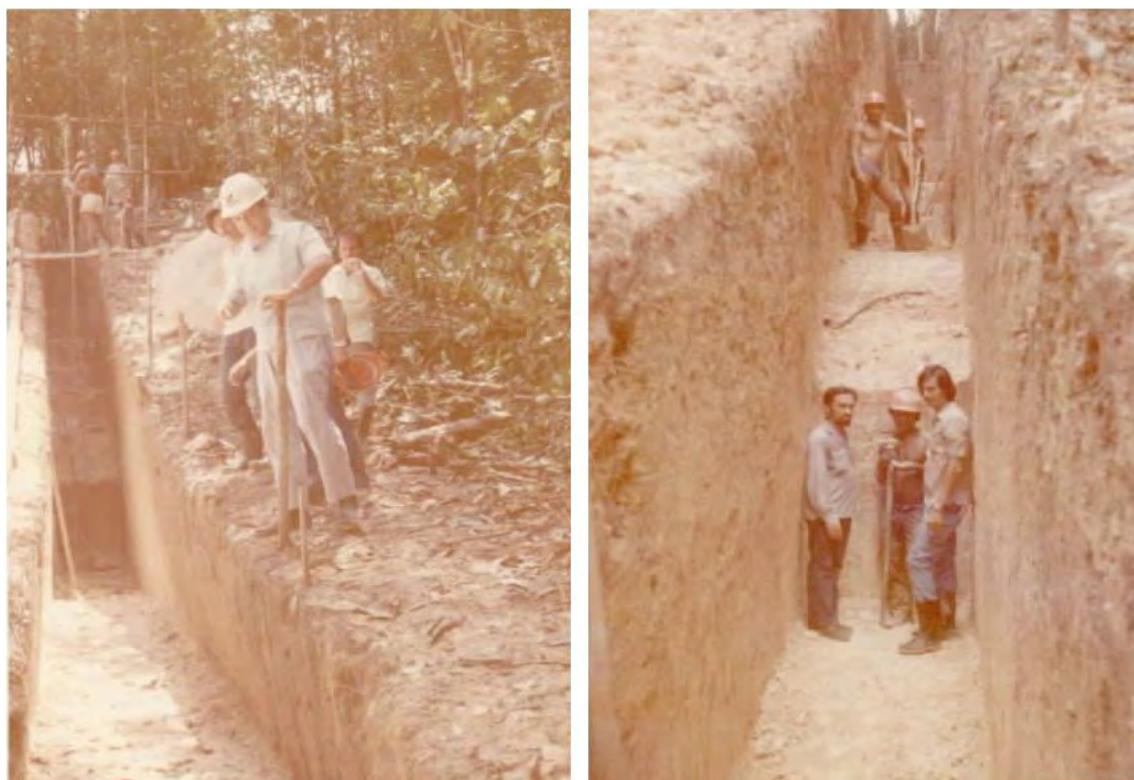
Figura 38 – Vista geral de poços de pesquisa.



Fonte: CPRM, 1973a.

Nota: A) Uso de ventoinha para eliminação de gases tóxicos; B) Ao fundo, material caulínico extraído do poço de pesquisa.

Figura 39 – Vista geral externa (esquerda) e interior (direita) do cachimbo na época da pesquisa.



Fonte: CPRM, 1973a.

mento. Foram executados oito furos, nas transversais T-01, T-03, T-05, T-09 e T-13, espaçados de 2 km, atingindo-se um total de 108,40 m, com uma média de 13,55 m por furo. Nos locais dos furos mais promissores foram escavados poços de pesquisa (Figura 40).

Durante parte da pesquisa, foi também usada uma sonda Winkie mod. GW-15. Executaram-se nove furos – T01-2, T01-3, T01-6, T01-8, T03-3, T03-4, T03-5, T05-3 e T05-4 –, perfazendo 234,80 m, dos quais 219,22 m foram amostrados, tendo sido recuperados 128,79 m.

A baixa recuperação obtida nesses furos (58,7% em média), aliada às dificuldades para instalação da rede d'água, como também para o deslocamento do equipamento, provocou a suspensão dessa campanha.

#### 9.4 - Amostragem

Para obtenção das características do caulim da região do rio Capim, procedeu-se a uma cuidadosa amostragem, adotando-se como regra um espaçamento de metro a metro em todos os tipos de perfuração e escavação levados a efeito, bem como nos afloramentos, perfazendo um total de aproximadamente 600 amostras.

Nos poços, a coleta foi efetuada em canaletas verticais com 20 cm de largura e 5 cm de profundidade, reunindo-se cerca de 2 kg por metro. Cada amostra recebeu uma numeração preestabelecida, obedecendo a padrões que permitem seu posicionamento em mapa, pela leitura da referência completa. Posteriormente, as amostras foram secas e quarteradas, encaminhando-se parte aos laboratórios e parte ao arquivo da Agência Belém da CPRM.

Os poços T50-3, T58-3, T58-5, T58-7 e T62-3, todos estéreis, portanto, sem influência no cálculo das reservas, não foram amostrados e descritos por

Figura 40 – Prospecção com trado mecanizado.



Fonte: CPRM, 1973a.

dificuldades técnicas, principalmente desmoronamentos, que implicariam risco de vida. Por esse motivo, os perfis respectivos não constam nos anexos dos relatórios anteriores.

Nos trabalhos de sondagem efetuou-se a testemunhagem, objetivando-se obter amostras representativas do depósito, tendo estas recebido tratamento semelhante às demais.

#### 9.5 - Qualificação do Caulim

Embora o caulim apresente grande faixa de aplicação industrial, o estudo das reservas existentes na região do rio Capim concentrou-se, primordialmente, em caracterizar caulins de elevada qualidade, compensando, assim, as despesas com transporte e a precariedade da infraestrutura regional.

Os resultados obtidos naquela época encorajam sobremaneira a utilização do caulim da região do rio Capim na fabricação de papel, já que o referido elemento apresenta características que possibilitam sua aplicação para revestimento, conforme os dados ora descritos.

As especificações tecnológicas, no que se refere ao uso desse caulim na indústria de papel, obedecem a crivos rigorosos. Assim, preocupou-se a pesquisa daquela época em detalhar as características que individualizam um caulim nessa faixa de aproveitamento.

Para consecução desse objetivo, foram enviadas amostras aos seguintes laboratórios:

- English Clays Lovering Poching & Co. Ltda Cornwall (England)
- Erbsloh & Co. (Alemanha)
- NUTEC (CPRM) (Rio de Janeiro, Brasil)
- Laboratório da Agência Belém (CPRM) (Pará, Brasil)

#### 9.6 - Poços de Validação

Visando ao aumento do conhecimento geológico e à validação do depósito e dos teores modelados, a CPRM executou, no ano de 2016, cinco poços de pesquisa nas áreas dos processos dos quais é detentora: três no Bloco Norte e dois no Bloco Sul. Procedeu-se a descrições geológicas dos intervalos observados e as informações obtidas foram dispostas em logs de sondagem, conforme os demais poços dos trabalhos anteriores. Foram coletadas sete amostras para comprovação dos teores e caracterização mineralógica. As análises foram realizadas no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e o relatório final do estudo é apresentado no Anexo I (Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Caulim da CPRM). Os resultados corroboraram os modelos gerados no estudo de reavaliação e permitiram a mate-

realização do minério, uma vez que as amostras originais não foram localizadas durante a fase de resgate dos dados e testemunhos (Figuras 41 a 45).

### 9.7 - Procedimentos de Segurança

A CPRM, seguindo sua política interna de segurança nas atividades sob sua responsabilidade, identificou a necessidade de manutenção de cercamento e tamponamento de antigos poços de pesquisa do Projeto Rio Capim, a maioria perfurada nas décadas de 1970 e 1980. Em visita específica de campo, as equipes da CPRM identificaram que, em

alguns casos, a proteção existente nos poços havia sido comprometida por agentes naturais e/ou antropogênicos, o que poderia vir a tornar-se um perigo para pessoas e animais que por lá transitam.

Dessa forma, concluiu-se que, por questões de segurança, os poços sem representatividade do depósito deveriam ser aterrados, enquanto os poços que melhor refletem o depósito de caulim deveriam ser mantidos abertos e devidamente tamponados, cercados e protegidos, a fim de se evitar qualquer risco de acidente, embora de forma a possibilitar o acesso futuro a esses poços mediante procedimentos legais.

Figura 41 – Perfil descritivo do poço de pesquisa RCN15 executado na campanha de 2016.

**POÇO 01 (RCN 15)**  
**DATA DESCRIÇÃO** - 18/05/2016  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS** - LAT: 02°20'45,8" S LONG: 47°46'00,0"  
**ALTITUDE:** 52,0 m  
**PROFUNDIDADE:** 16,20 m

Prof. (m)	Perfil	Descrição	Amostragem
3		Argila amarela com blocos de caulim	
4		Caulim duro com colunas vermelhas oxidadas e argila laranja	
8		Caulim macio muito contaminado com colunas vermelho e laranja, com predomínio das vermelhas.	7,0-8,0 m 8,0-9,0 m
10		Caulim macio com colunas laranjas e menos colunas vermelhas. Para a base mais colunas laranjas e predomínio de contaminações amareladas ferro-oxidadas.	9,0-10,0 m
12		Caulim macio muito contaminado com argilas laranja e pouco arenoso no final do perfil	
13		Arenito variegado com estratificação cruzada com baixo ângulo, e grãos bem selecionados, com intercalação de camada de caulim macio contaminado com manchas brancas e avermelhadas (± 30cm)	
15		Arenito amarelo avermelhado com cores variegadas e estratificação cruzada de baixo ângulo até o final do perfil.	
16,2			

Fonte: Elaborada por Firmino Coutinho Correia Junior, 2015.

Figura 42 – Perfil descritivo do poço de pesquisa RCN20 executado na campanha de 2016.

**POÇO 02 ( RCN 20)**  
**DATA DESCRIÇÃO - 22/05/2016**  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS - LAT: 02°19'19,2" S LONG: 47°46'07,0"**  
**ALTITUDE: 63,0 m**  
**PROFUNDIDADE: 21,5 m**

Prof. (m)	Perfil	Descrição	Amostragem
1,00		Solo argiloso com concreções ferruginosas, passando a argilito creme amarelado	
6,00		Caulim duro rosado com manchas vermelhas	
12,0		Caulim macio muito contaminado com manchas vermelhas e vinho	
17,0		Caulim muito, branco com poucas manchas vermelhas e rosas, sem areia.	17,0-18,0m
19,0		Caulim macio arenoso com poucas manchas vermelhas e roxas e lentes de caulim creme, com 15 a 20 % de areia	18,0-19,0m
20,0		Idem, com mais manchas e e 7 a 40% de areia	19,0-20,0m
20,6		Arenito médio rox, passando à creme para base com porções ferruginosas	20,0-20,6m
21,5			

Obs: Fm. Ipixuna, perfil completo.

Fonte: Elaborada por Firmino Coutinho Correia Junior, 2015.

Com base nessa avaliação, foi realizada, em outubro de 2017, uma campanha de campo com o objetivo específico de aterramento e proteção de cinco poços selecionados.

A programação foi executada conforme previsto, sendo que foi realizada uma segunda campanha de quatro dias, em função da necessidade de fechamento dos poços com utilização de trator, o que contou com a colaboração de proprietários rurais, que cederam o maquinário e a mão de obra.

Foram tamponados 48 poços: 37 no Bloco Norte e 11 no Bloco Sul (Figuras 46 a 52). Os poços T-13-15, RCN15 e RCN20 foram conservados e protegidos (Figuras 53 a 55), enquanto os poços T-9-2 e T-4-2 já estavam totalmente tamponados antes da chegada da equipe, o que provavelmente foi causado por fazendeiros/proprietários, em função de atividades relacionadas a plantio ou criação de gado.

Figura 43 – Perfil descritivo do poço de pesquisa RCN22 executado na campanha de 2016.

**POÇO 03 (RCN 22)**  
**DATA DESCRIÇÃO** - 18/05/2016  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS** - LAT: 02°19'20,1" S LONG: 47°41'46,3"  
**ALTITUDE:** 49,0 m  
**PROFUNDIDADE:** 13,3 m

Prof. (m)	Perfil	Descrição	Amostragem
0,80		Solo amarelo com fragmentos ferruginosos	Não houve coleta de amostras
1,00		Solo argiloso laranja com concreções gibisíticas	
2,00		Arenito rosa a laranja c/ fragmentos de porções de argilito cinza roxo.	
3,00		Arenito rosa a laranja bem selecionado, fino a médio, friável com nível de seixos de 1 m, no intervalo 4,00-5,00m, bem arredondadas, com cerca de 2 cm de diâmetro. Características de deposição em ambiente fluvial.	
6,50		Argilito variegado, cinza, vermelho e roxo	
7,00		Arenito laranja, fino, bem selecionado, friável, apresentando nível de seixos no topo da camada, no intervalo 7,00-7,50m. São seixos bem arredondados, com cerca de 2 cm de diâmetro.	
8,50		Nível de aproximadamente 20 cm de laterita ferruginosa arenítica, com blocos.	
8,70		Arenito argiloso ferruginoso de cor laranja amarelada com fragmentos argilosos ferruginosos	
9,00		ível de aproximadamente 50 cm de laterita ferruginosa, arenítica, roxa, friável.	
9,50		Argilito variegado, cinza a vermelho, ferruginoso, com níveis castanho ferruginosos (cor predominante)	
10,50		Argilito castanho amarelado com fragmentos de cores variegadas, inclusive acinzentados.	
12,50		Arenito pouco argiloso, variegado, com cor cinza à roxa, bem selecionado, poroso, fino, apresentando suave.	
13,00		Arenito pouco argiloso variegado, mais avermelhado que no horizonte acima, médio, poroso, ferruginoso	
13,30			
<p>Obs:                      Características da Fm. Itapecuru, fácies fluvial.                      Poço interrompido por atingir o lençol freático superficial. Desbancando a partir da profundidade de 12,80 m.</p>			

Fonte: Elaborada por Firmino Coutinho Correia Junior, 2015.

Figura 44 – Perfil descritivo do poço de pesquisa RCS03 executado na campanha de 2016.

**POÇO 04 (RCS 03)**  
**DATA DESCRIÇÃO** - 19/05/2016  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS** - LAT: 02°22'40,7" S LONG: 47°42'15,2"  
**ALTITUDE:** 56,0 m  
**PROFUNDIDADE:** 10,6 m

Prof.	Perfil	Descrição	Amostragem
0,30		Solo argiloso, amarelado a castanho.	Não houve coleta de amostras
		Argilito arenoso, laranja avermelhado, friável, com grumos. Material bastante intemperizado, compatível com solo argilo-arenoso. Sem estruturas preservadas.	
6,00		Laterita ferruginosa, roxa e avermelhada, em matriz argilosa	
7,00		Argilito arenoso laranja avermelhado, friável, compatível com solo argilo-arenoso com concreções ferruginosas (Piçarra ). Sem estruturas preservadas.	
7,50		Arenito laranja friável, bem selecionado, sem estruturas preservadas, compatível com solo arenoso.	
9,00			
10,00			
10,60			
Obs: Material observado lembra a Fm. Barreiras, no topo da Fm Ipixuna ( tudo é capeamento ). Poço com risco de desmoronamento.			

Fonte: Elaborada por Firmino Coutinho Correia Junior, 2015.

Figura 45 – Perfil descritivo do poço de pesquisa RCS08 executado na campanha de 2016.

**POÇO 05 (RCS 08)**  
**DATA DESCRIÇÃO** - 19/05/2016  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS** - LAT: 02°22'57,1" S LONG: 47°42'15,2"  
**ALTITUDE:** 51,0 m  
**PROFUNDIDADE:** 6,7 m

Prof. (m)	Perfil	Descrição	Amostragem
1,00		Solo amarelo à castanho, argiloso, com .grumos.	Não houve coleta de amostras
		Solo argiloso laterítico, com concreções ferruginosas negras a vermelho-amareladas. Matriz formando grumos de argila.	
2,50		Argilito-arenoso laranja a vermelho, friável, sem estruturas preservadas, compatível com solo argilo-arenoso, com grumos de argila.	
4,00		Arenito vermelho alaranjado, friável, bem selecionado, médio à fino. Sem estruturas preservadas, compatível com solo areno-argiloso.	
6,70			
Obs: Material observado é compatível com a Fm. Barreiras sobreposta a Fm. Ipixuna ( tudo é capeamento ). Poço com risco de desmoronamento.			

Fonte: Elaborada por Firmino Coutinho Correia Junior, 2015..

Figura 46 – Tamponamento do Poço T-1-5.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017.

Figura 47 – Tamponamento do Poço T-2-4.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017.

Figura 48 – Tamponamento do Poço T-6-2.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017.

Figura 49 – Tamponamento do Poço T-7-2.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017.

Figura 50 – Tamponamento do Poço T-8-3.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017.

Figura 51 – Tamponamento do Poço RCN 22.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017.

Figura 52 – Tamponamento do Poço T-13-7.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017

Figura 53 – Proteção do Poço T-13-15.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017

Figura 54– Proteção do Poço RCN 15.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017

Figura 55 – Proteção do Poço RCN 20.



Fotografia: Edilberto Leão, 2017



# 10 - PROCEDIMENTOS DE RESGATE DOS DADOS ANALÓGICOS

O processo de resgate dos dados analógicos que constituíam, integralmente, os arquivos do projeto, como também a respectiva conversão para arquivos digitais, constituíram-se de diversas etapas. Primeiramente, esses dados foram capturados no acesso livre do acervo institucional da CPRM, que contém digitalizadas as documentações técnicas publicadas desde a década de 1970. Nesse contexto, foram selecionados:

- Avaliação Econômica da Jazida de Caulim do Rio Capim (CPRM, 1974).
- Kaolin Exploration in the Capim River Region, State of Pará. Informe de Recursos Minerais (CPRM, 2000).
- Navegação nos Rios Capim e Guamá, Trecho Belém-Jazidas de Caulim: relatório preliminar (CPRM, 1973b).
- Projeto Rio Capim – Pará: adendo ao relatório final (CPRM, 1973c).
- Projeto Rio Capim: Amostras de Caulim para Testes Industriais (CPRM, 1990).
- Projeto Rio Capim: anteprojeto para beneficiamento de caulim (PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973).
- 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 (CPRM, 1974).
- 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. Vol. I e II (CPRM, 1973a).

De posse desses relatórios e respectivos anexos (mapas, certificados de análises, perfis de sondagem, poços de pesquisa e trincheiras), procedeu-se à sua leitura criteriosa, objetivando a seleção de temas e dados ligados à área de interesse para reavaliação do potencial da área e dos recursos geológicos do depósito.

## 10.1 - Atividades de Exploração e Perfuração

Na região dos depósitos caulíníticos foram perfurados, na década de 1970, diversos poços de pesquisa e executados furos de sondagem pela CPRM. Entretanto, para o presente trabalho, foram selecionados somente os trabalhos de escavação e sondagem que estavam com seus dados completos, totalizando 1.817,05 m lineares de profundidade de

investigativas, distribuídos em 93 pontos de observação, dentre poços de pesquisa, sondagens a trado e rotativa e trincheiras. Desse total, 78 pontos estão localizados no Bloco Norte (1.572,25 m) e 15 no Bloco Sul (244,80 m).

### 10.1.1 - Resgate de perfis descritivos de furos de sondagem

O acervo físico dos perfis descritivos dos furos de sondagem e poços de pesquisa originais encontra-se no “Relatório único de pesquisa de caulim na região do rio Capim, estado do Pará” (CPRM, 1973a). Esse material também se encontra escaneado em arquivos pdf no acesso livre do acervo institucional da CPRM.

Os perfis descritivos daquela época são compostos por um cabeçalho que contém: número e cota do poço, descrições macroscópicas da litologia e número dos lotes de amostragem (Figura 56).

## 10.2 - Espacialização dos Dados

### 10.2.1 - Levantamento geodésico

De 01 de agosto a 15 de agosto de 2014, procedeu-se ao levantamento do posicionamento geodésico da boca dos poços de sondagem existentes nas áreas dos blocos Norte e Sul do Projeto Rio Capim e suas cotas geoidais.

Tal procedimento visou à geração do modelamento tridimensional dos corpos mineralizados na área, obtendo-se seu posicionamento, forma e dimensionamento, possibilitando, dessa forma, o cálculo da cubagem da jazida, concentração de teores, entre outros. Para registrar as coordenadas obtidas em cada ponto de observação, elaborou-se um modelo de ficha descritiva de levantamento geodésico de sondagem ou poço de pesquisa (Figura 57).

Como metodologia, foi estabelecida uma estação-base na lateral do campo de futebol no povoado de Cipoteua. A escolha desse ponto deveu-se ao fato de ele se encontrar entre os dois blocos de áreas, atendendo, dessa forma, à execução do trabalho.

Nesse ponto instalou-se, para coleta de dados durante todo o período de trabalho, um receptor geodésico GPS HIPER SR (L1, L2), que era colocado pela manhã e retirado no final do dia.

Com outro GPS geodésico, percorriam-se as linhas, medindo-se os poços de sondagem existentes. O tempo de medição de cada poço variava de 40 a 90 minutos, em função de topografia, cobertura vegetal e distância da base.

De posse dessas medições diárias, procedeu-se, primeiramente, ao processamento e ao ajuste dos dados da base. Para tal, foram utilizados dados gerados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

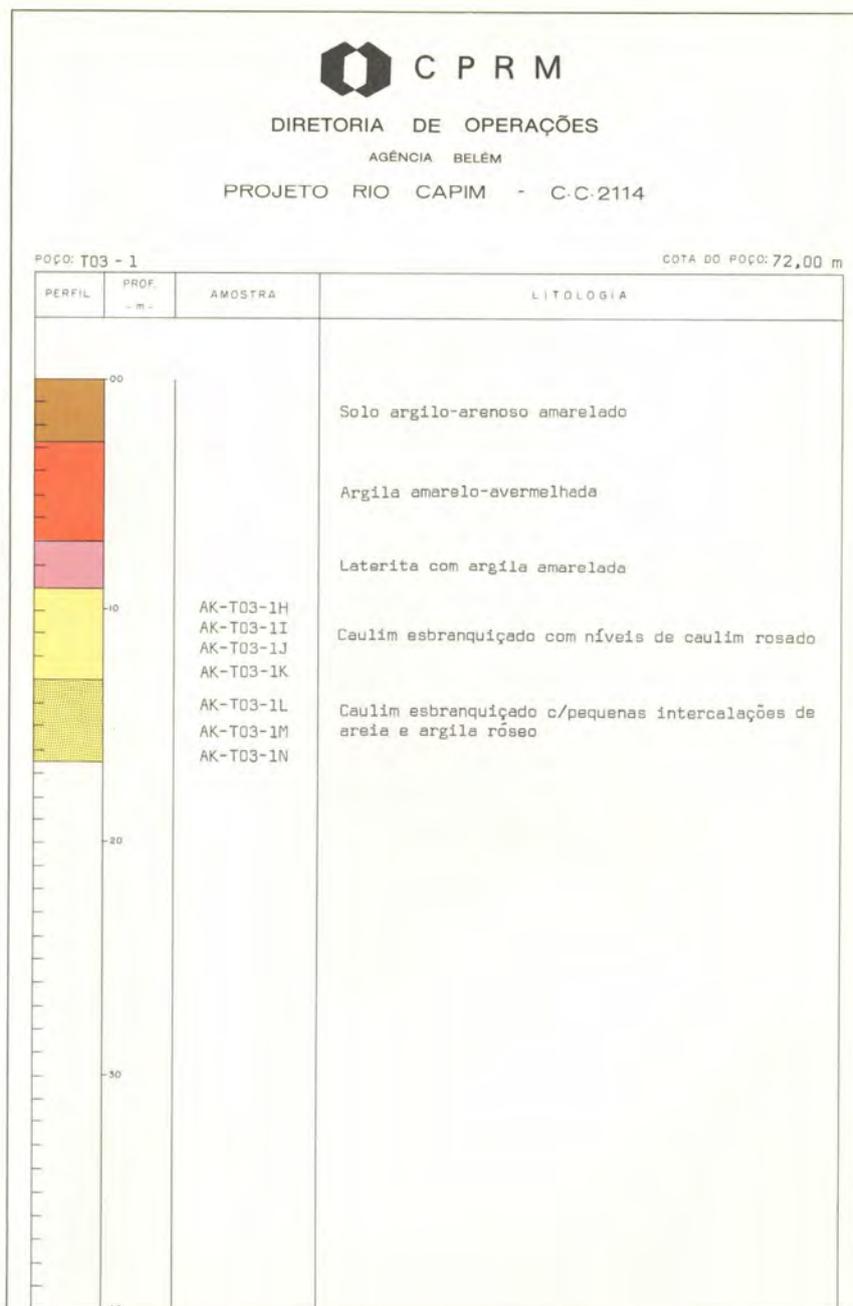
Os dados altimétricos obtidos em relação ao elipsoide foram convertidos para o geoide, obtendo-se, dessa forma, a altitude de cada ponto, sendo utilizado o Datum horizontal SIRGAS2000.

### 10.2.2 - Georreferenciamento e digitalização dos mapas

Como os processos de georreferenciamento e digitalização são passíveis de distorção, necessitam de avaliação e correção, de modo a se evitar comprometimento da qualidade das informações geradas. A maneira usual de se promover uma digitalização confiável é a aplicação de modelos matemáticos de georreferenciamento, visto que os mapas, de modo geral, apresentam problemas de estabilidade, ou seja, eles possuem dobras, deslocamentos, além de alguns elementos e atributos não identificáveis.

Para georreferenciamento de um mapa utilizam-se, basicamente, funções polinomiais no espa-

Figura 56 – Modelo original de perfil descritivo de furo de sondagem ou poço de pesquisa.



Fonte: CPRM, 1973a..

Figura 57 – Modelo atual de ficha descritiva de levantamento geodésico de sondagem ou poço de pesquisa.

<b>COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS CPRM</b>				
<b>FICHA DESCRITIVA DO POÇO DE SONDAAGEM</b>			<b>POÇO T3-1</b>	
<b>SERVIÇO:</b> DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS E COTA DA BOCA DO POÇO.		<b>PROJETO/OBRA:</b> RIO CAPIM		
Paulo Ricardo Sampaio Edilberto Leão Avelino Moraes		<b>MÉTODO:</b> GPS GEODÉSICO HIPER SR PROCESSAMENTO		
<b>DADOS DO LEVANTAMENTO</b>				
<b>DATA:</b> 08/08/2014	<b>LOCAL:</b> RESENDELIANÇA	<b>MUNICÍPIO:</b> IPIXUNA DO PARÁ	<b>U.F.:</b> PA	
COORD. GEODÉSICAS	COORD. PLANAS	REF. PLANIM.		ALTITUDE
$\Phi = 2^{\circ}21'45,02583''S$	<b>N =</b>	SISTEMA: UTM	M.C.: -45	56,687
$\lambda = 47^{\circ}45'20,22796''W$	<b>E =</b>	DATUM HORIZONTAL: WGS84		ALTITUDE (m)
<b>DESCRIÇÃO:</b> ÁREAS DO BLOCO NORTE, PROCESSOS DNPM: (1) 812.870/71, (2) 812.871/71, (3) 812.872/71, (4) 812.873/71 E (5) 812.869/71.				
<b>CROQUI:</b>				
<b>LEGENDA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● POÇOS DE SONDAAGEM</li> <li>● POÇO DESTA FICHA</li> <li>● LOCALIDADES</li> <li>— LINHA DE SONDAAGEM</li> <li>— VIAS DE ACESSO</li> </ul>				

ço bidimensional para relacionar as coordenadas do mapa às coordenadas planas do sistema de projeção cartográfica (D'ALGE, 1997).

Todos os mapas antigos utilizados estavam no *Datum* Córrego Alegre, portanto, foram projetados para SIRGAS2000 após a digitalização das feições, conforme a Resolução IBGE nº 01/2015 (IBGE, 2015).

Com o objetivo de resgatar o real posicionamento espacial dos mapas, para o referido processo de georreferenciamento adotaram-se os seguintes procedimentos:

- Extração das coordenadas encontradas *in loco* com GPS geodésico, de modo a utilizá-las como pontos de controle para georreferenciamento dos mapas.
- Ajuste dos mapas à área do projeto, por meio de contorno disponível no acervo do DNPM.
- Ajuste da imagem Geocover (imagem de satélite com excelente acurácia e precisão), para extração das coordenadas.

O mapa escolhido para o georreferenciamento continha dados com os principais elementos para auxiliar nesse processo, tais como drenagens, poços de pesquisa e área do projeto. Conforme relatado, em campo foram levantadas, por meio de GPS geodésico, as posições dos poços que foram localizados, totalizando 65 poços.

Verificou-se que, no Bloco Norte, foi encontrado o maior número de poços (Figura 58).

De posse das coordenadas associadas aos códigos dos poços, iniciou-se o ajuste individual dos poços, relacionando-se os que foram encontrados em campo com os constantes no mapa.

Posteriormente, utilizou-se a área do DNPM para mais um ajuste, a qual foi obtida no portal dessa instituição (<http://sigmine.dnmp.gov.br/webmap/>), que hospeda uma base de dados, em formato *shapefile*, relativa a todos os processos sob sua jurisdição. Esperava-se uma boa sobreposição entre o contorno da área do mapa e o arquivo do DNPM; entretanto, observou-se que o deslocamento foi considerável, principalmente o Bloco Sul. Como não havia meios de se descobrir o que causara tal mudança no formato da área desde que o mapa foi elaborado até os dias atuais, desconsiderou-se esse modelo de georreferenciamento.

Com isso, partiu-se para o georreferenciamento com base em feições naturais observadas no mapa e comparando-as com a imagem Geocover. Elementos visivelmente destacados foram as drenagens, que se apresentavam em forma de rios caudalosos e pequenos cursos d'água. Entretanto, identificamos inconsistências que não nos permitiam realizar tais

ajustes, principalmente, quando em comparação com a drenagem do rio Capim.

Verificou-se, assim, que esses deslocamentos não são uniformes no Bloco Norte nem no Bloco Sul. Este apresenta um padrão maior de deslocamento do que o Bloco Norte. Possivelmente, os dados apresentam distorções provocadas por desenhos razoavelmente não ajustados espacialmente, fruto da tecnologia que existia à época em que foi realizado o mapeamento.

É *mister* destacar que esse georreferenciamento teve de ser baseado apenas nos pontos levantados em campo. Trata-se da forma mais acertada para elucidar as coordenadas de outros pontos que não foram encontrados em atividade de campo, mas que existem nos mapas. Além desses pontos, outros elementos foram extraídos dos mapas, tais como curva de nível e drenagem.

### 10.2.3 - Topografia

Para geração das curvas de nível da área, foram testados dois procedimentos, a fim de se alcançar o maior detalhamento possível: geração da interpolação das diferenças altimétricas e digitalização associada a ajustes topográficos.

Para a primeira tentativa, o Modelo Digital de Terreno (MDT) original utilizado concerne aos dados reamostrados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). A missão SRTM utilizou um Radar de Abertura Sintética (SAR), no ano de 2000, contendo as bandas C e X, para adquirir dados topográficos da área continental da Terra. A resolução espacial utilizada foi de ~ 3 arcos de segundo, ou, aproximadamente, 90 m.

A partir dos dados SRTM, disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) elaborou o projeto Topodata, que oferece o Modelo Digital de Terreno (MDT) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional (Figura 59-A). Tais dados estão disponíveis gratuitamente em seu portal (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata>).

Em seguida, procedeu-se ao *download* do arquivo em formato \*.TIF, com base na articulação e no Sistema Geodésico de Referência (SGR) WGS84. O arquivo denominado 02S48\_.TIF recobre a área de pesquisa situada na folha topográfica Rio Capim (SA-23-Y-A) (BRASIL, 1985).

Em seguida, procedeu-se à tentativa para que o MDT se tornasse compatível com o que fosse observado em campanha de campo. Para isso, determinou-se a superfície de erro, calculada com base na diferença entre a cota do MDT original e a cota ortométrica dos levantamentos geodésicos realizados em campo (Tabela 2).

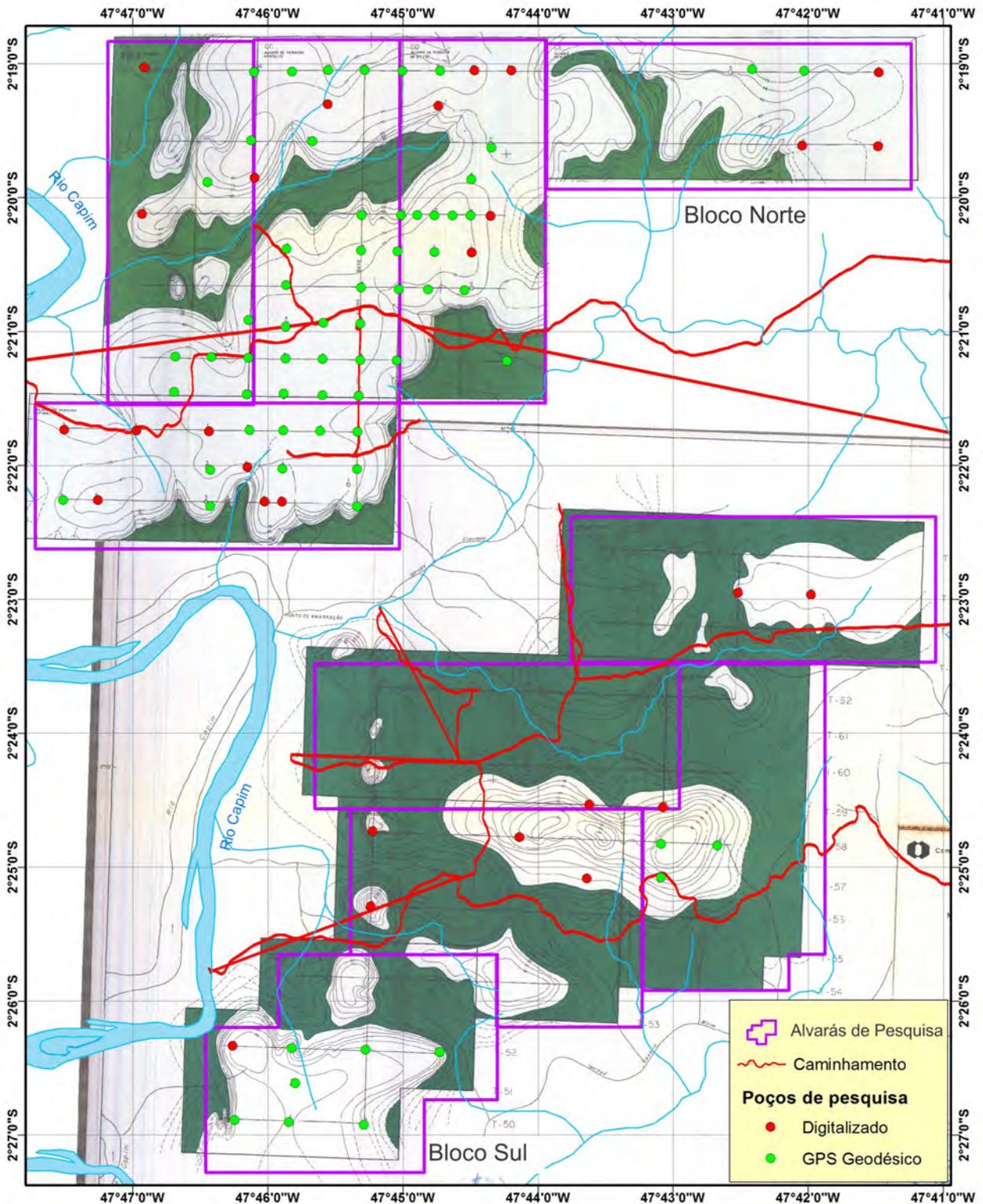
Posteriormente, inseriram-se os dados dessa diferença em uma única planilha, com três colunas – X, Y, Z –, correspondentes, respectivamente, às coordenadas UTME e UTMN e às diferenças das cotas.

Em seguida, procedeu-se à interpolação, por meio do Método de Mínima Curvatura (MMC), o

qual, por meio de repetidas interações de equações, produz superfícies suavizadas (ANDRIOTTI, 2013). Por essa razão, o MMC foi escolhido para geração da superfície topográfica do projeto.

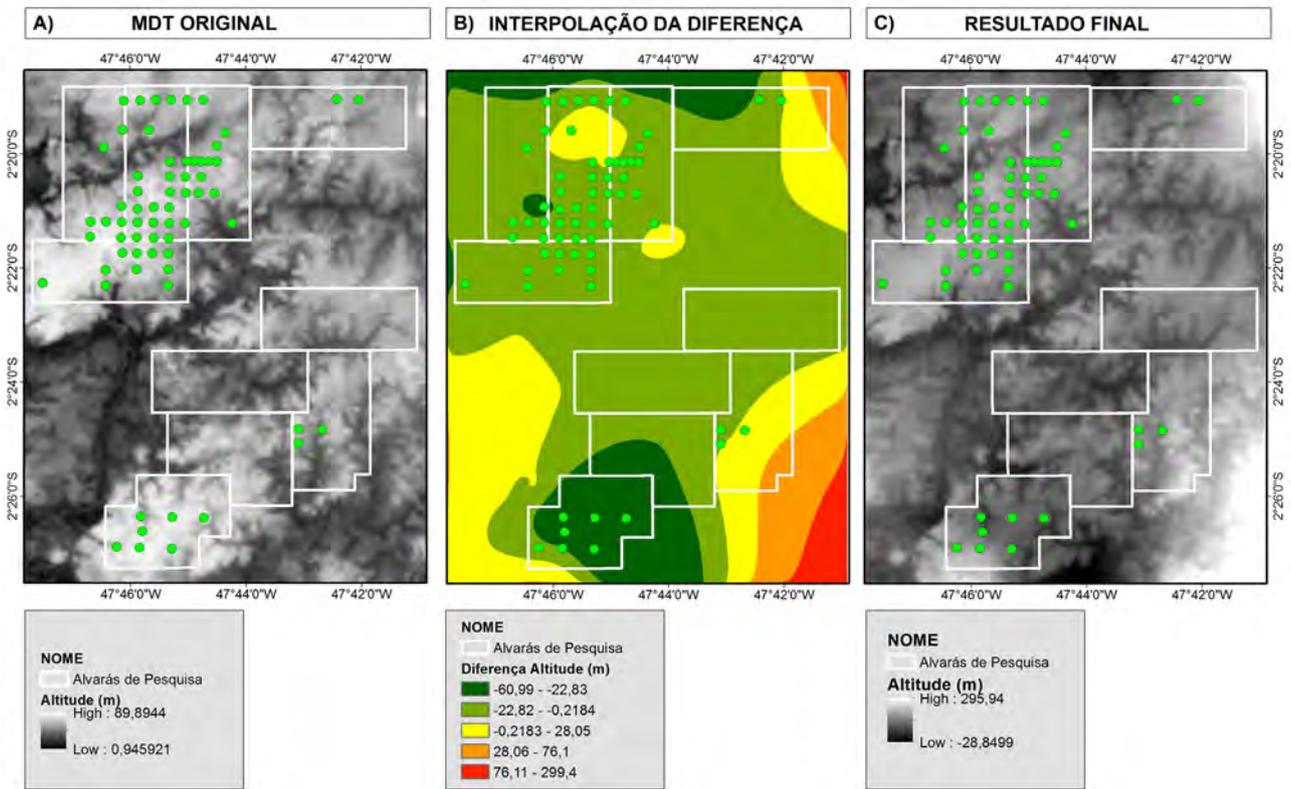
Preferiu-se interpolar todos os pontos, sem separação de área, visto que existia um vazio a ser preenchido entre o Bloco Norte – que tem maior

Figura 58 - Georreferenciamento dos mapas da área do Rio Capim com a distribuição dos poços levantados em campo e digitalizados após o georreferenciamento.



Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

Figura 59 - Mapas do Modelo Digital de Terreno com o seu arquivo original e arquivo final tratado.



Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

Tabela 2 – Diferenças de cota entre dados do Topodata e do DGPS para um mesmo ponto.

POÇO	DGPS	TOPO	TOP –GPS	POÇO	DGPS	TOPO	TOP –GPS	POÇO	DGPS	TOPO	TOP –GPS
T1_1	49,55	58,97	-9,42	T5_9	61,02	76,23	-15,21	T11_7	56,17	58,56	-2,39
T1_3	53,31	56,88	-3,57	T6_2	63,11	70,98	-7,88	T11_9	76,35	64,51	11,84
T1_5	58,55	77,10	-18,55	T6_3	44,32	72,97	-28,65	T11_13	54,84	59,23	-4,39
T2_2	60,66	75,34	-14,68	T6_4	55,34	74,01	-18,67	T13_2	61,32	63,93	-2,61
T2_3	59,75	68,44	-8,69	T6_5	63,45	73,69	-10,23	T13_3	50,45	69,29	-18,84
T2_6	59,96	67,48	-7,52	T7_2	57,43	66,95	-9,52	T13_7	62,01	77,25	-15,24
T3_1	56,69	62,69	-6,01	T7_3	63,62	73,60	-9,98	T13_8	60,85	64,56	-3,70
T3_2	62,96	73,16	-10,20	T7_4	59,29	68,29	-9,01	T13_9	63,86	77,03	-13,17
T3_6	62,93	74,02	-11,08	T7_5	58,14	69,69	-11,54	T13_13	61,99	70,90	-8,92
T3_7	62,70	78,03	-15,33	T7_6	56,68	72,24	-15,56	T13_14	55,66	61,97	-6,31
T4_1	62,83	69,35	-6,52	T8_2	62,22	68,63	-6,41	T13_15	60,28	79,11	-18,83
T4_2	63,07	77,02	-13,95	T8_3	62,53	68,09	-5,55	T50_1	53,09	68,93	-15,85
T4_4	58,75	70,19	-11,45	T8_4	51,55	59,80	-8,25	T50_2	60,86	83,20	-22,34
T4_5	60,31	62,65	-2,34	T8_5	56,13	71,78	-15,65	T50_3	28,59	74,97	-46,38
T4_6	63,10	74,64	-11,55	T9_2	62,28	65,83	-3,55	T51_2	31,24	80,29	-49,04
T5_1	32,96	33,74	-0,78	T9_3	54,86	58,42	-3,56	T52_2	30,51	76,12	-45,61
T5_2	58,65	63,17	-4,52	T9_4	58,11	60,36	-2,25	T52_3	37,56	83,38	-45,82
T5_3	62,21	64,43	-2,22	T9_5	62,69	66,02	-3,33	T52_4	34,55	83,55	-49,00
T5_4	62,56	71,66	-9,10	T9_9	61,31	64,08	-2,78	T57_7	51,36	53,53	-2,16
T5_5	59,00	77,23	-18,24	T9_10	52,83	45,27	7,56	T58_7	46,88	58,16	-11,29
T5_7	62,94	73,56	-10,62	T10_2	53,22	54,51	-1,30	T58_8	50,73	44,33	6,40
T5_8	61,95	79,34	-17,40	T10_3	60,88	65,53	-4,65				

Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

quantidade de levantamentos – e o Bloco Sul – com menor número de levantamentos (Figura 59-B).

Assim, fez-se uma função de Álgebra de Mapas com a imagem do MDT e a imagem gerada pela interpolação da diferença. O intuito foi nivelar os dados do primeiro tendo como base os ajustes do segundo. Ou seja, a operação foi realizada da seguinte forma: imagem final = modelo digital de terreno – interpolação da diferença (Figura 59-C).

O resultado da interpolação foi analisado por meio da comparação entre as cotas das coordenadas de cada um dos 65 pontos (Figura 60) com a nova superfície resultante. Com isso, observou-se que os pontos apresentaram, de modo geral, valores muito próximos. A média se situou em -0,953 e o desvio padrão, em 3,959. Apenas três pontos apresentaram valores de diferença bem elevados: dois no Bloco Norte (-25,518 e 15,535) e um no Bloco Sul (-12,401).

Entretanto, a forma delineada do relevo não contemplava o que, de acordo com pesquisadores, eram visitas em campo. A alternativa foi utilizar um processo de edição vetorial.

Para a segunda tentativa, optou-se pela digitalização das curvas de nível encontradas nos mapas antigos. Como havia sido feito um ajuste fino do georreferenciamento, os dados já poderiam ser digitalizados. Entretanto, há um deslocamento evidenciado, conforme relatado. A digitalização original mantinha equidistância de 5 m. Mas, para essa etapa, as curvas consideradas para tal ajuste continham os intervalos equidistantes de 10 m (Figura 61).

A grande questão foi acerca do ajuste a ser realizado. Notavam-se, claramente, pequenos morros na imagem Geocover que deveriam estar associados à curva de nível. No entanto, havia um deslocamento

aparente, sendo necessário realizar um ajuste manual por meio da edição vetorial dessas linhas. Tratava-se de um ajuste muito criterioso, que surtiu melhor resultado para as áreas com topografia saliente. No entanto, havia delineamentos da curva que se apresentavam na imagem sobre alta densidade vegetacional, que suavizava a saliência do terreno, o que dificultava a elaboração de seu traçado.

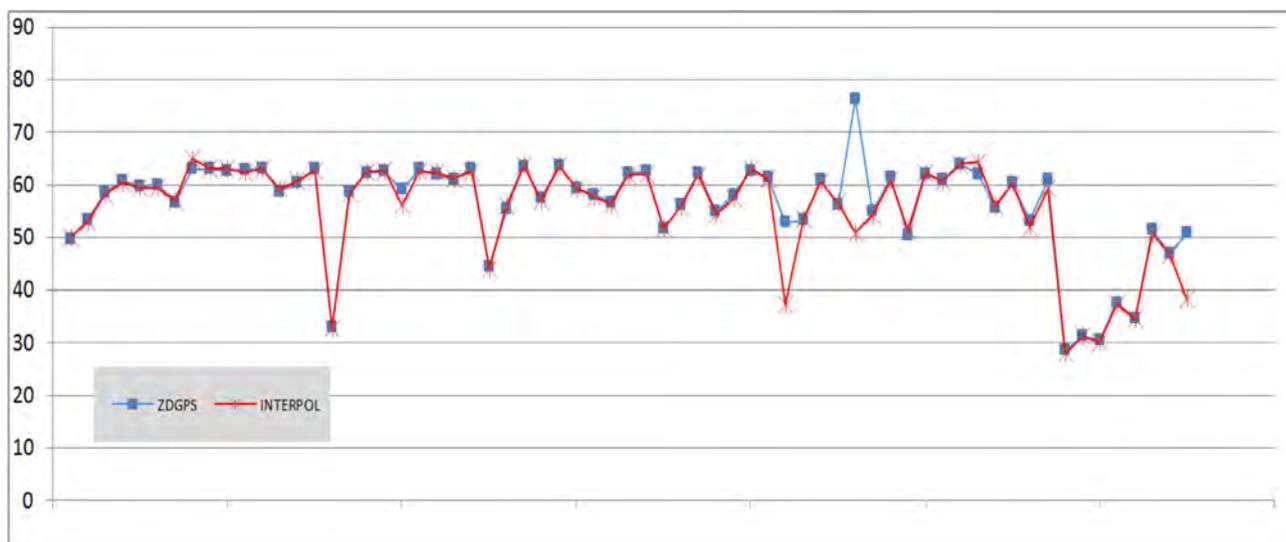
Os ajustes perpassavam também pelas cotas obtidas pelo DGPS. Ou seja, o valor da cota do levantamento em campo tinha de estar de acordo com o valor da isolinha. Assim, algumas curvas tiveram o seu contorno remodelado para atingir tal configuração. Com a finalização dos procedimentos, os dados foram enviados em formato *shapefile* para serem tratados em *software* em 3D.

### 10.2.3.1 - Levantamento topográfico complementar

As áreas dos blocos Norte e Sul do Projeto Rio Capim apresentam variações topográficas fortes, devido à presença de densa rede de drenagem. O primeiro levantamento topográfico (etapa 1), realizado no período de 01 a 15 de agosto de 2014, restringiu-se à posição dos poços nos dois blocos. Já o segundo levantamento (etapa 2), executado entre 25 de julho e 03 de agosto do mesmo ano, cobriu pontos próximos às drenagens (Figura 62).

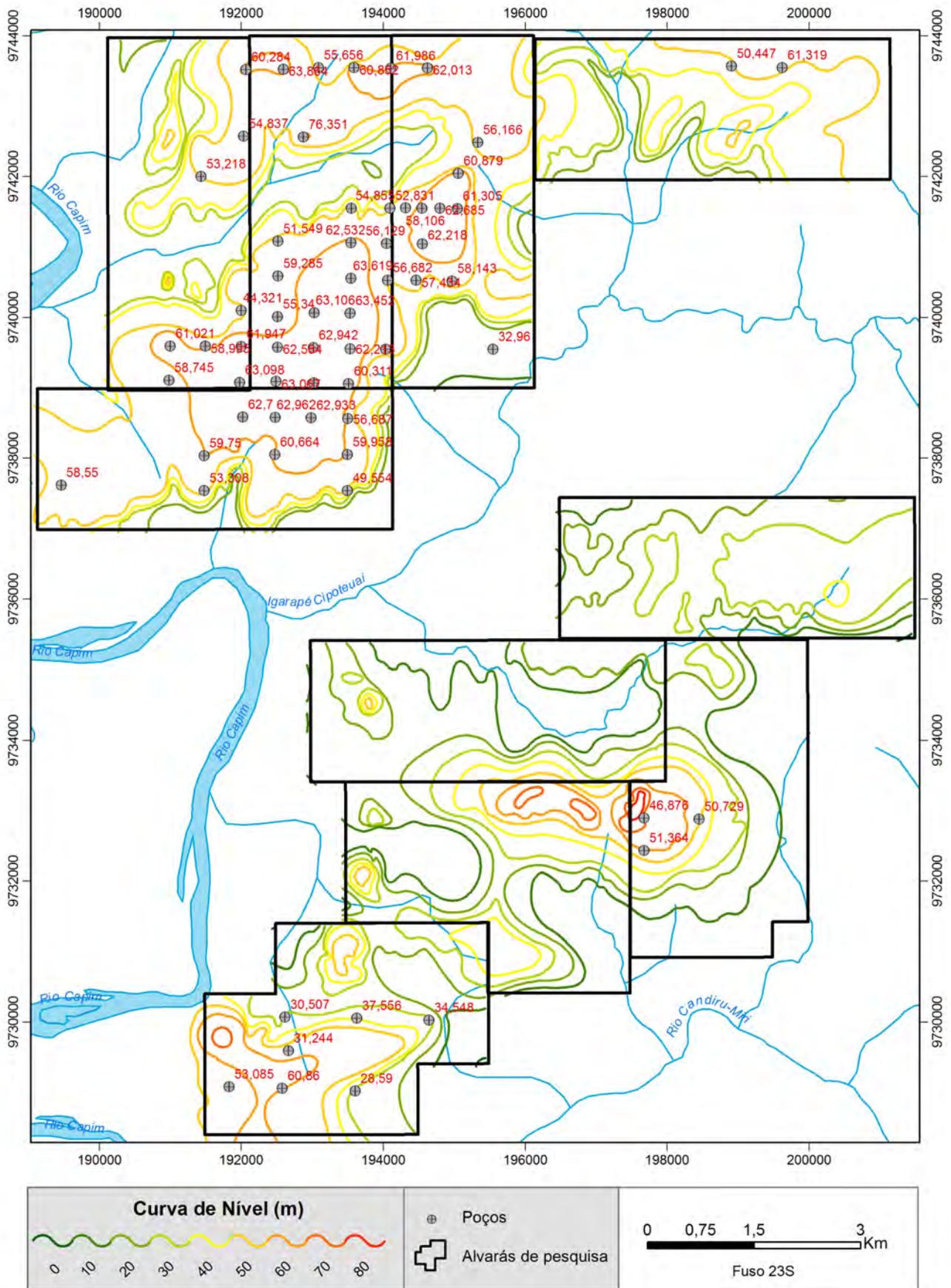
O levantamento da etapa 2 se concentrou no Bloco Norte, devido à possibilidade de acesso rápido por meio de vicinais nas fazendas e à cobertura vegetal ser pouco densa, não prejudicando a aquisição de dados via satélite. Já o Bloco Sul apresentava acesso difícil aos pontos de interesse na etapa 2, como também cobertura vegetal densa e alta, necessitando de uma campanha maior, a ser realizada posteriormente.

Figura 60 – Resultado da comparação entre as cotas do DGPS com os novos resultados da interpolação.



Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

Figura 61 – Resultado da digitalização das curvas de nível da região do rio Capim.



Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015..

A metodologia de levantamento utilizada em cada ponto da etapa 2 consistiu na instalação de um receptor DGPS GPS (L1, L2), modelo GTR-G2 (Tech-Geo), realizando leituras por um período de duas horas. Os dados adquiridos foram processados por meio do aplicativo de Posicionamento de Ponto Preciso (PPP) do IBGE, que fornece, além do posicionamento horizontal (longitude e latitude), altitude ortométrica e ondulação geoidal.

### 10.2.3.2 - Geração do modelo digital de terreno e curvas de nível

Os dados do levantamento foram interpolados, usando-se o método Kriging, com células de 125 m. Esse método foi escolhido por apresentar melhor fidelidade ao dado medido e devido aos pontos estarem distribuídos espacialmente de forma irregular (Figura 63).

A cobertura do levantamento realizado nas duas etapas não tem densidade de pontos suficiente para gerar um MDT preciso. Para melhorar essa cobertura, foram usados também dados reamostrados do Topodata para 125 m de espaçamento (Figura 64) para coincidir com o tamanho da célula do *grid* gerado a partir dos dados de DGPS. Por se tratar de uma área com pouca cobertura vegetal (pasto ou juquira), esse dado não apresenta grande discrepância com o terreno.

No entanto, observam-se diferenças de cotas entre os dados gerados a partir do levantamento realizado com DGPS e os dados do Topodata, principalmente onde as cotas são mais baixas. Assim, foi criada uma malha regular com pontos espaçados de 500 m (Figura 65). Para todos os pontos dessa malha, há um valor de cota referente ao Topodata; porém, nem todos os pontos possuem valor de cota no *grid* resultante dos dados adquiridos com DGPS.

O valor da cota topográfica para cada ponto da malha foi calculado, adotando-se os seguintes critérios:

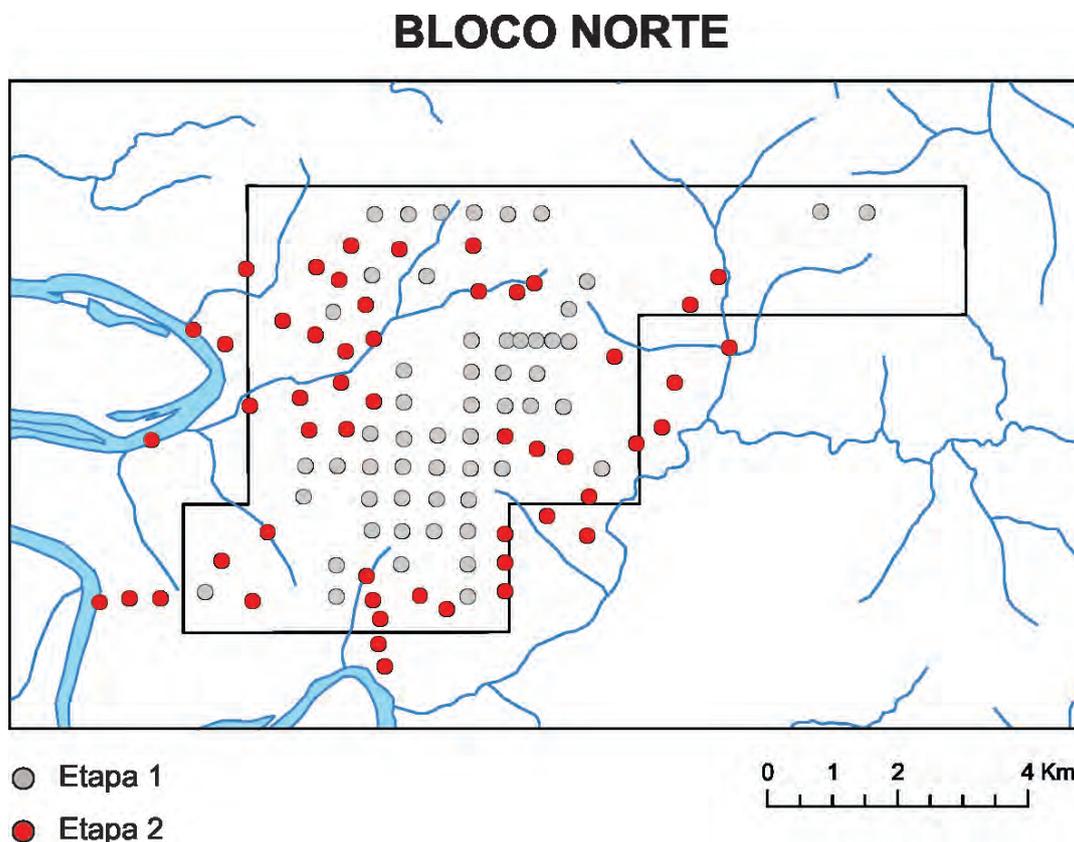
- Se o ponto possui valor de cota apenas no *grid* do dado do Topodata, esse valor irá compor o MDT.
- Para os demais pontos, construiu-se uma média harmônica ponderada pelo próprio valor da cota, ou seja:

$$MDT = \frac{(h_{GPS} \times h_{GPS} + h_{TOPO} \times h_{TOPO})}{(h_{GPS} + h_{TOPO})}$$

Onde:

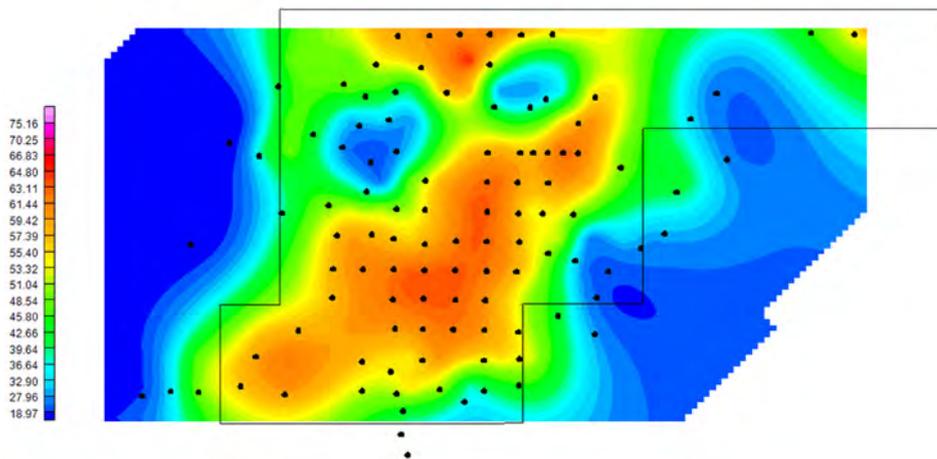
- MDT é o valor da cota no modelo digital de terreno;
- $h_{GPS}$  é o valor da cota no *grid* dos dados adquiridos por GPS;
- $h_{TOPO}$  é o valor da cota no *grid* do dado do Topodata.

Figura 62 – Estações topográficas executadas nas etapas 1 e 2 no bloco Norte.



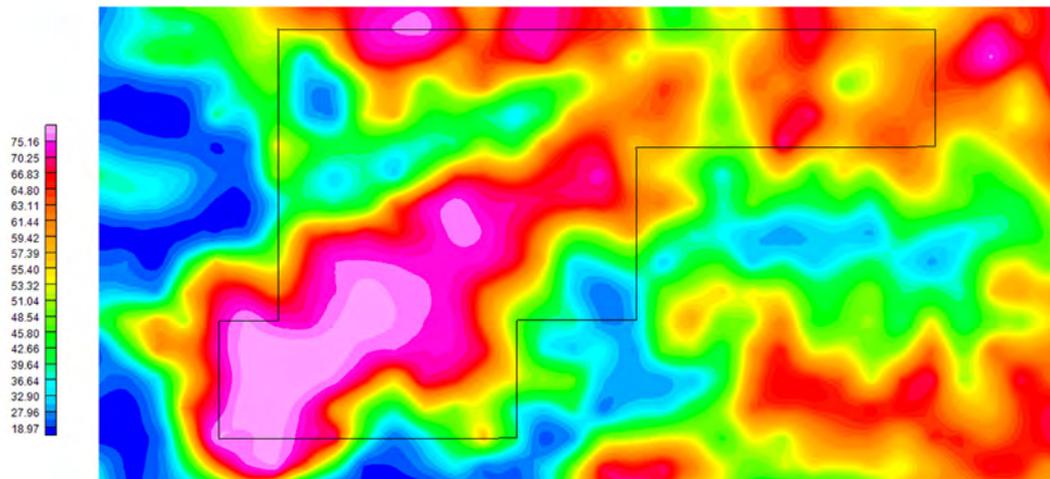
Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

Figura 63 – Grid gerado pela interpolação dos dados geodésicos pelo método Kriging.



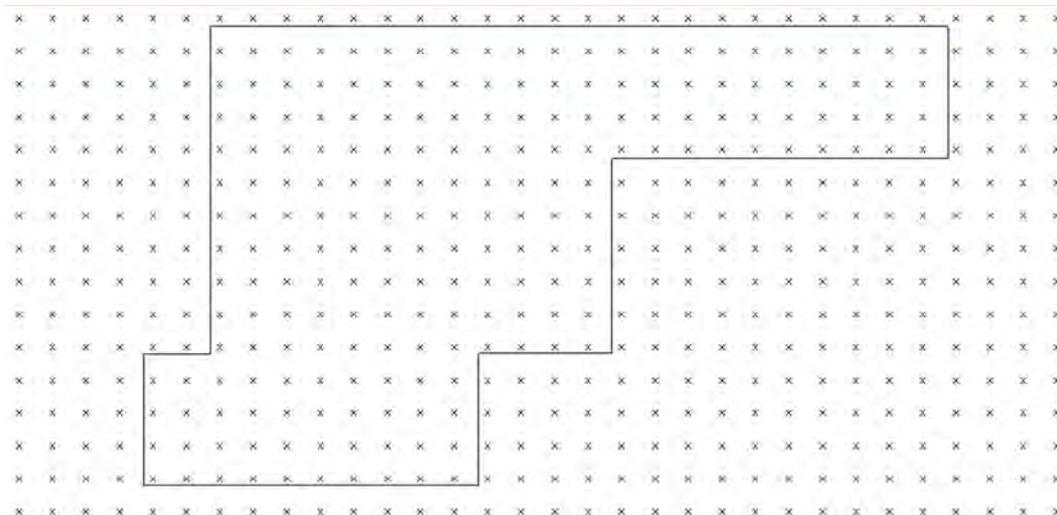
Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

Figura 64 – Dados reamostrados do Topodata.



Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

Figura 65 – Malha regular usada para construção do MDT do bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

O resultado foi interpolado, usando-se o método Kriging com espaçamento de 125 m (Figura 66).

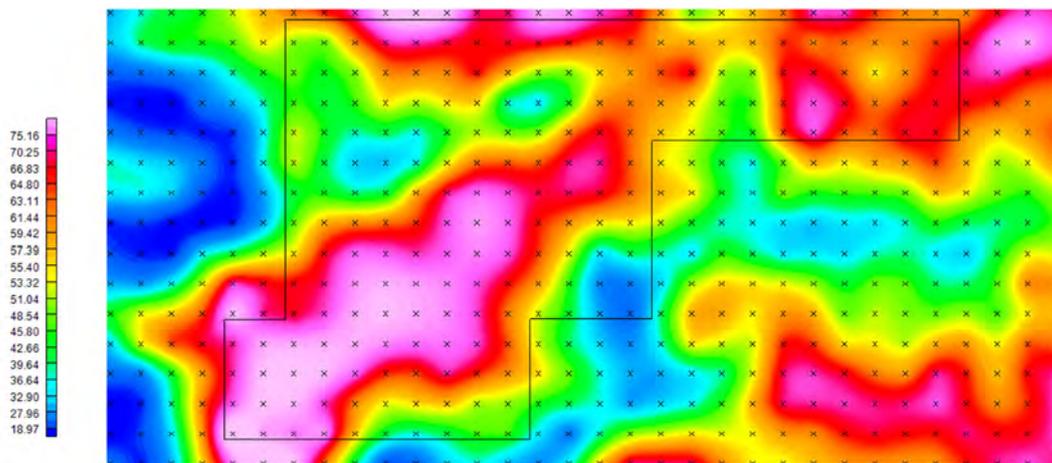
Nota-se que o resultado mantém a qualidade dos dois dados usados: as feições geométricas do Topodata, uma vez que este é obtido a partir de fotografia de satélite; a uniformidade do dado adquirido no levantamento com o DGPS.

Curvas de nível (Figura 67), espaçadas em 5 m verticais, foram geradas no mesmo *software* usado para o processamento dos dados: Oasis Montaj (Geosoft).

### 10.3 - Novos Perfis Descritivos

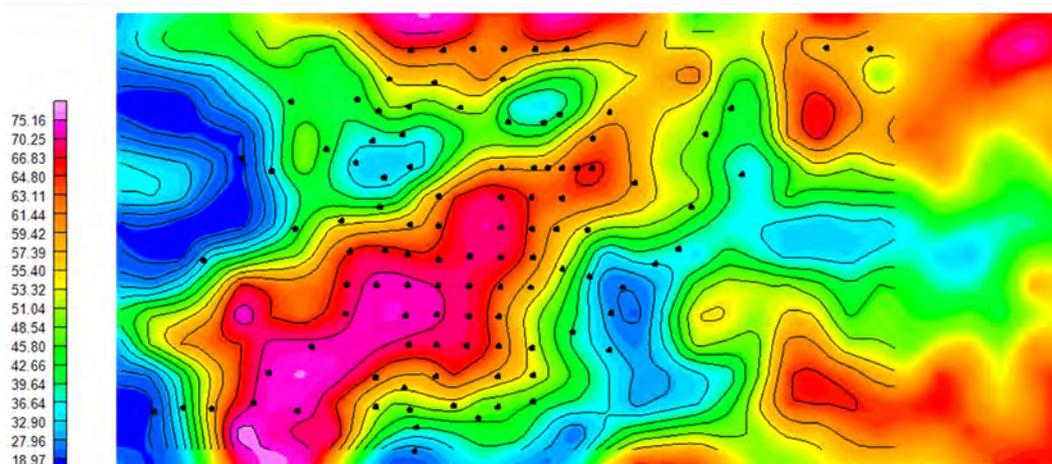
Após recuperação e validação dos dados analógicos, foram gerados perfis descritivos de sondagem e poços de pesquisa definitivos, que sintetizam todas as informações pertinentes atualizadas e corrigidas dos furos executados e utilizados na modelagem, tais como posicionamento, metragem atingida, descrição geológica, correlação das camadas de caulim e principais resultados físico-químicos (Figura 68).

Figura 66 – Grid resultante da média ponderada entre os dados do DGPS e do Topodata.



