SAGA CONSULTORIA

Preparado pela Saga Consultoria para:

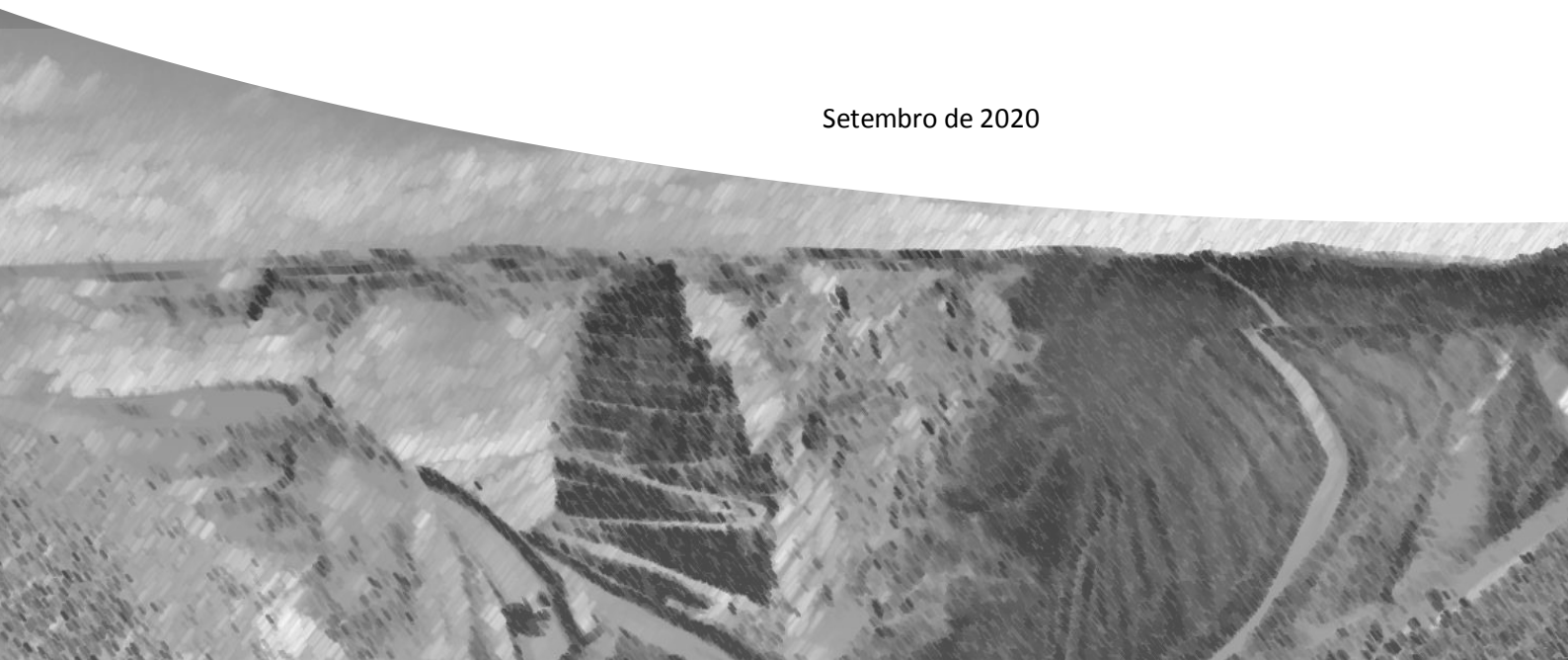
CPRM - Serviço Geológico do Brasil

Relatório Final – Avaliação econômica do Projeto Rio Capim

Substância: Caulim

Município: Ipixuna (PA)

Setembro de 2020



Autores:	Luiz Gabriel O. Lima	Engenheiro de Minas	CREA/MG: 164784-D
	Rubens José Mendonça	Engenheiro de Minas	CREA/MG: 25791-D
	Saulo Liberato Michel Santos	Engenheiro de Minas	CREA/MG: 167451-D
	Salomão Evelin	Engenheiro de Minas	CREA/MG: 67539-D
	Walter Riehl	Geólogo	CREA/DF:9157-D

Data:	19/10/2020
Projeto:	Caulim do Rio Capim - PA
Versão:	Inicial
Diretório:	
Data Impressão:	19/10/2020

Cópias:	CPRM	01
	Saga Consultoria	01

Saulo Liberato Michel Santos
Autor

Rubens José Mendonça
Revisor

Sumário

1 Sumário Executivo 11
2 Introdução 19
2.1 Data efetiva do Relatório 19
2.2 Equipe do Projeto 20
2.3 Fonte das informações 20
3 Status legal das áreas da CPRM junto à ANM; 22
4 Análise crítica do Relatório de modelagem e estimativa de recursos 25
4.1 Modelamento geológico 25
4.2 Garantia e controle das análises - QAQC 25
4.3 Densidade aparente 25
4.4 Geotecnia 26
4.5 Estimativa de recursos 26
5 Análise de Mercado 26
5.1 Análise da Cadeia de Valor do Caulim 27
5.2 Dinâmica de Mercado 28
5.3 Aplicações do Caulim 29
5.4 O Mercado de Papel 30
5.5 Análise de Movimento Regional 31
5.6 América do Norte 31
5.7 Análise Competitiva do Mercado de Caulim 32
5.8 Consumo de Caulim no Brasil 32
5.9 Aplicações nobres do Caulim 32
5.10 Preços 33
6 Definição dos principais aspectos técnicos do Projeto 34
6.1 Geologia Regional 34
6.2 Geologia Local 35
6.3 Estimativa de Recurso 36
6.3.1 Classificação dos Recursos 37
6.3.2 Parametrização do Recurso 38