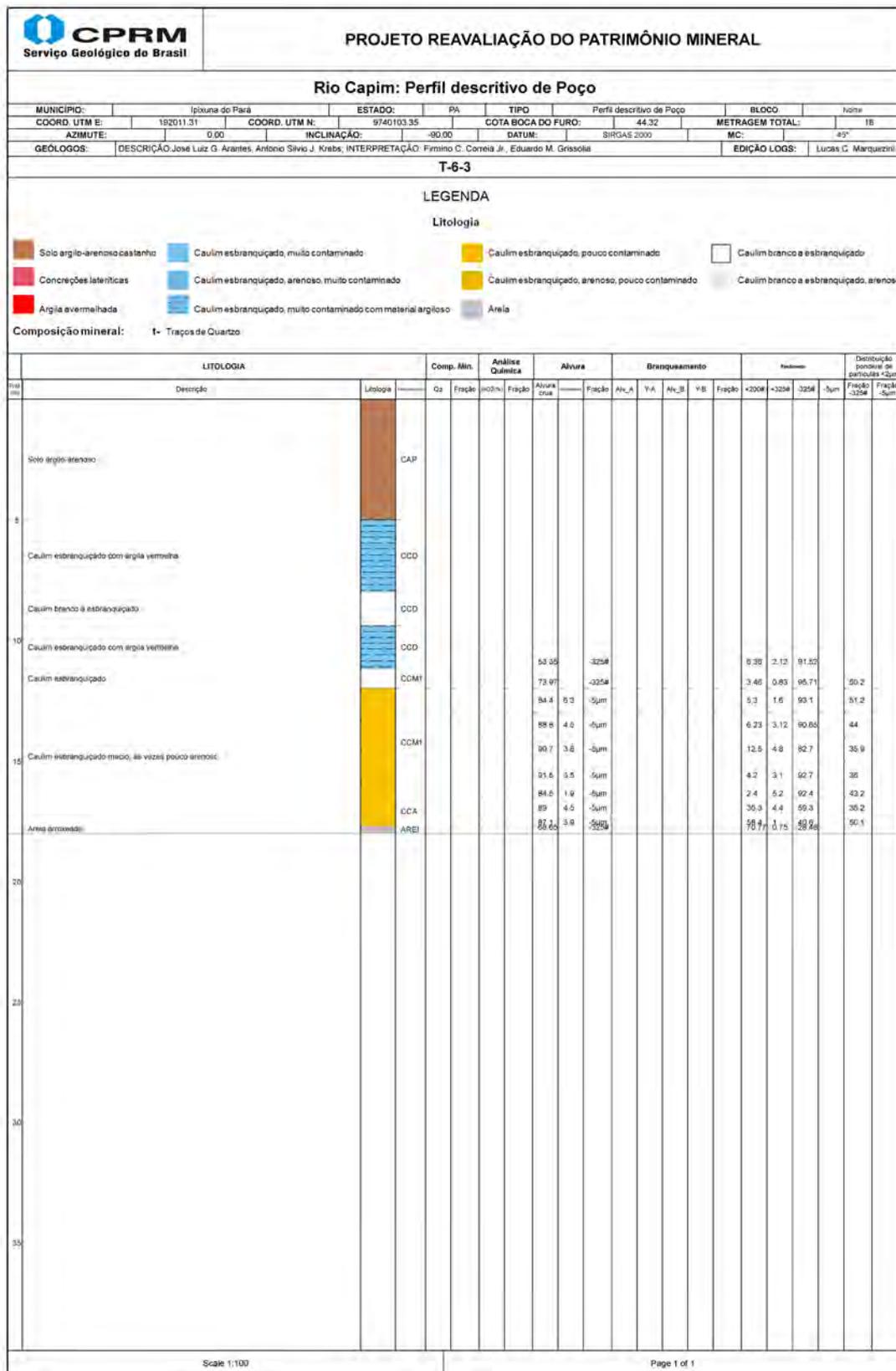
Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

Figura 67 – Modelo digital de terreno e curvas de nível em intervalos de 5 m.



Fonte: Elaborada por Rogério Celestino de Almeida, 2015.

Figura 68 – Modelo de perfil descritivo de sondagem e de poço criado para a reavaliação do projeto Rio Capim.



Fonte: Elaborada por Lucas Camargo Marquezini, 2015.

# 11- MODELAGEM GEOLÓGICA

Procedeu-se à modelagem geológica do depósito de caulim da região do rio Capim a partir de dados produzidos pela CPRM na década de 1970. Os resultados do Projeto Rio Capim permitiram configurar uma reserva substancial de caulim de boa qualidade. Os dados auferidos nessa pesquisa serviram de base para caracterização e cálculo de reservas condizentes com os preceitos do Código de Mineração vigente na época (BRASIL, 1967).

O conjunto de dados gerados durante o Projeto Rio Capim compreende análises químicas e mineralógicas, microscopia eletrônica e raios X, análises de rendimento em peneiras USS 200 e 325 mesh e distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 µm, medições de reflectância (índice de alvura) e determinações de pH.

Haja vista a avançada idade desse material e o fato de estarem em sua totalidade em formato analógico, muitos dos resultados de análises foram perdidos ao longo do tempo; portanto, o banco de dados utilizado para o presente estudo de reavaliação e estimativa de recursos contou com dados parciais, possíveis de serem recuperados.

Dessa forma, o processo de modelagem do depósito considerou não apenas os dados de ensaios tecnológicos passíveis de serem resgatados como também informações acerca de características estratigráficas, litológicas e texturais presentes nos relatórios de pesquisa do referido projeto.

Visando a enriquecer e validar o banco de dados do projeto, foram consideradas na modelagem geológica as informações obtidas nos cinco poços abertos na campanha executada em 2016.

Em função da disposição espacial dos alvarás de pesquisa outorgados à CPRM, o modelo geológico foi concebido de maneira distinta para os conjuntos de áreas ao norte e ao sul, sendo denominados, neste relatório, Bloco Norte e Bloco Sul (Figura 69). Neste estudo foram considerados os dados de 84 poços de pesquisa, oito furos de sonda e uma trincheira, totalizando 1.817,05 m.

Devido à inviabilidade de recuperação dos dados, alguns poços foram eliminados do banco de dados (Quadro 2).

## 11.1 - Metodologia

O processo de modelagem geológica do depósito de caulim do Projeto Rio Capim foi desenvolvido no *software* Strat3D (versão 2.1.75.0). A inserção do

banco de dados no ambiente do programa deu-se a partir de tabelas no formato csv, organizadas da seguinte forma:

- Collar: Armazena os dados de posição espacial de cada furo de sonda, como também a cota da boca do furo.
- Survey: Armazena os dados de azimute e mergulho de cada furo.
- Geology: Armazena os dados de litologia, unidade estratigráfica e demais características descritivas dos intervalos litológicos de cada furo.
- Assay: Armazena os dados analíticos provenientes das análises químicas dos intervalos amostrados de cada furo.
- Strata: Armazena os dados de correlação determinados a partir das interpretações realizadas no *software*.

Previamente à modelagem, procedeu-se à validação do banco de dados, que contemplou a verificação de informações ausentes, intervalos com erros de digitação, intervalos duplicados, consistência da profundidade final do furo e dos intervalos “De” (FROM) e “Até” (TO), com eliminação de *gaps* e *overlaps*.

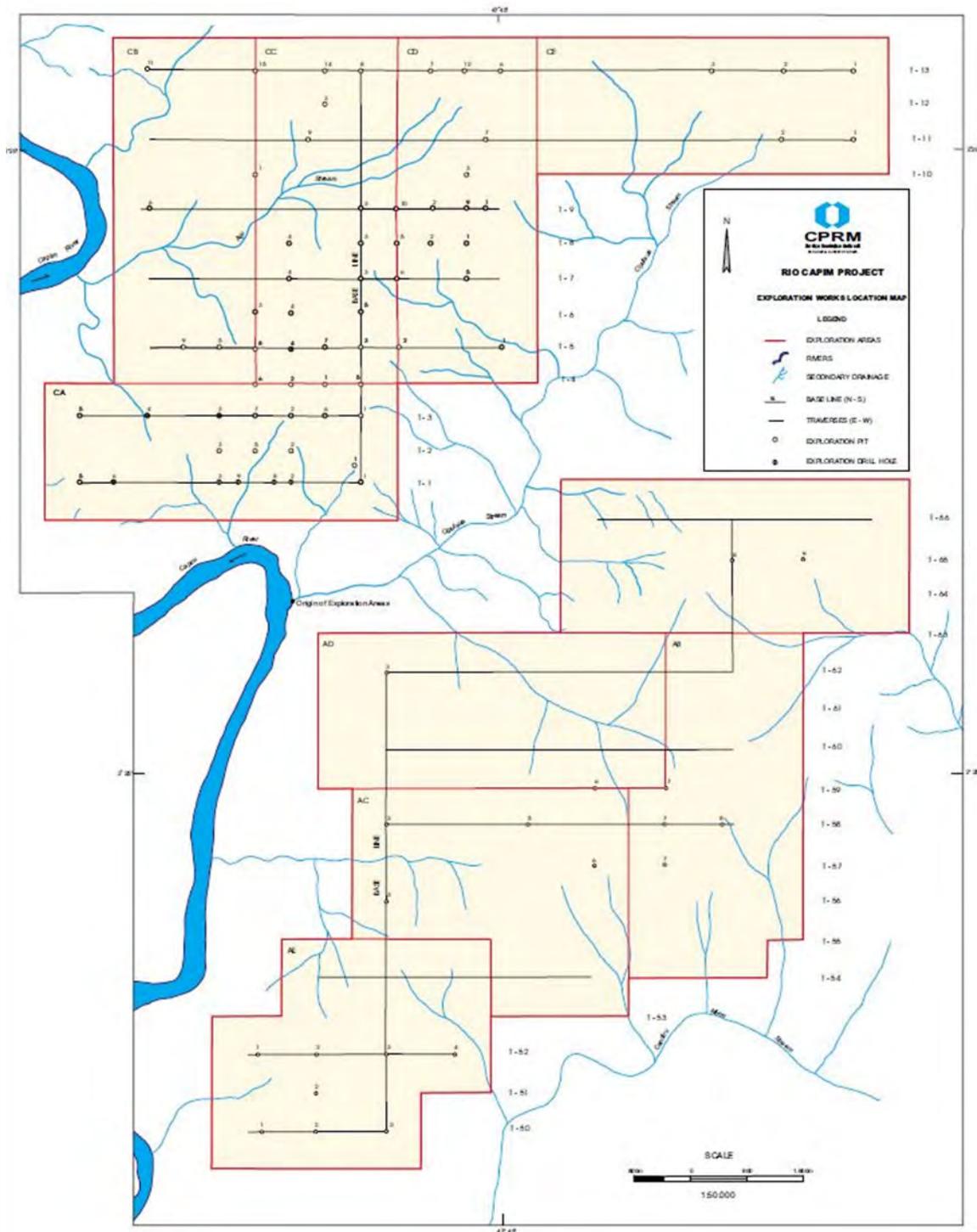
No *software* Strat3D, as tabelas foram mescladas e convertidas em um único arquivo, denominado Holes\_Rio\_Capim\_CPRM, com data de congelamento em 29.01.2018.

O passo seguinte foi a definição da ordem estratigráfica dos pacotes sedimentares de acordo com o conhecimento geológico da região, verificado tanto no relatório final de pesquisa do Projeto Rio Capim (CPRM, 1973a) como em outros trabalhos científicos atuais. Códigos litológicos foram utilizados para designar cada unidade sedimentar (ver Quadro 1).

O arranjo dos dados em formato 3D possibilitou a visualização dos poços de pesquisa dispostos lado a lado, por meio de seções verticais, o que proporcionou a correlação entre os estratos registrados em cada poço (Figura 70).

Essa correlação, por sua vez, possibilitou a individualização das unidades mineralizadas e estéreis e a respectiva geração de sólidos tridimensionais. Esse procedimento foi baseado tanto em aspectos litoestratigráficos como em parâmetros analíticos, principalmente reflectância (índice de alvura), rendimento em peneiras USS 325 mesh, distribuição ponderal de

Figura 69 – Mapa de localização da área de estudo, destacando-se as áreas de alvarás de pesquisa detidos pela CPRM.



Fonte: CPRM, 1973a.

Nota: Também se observam, nesse mapa, as locações dos poços de pesquisa executados durante o projeto Rio Capim em 1972.

Quadro 2 – Poços de pesquisa excluídos da modelagem.

T-2-4	T-5-10	T-6-1	T-7-7	T-7-8
T-11-6	T-11-10	T-12-4	T-12-5	T-22-1
T-50-3	T-53-3	T-58-3	T-58-5	T-58-7
T-60	T-62-3			

Fonte: Elaborado por Eduardo M. Grissolia, 2017.

partículas com diâmetro inferior a 2 µm, composição mineralógica e composição química.

Tais parâmetros, que condizem com as especificações tecnológicas exigidas pela indústria de papel, foram avaliados à época, considerando-se, preferencialmente, a caracterização de caulins de elevada qualidade, apesar da ampla faixa de aplicação industrial dessa substância.

Neste estudo, os horizontes aproveitáveis sob o ponto de vista industrial são definidos como Camada de Caulim Macio (CCM) e Camada de Caulim Arenoso (CCA), ambos com importantes valores de alvura e rendimento.

Apesar de a modelagem ter se apoiado basicamente no índice de alvura e valores de rendimento das camadas de caulim, a interpretação geológica teve papel primordial na distinção do minério, tendo em vista que alguns poços de pesquisa não possuem dados analíticos. Em consequência, não foram definidos valores de corte de tais parâmetros na delimitação do minério, pois alguns intervalos foram aceitos dentro dos pacotes mineralizados em função de suas características litoestratigráficas.

Para construção dos modelos geológicos tridimensionais, o *software* Strat3D utiliza dois interpoladores distintos: um para a espessura e outro para as superfícies, gerando superfícies de topo e base para cada uma das camadas correlacionadas. Neste estudo, utilizou-se o interpolador do método Vizinho Mais Próximo para ambas as situações, com um raio de busca de 1.000 m tanto no Bloco Norte como no

Bloco Sul. Procedeu-se ao fechamento dos sólidos com base no método das áreas de influência de cada poço, que se estende até a metade da distância que o separa dos poços circunvizinhos.

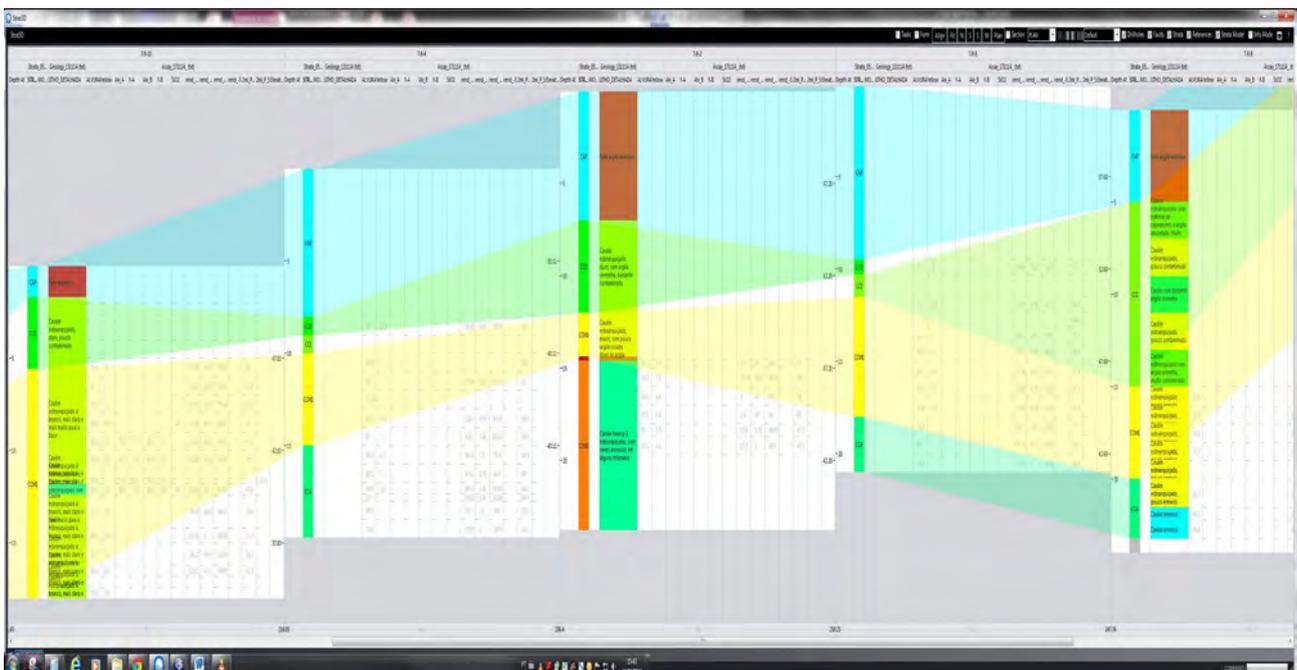
Os modelos geológicos gerados foram balizados pelo modelo digital de terreno (MDT) obtido a partir do levantamento topográfico realizado na área do projeto.

## 11.2- Modelagem Geológica do Depósito de Caulim

A modelagem geológica do depósito de caulim considerou dois tipos de minério, diferenciados basicamente pelo conteúdo de areia. Dessa forma, o minério caulínítico foi individualizado em Caulim Macio (CCM), caracterizado por baixo conteúdo de areia, e Caulim Arenoso (CCA), em que a quantidade de areia é muito mais significativa. As camadas de caulim foram modeladas, dando origem aos sólidos tridimensionais que refletem o comportamento, a forma e a extensão da mineralização na área pesquisada (Figuras 71 e 72).

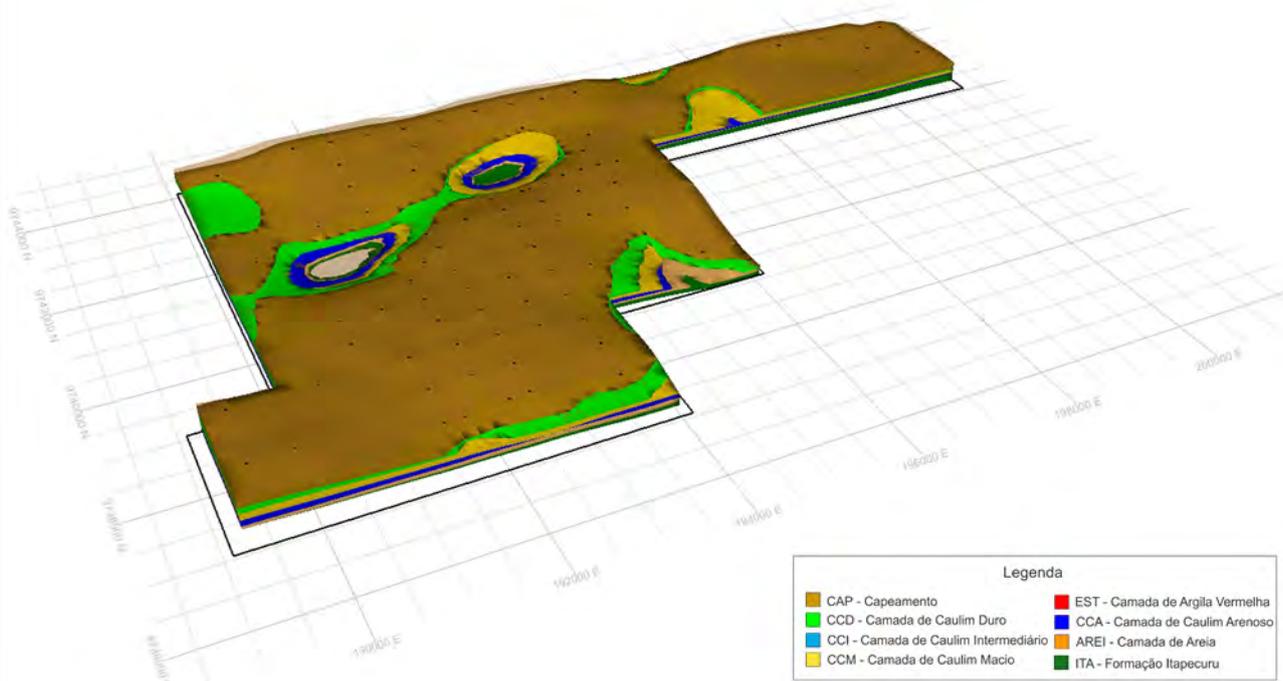
Partindo do topo, o pacote sedimentar que contém os níveis de minério é constituído por sedimentos holocênicos inconsolidados, abrangendo argilas, siltes e areias, seguidos por sedimentos cenozoicos da Formação Barreiras, com sua vasta gama de variações tanto horizontal como vertical, incluindo desde arenitos conglomeráticos até argilas caulíníticas. Sotoposto à Formação Barreiras e ao horizonte de solos, ocorre um nível composto por material

Figura 70 – Seção vertical, gerada no *software* Strat3D, exibindo a correlação dos estratos a partir de poços de pesquisa e respectivos dados analíticos utilizados para o estudo.



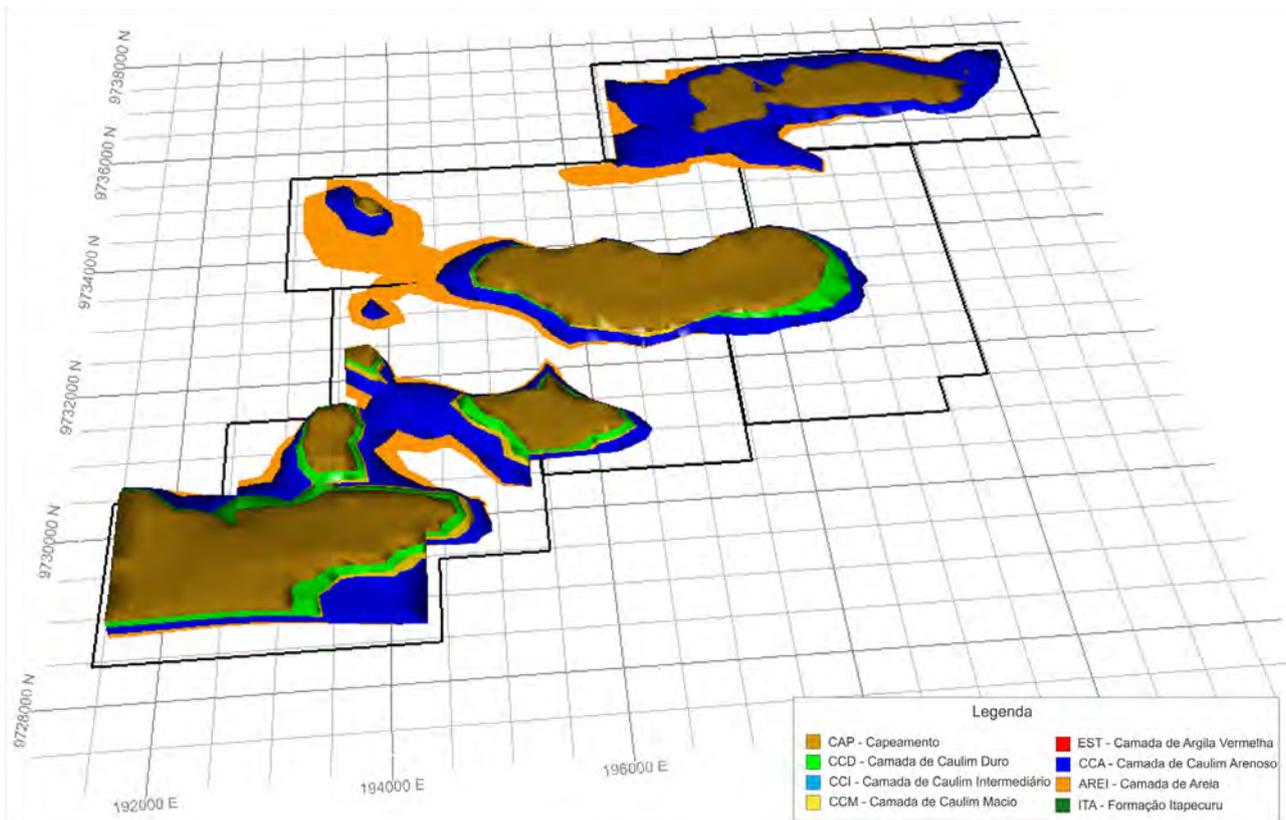
Fonte: Elaborado por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 71 – Perspectiva do modelo geológico desenvolvido para o bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 72 – Perspectiva do modelo geológico desenvolvido para o bloco Sul.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

caulinítico muito duro (CCD), com presença de manchas de arenito ferruginoso friável e de granulometria milimétrica. O topo desse nível, muitas vezes, é composto por produtos de processos de laterização. A transição do nível de caulim duro (CCD) para caulim de interesse econômico (CCM), comumente, é constituída por termos intermediários de caulim esbranquiçado (CCI), bastante contaminado com misturas de material argiloso, arenoso e laterítico. O horizonte caulinítico economicamente aproveitável possui, em média, 8 m de espessura e é composto, na porção superior, por caulim macio branco a esbranquiçado (CCM), com pouca contaminação, tornando-se mais arenoso em direção à base, onde predomina o caulim arenoso (CCA), associado a intercalações com areias cauliníticas claras. É bastante comum a presença de lentes de argila vermelha no pacote de minério, com espessuras de até 6 m.

Ainda se desconhece a verdadeira espessura do nível de caulim arenoso (CCA), bem como o limite inferior do pacote caulinítico, em razão de as pesquisas realizadas pela CPRM na década de 1970 não terem avançado a profundidades maiores que os níveis arenosos verificados, havendo ainda potencial de aumento significativo dos recursos nessa região.

A Camada de Caulim Macio (CCM), que caracteriza o nível superior do pacote mineralizado, possui, em média, 8 m de espessura e ocupa aproximadamente 39 km<sup>2</sup> no Bloco Norte (Figura 73). Já a porção centro-sul do Bloco Sul (Figura 74) apresenta uma área em torno de 4 km<sup>2</sup> e espessura média de 2 m. As maiores espessuras no Bloco Norte ocorrem na porção centro-noroeste, ao passo que no Bloco Sul estão no centro-sul das áreas. A camada tem comportamento tabular sub-horizontal, com mergulhos insignificantes – menores que 1 grau em média. Apresenta valor de índice de alvura média de 81% no Bloco Norte e de 77% no Bloco Sul, com rendimento em torno de 75%.

Posicionada na base do pacote mineralizado, a Camada de Caulim Arenoso (CCA) apresenta espessura média de 4,5 m, cobrindo uma área em torno de 42 km<sup>2</sup> no Bloco Norte (Figura 75) e de 22 km<sup>2</sup>

no Bloco Sul (Figura 76). Distribui-se em toda a extensão do Bloco Norte, enquanto no Bloco Sul está presente nas porções sudoeste, centro e nordeste. As maiores espessuras no Bloco Norte ocorrem na porção centro-sudoeste, ao passo que no Bloco Sul estão no sudoeste e centro. Comporta-se, da mesma forma como a camada CCM, de forma tabular sub-horizontal, com mergulhos insignificantes menores que 1 grau em média. Os valores de índice de alvura média giram em torno de 81% no Bloco Norte e de 77% no Bloco Sul, com rendimento em torno de 60% e 47%, respectivamente.

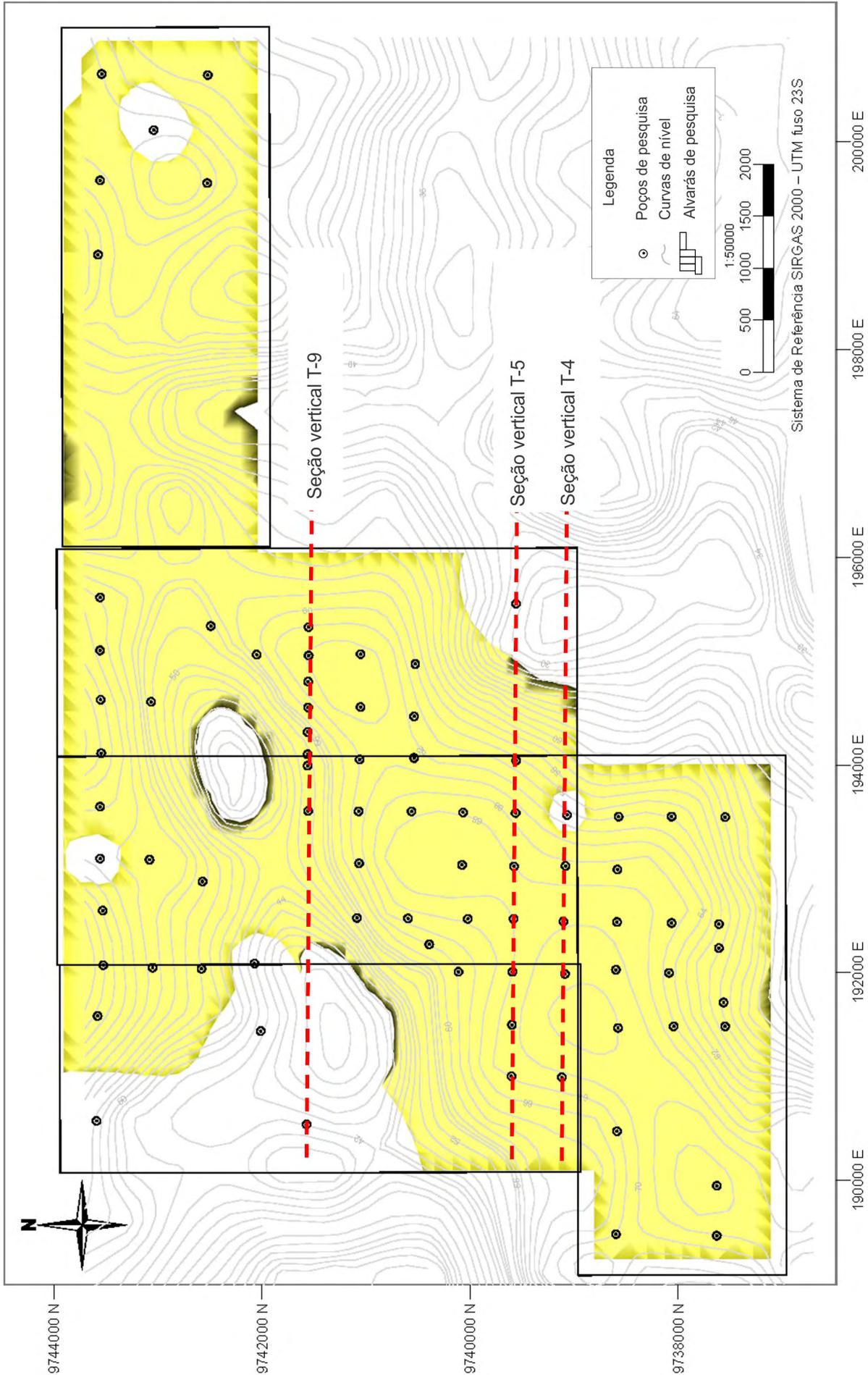
Como, em sua maioria, a perfuração dos poços de pesquisa foi interrompida antes de se alcançar o fim da Camada de Caulim Arenoso ou mesmo antes de seu início, permitiu-se, durante a geração dos modelos, a projeção dessa camada, assegurando-se, assim, a sua continuidade. Essa decisão deveu-se ao baixo grau geológico de complexidade do depósito, favorecendo a ideia da horizontalidade das camadas sedimentares (Figuras 73 a 82).

Os sólidos das camadas de minério (*wireframes*) de cada bloco de estudo foram salvos em um único arquivo, denominado Wire\_RioCapim\_CPRM, com data de congelamento em 29.01.2018. Nesse arquivo, a coluna STRATUM refere-se aos tipos de minérios modelados no presente estudo (CCM e CCA).

A estimativa dos recursos foi desenvolvida por meio do método de IQD (inverso do quadrado da distância), haja vista que as tentativas de estimativa por Krigagem ordinária não produziram resultados satisfatórios. Certamente, o insucesso da Krigagem deve-se à fatores como irregularidade da malha de sondagem e reduzido número de furos de sonda ou poços de pesquisa nas áreas estudadas.

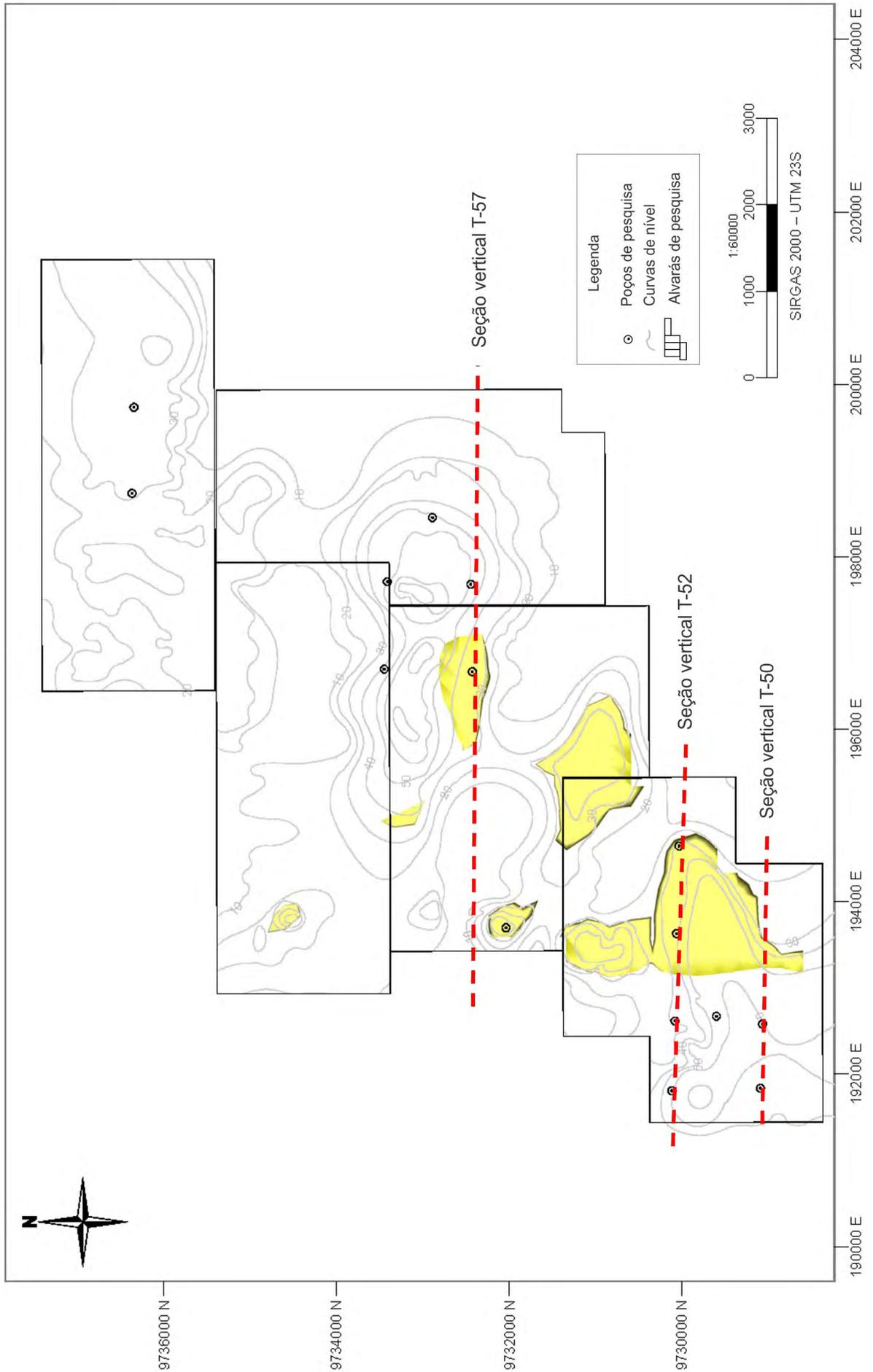
O processo de estimativa envolveu análise estatística dos dados, regularização das amostras e geração de modelos de blocos para cada tipo de minério. O método de IQD permitiu a estimativa do índice de alvura e valor de rendimento para as camadas de caulim economicamente importantes delineadas na modelagem geológica, ou seja, Camada de Caulim Macio (CCM) e Camada de Caulim Arenoso (CCA).

Figura 73 – Mapa em planta do bloco Norte, destacando-se a camada de caulim macio modelada e as posições das seções verticais.



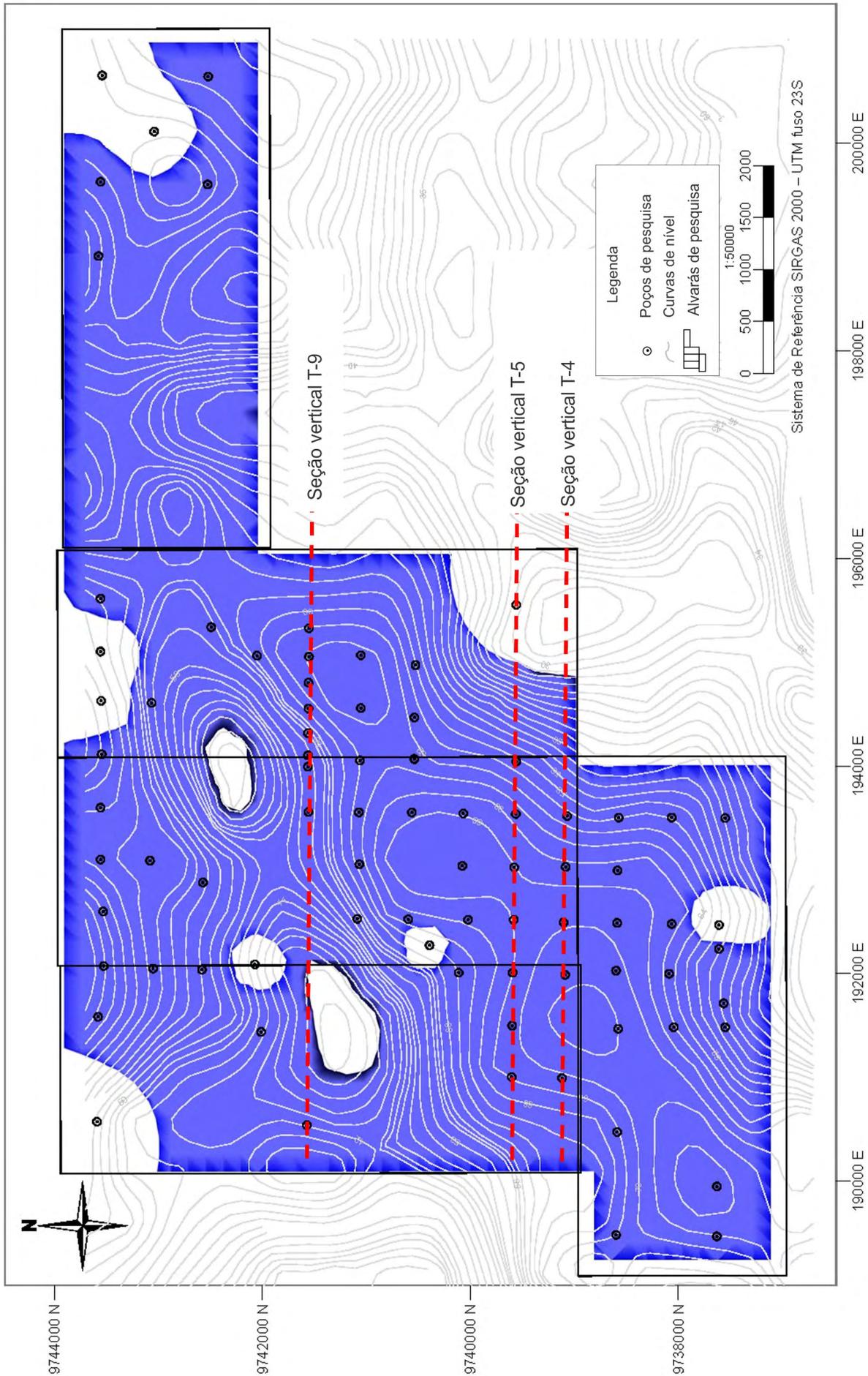
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 74 – Mapa em planta do bloco Sul, destacando-se a camada de caulim macio modelada e as posições das seções verticais.



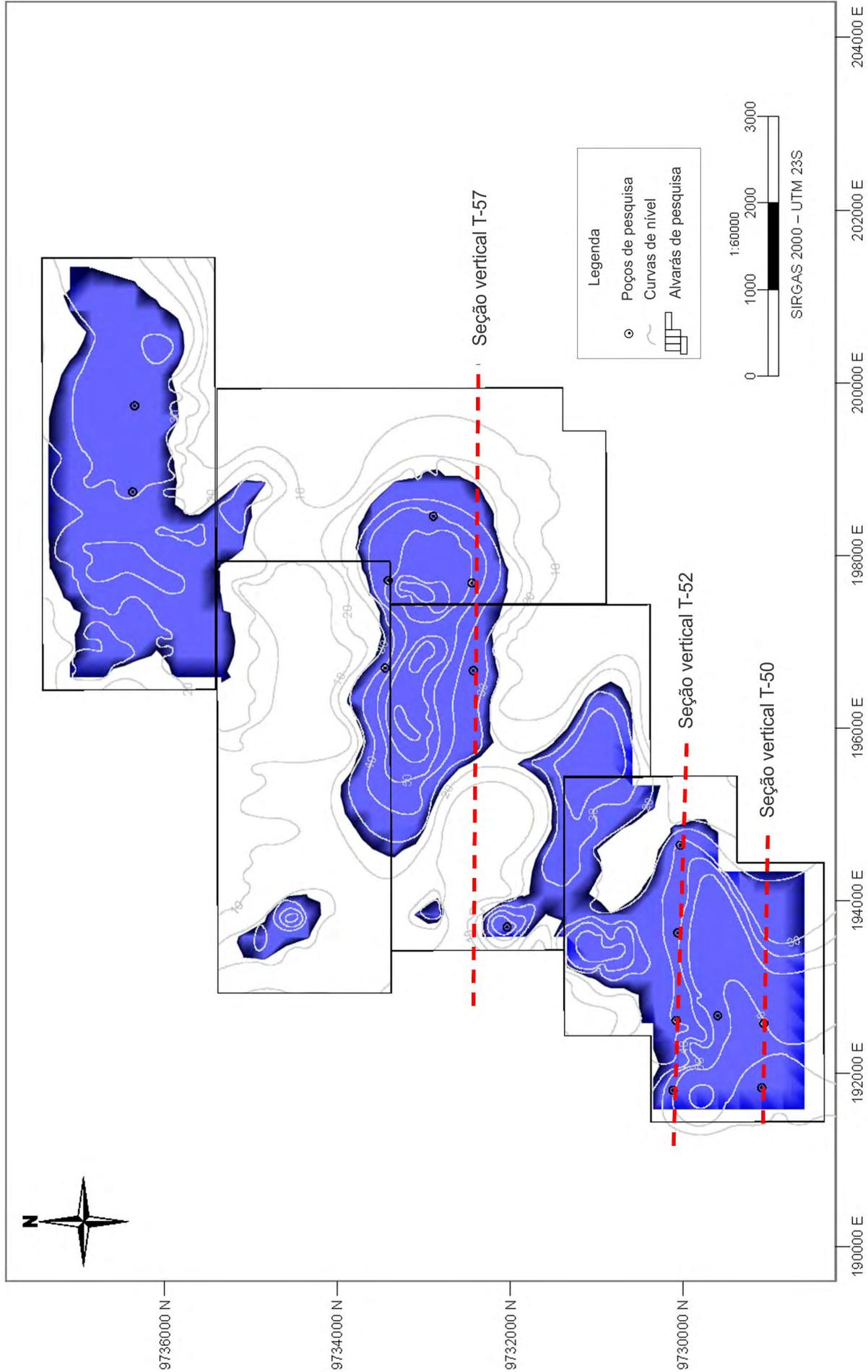
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 75 – Mapa em planta do bloco Norte, destacando-se a camada de caulim arenoso modelada e as posições das seções verticais.



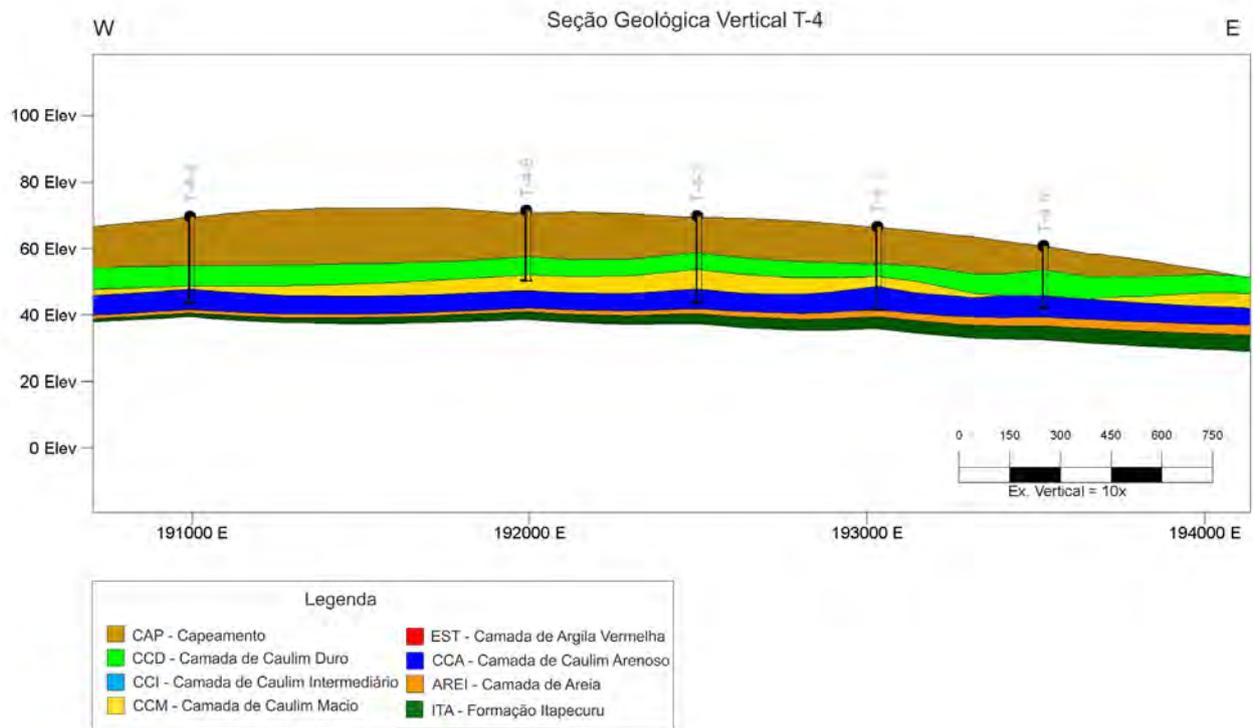
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 76 – Mapa em planta do bloco Sul, destacando-se a camada de caulim arenoso modelada e as posições das seções verticais.



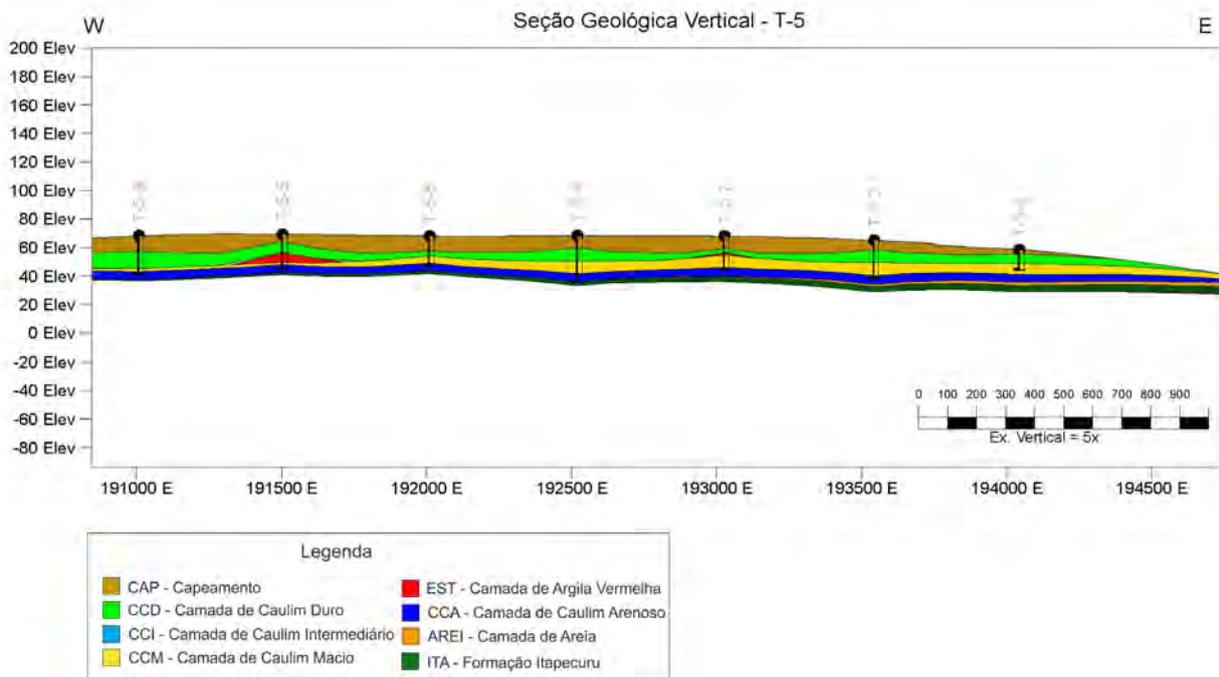
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 77 – Seção geológica vertical T-4 (bloco Norte).



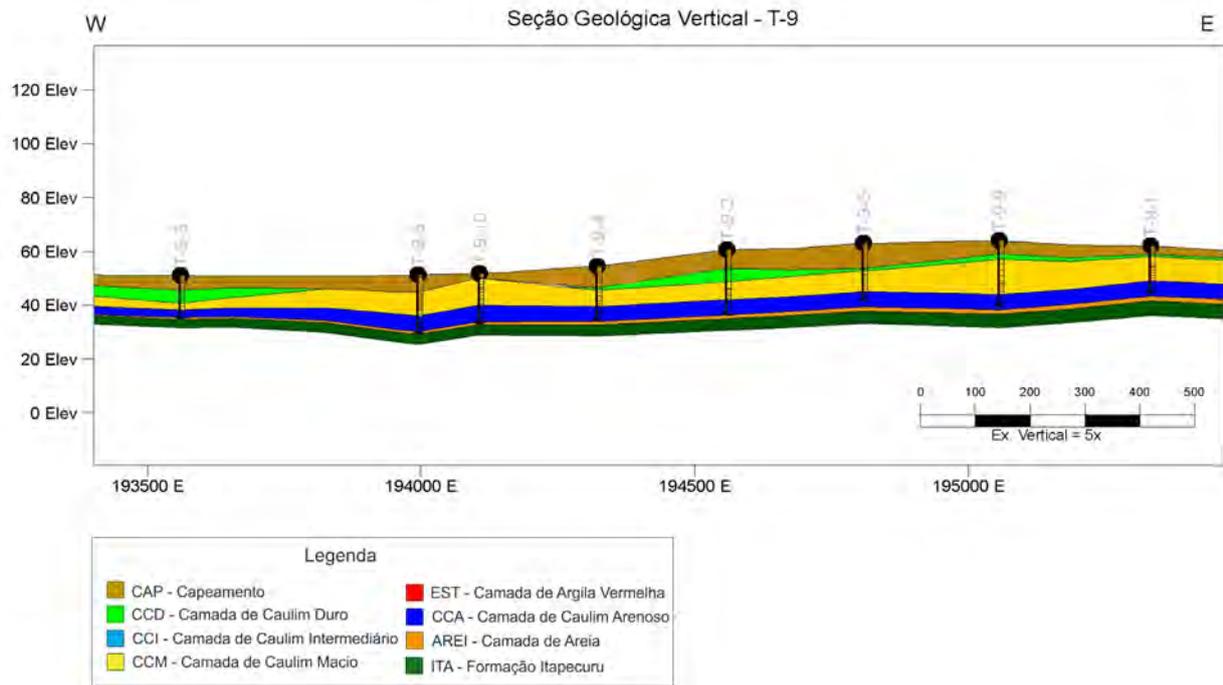
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 78 – Seção geológica vertical T-5 (bloco Norte).



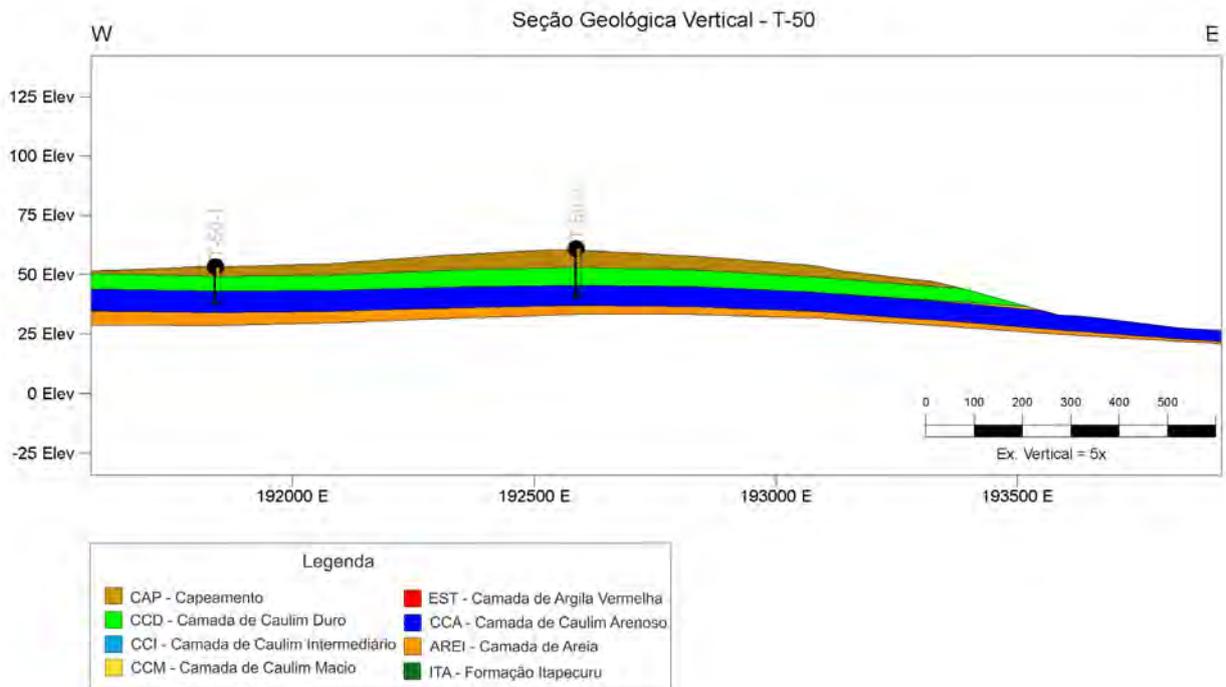
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 79 – Seção geológica vertical T-9 (bloco Norte).



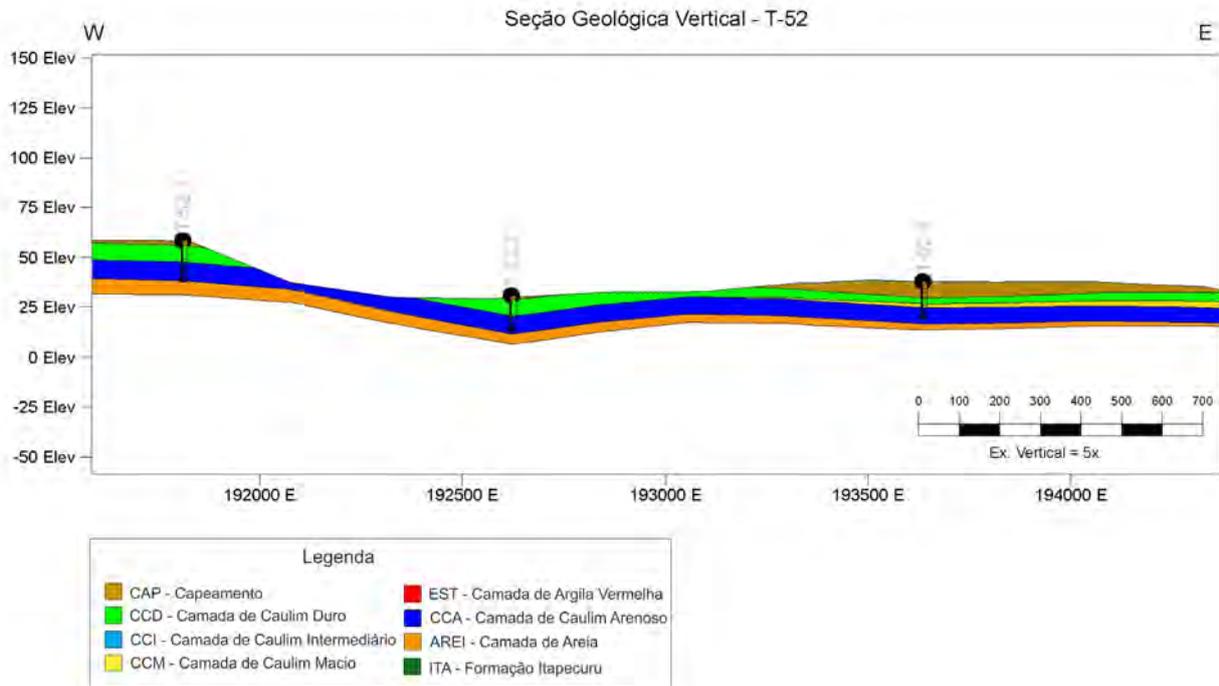
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 80 – Seção geológica vertical T-50 (bloco Sul).



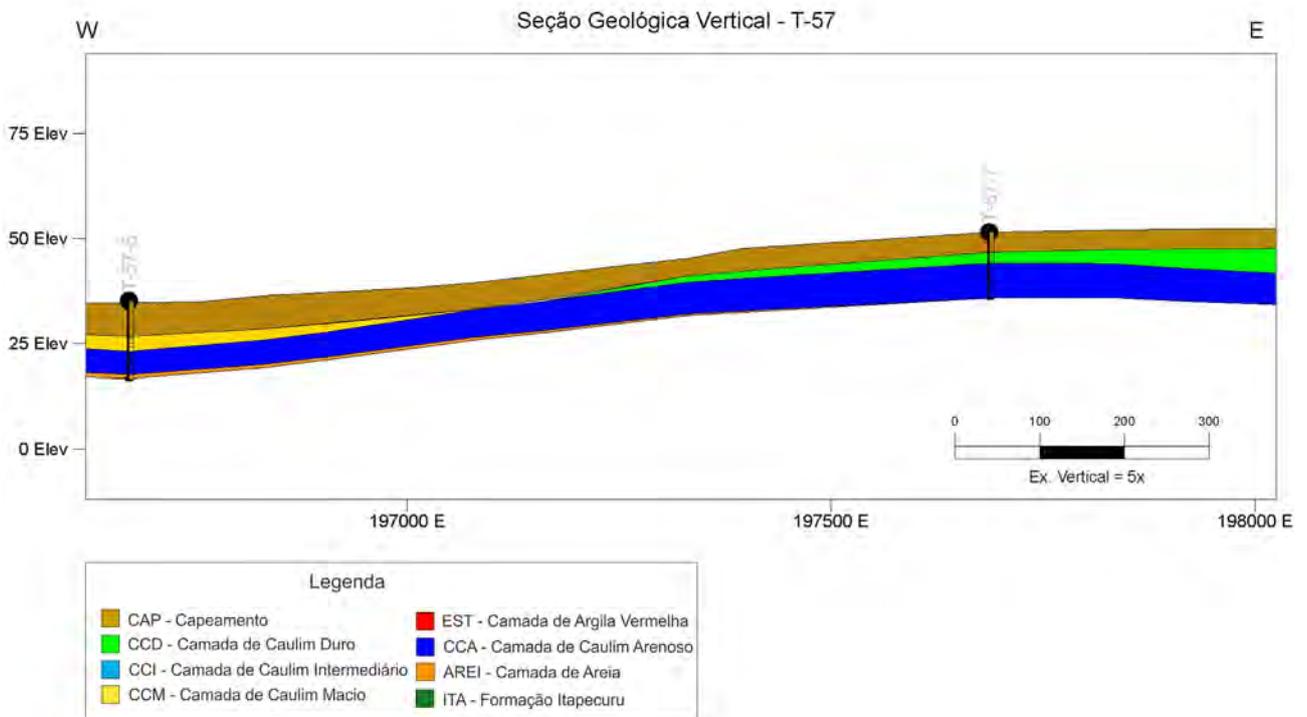
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 81 – Seção geológica vertical T-52 (bloco Sul).



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 82 – Seção geológica vertical T-57 (bloco Sul).



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

## 12- ESTIMATIVAS DE RECURSOS

A estimativa dos recursos se desenvolveu por meio do método Inverso do Quadrado da Distância (IQD), haja vista que as tentativas de estimativa por krigagem ordinária não produziram resultados satisfatórios, devido a fatores tais como irregularidade da malha de sondagem e reduzido número de furos de sonda ou de poços de pesquisa nas áreas estudadas.

O referido processo envolveu análise estatística dos dados, regularização das amostras e geração de modelos de blocos para cada tipo de minério. O método IQD permitiu a estimativa do índice de alvura e valor de rendimento para as camadas de caulim economicamente importantes delineadas na modelagem geológica, ou seja, Camada de Caulim Macio (CCM) e Camada de Caulim Arenoso (CCA).

A partir dos modelos de blocos estimados, os recursos foram parametrizados por índice de alvura, espessura de camada e espessura de capeamento ou isocobertura. Para cada um desses temas foram gerados mapas, que possibilitaram clara visualização espacial do depósito de caulim da região do rio Capim em seus principais aspectos.

Procederam-se, ainda, a validações a partir da comparação entre o índice de alvura das amostras compostas e o índice de alvura dos modelos de blocos.

### 12.1- Análise Exploratória de Dados

A análise estatística permite inferência sobre distribuições, modas e valores anômalos das variáveis em foco, de modo a auxiliar na compreensão de limites e distribuição de teores. Para tanto, amostras originais e compostas foram estudadas sob o enfoque da estatística clássica. O estudo estatístico foi totalmente desenvolvido no *software* Datamine/Studio 3, versão 3.22.84.0.

#### 12.1.1 - Compostas

A compositagem consiste em regularizar todas as amostras ao mesmo volume, com o objetivo de se atingir uma amostragem uniforme, reduzindo, dessa forma, o impacto da variabilidade aleatória e minimizando o efeito de média amostral.

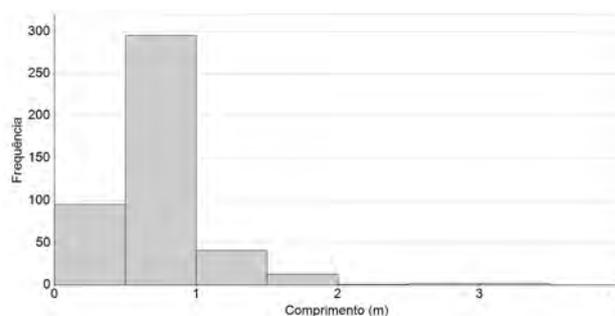
O processo de regularização das amostras teve início com a verificação, em ambos os blocos de estudo (Norte e Sul), da quantidade de amostras inseridas nos corpos de minério modelados. No Bloco Norte, do total de 509 amostras somente 266 estão contidas nos corpos de minério; enquanto no Bloco Sul são 44 amostras de um total de 45.

Em seguida, foram gerados histogramas de frequências (Figuras 83 e 84) dos comprimentos dos intervalos das amostras originais inseridas nos corpos de minério, quando se pôde verificar que o intervalo de 0,5 a 1 m é o mais recorrente no Bloco Norte, enquanto no Bloco Sul o intervalo entre 1 a 1,5 m é o que mais ocorre. Com base nesse aspecto, três tamanhos possíveis de amostras compostas foram testados para os dois blocos (Tabelas 3 e 4).

O resultado da comparação entre os tamanhos de amostras indicou qual seria o ideal para a população de dados analisados. Essa escolha teve como base o atendimento à condição de menor intervalo de amostra, sem que o número de amostras do banco original fosse excedido.

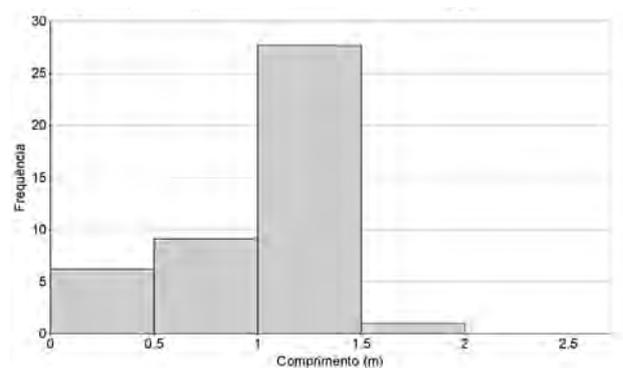
Nesses termos, tanto para o Bloco Norte quanto para o Bloco Sul a regularização das amostras foi realizada utilizando-se o valor de 1 m como o tamanho ideal de amostra composta. O processo produziu 320 amostras para o Bloco Norte e 41 para o Bloco Sul.

Figura 83 – Histogramas de frequência com distribuição lognormal para os comprimentos dos intervalos das amostras originais inseridas nos corpos de minério do bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 84 – Histogramas de frequência com distribuição lognormal para os comprimentos dos intervalos das amostras originais inseridas nos corpos de minério do bloco Sul.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Após a regularização das amostras, procedeu-se à validação visual do resultado em ambiente Strat3D, objetivando assegurar que os limites litológicos e analíticos das amostras originais tinham sido respeitados.

### 12.1.2 - Teores

Procedeu-se à análise dos parâmetros analíticos selecionados de cada uma das camadas de caulim economicamente importantes, com base nos resultados estatísticos obtidos a partir das amostras originais e compostas.

Tais parâmetros são aqueles que qualificam o caulim segundo os critérios internacionais da indústria de papel e de revestimentos para os principais usos desse elemento, quais sejam: índice de alvura crua ou reflectância, rendimento em peneiras de 325 mesh e distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 µm.

Embora estes não sejam os únicos parâmetros utilizados atualmente para qualificação do caulim, por este estudo tratar-se de um resgate de dados analógicos bastante antigos, os parâmetros analisados aqui são praticamente os únicos disponíveis.

#### 12.1.2.1 - Bloco Norte

Os resultados estatísticos indicam que, no Bloco Norte, a Camada de Caulim Macio possui índice de alvura média de 80,82%, com rendimento médio de 75,41%. A distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 µm é de 48,97%, indicando a presença de algumas lentes arenosas no minério, as quais são responsáveis também por va-

lores mais baixos de alvura, conforme se observa no limite inferior desse parâmetro, que é de 51,95%.

Os dados a respeito da Camada de Caulim Arenoso dão conta de se tratar de um material com índice de alvura crua média de 81,12%, com rendimento médio de 47,49%, valor proeminentemente inferior ao da Camada de Caulim Macio, em função do maior conteúdo de areia. O resultado da distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 µm é de 43,37%, ligeiramente inferior à Camada de Caulim Macio, reflete a maior quantidade de areia nessa camada.

Nos dois conjuntos de dados, observa-se ínfima diferença entre os valores originais e os obtidos a partir das compostas, o que serve como validação adicional dos processos executados neste estudo (Tabelas 5 e 6; Figuras 85 a 92).

#### 12.1.2.2 - Bloco Sul

A análise estatística das amostras do Bloco Sul refletem algumas variações nos parâmetros analisados em relação aos dados do Bloco Norte, principalmente no que se refere a índice de alvura e percentual de partículas com diâmetro inferior a 2 µm. Os dados estatísticos da Camada de Caulim Macio expressam um índice de alvura médio de 78,43%, ligeiramente inferior ao valor registrado para o Bloco Norte. Em relação ao rendimento médio, os resultados foram bastante semelhantes entre os dois blocos, havendo maior diferença entre o percentual de partículas finas. Nesse bloco se observa maior quantidade de sedimentos finos na Camada de Caulim Macio, indicando menor presença de lentes arenosas.

Tabela 3 – Comparação entre os tamanhos de amostras originais e os tamanhos de amostras compostas testados para o bloco Norte.