6.3.3 Validação dos Recursos Minerais 40
6.4 Reservas 42
6.5 Planejamento de Lavra 43
6.5.1 Método de Lavra 43
6.5.2 Parâmetros e Critérios do Projeto 44
6.5.3 Função benefício e inventário mineral 47
6.5.4 Escala de Produção 52
6.5.5 Sequenciamento de Lavra 52
6.5.6 Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Lavra 79
6.6 Caracterização tecnológica e estudos de processo 80
6.6.1 Classificação granulométrica 80
6.6.2 Separação magnética 80
6.6.3 Alvejamento 81
6.6.4 Viscosidade e pH 83
6.7 Beneficiamento 84
6.7.1 Descrição do Beneficiamento 87
6.7.2 Mineroduto 92
6.7.3 Balanço de massa 95
6.7.4 Estimativa de CAPEX 100
6.7.5 OPEX do Beneficiamento 104
6.7.6 OPEX Mineroduto 110
6.7.7 Deposição de rejeitos 111
6.7.8 Ensacamento 112
6.7.9 OPEX - BENEFICIAMENTO 112
7 Programa mínimo de pesquisa geológica 113
7.1 Introdução 113
7.2 Topografia 113
7.3 Adensamento da malha de sondagem 113
7.4 Análises químicas e testes de qualidade do minério 119

7.5 Cronograma 119
7.6 Custos 119
7.7 Relatório 119
8 Análise Econômico-Financeira Do Projeto 120
8.1 Estratégia de Aproveitamento do Depósito de Caulim 120
8.2 Escala de Produção, *Ramp-up* e Regime de Operação 120
8.3 Produtos e Preços de Venda 120
8.4 Cronograma de Implantação 121
8.5 Fluxos de Caixa e Resultados Econômicos 121
8.6 Indicadores Econômicos 125
8.7 Análise de Sensibilidade 125
9 Alternativas de Negócio 129
9.1 Modelo 01: Concessão para complementação de pesquisa e opção de arrendamento (*Royalties*) 130
9.1.1 Características principais do modelo proposto 131
9.1.2 Critérios a serem observados na seleção da(s) empresa(s) parceira(s) 132
9.1.3 *Cases* e referências 133
9.2 Modelo 02: Concessão para complementação de pesquisa com opção de venda direta do ativo mineral. 135
9.2.1 Características principais do modelo proposto 136
9.2.2 Critérios a serem observados na seleção da(s) empresa(s) parceira (s) 137
9.2.3 *Cases* e referências 137
9.3 Modelo 03: Venda direta do ativo mineral 137
9.3.1 Características principais do modelo proposto 138
9.4 Modelo 04: Concessão para complementação de pesquisa e criação de *Joint Venture* para operação do projeto 138
9.4.1 Características principais do modelo proposto 139
9.4.2 Critérios a serem observados na seleção da(s) empresa(s) parceira (s) 139
9.4.3 *Cases* e referências 140
9.5 Modelo 05: Partilha do ativo 140

9.5.1 Características principais do modelo proposto 141
9.6 Discussões e conclusões 141
10 Análise dos Aspectos Socioambientais e sua influência na economicidade e viabilidade do Projeto144
10.1 Introdução 144
10.2 Contexto Socioambiental 144
10.3 Unidades de Conservação 145
10.4 Áreas de Preservação Permanente 145
10.5 Áreas de Regularização Fundiária (Assentamentos) 145
10.6 Áreas Indígenas e Quilombolas 147
11 Conclusões e Recomendações 149
12 Referências bibliográficas 153
Anexo I – Orçamento preliminar de pesquisa mineral complementar 155
Anexo II – Mapa com sugestão de locação de sondagem 157

Lista de Figuras

Figura 1.1: Participação das receitas de Produção de Caulim no mundo 12
Figura 1.2: Material Lavrado no estudo de sequenciamento 15
Figura 3.1: Direitos Minerários 24
Figura 5.1: Evolução do mercado mundial de Caulim (2016 – 2027) 29
Figura 5.2: Aplicações do Caulim 30
Figura 5.3: Participação das receitas de Produção de Caulim no mundo 31
Figura 6.1: Litoestratigrafia 35
Figura 6.2: Estratigrafia 36
Figura 6.3: Diagrama de Classificação de Reserva 43
Figura 6.4: Curva de Nível 46
Figura 6.5: Inventário Mineral 50
Figura 6.6: Inventário Mineral – Bloco Norte 51
Figura 6.7: Inventário Mineral – REM 54
Figura 6.8: Ano 01 55

Figura 6.9: Ano 02 56
Figura 6.10: Ano 03 57
Figura 6.11: Ano 04 58
Figura 6.12: Ano 05 59
Figura 6.13: Ano 06 60
Figura 6.14: Ano 07 61
Figura 6.15: Ano 08 62
Figura 6.16: Ano 09 63
Figura 6.17: Ano 10 64
Figura 6.18: Ano 11 65
Figura 6.19: Ano 12 66
Figura 6.20: Ano 13 67
Figura 6.21: Ano 14 68
Figura 6.22: Ano 15 69
Figura 6.23: Ano 16 70
Figura 6.24: Ano 17 71
Figura 6.25: Ano 18 72
Figura 6.26: Ano 19 73
Figura 6.27: Ano 20 74
Figura 6.28: Massa lavrada (Minério) x REM 78
Figura 6.29: Massa lavrada (Minério) x Alvura 79
Figura 6.30: Testes de alvejamento CETEM 82
Figura 6.31: Alvura crua do ROM em relação a alvura crua da fração (-44 um) em amostras de furos de sondagem 83
Figura 6.32: Fluxograma simplificado do circuito de beneficiamento 86
Figura 6.33: Alimentação do *blunger* 87
Figura 6.34: Centrifugação 88
Figura 6.35: Separador magnético criogênico 89
Figura 6.36: Diagrama simplificado das etapas de beneficiamento do estudo conceitual 92

Figura 6.37: Rota ilustrativa do mineroduto 94
Figura 7.1 – Áreas de Detalhamento 114
Figura 7.2 – Malha de sondagem proposta 116
Figura 7.3 – Malha de sondagem – Bloco Sul 118
Figura 8.1: Análise de sensibilidade - Gráfico Aranha 127
Figura 8.2: *Tornado analisys* 128
Figura 9.1 – Vanádio de Maracás 134
Figura 9.2 – Ouro de Santaluz 135
Figura 9.3: Diagrama resumindo os modelos de negócio elencados 142
Figura 10.1: Uso e ocupação do solo 147
Figura 10.2: Áreas protegidas próximas as áreas da CPRM 148

Lista de Tabelas

Tabela 1.1: Cubagem modelo CPRM 13
Tabela 1.2: Inventário Mineral 14
Tabela 1.3: Resultado Geral (ano 01 a 20) 15
Tabela 1.4: Opex Usina 16
Tabela 1.5: Indicadores Econômicos 18
Tabela 1.6: Cenário hipotético de venda direta. 18
Tabela 2.1: Equipe técnica do Projeto 20
Tabela 2.2: Projetos Similares 22
Tabela 3.1: Sumário dos aspectos legais das áreas pertencentes à CPRM no depósito de Rio Capim 23
Tabela 6.1: Cubagem CPRM 37
Tabela 6.2: Parametrização de recursos por espessura da camada total de caulim 38
Tabela 6.3: Cubagem SAGA Modelo REM 40
Tabela 6.4: Cubagem SAGA Modelo Estimate 40
Tabela 6.5: Variação Percentual da Cubagem REM 41

Tabela 6.6: Variação Percentual da Cubagem Estimate 42
Tabela 6.7: Parâmetros de Otimização 48
Tabela 6.8: Inventário Mineral 49
Tabela 6.9: Resultado Geral (ano 01 a 20) 75
Tabela 6.10: Resultado Por Ano 75
Tabela 6.11: Testes de separação magnética 81
Tabela 6.12: Resumo dos resultados testes alvejamento CETEM 82
Tabela 6.13: Resumo dos resultados testes alvejamento CETEM 83
Tabela 6.14: Especificações de mercado 84
Tabela 6.15: Dados básicos da usina de beneficiamento 85
Tabela 6.16: Dados básicos do Mineroduto. 93
Tabela 6.17: Premissas da recuperação em massa 94
Tabela 6.18: Dados de recuperações de outros projetos de caulim. 95
Tabela 6.19: Balanço de Massas 96
Tabela 6.20: Balanço de Massas (cont.) 97
Tabela 6.21: Balanço de Massas (cont.) 98
Tabela 6.22: Balanço de Massas (cont.) 99
Tabela 6.23: Lista de equipamentos de processo e estimativa de preços da usina 100
Tabela 6.24: Estimativa de Capex do mineroduto 101
Tabela 6.25: Comparativo dos índices de investimento para o mineroduto 101
Tabela 6.26: Capex total da usina e infraestrutura complementar 103
Tabela 6.27: Comparação dos índices de investimento 104
Tabela 6.28: Mão de Obra Usina 105
Tabela 6.29: Mão de obra G&A 106
Tabela 6.30: Despesas G&A 107
Tabela 6.31: Reagentes 108
Tabela 6.32: Energia 109
Tabela 6.33: Consumo Combustível 109
Tabela 6.34: Custos Combustível 110

Tabela 6.35: Custos com Energia 110
Tabela 6.36: Reagentes (Mineroduto) 111
Tabela 6.37: Mão de obra (Mineroduto) 111
Tabela 6.38: Custo operacional de manutenção 111
Tabela 6.39: Custo operacional do mineroduto 111
Tabela 6.40: Custo operacional de deposição de rejeitos 112
Tabela 6.41: Custo Ensacamento 112
Tabela 6.42: Operacional total 113
Tabela 7.1: Resumo - Sondagem 119
Tabela 8.1: Fluxo de Caixa 123
Tabela 8.2: Indicadores Econômicos 125
Tabela 9.1: Cenário hipotético de venda direta. 136

1 Sumário Executivo

O presente Relatório Técnico Independente apresenta o estudo realizado pela Saga Consultoria para a avaliação econômica de depósito mineral de Caulim na região do Rio Capim, município de Ipixuna – PA, da CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Os estudos foram elaborados de acordo com as melhores práticas internacionais de avaliação econômica de depósitos minerais.

O Relatório aborda a revisão das informações técnicas da pesquisa exploratória realizada pela CPRM e apresenta uma análise econômica para o aproveitamento dos bens minerais da área e sua valoração. Para a avaliação econômica do Projeto Rio Capim foi elaborado um Projeto Conceitual de explotação dos bens minerais, conforme será detalhado no Capítulo 6.

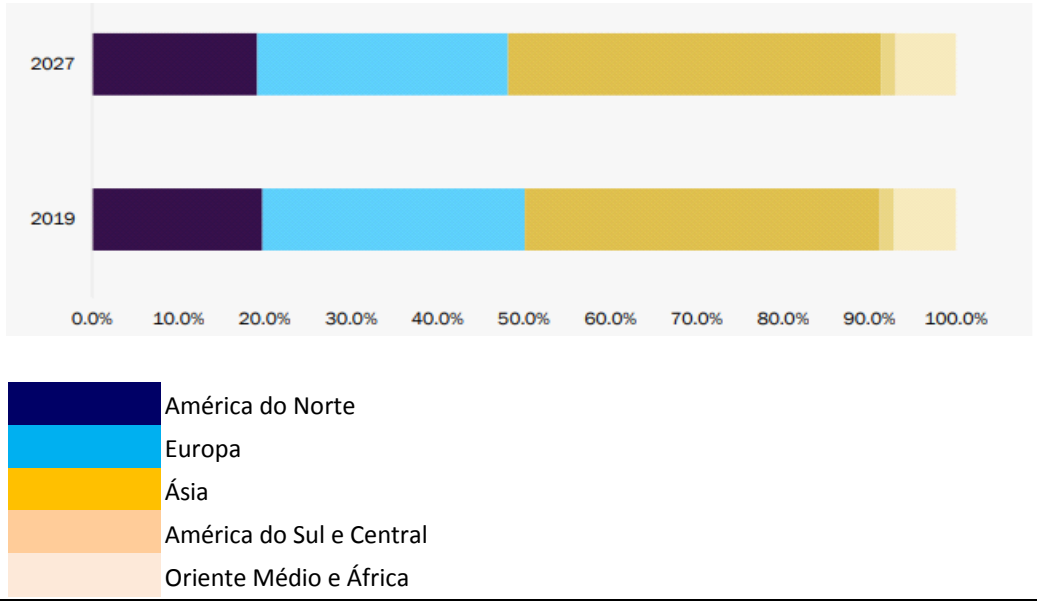
No total a CPRM possui 10 direitos minerais. O conjunto das poligonais da ANM são divididas em duas regiões. Cinco processos ao norte, denominado Bloco Norte e cinco ao sul, Bloco Sul.