Processo	Comprimento (m)	Alvura Média (%)	Comprimento Mínimo (m)	Comprimento Médio (m)	Comprimento Máximo (m)	Intervalo (m)	Compostas (Nº)
Assay		81.70	0	0.90	7.00	7.00	345
Processo 1	0,5m	81.80	0.27	0.49	0.50	0.23	619
Processo 2	1m	81.82	0.50	0.96	1.00	0.50	320
Processo 3	1,5m	81.68	0.77	1.42	1.50	0.73	270

Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 4 – Comparação entre os tamanhos de amostras originais e os tamanhos de amostras compostas testados para o bloco Sul.

Processo	Comprimento (m)	Alvura Média (%)	Comprimento Mínimo (m)	Comprimento Médio (m)	Comprimento Máximo (m)	Intervalo (m)	Compostas (Nº)
Assay		78.00	0.0029	1.30	9.70	9.70	44
Processo 1	0.5m	77.56	0.30	0.495	0.50	0.20	77
Processo 2	1m	77.64	0.50	0.98	1.00	0.50	41
Processo 3	1.5	77.49	0.80	1.45	1.50	0.70	30

Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 5 – Resultados estatísticos obtidos a partir de dados de amostras originais e compostas da camada de caulim macio do bloco Norte.

<b>Bloco Norte – Camada de Caulim Macio (CCM)</b>			
<b>Amostras originais</b>			
<b>Variáveis</b>	<b>Alvura (%)</b>	<b>Rendimento -320 # (%)</b>	<b>Distribuição Ponderal de Partículas com Diâmetro Inferior a 2 µm (%)</b>
Total de Amostras	309.00	265.00	269.00
Mínimo	51.95	16.30	23.24
Máximo	91.50	99.16	94.70
Média	80.82	75.41	48.97
Variância	33.48	305.56	106.72
Desvio Padrão	5.79	17.48	10.33
Coefficiente de Variação	0.07	0.23	0.21
Skewness	-1.43	-0.97	0.77
Kurtosis	3.44	0.73	1.33
5% Percentil	69.40	42.70	34.70
10% Percentil	72.86	51.39	37.50
Quantil 1	78.00	65.40	42.10
Mediana	81.90	76.90	47.20
Quantil 3	84.60	89.18	54.50
90% Percentil	86.60	95.20	61.10
95% Percentil	88.40	96.90	68.30
<b>Amostras compostas</b>			
<b>Variáveis</b>	<b>Alvura (%)</b>	<b>Rendimento -320 # (%)</b>	<b>Distribuição Ponderal de Partículas com Diâmetro Inferior a 2 µm (%)</b>
Total de Amostras	282.00	243.00	241.00
Mínimo	51.95	16.30	23.24
Máximo	91.50	99.16	94.70
Média	80.84	75.44	49.05
Variância	30.22	279.80	98.70
Desvio Padrão	5.50	16.73	9.94
Coefficiente de Variação	0.07	0.22	0.20
Skewness	-1.33	-0.99	0.69
Kurtosis	3.24	1.04	1.51
5% Percentil	70.96	45.30	34.50
10% Percentil	73.36	53.52	38.80
Quantil 1	78.50	65.94	42.50
Mediana	81.98	77.90	48.00
Quantil 3	84.30	88.90	55.19
90% Percentil	86.40	94.51	61.60
95% Percentil	88.18	96.84	66.00

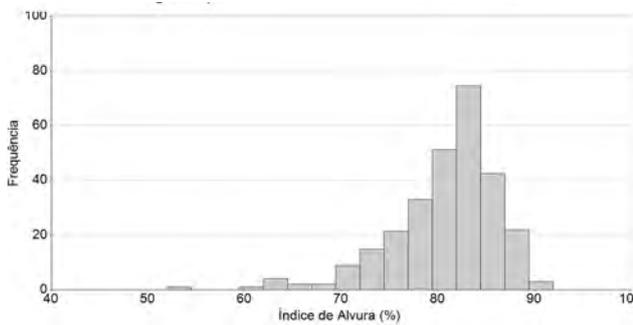
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 6 – Resultados estatísticos obtidos a partir de dados de amostras originais e compostas da camada de caulim arenoso do bloco Norte

<b>Bloco Norte – Camada de Caulim Arenoso (CCA)</b>			
<b>Amostras originais</b>			
<b>Variáveis</b>	<b>Alvura (%)</b>	<b>Rendimento -320 # (%)</b>	<b>Distribuição Ponderal de Partículas com Diâmetro Inferior a 2 µm (%)</b>
Total de Amostras	141.00	124.00	125.00
Mínimo	63.10	11.02	24.61
Máximo	90.50	94.10	69.00
Média	81.12	47.49	43.37
Variância	25.99	325.07	42.60
Desvio Padrão	5.10	18.03	6.53
Coefficiente de Variação	0.06	0.38	0.15
Skewness	-0.93	0.27	0.57
Kurtosis	1.02	-0.03	2.37
5% Percentil	68.65	21.96	33.10
10% Percentil	73.40	28.48	37.30
Quantil 1	78.80	36.44	39.40
Mediana	82.10	50.49	43.10
Quantil 3	85.00	62.47	46.60
90% Percentil	86.70	77.63	51.00
95% Percentil	87.50	89.62	57.80
<b>Amostras compostas</b>			
<b>Variáveis</b>	<b>Alvura (%)</b>	<b>Rendimento -320 # (%)</b>	<b>Distribuição Ponderal de Partículas com Diâmetro Inferior a 2 µm (%)</b>
Total de Amostras	116.00	103.00	106.00
Mínimo	63.45	11.02	24.61
Máximo	90.48	93.82	64.70
Média	81.17	47.58	43.16
Variância	23.67	276.86	37.03
Desvio Padrão	4.87	16.64	6.09
Coefficiente de Variação	0.06	0.35	0.14
Skewness	-0.93	0.25	0.34
Kurtosis	1.20	0.22	2.06
5% Percentil	73.00	19.75	33.10
10% Percentil	74.20	25.20	36.64
Quantil 1	78.74	34.90	39.60
Mediana	82.14	46.90	43.13
Quantil 3	84.78	58.40	46.50
90% Percentil	86.30	66.43	49.60
95% Percentil	87.50	73.90	53.30

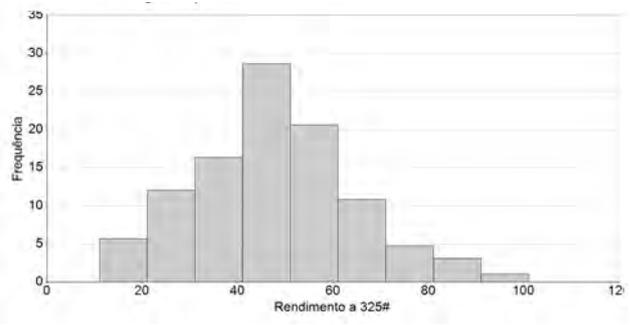
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 85 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para índice de alvura da camada de caulim macio do bloco Norte.



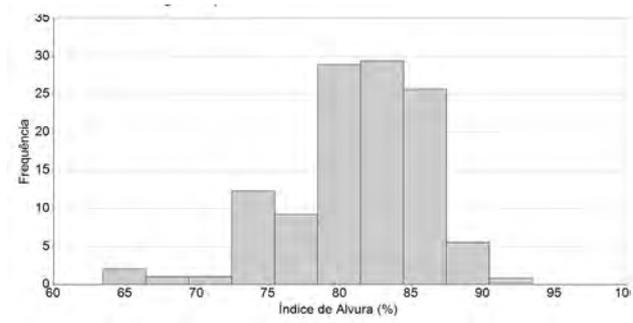
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 88 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para rendimento em peneiras de 325 mesh da camada de caulim arenoso do bloco Norte.



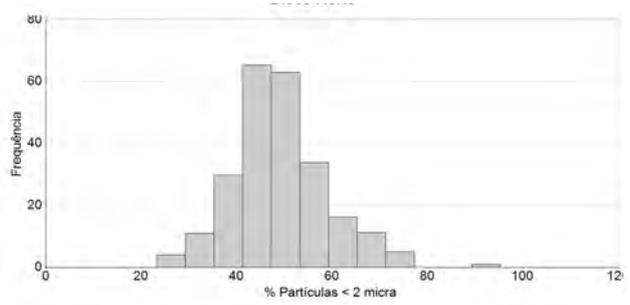
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 86 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para índice de alvura da camada de caulim arenoso do bloco Norte.



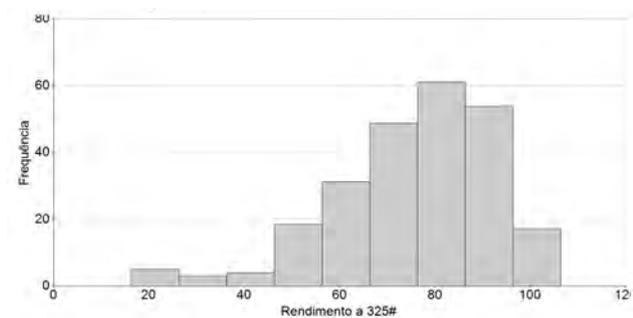
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 89 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 µm da camada de caulim macio do bloco Norte.



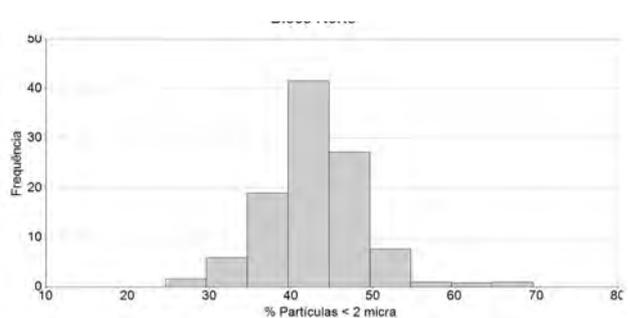
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 87 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para rendimento em peneiras de 325 mesh da camada de caulim macio do bloco Norte.



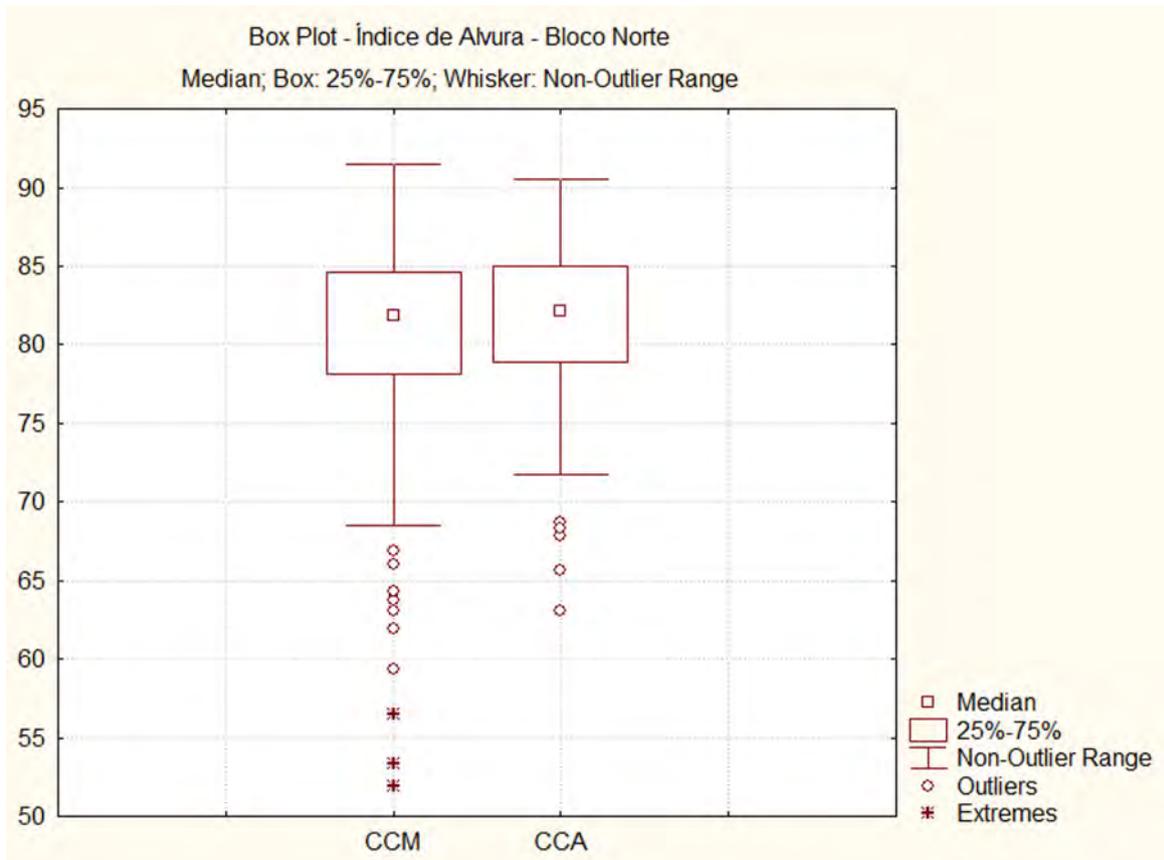
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 90 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 µm da camada de caulim arenoso do bloco Norte.



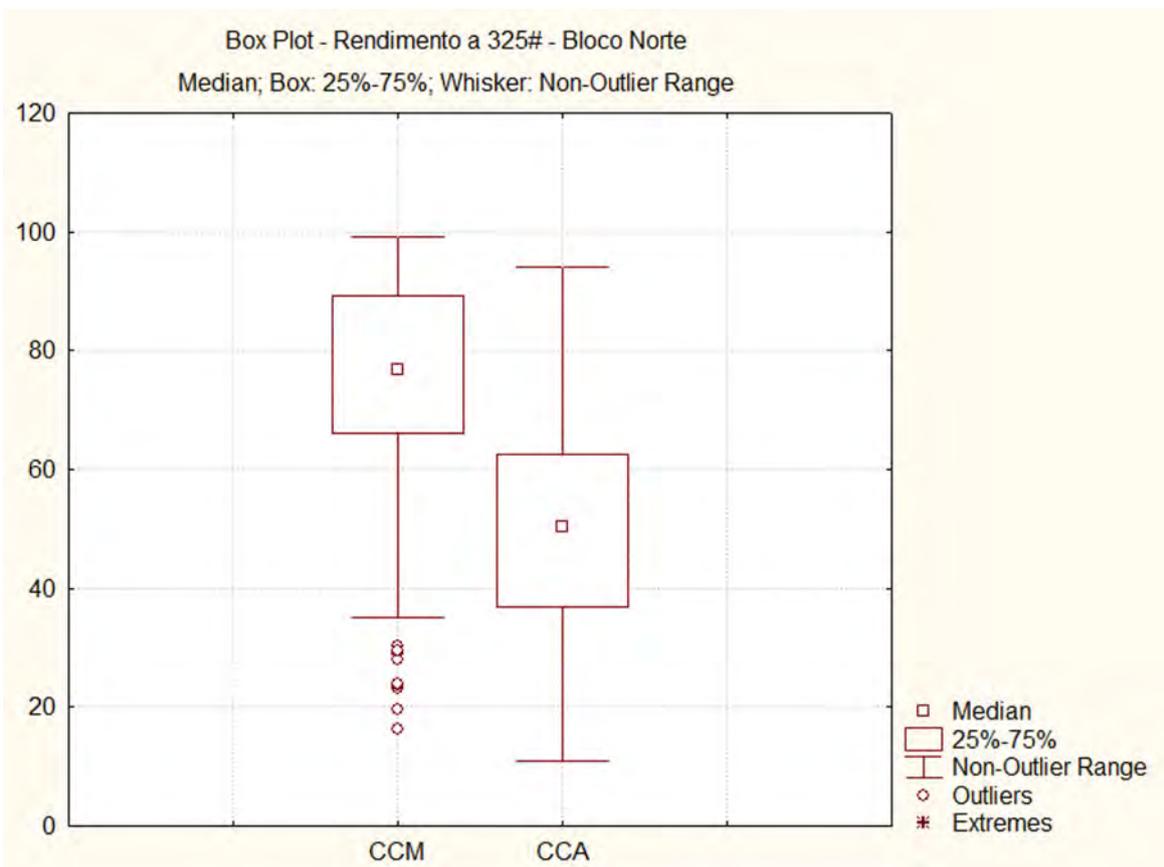
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 91 – Box plot para índice de alvura dos dois tipos de minério do bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 92 – Box plot para rendimento em peneiras de 325 mesh dos dois tipos de minério do bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Assim como no Bloco Norte, as diferenças entre os valores originais e os obtidos a partir das compostas foram insignificantes, mais uma vez validando os processos realizados neste trabalho.

Essas diferenças são verificadas com maior impacto na Camada de Caulim Arenoso, em que o índice de alvura atinge 87,50%, com rendimento médio de 47,14% (Tabelas 7 e 8; Figuras 93 a 100).

### 12.1.3 - Densidade

Segundo Yamamoto (2001), densidade aparente, peso específico ou fator tonelagem é um dado de suma importância, pois o erro em sua determinação reflete-se na mesma proporção no cálculo das reservas. Normalmente, esse parâmetro não é determinado sistematicamente durante a pesquisa mineral, mas em alguns poucos pontos da jazida, os quais são utilizados para se calcular um valor médio a ser aplicado para todo o depósito.

Neste estudo, a realização de ensaios de determinação das densidades aparentes de cada tipo de material geológico presente no contexto do depósito do Projeto Rio Capim foi inviabilizada, devido à inexistência de testemunhos de poços de pesquisa e de sondagens originais produzidos pelo projeto anterior nos anos de 1970. Embora nesse projeto tenham sido feitas determinações de peso específico do material escavado nos poços, não há especificações a respeito da metodologia empregada nem dos tipos de materiais testados. De acordo com o relatório final de pesquisa (CPRM, 1973a), para o cálculo de tonelagem de minério adotou-se o valor de 2,0 t/m<sup>3</sup> para todo o material caulínico aproveitável.

Considerando a falta de informações seguras a respeito de estudos precisos de densidade aparente dos materiais geológicos avaliados neste estudo, optou-se pela utilização dos valores de referência adotados pela Imerys Rio Capim Caulim S.A. na avaliação de seus depósitos de caulim, uma vez que essa empresa desenvolve trabalhos em áreas circunvizinhas às da CPRM. Entretanto, apenas os valores das camadas economicamente aproveitáveis foram obtidos, tendo em vista a dificuldade para determinação de densidade aparente dos materiais friáveis que fazem parte da cobertura estéril do minério. Assim, os valores de referência utilizados para cada tipo de minério caulínico são os seguintes: Caulim Macio = 1,55; Caulim Arenoso = 1,64.

### 12.2 - Modelos de Blocos

Nessa etapa, os sólidos tridimensionais das camadas de caulim gerados durante a modelagem geológica foram preenchidos com blocos regulares,

visando ao cálculo dos recursos presentes nas áreas investigadas.

Em malhas regulares, as dimensões dos blocos não devem ser inferiores a um quarto (1/4) da malha de sondagem. Neste estudo, os tamanhos de blocos que melhor se ajustaram aos modelos geológicos para os eixos X, Y e Z foram, para o Bloco Norte, de 170 x 170 x 0,5 m e, para o Bloco Sul, 250 x 250 x 0,5 m (Tabela 9).

Assim como para a modelagem, procedeu-se à geração de blocos no *software* Strat3D, o qual se diferencia de outros programas semelhantes pela construção de modelos de prismas, em que cada bloco possui coordenadas de vértices e de centro das faces. Como resultado, tem-se um modelo de blocos mais fidedigno ao sólido mineralizado.

Para o Bloco Norte, o tamanho de blocos estabelecido foi de 170 x 170 x 0,5 m, com fator de sub-blocagem de uma vez, ao passo que, no Bloco Sul, por este apresentar malha com espaçamento maior, o tamanho foi de 250 x 250 x 0,5 m, utilizando-se o mesmo fator de sub-blocagem de duas vezes (Figuras 101 e 102).

Após a geração dos modelos de blocos, procedeu-se à comparação entre o volume do modelo de blocos e o volume dos sólidos gerados na modelagem geológica (Tabela 10). Tal comparação objetiva verificar a aderência entre os dois modelos, a qual é intrinsecamente influenciada pelo fator de sub-blocagem estabelecido, levando-se em consideração o nível de complexidade, a geometria e as dimensões do depósito. Comumente, aceita-se uma tolerância de até 5% de diferença entre os volumes. Entretanto, as diferenças obtidas para o Bloco Sul foram superiores a esse valor. Tal discrepância ocorre em função da maior irregularidade da malha de sondagem utilizada e o reduzido número de furos nesse bloco. Além disso, a modelagem gerou alguns corpos pequenos, os quais não puderam ser preenchidos com blocos, devido às dimensões do bloco utilizado. Dessa forma, a única solução para corrigir essa discrepância seria reduzir o tamanho do bloco utilizado, entretanto, essa atitude iria de encontro à premissa citada, cujo tamanho do bloco não pode ser inferior a um quarto (1/4) da malha de sondagem (Figuras 103 a 112).

### 12.3 - Metodologia de Estimativa e Classificação de Recursos

De acordo com o Código JORC (JORC, 2012), para que os recursos possam ser classificados, segundo o grau de confiabilidade, em medidos, indicados e inferidos, deve-se atender a uma série mínima de requisitos. Entretanto, neste estudo, a obediência a tais requisitos

Tabela 7 – Resultados estatísticos obtidos a partir de dados de amostras originais e compostas da camada de caulim macio do bloco Sul.

<b>Bloco Sul – Camada de Caulim Macio (CCM)</b>			
<b>Amostras originais</b>			
<b>Variáveis</b>	<b>Alvura (%)</b>	<b>Rendimento -320 # (%)</b>	<b>Distribuição Ponderal de Partículas com Diâmetro Inferior a 2 µm (%)</b>
Total de Amostras	12.00	13.00	10.00
Mínimo	64.65	44.39	42.00
Máximo	85.70	98.32	67.00
Média	78.43	74.58	55.74
Variância	42.88	352.92	67.82
Desvio Padrão	6.55	18.79	8.24
Coefficiente de Variação	0.08	0.25	0.15
Skewness	-0.67	-0.48	-0.36
Kurtosis	-0.64	-1.27	-1.24
5% Percentil	64.65	44.39	42.00
10% Percentil	64.65	44.39	42.00
Quantil 1	71.83	48.37	46.10
Mediana	79.20	80.04	57.65
Quantil 3	84.15	87.91	63.20
90% Percentil	85.50	97.32	64.40
95% Percentil	85.50	97.32	67.00
<b>Amostras compostas</b>			
<b>Variáveis</b>	<b>Alvura (%)</b>	<b>Rendimento -320 # (%)</b>	<b>Distribuição Ponderal de Partículas com Diâmetro Inferior a 2 µm (%)</b>
Total de Amostras	12.00	12.00	11.00
Mínimo	64.65	46.16	43.64
Máximo	85.60	97.32	65.40
Média	78.25	74.20	55.01
Variância	39.27	352.50	64.48
Desvio Padrão	6.27	18.78	8.03
Coefficiente de Variação	0.08	0.25	0.15
Skewness	-0.69	-0.50	-0.30
Kurtosis	-0.48	-1.37	-1.52
5% Percentil	64.65	46.16	43.64
10% Percentil	64.65	46.16	43.64
Quantil 1	72.18	48.01	45.40
Mediana	80.15	80.32	56.68
Quantil 3	82.85	87.59	60.08
90% Percentil	85.54	94.77	63.52
95% Percentil	85.54	94.77	63.52

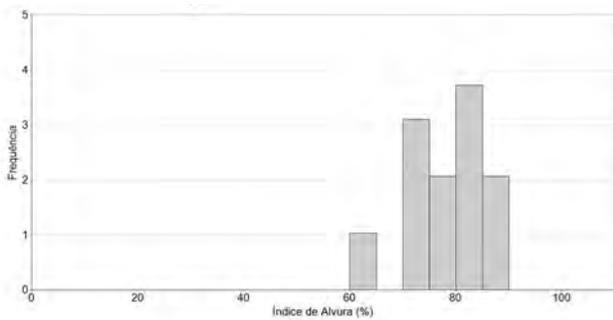
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 8 – Resultados estatísticos obtidos a partir de dados de amostras originais e compostas da camada de caulim arenoso do bloco Sul.

<b>Bloco Sul – Camada de Caulim Arenoso (CCA)</b>			
<b>Amostras originais</b>			
<b>Variáveis</b>	<b>Alvura (%)</b>	<b>Rendimento -320 # (%)</b>	<b>Distribuição Ponderal de Partículas com Diâmetro Inferior a 2 µm (%)</b>
Total de Amostras	32.00	31.00	29.00
Mínimo	67.25	16.50	31.10
Máximo	87.70	95.26	76.20
Média	77.37	62.76	57.07
Variância	25.09	478.98	148.58
Desvio Padrão	5.01	21.89	12.19
Coefficiente de Variação	0.07	0.35	0.21
Skewness	-0.06	-0.20	-0.33
Kurtosis	-0.33	-1.04	-0.53
5% Percentil	69.60	29.98	31.10
10% Percentil	70.10	36.13	39.80
Quantil 1	73.60	43.52	47.70
Mediana	78.25	59.88	58.90
Quantil 3	80.60	75.63	71.50
90% Percentil	85.70	88.62	73.60
95% Percentil	87.50	90.32	76.20
<b>Amostras compostas</b>			
<b>Variáveis</b>	<b>Alvura (%)</b>	<b>Rendimento -320 # (%)</b>	<b>Distribuição Ponderal de Partículas com Diâmetro Inferior a 2 µm (%)</b>
Total de Amostras	29.00	29.00	27.00
Mínimo	67.25	16.50	31.10
Máximo	87.56	95.26	75.35
Média	77.18	64.47	57.50
Variância	24.09	405.44	140.68
Desvio Padrão	4.91	20.14	11.86
Coefficiente de Variação	0.06	0.31	0.21
Skewness	-0.01	-0.30	-0.39
Kurtosis	-0.43	-0.65	-0.49
5% Percentil	67.25	16.50	31.10
10% Percentil	70.10	36.74	39.80
Quantil 1	72.60	46.21	50.00
Mediana	78.30	61.82	57.05
Quantil 3	79.40	83.47	67.55
90% Percentil	83.20	90.32	72.57
95% Percentil	86.60	92.98	73.60

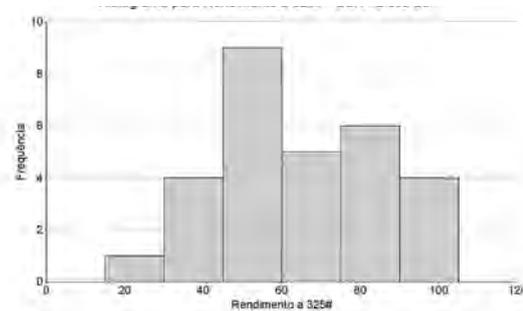
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 93 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para índice de alvura da camada de caulim macio do bloco Sul.



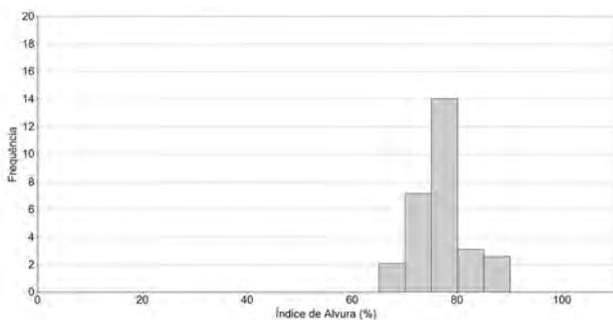
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 96 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para rendimento da camada de caulim arenoso do bloco Sul.



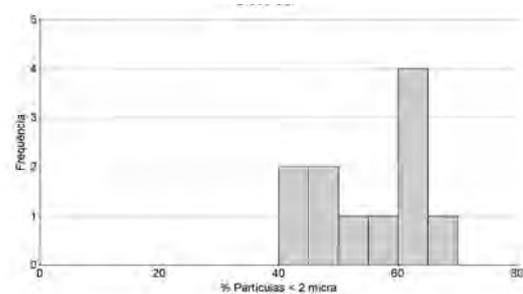
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 94 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para índice de alvura da camada de caulim arenoso do bloco Sul.



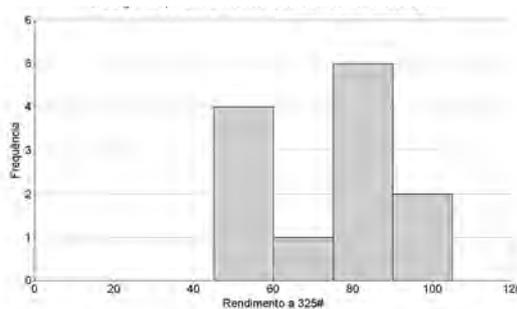
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 97 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 µm da camada de caulim macio do bloco Sul.



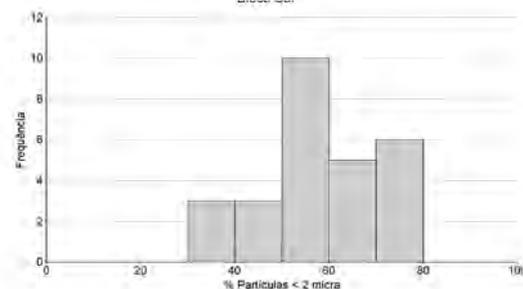
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 95 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para rendimento da camada de caulim macio do bloco Sul.



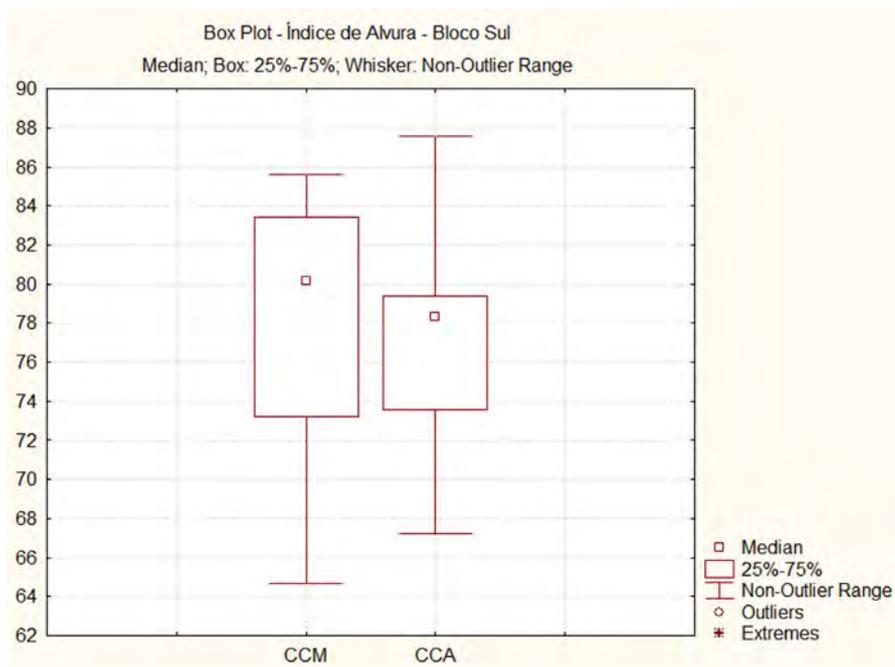
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 98 – Histograma de frequência com distribuição lognormal para distribuição ponderal de partículas com diâmetro inferior a 2 µm da camada de caulim arenoso do bloco Sul.



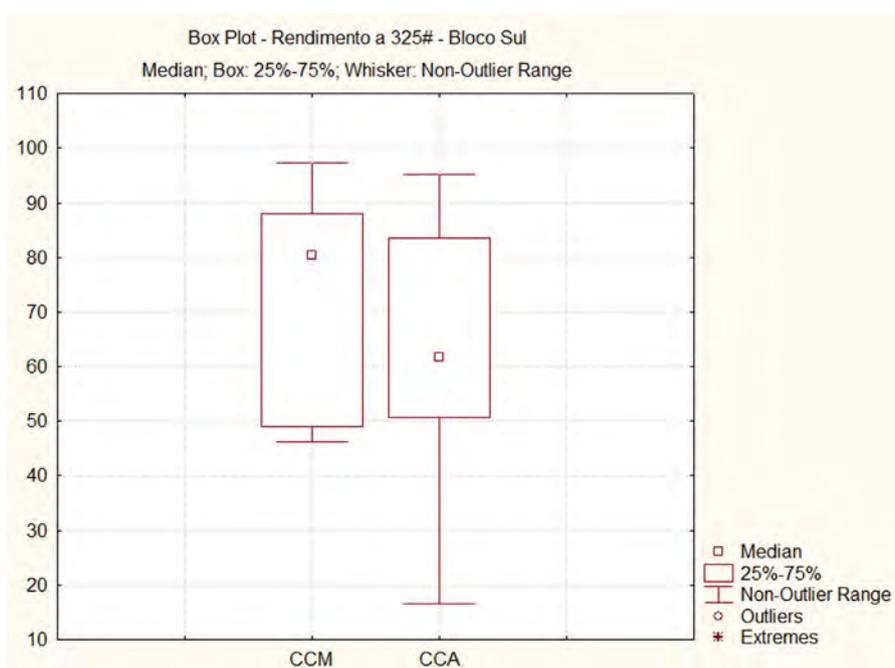
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 99 – Box plot para índice de alvura dos dois tipos de minério do bloco Sul.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 100 – Box plot para rendimento em peneiras de 325 mesh dos dois tipos de minério do bloco Sul.



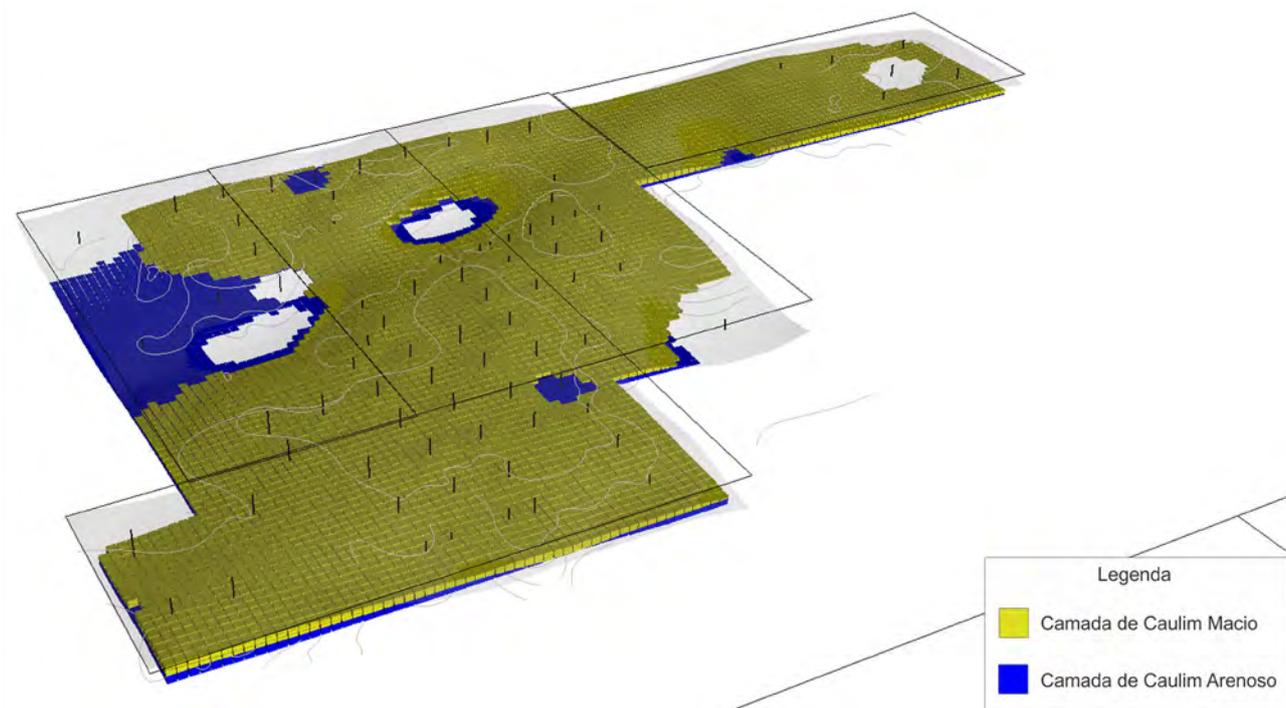
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Tabela 9 – Parâmetros para geração de modelos de blocos individualizados por setor (blocos Norte e Sul).

Bloco	Eixos	Dimensão do Bloco (m)	Dimensão de Sub-Blocos (m)	Origem UTM	Número de Blocos	Rotação
Norte	X	170	85	188.896	76	0
	Y	170	85	9.736.772	45	0
	Z	0.5	0.01	-200	822	0
Sul	X	250	125	190.831	47	0
	Y	250	125	9.727.849	42	0
	Z	0.5	0.01	-200	804	0

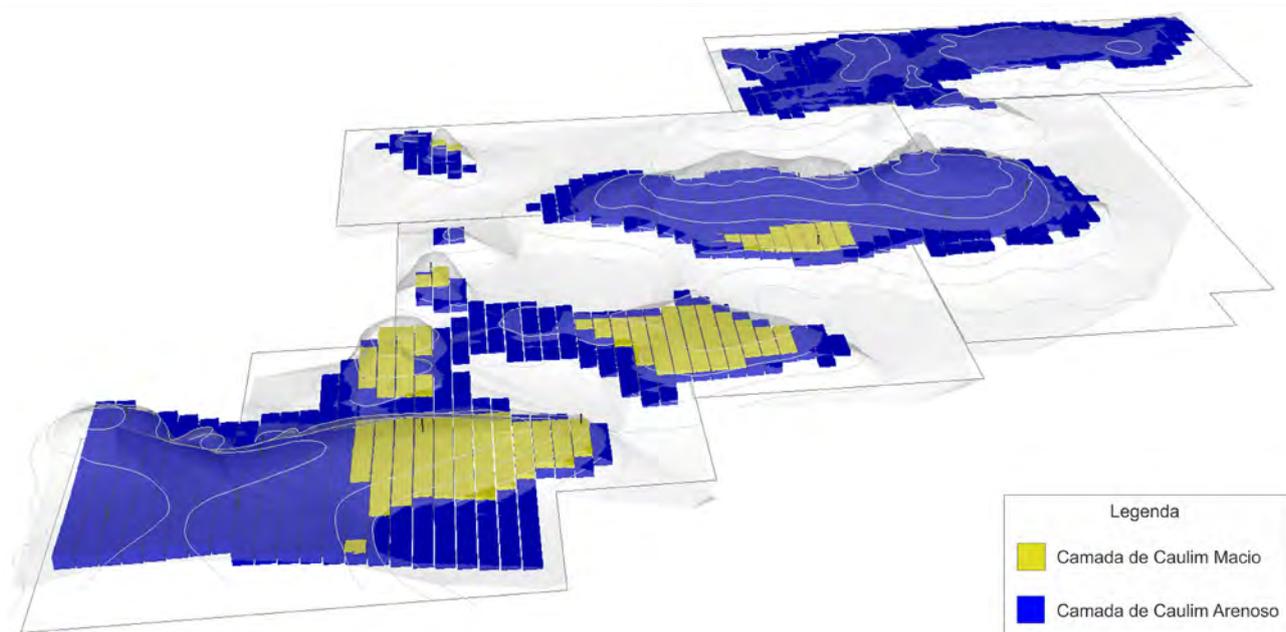
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 101 – Perspectiva dos modelos de blocos das duas camadas de caulim economicamente importantes modeladas no bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 102 – Perspectiva dos modelos de blocos das duas camadas de caulim economicamente importantes modeladas do bloco Sul.



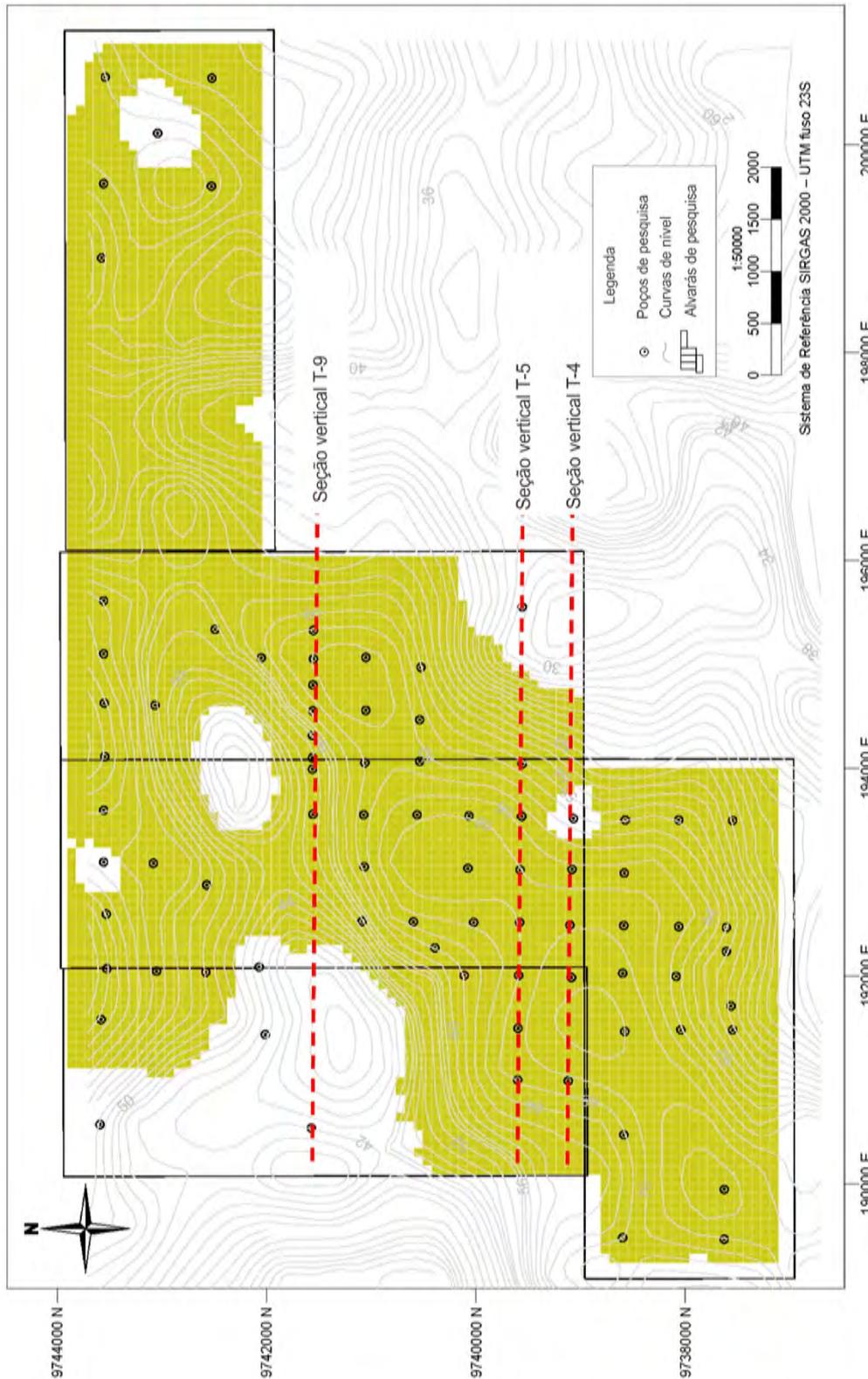
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Tabela 10 – Análise da aderência do modelo de blocos ao modelo geológico.

Comparação Volumétrica: Modelos de Blocos x Modelo Geológico				
Bloco	Camadas de Caulim	Volume do Modelo de Blocos (m <sup>3</sup> )	Volume de Sólidos (m <sup>3</sup> )	Diferença (%)
Norte	CCM	214 027 882	214 975 574	0,44
	CCA	147 646 595	148 049 324	0,27
Sul	CCM	4 995 768	6 627 960	24,63
	CCA	128 367 677	135 084 913	4,97

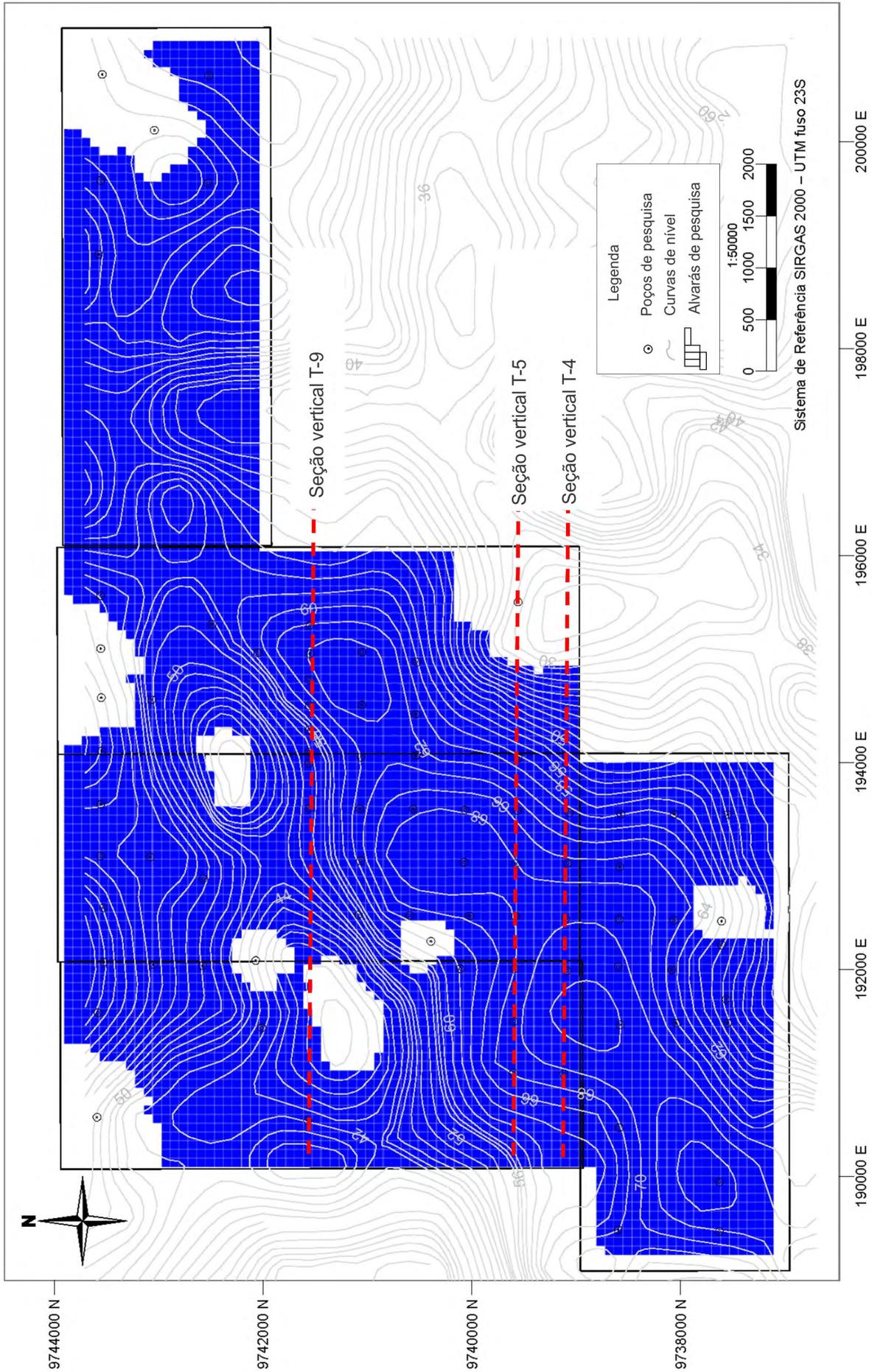
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 103 – Mapa em planta do modelo de blocos da camada de caulim macio do bloco Norte.



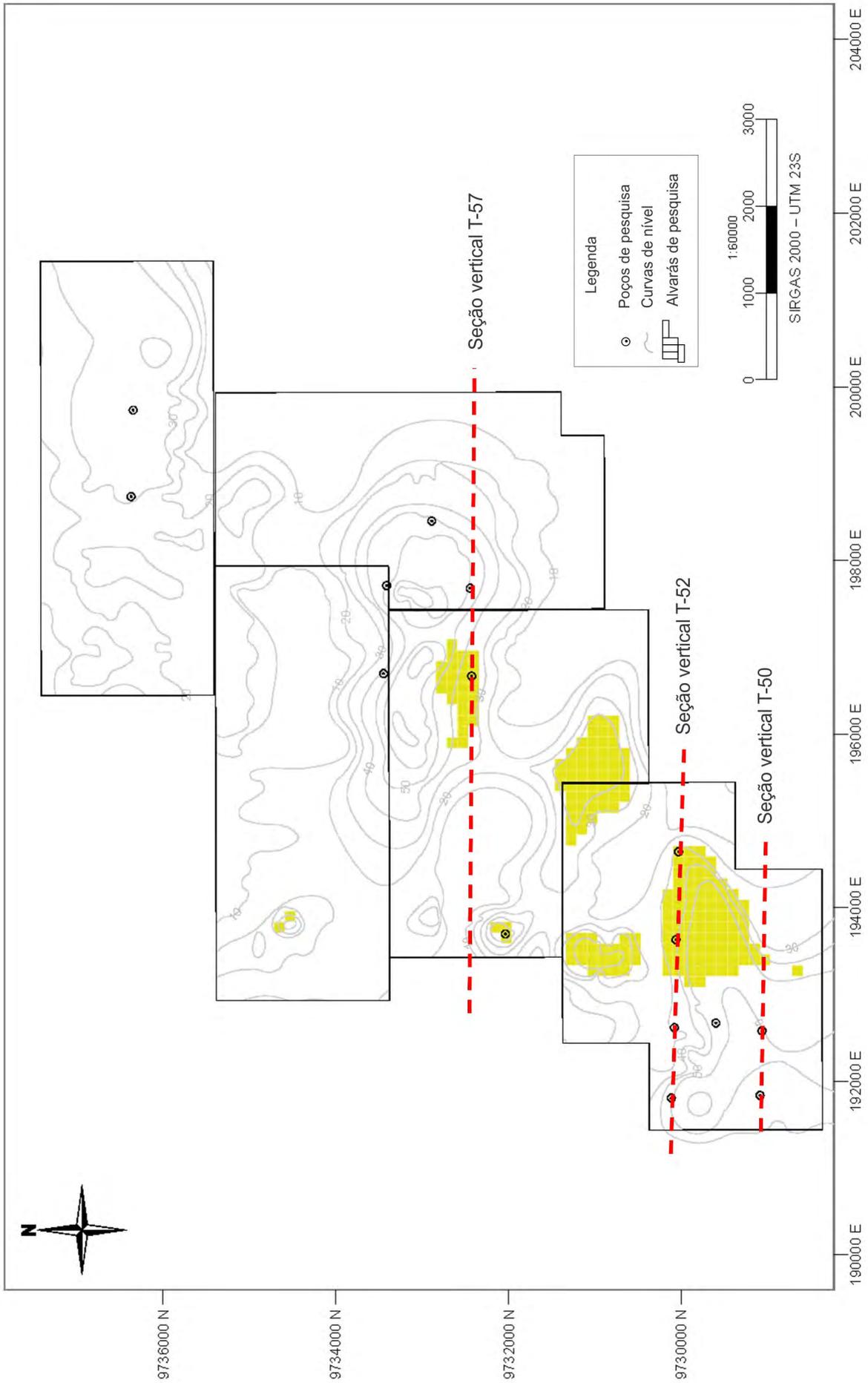
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 104 – Mapa em planta do modelo de blocos de caulim arenoso do bloco Norte.



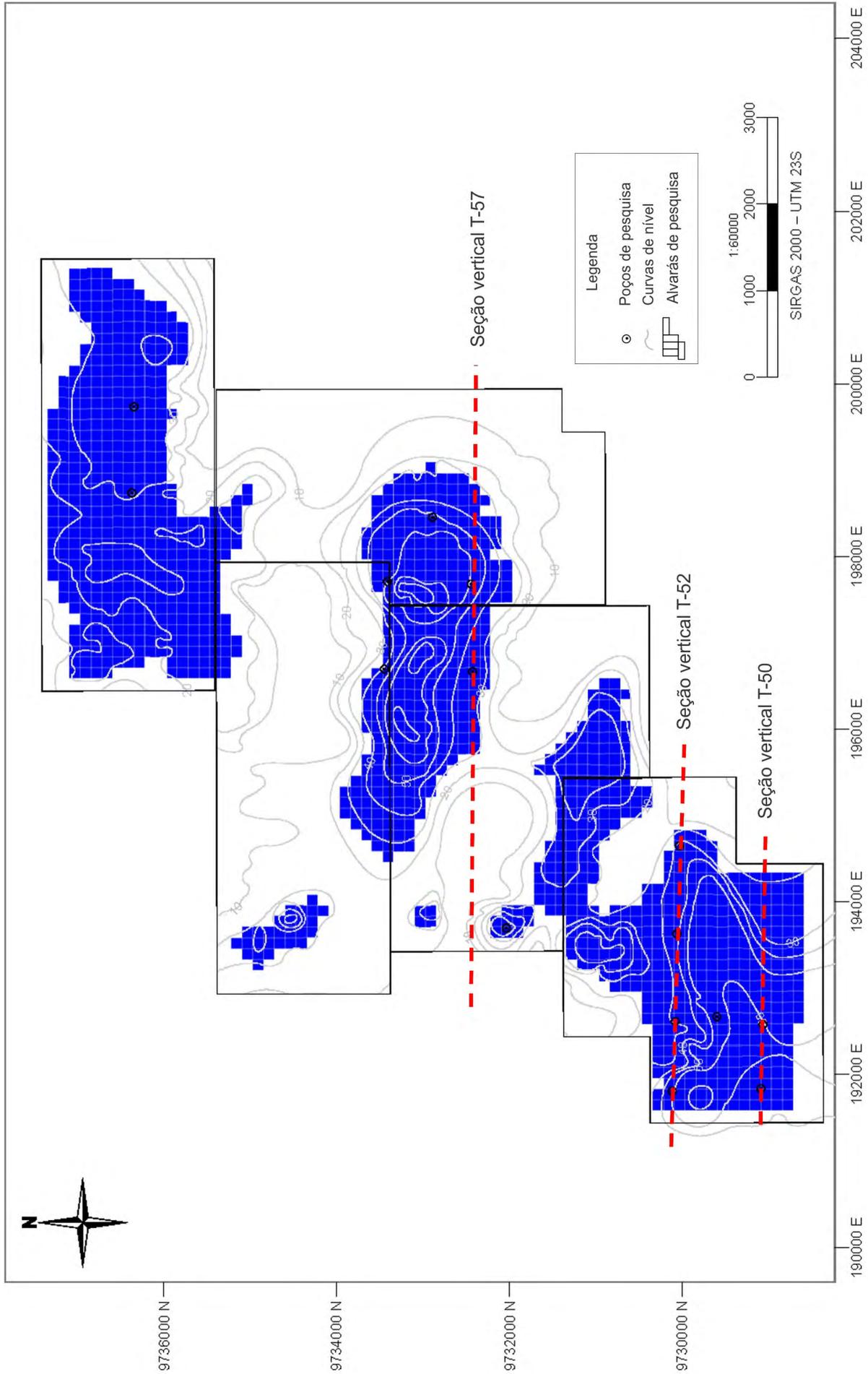
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 105 – Mapa em planta do modelo de blocos da camada de caulim macio do bloco Sul.



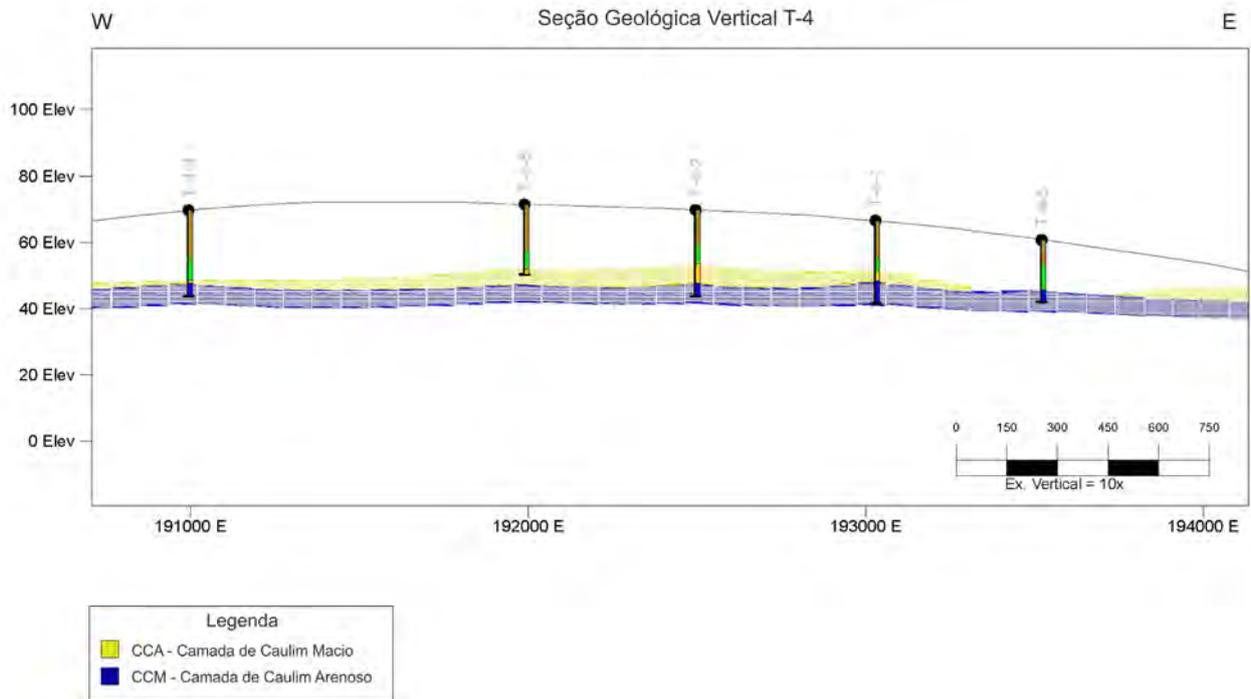
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 106 – Mapa em planta do modelo de blocos da camada de caulim arenoso do bloco Sul.



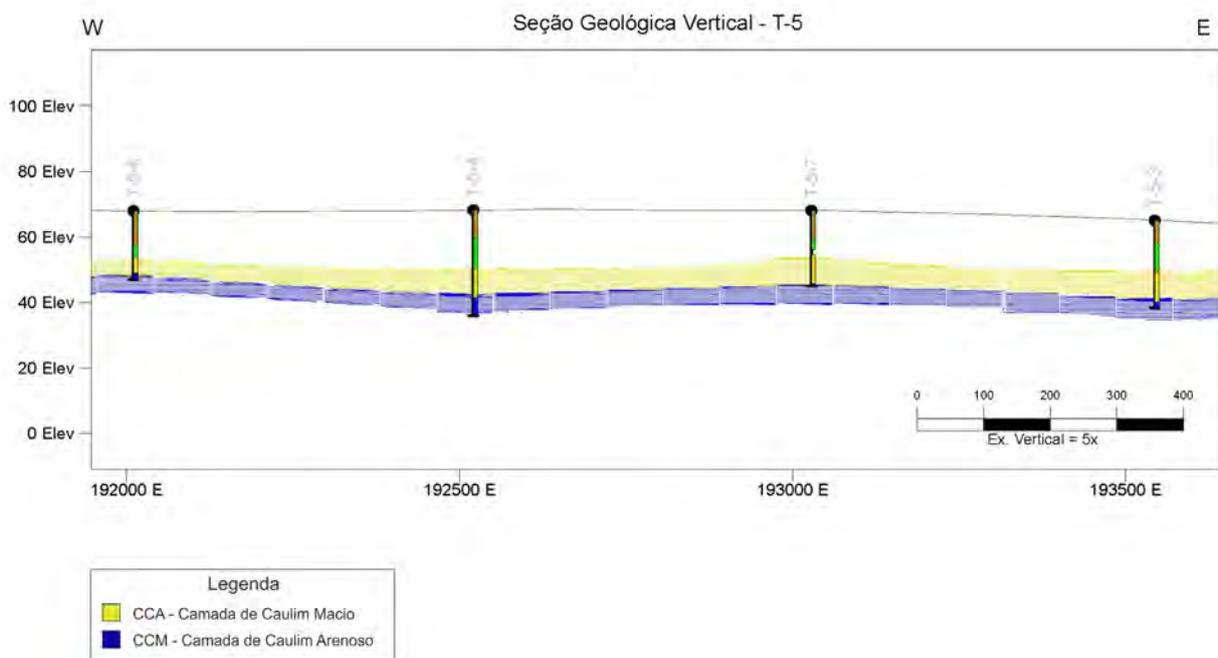
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 107 – Seção geológica vertical T-4 do bloco Norte exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo.



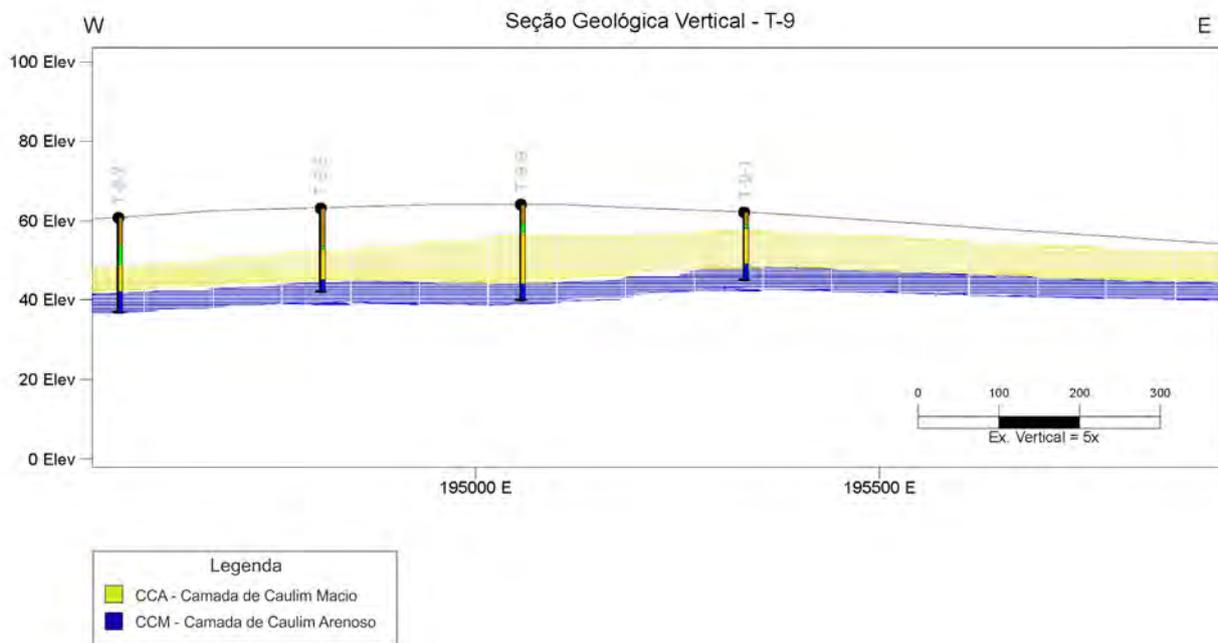
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 108 – Seção geológica vertical T-5 do bloco Norte exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo.



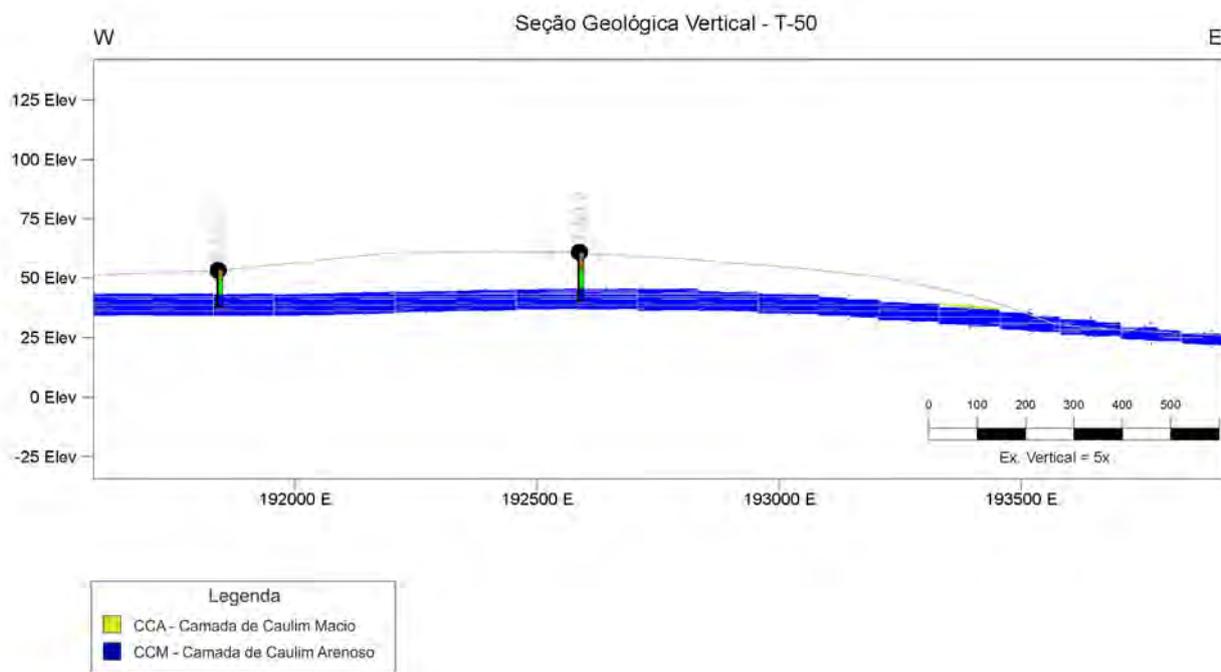
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 109 – Seção geológica vertical T-9 do bloco Norte exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo.



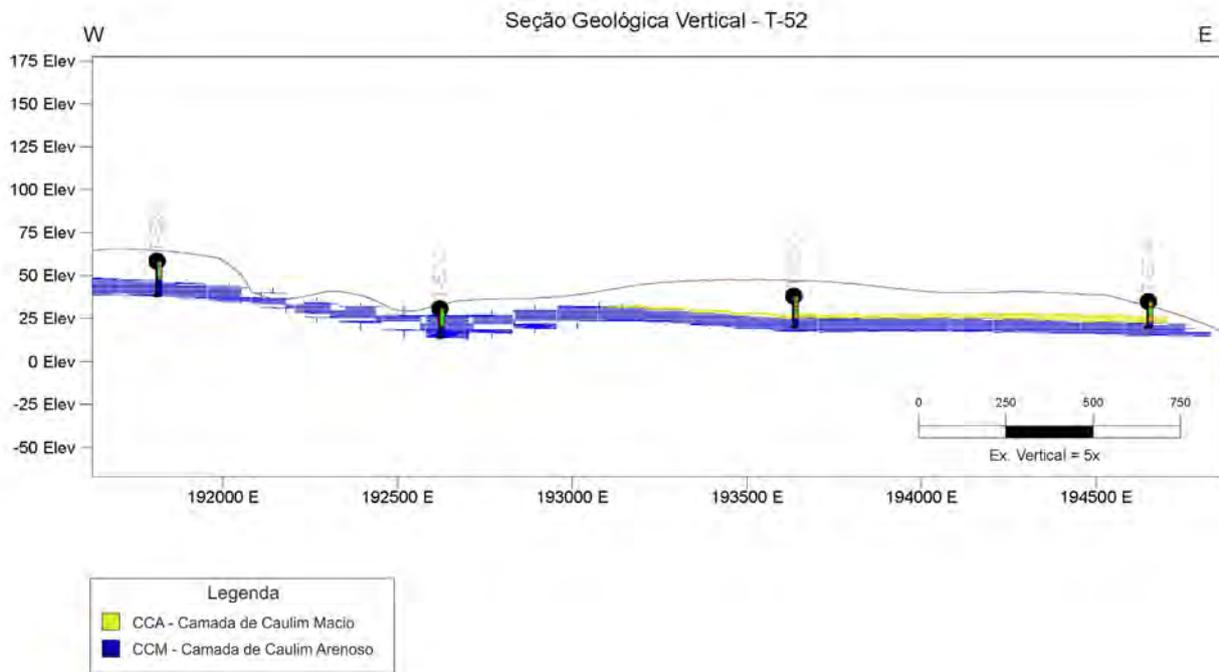
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 110 – Seção geológica vertical T-50 do bloco Sul exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificado de acordo com o tipo.