Conforme apresentado no Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral - Projeto Rio Capim (2018) desenvolvido pela CPRM, a estruturação do depósito é de baixa complexidade, com camadas horizontais de grande continuidade. O trabalho de estimativa de recurso foi desenvolvido pela equipe técnica da CPRM, com utilização do método IQD.

A análise de mercado realizada mostrou que o segmento de papel tem sido o maior segmento consumidor de Caulim, responsável por uma participação na receita de 37,7% em 2019, devido ao aumento do uso de papel na indústria de embalagens. Os principais participantes globais da indústria de caulim incluem BASF SE, Sibelco NV e Imerys SA.

A região do Pacífico, na Ásia, detém a maior participação na receita em 2019, devido à alta penetração da aplicação nas indústrias de papel e tintas na região.

Figura 1.1: Participação das receitas de Produção de Caulim no mundo



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

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

A Formação Ipixuna, portadora de camadas mineralizadas, é caracterizada por arenitos médios a finos, moderadamente selecionados, caulinizados, muito desferrificados, com intercalação de argilitos cauliníticos.

A zona mineralizada no depósito Rio Capim pode ser dividida em dois horizontes:

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

De acordo com o relatório desenvolvido pela CPRM, o modelo de blocos foi obtido através das camadas dos sólidos de caulim gerados durante a modelagem geológica. Desta forma, com a cubagem do modelo pode-se obter os recursos pertinentes a cada região. A CPRM utilizou o *software* Strata 3D para a construção do modelo.

A Saga realizou a verificação e validação do modelo de blocos recebido da CPRM. A Tabela 1.1 apresenta as cubagens por blocos.

Tabela 1.1: Cubagem modelo CPRM

Bloco	Tipo de minério	Classificação	Volume (m^3)	Densidade (g/cm^3)	Tonelagem Bruta	Índice de Alvura média (%)	Espessura Média minério (m)	REM-Recuperação de Lavra
Norte	CCM	Inferido	214 027 875	1.55	331 743 206	80.81	11.84	3.41
	CCA	Inferido	147 646 587	1.64	242 140 403	81.12	4.49	3.48
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	361 674 462	1.59	573 883 609	80.94	8.74	3.4
Sul	CCM	Inferido	4 995 768	1.55	7 743 441	76.6	2.27	1.55
	CCA	Inferido	128 367 677	1.64	210 522 991	76.62	7.23	1.29
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	133 363 445	1.64	218 266 431	76.62	7.05	1.3
Recurso Inferido Total			495 037 907	1.6	792 150 040	79.73	8.27	2.84

Conforme apresentado no Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral Projeto Rio Capim – Caulim, devido à baixa confiabilidade dos trabalhos de pesquisa desenvolvidos todo o recurso foi classificado como inferido.

Desse modo, considerando os códigos internacionais, não há a qualificação de reservas prováveis ou provadas no presente estudo. O material aproveitado no plano de lavra é denominado Inventário Mineral e seu resultado é apresentado na Tabela 1.2.

O inventário mineral é o resultado da combinação dos blocos cujo somatório do valor da função benefício seja maior que zero e que tenha alvura maior ou igual a 84.0%, considerando os parâmetros econômicos a serem descritos.

Tabela 1.2: Inventário Mineral				
Classe de Material	**Volume (m³)**	**Massa (t)**	**Alvura**	**REM**
Bloco Norte				
Estéril	-	**58 343 486**	**-**	**-**
Minério	**23 132 741**	**36 735 014**	**85.01**	**1.78**
CCA	9 769 615	15 613 489	84.81	1.77
CCM1	13 363 126	21 121 525	85.16	1.78
Bloco Sul				
-	**-**	**-**	**-**	**-**
Total Geral	**23 132 741**	**95 078 500**	**85.01**	**1.78**

No Brasil as principais empresas que operam minas de caulim utilizam o método *Strip mining* e realizam a extração do minério e estéril através do desmonte mecânico, devido à baixa resistência das rochas. Devido as similaridades entre as características geológicas do depósito Rio Capim com outros depósitos de Caulim da região, tanto o método de lavra quanto o tipo de desmonte serão os mesmos utilizados nessas minas.

O estudo de sequenciamento foi realizado considerando os parâmetros estabelecidos de produtos e procurando atingir menores REM (Relação Estéril-Minério) no início da lavra, o que maximiza os resultados financeiros do projeto.

Os parâmetros considerados foram:

- Método: Lavra em tiras;
- Produção de 1.36Mt de ROM;
- Recuperação na lavra: 100%;
- Recuperação na planta: 55.15%
- 20 anos de lavra;

Figura 1.2: Material Lavrado no estudo de sequenciamento

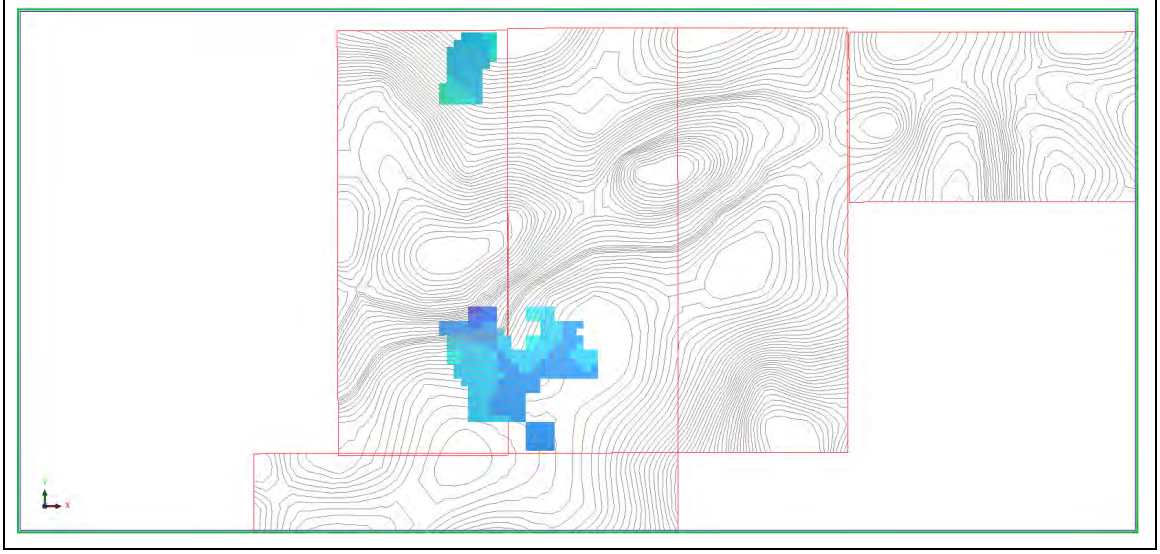


Tabela 1.3: Resultado Geral (ano 01 a 20)

Rótulos de Linha	Volume (m³)	Massa (t)	Alvura	REM
Estéril		**43 797 491**	-	-
Minério	**17 424 336**	**27 584 616**	**85.11**	**1.54**
CCA	6 409 962	10 194 634	84.97	1.41
CCM1	11 014 374	17 389 982	85.20	1.62
Total Geral	**17 424 336**	**71 382 107**	**85.11**	**1.54**

Os estudos de caracterização tecnológica e processo conduzidos pela CPRM, nessa fase da avaliação do depósito de caulim, foram consolidados nos relatórios: “Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Caulim CPRM”, do centro de Tecnologia Mineral do CETEM de 2017; “Testes de Beneficiamento (ensaios Preliminares), da empresa Paulo Abib e Associados S.C. de 1973; “Dados dos ensaios tecnológicos das características e propriedades do caulim”, apresentados no relatório final de pesquisa da CPRM de 1972.

O comportamento da alvura crua do ROM em relação a alvura da fração fina, após os processos de desareamento, separação magnética e alvejamento, apresentaram bons resultados. Acredita-se que estes resultados podem ser melhorados quando os testes de alvura forem realizados com o produto menor que 2 micrômetros e introduzidas algumas otimizações no processo, como por exemplo, o aumento do tempo de alvejamento de 2 para 3 horas, ou ajustes na dosagem de reagentes.

Neste estudo conceitual, para o processamento do caulim da CPRM é proposto o circuito de beneficiamento, conforme apresentado no fluxograma simplificado no capítulo 6.7. Estabeleceu-se como premissa um "CASO BASE" com uma produção de 750.000 tpa de caulim, sendo 80% caulim tipo *coating* e 20% de caulim tipo *filler*. As premissas **recuperação** e **disponibilidade** foram adotadas baseadas numa análise dos dados de outras plantas similares e considerando a análise das características deste caulim, disponibilizadas nos relatórios de testes de caracterização tecnológica.

As operações de beneficiamento serão realizadas próximo à mina e os produtos beneficiados serão transportados, via mineroduto, para Barcarena, onde se dará a secagem de parte dos produtos, que estarão serão disponibilizados para comercialização, na forma seca (a granel ou em *big-bags*) ou na forma de polpa.

O custo operacional total do beneficiamento é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 1.4: Opex Usina

Discriminação	US$/ano	US$/t produto
OPEX - Usina	**39.991.218**	**53,32**
Mão obra usina	4.879.966	6,51
Mão obra G&A	1.713.238	2,28
Despesas G&A	474.902	0,63
Reagentes	9.921.150	13,23
Energia	3.847.435	5,13
Manutenção	4.395.883	5,86
Combustíveis	10.177.703	13,57
Mineroduto	4.119.900	5,49
Manuseio rejeitos	362.792	0,48
Ensacamento bags	98250	0,13

Os custos operacionais estimados do Projeto são, resumidamente:

- Mina: R$ 14,00/t de minério ou estéril, correspondente a um valor médio de R$ 48,30/t de produto;
- Planta de Beneficiamento: R$ 282,60/t de produto;
- Recuperação Ambiental: R$ 2,00/t de produto;
- Carregamtno de Produtos no Porto: R$ 4,70/t de produto;
- Estocagem e Embarque no Porto: R$ 12,00/t de produto;
- Vendas: R$ 8,00/t de produto;
- Geral e Administrativo: R$ 3,00/t de produto;
- Outros: R$ 10,00/t de produto;

- Total: R$ 370,60/t de produto.

O investimentos a serem realizados para o início da operação do Projeto Rio Capim são, resumidamente:

- Equipamentos de Mina: Nenhum (operação terceirizada);
- Custos Diretos da Planta de Beneficiamento: R$ 680 milhões;
- Custos Indiretos da Planta de Beneficiamento: R$ 293 milhões;
- Mineroduto (Custos Diretos e Indiretos): R$ 600 milhões;
- Infraestrutura da Área da Mina, Instalações do Porto e Outros: R$ 376 milhões;
- Fechamento de Mina: R$ 120 milhões (último ano de operação do projeto);
- Capital de Giro: R$ 80 milhões.
- Contingências: já incluída.

Conforme descrito no Capítulo 7, como pesquisa complementar propõe-se um planejamento para o adensamento da malha de sondagem/poços visando cobrir toda a área do projeto, nos blocos Norte e Sul e suprir deficiências já detectadas em relatório CPRM/2018 fornecido, qual seja, intersecção completa do perfil intempérico mineralizado de modo a determinar a base do horizonte Caulim Arenoso.

A análise econômica do Projeto Rio Capim teve como base o fluxo de caixa descontado, com análise do VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno) e período de recuperação do capital.

Para a produção de 750 mil toneladas anuais de produto, o projeto produzirá cerca de 1,4 milhões de toneladas de minério *run-of-mine*, totalizando 27,6 milhões de toneladas em 20 anos.

Dois produtos foram considerados para o projeto Rio Capim: produto *coating* (denominado produto A na planilha de fluxo de caixa) e produto *filling* (produto B).