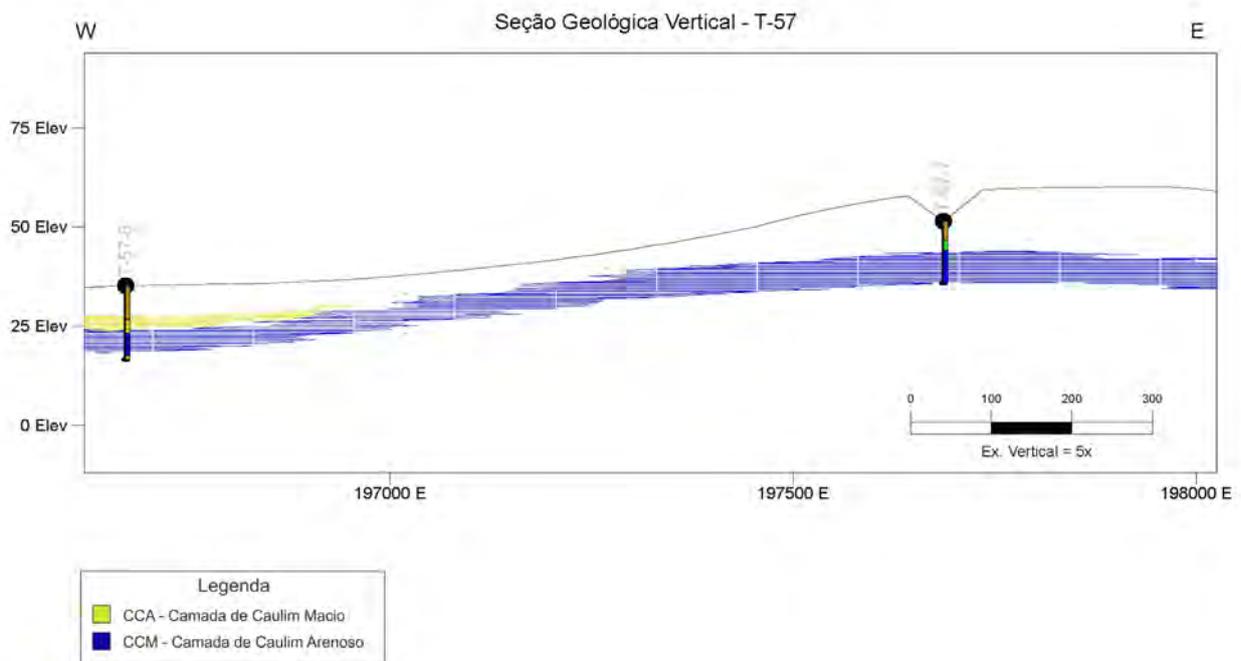
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 111 - Seção vertical T-52 no Bloco Sul, exibindo o modelo de blocos das camadas de caulim classificados de acordo com o tipo..



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

Figura 112 - Seção geológica vertical T-57 no Bloco Sul, exibindo os modelos de blocos das camadas de Caulim Macio e Caulim Arenoso..



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017

torna-se impraticável, tendo em vista diversos fatores, tais como: precariedade dos dados utilizados, malha de sondagem inadequada, perda de testemunhos de sondagem, ausência de dados de análises em determinados intervalos de poços devido à ação do tempo, levantamento topográfico impreciso etc. Portanto, os recursos reportados neste relatório foram classificados em sua totalidade como recursos inferidos.

O método de estimativa aplicado foi o Inverso do Quadrado da Distância (IQD), utilizando-se três elipsoides de busca distintos para interpolação dos valores de índice de alvura (Tabela 11).

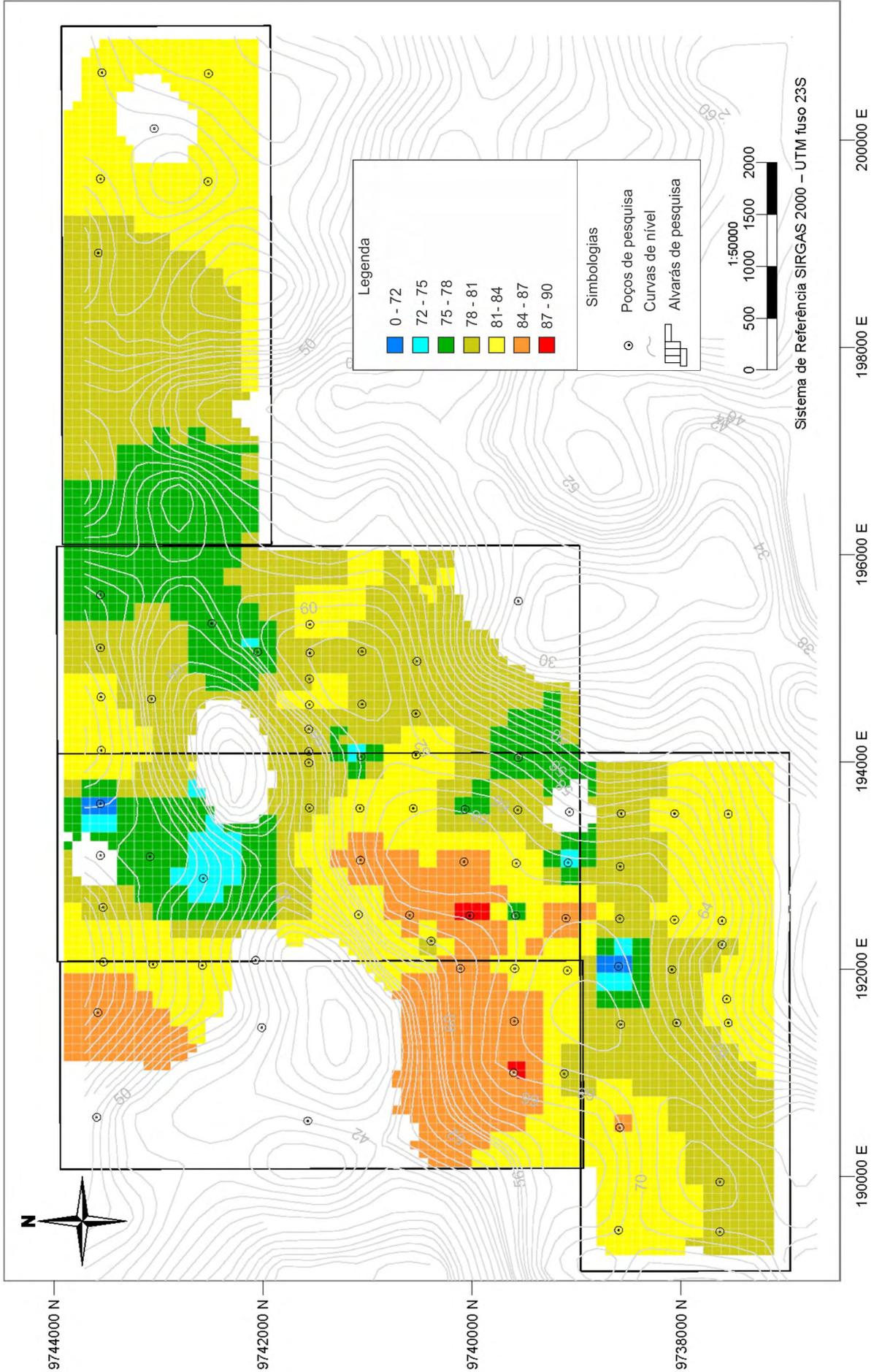
No *software* Strat3D, os arquivos de modelo de blocos foram estimados para cada camada de caulim em cada bloco de estudo, sendo os arquivos finais assim nomeados: Estima\_Ore\_RioCapim\_Norte\_CPRM e Estima\_Ore\_RioCapim\_Sul\_CPRM, com as datas de congelamento em 11.12.2017 e 17.11.2017, respectivamente. Nesses arquivos, a coluna STRATUM refere-se aos tipos de minérios modelados no presente estudo (CCM1 e CCA) (Figuras 113 a 118).

Tabela 11 – Parâmetros para definição das dimensões dos elipsoides de busca.

Bloco	Critérios	Tipo de Elipsoide		
		1	2	3
Norte	Mínimo de amostras por bloco	1	1	1
	Máximo de amostras por bloco	20	20	20
	Número mínimo de furos	1	1	1
	Dimensões maior, média e menor do elipsoide de busca (m)	25x25x5	50x50x10	25000x25000x5000
Sul	Mínimo de amostras por bloco	1	1	1
	Máximo de amostras por bloco	20	20	20
	Número mínimo de furos	1	1	1
	Dimensões maior, média e menor do elipsoide de busca (m)	25x25x5	50x50x10	25000x25000x5000

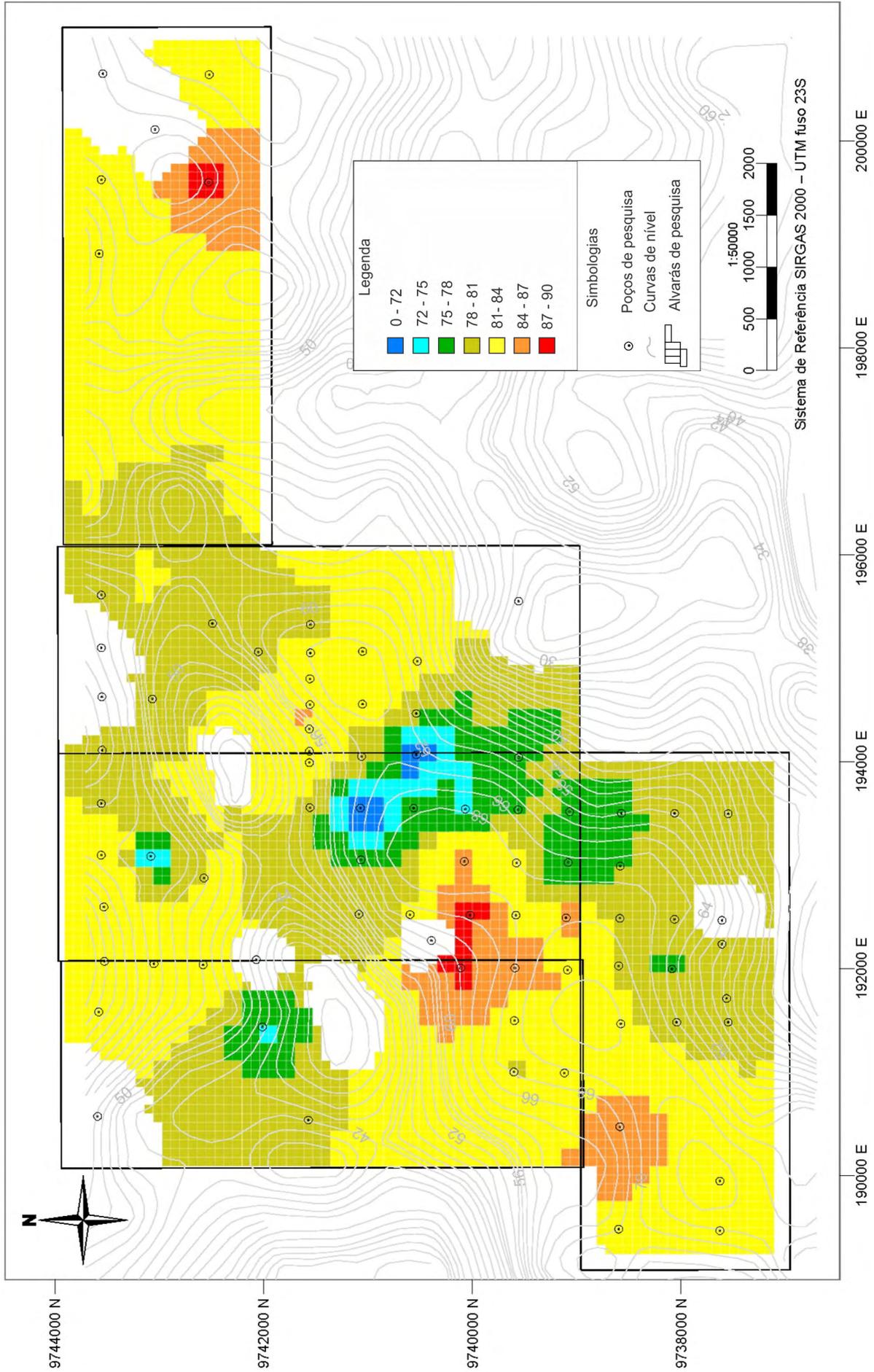
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 113 – Mapa em planta do bloco Norte apresentando os valores de alvura estimados para a camada de caulim macio.



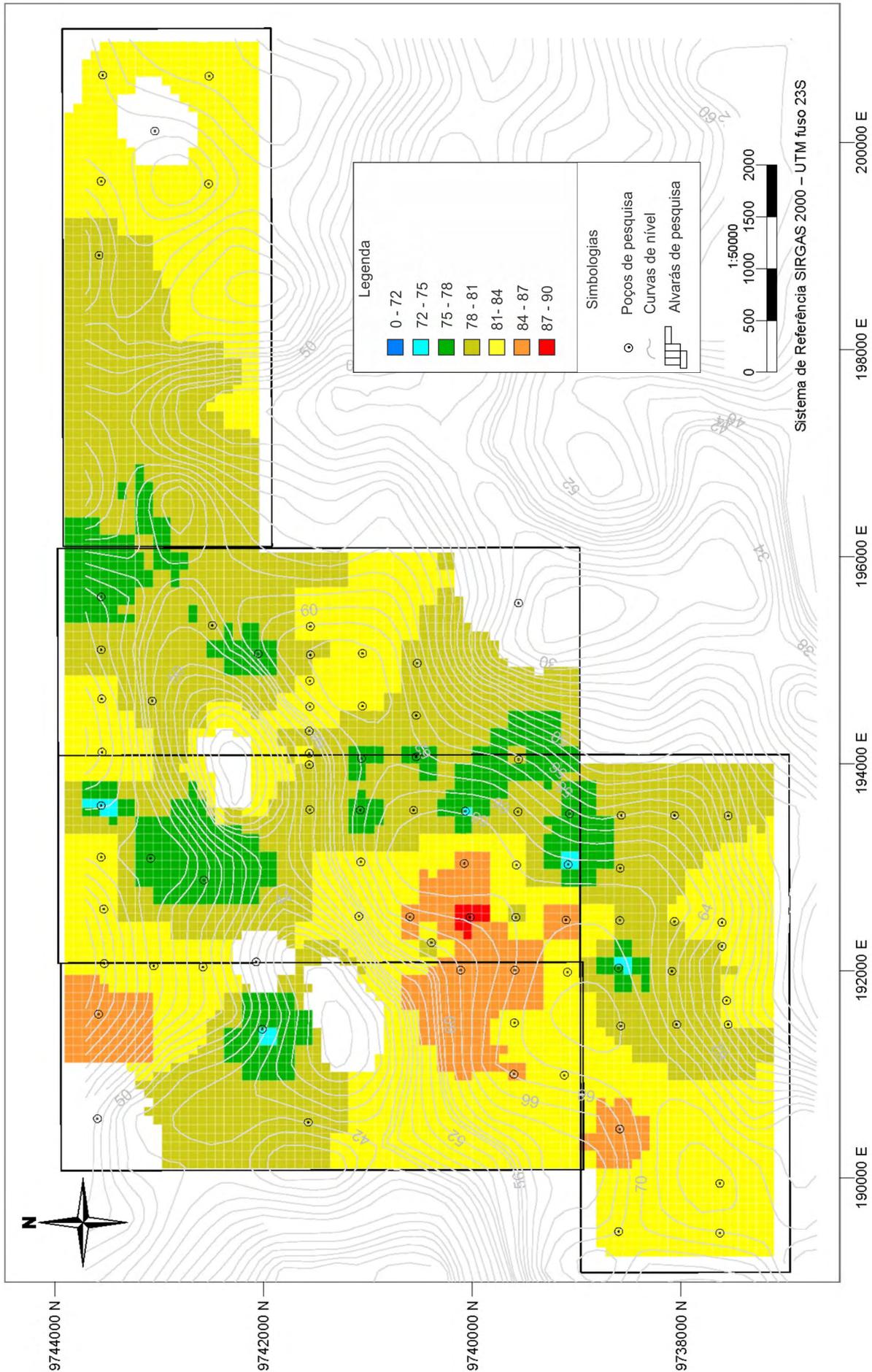
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 114 – Mapa em planta do bloco Norte apresentando os valores de alvura estimados para a camada de caulim arenoso.



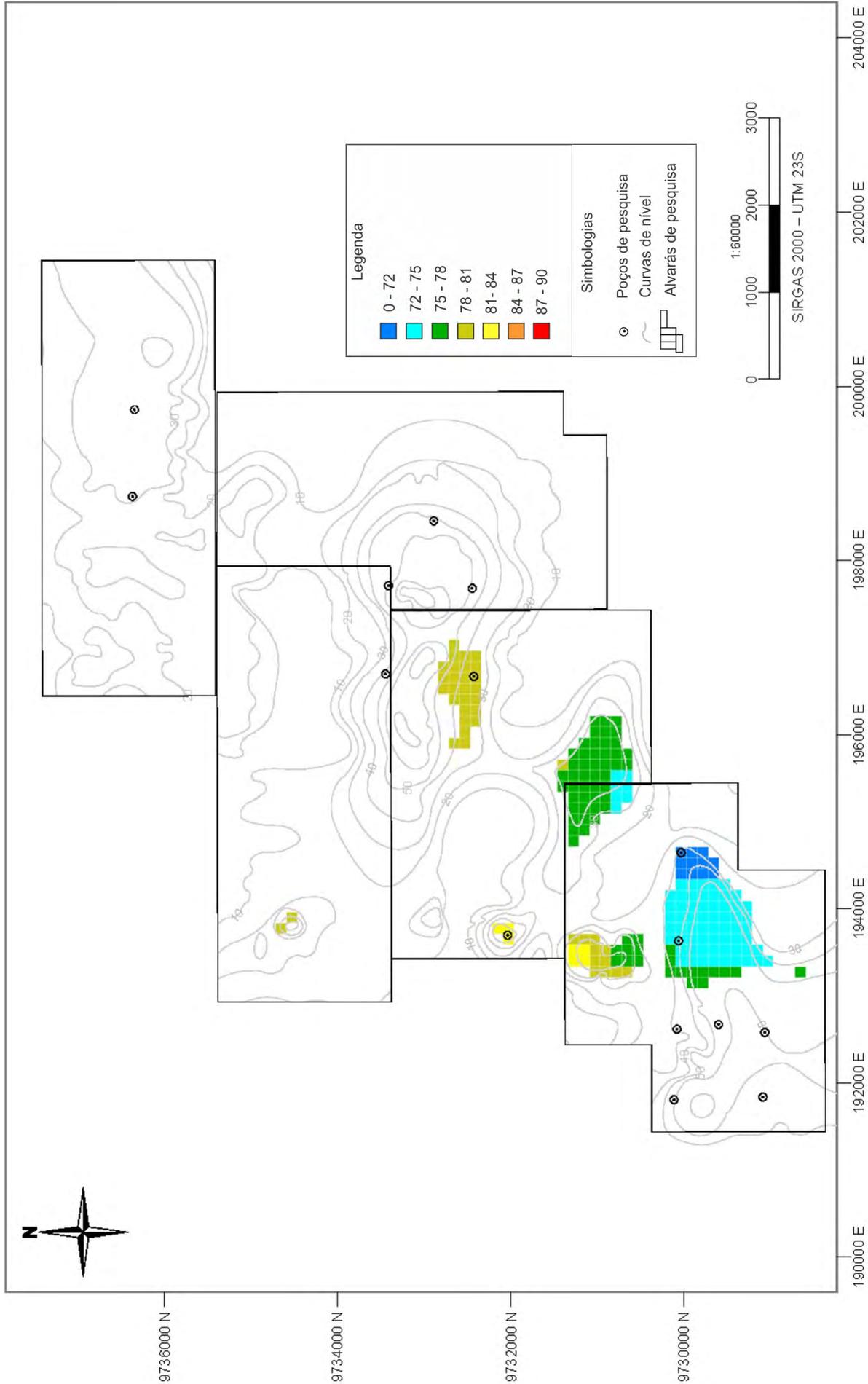
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 115 – Mapa em planta do bloco Norte apresentando os valores de alvura estimados para a camada de caulim total.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 116 – Mapa em planta do bloco Sul apresentando os valores de índice de alvura estimados para a camada de caulim macio.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 117 – Mapa em planta do bloco Sul apresentando os valores de alvura estimados para a camada de caulim arenoso.

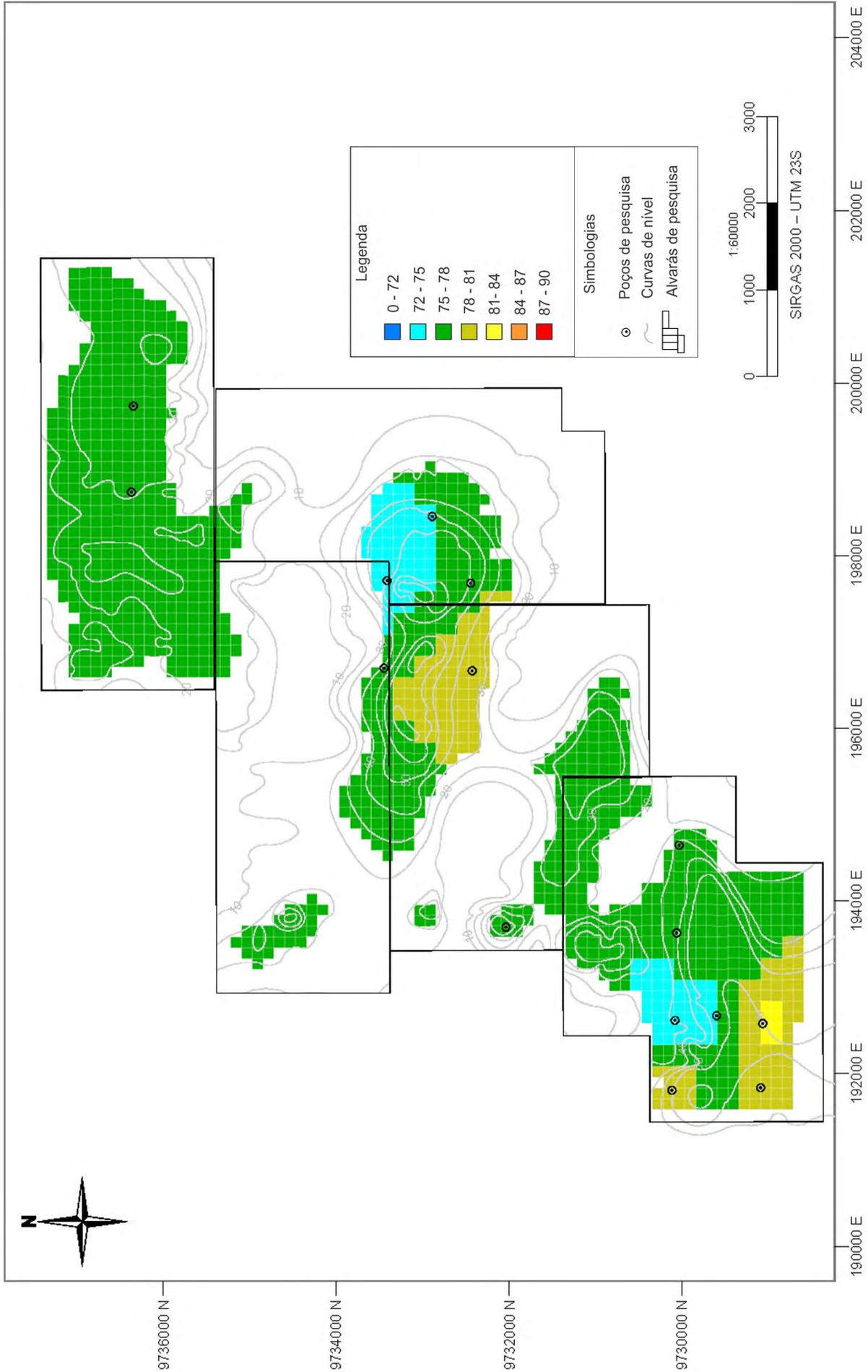
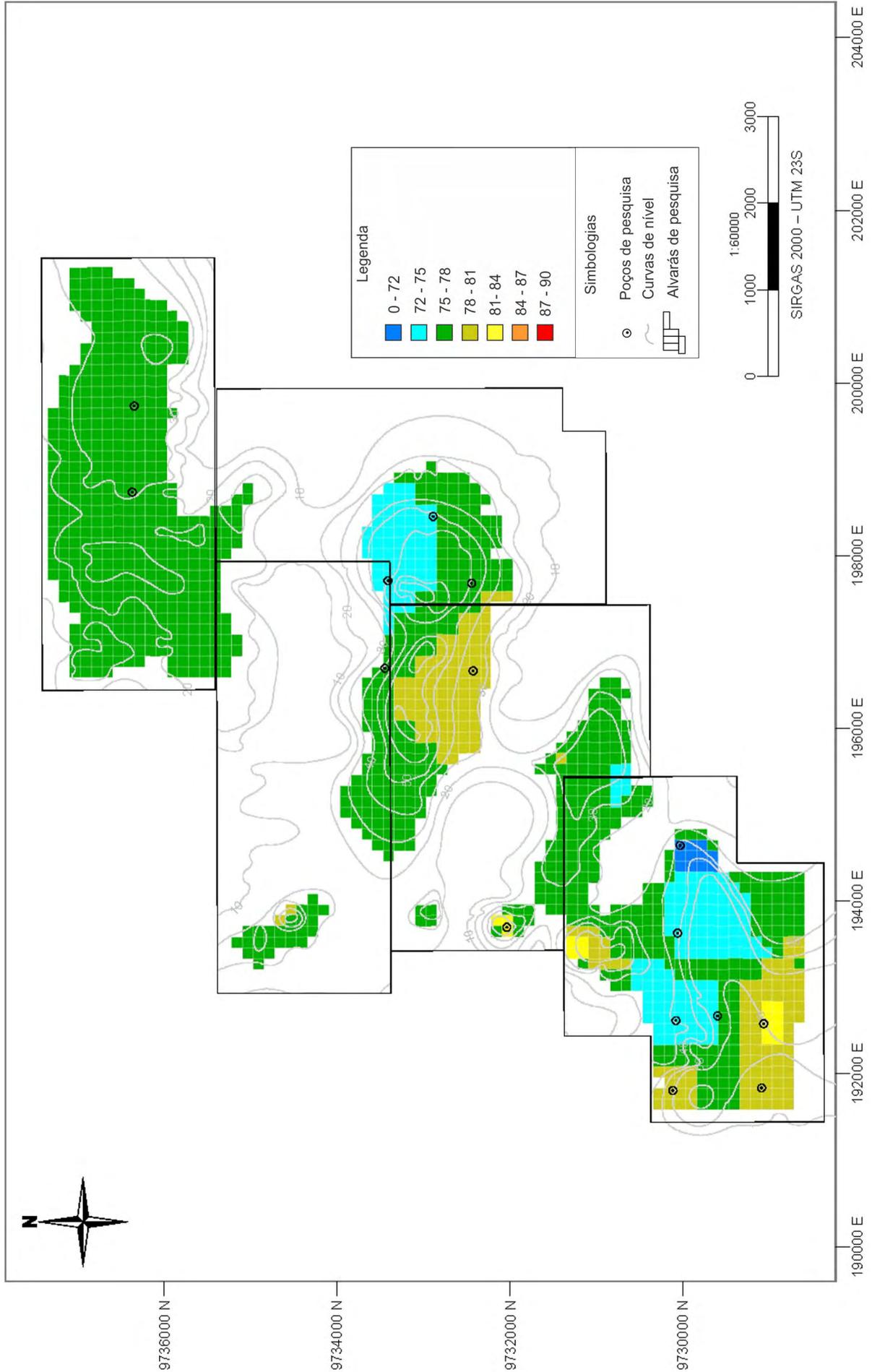


Figura 1.18 – Mapa em planta do bloco Sul apresentando os valores de alvura estimados para a camada de caulim total.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

### 12.4 - Parametrização dos Recursos Geológicos

Após a finalização dos processos de estimativa, os recursos foram calculados e parametrizados de acordo com teor, espessura de camada de caulim e espessura de capeamento.

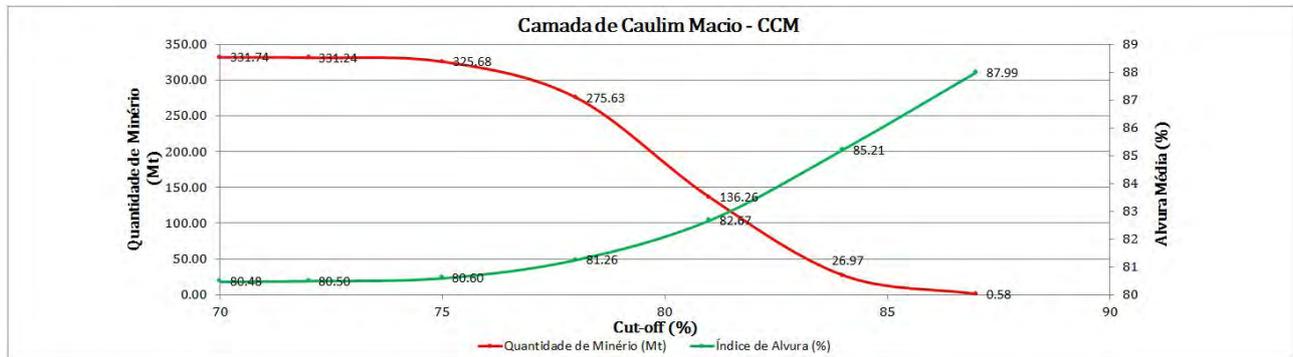
#### 12.4.1 - Parametrização por teor de alvura crua

A parametrização por teor considerou o parâmetro de índice de alvura média como determinante para valores de *cut off*. A partir do valor de *cut off*

de interesse, tem-se a quantidade de minério caulínítico, como também seu teor ou índice de alvura média.

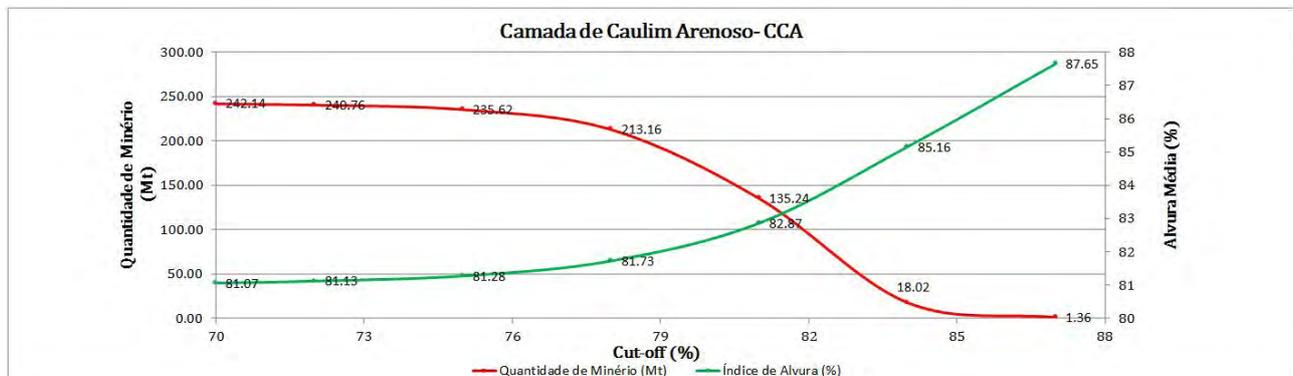
A seguir, são apresentados os gráficos de curvas de parametrização por índice de alvura para cada uma das camadas de minério em cada bloco de estudo (Figuras 119 a 124). Convém ressaltar que, nos gráficos, o eixo horizontal indica o *cut off* considerado e vale para os dois eixos verticais. A curva de cor vermelha é lida no eixo vertical “Quantidade de Minério (Mt)”; enquanto a curva de cor verde é lida no eixo vertical “Alvura Média (%)”.

Figura 119 – Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para a camada de caulim macio do bloco Norte.



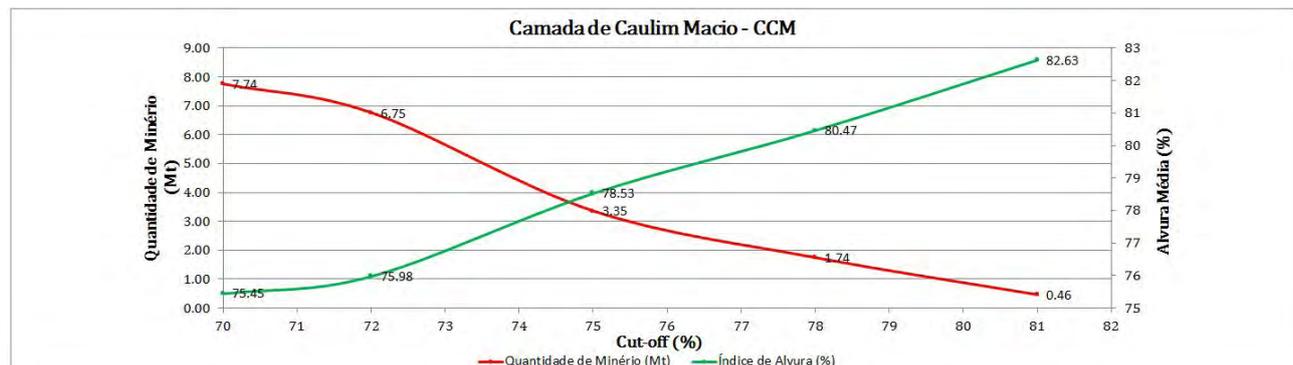
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 120 – Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para a camada de caulim arenoso do bloco Norte.



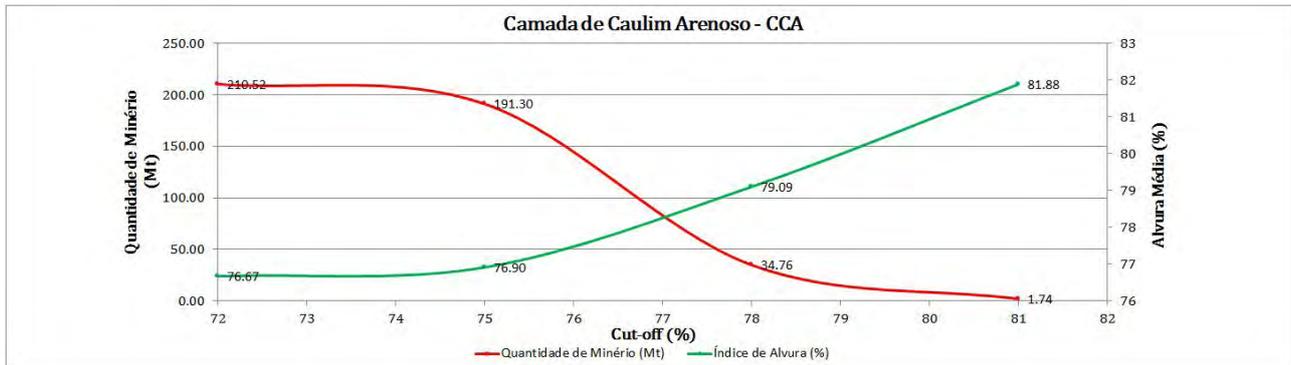
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 121 - Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para a camada de Caulim Macio do Bloco Sul.



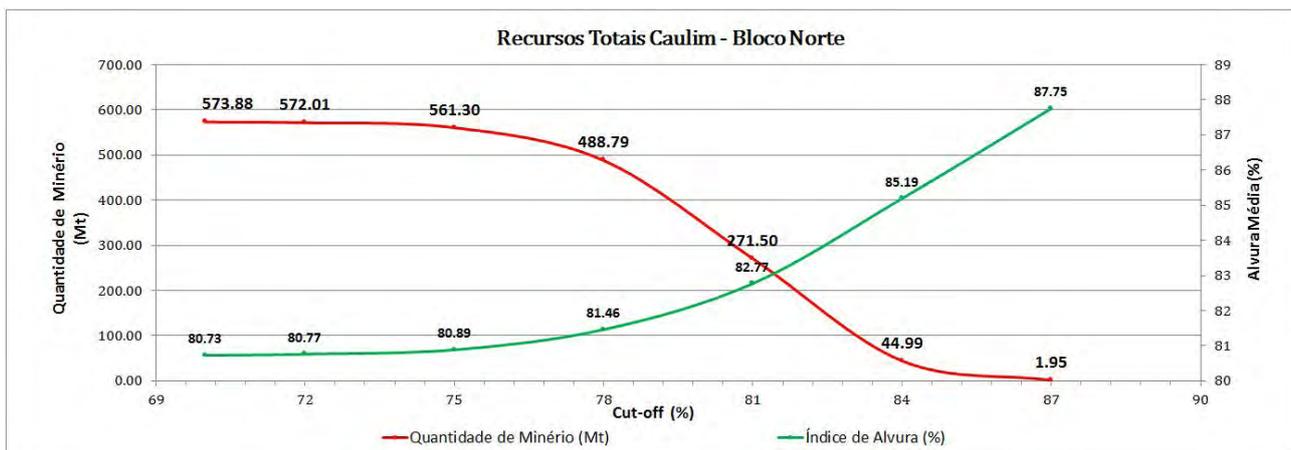
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 122 – Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para a camada de caulim arenoso do bloco Sul.



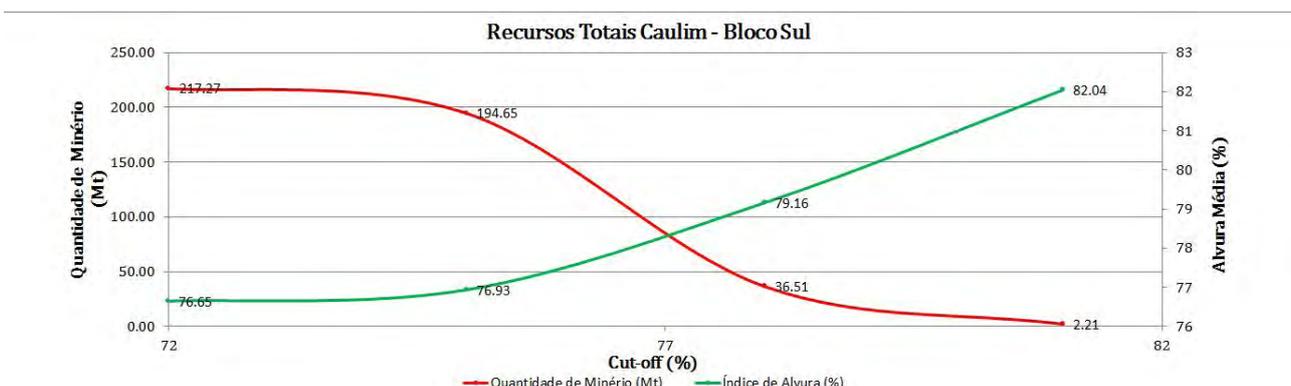
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 123 – Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para o total de recursos de caulim (CCM + CCA) do bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 124 – Parametrização do recurso total a partir da variável índice de alvura para o total de recursos de caulim (CCM + CCA) do bloco Sul.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

### 12.4.2 - Parametrização por espessura de camada

Para a parametrização por espessura de camada de caulim, foram determinadas, a partir da análise

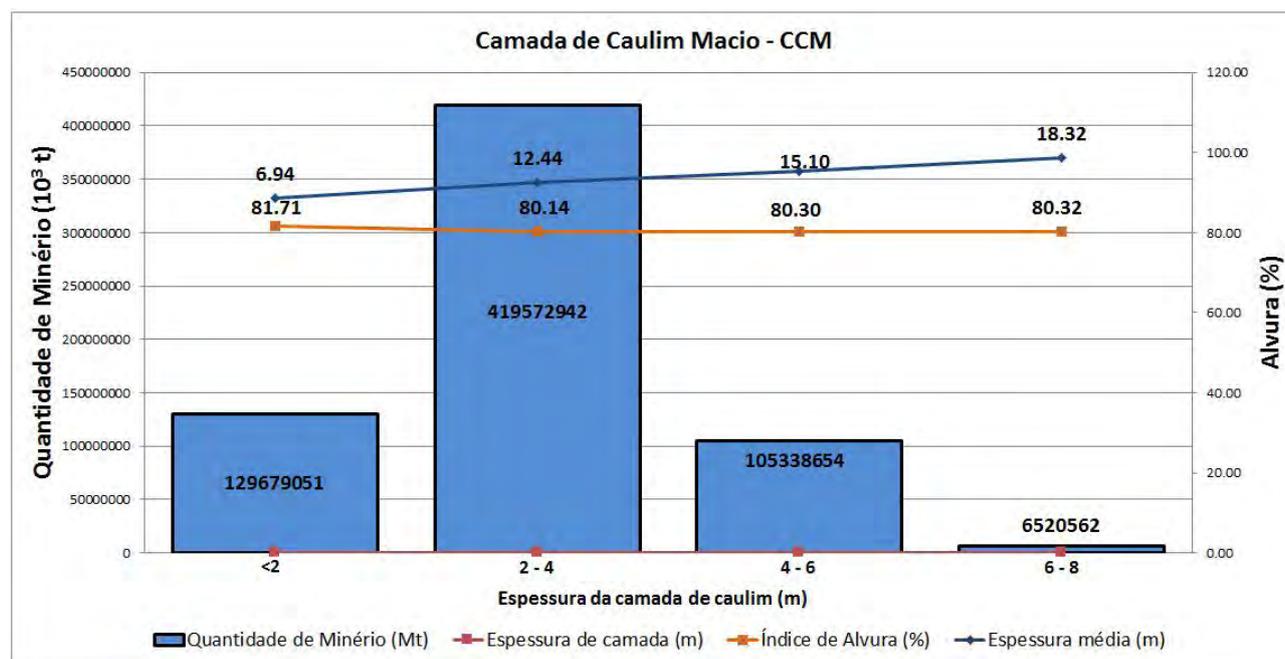
estatística, faixas de espessuras para as quais foram calculados os recursos geológicos totais, o índice de alvura média e a espessura média da camada (Tabelas 12 a 17; Figuras 125 a 136).

Tabela 12 – Parametrização de recursos por espessura da camada de caulim macio do bloco Norte.

Espessura x Tonelagem – CCM – Bloco Norte				
Chave	Espessura (m)	Minério (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	<2	129679050.57806	81.71	6.94
2	2 - 4	419572941.85200	80.14	12.44
3	4 - 6	105338653.70068	80.30	15.10
4	6 - 8	6520561.54871	80.32	18.32
<b>Total</b>		<b>661.111.208</b>	<b>80.47</b>	<b>11.84</b>

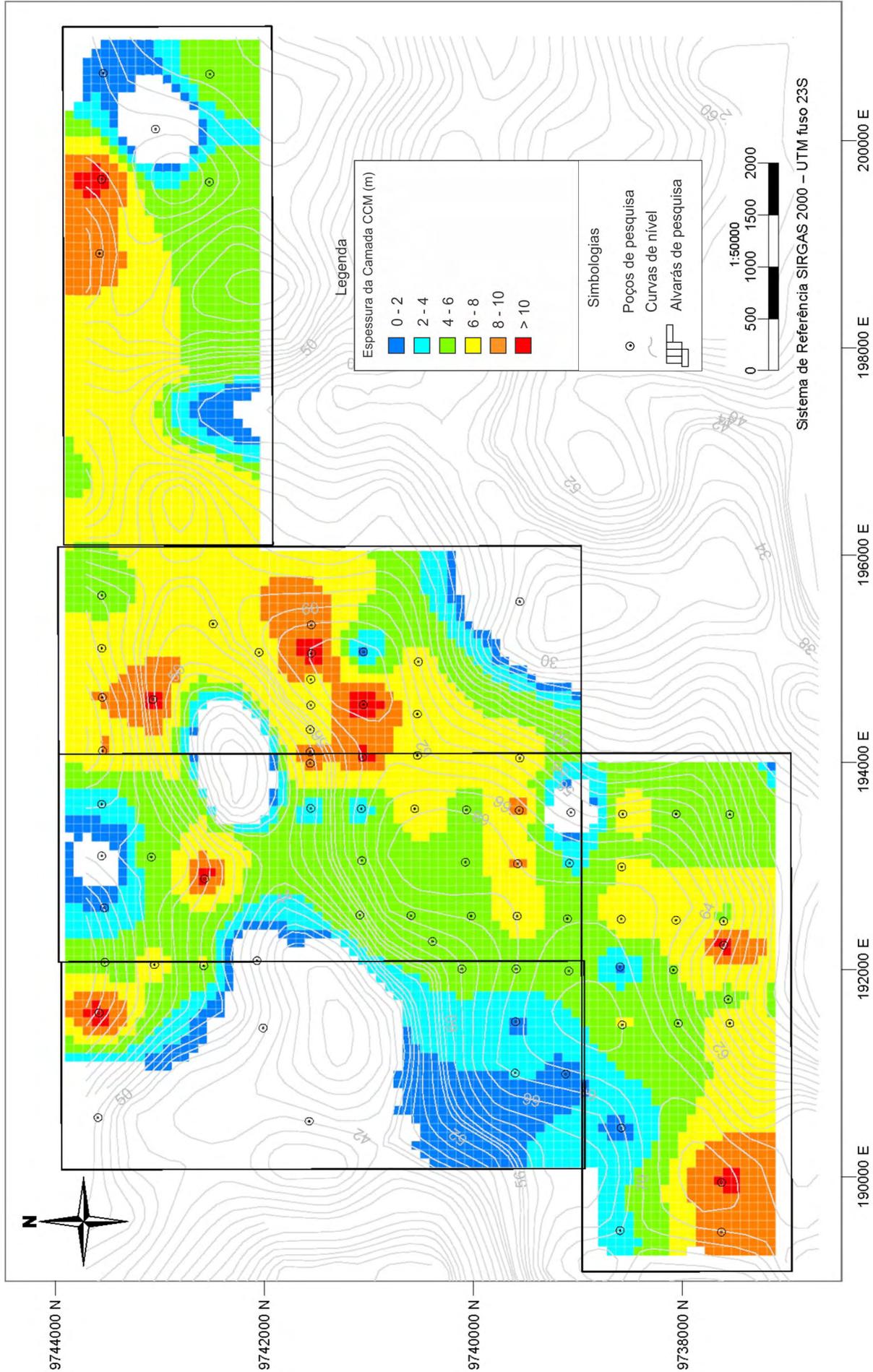
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 125 – Relação entre as espessuras da camada de caulim macio x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 126 – Mapa em planta do bloco Norte apresentando as espessuras da camada de caulim macio.



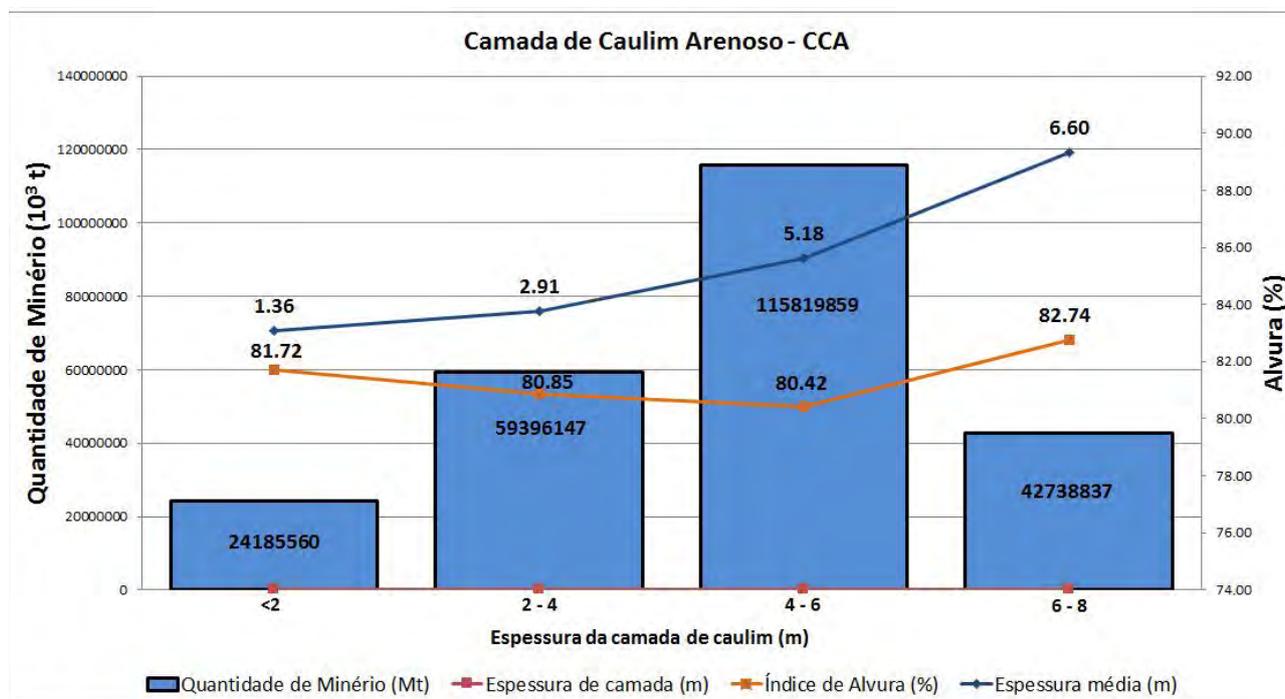
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 13 – Parametrização de recursos por espessura da camada de caulim arenoso do bloco Norte.

Espessura x Tonelagem – CCA (Bloco Norte)				
Chave	Espessura (m)	Minério (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	<2	24.185.560	81.72	1.36
2	2 - 4	59.396.147	80.85	2.91
3	4 - 6	115.819.859	80.42	5.18
4	6 - 8	42.738.837	82.74	6.60
<b>Total</b>		<b>242.140.403</b>	<b>81.07</b>	<b>4.49</b>

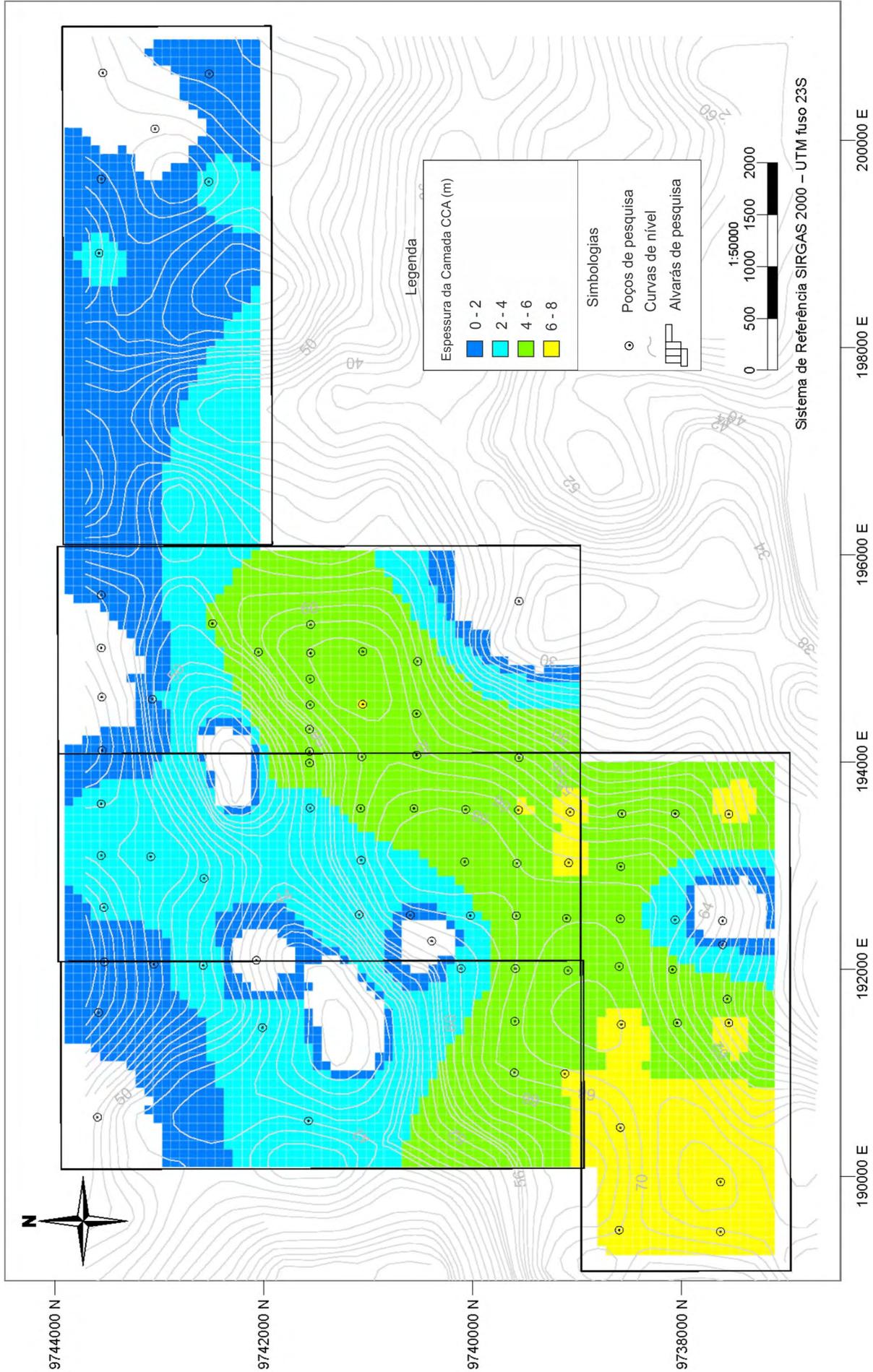
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 127 – Relação entre as espessuras da camada de caulim arenoso x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Norte.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 128 – Mapa em planta do bloco Norte apresentando as espessuras da camada de caulim arenoso.



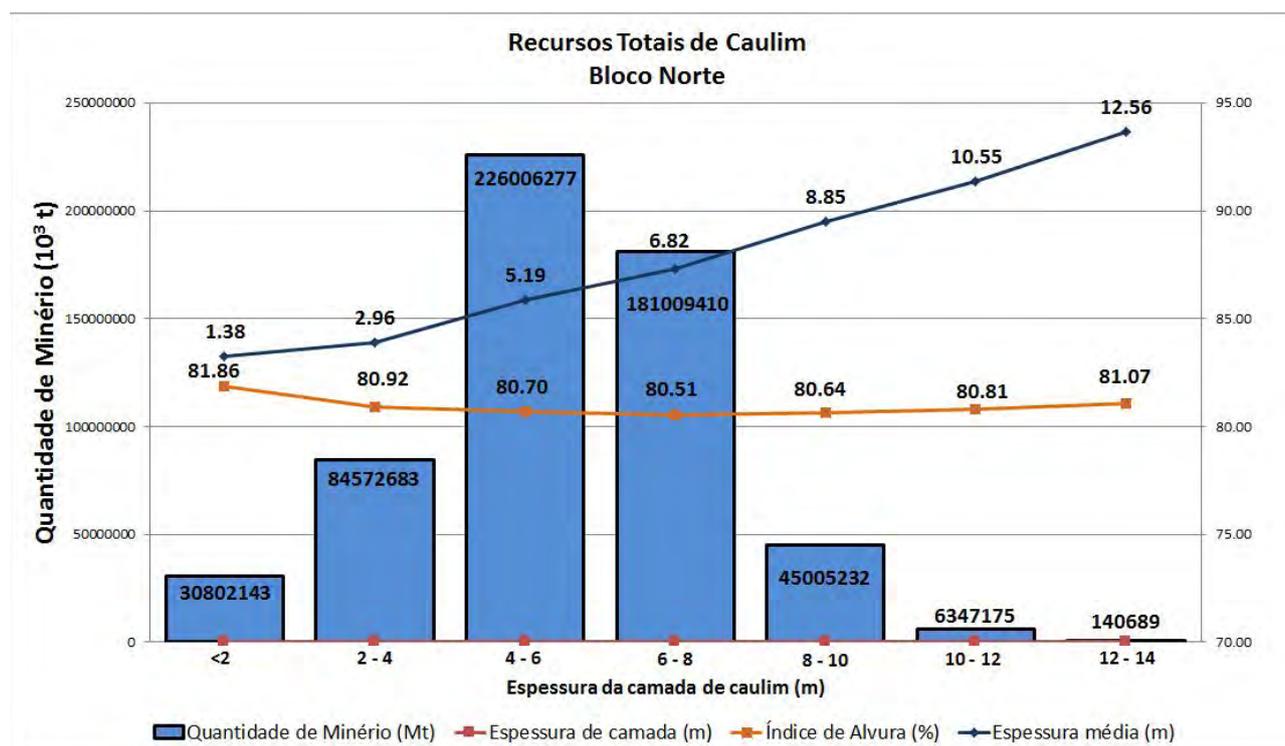
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 14 – Parametrização de recursos por espessura da camada total de caulim do bloco Norte.

Espessura x Tonelagem – CCM + CCA – Bloco Norte				
Chave	Espessura (m)	Minério (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	<2	30.802.143	81,86	1,38
2	2-4	84.572.683	80,92	2,96
3	4-6	226.006.277	80,70	5,19
4	6-8	181.009.410	80,51	6,82
5	8-10	45.005.232	80,64	8,85
6	10-12	6.347.175	80,81	10,55
7	12-14	140.689	81,07	12,56
<b>Total</b>		<b>573.883,609</b>	<b>87,54</b>	<b>5,24</b>

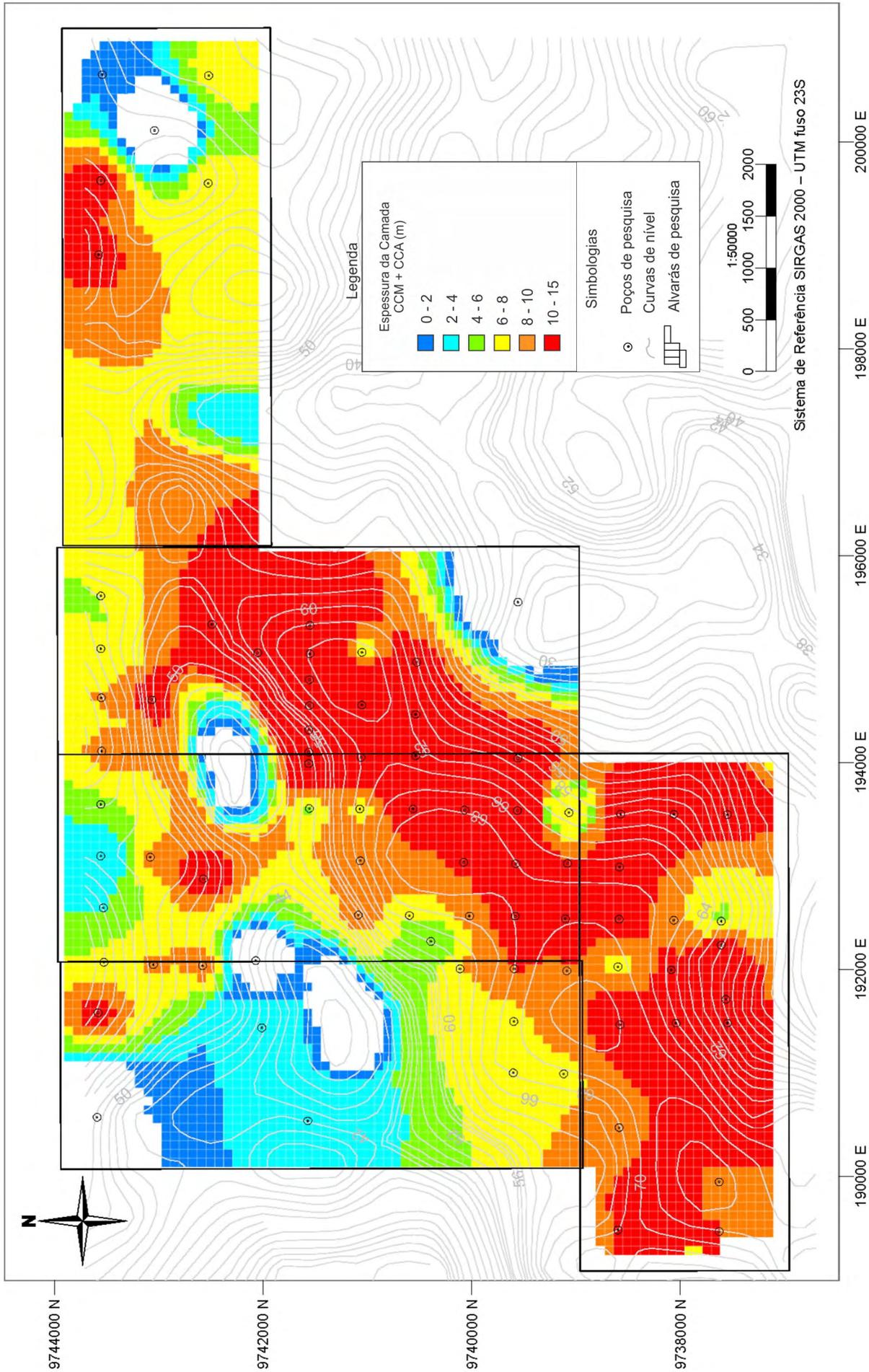
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 129 – Relação entre as espessuras da camada total de caulim (CCM + CCA) x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Norte



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 130 – Mapa em planta do bloco Norte apresentando as espessuras da camada total de caulim.



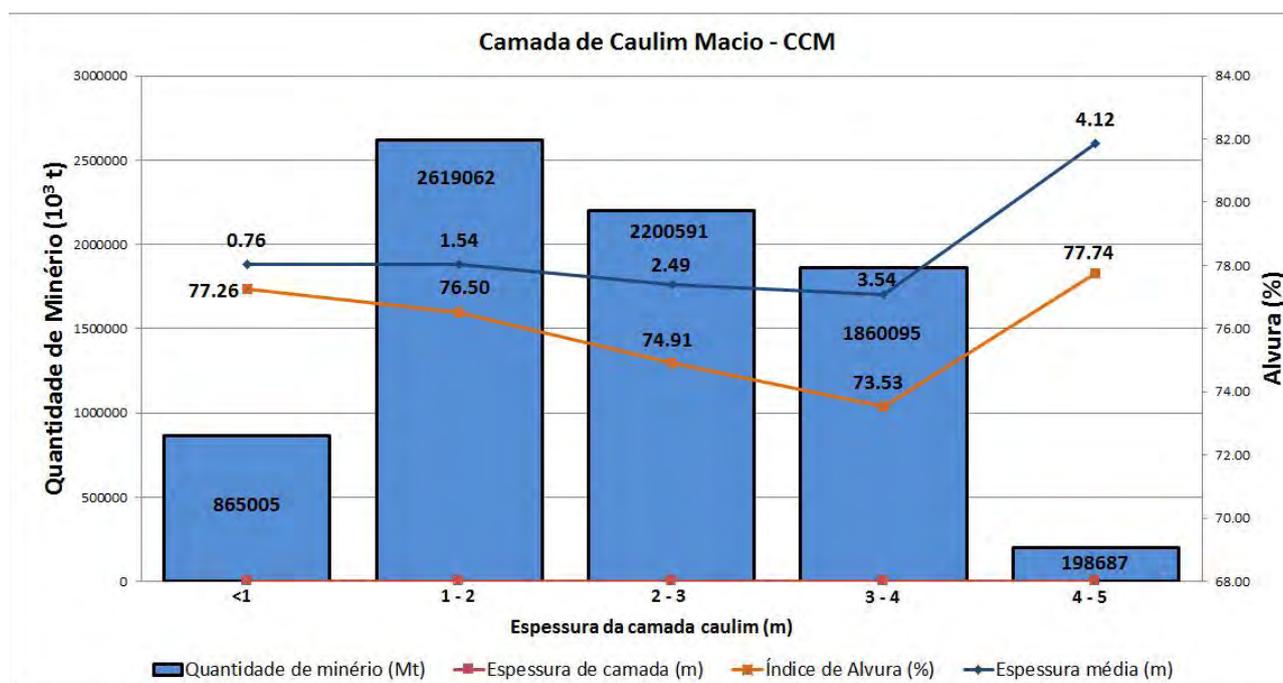
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 15 – Parametrização de recursos por espessura da camada de caulim macio do bloco Sul.

Espessura x Tonelagem – CCM – Bloco Sul				
Chave	Espessura (m)	Minério (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	<1	865.005	77.26	0.76
2	1 - 2	2.619.062	76.50	1.54
3	2 - 3	2.200.591	74.91	2.49
4	3 - 4	1.860.095	73.53	3.54
5	4 - 5	198.687	77.74	4.12
<b>Total</b>		<b>7.743.441</b>	<b>75.45</b>	<b>2.27</b>

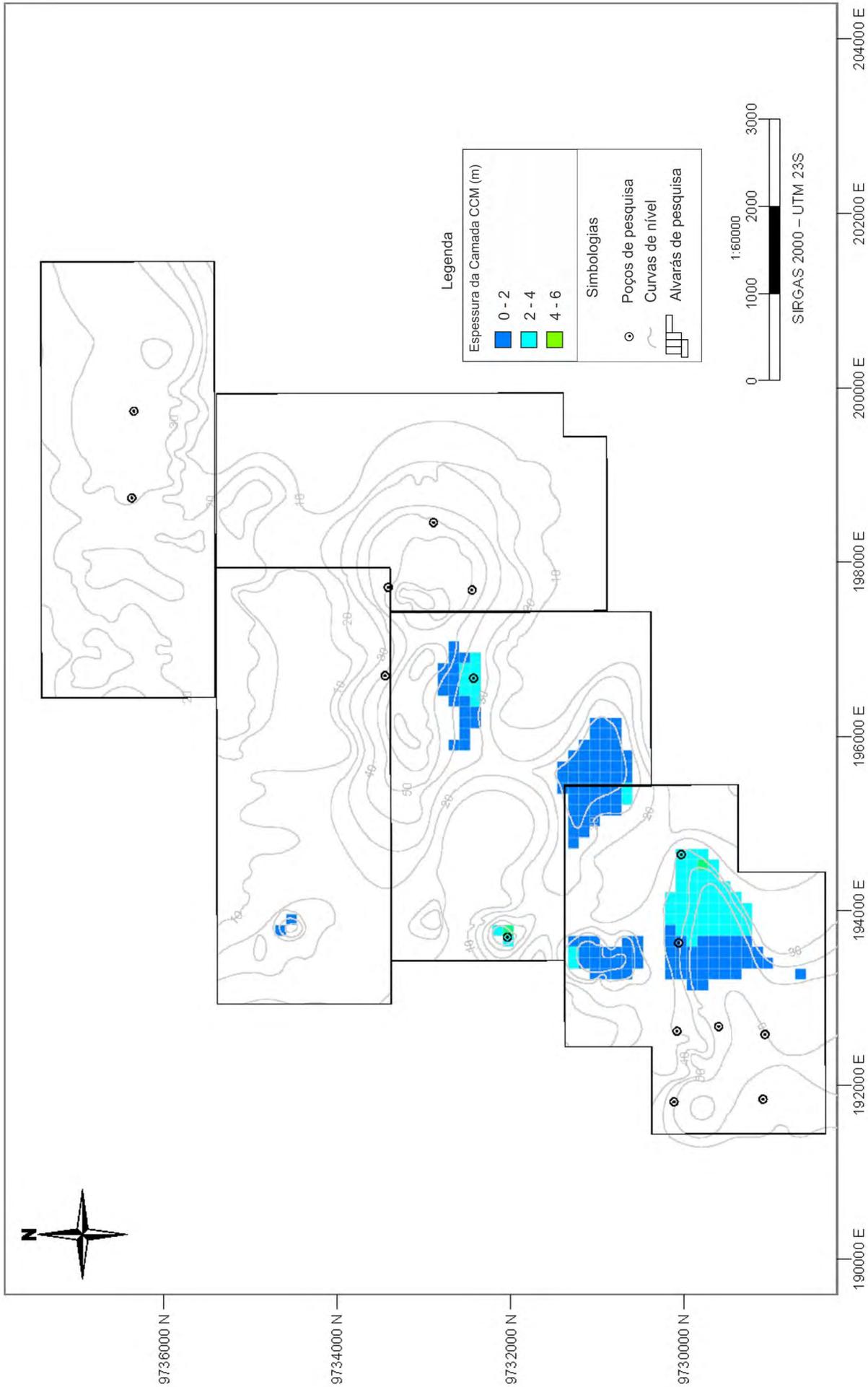
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 131 – Relação entre as espessuras da camada de caulim macio x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Sul.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 132 – Mapa em planta do bloco Sul apresentando as espessuras da camada de caulim macio.



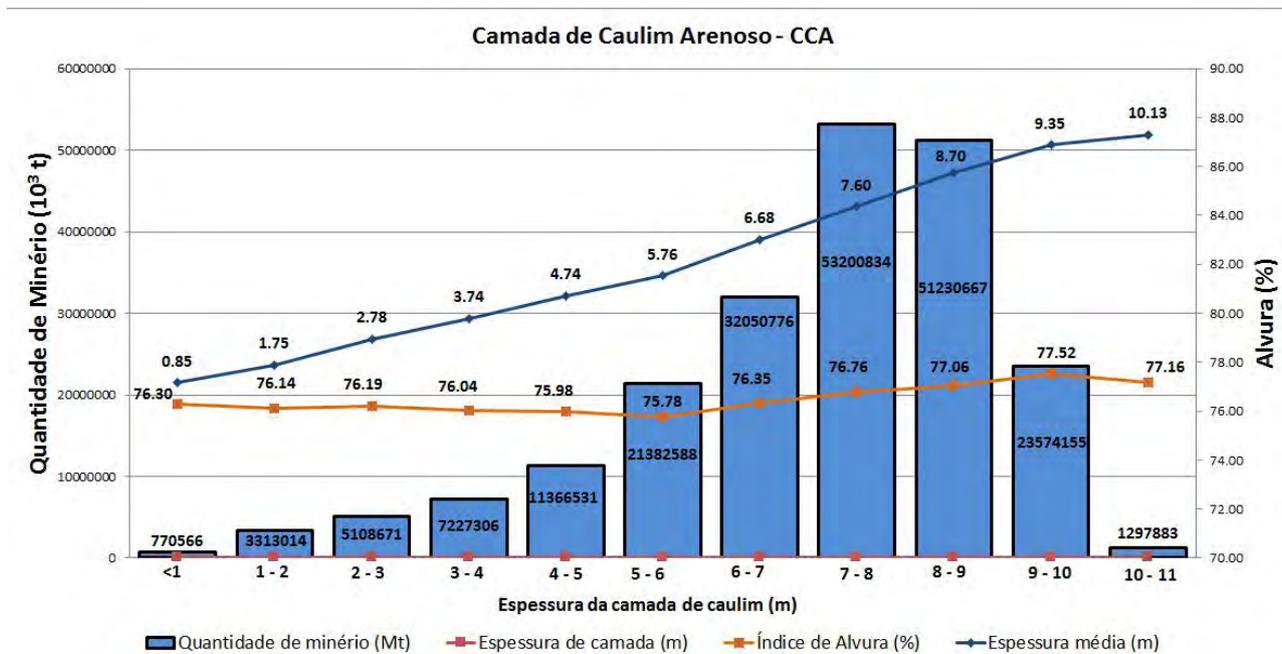
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 16 – Parametrização de recursos por espessura da camada de caulim arenoso do bloco Sul.

Espessura x Tonelagem – CCA (Bloco Sul)				
Chave	Espessura (m)	Minério (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	<1	770.566	76.30	0.85
2	1 - 2	3.313.014	76.14	1.75
3	2 - 3	5.108.671	76.19	2.78
4	3 - 4	7.227.306	76.04	3.74
5	4 - 5	11.366.531	75.98	4.74
6	5 - 6	21.382.588	75.78	5.76
7	6 - 7	32.050.776	76.35	6.68
8	7 - 8	53.200.834	76.76	7.60
9	8 - 9	51.230.667	77.06	8.70
10	9 - 10	23.574.155	77.52	9.35
11	10 - 11	1.297.883	77.16	10.13
<b>Total</b>		<b>210.522.991</b>	<b>76.67</b>	<b>7.23</b>

Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 133 – Relação entre as espessuras da camada de caulim arenoso x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Sul.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 134 – Mapa em planta do bloco Sul apresentando as espessuras da camada de caulim arenoso.

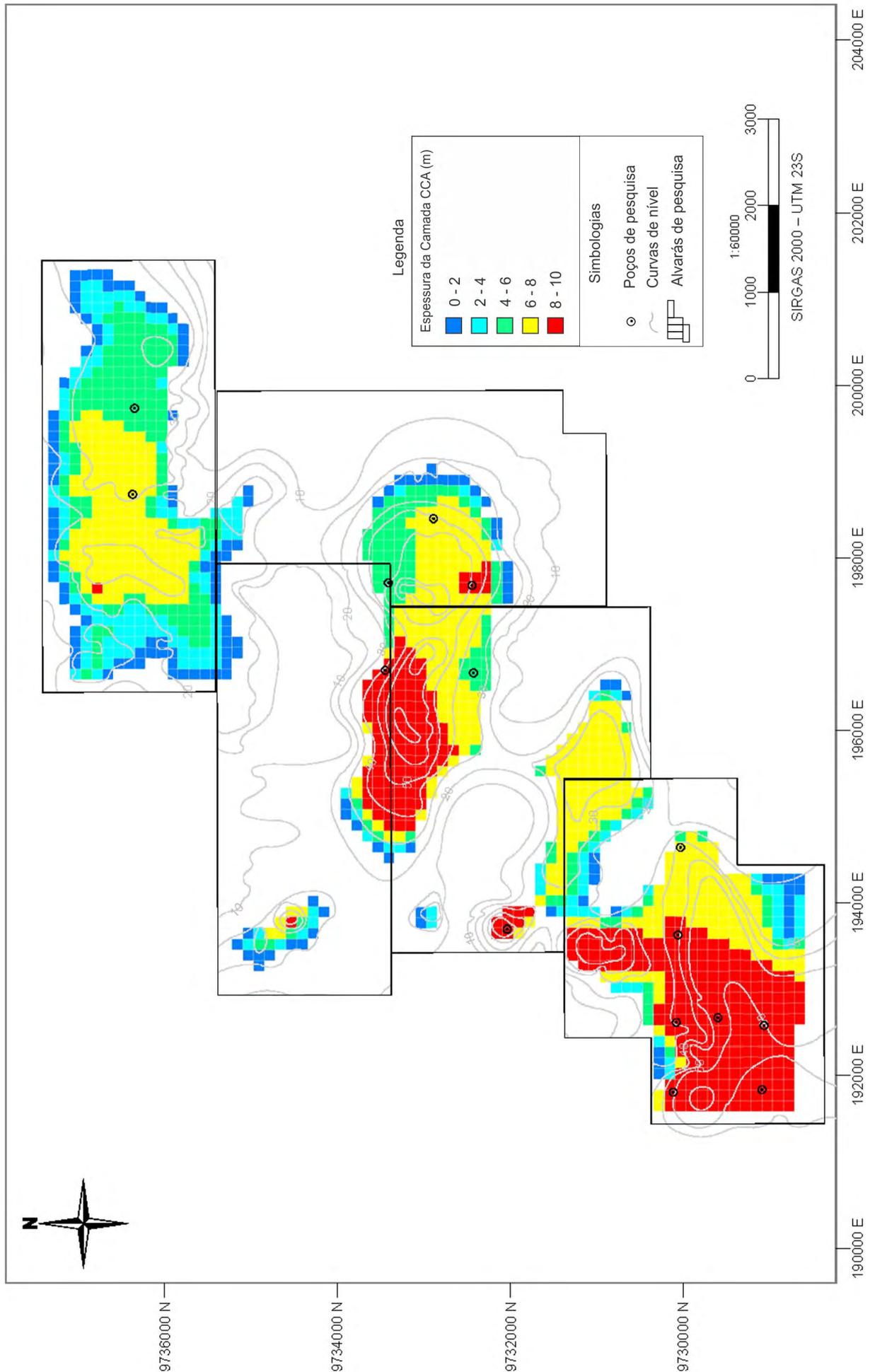
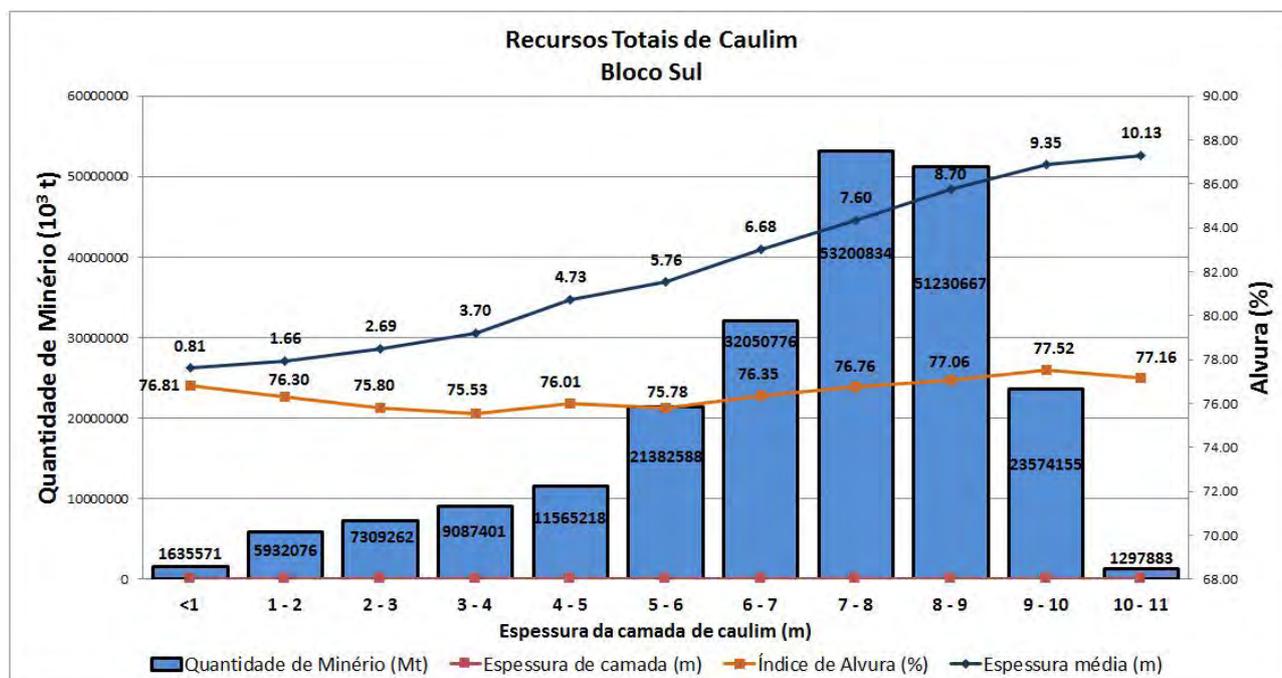


Tabela 17 – Parametrização de recursos por espessura da camada total de caulim (CCM + CCA) do bloco Sul.

Espessura x Tonelagem – CCM + CCA – Bloco Sul				
Chave	Espessura (m)	Minério (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	<1	1.635.571	76.81	0.81
2	1 - 2	5.932.076	76.30	1.66
3	2 - 3	7.309.262	75.80	2.69
4	3 - 4	9.087.401	75.53	3.70
5	4 - 5	11.565.218	76.01	4.73
6	5 - 6	21.382.588	75.78	5.76
7	6 - 7	32.050.776	76.35	6.68
8	7 - 8	53.200.834	76.76	7.60
9	8 - 9	51.230.667	77.06	8.70
10	9 - 10	23.574.155	77.52	9.35
11	10 - 11	1.297.883	77.16	10.13
Total		218266431	76.62	7.05

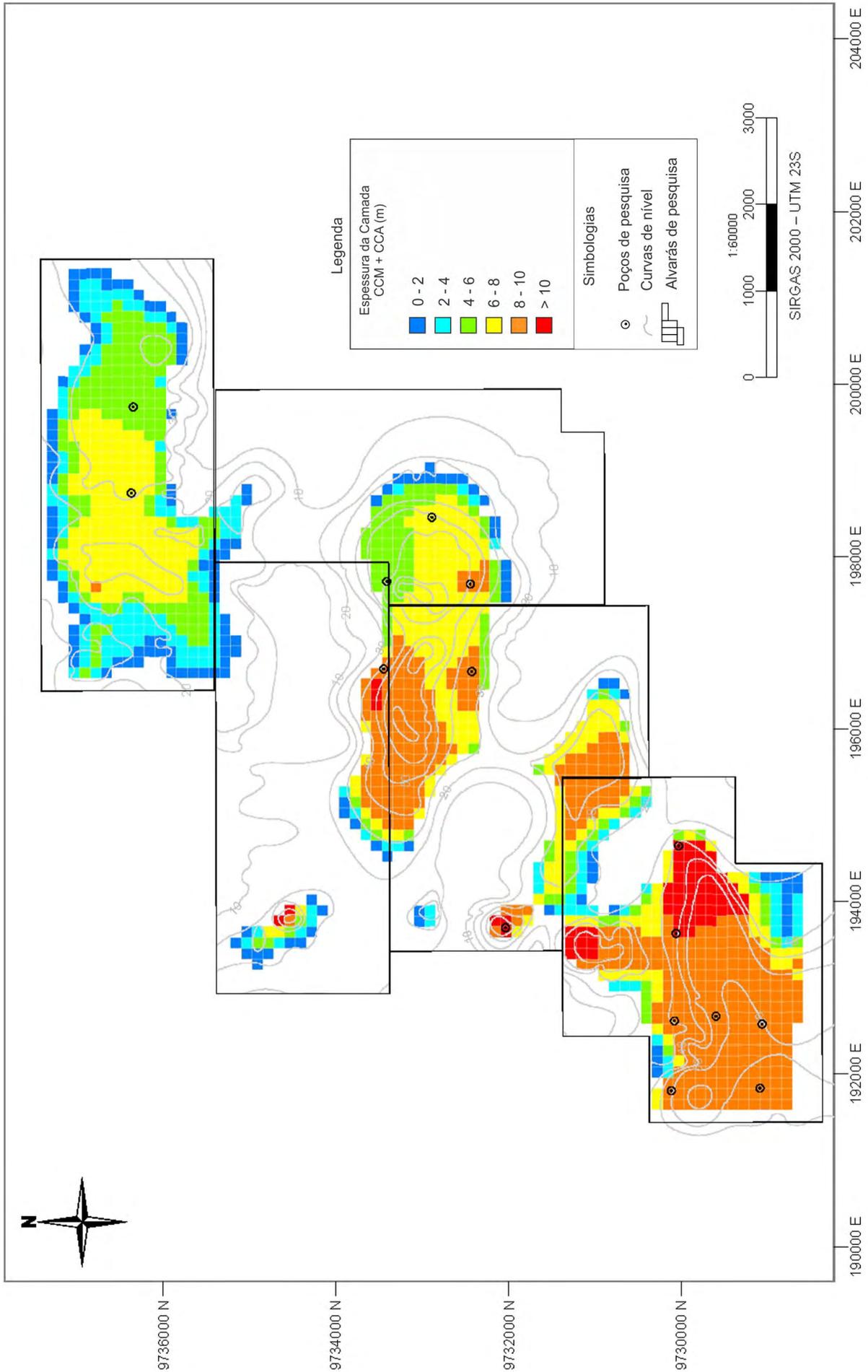
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 135 – Relação entre as espessuras da camada total de caulim (CCM + CCA) x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Sul..



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 136 – Mapa em planta do bloco Sul apresentando as espessuras da camada total de caulim.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

### 12.4.3 - Parametrização por capeamento

A parametrização por espessura de capeamento considera a quantidade total de recursos geológicos (CCM + CCA) existentes para cada faixa de espessura de cobertura estéril do depósito de caulim. As espessuras de capeamento foram calculadas a partir do topo do nível mais superficial de minério até a superfície topográfica (Tabelas 18 e 19; Figuras 137 a 140).

A seguir, são apresentados os resultados dessa parametrização para cada um dos dois blocos de estudo, por meio de tabelas numéricas (Tabelas 18 e 19), diagramas de capeamento x quantidade de minério x índice de alvura média (Figuras 137 e 139) e, adicionalmente, mapas dos dois blocos de estudo exibindo a distribuição das espessuras de capeamento em relação às camadas de caulim (Figuras 138 e 140).

## 12.5 - Relação Estéril/Minério

O estudo da relação estéril/minério (REM) foi desenvolvido a partir dos modelos de blocos contendo os valores estimados de índice de alvura e rendimento. Dessa maneira, determinou-se, em cada posição x, y dos centroides dos blocos, a espessura total de minério e de estéril existente, fazendo assim a simples relação entre esses dois valores.

Foram considerados, neste estudo, não só o capeamento estéril posicionado acima das camadas mineralizadas, como também os intervalos estéreis inseridos nas camadas de minério caulinitico. A espessura total de minério determinada compreende os dois tipos de minério modelados nesta reavaliação, dependendo apenas de presença ou não de determinado tipo no ponto analisado. Em função disso e tendo em vista a variabilidade dos teores de alvura e rendimento ao longo dos intervalos registrados em profundidade em um mesmo ponto, procedeu-se ao cálculo das médias ponderadas desses teores, de acordo com a espessura de cada intervalo.

O processo foi validado de três formas diferentes, obtendo-se os mesmos resultados em todos os testes.

Como resultado deste estudo, foram gerados gráficos e tabelas de parametrização de recursos, assim como mapas em que os valores da relação estéril/minério foram espacializados a partir da classificação dos modelos de blocos. Adotou-se um *range* de 0 a 8, em que, a partir de 8, os valores de relação estéril/minério foram agrupados em uma mesma classe.

Primeiramente, a metodologia adotada para o cálculo da relação estéril/minério desconsiderou o conteúdo de areia inserido nas camadas de caulim, que pode ser obtido por meio do valor de rendimento médio estimado. Na sequência do estudo, aplicou-

-se o valor de rendimento médio no volume de cada bloco estimado, o que pode ser entendido como um fator de recuperação de lavra. Dessa forma, os volumes de minério foram reduzidos, ao passo que os valores de estéril foram elevados, refletindo uma relação estéril/minério mais alta.

Contudo, entende-se que, durante a operação de lavra, é inviável proceder a tal seleção de material; portanto, os valores a serem considerados para efeitos de cálculo de recursos e valoração da propriedade mineral são aqueles obtidos sem a aplicação do fator de rendimento. Adotou-se, assim, a nomenclatura "Tonelagem Bruta" para esse montante de recursos.

### 12.5.1 - Bloco Norte

A relação estéril/minério no Bloco Norte (Figura 141) mostra-se de maneira homogênea e bastante favorável à extração a céu aberto. Observa-se que a maioria dos recursos cauliniticos apresenta uma relação estéril/minério entre 0 e 2, com algumas regiões em que os valores chegam a 4 ou mais. Em resumo, o recurso caulinitico do Bloco Norte distribui-se em duas categorias principais – de 0 a 2 e de 2 a 4 –, com destaque para a primeira, que abrange mais de 500 milhões de toneladas, ou 90% de todo o recurso. Na segunda categoria enquadram-se cerca de 50 milhões de toneladas, aproximadamente 9% do total de recursos do Bloco Norte.

A parametrização da relação estéril/minério no Bloco Norte, individualizando a quantidade de recursos em cada classe e relacionando com o índice de alvura médio, assim como a densidade média, as espessuras médias do empilhamento total de minério e estéril são apresentadas na Tabela 20, onde se observam, também, o total de recursos calculado em função do rendimento médio ou recuperação de lavra e a correspondente relação estéril/minério (REM) recalculada com base nesses critérios.

Já na Figura 142 ilustram-se a variação da quantidade de recursos e o índice de alvura ao longo das classes de relação estéril/minério.

### 12.5.2 - Bloco Sul

A relação estéril/minério no Bloco Sul (Figura 143) está categorizada praticamente em uma única faixa de valor. Observa-se que a quase totalidade dos recursos do Bloco Sul apresenta uma relação estéril/minério entre 0 e 2. Isso corresponde a uma quantidade de minério de mais de 200 milhões de toneladas, ou seja, 99% do total de recursos do Bloco Sul.

A parametrização da relação estéril/minério no Bloco Sul, individualizando a quantidade de re-

Tabela 18 – Parametrização de recursos geológicos totais por espessura de capeamento do bloco Norte.

Bloco Norte – Caulim Total								
Chave	Quantidade de Minério por Valor de Corte de Capeamento				Quantidade de Minério por Faixa de Capeamento			
	Cobertura (m)	Q (Mt)	Índice de Alvura Média (%)	Espessura Média (m)	Cobertura (m)	Q (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	27	773.344.562	80.67	10.32	24 - 27	1.299.261	81.46	5.37
2	24	772.045.301	80.67	10.32	21 - 24	1.969.773	82.48	4.27
3	21	770.075.528	80.66	10.34	18 - 21	9.610.848	82.14	2.22
4	18	760.464.680	80.64	10.44	15 -18	52.161.409	82.22	9.90
5	15	708.303.271	80.53	10.48	12 - 15	125.183.766	81.41	10.57
6	12	583.119.505	80.34	10.46	9 - 12	126.078.719	80.98	10.75
7	9	457.040.786	80.16	10.38	6 - 9	189.966.700	79.93	11.83
8	6	267.074.086	80.33	9.35	3 - 6	90.065.717	79.34	11.84
9	3	177.008.369	80.83	8.09	0 - 3	177.008.369	80.83	8.09

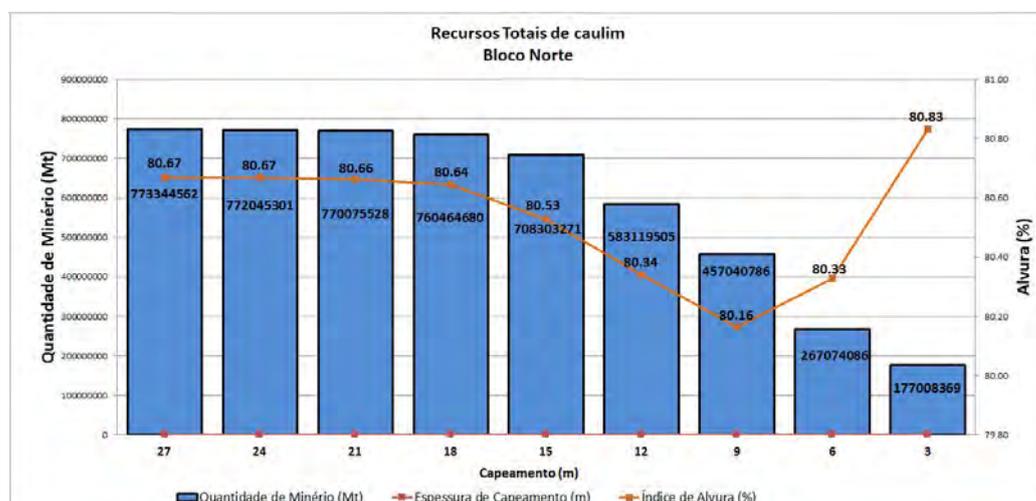
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 19 – Parametrização de recursos geológicos totais por espessura de capeamento do bloco Sul.

Bloco Sul – Caulim Total								
Chave	Quantidade de Minério por Valor de Corte de Capeamento				Quantidade de Minério por Faixa de Capeamento			
	Cobertura (m)	Q (Mt)	Índice de Alvura Média (%)	Espessura Média (m)	Cobertura (m)	Q (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	24	218.266.431	76.62	6.08	21 - 24	3.515.547	75.89	6.65
2	21	214.750.884	76.64	6.07	18 - 21	4.357.762	76.05	6.73
3	18	210.393.121	76.65	6.05	15 -18	2.262.419	76.13	6.26
4	15	208.130.703	76.65	6.05	12 - 15	4.217.171	76.18	6.71
5	12	203.913.531	76.66	6.04	9 - 12	6.521.084	76.70	6.34
6	9	197.392.448	76.66	6.03	6 - 9	10.082.226	76.89	6.32
7	6	187.310.222	76.65	6.01	3 - 6	10.433.258	76.96	6.39
8	3	176.876.964	76.63	5.99	0 - 3	176.876.964	76.63	5.99
9	3	177.008.369	80.83	8.09	0 - 3	177.008.369	80.83	8.09

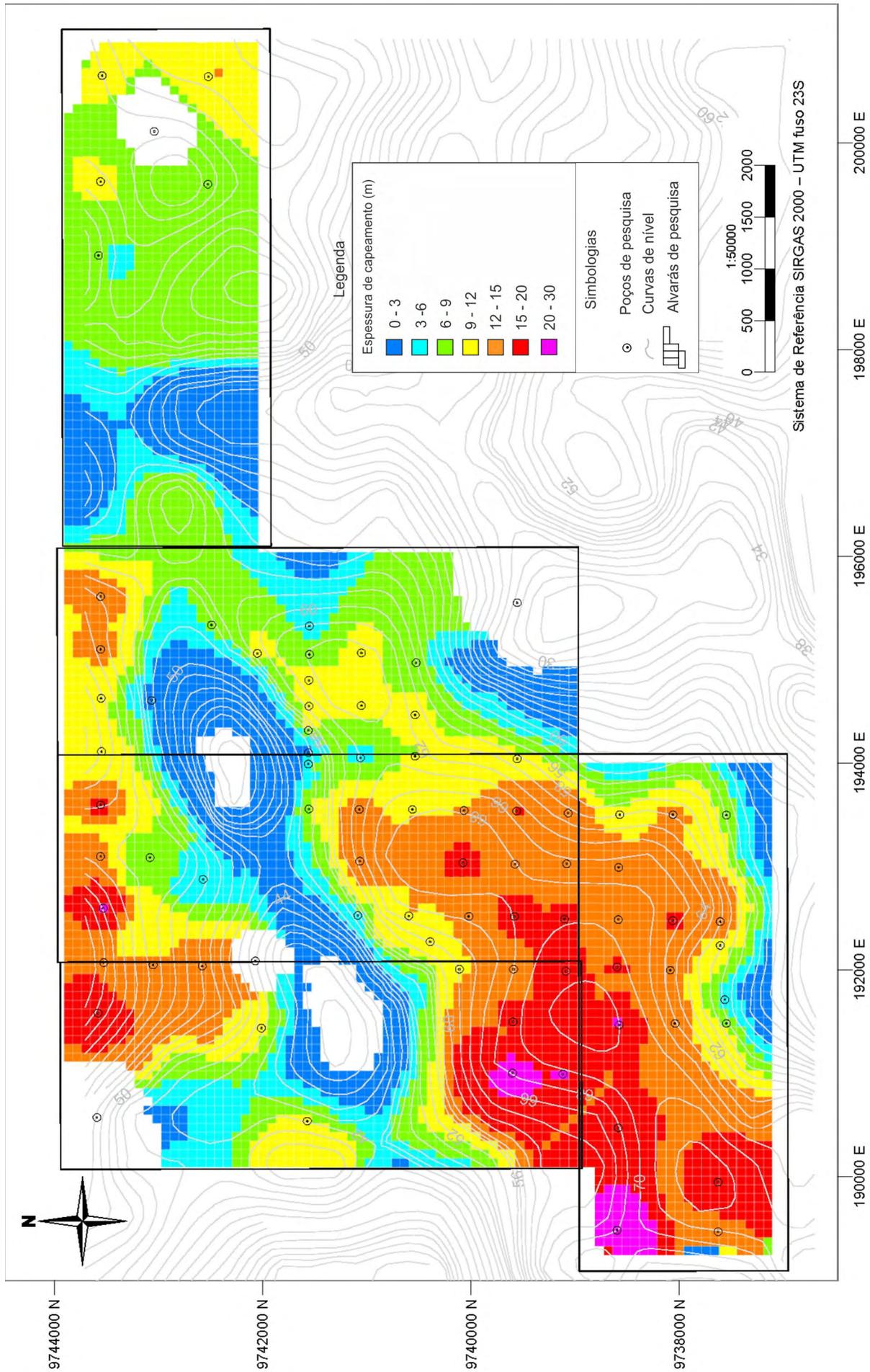
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 137 – Relação entre as espessuras de cobertura estéril sobre a camada mineralizada x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Norte.



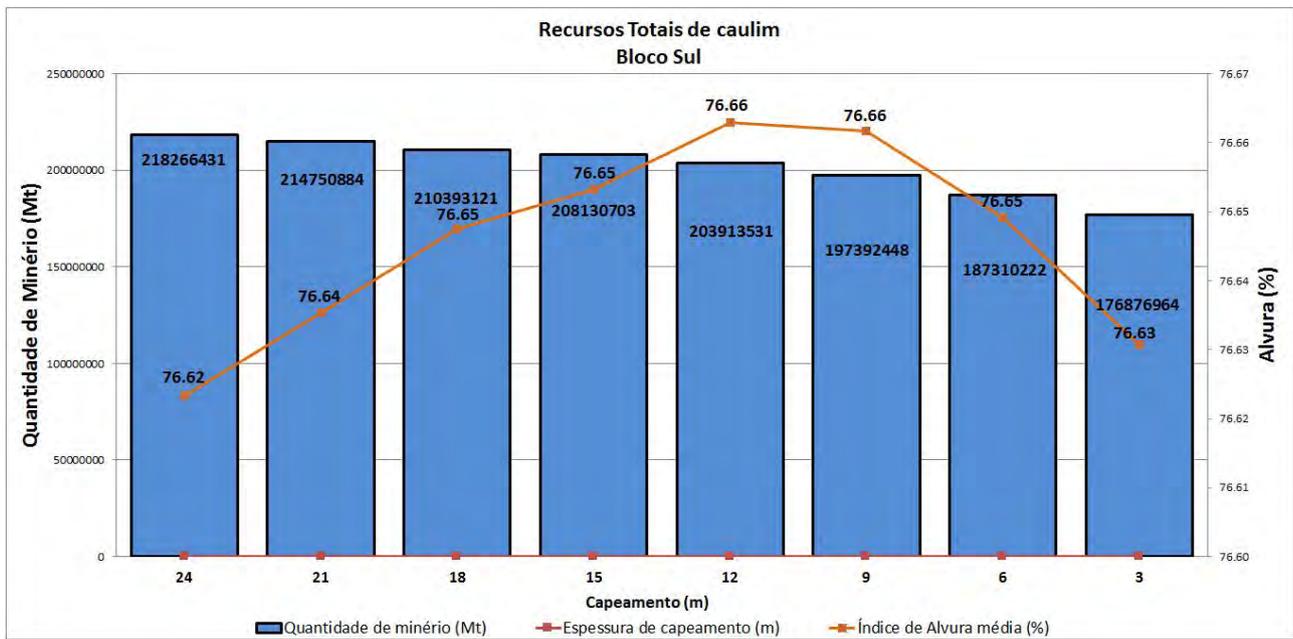
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 138 – Mapa em planta do bloco Norte apresentando as espessuras de capeamento sobre o minério.



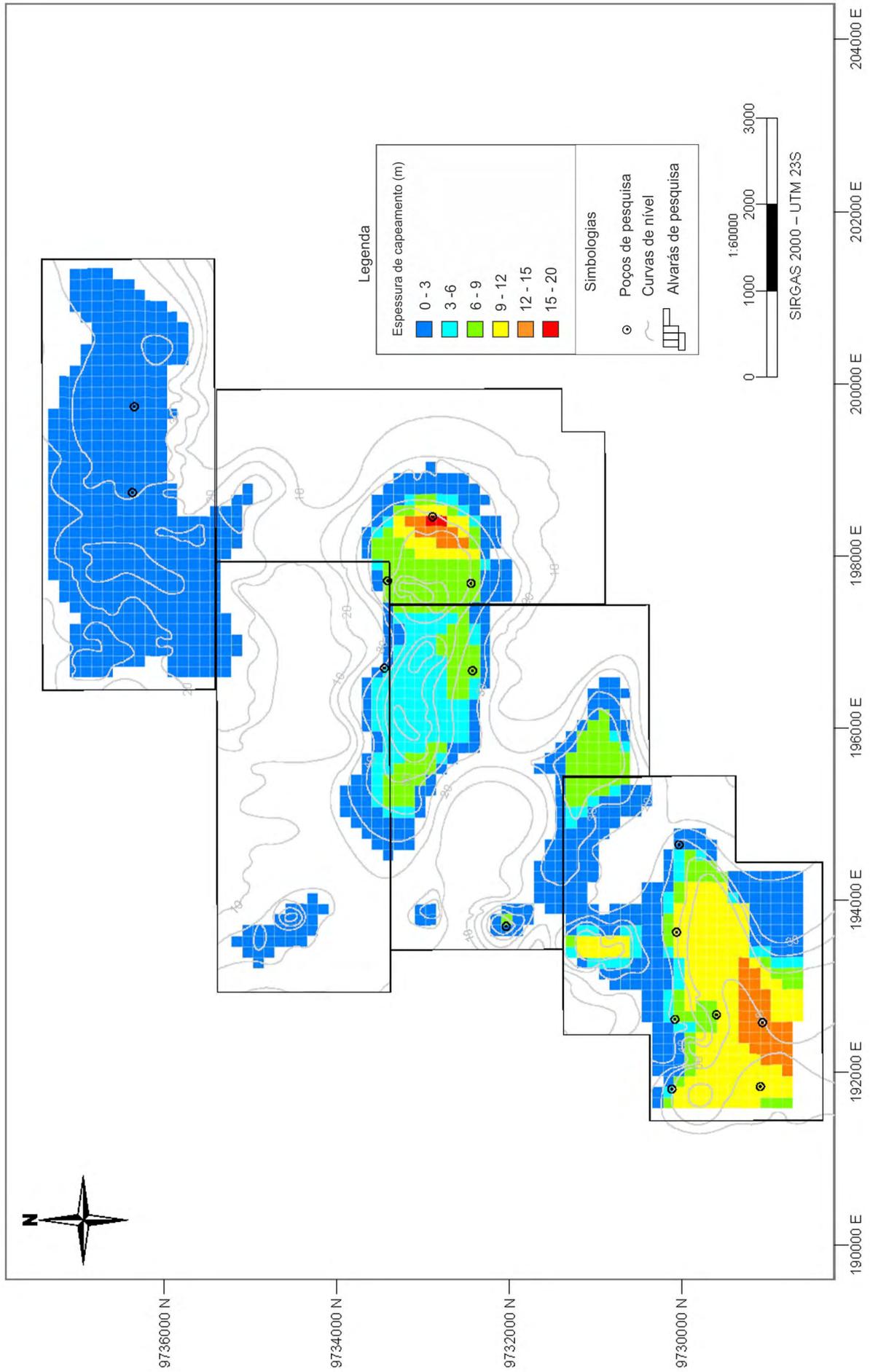
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 139 – Relação entre as espessuras de cobertura estéril sobre a camada mineralizada x quantidade de minério x índice de alvura média do bloco Sul.



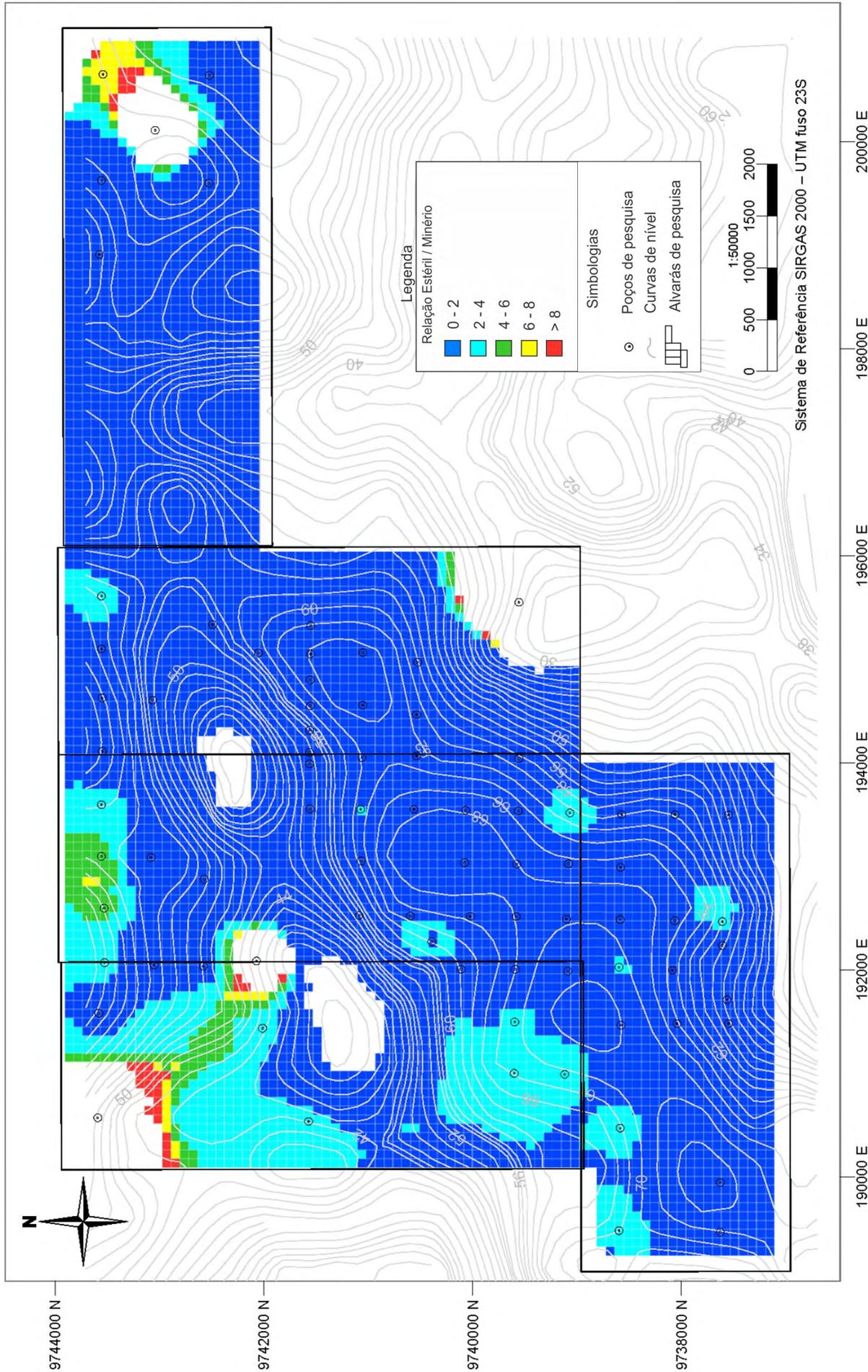
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 140 – Mapa em planta do bloco Sul apresentando as espessuras de capeamento sobre o minério.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 141 – Mapa em planta do bloco Norte apresentando a distribuição da relação estéril/minério.



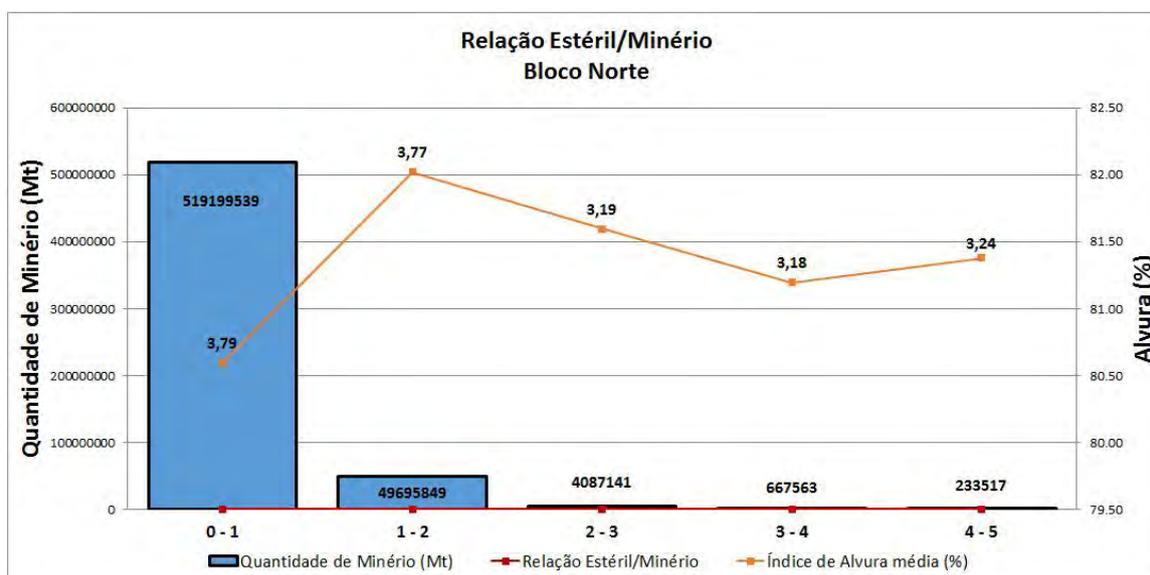
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 20 – Parametrização de recursos geológicos totais a partir da relação estéril/minério do bloco Norte.

Relação Estéril/Minério – Bloco Norte										
Relação Estéril/Minério	Volume (m³)	Densidade média	Q (Mt)	Teor Médio (%)	Espessura média minério (m)	Espessura média estéril (m)	Relação Estéril/Minério Média	Rendimento % (Recuperação de Lavra)	Q (Mt) - Recuperação de Lavra	REM - Recuperação de Lavra
0 a 2	327.552.548	1,59	519.199.539	80,59	10,10	9,09	0,92	65,82	341.733.236	3,02
2 a 4	31.010.995	1,60	49.695.849	82,02	6,35	15,17	2,46	59,14	29.387.704	4,06
4 a 6	2.541.861	1,61	4.087.141	81,59	2,62	12,42	4,78	66,25	2.707.810	3,23
6 a 8	422.424	1,58	667.563	81,20	1,49	10,21	6,93	63,53	424.128	2,86
>8	146.650	1,59	233.517	81,38	0,81	8,90	13,96	63,63	148.577	1,18
Total	361.674.477	1,59	573.883.609	80,72	9,70	9,64	1,9	65,24	37.4401.455	3,10

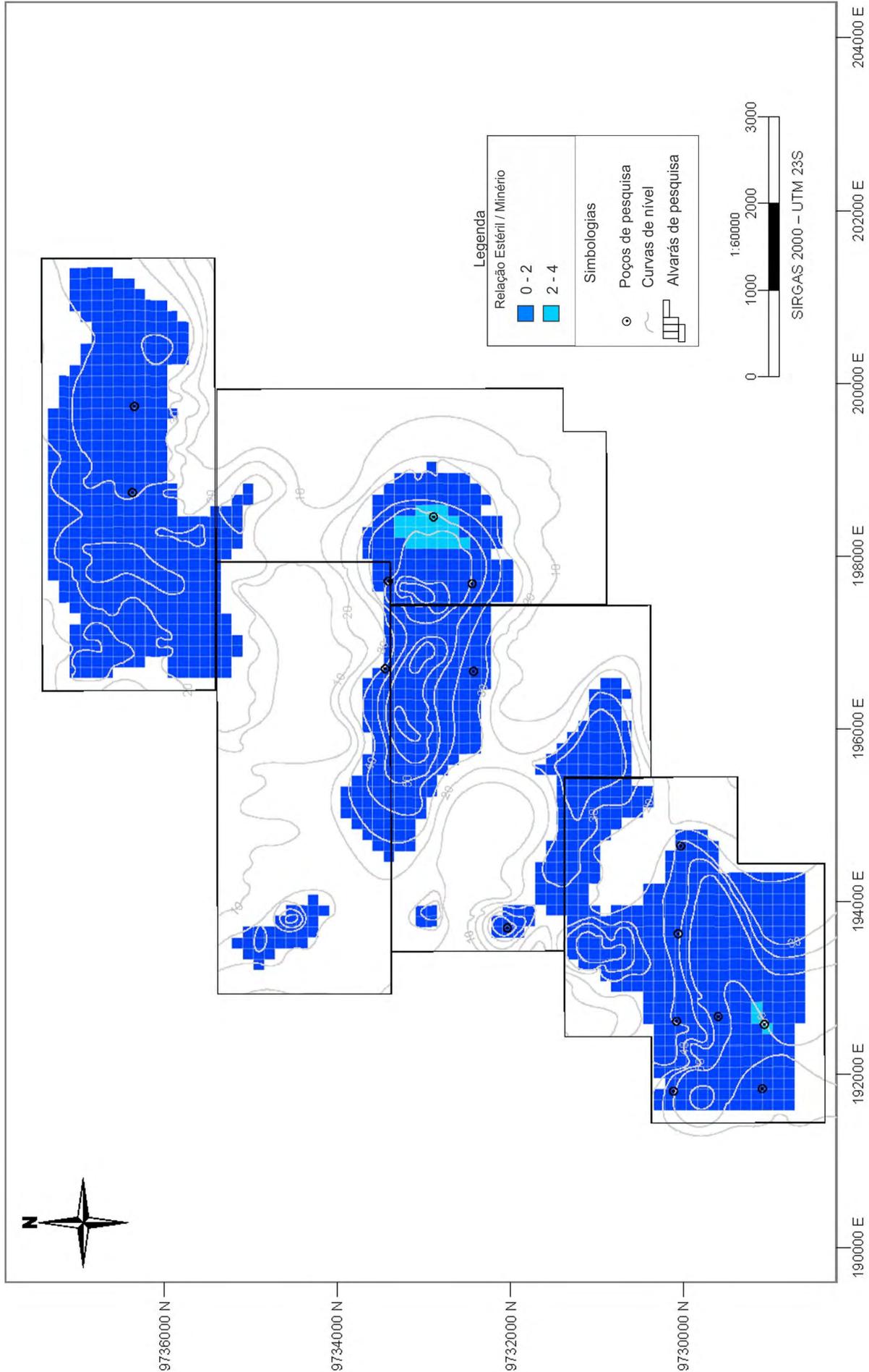
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 142 – Parametrização de recursos do bloco Norte a partir de categorias estabelecidas da relação estéril/minério e correlação com o índice de alvura média.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 143 – Mapa em planta do bloco Sul apresentando a distribuição da relação estéril/minério.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

curtos em cada classe e relacionando com o índice de alvura médio, assim como a densidade média, as espessuras médias do empilhamento total de minério e estéril são apresentados na Tabela 21, onde se observam, também, o total de recursos calculado em função do rendimento médio ou recuperação de lavra e a correspondente relação estéril/minério (REM) recalculada com base nesses critérios.

Já a variação da quantidade de recursos e o índice de alvura ao longo das classes de relação estéril/minério são ilustrados na Figura 144.

## 12.6 - Quadro de Recursos

Como resultado do estudo de reavaliação do depósito de caulim da região do rio Capim, obtiveram-se o total de recursos calculados em cada bloco de estudo para cada tipo de minério como também os valores estimados de índice de alvura. A soma de todos os recursos atingiu o valor de 792 milhões de toneladas de caulim, com índice de alvura média de 80% (Tabela 22).

Ressalta-se a diferença verificada em relação aos trabalhos de avaliação executados pela CPRM na década de 1970, conforme relatório final de pesquisa aprovado pelo DNPM, em que o volume total da soma das reservas medida, indicada e inferida foi de 566.819.164 milhões de toneladas.

Essas diferenças refletem, principalmente, a limitação das ferramentas utilizadas naquela época, em confronto com o avanço alcançado nas áreas de modelagem geológica, avaliação e estimativa de recursos nas últimas décadas, tornando possível a utilização de recursos computacionais, o que aumenta consideravelmente a precisão, a confiabilidade e a qualidade dos resultados reportados.

A distribuição dos recursos nos processos mineiros sob posse da CPRM, de acordo com os critérios de confiabilidade estabelecidos, classifica-se em recurso inferido de alta, média e baixa confiabilidade (Tabela 23).

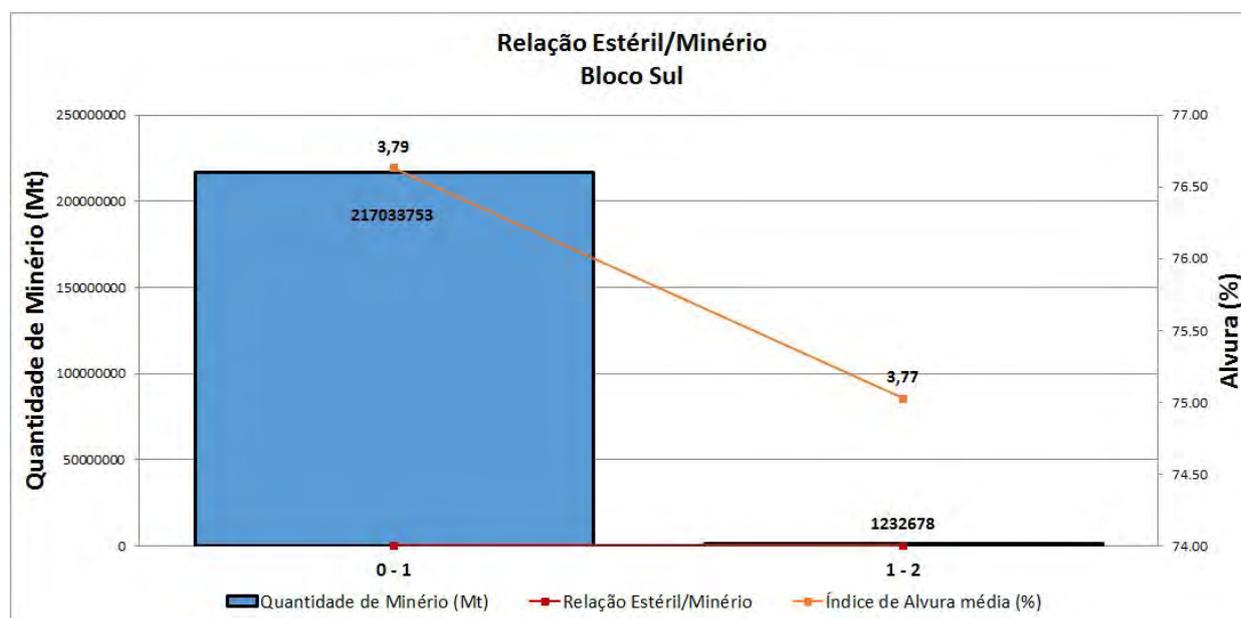
Recursos inferidos de alta confiabilidade são os recursos estimados cujos parâmetros de tonela-gem, densidade, forma, características físicas, teor e

Tabela 21 – Parametrização de recursos geológicos totais a partir da relação estéril/minério do bloco Sul.

Relação Estéril/Minério – Bloco Sul										
Relação Estéril/Minério	Volume (m <sup>3</sup> )	Densidade média	Q (Mt)	Teor Médio (%)	Espessura média minério (m)	Espessura média estéril (m)	Relação Estéril/Minério Média	Rendimento % (Recuperação de Lavra)	Q (Mt) - Recuperação de Lavra	REM - Recuperação de Lavra
0 a 2	132.633.751	1,64	217.033.753	76,63	7,48	4,38	0,52	66,65	144.650.905	1,29
2 a 4	773.572	1,64	1.232.678	75,03	6,19	13,98	2,26	68,07	839.082	3,78
Total	133.407.323	1,64	218.266.431	76,62	7,47	4,44	0,53	66,66	145.489.987	1,30

Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 144 – Parametrização de recursos do bloco Sul a partir de categorias estabelecidas da relação estéril/minério e correlação com o índice de alvura média.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

conteúdo mineral são suficientes para se admitir a continuidade da mineralização.

Recursos inferidos de baixa confiabilidade são definidos a partir de evidências geológicas ou características de relevo que indicam a presença da mineralização; entretanto, os recursos classificados nessa categoria não apresentam condições de serem extrapolados para áreas vizinhas. Os recursos inferidos de baixa confiabilidade são classificados em função do raio de busca no qual estão inseridos, havendo necessidade de estudos complementares para comprovação da presença dos corpos mineralizados e dos teores estimados.

Os recursos inferidos de média confiabilidade caracterizam uma situação intermediária entre o nível de alta confiabilidade e o de baixa confiabilidade.

Os recursos de caulim do Projeto Rio Capim, categorizados segundo os níveis de confiança estabelecidos, refletem o suporte amostral e os elipsoides de busca utilizados na estimativa de recursos (Tabela 24).

## 12.7 - Validação das Estimativas

Como forma de validação das estimativas geradas neste estudo, procedeu-se à comparação dos valores de índice de alvura média das amostras compostas com los do modelo de blocos estimado. As discrepâncias obtidas podem ser consideradas insignificantes (Figura 145).

Tabela 22 – Resultado final da estimativa de recursos de caulim do projeto Rio Capim.

<b>Quadro de Recursos - Proj. Rio Capim</b>											
Bloco	Tipo de minério	Classificação	Volume (m <sup>3</sup> )	Densidade	Tonelagem Bruta	Índice de Alvura média (%)	Espessura média minério (m)	Relação Estéril/Minério média	Rendimento % (Recuperação de Lavra)	Q (Mt) - Recuperação de Lavra	REM - Recuperação de Lavra
Norte	CCM	Inferido	214.027.875	1.55	331.743.206	80.81	11.84	1.02	66.16	219.482.518	3.41
	CCA	Inferido	147.646.587	1.64	242.140.403	81.12	4.49	1.19	63.92	154.772.012	3.48
Subtotal	CCM + CCA	Inferido	361.674.462	1.59	573.883.609	80.94	8.74	1.10	65.21	374.254.530	3.44
Sul	CCM	Inferido	4.995.768	1.55	7.743.441	76.60	2.27	0.69	66.49	5.148.785	1.55
	CCA	Inferido	128.367.677	1.64	210.522.991	76.62	7.23	0.52	66.66	140.342.303	1.29
Subtotal	CCM + CCA	Inferido	133.363.445	1.64	218.266.431	76.62	7.05	0.53	66.66	145.491.088	1.30
Recurso Inferido Total			495.037.907	1.60	792.150.040	79.73	8.27	0.94	65.61	519.745.619	2.84

Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 23 – Quadro de recursos com a distribuição da tonelagem de minério de acordo com os graus de confiabilidade adotados no projeto Rio Capim.

BLOCO	PROCESSO DNPM Nº	Confiabilidade alta	Confiabilidade Média	Confiabilidade Baixa	Índice de Alvura média (%)	Relação Estéril/Minério média	TOTAL	Rendimento (%) Recuperação de Lavra	Q (Mt) - Recuperação de Lavra
Norte	812869	0	1.290.378	151.853.087	81.01	1.14	153.143.465	63.24	96.844.374
	812870	252.864	1.434.197	67.207.087	83.00	2.02	68.894.148	58.95	40.613.789
	812871	0	4.702.353	120.873.087	80.15	1.17	125.575.439	69.65	87.463.293
	812872	0	145.383	130.973.087	79.92	0.65	131.118.470	68.72	90.108.546
	812873	0	0	95.152.087	80.47	0.88	95.152.087	62.26	59.242.641
	SUB-TOTAL	252.864	7.572.312	566.058.433	80.94	1.10	573.883.609	65.21	374.272.643
Sul	812874			52.445.686	75.82	0.13	52.445.686	67.07	35.175.322
	812875			19.797.686	75.40	0.97	19.797.686	68.71	13.602.792
	812876			45.137.686	77.68	0.51	45.137.686	68.87	31.086.776
	812877			14.514.686	76.77	0.24	14.514.686	68.91	10.001.345
	812878			86.370.686	78.81	0.74	86.370.686	63.88	55.170.140
	SUB-TOTAL	0	0	218.266.431	76.62	0.53	218.266.431	66.66	145.036.374
TOTAIS	252.864	7.572.312	784.324.864	79.73	0.94	792.150.040	65.61	519.309.017	

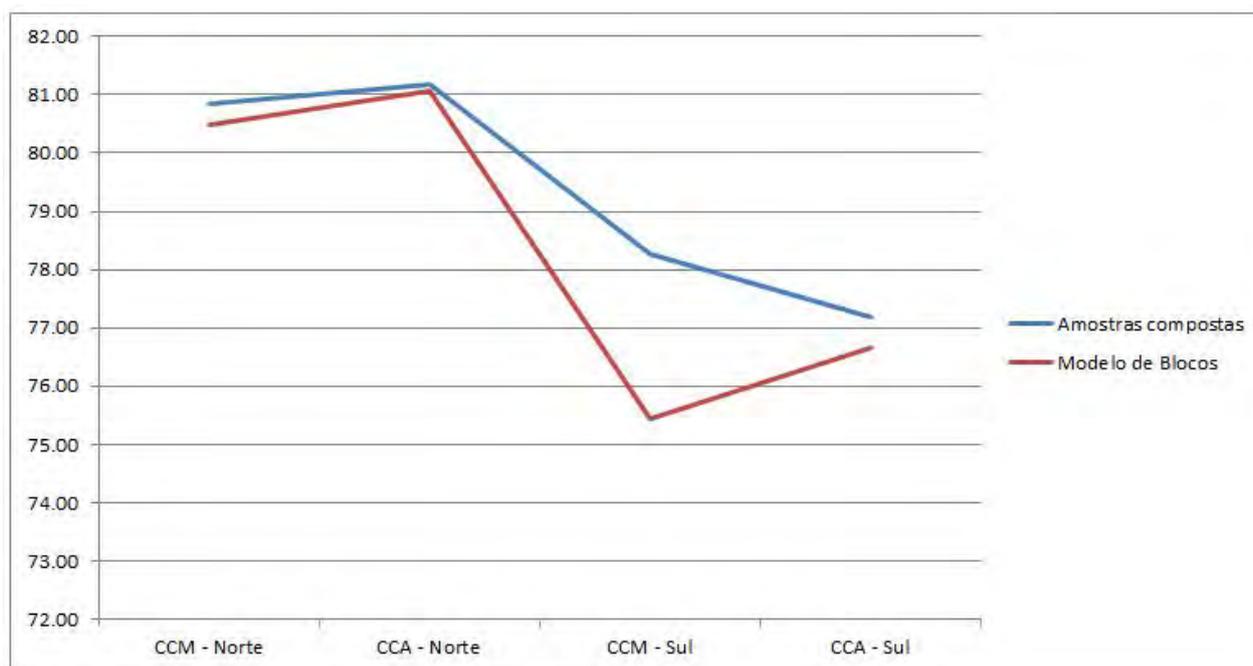
Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Tabela 24 – Recursos de caulim do projeto Rio Capim categorizados segundo critérios de confiabilidade.

Raio de Busca	Nível de Confiabilidade	Dimensões dos Elipsoides de Busca (x, y, z)	Tonelagem	Índice de Alvura média (%)
1	Alto	25x25x5	252.864	85.06
2	Médio	50x50x10	7.572.312	81.27
3	Baixo	20000x2000x4000	784.324.864	79.58
TOTAL			792.150.040	79.60

Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.

Figura 145 – Comparação entre o índice de alvura das amostras compostas e o dos modelos de blocos para cada tipo de minério em cada bloco de estudo.



Fonte: Elaborada por Eduardo M. Grissolia, 2017.



# 13 - TESTE DE BENEFICIAMENTO (ENSAIOS PRELIMINARES)

O caulim, normalmente, ocorre associado a diversas impurezas, de modo que, para atender às especificações de mercado, é necessário submetê-lo a processos de beneficiamento. Há dois métodos de beneficiamento do caulim: via seca e via úmida. O primeiro, mais simples, destina-se a caulins que já apresentem alvura e granulometria adequadas ao mercado a que se destinam. O processo por via úmida envolve as etapas de dispersão, desareamento, fracionamento em hidrociclone ou centrífuga, separação magnética, floculação seletiva, alveamento químico, filtragem e secagem (Figura 146).

Para consecução de ensaios de beneficiamento em caráter preliminar, a CPRM contratou a empresa Paulo Abib Andery e Associados S.C. Ltda. Os ensaios compreenderam: teste de dispersão, floculação, espessamento, filtragem e classificação granulométrica.

### 13.1 - Preparação de Amostras

As amostras de caulim provenientes da região do rio Capim estavam codificadas como T05-7 e apre-

sentavam cerca de 20% de umidade média. Foram utilizados dois lotes idênticos de amostras, contendo cada um, aproximadamente, 40 e 120 kg. Essa última remessa foi para conclusão dos testes. Essa amostragem esteve a cargo da equipe da CPRM.

Após a homogeneização de cada uma das amostras e retirada de alíquotas representativas, procedeu-se ao peneiramento a úmido, obtendo-se os resultados médios e a composição granulométrica média do caulim (Figura 147; Tabelas 25 e 26).

Em seguida, a amostra foi submetida aos testes programados, todos realizados com a fração -325# (44 µm) (Tabela 27).

### 13.2 - Ensaios de Dispersão

Os ensaios com dispersantes, realizados em provetas idênticas de 500 ml, constituíam uma polpa de caulim com cerca de 10% de sólidos. Introduzido o dispersante em quantidades predeterminadas, mediu-se o pH e, posteriormente, nos intervalos de 2, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos. Anotava-se o nível

Figura 146 – Diagrama simplificado de beneficiamento de caulim via úmida.

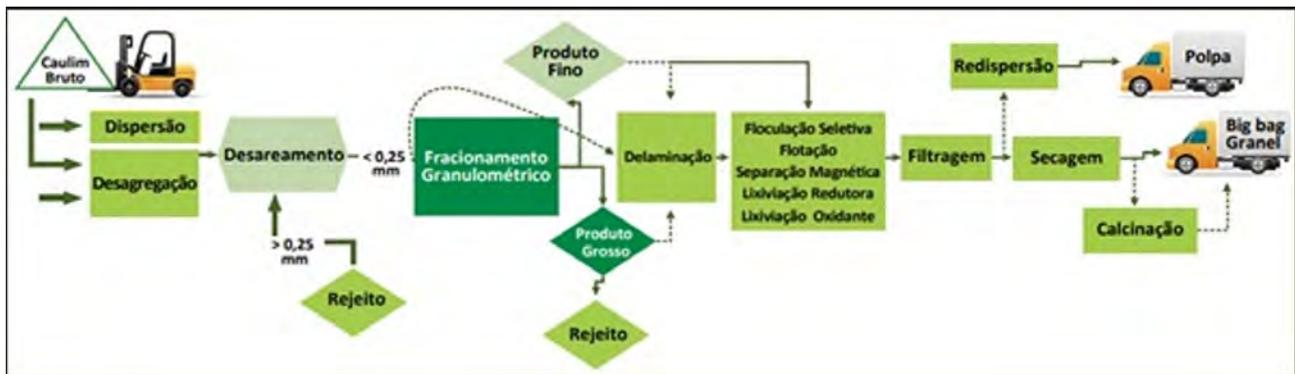


Figura 147 – Preparação das amostras para os ensaios de beneficiamento.



Tabela 25 – Composição média das amostras originais.

Amostras Originais (T05-7)		
Malhas (#)	Percentual Retido (%)	Percentual Retido/Acumulado (%)
100	4,7	4,7
200	16,1	20,8
325	5,1	25,9
-325	74,1	100,0

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973. Nota: À vista desarmada, as amostras apresentavam tonalidade branca.

Tabela 26 – Resultado da análise de alvura das amostras originais.

Amostra	Aparelho		Padrão: Óxido de Magnésio
	KETT	ELREPHO	
	Filtro (%)	Alvura (%)	Alvura (%)
TO5-7	Verde	85,3	82,0
	Azul	81,3	
	Vermelho	90,0	

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Tabela 27 – Composição granulométrica média do caulim amostrado.

Amostras Originais (TO5-7)			
Malha (#)	Percentual Acumulado (%)	Micrômetro ( $\mu\text{m}$ )	Percentual Passante (%)
50	1,7	44	74,1
70	3,0	35	71,4
100	4,7	22	70,1
150	16,1	10	63,3
200	20,8	5	51,7
325	25,9	2	35,1
-325	100,0		

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

de sólidos e calculava-se em porcentagem o nível de decantação (nível de sólidos), à medida que o tempo avançava. No intuito de comparar os reagentes, foram fixados parâmetros e modificada apenas a qualidade dos dispersantes.

### 13.3 - Ensaios de Floculação

Esses ensaios foram realizados em condições análogas às dos anteriores, diferindo, apenas, quanto à natureza química dos reagentes e respectivas quantidades.

### 13.4 - Ensaios de Espessamento

Na elaboração desse ensaio, foi seguido o processo Denver.

Como não foi possível pesquisar um floculante promissor para esse caulim dentro do prazo contratual de trabalho na época (ano de 1973), o referido ensaio foi executado sem adição de floculante.

#### 13.4.1 - Apresentação dos resultados

$M_p = 2300 \text{ g}$     19,5% sólidos     $M_s = 448,5 \text{ g}$   
 $V_p = 2020 \text{ cm}^3$

Polpa 4:1

$M_s = 448,5 \text{ g}$      $M_p = 2240 \text{ g}$   
 Volume de água a sifonar –  $60 \text{ cm}^3$      $V_p = 1960 \text{ cm}^3$

Polpa 3:1

$M_s = 448,5 \text{ g}$      $= M_p = 1795 \text{ g} = V_p = 1515 \text{ cm}^3$

Polpa 2:1

$M_s = 448,5 \text{ g}$      $= M_p = 1345 \text{ g} = V_p = 1065 \text{ cm}^3$

Polpa 4:1

Velocidade de sedimentação =  $9 \text{ mm}/22 \text{ min} = 24,5 \text{ mm/h} = 0,08 \text{ ft/h}$

Polpa 3:1

Velocidade de sedimentação =  $31 \text{ mm}/25 \text{ min} = 74 \text{ mm/h} = 0,24 \text{ ft/h}$

Polpa 2:1

Velocidade de sedimentação =  $3 \text{ mm}/35 \text{ min} = 5 \text{ mm/h} = 0,02 \text{ ft/h}$

Após 19 horas –  $h = 41,5 \text{ mm}$

20 horas –  $h = 43,0 \text{ mm}$

23 horas –  $h = 47,5 \text{ mm}$

25 horas –  $h = 49,5 \text{ mm}$

Obs.: Após 25 horas, praticamente cessou a sedimentação.

Calcula-se a porcentagem de sólidos final da seguinte forma: massa total (polpa + água limpa) =  $1350 \text{ g}$

Logo, massa de polpa =  $1350 - 260 = 1090 \text{ g}$

Volume de polpa =  $905 \text{ cm}^3$

$d_p = 1,204$

$d_s = 2,64$

% sólidos =  $(d_s/d_p - 1) \times (d_p - 1/d_p) = 1,61 \times (0,204/1,204) = 27,3\%$

#### 13.4.1.1 Resultado do ensaio de espessamento

Polpa 4:1 – razão de espessamento:  $39,9 \text{ ft}^2/\text{t} \times 24 \text{ h}$

Polpa 3:1 – razão de espessamento:  $7,6 \text{ ft}^2/\text{t} \times 24 \text{ h}$

Polpa 2:1 – razão de espessamento:  $26,6 \text{ ft}^2/\text{t} \times 24 \text{ h}$ .