Os seguintes dados e parâmetros foram adotados para a elaboração do fluxo de caixa do projeto:

- Produção Anual Produtos Finais: 750 mil t/ano de produtos finais;
- Número de Anos de Produção: 20
- Relação Estéril/Minério Anual: variável, com uma média de 1,59 t/t;
- Movimentação Anual da Mina: variável, como resultado do planejamento sequencial de lavra;
- Recuperações de Produtos na Planta: 55,15%;

A Tabela 1.5 apresenta os resultados da análise econômica.

Tabela 1.5: Indicadores Econômicos			
Taxa de Desconto	*% ao ano*	8	
VPL Após Impostos (ano -2)		*R$ milhões*	***760.88***
Taxa Interna de Retorno		*%*	***12.5***
Período de Retorno do Capital		*Anos*	***6.4***

Os resultados do fluxo de caixa demonstraram a viabilidade econômica do Projeto. A análise da TIR, no entanto, evidencia que os resultados financeiros obtidos são bastante ajustados, se comparados com outros projetos mineiros. Tal fato deve-se aos expressivos investimentos demandados, principalmente para a construção da Planta de beneficiamento e Mineroduto.

Considerando uma TIR de 12,0%, taxa mínima de atratividade observada em projetos similares, o investimento na aquisição do ativo seria da ordem de R$ 67,3 Milhões, valor inferior ao que poderia ser obtido em *royalties* descontados pela estatal ao longo dos 20 anos analisados (considerando valores médios praticados em acordos de arrendamento). Reforça-se, portanto, a análise de que o ativo se encontra em fase extremamente incipiente para uma eventual venda direta, o que poderia provocar a *subvaloração* e redução de ganhos futuros. Assim, conforme é discutido no Capítulo 9, a abordagem ideal de parceria público-privada que remuneraria a CPRM em situações de ganhos extraordinários passa, necessariamente, por acordos que envolvam o pagamento de *Royalties*.

A Tabela 1.6 apresenta este cenário hipotético de venda direta.

Tabela 1.6: Cenário hipotético de venda direta.						
			Ano -2	Ano -1	Ano 0	∑ (Ano -2 à Ano 20)
Venda direta		*R$ milhões*	67.28			67.28
						0.00
Total (R$ milhões)			**67.28**	**0.00**	**0.00**	**67.28**
Fluxo de Caixa (R$ milhões)			**-652.28**	**-585.00**	**-859.00**	**4 088.72**
Fluxo de Caixa Acumulado			**-652.28**	**-585.00**	**-1 511.28**	
Taxa de Desconto (% ao ano)	8					
VPL Após Impostos (ano -2)	*R$ milhões*	***693.60***				
Taxa Interna de Retorno	*%*	***12.0***				

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

2 Introdução

A CPRM -Serviço Geológico do Brasil (CPRM) solicitou à Saga Consultoria e Serviços de Engenharia Ltda (SAGA) a confecção de um Relatório Técnico Independente, contemplando estudos mercadológicos e avaliação econômica de depósito mineral de Caulim na região do Rio Capim, município de Ipixuna - PA.

O presente Relatório Técnico, confeccionado SAGA, trata, portanto, da revisão das informações técnicas da pesquisa exploratória realizada pela CPRM e apresenta uma análise econômica para o aproveitamento dos bens minerais da área e sua valoração.

Os estudos foram elaborados de acordo com as melhores práticas internacionais de avaliação econômica de depósitos minerais, mais especificamente, conforme as diretrizes do CIMVAL (*Code for the Valuation of Mineral Properties*), produzido pelo Comitê para avaliação de depósitos minerais do CIMM (*Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*). Todavia, o presente Relatório Técnico Independente não tem caráter público e as informações a serem apresentadas são de propriedade das empresas contratantes.

O presente relatório não possui caráter auditorial, ou seja, não representa um estudo de *Due Dilligence* comumente executado em transações de direitos minerários.

Para a avaliação econômica do Projeto Rio Capim, foi elaborado um Projeto Conceitual de explotação dos bens minerais, conforme será detalhado no Capítulo 6.

A SAGA declara que os resultados apresentados neste relatório têm por base informações fornecidas pela CPRM. As opiniões apresentadas ao longo do relatório constituem resposta à solicitação da CPRM. Embora a SAGA tenha comparado os principais dados fornecidos com os valores esperados, a precisão dos resultados e conclusões da análise dependem inteiramente da precisão e integridade das informações fornecidas. Assim, a SAGA não se responsabiliza por erros ou omissões nas informações fornecidas pela CPRM que não poderiam ser detectados pela SAGA ao longo do desenvolvimento de seus estudos.

As opiniões apresentadas neste relatório se aplicam às condições e características do local, da forma como existiam no momento da avaliação da SAGA, assim como aquelas que forem previsíveis pela consultoria. Estas opiniões não se aplicam necessariamente às condições e características que podem surgir após a data deste relatório, sobre as quais a SAGA não possuía conhecimento prévio, nem tendo, portanto, a oportunidade de avaliar.

2.1 Data efetiva do Relatório

A data efetiva de entrega do presente relatório é 19 de outubro de 2020.

2.2 Equipe do Projeto

Os seguintes profissionais da Saga Consultoria e seus consultores associados participaram da confecção do presente estudo:

Tabela 2.1: Equipe técnica do Projeto

Profissional	Título	Atuação	Organizações de Classe
Carolina Pinheiro	Geóloga	Geologia	CREA/MG: 86110-D
Luiz Gabriel O. Lima	Engenheiro de Minas	Engenharia e Reservas	CREA/MG: 164784-D
Rubens José Mendonça	Engenheiro de Minas	Avaliação Econômica	CREA/MG: 25791-D
Salomão Evelin	Engenheiro de Minas	Processos e beneficiamento	CREA/MG: 67539-D
Saulo Liberato Michel Santos	Engenheiro de Minas	Avaliação Econômica	CREA/MG: 167451-D
Walter Riehl	Geólogo	Geologia	CREA/DF:9157-D

2.3 Fonte das informações

Este relatório foi baseado nos estudos dos dados e relatórios fornecidos pela CPRM à Saga Consultoria. A empresa revisou e verificou todos os dados repassados, referentes à pesquisa geológica e a estimativa de recurso. O seguinte trabalho de compilação realizado pela CPRM foi entregue à Saga:

- Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral - Projeto Rio Capim (2018);

Além disso, foi entregue também à Saga uma série de relatórios antigos do Projeto, a saber:

- Relatório Único de Pesquisa de Caulim na Região do Rio Capim, Estado do Pará (1973);
- Relatório Final de Pesquisa de Caulim no município de São Domingos do Capim – Estado do Pará (1972);

- Avaliação Econômica da Jazida de Caulim do Rio Capim (1974);
- Projeto Rio Capim – Pará – Adendo ao Relatório Final (1973);
- *Kaolin exploration in the Capim River region state of Pará* (2000).