Por fim, foi adotado o maior valor, isto é: polpa 4:1. Considerando-se o coeficiente de segurança de 25% (recomendação: Processo Denver), temos: área do espessador =  $39,9 \times 1,25 \approx 50 \text{ ft}^2/\text{t} \times 24 \text{ h}$  e porcentagem de sólidos final = 38,5%.

### 13.5 - Ensaios de Filtragem

Para esses testes, aplicou-se o processo El-MCO, muito utilizado para granulometrias finas, especialmente para caulim.

#### 13.5.1 - Apresentação dos resultados

Foram programados cinco ensaios de filtragem do caulim, cujas condições e resultados são descritos a seguir (Tabelas 28 e 29).

Ensaio de filtragem nº 1	Tempo de imersão = 30 s
Vácuo – 20 pol. Hg	Tempo de ciclo = 1 min 30 s
Massa da torta = 46,5 g	Massa seca = 30,5 g
Umidade da torta = 34,4%	Meio filtrante = NY-317F, com <i>air flow</i> de 0,6-1,0 cfm/sq.ft
Volume filtrado = 28 cm <sup>3</sup>	Razão de filtragem = $(44 \times 40) / (1/10) = 17,6 \text{ kg/h} \times \text{pe}^{-2}$
Tempo de imersão = 20 s	
Tempo de ciclo = 1 min 10 s	
Meio filtrante = NY-317F, com <i>air flow</i> de 0,6-1,0 cfm/sq.ft	Ensaio de filtragem nº 3
Razão de filtragem = $(30,5 \times 51) / 1/10 = 15,55 \text{ kg/h} \times \text{pe}^{-2}$	Vácuo = 20 pol. Hg
	Massa da torta = 54,5 g
	Massa seca = 35,5 g
	Umidade da torta = 34,9%
	Volume filtrado = 24 cm <sup>3</sup>
	Tempo de imersão = 20 s
Ensaio de filtragem nº 2	Tempo de ciclo = 1 min 15 s
Vácuo = 21 pol. Hg	Meio filtrante = NY-317F, com <i>air flow</i> de 0,6-1,0 cfm/sq.ft
Massa da torta = 68 g	Massa seca = 44 g
Umidade da torta = 35,3%	Razão de filtragem = $(35,5 \times 48) / (1/10) = 17,04 \text{ kg/h} \times \text{pe}^{-2}$
Volume filtrado = 29 cm <sup>3</sup>	

Tabela 28 – Resultados de ensaios de filtragem de caulim.

Ensaio Nº	Tempo de Imersão	Tempo de Ciclo	Ciclo/h	Percentual de Umidade da Torta (%)	Razão kg/pe <sup>-2</sup> x h	Filtragem kg/pe <sup>-2</sup> x h
1						
Vácuo	20 s	1 min 10 seg.	51	34,4	15,55	34,25
20 pol. Hg						
2						
Vácuo	30 s	1 min 30 seg.	40,0	35,3	17,60	38,76
21 pol. Hg						
2A						
Vácuo	23 s	1 min 30 seg.	40,0	34,5	18,20	40,10
21,5 pol. Hg						
3						
Vácuo	20 s	1 min 15 seg.	48,0	34,9	17,04	37,53
20 pol Hg						
4						
Vácuo	35 s	1 min 45 seg.	34,3	35,3	17,60	38,76
22 pol Hg						
4A						
Vácuo	35 s	1 min 45 seg.	34,3	35,1	19,03	31,91
21 pol Hg						
5						
Vácuo	40 s	2 min	30,0	34,8	17,07	37,60
21 pol Hg						

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Tabela 29 – Melhores resultados dos ensaios de filtragem de caulim.

Ensaio Nº	Tempo de Imersão	Tempo de Ciclo	Ciclo/h	Percentual de Umidade da Torta (%)	Razão de Filtragem Média (kg/pe <sup>-2</sup> x h)
2-2A	30 s	1 min 30 s	40	34,9	17,9 kg/pe <sup>-2</sup> x h = 39,42 lb/pe <sup>-2</sup> x h
4-4A	35 s	1 min 45 s	34,3	35,2	18,3 kg/pe <sup>-2</sup> x h = 40,33 lb/pe <sup>-2</sup> x h

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Ensaio de filtragem n° 4  
 Vácuo = 22 pol. Hg  
 Massa da torta = 78,0 g                      Massa seca = 50,5 g  
 Umidade da torta = 35,3%  
 Volume filtrado = 34 cm<sup>3</sup>  
 Tempo de imersão = 35 s  
 Tempo de ciclo = 1 min 45 s  
 Meio filtrante = NY-317F, com *air flow* de 0,6-1,0 cfm/sq.ft  
 Razão de filtragem =  $(50,5 \times 34,3) / (1/10) = 17,32$  kg/h x pe<sup>-2</sup>

Filtragem n° 2A  
 Vácuo = 21,5 pol. Hg  
 Massa da torta = 69,5 g                      Massa seca = 45,5 g  
 Umidade da torta = 34,5%  
 Volume filtrado = 33 cm<sup>3</sup>  
 Tempo de imersão = 30 s  
 Tempo de ciclo = 1 min 30 s  
 Meio filtrante = NY-317F, com *air flow* de 0,6-1,0 cfm/sq.ft  
 Razão de filtragem =  $(45,5 \times 40) / (1/10) = 18,20$  kg/pe<sup>-2</sup> x h

Filtragem n° 4A  
 Vácuo = 21 pol. Hg  
 Massa da torta = 85,5 g                      Massa seca = 55,5 g  
 Umidade da torta = 35,1%  
 Volume filtrado = 34 cm<sup>3</sup>  
 Tempo de imersão = 35 s  
 Tempo de ciclo = 1 min 45 s  
 Meio filtrante = NY-317F, com *air flow* de 0,6-1,0 cfm/sq.ft  
 Razão de filtragem =  $(55,5 \times 34,3) / (1/10) = 19,03$  kg/h x pe<sup>-2</sup>

Ensaio de filtragem n° 5  
 Vácuo = 21 pol. Hg  
 Massa da torta = 87,2 g                      Massa seca = 56,9 g  
 Umidade da torta = 34,8%  
 Tempo de imersão = 40 s  
 Tempo de ciclo = 2 min  
 Volume filtrado = 37 cm<sup>3</sup>  
 Meio filtrante = NY-317F, com *air flow* de 0,6-1,0 cfm/sq.ft  
 Razão de filtragem =  $(56,9 \times 30) / (1/10) = 17,07$  kg/pe<sup>-2</sup> x h

### 13.6 - Ensaio de Classificação Granulométrica

Nos ensaios de classificação granulométrica, utilizaram-se dois circuitos de disposições diferentes.

O primeiro constou de um hidrociclone de  $\phi = 2''$ , cujo *overflow* constituiu a alimentação do hidrociclone de  $1/2''$ . O *overflow* desse último é o produto de caulim teoricamente destinado para cobertura de papel.

Já o segundo circuito de classificação constou de uma bateria de hidrociclones normais do ciclo peneirador (*cyclosizer*) em série com o ciclone de  $\phi = 1/2''$  (Tabelas 30 a 32).

#### 13.6.1 - Primeiro circuito de classificação

O circuito de classificação encontra-se esquematizado com as seguintes condições operacionais: 0,8% de sólidos da alimentação contínua; pressão de 50 psi na entrada do ciclone de  $\phi = 2''$ , consumo de água à razão de 900 l/h (Figura 148).

As frações obtidas são secadas e pesadas, bem como verificadas as respectivas distribuições granulométricas. O produto "fino" é considerado, teoricamente, caulim beneficiado para cobertura de papel.

Os resultados do primeiro circuito de classificação são apresentados nas Tabelas 33 e 34.

#### 13.6.2 - Segundo circuito de classificação

Para esse circuito de classificação utilizou-se uma bateria composta de cinco ciclones normais de ciclo peneirador (*cyclosizer*), seguido de um ciclone de  $\phi = 1/2''$  (Figura 149).

As condições operacionais oscilaram em torno de 50 psi na alimentação intermitente e consumo de água à razão de 300 l/h.

As frações obtidas também foram secadas e pesadas. Posteriormente, foi calculado o rendimento em massa e processada a granulometria. O produto "fino" é considerado concentrado nobre para cobertura de papel (Tabelas 35 e 36).

Tabela 30 – Análise granulométrica da amostra recebida.

Malhas (#)	Percentual das Frações (%)	Percentual Retido/Acumulado (%)
50	1,7	1,7
70	1,3	3,0
100	1,7	4,7
150	11,4	13,1
200	4,7	20,8
325	5,1	25,9
-325	74,1	100,0

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Tabela 31 – Análise granulométrica comparativa de -325# (44 µm)

Micrômetro (µm)	Primeira Análise	Segunda Análise	Terceira Análise A	Terceira Análise B	Quarta Análise	Composição Média
35	98,0	96,0	94,0	96,0	98,0	96,4
22	97,0	96,0	92,0	93,0	95,0	94,6
10	88,0	96,0	80,0	82,0	81,0	85,4
5	75,0	85,0	66,0	65,0	58,0	69,8
2	52,0	65,0	45,0	41,0	34,0	47,4

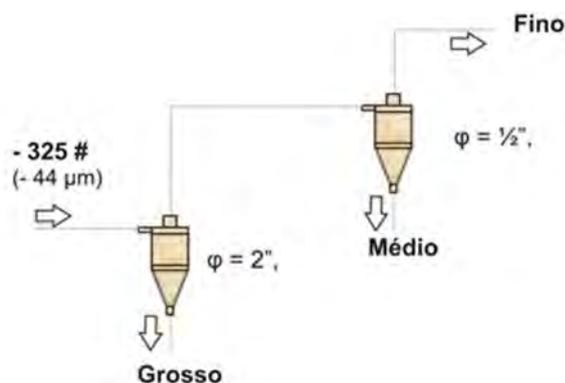
Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Tabela 32 – Granulométrica minério original.

Micrômetro (µm)	Percentual Passante (%)
44	74,1
35	71,4
22	70,1
10	63,3
5	51,7
2	35,1

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Figura 148 – Esquema do primeiro circuito de classificação por hidrociclone.



Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Tabela 33 – Amostras (percentual passante) do primeiro circuito de classificação.

Micrômetro (µm)	Grosso	Médio	Fino
44	98,0	85,0	100,0
35	96,0	85,0	99,0
22	96,0	81,0	98,0
10	88,0	74,0	90,0
5	68,0	50,0	76,0
2	44,0	30,0	54,0

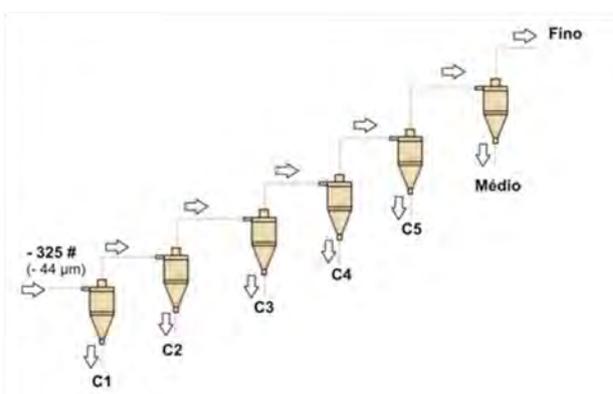
Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Tabela 34 – Rendimento em massa (%) do primeiro circuito de classificação.

Classificação	- 325 #	Caulim original
Grosso	58,0	43,0
Médio	29,4	21,8
Fino	96,0	81,0
Total	100,0	74,0

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Figura 149 – Esquema do segundo circuito de classificação por hidrociclone.



Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Tabela 35 – Rendimento em massa (%) do segundo circuito de classificação.

Frações do Material Classificado	Percentual Retido das Frações (%)	Percentual Retido Acumulado (%)
-	25,9	25,9
325 # C <sub>1</sub>	1,3	27,2
C <sub>2</sub>	3,5	30,7
Original C <sub>3</sub>	3,9	34,6
Caulim C <sub>4</sub>	1,6	36,2
C <sub>5</sub>	1,9	38,1
Médio	44,9	83,0
- 325# Fino	17,0	100,0

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Os resultados do segundo circuito de classificação são apresentados nas Tabelas 37 a 40.

### 13.7 - Análise dos Resultados

A amostra recebida apresentou cerca de 25% da massa retida em 325# (44  $\mu\text{m}$ ), constituindo uma fração relativamente grande como rejeito do beneficiamento do caulim, relação de concentração 3:1. É possível que, ao se realizar novos estudos de beneficiamento, com maior nível de detalhes e abrangência, sejam identificadas outras aplicações para o caulim que possibilitem o aproveitamento de subprodutos.

O resultado encontrado para alvura atinge o limite especificado na fração -44  $\mu\text{m}$ ; porém, acredita-se que possa ser melhorado.

Quanto aos ensaios de dispersão e floculação, dentre os reagentes usados, face às quantidades e condições operacionais, o metafosfato de sódio apresentou melhor condição dispersante, à razão de 1200 g/t e pH = 6,7.

Os testes de floculação não apresentaram resultados promissores com as quantidades, as condições e os reagentes usados. Contudo, o sulfato de alumínio com insumo, cerca de 1300 g/t e pH 6,7, foi o teste de melhor comportamento entre os demais. Sugere-se que novos ensaios sejam realizados, variando condição, quantidade e qualidade dos reagentes.

Tabela 36 – Amostra (percentual passante) do segundo circuito de classificação.

Micrômetro ( $\mu\text{m}$ )	Médio	Fino
44	100,0	100,0
35	99,0	100,0
22	95,0	100,0
10	78,0	100,0
5	56,0	84,0
2	30,0	58,0

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

Tabela 37 – Resultado para o material fino do caulim original.

Frações do Material Fino (Caulim Original)		Primeiro Circuito de Classificação			Segundo Circuito de Classificação		
Micrômetro ( $\mu\text{m}$ )	Percentual Passante (%)	Percentual Passante (%)	Massa (%)	Eficiência (%)	Percentual Passante (%)	Massa (%)	Eficiência (%)
2	35,1	54,0	9,3	13,8	58,0	17,0	28,1

Fonte: PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM, 1973.

No teste de espessamento, o resultado encontrado acusou um índice de 50  $\text{ft}^2/\text{t} \times 24 \text{ h}$ , constituindo um valor elevado, embora sejam esperados valores altos para granulometrias finas como o caulim. Entretanto, com auxílio de flocculantes adequados, é possível que se reduza esse valor, para efeito de dimensionamento do projeto.

Quanto aos ensaios de filtragem, os melhores resultados foram obtidos com tempos de ciclo da ordem de 1 min 30 s a 1 min 45 s (48 e 34,3 ciclos/hora, respectivamente). Os tempos de submersão foram, em ambos os casos, iguais a um terço (1/3) do ciclo total, o que significa que o tambor do filtro deverá trabalhar com cerca de um terço (1/3) de sua área submersa na polpa.

Dessa forma, obtiveram-se razões de filtragem na ordem de 18  $\text{kg}/\text{pe}^{-2} \times \text{h}$  (40  $\text{lb}/\text{pe}^{-2} \times \text{h}$ ), e torta com umidade da ordem de 35%.

O vácuo que se obteve durante os ensaios foi da ordem de 21 pol. Hg. Na fase operacional, são recomendáveis vácuos de 36 a 28 pol. Hg, podendo-se esperar pequeno decréscimo na umidade da torta e rápido acréscimo na razão de filtragem.

Foi utilizado, como meio filtrante, *nylon* fornecido pela EIMCO, modelo NY-317F, com *air flow* de 0,6-1,0  $\text{cfm}/\text{sq.ft}$ . Esse material era o de malha mais fina de que se dispunha e, mesmo assim, observou-se que o líquido filtrado ainda continha um pouco de caulim coloidal.

É possível observar que, ao mudar o esquema do circuito, o rendimento em massa praticamente duplica (9,3% para 17%), embora não haja acréscimo da porcentagem menor que 2  $\mu\text{m}$  (54% para 58%).

# 14- ANÁLISE ECONÔMICA

## 14.1 - Aspectos Mercadológicos do Caulim

Atualmente, há disponibilidade global de grandes depósitos de interesse comercial de caulim, os quais têm ampla distribuição no planeta e são geologicamente classificados, de acordo com sua gênese, em depósitos primários – resultantes da alteração hidrotermal ou intempérica de rochas cristalinas – e secundários, resultantes dos processos de erosão e deposição. As reservas mundiais são abundantes, e os depósitos do Brasil se destacam no que concerne à quantidade e qualidade do caulim nacional.

Quanto à excelência de qualidade, destacam-se os depósitos de caulim secundário (sedimentar) dos Estados Unidos da América (EUA) e Brasil e os de caulim primário, localizados no sudoeste da Inglaterra. Esses tipos de caulim têm suas aplicações direcionadas para usos mais nobres, principalmente como enchimento e cobertura na indústria de papel.

O caulim é utilizado em diversos setores industriais, principalmente na indústria de papel como elemento de alvura e fixação de impressão, com 45% de participação, sendo 32% utilizados para revestimento *coating* e 13% para carga *filler*. O setor de cerâmica (porcelana, cerâmica branca e produtos refratários) absorve 31% de sua produção e os 24% restantes dividem-se entre os segmentos de tinta, borracha, plásticos e outros.

O mercado brasileiro tem como principal consumidor a indústria de cimento, responsável pela destinação de aproximadamente 3% da produção nacional. Esse setor tem minas que produzem caulim especificamente para essa finalidade, sendo as maiores as localizadas nos estados do Pará e Maranhão.

De acordo com dados do DNPM (2015), do total de caulim exportado pelo Brasil em 2014 (US\$ 212,5 milhões FOB), cerca de US\$ 210 milhões eram referentes a bens primários; destes, 99,4% eram representados por caulim beneficiado. Os produtos manufaturados de caulim movimentaram apenas US\$ 2,6 milhões em 2014.

O caulim do Brasil tem suas aplicações direcionadas para usos mais nobres, especialmente como enchimento e cobertura na indústria de papel. Diante da perspectiva de uso do caulim do Projeto Rio Capim na indústria de papel, devido a suas qualidades e especificações, dentro do exigido pelo mercado, convém destacar a estabilidade da indústria de papel no Brasil e no mundo, mesmo em períodos de instabili-

dade econômica, como se mostrou em 2008/2009 e 2014/2017.

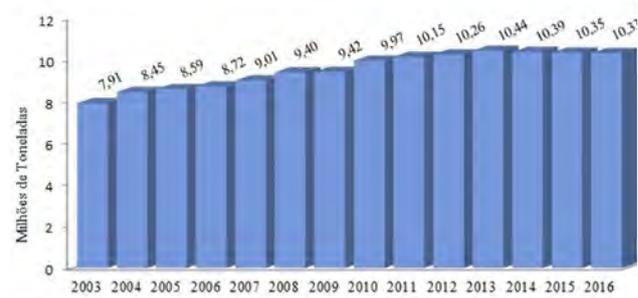
Os diversos segmentos do setor de papel também se caracterizam por peculiaridades, devido à heterogeneidade das aplicações. No Brasil, os segmentos formados por “papéis sanitários” e “papelão ondulado” são influenciados, basicamente, pelo desempenho da economia, com estrutura que comporta um grande número de pequenas e médias empresas (por exemplo, Sulamericana, Pinho, Itampagé, Klabin, Santher, Mili, Melhoramentos etc.). No segmento de “imprimir e escrever”, “papel-cartão” e “papéis especiais”, por sua vez, há a atuação de grandes empresas detentoras de participações expressivas na capacidade instalada total (por exemplo, Suzano, IP do Brasil, Fibria, Bignardi, Santa Maria, Guaíba, Klabin, Ibema, MD, Schweitzer e outras), que utilizam o mercado externo para alavancar suas vendas.

De acordo com dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017), a produção brasileira de papel teve crescimento médio anual de 3,1% no período de 2003 e 2012, apresentando estabilidade na produção entre 2013 e 2016 (Figura 150). O segmento industrial de embalagens, impressão e escrita consumiu, em 2016, 76,8% da produção total (Figura 151). Mesmo que a produção de papel tenha obtido uma taxa de crescimento modesta nos últimos 10 anos (média de 1,8% a.a.), vislumbra-se um crescimento promissor, uma vez que o Brasil está abaixo de boa parte dos principais países consumidores no que toca ao consumo *per capita* de papel (Figura 152).

Como o mercado de caulim é liderado pelo setor de papel, certamente continuará sendo o principal sinalizador do comportamento da demanda futura, particularmente o produto destinado à cobertura.

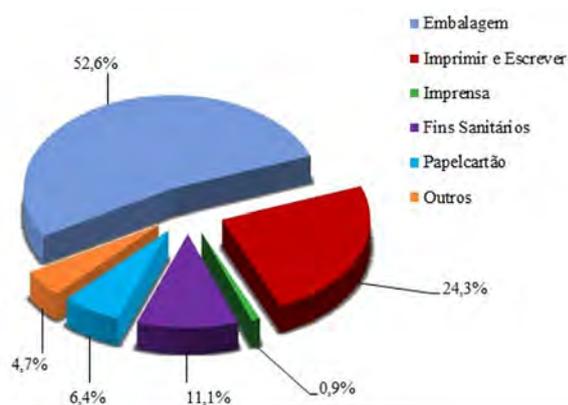
De acordo com o DNPM, as reservas brasileiras (medidas e indicadas) somaram 7,06 bilhões de

Figura 150 – Evolução da produção de papel no Brasil.



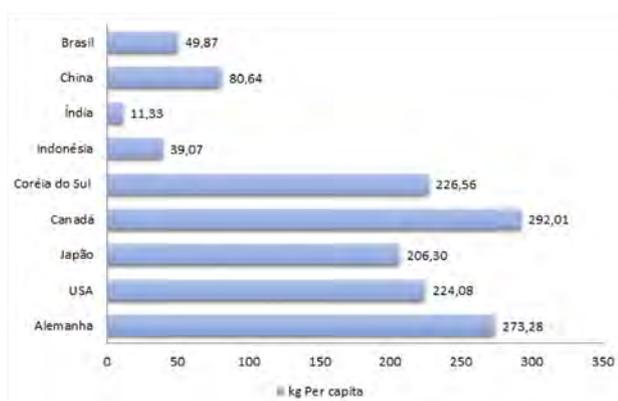
Fonte: IBÁ, 2017

Figura 151 – Produção de papel no Brasil por segmento em 2016.



Fonte: IBÁ, 2017

Figura 152 – Consumo aparente *per capita* de papel dos principais países em 2016.



Fonte: IBÁ, 2017

toneladas em 2014. Trata-se de grandes reservas, em sua maior parte de origem sedimentar, localizadas em diferentes regiões do país, principalmente, em três estados da região Norte, onde estão os maiores depósitos conhecidos e onde se concentram as maiores atividades de mineração, todas voltadas, principalmente, para o mercado internacional: no Pará, os detentores são as empresas Imerys Rio Capim Caulim S/A (IRCC), Pará Pigmentos SA (PPSA) e Companhia Brasileira de Equipamento (CBE); no Amapá, a empresa Caulim da Amazônia (CADAM); no Amazonas, a empresa Mineração Horboy Clays Ltda.

As reservas brasileiras de caulim têm evoluído de forma satisfatória ao longo das últimas décadas, atendendo com folga às necessidades de produção das minas para os mercados interno e exportador. Essa situação gera uma posição confortável para o país junto ao mercado internacional, possibilitando que as empresas desenvolvam estratégias de ampliação de suas atividades nesse mercado.

Ainda de acordo com dados do DNPM (2015), ao comparamos os dados de 1999, quando as reservas (medidas + indicadas) eram de 4,0 bilhões de toneladas, com os dados de 2015 (ano-base 2014),

quando as reservas conhecidas atingiram o volume de 7,06 bilhões de toneladas, observa-se um acréscimo de 75%, indicando uma evolução considerável das reservas brasileiras, que quase duplicaram nesse período.

## 14.2 - Caulim

No que respeita ao caulim, foco deste projeto, trata-se de um dos mais importantes bens minerais industriais e, provavelmente, um dos seis mais abundantes do topo da crosta terrestre. O termo é utilizado tanto para denominar a rocha que contém a caulinita como seu principal constituinte, quanto para o produto resultante de seu beneficiamento.

A primeira utilização industrial do caulim foi na fabricação de artigos cerâmicos e de porcelana. Só a partir da década de 1920 é que teve início a aplicação do caulim na indústria de papel, sendo precedida pelo uso na indústria da borracha. Posteriormente, o caulim passou a ser utilizado em plásticos, pesticidas, rações, produtos alimentícios e farmacêuticos, fertilizantes e outros, tendo, atualmente, uma variedade muito grande de aplicações industriais.

Entende-se por caulim o minério formado por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e haloisita. Também podem ocorrer os minerais do grupo da caulinita, como diquita, nacrita, folerita, anauxita, colirita e tuesita. Há também outras substâncias contidas no caulim na forma de impurezas, desde traços até a faixa de 40-50% em volume, consistindo de areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio, entre outros. A fórmula química dos minerais do grupo da caulinita é  $Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ , onde  $m$  varia de 1 a 3 e  $n$  de 2 a 4. Embora o mineral caulinita ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) seja o principal constituinte do caulim, outros elementos, além de alumínio, silício, hidrogênio e oxigênio, estão normalmente contidos.

## 14.3 - Panorama Mundial

Em termos de tamanho e qualidade, destacam-se os depósitos de caulim secundários (sedimentar) encontrados nos Estados Unidos da América e no Brasil e de caulim primário localizados no sudoeste da Inglaterra. Das 7,06 bilhões de toneladas de reservas brasileiras de caulim informadas em 2014, 90% estão concentradas na região Norte do país, em depósitos do tipo sedimentar. A produção mundial de caulim atingiu 45,1 milhões de toneladas em 2003, caindo para 32,5 milhões de toneladas em 2008, sendo a causa principal a crise que abalou a economia global no final de 2008 e quase todo o ano de 2009. Já em 2011, a produção mundial de caulim deu sinais de recuperação, atingindo mais de 33 milhões de tone-

ladas (ligeiramente superior à registrada em 2010). No ano seguinte, percebe-se que a demanda mundial pelo minério caulim se manteve estável, quando ocorreu apenas um pequeno aumento da produção em relação ao ano de 2011, chegando a produzir 36,4 milhões de toneladas em 2012. Em 2013, a produção foi de aproximadamente 40,2 milhões de toneladas, apresentando um pequeno crescimento; em 2014, houve uma pequena retração, ficando em 40,09 milhões de toneladas (DNPM, 2016).

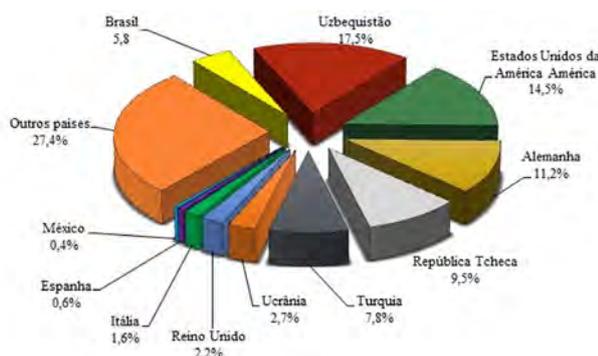
Os principais produtores em 2014 foram: Uzbequistão, com 7 milhões de toneladas, seguido dos Estados Unidos da América, com aproximadamente 5,8 milhões de toneladas, e Alemanha, com 4,5 milhões de toneladas (Figura 153).

A produção mundial de caulim tem se apresentado, ao longo dos anos, concentrada (variando entre 64% e 66%) em apenas seis países: Estados Unidos da América, Uzbequistão, Alemanha, República Tcheca, Brasil e Turquia. Vale ressaltar que, apesar de o Brasil responder por apenas 4,5% da produção mundial, em 2014 ele foi o único país que disponibilizou para os mercados (interno e externo) grandes quantidades do minério beneficiado, principalmente, para o mercado externo. O Brasil se manteve na sexta posição no *ranking* mundial de produtores em 2014 e, apesar de estar entre os maiores produtores mundiais de caulim, tem quase toda sua produção voltada para o mercado externo (aproximadamente 96%).

#### 14.4 - Comércio Exterior

A maior ameaça ao mercado global de caulim, especialmente para a indústria de papel, vem do carbonato de cálcio, tanto em sua forma natural moída (GCC – Ground Carbonate Calcium) quanto em forma de precipitados (PCC – Precipitated Calcium Carbonate), que era praticamente desconhecido da indústria nas décadas de 1970-1980. A partir da década

Figura 153 – Participação da produção mundial dos principais produtores de caulim em 2014 (dados preliminares).



Fonte: DNPM, 2015; USGS, 2015.

de 1980, teve seu uso incentivado, ocupando faixas do mercado de caulim até 2003, quando, a partir daí, mostra sinais de estabilização, pois a substituição do caulim é limitada por sua qualidade física superior à do carbonato de cálcio, indispensável para o bom desempenho das máquinas, tanto para enchimento quanto para cobertura de papel.

Outro competidor que vem ganhando espaço é o talco. Mesmo com a possibilidade de os substitutos tomarem parte do mercado de caulim, caso se confirmem as estimativas globais de demanda, haverá espaço importante para o crescimento das exportações brasileiras.

Em 2012, as exportações atingiram, aproximadamente, 2,1 milhões de toneladas, quantidade menor que a registrada em 2011, um decréscimo aproximado de 121 mil toneladas. Vale ressaltar que as exportações vêm registrando queda desde 2010. Em 2013, as exportações brasileiras de produtos de caulim atingiram, aproximadamente, 2,06 milhões de toneladas, um decréscimo aproximado de 40 mil toneladas em relação ao ano de 2012. No entanto, em 2014, as exportações caíram para 1,93 Mt. Dos bens primários, o caulim beneficiado atingiu 98,2% da quantidade total exportada. Dos bens manufaturados, outros artigos para serviço de mesa/cozinha de porcelana foram responsáveis pela exportação de 541 t vendidas. Em termos de valor comercializado, as exportações de 2014 renderam cerca de US\$ 212,5 milhões FOB, apresentando redução de US\$14,9 milhões em relação a 2013.

De acordo com dados do DNPM (2016), do total comercializado para o exterior em 2014, quase US\$ 210 milhões foram de bens primários; 99,4% destes foram de caulim beneficiado e, o restante, na forma de produtos manufaturados de caulim (US\$ 2,6 milhões). Os principais países de destino das exportações de bens primários de caulim foram: Bélgica (34%), Estados Unidos da América (26%), Canadá (15%), Finlândia (10%) e Itália (6%). Em relação ao caulim manufaturado, os principais destinos foram: Paraguai (18%), Estados Unidos da América (14%), Bolívia (13%), Argentina (12%) e Angola (11%).

O Brasil importou 23,6 mil t de bens primários de caulim em 2014, um decréscimo de 21,48% em relação a 2013. Em relação aos produtos manufaturados, o principal item importado foi constituído por pias e lavatórios de porcelana, com 14,2 mil t, um acréscimo de 1,52 mil t, quando comparado a 2013. O valor total de compra foi de US\$ 49,6 milhões em 2014, com redução de 39,7% em relação a 2013. Os principais produtos foram pias e lavatórios de porcelana, com dispêndio de US\$ 15,8 milhões. O produto primário mais importado pelo Brasil foi o caulim, to-

talizando algo em torno de US\$ 8,5 milhões. O Brasil importou caulim dos seguintes principais países em 2014: para os bens primários: Estados Unidos da América (83%), Reino Unido (7%), Barbados (3%), China (2%) e Alemanha (2%); para os bens manufaturados: China (82%), Colômbia (9%), Hong Kong (3%), Malásia (3%) e Índia (1%) (Tabela 38).

#### 14.1.5 PANORAMA NACIONAL

A produção brasileira de caulim apresentou pequeno decréscimo, saindo em 2012 de aproximadamente 2,2 milhões de toneladas para cerca de 1,8 milhão em 2014. Mesmo assim, manteve-se na sexta posição no *ranking* mundial de maiores produtores.

As maiores minas produtoras de caulim do Brasil situam-se na região Norte do país. O estado do Pará representou cerca de 80% do total da produção interna de caulim brasileiro em 2014 (1,4 milhão de toneladas). Nesse estado encontram-se as maiores minerações de caulim do Brasil, concentradas em duas operações do grupo Imerys: Imerys Rio Capim Caulim S.A. (IRCC) e Pará Pigmentos SA (PPSA), localizadas no município de Ipixuna do Pará. O Amapá possui a segunda maior produção de caulim, com 272.628 t produzidas em 2014. Suas minas se localizam em Vitória

do Jari e Laranjal do Jari, mas o beneficiamento do minério ocorre em Almeirim (Pará).

O caulim exportado pelo Brasil é utilizado em diversos setores industriais, principalmente na indústria de papel, como elemento de alvura e fixação de impressão, revestimento *coating* e carga *filler*. No entanto, no mercado interno, o caulim tem utilização nas indústrias de cimento, cerâmicas brancas e de papel.

O caulim produzido para outras atividades também vem dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e outros.

A produção beneficiada e as importações totais diminuíram em conjunto com as exportações totais. Houve redução das exportações brasileiras em aproximadamente 16% desde 2011.

Esse fato foi fortemente influenciado pelo desempenho sofrível da economia doméstica nos últimos anos, que impactou os diversos segmentos industriais. O consumo aparente desse elemento no mercado interno foi negativo em 2011, o que significa que a exportação superou a produção interna (o que ocorreu devido à grande quantidade de produto armazenado pelas empresas); no entanto, nos anos seguintes se tornou positivo (Tabela 39).

Tabela 38 – Principais dados de caulim na balança comercial brasileira entre 2011 e 2014.

Comércio Exterior	Discriminação	Unidade	Ano			
			2011	2012	2013 <sup>(r)</sup>	2014 <sup>(p)</sup>
Importação	Bens primários	(10 <sup>3</sup> t)	26,52	28,92	30,07	23,61
		(10 <sup>3</sup> US\$-FOB)	11.144	12.317	12.587	9.880
	Manufaturados	(10 <sup>3</sup> t)	54,14	57,75	43,13	23,38
		(10 <sup>3</sup> US\$-FOB)	78.645	88.059	69.737	39.722
Exportação	Bens primários	(10 <sup>3</sup> t)	2.216	2.096	2.056	1.930
		(10 <sup>3</sup> US\$-FOB)	261.265	236.258	224.754	209.930
	Manufaturados	(10 <sup>3</sup> t)	1,35	1,06	0,89	0,87
		(10 <sup>3</sup> US\$-FOB)	4.134	3.102	2.699	2.601

Fonte: DNPM, 2016.

Nota: (p) preliminar; (r) revisado. t = tonelada.

Tabela 39 – Produção e consumo aparente de caulim no Brasil entre 2011 e 2016.

Discriminação	Unidade	Ano				
		2011	2012	2013 <sup>(r)</sup>	2014 <sup>(p)</sup>	
Produção	Bruta (minério)	(10 <sup>3</sup> t)	7.133	7.145	6.461	5.883
	Beneficiada	(10 <sup>3</sup> t)	1.927	2.388	2.139	2.055
Consumo Aparente <sup>(1)</sup>	Beneficiado	(10 <sup>3</sup> t)	(262,48)	122	113	149

Fonte: DNPM, 2016.

Nota: (p) preliminar; (r) revisado. t = tonelada; (1) produção + importação - exportação.

## 14.6 - Estrutura Produtiva/Aspecto Concorrencial

Em geral, o caulim consumido no mercado interno provém das minas existentes nos estados de Pará, Amapá, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, como também de outros estados de menor produção, que fornecem caulim para uso na indústria de cerâmicas brancas, além de caulim do tipo carga para a indústria de papel. As empresas Pará Pigmentos SA (PPSA), Rio Capim Caulim S.A. (RCC) e KaMin/CADAM, localizadas na região Norte do país, têm seus produtos direcionados, como prioridade, para o mercado externo. A Mineração Horii Ltda. tem parte de sua produção também destinada ao mercado externo.

Em 2012, a Vale S.A. vendeu sua participação (61,5%) na CADAM para KaMin, uma companhia de capital fechado nos Estados Unidos da América, por US\$ 30,1 milhões. Em 2014, apenas três empresas instaladas no norte do país responderam por 95% da produção nacional, com a seguinte distribuição: Imerys RCC e Imerys PPSA (80%), no estado do Pará, e CADAM (15%), no estado do Amapá. Outras empresas de menor porte completaram os 5% restantes. Por exemplo, no estado de São Paulo, a Mineração Horii; em Minas Gerais, a Caolim Azzi Ltda.; no Rio Grande do Sul, a Olivério A. Ribeiro & Cia. Ltda.

Os depósitos de caulim da região Norte são do tipo sedimentar e se localizam nos municípios de Vitória do Jari (AP), Ipixuna do Pará (PA) e Manaus/Rio Preto da Eva (AM). Os depósitos das regiões Nordeste e Sul-Sudeste são predominantemente primários,

originados de alteração de pegmatitos e de granitos e se localizam nos estados de Goiás, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Santa Catarina e São Paulo.

Atividades de mineração subterrânea são raras e ocorrem somente nos estados de Paraíba e Rio Grande do Norte, em minas de origem primária, onde o caulim é um coproduto, associado a feldspatos, micas etc. Adotam-se processos rudimentares e oferecem alto risco à segurança dos trabalhadores. Não há exemplos descritos com mais detalhes na literatura.

## 14.7 - Região do Rio Capim

Em operação no Pará desde 1996, a IRCC trouxe para o estado a experiência do Grupo Imerys, líder mundial em soluções especiais de base mineral para a indústria. Em 2010, o grupo adquiriu a PPSA, que pertencia ao Grupo Vale. Com estrutura duplicada, a mineradora passou a ter a maior planta de beneficiamento de caulim do mundo.

Das minas em Ipixuna do Pará (IRCC e PPSA), o caulim é transportado por dois minerodutos, que passam por Tomé-Açu, Acará, Moju, Abaetetuba até Barcarena. No percurso, os dutos ainda atravessam os rios Acará-Mirim, Acará e Moju. O mineroduto que sai da mina da IRCC tem extensão de 160 km e o que sai da mina da PPSA tem 180 km. A IRCC e a PPSA dispõem de terminal portuário para movimentação de caulim nas formas em que o minério é vendido – a granel, polpa e ainda em *big bag* (sacos de uma tonelada) (Figura 154).

Figura 154 – Localização das minas do grupo Imerys e traçado de seus minerodutos.



Fonte: IMERYS, 2018.

## 14.8 - Lavra e Beneficiamento

O processo de obtenção do caulim tem seu início com a remoção da camada estéril e extração do minério bruto. Após eliminação de areia, o material é disperso em água e transportado até o beneficiamento, onde ocorre centrifugação, remoção de ferro por separação magnética e branqueamento químico, para, posteriormente, o material resultante ser filtrado e secado, gerando os produtos finais para embarque.

A natureza da lavra de caulim no Brasil desenvolve-se a céu aberto, sendo utilizadas galerias apenas para pesquisa em alguns depósitos primários. Há casos em que a lavra se faz totalmente mecanizada, como nas minas de caulim de origem sedimentar nos estados de Amapá e Pará, ou de forma semimecanizada, comum nos depósitos de caulim primário de vários estados das regiões Sudeste e Sul. Como subprodutos do caulim pode haver o aproveitamento de outros bens minerais industriais como quartzo (areia em grandes quantidades), além de mica e feldspato (nos depósitos primários).

Nesse contexto, considerando as etapas de lavra e beneficiamento realizadas nas unidades do Grupo Imerys, as etapas do processo produtivo são descritas a seguir, tomando como exemplo a empresa PPSA.

### 14.8.1 Lavra

Inicialmente, procede-se ao desmatamento da área. Para compensar a retirada das árvores, a empresa deve fazer o reflorestamento com espécies nativas da região, incluindo aquelas em risco de extinção, como o ipê-rosa, contribuindo, dessa forma, para a preservação do ecossistema amazônico. Na etapa seguinte, é realizado o decapeamento, que consiste na retirada do caulim *in natura* da mina. Nesse processo, são usadas escavadeiras, tratores, caçambas, motoniveladoras e caminhões-pipa para redução de material particulado no ar. A retirada do capeamento é feita de maneira ordenada, em formas de tiras com cerca de 300 m e quase 1 km de extensão, objetivando-se otimizar a produção.

A próxima etapa é a lavra do minério propriamente dita. No intuito de separar a argila que dará origem ao caulim da argila “estérea”, que é a camada de areia avermelhada ou amarelada usada como adubo no processo de reflorestamento, são usados *blungers*, espécies de grandes liquidificadores nos quais são processados argila (caulim), água e dispersantes químicos. Essa primeira etapa do beneficiamento é realizada ainda na mina. Nos *blungers*, a mistura de caulim, água e dispersante passa por duas ações físicas – dispersão por meio de agitação e choque entre

as partículas – e uma ação química, que é a aplicação de poliaclenato, um dispersante que modifica a superfície do caulim, tornando-a polarizada e de mesma carga elétrica. Com isso, a tendência é as partículas do caulim se afastarem, o que provoca a dispersão (esse processo não gera aglomerado de caulim). Os três *blungers* da PPSA têm capacidade de produção de 100 t/h e potência instalada de 440 volts cada um.

### 14.8.2 Beneficiamento

A etapa seguinte consiste no beneficiamento. Depois de transformado em polpa, o caulim segue por tubulações até os tanques de recebimento, com cerca de 70 m de altura. Como parte do caulim processado no *blunger*, há concentração de areia, um material indesejado que precisa ser retirado do minério. Para tal, a polpa é conduzida para a estação de desareamento, onde passa por diversos hidrociclones e centrífugas, visando à remoção de impurezas. Nessa fase, a produção chega a 30 m<sup>3</sup>/h. Em seguida, é feita a separação magnética, para retirada de rejeitos sólidos do produto que restaram após a fase de desareamento. Nesse processo, são usados separadores magnéticos mantidos a 4 Kelvin. Por fim, o produto sofre o processo de branqueamento, no qual passa por câmaras que o tornam mais “branco”. Em seguida, o caulim segue para os tanques de filtração, onde são usadas peneiras para essa finalidade.

O caulim é transportado por meio de um mineroduto, de cerca de 180 km, até a planta industrial da PPSA, em Barcarena, onde é depositado em bacias. Em seguida, o produto passa pela estação de secagem.

Como o produto chega em forma de polpa, o excesso de água contida no produto é retirado por meio de evaporação, utilizando-se o vapor produzido por caldeiras. Nesse processo, queima-se BPS – óleo usado na produção de vapor, também conhecido como “óleo 1 A”. Para cada produto (polpa ou granel), o processo é diferente: para produzir o pó, toda a água é retirada do produto; já nos casos de polpa, somente uma quantidade de água é retirada. Dois evaporadores são utilizados nessa etapa.

Em seguida, realiza-se a etapa de secagem. Para secar o caulim em polpa, o produto fica nas câmaras de secagem, onde existem evaporadores com capacidade de 80 t/h. O gerador de gases é composto por ventiladores que captam o ar da atmosfera: ele é aquecido por um exaustor, que também faz a troca de calor, usado no processo de secagem de caulim. A temperatura chega a 780 graus. A câmara de secagem tem uma altura de 50 m. Por último, é feita a estocagem em silos, de onde o caulim segue por meio de correias transportadoras para os navios.

Vale destacar que as principais empresas que operam minas em depósitos sedimentares, como IRCC, CADAM, PPSA e Monte Pascoal, no processo de decapeamento do estéril existente sobre a camada de minério, separam, em locais e condições distintos, o solo vegetal removido e o estéril inorgânico, para, posteriormente, ambos retornarem ao local de origem para recomposição parcial do perfil do terreno. No caso específico da PPSA, a mina possui dois reservatórios de disposição de rejeitos que recebem o material gerado no desareamento e na centrifugação do caulim. Um reservatório de decantação é alimentado pela dragagem da bacia de rejeitos provenientes de separação magnética, filtragem e limpeza da usina. A PPSA mantém, ainda, bacias de controle ambiental, onde a água usada no processo é tratada e novamente utilizada na produção do caulim.

#### 14.9 - Usos e Aplicações

Segundo Luz e Damasceno (1993), sendo o caulim “um bem mineral extremamente versátil, apresenta um vasto campo de aplicações industriais, em função de suas características tecnológicas”: é quimicamente inerte, macio e não abrasivo; branco ou quase branco (alvura); tem capacidade de cobertura quando usado como pigmento e reforçador para as aplicações de carga; além de baixa condutividade térmica e elétrica.

Atualmente, as principais aplicações são como agente de enchimento (*filler*) no preparo de papel; como agente de cobertura (*coating*) para papel *couché* e na composição de pastas cerâmicas.

Como carga, o caulim é utilizado para reduzir a quantidade de polpa de celulose, além de propiciar melhorias nas características de impressão do papel e sua impermeabilidade. A quantidade de carga a ser adicionada à massa fibrosa é limitada. A partir de certo nível, a resistência do papel diminui, devido à interferência dos minerais com as ligações das fibras. Quando se torna necessário produzir um papel com uma superfície menos absorvente e rugosa, e também mais branca, brilhante, opaca e com maior receptividade à tinta, aplica-se uma tinta constituída de caulim, água e ligantes. O tamanho e a forma das partículas individuais da caulinita são capazes de conferir brilho e melhor qualidade de impressão a diversos tipos de papel, como, por exemplo, aqueles utilizados em revistas, pôsteres, caixas para embalagem de equipamentos etc.

Como cobertura, ele é utilizado para conferir melhor qualidade de impressão para diversos tipos de papéis. Para essa aplicação, uma característica é a viscosidade (medida a 70% de sólidos), uma vez que as máquinas de revestimento operam em veloci-

des de rotação superiores a 1000 m/min e é fundamental que a polpa de cobertura flua com facilidade pelo papel, evitando rasgos e alturas desiguais nos revestimentos.

Em menor escala, o caulim é usado na fabricação de materiais refratários, plásticos, borrachas, tintas, adesivos, cimentos, inseticidas, pesticidas, produtos alimentares e farmacêuticos, catalisadores, absorventes, dentifrícios, clarificantes, fertilizantes, gesso, auxiliares de filtração, cosméticos, produtos químicos, detergentes e abrasivos, além de cargas e enchimentos para diversas finalidades.

#### 14.10 Especificações

A rigidez nas especificações dos caulins depende do uso a que se destinam. A indústria do papel divide os caulins em duas categorias de granulometria: fino, com  $90\% < 2 \mu\text{m}$ , e grosso, com  $50\% < 2 \mu\text{m}$ .

O tipo carga (*filler*) deve possuir as seguintes especificações:

- caulinita  $> 90\%$ , teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2 < 1\%$ ;
- baixo teor de quartzo (1-2%);
- grau de alvura  $> 80\%$ ;
- tamanho das partículas de 50 a  $70\% > 2 \text{mm}$ .

Já o tipo cobertura (*coating*) deve obedecer às seguintes especificações:

- caulinita entre 90 e 100%, teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,5-1,8%) e  $\text{TiO}_2$  (0,4-1,6%);
- ausência de quartzo;
- grau de alvura  $> 85\%$ ;
- tamanho das partículas de 80 a  $100\% < 2 \text{mm}$ ;
- viscosidade de Brookfield  $< 500 \text{mPa.s}$ .

Os requisitos para aplicações em cerâmica são: plasticidade, cor, ponto de vitrificação (PCE), retração linear e resistência mecânica à deformação. O caulim cerâmico deve possuir um teor de caulinita entre 75% e 85% e não ter minerais que afetem a cor de queima, como o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , cujo teor deve ser menor que 0,9%, de modo que a cor de alvura após a queima esteja na faixa de 85-92% (LUZ et al., 2003). Para a indústria de cimento, as especificações são menos rígidas, sendo a composição química importante (LUZ; DAMASCENO, 1993).

#### 14.11 Preços

Devido à grande oferta mundial de caulim, países como Uzbequistão (18,9%), Estados Unidos da América (16%), Alemanha (12,1%) e República Tcheca (8,9%) exercem considerável influência sobre os preços praticados no comércio internacional.

O Brasil vem aumentando sua participação nesse segmento (5,8% em 2013), principalmente com o crescimento da produção no estado do Pará, especialmente das unidades produtoras localizadas na região do rio Capim.

Os preços são praticados no mercado com variações entre fornecedores e consumidores do produto, bem como entre os diferentes tipos de produto. Regra geral, os preços de caulim são negociados por meio de contratos entre os grandes fornecedores e compradores internacionais. Contudo, os preços vêm sofrendo oscilações nos últimos anos.

De acordo com DNPM (2009), nos registros de 1972 a 2007 há duas fases de comportamento de preços: uma de 1978 a 1989, onde, partindo de US\$ 45,82/t em 1978, os preços sobem até US\$ 100,00/t em 1984, caindo até US\$ 78,89/t em 1989; em 1990, tem-se um pico de US\$ 139,00/t; a segunda fase se inicia em 1991, com US\$ 88,04/t, a partir do qual os preços oscilam acima de US\$ 100,00/t. No biênio 2003/2004, o preço do caulim atingiu o valor de US\$ 122,00/t. Porém, de acordo com os dados contidos nas edições do “Sumário mineral” de 2008 a 2015 (DNPM, 2008; 2010; 2014; 2016), nos anos seguintes (2005-2015) sofreu oscilações novamente, voltando a subir no biênio de intensificação da crise econômica mundial – 2008/2009 –, caindo nos anos subsequentes e atingindo o patamar de US\$ 105,07/t em 2015 (Figura 155).

#### 14.12 - Tributação dos Produtos de Caulim

Não há tributos específicos na mineração brasileira. As empresas de mineração estão sujeitas a tributos federais, estaduais e municipais incidentes sobre qualquer atividade industrial e comercial, como, por exemplo, Imposto de Renda (IR), Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Programa de Integração Social (PIS),

Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSSL), além da Contribuição Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). Essa última, legalmente, não é considerada um imposto, mas uma compensação pela utilização econômica de recursos minerais, que são propriedade da União, tendo sido instituída para compensar municípios e estados nos quais se situará a atividade mineral, e à União, por meio de seus órgãos administrativos.

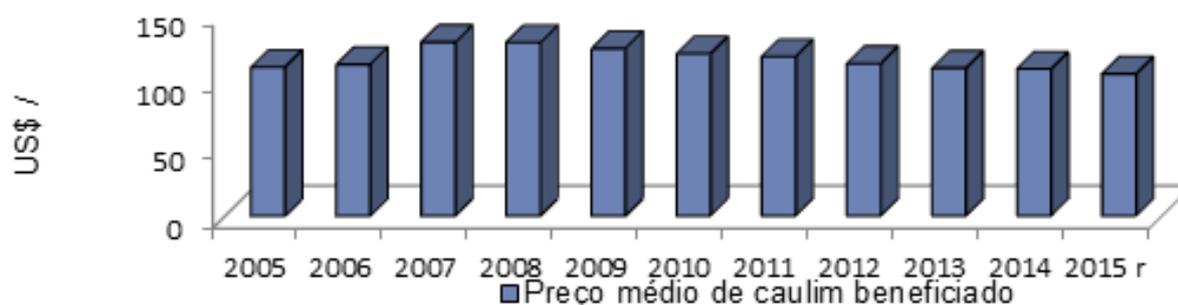
A alíquota da CFEM para o caulim é de 2%, que, de acordo com o Código de Mineração atual, incide sobre o valor da receita bruta nas operações de venda, deduzindo-se apenas os tributos que incidem sobre a comercialização. A CFEM é administrada pela Agência Nacional de Mineração (ANM). Do total arrecadado com a CFEM, 65% se destinam aos municípios, 23% aos estados e 12% à União Federal.

O principal imposto incidente sobre o produto mineral é o ICMS, cuja legislação define que as alíquotas mínimas, tanto estaduais como interestaduais, é de responsabilidade do Senado. O Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), composto por secretários de Fazenda estaduais, é responsável pela discussão e aprovação de isenções, benefícios e incentivos fiscais, podendo até propor reduções de base de cálculo.

A concessão dos benefícios fiscais depende de decisão unânime desse órgão colegiado. As alíquotas internas são determinadas pelo estado, respeitado o limite do Senado.

A legislação do estado do Pará, que, no momento, encontra-se em diferimento, dispõe sobre o tratamento tributário específico nas operações internas com caulim. Segundo IOB (2014), o diferimento é o instituto tributário por meio do qual o momento do recolhimento do imposto incidente é postergado para evento futuro indicado em legislação tributária, sendo a responsabilidade de recolhimento do imposto transferida para o contribuinte que promover

Figura 155 – Evolução do preço médio de caulim beneficiado entre 2005 e 2015.



Fonte: DNPM, 2008; 2010; 2014; 2016.

Nota: Média de preços nacionais de bens primários para o mercado externo; (r) revisado; (p) preliminar.

tal evento. Dessa forma, pode-se afirmar que o diferimento é uma postergação do imposto devido na operação ou prestação realizada. Essa transferência de responsabilidade não isenta o vendedor alienante ou o prestador de serviços do pagamento do imposto diferido quando o destinatário da mercadoria ou do serviço não o fizer. O valor do imposto diferido, de responsabilidade do contribuinte substituto, será igual àquele que o contribuinte originário pagaria não fosse o diferimento. Assim, de acordo com o Decreto nº 4.676, de 18.06.2001, fica diferido o pagamento de ICMS incidente em:

- operações de transferências internas de caulim;
- operações relativas à extração, circulação e comercialização no território paraense;
- prestações de serviço de transporte de caulim no território paraense;
- aquisições interestaduais de bens destinados ao ativo imobilizado relativamente ao diferencial de alíquota devido;
- importações do exterior de insumos de bens destinados ao ativo imobilizado;
- aquisições internas de energia elétrica, óleo BPF (NCM 2710.19.22 – TIP fuel-oil), gás liquefeito de petróleo (GLP) e de biomassa a serem utilizados no processo produtivo de caulim.

Para as transferências internas de caulim, não é necessário Termo de Acordo perante a Comissão da Política de Incentivos ao Desenvolvimento Socioeconômico do Estado do Pará, enquanto para as demais operações será indispensável aos estabelecimentos extratores e industriais do produto caulim firmar o referido documento (RICMS-PA/2001, art. 716, V, Anexo I, art. 232 e 237).

O Decreto nº 2.515, de 28.09.2010, acrescenta dispositivos ao regulamento do ICMS, tai como:

I - o inciso XXXVIII ao art. 723:

XXXVIII - das operações relativas à extração, circulação, comercialização e das prestações de serviço de transporte de caulim em território paraense.

II - o capítulo XXXVIII ao Anexo I:

CAPÍTULO XXXVIII DAS OPERAÇÕES RELATIVAS À EXTRAÇÃO, CIRCULAÇÃO, COMERCIALIZAÇÃO E DAS PRESTAÇÕES DE SERVIÇO DE TRANSPORTE DE CAULIM EM TERRITÓRIO PARAENSE

[...]

Art. 235. O tratamento tributário de que trata este Capítulo não se aplica às mercadorias sujeitas ao regime de substituição tributária.

Art. 236. Com o objetivo de assegurar a eficiência da fiscalização tributária, no que se refere ao cumprimento do disposto neste Capítulo, poderão ser expedidos atos visando dotar a administração de meios eficazes de controle e acompanhamento das operações e prestações de que trata o presente Capítulo.

Art. 237. Para a fruição do tratamento tributário de que trata este Capítulo, os estabelecimentos extratores e industriais do produto caulim deverão firmar Termo de Acordo perante a Comissão da Política de Incentivos ao Desenvolvimento Socioeconômico do Estado do Pará.

Em suma, por exemplo, despesas com ICMS de uma empresa produtora de caulim podem ser créditos de ICMS transferidos para o resultado, decorrentes de um acordo com o estado do Pará, que determina que o imposto apurado proveniente de compras de insumos e outros, dentro e fora do estado do Pará, devem ser alocados na rubrica de despesas.

A Lei Kandir (lei complementar brasileira nº 87), que entrou em vigor em 13.09.1996 (BRASIL, 1996), dispõe sobre o imposto dos estados e do Distrito Federal nas operações relativas à circulação de mercadorias e serviços (ICMS). Essa lei isenta do tributo ICMS os produtos e serviços destinados à exportação.

De acordo com o art. 3º dessa lei, o imposto não incide sobre:

II - operações e prestações que destinem ao exterior mercadorias, inclusive produtos primários e produtos industrializados semielaborados, ou serviços;

[...]

Parágrafo único. Equipara-se às operações de que trata o inciso II a saída de mercadoria realizada com o fim específico de exportação para o exterior, destinada a:

I - empresa comercial exportadora, inclusive *tradings* ou outro estabelecimento da mesma empresa;

II - armazém alfandegado ou entreposto aduaneiro.

Desde a vigência da Lei Kandir, de 1996 até 2012, estima-se que o Pará deixou de arrecadar algo em torno de R\$ 15 bilhões e, como a produção mineral é crescente, essas perdas aumentam a cada ano. Isso motivou a criação da taxa mineral pelo governo do estado do Pará. Trata-se do Projeto de Lei (PL) Ordinária 215/2011, que cria a TFRM (Taxa de Controle, Acompanhamento e Fiscalização das

Atividades de Pesquisa, Lavra, Exploração e Aproveitamento de Recursos Minerários), mais conhecida como Taxa Mineral. O Cadastro Estadual de Acompanhamento e Fiscalização das Atividades de Pesquisa, Lavra, Exploração e Aproveitamento de Recursos Minerários (CFRM) foi aprovado por unanimidade em 13.12.2011 na Assembleia Legislativa do estado. Nele prevê-se o pagamento de três Unidades Padrão Fiscal do Estado do Pará (UPF-PA), equivalente a R\$ 6,00, por tonelada de minério extraído. Estarão isentos do pagamento da taxa microempresas e empresários individuais do setor mineral. Além do Pará, Amapá, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul adotaram a cobrança das empresas mineradoras.

#### 14.13 - Investimentos e Projetos em Andamento e/ou Previstos

Os avanços das atividades produtivas vão estimular a demanda por caulim em todos os principais mercados. Contudo, os lucros poderão continuar limitados, devido à tendência de substituição do caulim por carbonatos de cálcio na indústria de papel. De acordo com dados do DNPM (2014), o anortosito pode ser o futuro substituto de caulim e bauxita, pois, mesmo ainda pouco explorado, apresenta alto teor de cálcio e alumina, possibilitando sua utilização na fabricação de fibras de vidro e de alumínio.

O Grupo Imerys pretende diversificar sua produção, investindo fortemente na área de pesquisa para a expansão de mercados. O interesse da empresa é explorar, já nos próximos anos, os mercados de cerâmica e fibra de vidro, os quais têm como matéria-prima o caulim.

A Kalamazon Estudos Geológicos pretende implantar um empreendimento mineiro para aproveitamento de caulim em jazidas existentes nos municípios de Manaus, Rio Preto da Eva e Presidente Figueiredo no estado do Amazonas. O estudo socioambiental que prevê a implantação da usina de beneficiamento de caulim encontra-se em fase avançada de desenvolvimento. As reservas estimadas de caulim são da ordem de 80 milhões de toneladas. O processo de implantação de uma mina demanda investimentos da ordem de US\$ 200 milhões. De acordo com dados da empresa, a produção inicial será cerca de 150 mil t. No entanto, essa produção poderá chegar a 500 mil t por ano.

#### 14.14 Perspectivas

A produção mundial de papel saiu de 43,74 milhões de toneladas em 1990 para 394 milhões de toneladas em 2010 – um crescimento médio de 3,27% ao ano. Entre 2003 e 2016, a produção de papel no Brasil obteve um incremento médio anual

de aproximadamente 2,36%, saindo de 7,91 milhões para 10,33 milhões de toneladas, respectivamente, acompanhando, assim, o crescimento do resto do mundo.

O consumo na China, que tem se mostrado como a principal alavanca da demanda global, crescendo 2,4%/a entre 2010 e 2014, começa a apresentar um padrão de evolução cada vez mais similar ao verificado nas regiões desenvolvidas, devendo começar a atingir a maturidade por volta da década de 2020 (PAPERONWEB, 2016).

Apesar de a crise econômica mundial ocorrida em 2008 e prolongada nos anos seguintes, observase uma retomada gradativa da demanda por caulim para uso em papel a partir de 2010. O setor de papel continuará, por um bom tempo, demandando caulim de qualidade internacional como o produzido no Brasil. De acordo com dados do DNPM (2010), o crescimento do consumo mundial do caulim como pigmento de papel é resultado do aumento da demanda de papéis para imprimir e escrever, utilizados em revistas e panfletos para propaganda, mesmo que o produto caulim para uso nessa indústria tenha como substitutos o carbonato de cálcio precipitado (CCP) ou o carbonato de cálcio natural (CCN), os quais proporcionam maior alvura, brilho, durabilidade e melhor resultado na impressão de papel.

De acordo com a série histórica da produção brasileira de caulim (DNPM, 1999; 2007; 2008; 2010; 2014; 2016), entre 1996 e 2015 houve crescimento consistente da produção nacional, que saiu de 1,05 para 1,8 milhão de toneladas. Vislumbra-se, assim, uma nítida tendência de crescimento na produção brasileira, embora essa produção tenha sofrido um recuo entre 2013 e 2015 (Figura 156).

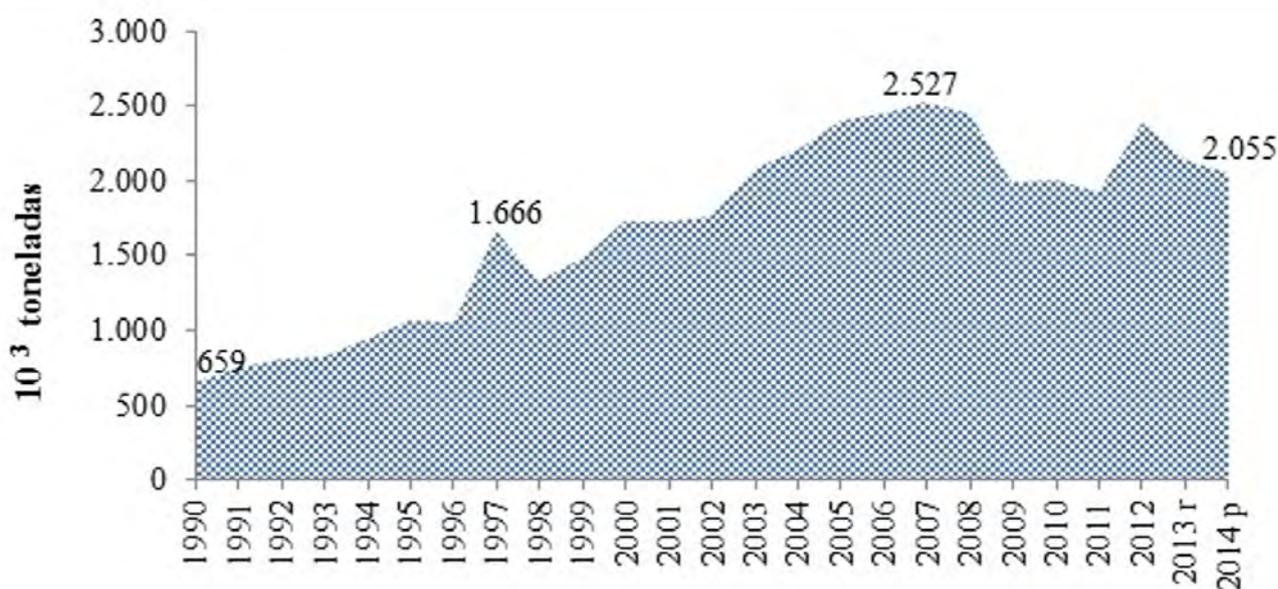
Considerando que o Brasil é o principal produtor mundial do produto beneficiado (pronto para uso na indústria de papel), a produção nacional de caulim tende a acompanhar a demanda mundial por cobertura para papel. A demanda de papel no longo prazo varia consideravelmente de uma região para outra, com perspectivas modestas para Japão, América do Norte e Europa Ocidental, mas ainda com potencial de crescimento na Ásia, América Latina e no Leste Europeu. A previsão de consumo na América do Norte, Europa Ocidental e Japão conta com vetores de crescimento diferenciados, sendo o papel gráfico apresentado com perspectiva de decréscimo de -2,6%/ano, enquanto o consumo de papel para embalagem deverá crescer marginalmente ou permanecer estável até 2030 (PAPERONWEB, 2016).

O mercado de papel continuará a ser a maior saída global de caulim, representando mais de um terço da demanda global em 2020. No entanto, a

importância do mercado de papel diminuiu significativamente desde 2005, quando representou quase metade do consumo mundial de caulim. A produção de papel e cartão não revestido cresceu entre 2005 e 2015, mas a produção de produtos de papel revestidos, que consomem caulim mais intensamente do que os produtos não revestidos, declinou. Como resultado, a demanda por caulim no mercado de papel caiu. A demanda por papel revestido com materiais alternativos, particularmente carbonatos de cálcio, tornou-se cada vez mais importante desde a década de 1990 (COATINGS WORLD, 2016).

A região Ásia/Pacífico representou a maior parcela da demanda de caulim em 2015, devido à China e a vários outros grandes consumidores de caulim, incluindo o Japão, a Índia e a Coreia do Sul. Até 2020, o crescimento da demanda de caulim na região prevê uma superação da média global, com ganhos mais rápidos na Índia, Malásia e China. Contudo, esse crescimento regional será limitado por conta de uma provável contração no Japão, onde o consumo de caulim no mercado de papel deverá cair.

Figura 156 – Evolução da produção brasileira de caulim beneficiado no período 1990-2015.



Fonte: Modificado de DNPM, 1999; 2007; 2008; 2010; 2014; 2016.



# 15- DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL

O objetivo desta análise é retratar, a partir de levantamento preliminar, a situação socioambiental da região em que se inserem os alvarás de pesquisa da CPRM, de modo a identificar os espaços territoriais protegidos, com regime restritivo de uso dos recursos naturais ou que possam gerar conflitos de uso do solo nas áreas analisadas. A identificação desses espaços é essencial para a tomada de decisão sobre a exploração dos depósitos de caulim no âmbito do projeto, pois são consultados para aprovação ou para indeferimento de empreendimentos mineiros por parte de órgãos ambientais.

Como se trata de uma avaliação de caráter informativo, a metodologia adotada para esse diagnóstico é distinta daquelas estabelecidas para os estudos ambientais posteriores, que visam à obtenção de licenças ambientais.