A Tabela 2.2 abaixo apresenta os principais Projetos similares ao Projeto de Avaliação Econômica do Caulim do Rio Capim e que são fontes de informações para os estudos de avaliação de viabilidade econômica a ser realizado pela Saga.

Tabela 2.2: Projetos Similares				
Nome da Mina	**Empresa**	**Localização**	**Lavra**	**Substância**
Imerys Rio Capim - IRCC	Imerys	Ipixuna - PA	Céu aberto	Caulim
Mina Morro do Felipe	Caulim da Amazônia - CADAM	Morro do Felipe - AP	Céu aberto	Caulim
Pará Pigmentos - PPSA	Imerys	Ipixuna - PA	Céu aberto	Caulim
Projeto Mina do Sapo (Mineroduto)	AngloAmerican	Conceição do Mato Dentro – MG	Céu-aberto	Minério de Ferrro
Monte Pascoal	Mineradora de Caulim Monte Pascoal	Prado - BA	Céu aberto	Caulim
Caolim Azzi	Caolim Azzi Ltda	Mar de Espanha - MG	Céu aberto	Caulim
Bovill Kaolin Project	I-Minerals Inc.	Idaho - EUA	Céu aberto	Caulim
Caulim/Kalamazon	Kalamazon E.G Ltda	Manaus -AM	Céu Aberto	Caulim

3 Status legal das áreas da CPRM junto à ANM;

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

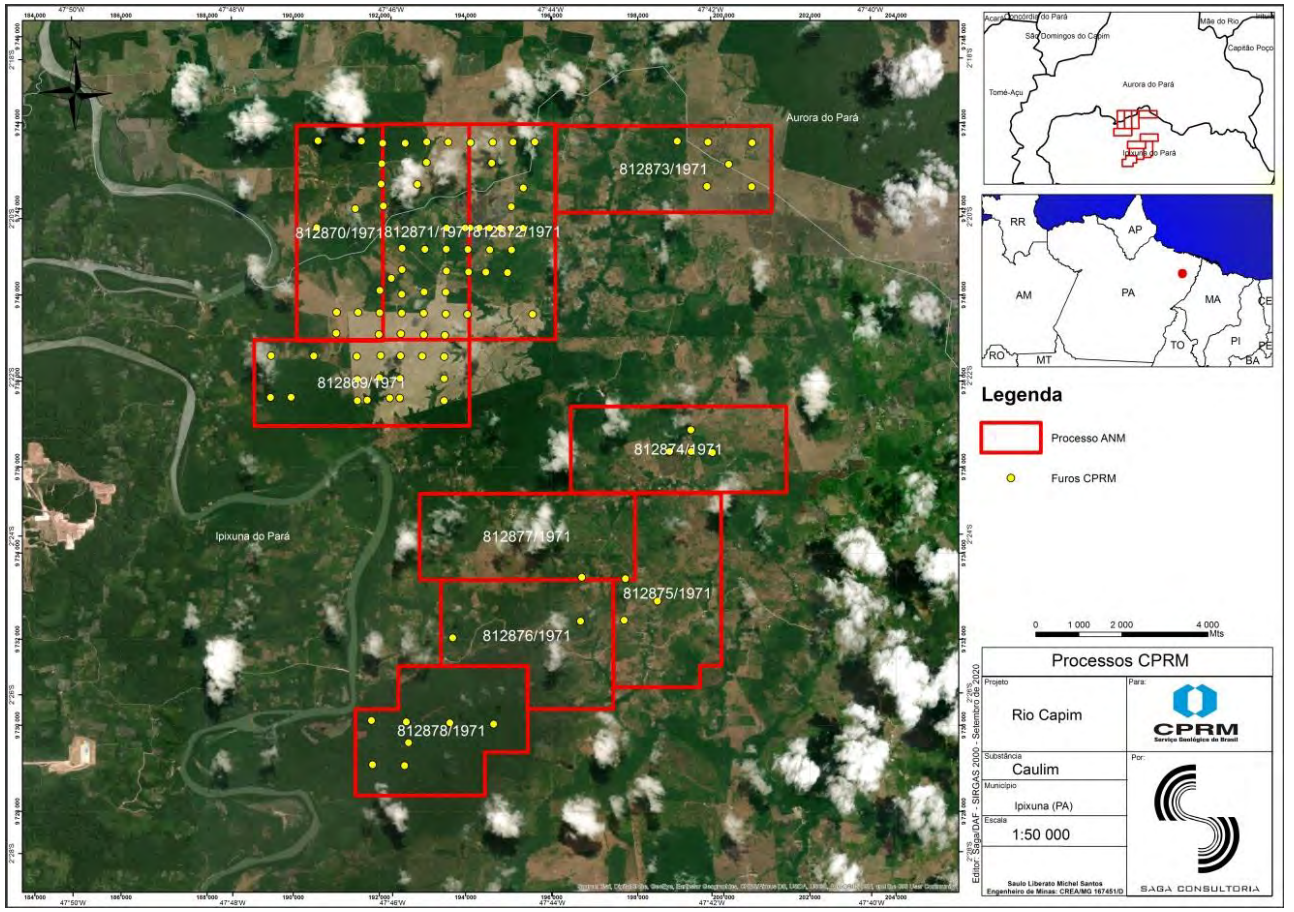
Todas as áreas tiveram seus relatórios finais de pesquisa aprovados pela ANM, havendo apenas algumas movimentações posteriores, no caso do processo 812.869/1971, que não afetam o direito de prioridade e/ou a integridade dos direitos sobre o caulim no depósito. Foi realizada a consulta destes eventos e informações no cadastro mineiro no *site* da ANM, obtendo-se os resultados apresentados no sumário a seguir.