## 15.1 - Introdução

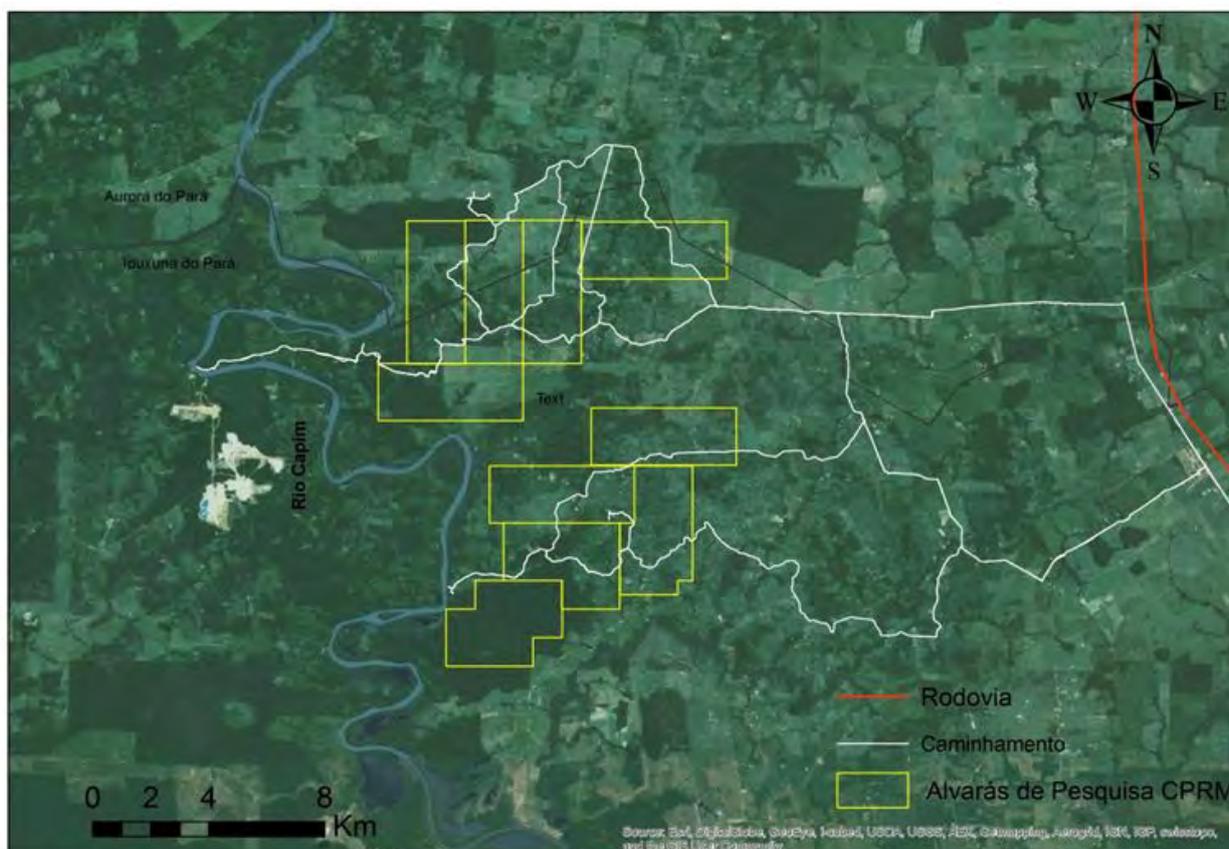
Para a presente abordagem, foram consultadas diversas fontes bibliográficas, tais como informações sobre as características do depósito-alvo

(relatórios finais de pesquisa da CPRM), características ambientais da região e de áreas protegidas existentes nas proximidades (unidades de conservação, áreas indígenas, áreas tombadas), como também a legislação correlata.

Procedeu-se, também, à elaboração de mapas de apoio para o levantamento de campo, incluindo a delimitação das áreas dos alvarás de pesquisa e os limites dos municípios onde estes estão inseridos, com base em imagens de satélite (Google Earth: imagem CNES/SPOT – 2014). Em uma segunda etapa, realizou-se o reconhecimento de campo nas áreas dos alvarás de pesquisa e em seu entorno. Adicionalmente ao reconhecimento geral das características físicas e bióticas, levantaram-se, de forma expedita, o uso e a ocupação do solo na área e os dados sobre áreas protegidas junto à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) do estado do Pará (Figura 157).

Na composição do diagnóstico ambiental, consideraram-se as áreas dos alvarás de pesquisa que corresponderiam à área de influência direta para possível empreendimento de exploração mine-

Figura 157 – Caminhamento na área dos alvarás de pesquisa para caulim da CPRM na região do projeto Rio Capim.



Fonte: Elaborada por Luciana Felício Pereira, 2015.

ral. Para os aspectos socioeconômicos, a abordagem envolveu os municípios em que estão inseridos os alvarás de pesquisa. Alguns aspectos ambientais foram abordados a partir de informações externas às áreas indicadas, por ausência de dados mais próximos.

Procedeu-se à elaboração de mapas temáticos que contemplassem as unidades de conservação cadastradas no Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC) e Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e suas áreas de amortecimento ou entorno; as zonas da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA); as Áreas de Preservação Permanente (APPs); as áreas com potencial para sítios arqueológicos e paleontológicos; as áreas de regularização fundiária (assentamentos); a identificação de regiões com presença de comunidades tradicionais (quilombolas e indígenas).

## 15.2 - Legislação Ambiental Pertinente

As normas legais ambientais que balizam a atividade de exploração mineral no Brasil estão contidas nos seguintes documentos:

- Lei nº 6.938, de 31.08.1981 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
- Lei nº 9.314, de 14.11.1996 – Altera dispositivos do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).
- Lei nº 9.433, de 08.01.1997 – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- Lei nº 9.605, de 12.02.1998 – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (“Lei de crimes ambientais”).
- Lei nº 9.985, de 18.07.2000 – Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.
- Lei nº 11.428, de 22.12.2006 – Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica.
- Lei nº 12.727, de 17.10.2012 – Atualiza o Código Florestal brasileiro.
- Resolução CONAMA nº 001, de 23.01.1986 – Dispõe sobre as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.
- Resolução CONAMA nº 16, de 08.05.2001 – Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos.

- Resolução CONAMA nº 237, de 19.12.1997 – Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.
- Resolução CONAMA nº 303, de 20.03.2002 – Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.
- Resolução CONAMA nº 357, de 17.03.2005 – Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes.
- Resolução CONAMA nº 369, de 28.03.2006 – Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente (APP).
- Resolução CONAMA nº 371, de 05.04.2006 – Estabelece diretrizes aos órgãos ambientais para cálculo, cobrança, aplicação, aprovação e controle de gastos de recursos advindos de compensação ambiental.
- ABNT NBR 13028, de 09.2006 – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração.
- ABNT NBR 13029, de 09.2006 – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração.
- ABNT NBR 13030, de 09.1999 – Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas em mineração.

## 15.3 Ecossistemas e Biodiversidade

O território paraense apresenta variedade vegetativa muito grande, que inclui florestas de transição, matas secas e semidecíduais, matas de bambu (*Guadua spp.*), campinaranas, enclaves de cerrado, buritizais, florestas inundáveis (igapó e várzea) e floresta de terra-firme (essas últimas predominam no nordeste do estado).

As florestas de terra-firme caracterizam-se por ocorrerem em áreas não sujeitas a inundações. Apresentam grande variedade de fisionomias (florestas densas, semiabertas com babaçu, secas com palmeiras, secas com cipós, secas com cipós e palmeiras etc.). O tipo predominante é de árvores altas (mais de 25 m de altura), copa fechada, muitas lianas, sub-bosque aberto e elevada biomassa. Na área dos alvarás de pesquisa para caulim da CPRM, existem poucos fragmentos de floresta preservada, sem a presença de árvores altas.

De acordo com o relatório “Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros” (MMA, 2002), não existem áreas de interesse especial na região de entorno dos alvarás de pesquisa.

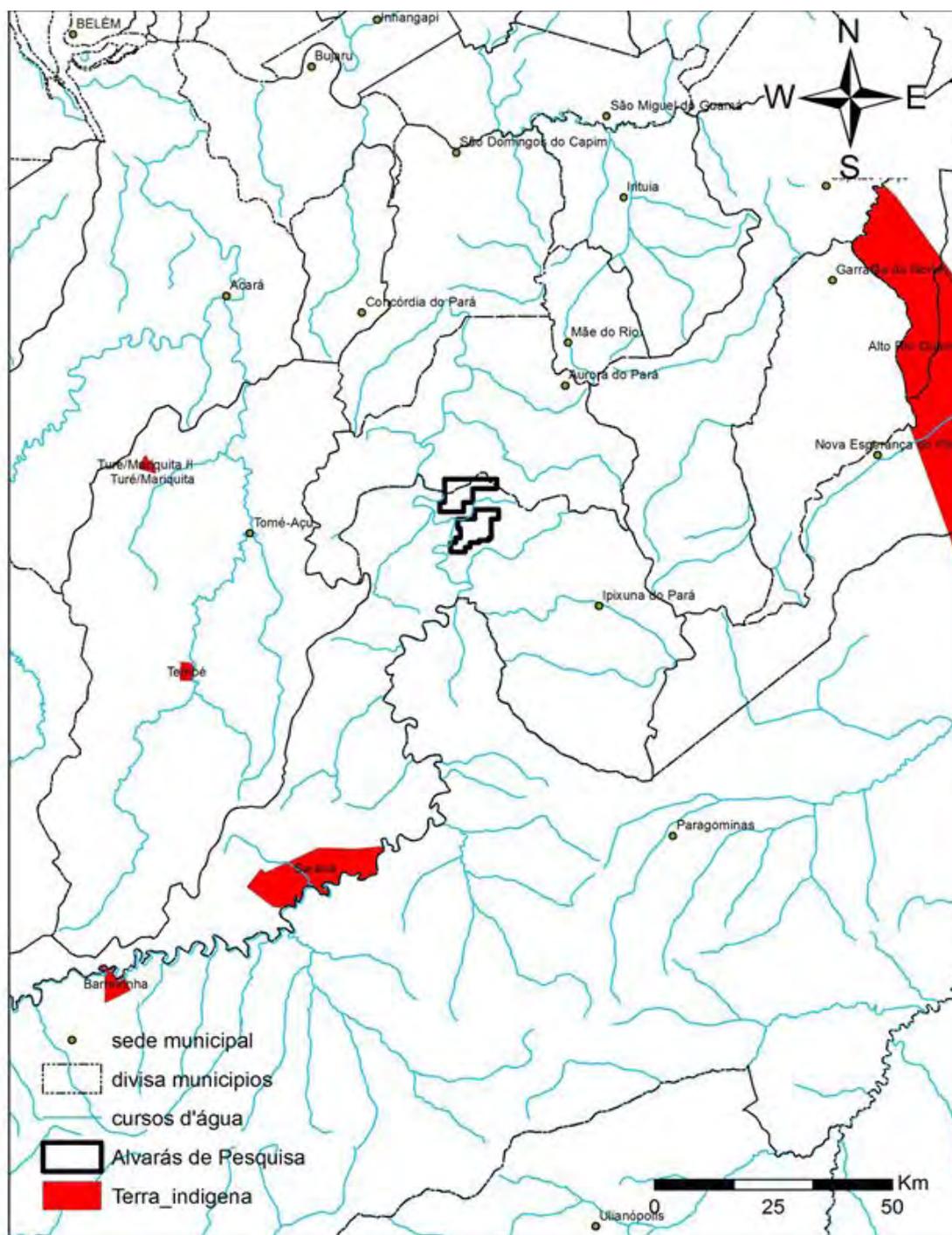
#### 15.4 Espaços Territoriais Protegidos

Não existem áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no território próximo às áreas

de interesse, como também não há unidades de conservação de proteção integral ou de uso sustentável.

As áreas protegidas mais próximas são terras indígenas (TI) que distam mais de 50 km das áreas dos alvarás de pesquisa e não representam limitações à implantação de possível empreendimento de exploração mineral. As TI são: Alto Rio Guamá, Turé/Mariquita II, Tembé, Barreirinha e Sarauá (Figura 158). As TI Barreirinha e Sarauá situam-se às margens do rio Capim, mas posicionadas à montante das áreas de alvará de pesquisa.

Figura 158 – Mapa de localização das áreas protegidas próximas às áreas com alvarás de pesquisa para caulim da CPRM.



Fonte: Elaborada por Luciana Felício Pereira, 2015.

## 15.5 - Socioeconomia

As áreas com alvarás de pesquisa da CPRM situam-se na margem direita do rio Capim, em trecho navegável, e na divisa dos municípios de Aurora do Pará e Ipixuna do Pará, os quais se desenvolveram em torno da Rodovia BR-010, que liga Belém a Brasília, e se caracteriza como importante eixo de circulação de mercadorias e desenvolvimento da região.

O município de Ipixuna do Pará se estende por 5.215.555 km<sup>2</sup>, com 51.309 habitantes contados no censo de 2010 e densidade demográfica de 9,84 habitantes por km<sup>2</sup> (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/ipixuna-do-para/panorama>). Situa-se a 51 km ao norte e oeste da cidade de Paragominas, polo regional. Dados de 2012 indicam a existência de 150 empresas em Ipixuna do Pará, empregando 2.427 pessoas, com salário médio mensal de 2,5 salários mínimos. O Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* anual do município em 2012 (IBGE/Cidades) foi de R\$ 7.156,19, o que representa um terço (1/3) do valor médio do PIB *per capita* nacional para municípios. A renda média mensal *per capita* era de cerca de R\$ 200,00 e o seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em 2010 foi calculado em 0,489, que é considerado baixo.

Já o município de Aurora do Pará se estende por 1.811,8 km<sup>2</sup>, com 26.546 habitantes contados no censo 2010 e uma densidade demográfica de 14,5 habitantes por km<sup>2</sup> (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/aurora-do-para/panorama>). Situa-se a 8 km a sul e oeste de Mãe do Rio, a maior cidade nos arredores. Os dados do IBGE/Cidades para 2012 contam 77 empresas atuando em Aurora do Pará, onde estão empregadas 1.147 pessoas, com um salário médio mensal de 1,6 salários mínimos. O PIB *per capita* anual em 2012 foi de R\$ 4.284,71, o que representa cerca de um quinto (1/5) do valor médio do PIB *per capita* nacional para municípios. A renda média mensal *per capita* era de cerca de R\$ 150,00 e o seu IDHM em 2010 foi calculado em 0,519, também considerado baixo.

## 15.6 - Uso e Ocupação do Solo

O “Macrozoneamento ecológico-econômico do estado do Pará” (SECTAM, 2005) classifica a região nordeste do estado, onde se inserem os alvarás de pesquisa, como Zona de Consolidação e Expansão de Atividades Produtivas. Tal classificação indica que a região possui média a alta potencialidade socioeconômica, com contingente populacional cujo grau de desenvolvimento humano permite o fortalecimento do potencial existente, por meio da consolidação das atividades, demonstrando capacidade competitiva de atendimento aos mercados interno e externo.

A região encontra-se, em grande parte, desprovida de sua cobertura florestal, devido à expansão urbana da Região Metropolitana de Belém e ao avanço da fronteira agrícola ao longo das últimas décadas, por meio de vetores de penetração representados, principalmente, pelas rodovias BR-316 (Belém-São Luís) e BR-010 (Belém-Brasília). Além disso, a região é uma antiga área de colonização que remonta ao início do século XX e consiste em tradicional região agrícola (SECTAM, 2005).

Há quatro projetos de assentamentos de reforma agrária no município de Aurora do Pará, com 514 famílias assentadas, e nove no município de Ipixuna do Pará, com 1.324 famílias (SILVA; SANTOS, 2006). Entretanto, apenas dois dos projetos de assentamentos no município de Ipixuna do Pará sobrepõem, parcialmente, a área dos alvarás de pesquisa para caulim da CPRM (Figura 159).

No Bloco Norte da área restam pequenos retalhos de floresta em diferentes graus de recuperação, que perfazem cerca de 20% da área. Já no Bloco Sul, na porção sudoeste ocorre floresta preservada sobre aproximadamente 25% do total da área. Uma pequena parte de dois projetos de assentamento de reforma agrária – PA Minas Pará (1) e PA Carandiru (2) – sobrepõem cerca de 40% dos alvarás do Bloco Sul em suas porções nordeste, leste e sudeste. Poucos cursos d’água cruzam os dois blocos de áreas, representando as cabeceiras de pequenos afluentes do rio Capim. As margens desses cursos d’água estão bastante alteradas pelas atividades agrícolas, sem preservação das APPs (Áreas de Preservação Permanente). O restante das áreas está coberto por pastagens e culturas de mandioca, banana e pimenta, principalmente.

## 15.7 - Impactos Prováveis

Os impactos ambientais inerentes à extração de caulim mineral estão relacionados, principalmente, a recursos hídricos, solo e relevo das áreas circunvizinhas. Alguns dos impactos mais significativos, segundo dados do relatório sobre caulim da ANEEL (2010), são: na fase de lavra, remoção da camada fértil do solo, emissão de material particulado no ar, perda de vegetação nativa e destruição de habitat e do relevo; na fase de beneficiamento, possibilidade de poluição das águas pelas bacias de rejeitos; na fase de transporte, a construção de mineroduto ou transporte rodoviário.

Atualmente, mesmo as empresas de médio e pequeno porte já contam com sistemas de controle para minimização desses impactos.

No processo de decapeamento do estéril existente sobre a camada de minério, o solo vegetal e

o estéril inorgânico são separados e armazenados, para que, após o esgotamento, retornem ao local para recuperação parcial da paisagem.

Os rejeitos de mineração e resíduos de beneficiamento das indústrias de caulim, constituídos por produtos argilosos, arenosos e sílticos, podem ser carregados em suspensão por grandes distâncias, causando turvamento nas águas; por isso, precisam ser contidos em bacias de decantação, que permitem a acumulação do particulado e o fluxo de água.

O consumo energético nas minas é centrado no uso de diesel, para movimentação de equipamentos de desmonte, estocagem, construção de barragens, e transportes. Na área de beneficiamento, prevalece a utilização de energia elétrica no acionamento dos principais equipamentos. A maximização do uso dessas energias é objetivo das empresas, pois o item 'combustíveis' é responsável por 26% dos custos de produção, chegando a 29% se somados aos custos de geração de energia. Esses itens superam os custos de consumo de insumos químicos (25%), extração (12%) e pessoal (9%), entre outros (ANEEL, 2010).

Em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, na mineração estas se devem, principalmente, ao funcionamento dos equipamentos de extração e movimentação do minério, movidos a óleo diesel. No beneficiamento

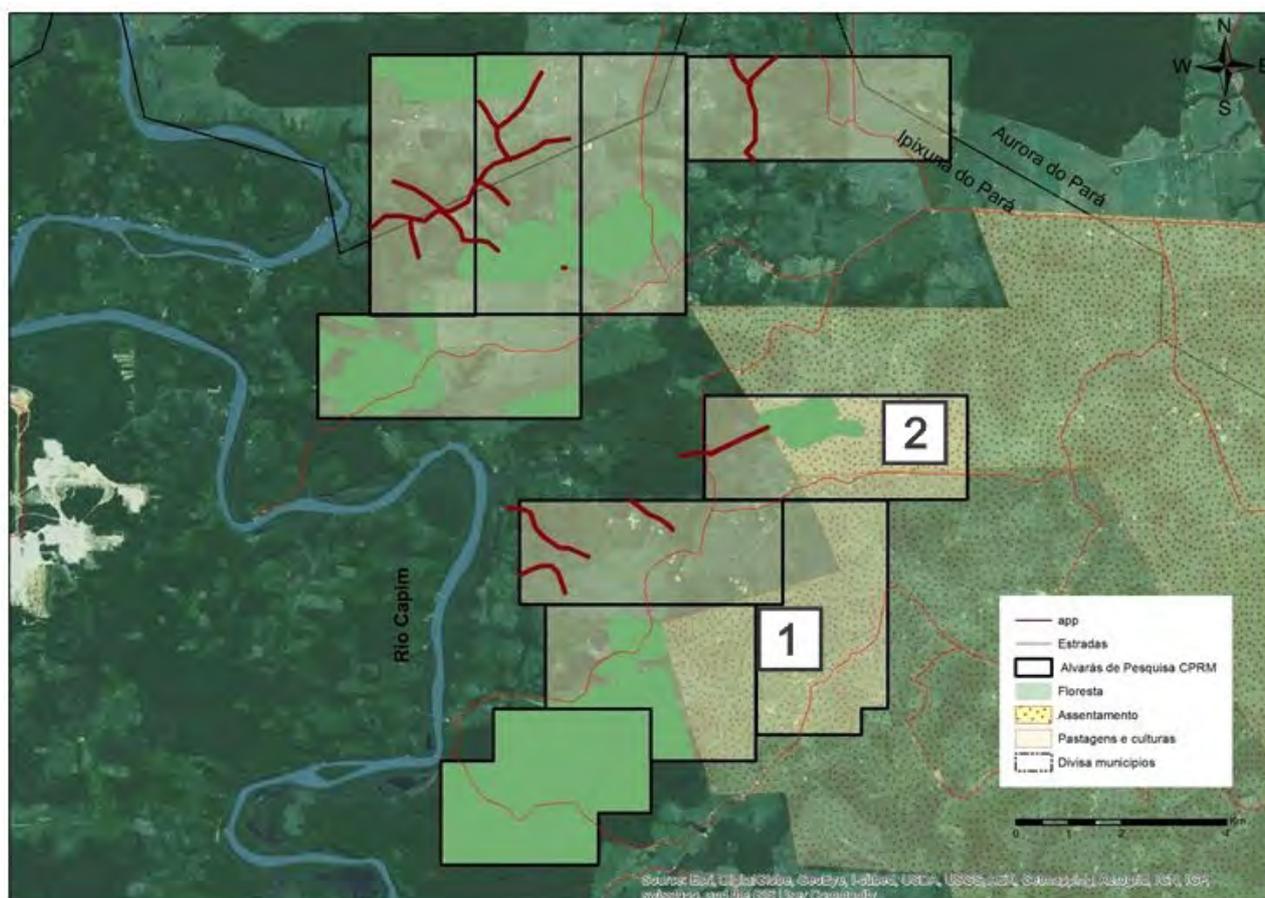
do caulim, as emissões correspondem, principalmente, ao consumo de eletricidade por parte dos equipamentos (motores) usados para beneficiamento e secagem do minério.

O caulim pré-beneficiado na mina é geralmente transportado em forma de polpa para as usinas de beneficiamento, cujo consumo médio de água na planta equivale de 2,5 a 3 m<sup>3</sup>/t de caulim bruto alimentado na usina. Toda essa água é recirculada no processo e o excedente, após tratamento adequado, é lançado na drenagem local (ANEEL, 2010).

Em relação aos resíduos minerais, nas usinas de beneficiamento de minérios oriundos de depósitos sedimentares os resíduos são depositados em bacias especialmente preparadas para tal fim. Nas minas com processo de lavra hidráulico, procede-se à separação granulométrica desde as bacias de decantação junto à mina e na usina de beneficiamento, produzindo, concomitantemente ao caulim, areias para consumo da construção civil. O material estéril, sem uso comercial, é estocado em locais apropriados e poderá retornar à área da cava após esgotamento das frentes de lavra.

Assim, as principais medidas necessárias para controle dos impactos, na etapa de extração, referem-se, principalmente, à recuperação do solo, des-

Figura 159 – Uso e ocupação do solo na área do projeto Rio Capim.



Fonte: Elaborada por Luciana Felício Pereira, 2015.

tição de resíduos sólidos, controle da drenagem e de consumo de energia e negociações com a comunidade local.

Os impactos prováveis decorrentes dessas atividades podem ser assim sintetizados:

- Alteração da paisagem e impacto visual.
- Remoção de vegetação e alteração de ecossistemas locais.
- Erosão do solo e assoreamento de drenagens decorrentes da mobilização de terra, instabilização de taludes, encostas e terrenos em geral.
- Aumento do tráfego de caminhões e veículos em geral.
- Aumento da emissão de material particulado no ar (beneficiamento, vias de acesso e vias internas).
- Poluição sonora.
- Utilização de água no processo produtivo com geração de efluentes.
- Intervenção no lençol freático.
- Interferência em Áreas de Preservação Permanente (APP).

Grande parte dos impactos ambientais negativos citados pode ser mitigada a partir de um bom planejamento das diversas fases do empreendimento – implantação, operação e fechamento da mina – que considere o contexto ambiental, especialmente quanto à água e vegetação nativa, na definição de parâmetros operacionais.

Nesse contexto, é considerada fundamental a implantação de alguns programas, tais como:

- Gestão e controle ambiental
- Qualidade das águas de processo e efluentes
- Controle de emissões atmosféricas
- Preservação e conservação ambiental de áreas circunvizinhas à mina
- Recuperação de áreas degradadas e mineradas
- Gestão de resíduos industriais
- Redução de consumo de água, energia e combustíveis
- Reuso de água
- Sinalização de vias

Esses programas e outros que se fizerem necessários devem ser discutidos e geridos junto com a comunidade.

Apesar de as áreas estarem situadas em locais com densidade demográfica reduzida, o impacto visual causado pela extração mineral a céu aberto

merece atenção, não propriamente pelos danos ao meio ambiente e ao homem, mas pela imagem negativa que gera nas comunidades e instituições. É importante que o projeto ambiental considere a minimização desse fator.

Por outro lado, são também esperados impactos positivos com a implantação de um empreendimento mineral, em especial a geração de empregos e renda, o pagamento de *royalties* (CEFEM) aos municípios, aumento na arrecadação de impostos e, conseqüentemente, o incremento da economia local. Para esses impactos também devem ser previstos programas de cunho social envolvendo a comunidade positivamente com a mineração. Tais programas devem objetivar a capacitação da comunidade, de modo que esta seja preparada para se beneficiar das mudanças advindas da implantação da mineração e da decorrente paralisação das atividades quando do esgotamento da jazida.

## 16 - RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

Os resultados da integração de dados geológicos, geofísicos e topográficos permitiram esboçar um modelo geológico tridimensional para os depósitos de caulim na área de estudo, quantificar seus recursos minerais e estabelecer um potencial para as áreas da CPRM.

A modelagem geológica e a estimativa de recursos do depósito de caulim consideraram dois tipos de minério, diferenciados, basicamente, pelo conteúdo de areia. Dessa forma, o minério caulinitico foi individualizado em Caulim Macio (CCM), caracterizado por baixo conteúdo de areia, e Caulim Arenoso (CCA), em que a quantidade de areia é muito mais significativa.

Como resultado do estudo de reavaliação dos depósitos de caulim do Projeto Rio Capim, obteve-se o total de recursos calculados e individualizados por blocos de estudo e por tipo de minério (ver Tabela 22). Foram estimados os valores de índice de alvura e rendimento para os dois tipos de minério. No Bloco Norte, obteve-se o total de 574 milhões de toneladas, com uma relação estéril/minério de 1.1, enquanto no Bloco Sul, o total de recursos foi de 218 milhões de toneladas e relação estéril/minério de 0.9. O resultado da soma de todos os recursos atingiu o valor de 792 milhões de toneladas de caulim, com índice de alvura média de 80%. Considerando uma recuperação média de 65%, o total de recursos diminuiu para 520 milhões de toneladas, acompanhado de aumento da relação estéril/minério.

A distribuição dos recursos nos processos minerais sob posse da CPRM, de acordo com os critérios de confiabilidade estabelecidos, classifica-se em recurso inferido de alta, média e baixa confiabilidade (ver Tabela 23).

É importante ressaltar que o presente trabalho é de escala regional. Dessa maneira, é necessário o adensamento da malha de sondagem, para melhor definição da correlação na continuidade das camadas de caulim no que tange a qualidade e índices de alvura. Para isso, em conjunto com a perfuração de novos furos e escavações de poços e trincheiras, sugerem-se análises e ensaios adicionais de alveamento do caulim, bem como os específicos para cobertura de papel.

O resultado encontrado para alvura atinge o limite especificado na fração 44  $\mu\text{m}$ , porém, acredita-se que possa ser melhorado. Para tanto, é imprescindível a realização de ensaios mais detalhados.

Na filtragem, no que concerne ao meio filtrante, da análise das características dos diversos materiais, concluiu-se que o algodão poderá ser utilizado, por ser o mais barato e a sua polpa não ser muito ácida nem muito básica. Quanto ao tipo de algodão, recomenda-se uma consulta aos fabricantes, no intuito de saber qual a malha mais adequada para se obterem melhores resultados.

Quanto à classificação, segundo a análise granulométrica média para o caulim *in natura*, cerca de 35% são compostos por fração menor que 2  $\mu\text{m}$ . Admitindo-se uma eficiência de cicloneamento de 60% e supondo-se que 85% estão na fração menor que 2  $\mu\text{m}$ , deveria ser alcançado um rendimento em massa próximo de 28%.

Entretanto, os valores encontrados nos ensaios mostraram-se abaixo do esperado. Dessa forma, aconselha-se que sucessivos testes adicionais sejam realizados.

Os ensaios de laboratório descritos neste projeto fornecem apenas uma orientação preliminar. Assim, ensaios complementares de beneficiamento (com utilização de amostras representativas) devem ser sequenciados em escala de laboratório, com otimização dos equipamentos utilizados em bancada, levando em consideração os ajustes inerentes às variáveis trabalhadas nos testes preliminares (moagem, concentração de coletor e depressor, tipos de espumantes etc.) e, por conseguinte, planta-piloto, entre outras atividades que se fizerem necessárias a uma avaliação mais qualitativa, no sentido de se ampliar o conhecimento da rota do processo de beneficiamento da matéria-prima mineral presente nas áreas deste projeto.

O diagnóstico socioambiental não identificou restrições ambientais significativas que inviabilizem a atividade de mineração na região. Contudo, estudos mais detalhados deverão buscar identificar aspectos que possam vir a gerar situações de conflito pelo uso do solo, assim como aqueles relacionados aos meios bióticos que sejam merecedores de ações preventivas, mitigadoras e compensatórias.



## 17 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13028: elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/144247314/NBR-13028-1993-Apresentacao-de-Projeto-de-Disposicao-de-Rejeitos-de-Beneficiamento#scribd>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13029: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Coletânea de normas de mineração e meio ambiente. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13030. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas em mineração. Jun. 1999. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAARUAF/nbr-13030>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- AHIMOR – ADMINISTRAÇÃO HIDROVIÁRIA DA AMAZÔNIA ORIENTAL. Hidrovia Guamá-Capim. 16 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.ahimor.gov.br/portal/hidrovias/hidrovia-guama-capim/>>. Acesso em: 15 dez. 2017.
- ALMEIDA, H.G. de (Org.). São Luís SW/NW, folhas SA.23-V e SA.23-Y: estados do Pará e Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 2000. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental: clima da Amazônia. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/atlantico-nordeste-oriental>>. Acesso em: 2 dez. 2014.
- ANDRIOTTI, J.L.S. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo, RS: UNISINOS, 2013. 165 p.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Relatório ANEEL 2009. Brasília: ANEEL, 2010. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876457/Relatorio\\_Aneel\\_2009.pdf/2cb9f2f7-8a40-481b-9cff-02d403229edd](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876457/Relatorio_Aneel_2009.pdf/2cb9f2f7-8a40-481b-9cff-02d403229edd)>. Acesso em: 15 dez. 2015.
- AZEVEDO, R.P. de. Tectonic evolution of Brazilian Equatorial continental margin basins. 1991. 412 f. Tese (Doutorado) – Royal School of Mines Imperial College, Londres, 1991.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 28 out. de 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>. Acesso em: 28 out. 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 28 out. 2014.
- BRASIL. Diretoria de Serviços Geográficos. Rio Capim, PA-MA. Diretoria do Serviço Geográfico, 1985. Escala 1:250.000. Impresso.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/8391B842/AnexoExposMotivos\\_PropResolVazoesMinimas1.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/8391B842/AnexoExposMotivos_PropResolVazoesMinimas1.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 28 out. 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 369, de 28 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente – APP. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=489>>. Acesso em: 28 out. 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 371, de 05 de abril de 2006. Estabelece diretrizes aos órgãos ambientais para o cálculo, cobrança, aplicação, aprovação e controle de gastos de recursos advindos de compensação ambiental, conforme a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acesso em: 28 out. 2014.
- BRASIL. Presidência da República. Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas). Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Decreto-Lei/Del0227.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del0227.htm)>. Acesso

em: 28 out. 2014.

BRASIL. Presidência da República. Lei complementar nº 87, de 13 de setembro de 1996. Dispõe sobre o imposto dos Estados e do Distrito Federal sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação, e dá outras providências (Lei Kandir). Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LCP/Lcp87.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp87.htm)>. Acesso em: 10 out. 2018.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm)>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a medida provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12727.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12727.htm)>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm)>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9.314, de 14 de novembro de 1996. Altera dispositivos do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9314.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9314.htm)>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:federal:lei:1998-02-12;9605>>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9.985, de

18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm)>. Acesso em: 28 out. 2014.

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. Disponível em: <[http://web.cim.org/standards/documents/Block484\\_Doc111.pdf](http://web.cim.org/standards/documents/Block484_Doc111.pdf)>.

COATINGS WORLD. Market research. Global demand for kaolin to reach 27.5 million metric tons. 21 set. 2016. Disponível em: <[https://www.coatingsworld.com/issues/2016-12-01/view\\_market-research/global-demand-for-kaolin-to-reach-27-5-million-met](https://www.coatingsworld.com/issues/2016-12-01/view_market-research/global-demand-for-kaolin-to-reach-27-5-million-met)>. Acesso em: 23 out. 2017.

CORDANI, U.G. et al. Estudo preliminar de integração do pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Ciência. Técnica. Petróleo, n. 14, p. 1-70, 1984. Seção: Exploração de petróleo.

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 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.

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.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Viabilidade econômica do empreendimento: complexo Quati-Caulim. Rio de Janeiro: CPRM, [19--]. Elaborado pela engenheira R. Guimarães, do Departamento de Geologia Econômica (DEGEC) da Diretoria de Operações da CPRM.

- CRUZ, F.M. et al. Avaliação hidrometeorológica da bacia hidrográfica do rio Capim (PA). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Macaé. Anais... Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=81&SUMARIO=1212&ST=avaliacao\\_hidrometeorologica\\_da\\_bacia\\_hidrografica\\_do\\_rio\\_capim\\_pa](https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=81&SUMARIO=1212&ST=avaliacao_hidrometeorologica_da_bacia_hidrografica_do_rio_capim_pa)>. Acesso em: 2 dez. 2014.
- D'ALGE, J.C.L. Atualização cartográfica por imagem de satélite: considerações teóricas e possibilidades de implementação. São José dos Campos: INPE, 1997. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/~julio/arquivos/consult1.pdf>>. Acesso em: jan. 2015.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2007. Brasília, DF: DNPM/MME, 2007. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2007/sumario-mineral-brasileiro-2007>>. Acesso em: 9 out. 2018.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2005. Brasília, DF: DNPM/MME, 2007. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2005/sumario-mineral-brasileiro-2005>>. Acesso em: 9 out. 2018.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2001. Brasília, DF: DNPM/MME, 2007. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2001/sumario-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 9 out. 2018.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 1999. Vol. 1 (Parte 1). Brasília, DF: DNPM/MME, 1999. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-1999-parte-i>>. Acesso em: 9 out. 2018.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2008. Vol. 28. Brasília, DF: DNPM/MME, 2009. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2008/caulim>>. Acesso em: 2 out. 2018.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2009. Vol. 29. Brasília, DF: DNPM/MME, 2010. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2009>>. Acesso em: 26 mar. 2015.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2010. Vol. 30. Brasília, DF: DNPM/MME, 2012. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2010>>. Acesso em: 26 mar. 2015.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2011. Vol. 31. Brasília, DF: DNPM/MME, 2012. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2011>>. Acesso em: 26 mar. 2015.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2012. Vol. 32. Brasília, DF: DNPM/MME, 2012. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2012>>. Acesso em: 26 mar. 2015.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral 2013. Vol. 33. Brasília, DF: DNPM/MME, 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2013>>. Acesso em: 1 abr. 2015.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral 2014. Vol. 34. Brasília, DF: DNPM/MME, 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: 1 abr. 2015.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral 2015. Vol. 35. Brasília, DF: DNPM/MME, 2016. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- FAPESPA – FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS. Contextualização do Pará na geração, consumo e expectativas no mercado de energia elétrica. In: Estimativa das perdas de arrecadação do ICMS de energia elétrica do estado no Pará (2004-2014). Belém: FAPESPA, 2016. p. 6-15. Nota técnica. Disponível em: <<http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/907.pdf?id=1474449950>>. Acesso em: 14 set. 2018.
- GALVÃO, M.V.G. Evolução termodinâmica da bacia do Marajó, estado do Pará, Brasil. 1991. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1991.
- GÓES, A.M. Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no nordeste do estado do Pará e noroeste do Maranhão. 1981. 55 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1981.
- GÓES, A.M. et al. Modelo deposicional preliminar da formação Pirabas no nordeste do estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, n. 2, p. 3-15, 1990. (Série Ciências da Terra).
- GORAYEB, P.S.S. et al. Geologia e geocronologia da suíte Rosário, nordeste do Brasil, e sua contextualização geotectônica. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 571-578, dez. 1999.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Publicações Ibá: Relatórios, infográficos e outros materiais produzidos pela instituição. 2017. Disponível em: <<https://iba.org/publicacoes>>. Acesso em: 2 out. 2018.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de vegetação do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Escala 1:5.000.000.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução IBGE nº 01/2015. 24 fev.

2015. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/rpr\\_01\\_2015\\_sirgas2000.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf)>. Acesso em: 16 out. 2017.
- IBGE; EMBRAPA – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAAGROPECUÁRIA. Mapa de solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE/EMBRAPA, 2001. Escala 1:5.000.000.
- IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Informações e análises da economia mineral brasileira. 7. ed. Brasília, DF: IBRAM, 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2015.
- IMERYS. Imerys no Pará. 2018. Disponível em: <[http://www.imerysnopara.com.br/pagina/?id=1&id\\_categoria=21](http://www.imerysnopara.com.br/pagina/?id=1&id_categoria=21)>. Acesso em: 16 abr. 2018.
- INFRAERO – EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. Aeroporto Internacional Belém – PA – Val-de-Cans – Julio Cezar Ribeiro. 2017. Disponível em: <<http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-internacional-de-belem-val-de-cans-julio-cezar-ribeiro/>>. Acesso em: 16 abr. 2015.
- IOB. ICMS, IPI e outros: IPI: crédito presumido... 10. ed. São Paulo: IOB Folhamatic, 2014. (Coleção manual de procedimentos). Fascículo n. 07/2014. <[http://www.iob.com.br/bol\\_on/IC/PA/CAPAS/CPA07\\_14.pdf](http://www.iob.com.br/bol_on/IC/PA/CAPAS/CPA07_14.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2015.
- JOÃO, X.S.J.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D.F. (Org.). Geodiversidade do estado do Pará. Belém: CPRM, 2013. 256 p.: il. 30 cm + 1 DVD-ROM. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.
- JORC – JOINT ORE RESERVES COMMITTEE. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. The JORC Code 2012 edition. Disponível em: <[http://www.jorc.org/docs/JORC\\_code\\_2012.pdf](http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2016.
- KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Açailândia (estados do Pará e Maranhão). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 193-202, set. 1981.
- KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; CALAF, J.M.C. Evolução geológica da porção meridional da província bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (nordeste da bacia do Grajaú, nordeste do Pará e extremo oeste de Maranhão). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 263-272, 2005.
- KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; HIERONYMUS, B. Depósitos de caulim e argila semi-*flint* no nordeste do Pará. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 71-80, jun. 1996.
- LUZ, A.B. et al. Pegmatitos do Nordeste: diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 2003. p. 76-77. (Série Rochas e Minerais Industriais, 9).
- LUZ, A.B.; DAMASCENO, E.C. Caulim: um mineral industrial importante. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1993. (Série Tecnologia Mineral, 65). Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/135/1/stm-65.pdf>>.
- LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. (Ed.). Rochas & minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. 867 p. Disponível em: <<file:///C:/Users/user/Downloads/Livro%20Rochas%20e%20Min.%20Ind.%201a.pdf>>. Acesso em: 9 mar. 2017.
- MÁRTIRES, C.A.R. Economia mineral do Brasil: caulim. 2009. Disponível em: <<http://www.simineral.org.br/arquivos/EconomiaMineraldoBrasil2009CaulimDNPM.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2015.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília, DF: MMA/SBF, 2002. 404 p.
- MONTEIRO, A.M. Mineração e desenvolvimento: a valorização do caulim na Amazônia brasileira. 2011. Papers do NAEA nº 288. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.naea.ufpa.br%2Fnaea%2Fnovosite%2Findex.php%3Faction%3DPublicacao.arquivo%26id%3D524&ei=fK01VcjWHYvSsAX62oCQCw&usq=AFQjCNHjmm2jthmB9yqOGjZhjBjVo9XwNA&sig2=PUM5jtJzd3y4h\\_wYpzkgYA](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.naea.ufpa.br%2Fnaea%2Fnovosite%2Findex.php%3Faction%3DPublicacao.arquivo%26id%3D524&ei=fK01VcjWHYvSsAX62oCQCw&usq=AFQjCNHjmm2jthmB9yqOGjZhjBjVo9XwNA&sig2=PUM5jtJzd3y4h_wYpzkgYA)>. Acesso em: 20 abr. 2015.
- NASCIMENTO, M. dos S. Minerais pesados das formações Ipixuna e Barreiras, região de Ipixuna, leste da sub-bacia de Cametá – NE do Pará. 2002. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, 2002.
- NASCIMENTO, M. dos S.; GÓES, A.M. Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das formações Ipixuna e Barreiras, região do rio Capim, sul da sub-bacia de Cametá. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 49-58, mar. 2005.
- PACA, V.H.M.; LIMA, A.M.M.; FORTES, J.D.N. O comportamento hidrológico da bacia do rio Capim-Pará e sua influência como condicionante da paisagem. 2014. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento\\_Comp\\_Paca.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_Comp_Paca.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2014.
- PAPERONWEB. A indústria de celulose e papel no Brasil. 2016. Disponível em: <[http://www.poyry.com.br/sites/www.poyry.com.br/files/media/related\\_material/16out27a-abtcp.pdf](http://www.poyry.com.br/sites/www.poyry.com.br/files/media/related_material/16out27a-abtcp.pdf)>. Acesso em: set. 2017.
- PARÁ (estado). Decreto nº 2.515, de 28.09.2010. Acrescenta dispositivos ao Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transportes Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - ICMS, aprovado pelo Decreto nº 4.676, de 18 de junho de 2001. Publicado no DOE (PA) de 01.10.10. Disponível em: <[http://www.sefa.pa.gov.br/legislacao/interna/decreto/dc2010\\_02515.pdf](http://www.sefa.pa.gov.br/legislacao/interna/decreto/dc2010_02515.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2015.

- PARÁ (estado). Decreto nº 4.676, de 18.06.2001. Aprova o Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - ICMS. Disponível em: <[http://www.legiscenter.com.br/minha\\_conta/bj\\_plus/direito\\_tributario/atos\\_legais\\_estaduais/para/decretos/2001/decreto\\_4676\\_de\\_19-06-01.htm](http://www.legiscenter.com.br/minha_conta/bj_plus/direito_tributario/atos_legais_estaduais/para/decretos/2001/decreto_4676_de_19-06-01.htm)>. Acesso em: 15 abr. 2015.
- PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS; CPRM. Projeto Rio Capim: anteprojeto para beneficiamento de caulim. Brasília, DF: CPRM, 1973. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/3294>>. Acesso em: 21 set. 2018.
- PLANAL TECNOLOGIA SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA. Medição de eletrorresistividade (ER). 2016. Disponível em: <<http://planalservicos.com.br/servicos>>. Acesso em: 28 nov. 2014.
- PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Relatório do desenvolvimento humano 2000. 29 jun. 2000. Disponível em: <[www.pnud.org.br/hdr/arquivos/RDH2000/Sintese\\_RDH.pdf](http://www.pnud.org.br/hdr/arquivos/RDH2000/Sintese_RDH.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2014.
- RAFAEL ROSAS. Vale vende produtora de caulim por US\$ 30,1 milhões. Valor Econômico, 7 maio 2012. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/2648268/vale-vende-produtora-de-caulim-por-us-301-milhoes>>. Acesso em: 20 abr. 2015.
- ROSSETTI, D.F. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 6, n. 2, p. 7-18, out. 2006.
- ROSSETTI, D.F. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luís basin, northern Brazil. Sedimentary Geology, Amsterdam, n. 133, p. 295-324, 2000.
- ROSSETTI, D.F. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. Journal of South American Earth Sciences, v. 14, n. 1, p. 77-89, 2001.
- ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. Geologia. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. (Ed.). O Neógeno da Amazônia oriental. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, v. 9, p. 13-52, 2004. (Coleção Friederich Katzer).
- ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; SOUZA, L.S.B. Estratigrafia da sucessão sedimentar pós-Barreiras (zona bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. Revista Brasileira de Geofísica, v. 19, p. 113-130, 2001.
- ROSSETTI, D.F.; SANTOS JÚNIOR, A.E. de A. Analysing the origin of the upper Cretaceous-(?) Lower Tertiary Rio Capim semi-flint (Pará state, Brazil) under a sedimentologic perspective. Sedimentary Geology, Amsterdam, v. 186, n. 1-2, p. 133-144, 2006.
- ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W. Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano-Terciário Inferior (?) na bacia de São Luís (MA), norte do Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, v. 9, p. 29-41, 1997. (Série Ciências da Terra).
- ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e pós-Barreiras na região bragantina, nordeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, n. 1, p. 25-74, 1989. (Série Ciências da Terra).
- SANTOS JÚNIOR, A.E. de A. Análise integrada dos depósitos de caulim na região do rio Capim: fácies, estratigrafia, petrografia e isótopos estáveis. 2006. 107 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2006.
- SANTOS JÚNIOR, A.E. de A. Reconstrução paleoambiental e estratigráfica de depósitos cretáceos e terciários expostos na borda sudeste da sub-bacia de Cametá, norte do Brasil. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.
- SANTOS JÚNIOR, A.E. de A.; ROSSETTI, D.F. Paleoambiente e estratigrafia da formação Ipixuna, área do rio Capim, leste da sub-bacia de Cametá. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 33, p. 313-324, 2003.
- SECTAM – SECRETARIA EXECUTIVA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO PARÁ. Macrozoneamento ecológico-econômico do estado do Pará. 2005. Disponível em: <[www.pa.sebrae.com.br/madmoveis/pdfs/Apmacrozeceestado.pdf](http://www.pa.sebrae.com.br/madmoveis/pdfs/Apmacrozeceestado.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2014.
- SEICOM – SECRETARIA DE ESTADO DE INDÚSTRIA, COMÉRCIO E MINERAÇÃO. Plano de mineração do estado do Pará (2013-2030). 2013. Disponível em: <<http://sedeme.com.br/portal/download/pem-2030.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- SILVA, M.E.P.; SANTOS, E.R. Diagnóstico e planejamento de desenvolvimento do rural do nordeste paraense. Capanema, PA: MDA/Secretaria de Desenvolvimento Territorial, 2006. Disponível em: <[sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs\\_territorio061.pdf](http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_territorio061.pdf)>. Acesso em: 9 dez. 2014.
- SOUZA, A.C.C.; DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P. Petrologia do gnaiss Cantão: implicações na faixa de dobramento Araguaia, serra do Estrondo-GO. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 15, p. 300-310, 1985.
- TECNOLOGÍSTICA. Chegada de ativos amplia eficiência e capacidade operacional em Vila do Conde. 18 jan. 2018. Disponível em: <<http://www.tecnologistica.com.br/portal/noticias/76455/chegada-de-ativos-amplia-eficiencia-e-capacidade-operacional-em-vila-do-conde/>> Acesso em: 20 jan. 2018.
- TRUCKENBRODT, W.; KOTSCHOUBEY, B.; GÓES, A.M. Considerações a respeito da idade das bauxites na parte leste da região Amazônica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. Anais... Belém, SBG/NO., v. 1, p. 201-209, 1982.
- USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Mineral commodity summaries 2015. Virginia: USGS,

2015. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2015/mcs2015.pdf>>.

VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais... Goiânia, SBG, p. 1-8, 2005.

VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. da (Org.). Geologia e recursos minerais do estado do Pará: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará. Belém: CPRM, 2008. 328 p. il. color. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB).

VILLEGAS, J.M.C. Geologia estrutural da bacia do Marajó. 1994. 19 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.

YAMAMOTO, J.K. Avaliação e classificação de reservas minerais. São Paulo: EDUSP, 2001. 226 p. (Acadêmica, 38).

## **ANEXO - I**

### **CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DO CAULIM DA CPRM**





**Centro de Tecnologia Mineral**

**Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações**

**Coordenação de Análise Mineral – COAM**

# **Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Caulim da CPRM**

**Relatório Final**

**Luiz Carlos Bertolino**

**D.Sc. Geólogo**

**Vitor S. Brandão**

**M.Sc. Geólogo**

**Victor Matheus J. Salgado Campos**

**Estagiário**

Rio de Janeiro

Dezembro – 2017

**ÍNDICE**

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. Determinação da Umidade</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. Homogeneização e Quarteamento</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. Classificação granulométrica</b> .....	<b>6</b>
<b>2.4. Alvejamento Químico</b> .....	<b>8</b>
<b>2.5. Caracterização Mineralógica</b> .....	<b>9</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1. Classificação Granulométrica</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2. Caracterização Mineralógica</b> .....	<b>11</b>
3.2.1. Microscópio Estereoscópico Binocular.....	11
3.2.2. Microscópio Eletrônico de Varredura .....	16
3.2.3. Difratometria de Raios X .....	21
3.2.4. Análises Químicas .....	26
<b>3.3. Índice de Alvura</b> .....	<b>27</b>
<b>3.4. Determinação do pH</b> .....	<b>31</b>
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>33</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>34</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Por solicitação da empresa CPRM – Serviço Geológico do Brasil foram estudadas sete amostras de caulim, para caracterização mineralógica, e sua possível utilização na indústria. As amostras foram caracterizadas mineralogicamente realizando ensaios de concentração, gerando um relatório final, com os dados obtidos.

As amostras brutas passaram por processos de homogeneização e classificação de forma a torná-las as mais representativas possível. Posteriormente, as amostras foram analisadas de acordo com os procedimentos a seguir de forma a determinar seus constituintes mineralógicos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A contratante CPRM – Serviço Geológico do Brasil enviou para o CETEM sete amostras pesando cerca de 4 kg de caulim. A Figura 1 apresenta o fluxograma aproximado do processo de preparação das amostras. Os procedimentos iniciaram-se pela secagem na sombra por um período de 48h (Figura 2). A seguir, por intermédio de pilhas cônicas e alongadas, as amostras foram homogeneizadas e quarteadas, para obtenção de alíquotas de 1 kg, as quais foram utilizadas para realização das análises granulométricas, caracterização mineralógica, análises químicas e ensaios de alveamento.

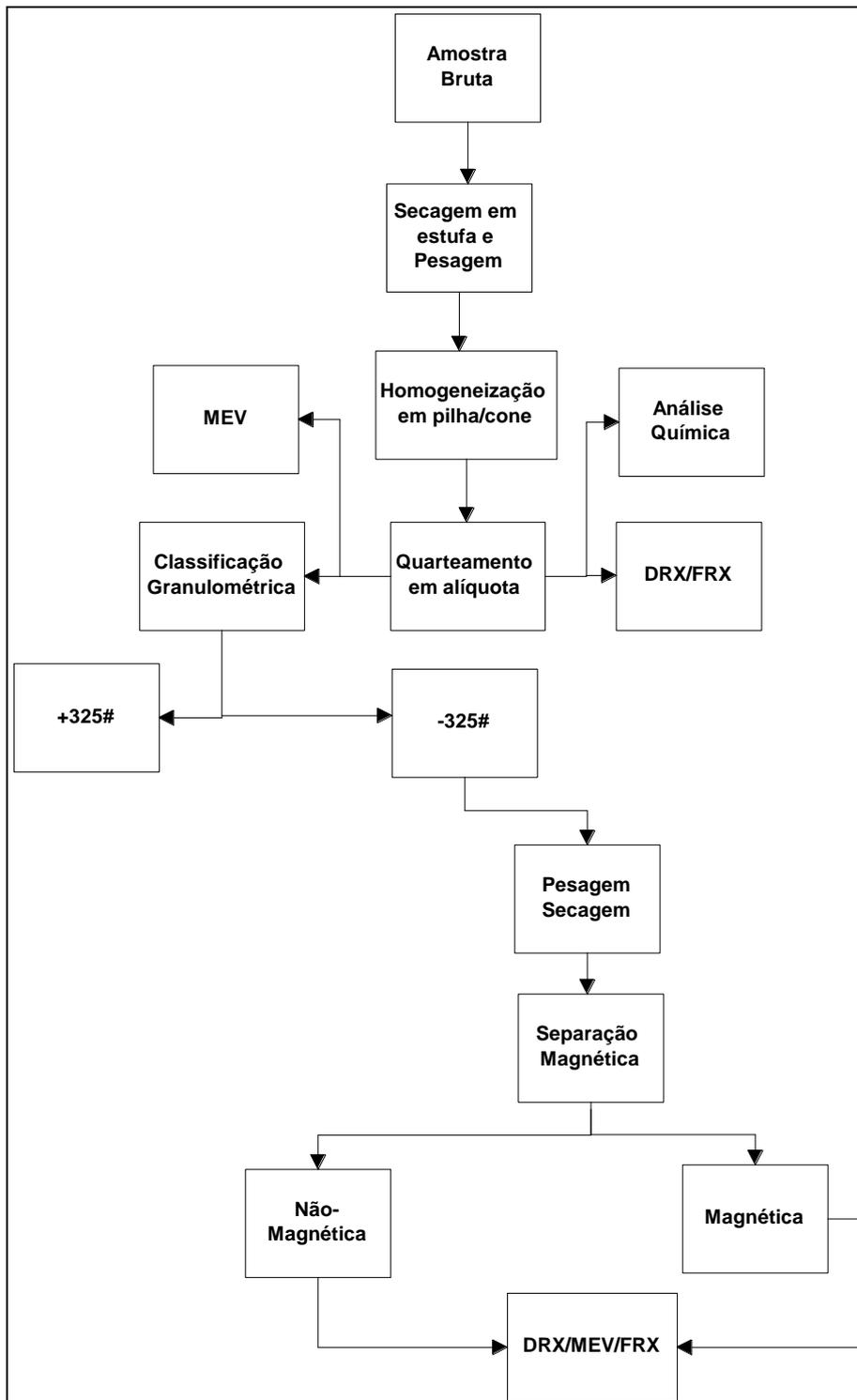


Figura 1. Fluxograma aproximado da preparação e caracterização das amostras.



Figura 2. Amostras de caulim secando nas bandejas.

## 2.1. Determinação da Umidade

Antes das etapas de beneficiamento foram determinados os teores de umidade das sete amostras (Tabela 1).

Tabela 1. Determinação da umidade das amostras

Amostra	Peso (g)	Peso seco (g)	Perda de Umidade (%)
DEP 928	50,13	42,93	14,36
DEP 929	50,00	39,87	20,26
DEP 930	49,99	39,02	21,94
DEP 931	50,11	38,77	22,63
DEP 932	50,43	39,21	22,25
DEP 933	50,73	39,68	21,78
DEP 934	50,21	39,53	21,27

## 2.2. Homogeneização e Quarteamento

A homogeneização das amostras tem por objetivo obter uma distribuição mais uniforme dos constituintes, permitindo um quarteamento em frações de menores massas. Para tal, as amostras foram colocadas sobre um papel branco em uma mesa, onde foram feitos os empilhamentos em forma de cone e em seguida distribuídas em pilhas longitudinais (Figura 3). E por fim, foi realizado o processo de quarteamento, o qual tem como função reduzir a massa a ser manuseada, e preparar as alíquotas para análises futuras.



Figura 3. Homogeneização das amostras de caulim.

## 2.3. Classificação granulométrica

A classificação é realizada com o objetivo de separar as partículas por tamanho. Embora fatores como densidade e a forma das partículas sejam significativos, o tamanho das partículas ainda é predominante.

Para tal procedimento realizou-se a classificação granulométrica a úmido através de peneiras com aberturas em malhas com valores correspondentes em mm. Foram selecionadas as peneiras 200# (74  $\mu\text{m}$ ) e 325# (44  $\mu\text{m}$ ) (Tabela 2).

Foi utilizado o ensaio a úmido, onde as peneiras são colocadas em colunas e encaixadas em um peneirador vibratório (Figura 4). Para facilitar o procedimento, adiciona-se água nas peneiras de maior espaçamento. A fração -325# (44  $\mu\text{m}$ ) foi submetida à separação magnética no equipamento *Boxmag Rapid* nas condições de

14.000 Gauss (Figura 5), visando a remoção dos minerais que normalmente interferem no índice de alvura do minério.



**Figura 4. Classificação granulométrica a úmido.**



**Figura 5. Separador magnético Boxmag Rapid (14.000 Gauss).**

Em seguida cada fração foi seca em estufa e posteriormente pesada, sendo realizado o cálculo da distribuição granulométrica com o valor do peso de cada fração.

As análises granulométricas das frações -325# foram realizadas no equipamento Mastersize 2000 fabricado pela Malvern.

O pH das frações -325# e -325# Não Mag foi determinado segundo o método proposto pela EMBRAPA (Donagema ET al., 2011).

## 2.4. Alvejamento Químico

Na etapa de alvejamento químico utilizou-se a fração abaixo de 325# Não Magnética, em polpa a 20% de sólido, mantendo o pH entre 3,0 e 3,5 com adição de ácido sulfúrico a 10%. O ditionito de sódio foi utilizado como agente redutor nas proporções de 4 kg/t e hexametáfosfato de sódio como agente dispersante nas proporções de 3 kg/t. A polpa foi mantida com agitação de 90 rpm (Figura 6). Alíquotas foram retiradas após 120 min de processamento, sendo posteriormente filtradas e secas em estufa (50°C). Após a secagem, foi determinado o índice de alvura das amostras por meio do colorímetro “ColorTouch II”.



Figura 6. Alvejamento químico com ditionito de sódio.

## 2.5. Caracterização Mineralógica

As amostras foram caracterizadas por meio da difratometria de raios X (DRX), microscópio estereoscópico binocular, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análises químicas por fluorescência de raios X (FRX).

Os difratogramas de raios X das amostras, obtidos pelo método do pó, foram obtidos em um equipamento Bruker-D8 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação  $\text{CuK}\alpha$  (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de  $0,02^\circ$   $2\theta$  por passo com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de  $4$  a  $80^\circ$   $2\theta$ , com detector sensível à posição LynxEye. As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 (ICDD, 2006) em software Bruker DiffracPlus.

As frações mais grossas foram descritas por meio de lupa binocular visando identificar a distribuição mineralógica por faixas granulométricas e o grau de liberação do mineral de interesse.

A identificação dos minerais, sua composição e as relações texturais das amostras foram determinadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) Hitachi Modelo TM3030 Plus, equipado com um sistema de microanálise química por dispersão de energia (EDS) Bruker Quantax. As amostras foram metalizadas com ouro antes da análise.

As análises químicas foram realizadas através da fluorescência de raios X em espectrômetro Axios mAX da marca PANalytical, onde as frações foram preparadas em uma prensa automática VANEON em condições de 20 mm de diâmetro, com pressão de 20 toneladas e tempo de 30 segundos, utilizando ácido bórico como aglutinante em proporções de 1:0,6. Foram pesados 5g de cada amostra e posteriormente foi determinada a perda por calcinação em duplicatas em mufla a temperatura de  $1000^\circ\text{C}$ .

Os ensaios de viscosidade foram realizados no equipamento reômetro RheoStress 1 da Thermo Haake com taxa de cisalhamento de 100 a  $10\text{ s}^{-1}$  em temperatura ambiente e tempo máximo de aquisição por ponto de 180 segundos. As condições utilizadas foram uma polpa com 50% de sólidos com dispersante de hexametáfosfato de sódio na proporção de 4 kg/t. A polpa foi agitada em agitador

Hamilton Beach durante 10 minutos e posteriormente foram medidos os valores de viscosidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Classificação Granulométrica

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da classificação granulométrica das amostras. A amostra DEP 931 foi a que apresentou melhor rendimento na peneira de 325# (96,97%), já a amostra DEP 934 foi a que apresentou o menor rendimento (77,63).

**Tabela 2. Classificação granulométrica das amostras.**

Amostras	+200# (%)	-200 +325# (%)	-325# (%)
DEP928	10,18	1,28	88,54
DEP929	5,17	2,47	92,36
DEP930	5,75	2,96	91,29
DEP931	0,81	2,22	96,97
DEP932	1,22	3,1	95,68
DEP933	13,9	3,02	83,08
DEP934	19,55	2,82	77,63

A seguir são apresentados os resultados da distribuição granulométrica das frações -325# Não Magnética (Figura 6 e Tabela 3). As amostras apresentaram uma distribuição de tamanho de partícula muito semelhante, com comportamento unimodal em 0,1  $\mu\text{m}$ . Os valores dos  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  e  $D_{90}$  estão apresentados na Tabela3.

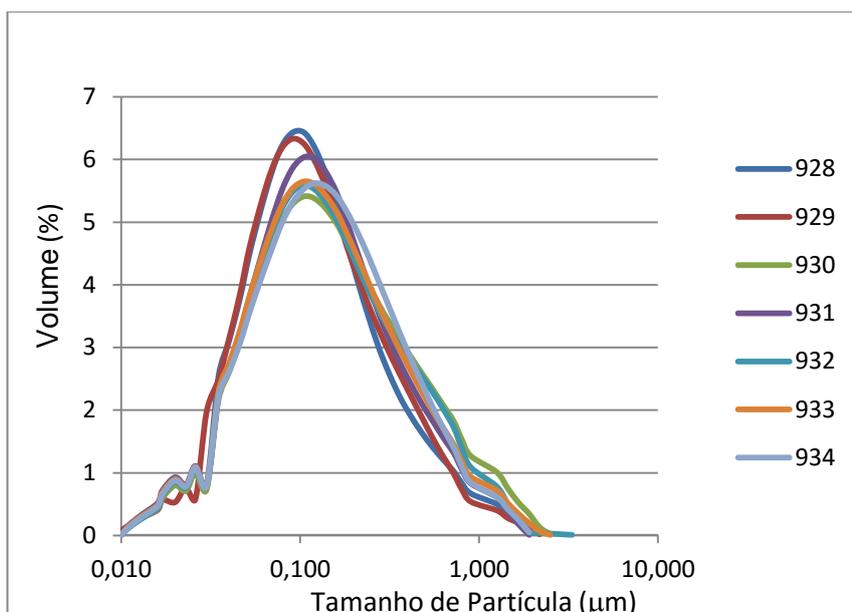


Figura 6. Distribuição granulométrica das frações -325# Não Magnética.

Tabela 3. Valores da distribuição das amostras.

Amostra	d(0,1) µm	d(0,5) µm	d(0,9) µm
DEP 928	1,341	4,108	15,052
DEP 929	1,618	4,804	17,552
DEP 930	1,445	5,109	22,222
DEP 931	1,365	4,625	17,248
DEP 932	1,397	4,856	20,216
DEP 933	1,370	4,763	18,930
DEP 934	1,390	5,016	18,206

## 3.2. Caracterização Mineralógica

### 3.2.1. Microscópio Estereoscópico Binocular

A seguir são apresentadas as fotomicrografias das diferentes frações +200# das amostras do caulim obtidas no microscópio estereoscópico binocular (Figuras 7 a

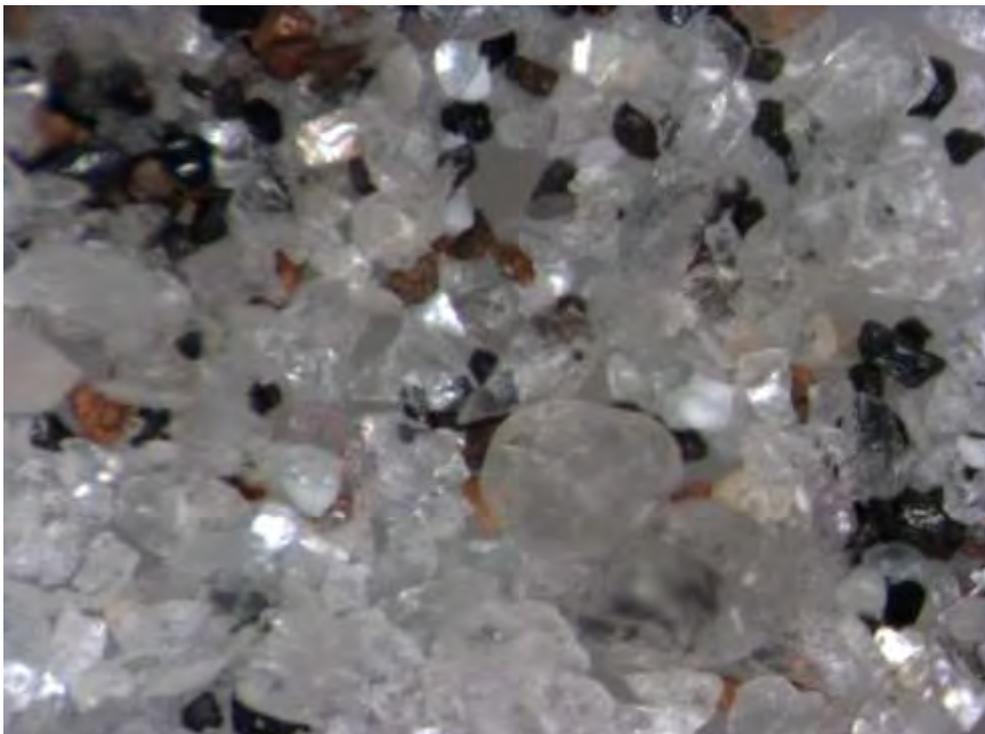
13). As frações maiores que 200# são constituídas essencialmente por quartzo, secundariamente ocorrem óxidos e/ou hidróxidos de ferro e pequenos agregados de caulim. As amostras DEP 930 e 931 foram as que apresentaram as maiores concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e minerais opacos. (Figuras 9 e 10)



**Figura 7. Fotomicrografia das amostras DEP 928.**



**Figura 8. Fotomicrografia das amostras DEP 929.**



**Figura 9. Fotomicrografia das amostras DEP 930.**

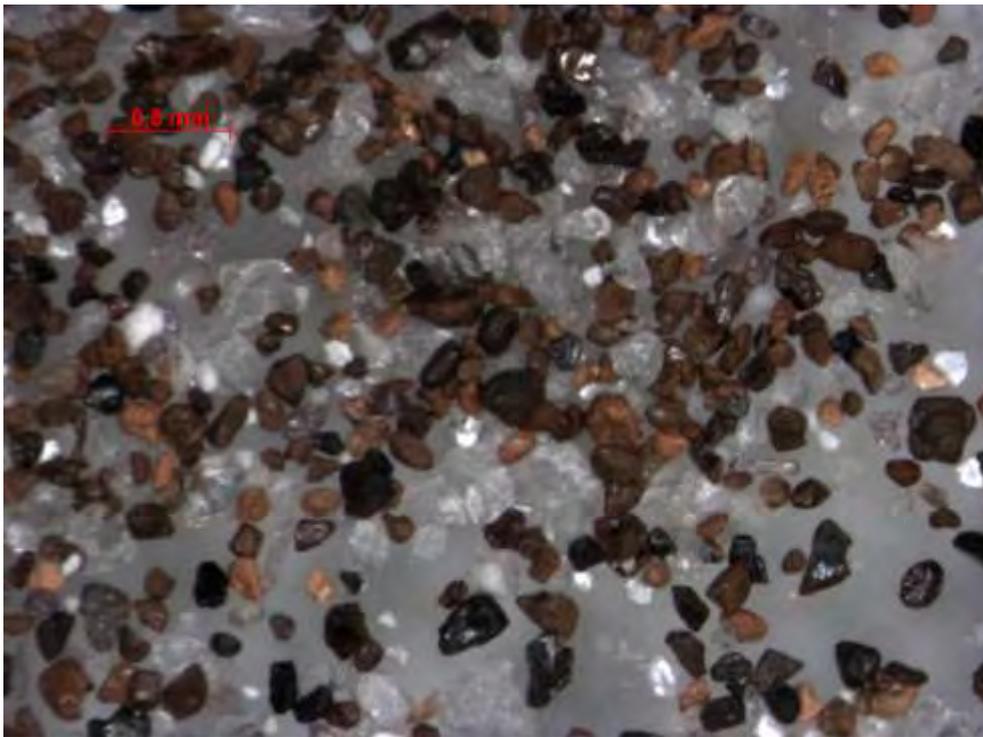


Figura 10. Fotomicrografia das amostras DEP 931.

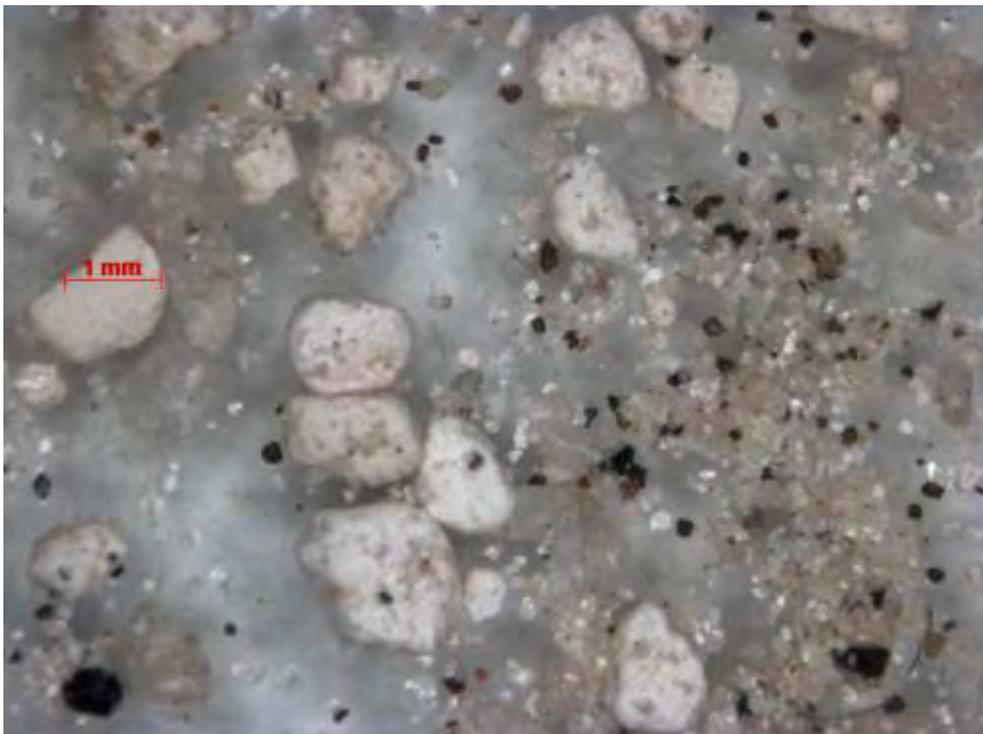


Figura 11. Fotomicrografia das amostras DEP 932.

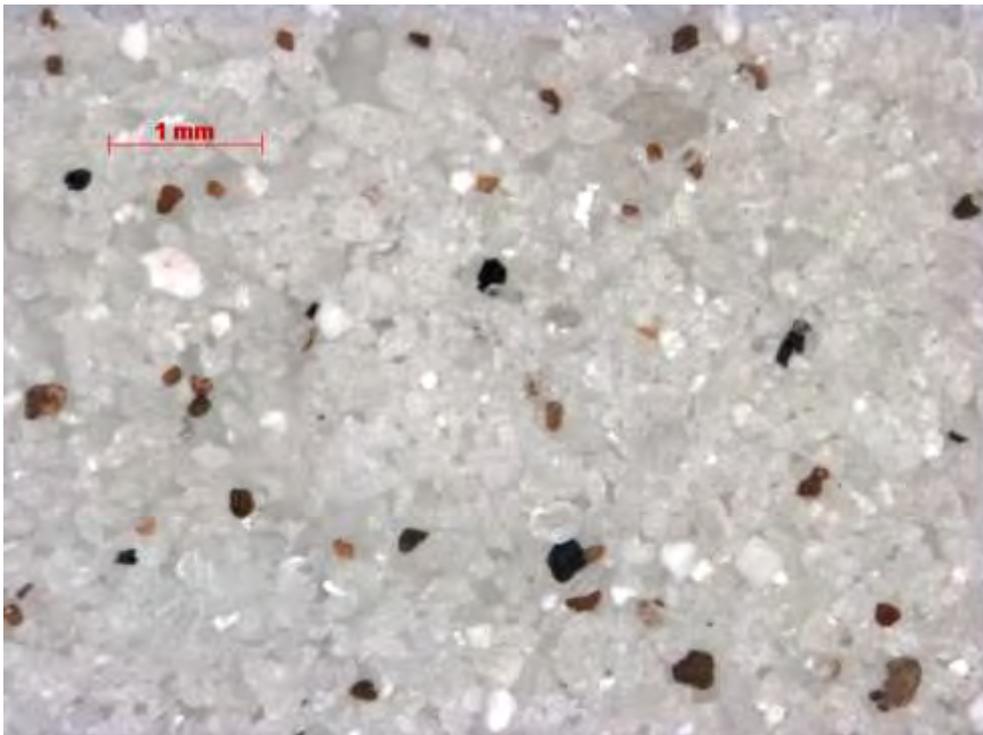


Figura 12. Fotomicrografia das amostras DEP 933.



Figura 13. Fotomicrografia das amostras DEP 934.

### 3.2.2. Microscópio Eletrônico de Varredura

A seguir são apresentadas as imagens obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) das amostras de caulim das frações -325# Não Magnética e Magnética (Figuras 14 a 27). As amostras são constituídas essencialmente por partículas pseudo-hexagonais de caulinita, secundariamente por grãos de quartzo e muscovita.

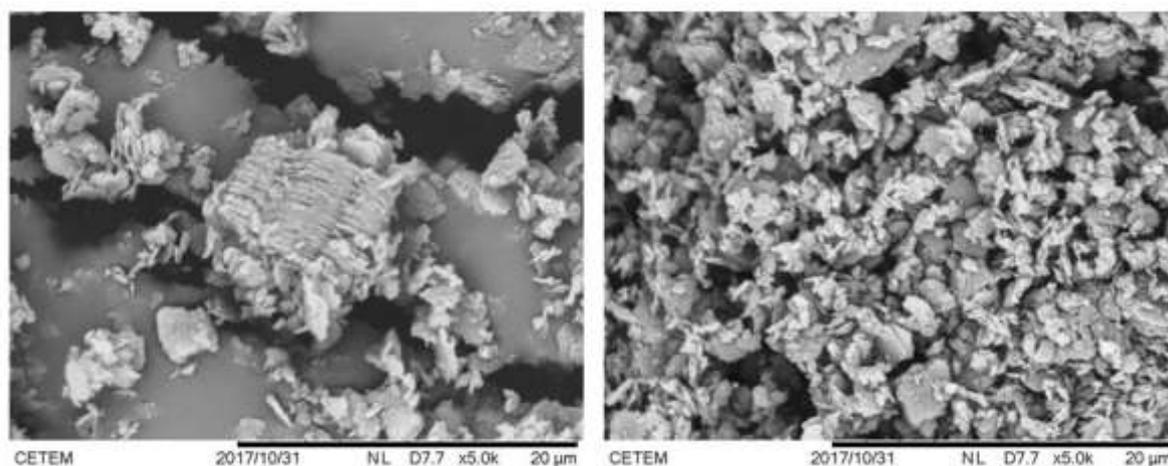


Figura 14. Imagens da amostra DEP 928 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

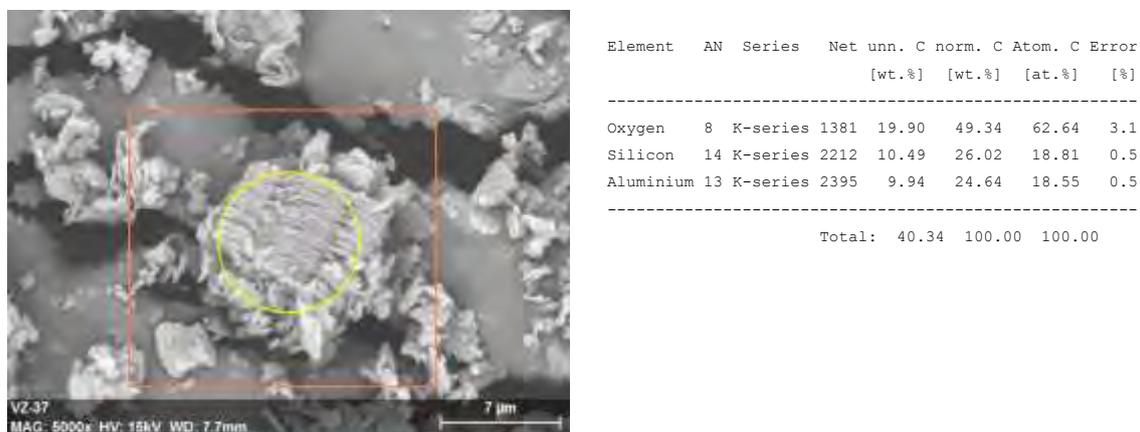
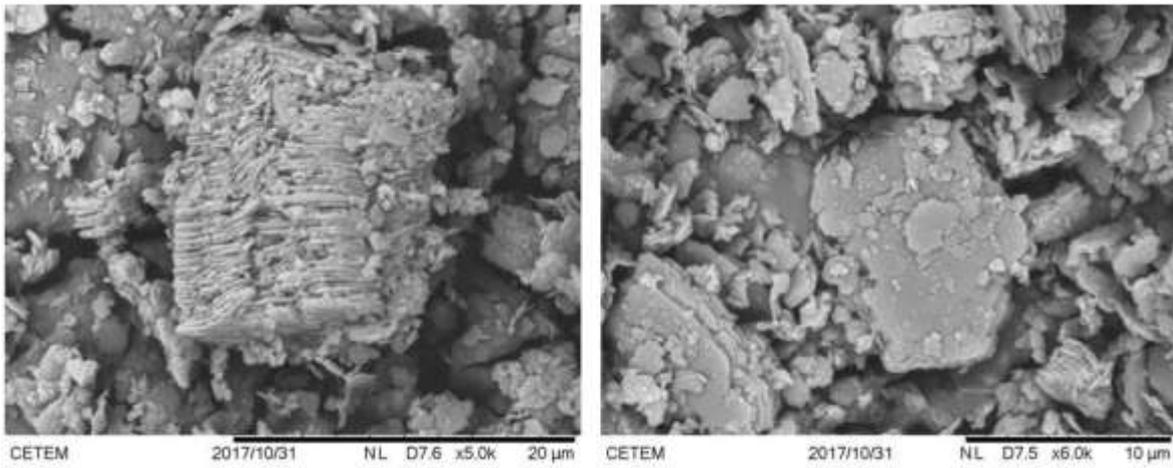
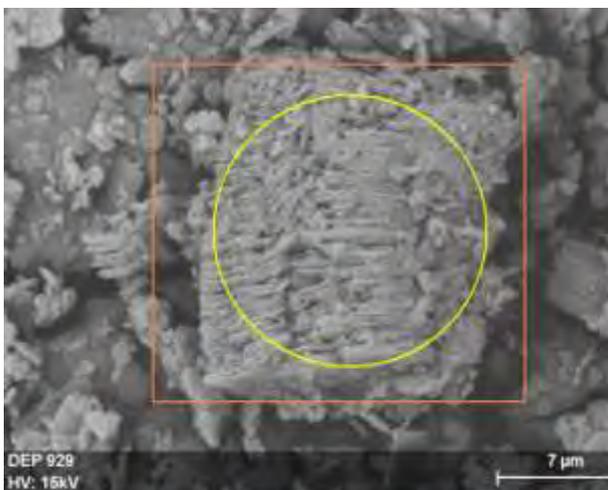


Figura 15. Imagem e EDS da amostra DEP 928 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.

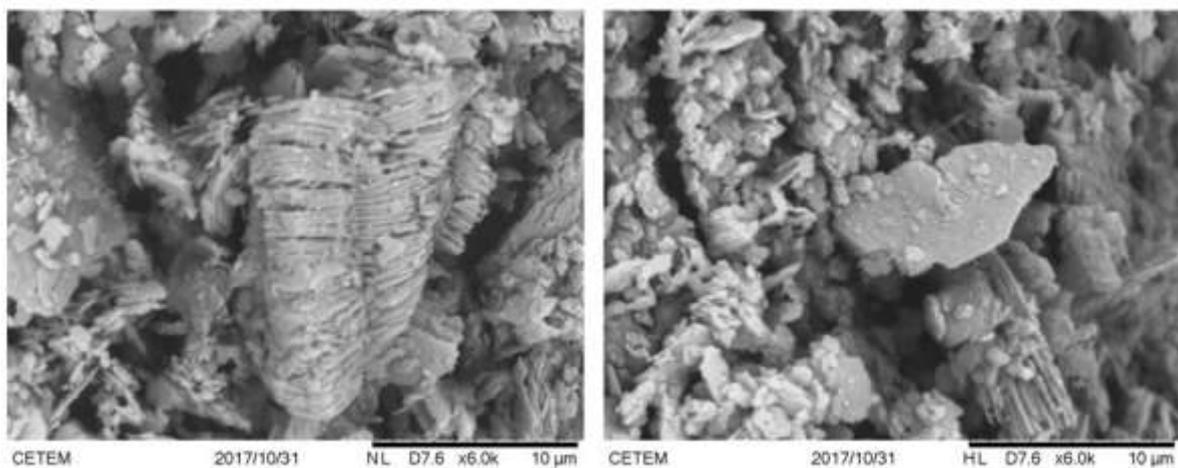


**Figura 16. Imagens da amostra DEP 929 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

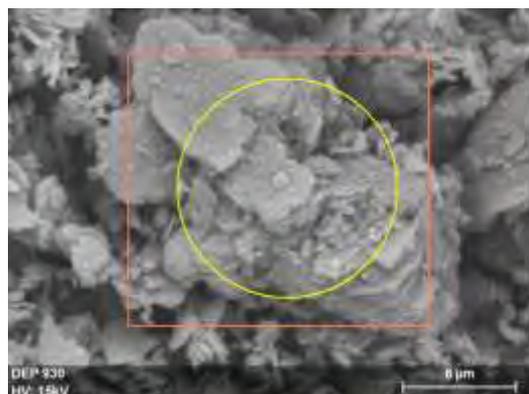


Element	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	1407	18.82	47.92	2.9
Silicon	14	K-series	2486	10.79	27.48	0.5
Aluminium	13	K-series	2593	9.66	24.59	0.5
Total:			39.27	100.00	100.00	

**Figura 17. Imagem e EDS da amostra DEP 929 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

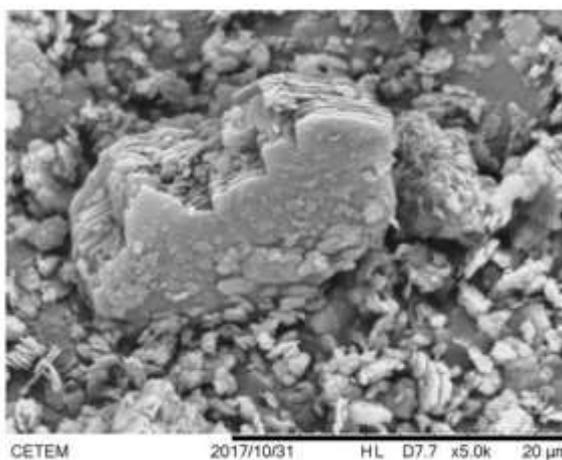


**Figura 18. Imagens da amostra DEP 930 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**



Element	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	2357	25.41	50.38	3.6
Silicon	14	K-series	3494	12.78	25.33	0.6
Aluminium	13	K-series	3951	12.26	24.30	0.6
Total:			50.44	100.00	100.00	

**Figura 19. Imagem e EDS da amostra DEP 930 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

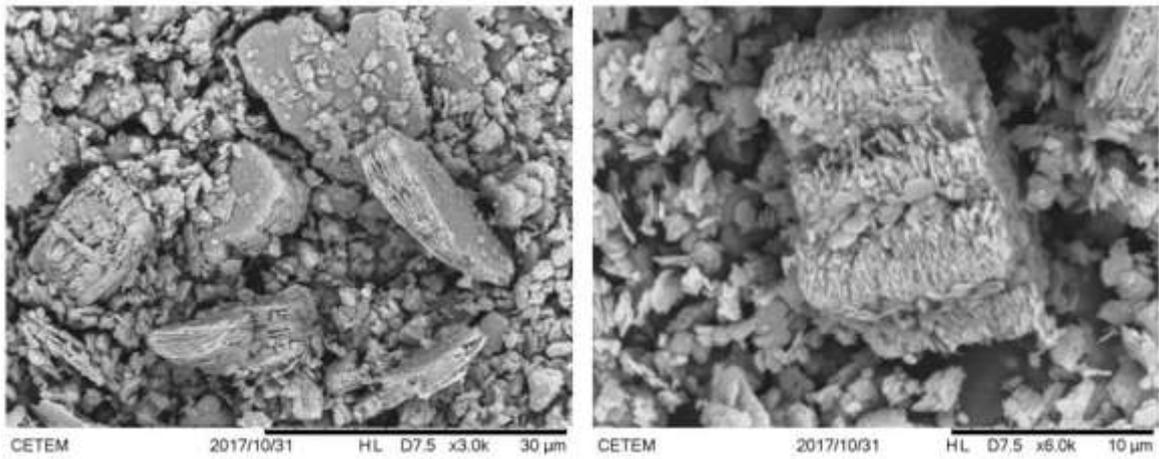


**Figura 20. Imagens da amostra DEP 931 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

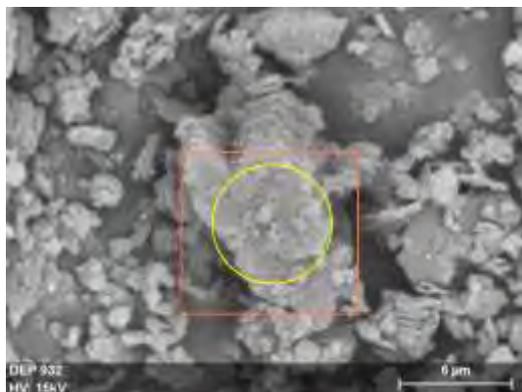


Element	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	2176	23.67	51.75	3.4
Silicon	14	K-series	3109	11.81	25.81	0.5
Aluminium	13	K-series	3270	10.27	22.44	0.5
Total:			45.75	100.00	100.00	

**Figura 21. Imagem e EDS da amostra DEP 931 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

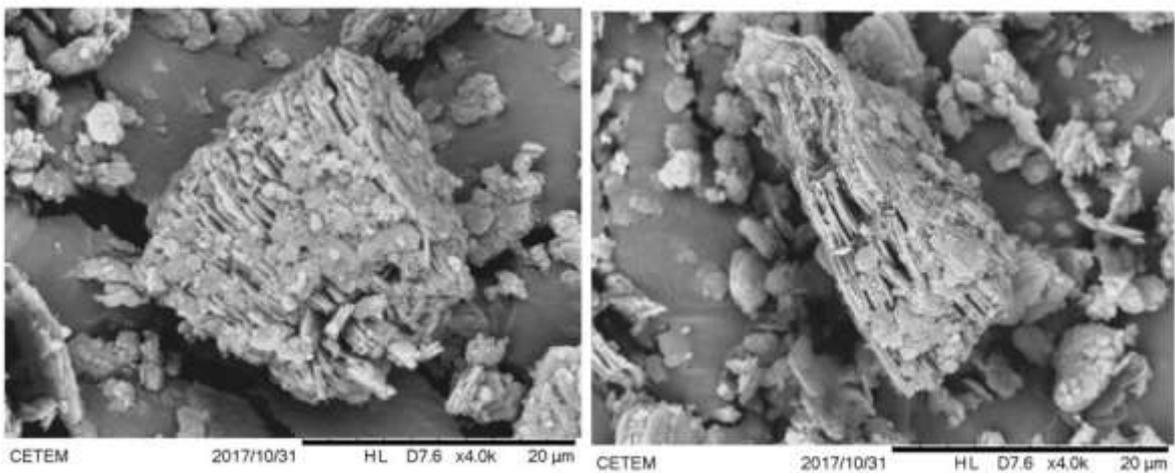


**Figura 22. Imagens da amostra DEP 932 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

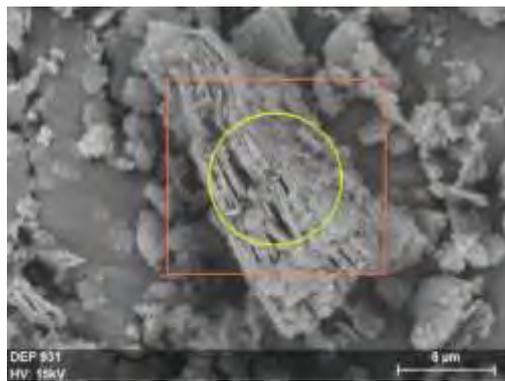


Element	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	1458	19.88	50.22	3.1
Silicon	14	K-series	2241	10.11	25.55	0.4
Aluminium	13	K-series	2397	9.59	24.23	0.5
Total:			39.58	100.00	100.00	

**Figura 23. Imagem da amostra DEP 932 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

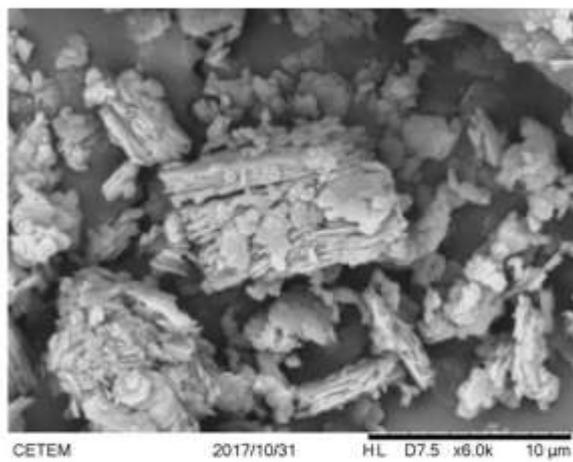
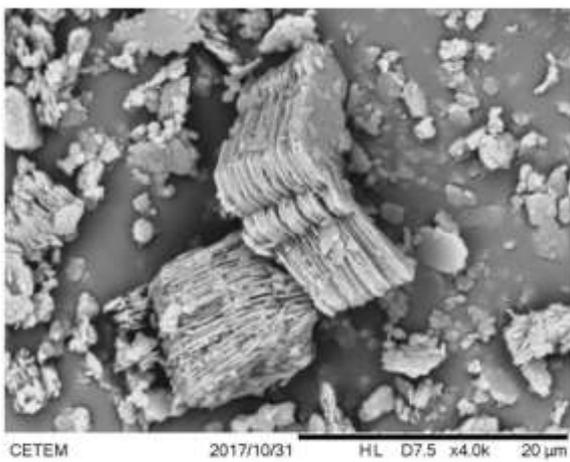


**Figura 24. Imagens da amostra DEP 933 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

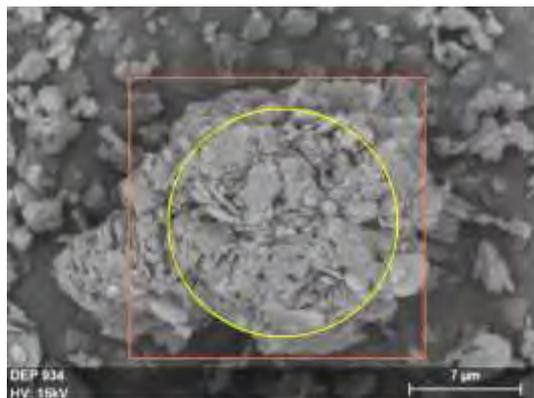


Element	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	2136	23.42	50.78	3.4
Silicon	14	K-series	3161	11.79	25.56	0.5
Aluminium	13	K-series	3445	10.91	23.66	0.5
Total:			46.11	100.00	100.00	

**Figura 25. Imagem da amostra DEP 933 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**



**Figura 26. Imagens da amostra DEP 934 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**



Element	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	3117	20.53	49.51	2.8
Silicon	14	K-series	4990	11.09	26.74	0.5
Aluminium	13	K-series	5339	9.85	23.75	0.5
Total:			41.47	100.00	100.00	

**Figura 27. Imagem da amostra DEP 934 fração -325# Não Magnética. Elétrons retroespalhados.**

### 3.2.3. Difractometria de Raios X

A seguir são apresentados os difratogramas de raios X das frações Bruta, +200#, -200 +325#, -325# e -325# Não Magnética (Figuras 28 a 32). As amostras apresentaram composição mineralógica muito semelhante, sendo constituídas principalmente por caulinita  $[(Al_2Si_2O_5(OH)_4)]$ , secundariamente por quartzo ( $SiO_2$ ), muscovita  $[KAl_2(Al,Si_3)O_{10}(OH)_2]$ , goethita  $[\alpha FeO(OH)]$  e rutilo  $[(TiO_2)]$  (Tabela 3).

Através dos difratogramas de raios X é possível observar que a classificação granulométrica, seguida da separação magnética em campo de alta intensidade promoveu a concentração da caulinita e a remoção de grande parte das impurezas.

**Tabela 3. Composição mineralógica das amostras**

Amostra	Mineralogia
DEP 928 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 928 +200#	Caulinita, quartzo, goethita e magnetita
DEP 928 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 928 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 928 -325# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 929 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 929 +200#	Caulinita, quartzo e goethita
DEP 929 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 929 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 929 -3253# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 930 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 930 +200#	Caulinita, quartzo, goethita e rutilo
DEP 930 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 930 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 930 -325# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 931 ROM	Caulinita e, quartzo
DEP 931 +200#	Caulinita, quartzo, muscovita, goethita e rutilo
DEP 931 -200 +325#	Caulinita, quartzo e muscovita
DEP 931 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 931 -325# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 932 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 932 +200#	Caulinita e quartzo
DEP 932 -200 +325#	Caulinita, quartzo, muscovita e goethita

DEP 932 -325#	Caulinita, quartzo e muscovita
DEP 932 -3253# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 933 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 933 +200#	Caulinita e quartzo
DEP 933 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 933 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 933 -3253# NMag	Caulinita e quartzo
DEP 934 ROM	Caulinita e quartzo
DEP 934 +200#	Caulinita e quartzo
DEP 934 -200 +325#	Caulinita e quartzo
DEP 934 -325#	Caulinita e quartzo
DEP 934 -3253# NMag	Caulinita e quartzo

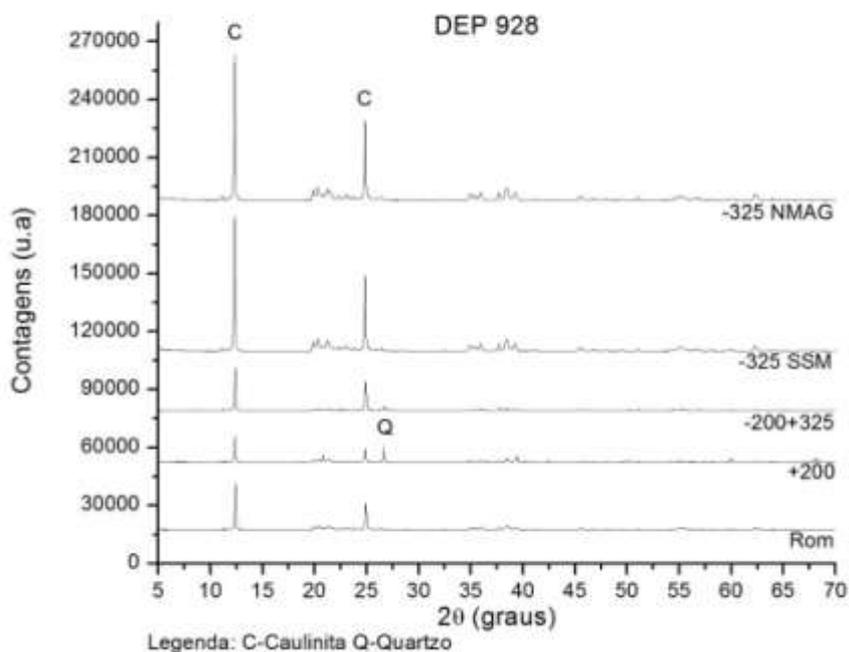


Figura 28. Difratoformas de raios X da amostra DEP 928. Radiação Cu K $\alpha$  (40 kV/40 mA).

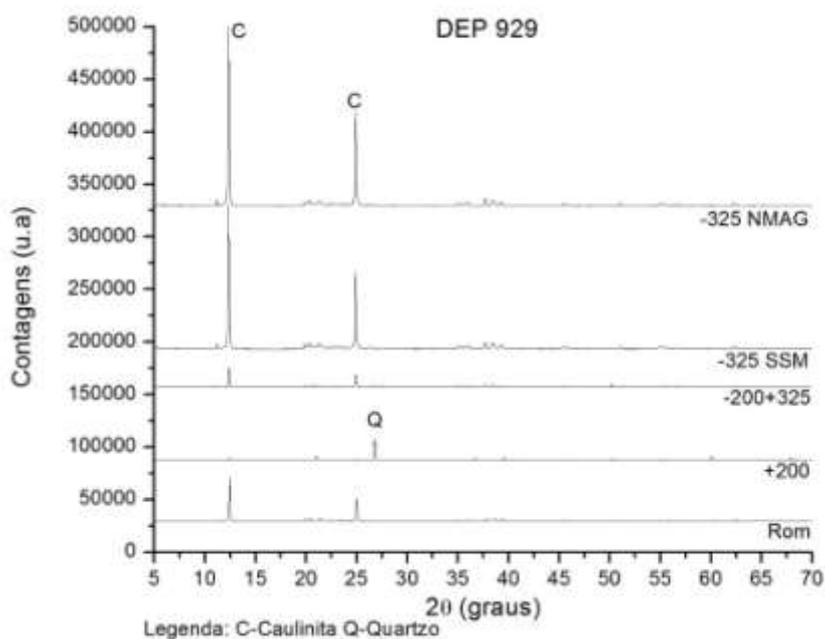


Figura 29. Difratomogramas de raios X da amostra DEP 929. Radiação Cu Kα (40 kV/40 mA).

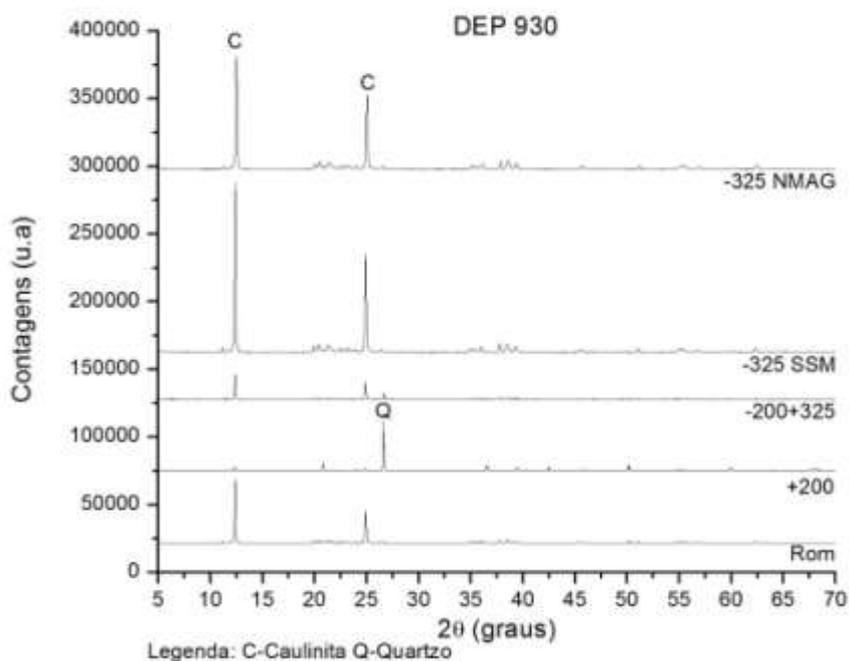


Figura 30. Difratomogramas de raios X da amostra DEP 930. Radiação Cu Kα (40 kV/40 mA).

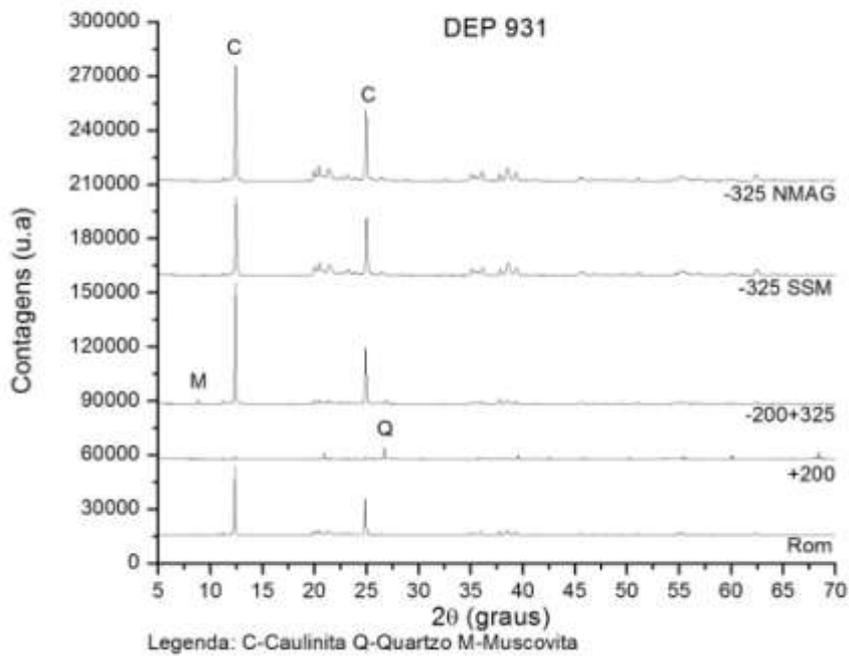


Figura 31. Difratogramas de raios X da amostra DEP 931. Radiação Cu K $\alpha$  (40 kV/40 mA).

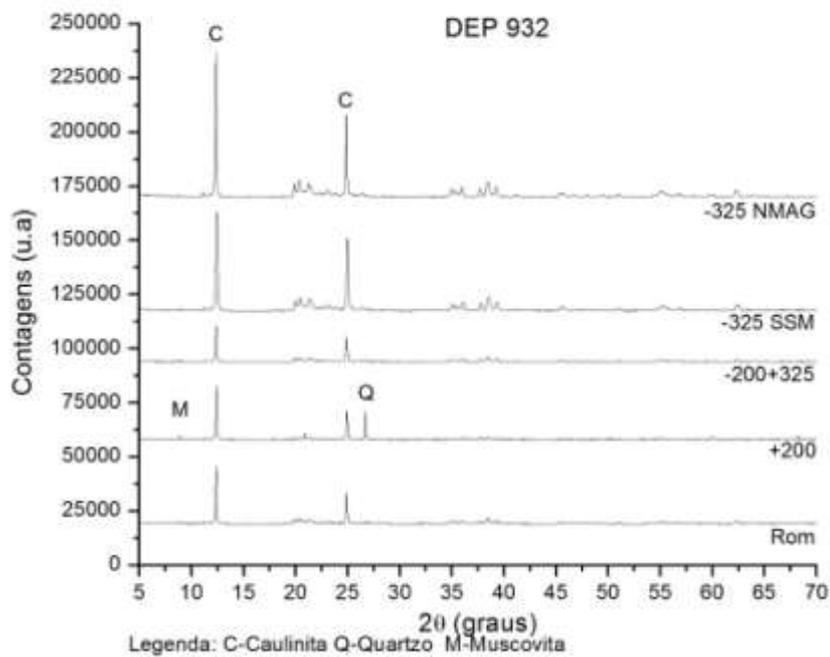


Figura 32. Difratogramas de raios X da amostra DEP 932. Radiação Cu K $\alpha$  (40 kV/40 mA).

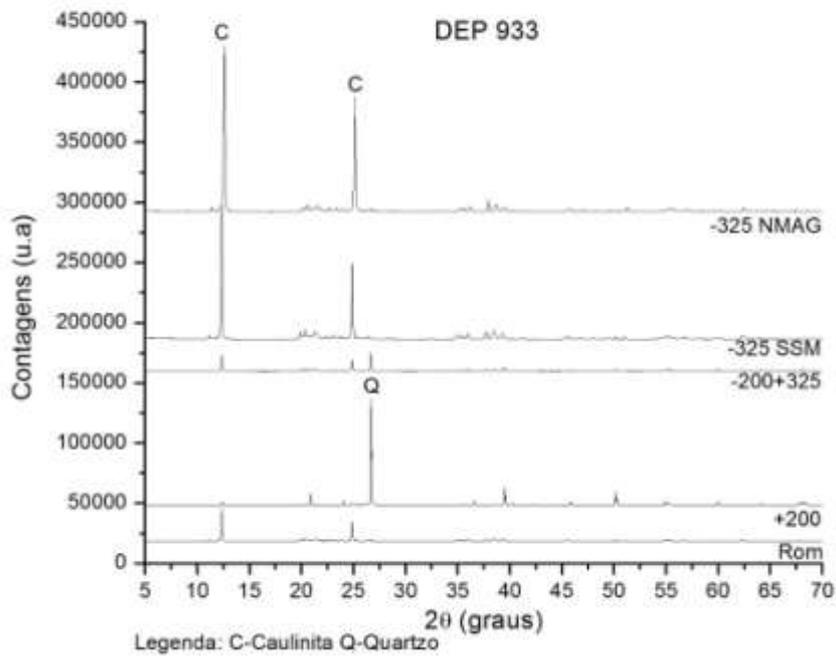


Figura 33. Difratogramas de raios X da amostra DEP 933. Radiação Cu Kα (40 kV/40 mA).

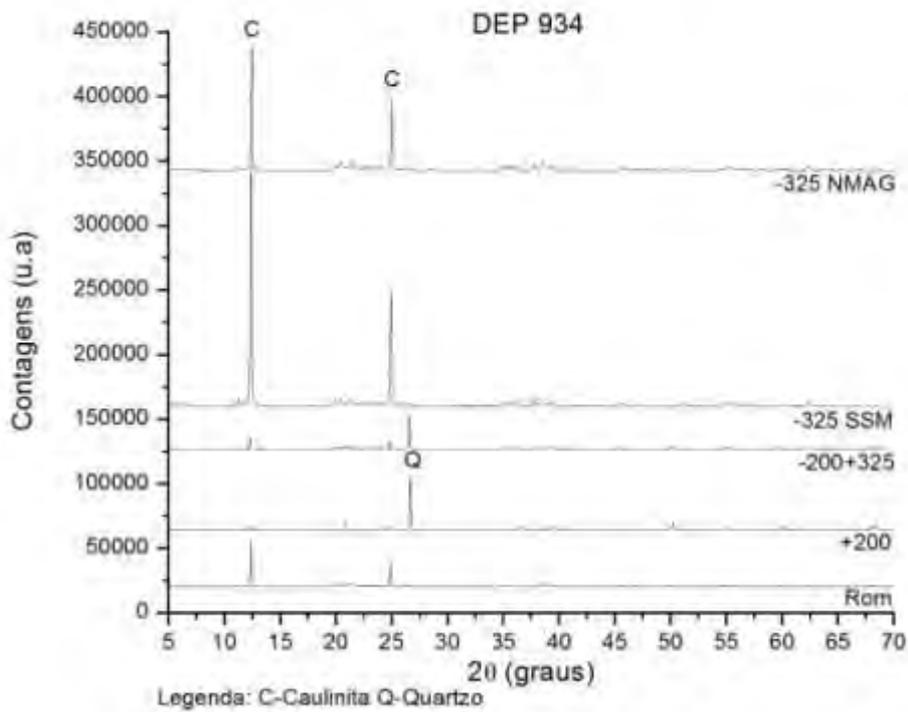


Figura 34. Difratogramas de raios X da amostra DEP 934. Radiação Cu Kα (40 kV/40 mA).

### 3.2.4. Análises Químicas

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises químicas pelo método da FRX/EDS das amostras brutas e das frações -325# Não Magnética. Através dos resultados observa-se a classificação granulométrica em peneira de 325#, seguida pela separação magnética em campo de alta intensidade promove o aumento da concentração de  $Al_2O_3$  e a diminuição nas concentrações de  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  e  $TiO_2$  (Figura 35)

**Tabela 4. Composição química das amostras por FRX/EDS (% em peso).**

Óxidos	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	$ZrO_2$	PPC	Total
DEP 928 ROM	41,4	43,4	1,1	0,91	0,15	12,8	99,76
DEP 928 -325#	41,7	42,4	0,82	0,84	<0,1	13,9	99,66
DEP 928 NMag	41,7	42,4	0,80	0,82	<0,1	13,9	99,62
DEP 929 ROM	41,7	43,3	0,78	0,81	0,15	13,1	99,84
DEP 929 -325#	42,0	42,7	0,52	0,74	<0,1	13,8	99,76
DEP 929 NMag	41,9	42,7	0,48	0,73	<0,1	14,0	99,81
DEP 930 ROM	41,8	43,7	0,72	0,67	0,15	12,8	99,84
DEP 930 -325#	42,0	42,7	0,40	0,66	<0,1	13,9	99,66
DEP 930 NMag	42,0	43,0	0,38	0,63	<0,1	13,8	99,81
DEP 931 ROM	42,0	42,9	0,66	0,48	<0,1	13,7	99,74
DEP 931 -325#	42,4	42,7	0,45	0,41	<0,1	13,9	99,86
DEP 931 NMag	42,1	43,0	0,43	0,39	<0,1	13,9	99,82
DEP 932 ROM	41,6	42,9	0,91	0,60	ND	13,6	99,61
DEP 932 -325#	41,8	42,8	0,81	0,56	ND	13,7	99,67
DEP 932 NMag	41,7	42,8	0,80	0,55	ND	13,8	99,65
DEP 933 ROM	41,9	45,6	0,41	0,35	ND	11,6	99,86
DEP 933 -325#	41,9	42,8	0,35	0,39	ND	14,4	99,84
DEP 933 NMag	42,2	43,0	0,33	0,37	ND	13,9	99,8
DEP 934 ROM	41,3	46,6	0,42	0,36	ND	11,2	99,88
DEP 934 -325#	42,1	42,9	0,39	0,42	ND	14,0	99,81
DEP 934 NMag	41,9	43,0	0,37	0,40	ND	14,2	99,87

PPC – Perda ao Fogo; ND – Sem registro

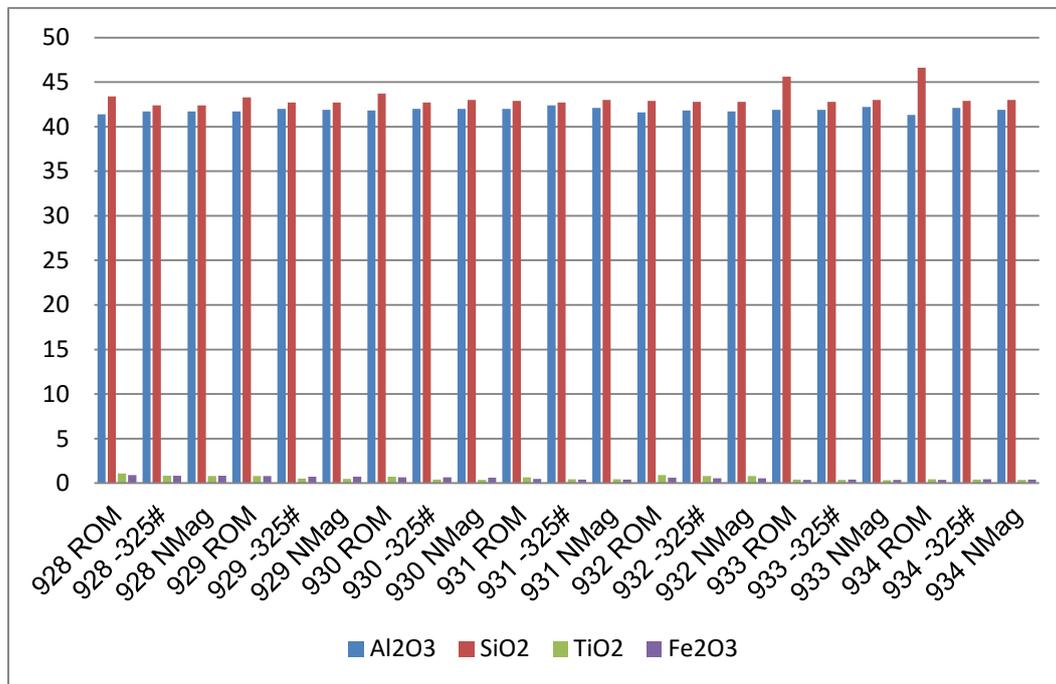


Figura 35. Composição química das amostras de caulim.

### 3.3. Índice de Alvura

Na tabela 5 são apresentados os resultados do índice de alvura (%ISO) e das propriedades ópticas das amostras de caulim. Os resultados indicam que o alveamento químico com ditionito de sódio (5 kg/t) por um período de 2h é suficiente para promover um considerado aumento no Índice de Alvura das amostras. A amostra DEP 928 – 325# Alvejada foi a que apresentou menor índice de alvura (73,44% ISO) e a amostra DEP 933 a que apresentou maior valor (85,69% ISO).

Tabela 5. Índice de alvura e parâmetros de cores das amostras de caulim.

Amostra	Fração	IA	L*	a*	b*	IB	Tint	IO
DEP 928	ROM	67,40	90,85	3,21	9,35	34,47	-9,39	99,98
	-325#	68,02	90,95	3,10	8,95	36,60	-9,01	99,97
	-325 NMag	68,50	91,25	3,25	9,07	36,85	-9,23	99,96
	-325 Alvejada	73,44	92,71	1,87	7,38	48,30	-6,07	99,98
DEP 929	ROM	70,88	92,06	2,43	8,42	41,86	-7,51	99,98
	-325#	71,10	92,09	2,32	8,30	42,95	-7,27	100,01
	-325 NMag	70,81	92,24	2,54	8,81	40,52	-7,84	99,97
	-325 Alvejada	75,17	93,36	1,40	7,13	51,11	-5,13	100,00
DEP 930	ROM	77,33	93,85	1,16	6,20	56,62	-4,33	100,01
	-325#	76,52	93,87	1,55	6,89	53,53	-5,26	99,98
	-325 NMag	76,03	93,59	1,49	6,79	53,26	-5,15	99,97
	-325 Alvejada	79,53	94,71	0,84	5,94	60,00	-3,65	99,96
DEP 931	ROM	84,50	95,88	-0,07	4,16	70,98	-1,42	99,97
	-325#	83,24	95,28	0,19	4,05	69,98	-1,82	99,98
	-325 NMag	83,48	95,55	0,25	4,34	69,37	-2,04	99,97
	-325 Alvejada	85,34	96,01	0,12	3,75	73,21	-1,60	99,96
DEP 932	ROM	81,26	95,01	0,01	5,21	64,01	-1,98	99,97
	-325#	81,90	95,01	0,07	4,67	66,48	-1,87	99,98
	-325 NMag	82,12	95,21	0,12	4,84	66,20	-2,01	99,94
	-325 Alvejada	83,00	95,36	0,04	4,42	68,51	-1,71	99,98
DEP 933	ROM	84,00	95,33	0,37	3,52	72,51	-1,93	99,99
	-325 #	83,97	95,33	0,16	3,55	72,34	-1,60	99,97
	-325 NMag	83,49	95,42	0,29	4,09	70,15	-2,02	99,98
	-325 Alvejada	85,69	96,01	0,21	3,44	74,57	-1,63	99,97
DEP 934	ROM	82,38	94,66	0,95	3,57	70,64	-2,94	99,98
	-325 #	82,45	94,77	0,78	3,72	70,20	-2,71	99,98
	-325 NMag	83,59	95,38	0,83	3,93	70,82	-2,85	99,98
	-325 Alvejada	84,57	95,54	0,72	3,25	73,40	-2,45	99,97

IA – Índice de alvura; L\* - Luminosidade; a\* - Coordenada vermelho/verde (a + indica vermelho e – a indica verde); b\* - Coordenada amarelo/azul (+ b indica amarelo e – b indica azul); IB – Índice de brancura; IO – Índice de opacidade.

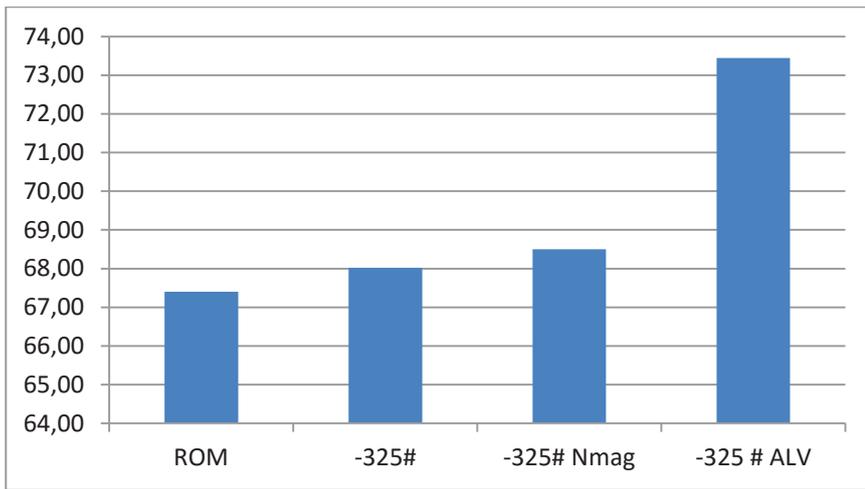


Figura 36. Índice de alvura da amostra DPE 928 (%ISO)

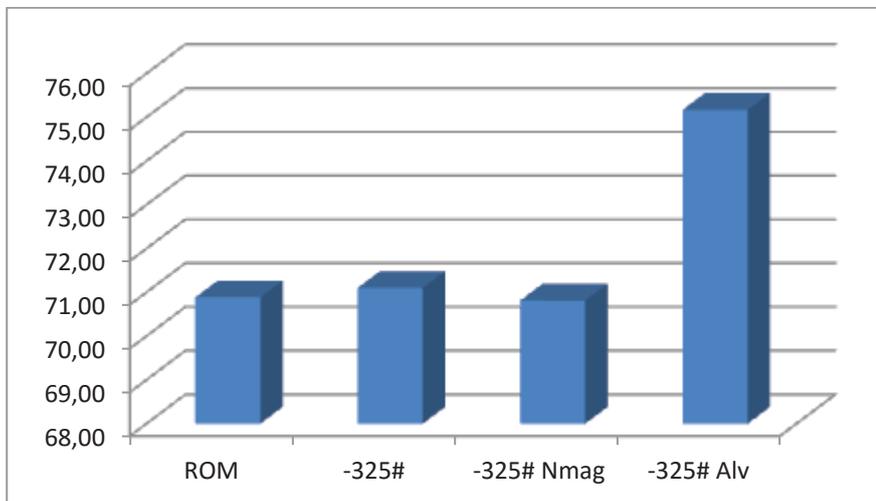


Figura 37. Índice de alvura da amostra DPE 929 (%ISO)

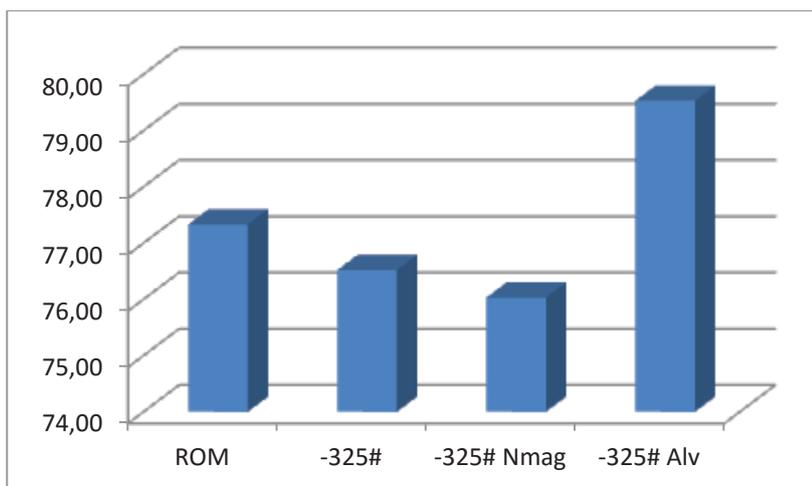


Figura 38. Índice de alvura da amostra DPE 930 (%ISO)

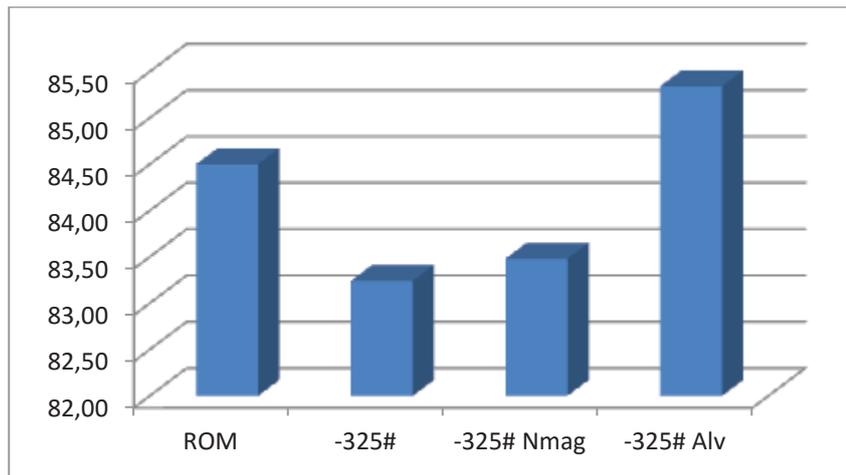


Figura 39. Índice de alvura da amostra DPE 931 (%ISO)

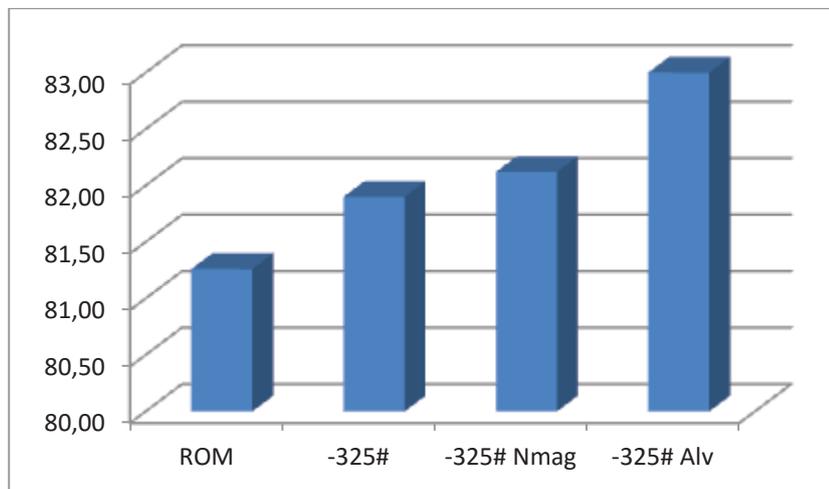


Figura 40. Índice de alvura da amostra DPE 932 (%ISO)

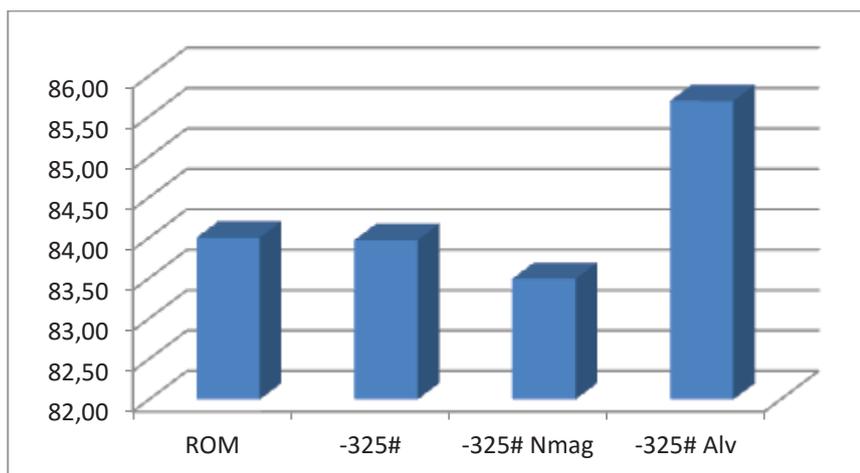


Figura 41. Índice de alvura da amostra DPE 933 (%ISO)

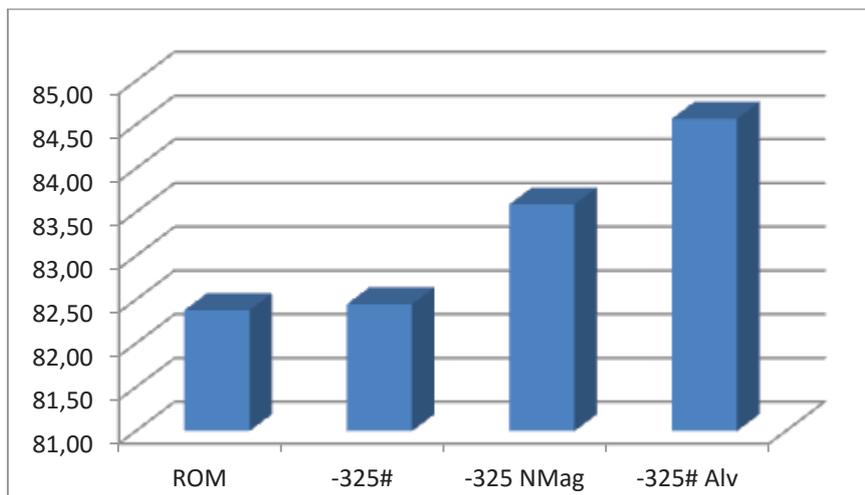


Figura 42. Índice de alvura da amostra DPE 934 (%ISO).

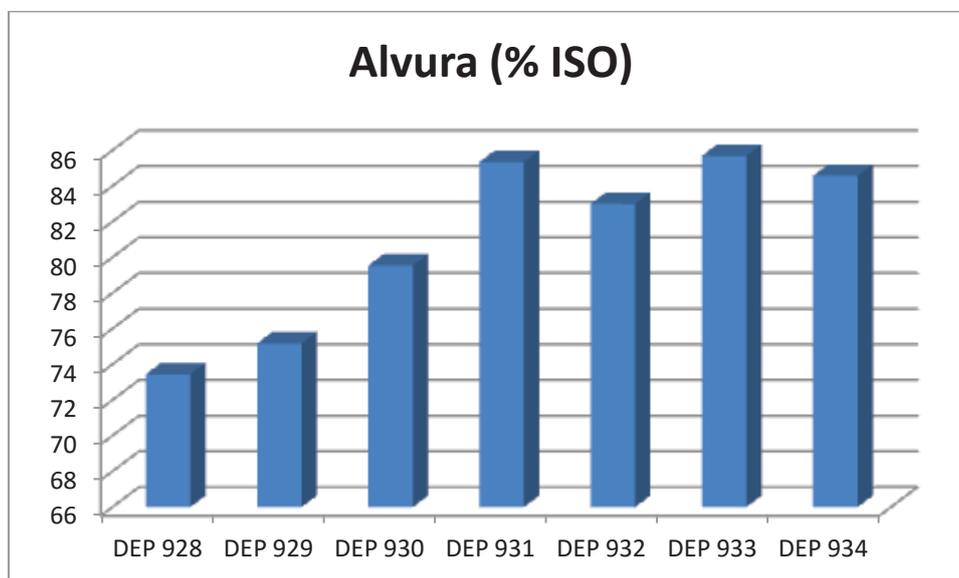


Figura 43. Índice de alvura (%ISO) das amostras após as etapas de beneficiamento.

### 3.4. Determinação do pH

Na Tabela 6 são apresentados os valores de pH das frações -325# e -325 Não Mag. Os valores pH das frações -325# variaram de 5,99 (DEP 931) a 6,16 (DEP 934), já das frações -325# Não Mag variaram de 5,99 (DEP 934) a 6,13 (DEP 933).

Tabela 6. Valores do pH das frações -325# e -325# Não mag.

<b>Amostras</b>	<b>pH</b>
DEP 928 -325	6,00
DEP 928 -325 NMAG	6,03
DEP 929 -325	6,15
DEP 929 -325 NMAG	6,17
DEP 930 -325	6,03
DEP 930 -325 NMAG	6,08
DEP 931 -325	5,99
DEP 931 -325 NMAG	6,04
DEP 932 -325	6,12
DEP 932 -325 NMAG	6,10
DEP 933 -325	5,98
DEP 933 -325 NMAG	6,13
DEP 934 -325	6,16
DEP 934 -325 NMAG	5,99

### 3.5 Determinação da Viscosidade

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da viscosidade dinâmica das frações -325# Não Magnética das amostras de caulim. Os ensaios foram realizados no equipamento reômetro RheoStress 1 da Thermo Haake. Foi usada uma polpa com 50% de sólidos com adição dispersante de hexametáfosfato de sódio na proporção de 4 kg/t. A polpa foi agitada em agitador Hamilton Beach durante 10 minutos e posteriormente foram medidos os valores de viscosidade.

Tabela 7. Valores da viscosidade dinâmica (cP) frações -325# Não mag.

Velocidade Angular (RPM)	928 Viscosidade (cP)	929 Viscosidade (cP)	930 Viscosidade (cP)	931 Viscosidade (cP)	932 Viscosidade (cP)	933 Viscosidade (cP)	934 Viscosidade (cP)
100	4,023	4,09	4,275	4,519	4,658	3,761	4,695
79,44	3967	4,027	4,2	4,457	4,595	3,681	4,64
63,11	3927	3,981	4,158	4,419	4,537	3,636	4,591
50,13	391	3,947	4,133	4,398	4,502	3,601	4,566
39,82	39	3,938	4,123	4,408	4,476	3,581	4,551
31,63	3898	3,926	4,156	4,402	4,464	3,594	4,48
25,12	3951	3,974	4,181	4,496	4,515	3,575	4,474
19,96	3,987	4,003	4,233	4,575	4,543	3,606	4,549
15,85	4,026	4,066	4,361	4,628	4,615	3,66	4,627
12,59	4,064	4,063	ND	ND	ND	3,604	ND
10,0	4,074	4,083	ND	ND	ND	ND	ND

ND – não determinado

#### 4. CONCLUSÕES

O beneficiamento e a caracterização mineralógica das amostras de caulim indicaram que as sete amostras apresentam um comportamento muito semelhante. A classificação granulométrica a úmido em peneira de 325# (44  $\mu\text{m}$ ) seguida da separação magnética em campo de alta intensidade (14.000 Gauss), promoveu a concentração da caulinita e a diminuição do quartzo e óxidos hidróxidos de ferro.

Os resultados da classificação granulométrica indicaram que a amostra DEP 931 foi a que apresentou melhor rendimento na peneira de 325# (96,97%), já a amostra DEP 934 foi a que apresentou o menor rendimento (77,63%).

Através dos resultados das análises químicas obtidos por meio da fluorescência de raios X, observa-se que houve uma redução nos teores de  $\text{SiO}_2$  e elevação dos teores  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , indicando que a classificação granulométrica na peneira de 325# elimina parte do quartzo presente nas amostras e concentra a caulinita. A classificação granulométrica seguida da separação magnética em campo de 14.000 Gauss se mostrou efetiva na redução do teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ . Parte do ferro pode estar na estrutura da caulinita substituindo o alumínio.

O alvejamento químico com ditionito de sódio (5 kg/t) por um período de 2h, é suficiente para promover um considerado aumento no Índice de Alvura das amostras. A amostra DEP 928 –325# Alvejada foi a que apresentou menor índice de alvura (73,44% ISO), já a amostra DEP 933 foi a que apresentou maior valor (85,69% ISO).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Donagema, G, K. et al., 2011. Manual de métodos de análise de solo. 2a Edição. EMBRAPA. 230p.  
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104933/1/Manual-de-Mtodos-de-Anilise-de-Solo.pdf>
- Klein, C. & Hurlbut, C.S., 1993. Manual of Mineralogy. After J.D. Dana, 21<sup>st</sup> Edition. John Wiley & Sons. 681 p.
- Luz, A.B. e Lins, F.F. 2008. Rochas & Minerais Industriais, Usos e Aplicações. 2<sup>a</sup> Edição CETEM/MCT. 989p.
- Luz, A. B.; Sampaio, J.A. e Almeida, S.L.M. 2002. Tratamento de Minérios. 4<sup>o</sup> edição – Rio de Janeiro. CETEM/MCT. 858p.



# Reavaliação do Patrimônio Mineral

## PROJETO RIO CAPIM

No decorrer da segunda metade do século passado, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), o Serviço Geológico do Brasil (SGB), realizou diversos projetos de pesquisa e exploração mineral no país. Atualmente, a empresa detém 321 processos de direitos minerários ativos, agrupados em 30 projetos distribuídos nacionalmente.

Nesse contexto, o Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral da CPRM tem como finalidade precípua não só resgatar dados inerentes a informações geológicas, geoquímicas, geofísicas e geometalúrgicas como também reavaliar os depósitos inseridos nesses processos, validando-os e organizando-os em um sistema de banco de dados, de modo a integrá-los e reinterpretá-los à luz do conhecimento geológico atual. Esses dados, tanto quanto possível, são modelados e estimados conforme preconizado em códigos internacionais de classificação de recursos e reservas.

No âmbito da pesquisa mineral nacional, a região nordeste paraense é conhecida por seus depósitos minerais formados em circunstâncias especiais, associadas, principalmente, a condições parcialmente estáveis, incrementadas por intemperismo e ação de efeitos supergênicos. Nesse cenário, o Distrito Caulínico do Rio Capim, situado no município de Ipixuna e distante 270 km da capital (Belém), é um dos mais importantes da Amazônia, com as maiores reservas de caulim de alta brancura do país.

As áreas do Projeto Rio Capim constituem dois conjuntos de cinco requerimentos de pesquisa denominados Bloco Sul e Bloco Norte, totalizando 10 áreas de 1.000 ha cada uma. Na região, foram perfurados, na década de 1970, diversos poços de pesquisa e executados furos de sondagem pela CPRM.

A modelagem geológica e a estimativa de recursos do depósito de caulim consideraram dois tipos de minério, diferenciados, basicamente, pelo conteúdo de areia. Dessa forma, o minério caulínico foi individualizado em Camada de Caulim Macio (CCM), caracterizado por baixo conteúdo de areia, e Camada de Caulim Arenoso (CCA), em que a quantidade de areia é mais significativa.

O atual projeto de reavaliação apresenta o total de recursos estimados de 520 milhões de toneladas de caulim, com índice de alvura média de 80% e relação estéril/minério média menor que 3. Espera-se que este relatório, que contém todos os dados e informações do referido projeto, possa servir como catalizador de novos investimentos, fomentando oportunidades e incentivando a indústria mineral do país.

### Sede

Setor Bancário Norte - SBN - Quadra 02, Asa Norte  
Bloco H - 5º andar - Edifício Central Brasília  
Brasília – DF - CEP: 70040-904  
Tel: 61 2108-8400

### Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca  
Rio de Janeiro – RJ Cep: 22290-255  
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382

### Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

Tel: 21 2546-0212 - 61 3223-1166

### Departamento de Geologia

Tel: 91 3182-1326

### Departamento de Recursos Minerais

Tel: 21 2295-4992

### Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

Tel: 92 2126-0308

### Divisão Geologia Econômica

Tel: 61 2108-8509

### Diretoria de Infraestrutura Geocientífica

Tel: 21 2295-5837 - 61 3223-1059

### Superintendência Regional de Porto Alegre

Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa  
Porto Alegre - RS - CEP: 90840-030  
Tel.: 51 3406-7300

### Assessoria de Comunicação

Tel: 61 2108-8468

E-mail: [asscomdf@cprm.gov.br](mailto:asscomdf@cprm.gov.br)

### Divisão de Marketing e Divulgação

Tel: 31 3878-0372

E-mail: [marketing@cprm.gov.br](mailto:marketing@cprm.gov.br)

### Ouvidoria

Tel: 21 2295-4697

E-mail: [ouvidoria@cprm.gov.br](mailto:ouvidoria@cprm.gov.br)

### Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Tel: 21 2295-5997

E-mail: [seus@cprm.gov.br](mailto:seus@cprm.gov.br)

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)



SECRETARIA DE  
GEOLOGIA, MINERAÇÃO  
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