Tabela 3.1: Sumário dos aspectos legais das áreas pertencentes à CPRM no depósito de Rio Capim

Processo	Ano	Área (ha)	Município	Substância	Último Evento
812.869	1971	1000	Ipixuna Do Pará	Caulim	199-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.870	1971	1000	São Domingos Do Capim	Caulim	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.871	1971	1000	São Domingos Do Capim	Caulim	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.872	1971	1000	São Domingos Do Capim	Caulim	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.873	1971	1000	São Domingos Do Capim	Caulim	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.874	1971	1000	São Domingos Do Capim	Argila Refratária	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.875	1971	1000	São Domingos Do Capim	Argila Refratária	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.876	1971	1000	São Domingos Do Capim	Argila Refratária	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.877	1971	1000	São Domingos Do Capim	Argila Refratária	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974
812.878	1971	1000	São Domingos Do Capim	Argila Refratária	299-Aut Pesq/Rel Pesq Aprov Publ em 25.01.1974

A seguir, na Figura 3.1, apresenta uma visão geral dos processos, mostrando a disposição e poligonais da CPRM.

Figura 3.1: Direitos Minerários



4 Análise crítica do Relatório de modelagem e estimativa de recursos

4.1 Modelamento geológico

A estruturação do depósito é de baixa complexidade, com camadas horizontais de grande continuidade. O modelamento através de superfícies mostra-se bastante satisfatório e incorpora o consolidado conhecimento estratigráfico da região. Sugere-se a integração dos dados de geofísica obtidos (eletrorresistividade) aos próximos modelamentos, assim como estudos para aplicação de outros métodos geofísicos, como o GPR (*Ground Penetrating Radar*).

A utilização de métodos de modelamento implícito (por exemplo, LeapfrogGeo) pode ser recomendada para o depósito.

4.2 Garantia e controle das análises - QAQC

Sugere-se a adoção de procedimento da garantia e controle da qualidade das amostras analisadas, com inserção de padrões, brancos e duplicatas conforme as melhores práticas estabelecidas pelo mercado. Embora oneroso, tal procedimento agregará valor ao empreendimento dadas as exigências cada vez mais severas em negociações de ativos minerários. Amostras de controle, neste contexto, são estimadas em cerca de 20% do total de amostras originais geradas.

4.3 Densidade aparente

Os valores de densidade aparente seca, apenas para a zona mineralizada, foram aqueles adotados pela Imerys Rio Capim Caulim S.A.:

- Caulim Macio = 1.55g/cm^3
- Caulim Arenoso = 1.64g/cm^3

Estes valores mostram-se adequados e aderentes ao único valor de densidade aparente úmida relatado no volume 1 do "Relatório Único de Pesquisa de Caulim na Região do Rio Capim – Estado do Pará – 1973", equivalente a 2.0 g/cm^3. Descontada a umidade *in situ* de cerca de 20% (Vide item "Testes de Beneficiamento" do relatório 2018), obtém-se, aproximadamente, os valores assumidos da Imerys.

Recomenda-se a execução de ampla campanha de determinação de densidade e umidade in situ, diferenciando intervalos sazonais de chuvas e seca, em toda a área do empreendimento e em todo o perfil a ser lavrado (estéril e minério). A opção pela investigação através de poços permitirá a realização de testes em cada horizonte interceptado, favorecendo a construção de um modelo de densidade e, portanto, uma estimativa de recursos mais confiável. Sugere-se, para esse caso, a adoção do **método do gabarito** (cavidade com preenchimento de água).

É possível ainda obter a densidade aparente durante a execução de poços, determinando a massa extraída em determinado volume escavado.

Nota: Baumann e Keller (1975) atribuem a caulins de origem sedimentar uma média de densidade aparente seca de 1.45 g/cm^3.

4.4 Geotecnia

A Saga sugere, para trabalhos futuros, a inserção de dados geotécnicos obtidos das escavações de poços e descrições de testemunhos.

Sugere-se que os testemunhos sejam descritos utilizando os critérios geotécnicos. Deverão ser analisados os parâmetros geotécnicos relacionados ao maciço rochoso, tais como grau de alteração (GA), grau de consistência (GC), grau de fraturamento (GF) e RQD (*Rock Quality Designation*), além dos parâmetros relativos às descontinuidades, como espaçamento (ES), abertura (AP), rugosidade (RU) e tipo de preenchimento (TP). Um modelo geotécnico preliminar poderá ser obtido a partir de tais informações.

4.5 Estimativa de recursos

A Saga não realizou estimativa de recursos independente, valendo-se tão somente do modelo de blocos fornecido pela CPRM.

Trabalhos adicionais de sondagem e escavação de poços permitirão o adensamento e regularização de informações para aplicação de krigagem ordinária na estimativa dos recursos.

5 Análise de Mercado

O segmento de papel tem sido o maior segmento consumidor de Caulim, responsável por uma participação na receita de 37,7% em 2019, devido ao aumento do uso de papel na indústria de embalagens. O caulim melhora a aparência, dando ao papel um nível variado de brilho, maciez, opacidade e capacidade de impressão. O uso de papel aumentou quatro vezes nos últimos 50 anos, e, a aplicação global de papel atingiu 400 milhões de toneladas em 2014, pela primeira vez na história.

A China é um grande consumidor de papel e aplicações relacionadas e consome mais de 50% do papel em todo o mundo.

A demanda por caulim é impulsionada também pela indústria de construção, na qual cerâmicas e tintas e revestimentos são amplamente utilizadas. O segmento de cerâmica deverá ter um crescimento da ordem de 4,5% em termos de volume durante os próximos anos. A necessidade crescente de moradias, juntamente com vários esquemas e subsídios do governo, devem

impulsionar o setor de construção, o que, por sua vez, provavelmente aumentará a demanda por caulim.

No entanto, o surgimento do coronavírus interrompeu o crescimento da indústria do Caulim. Uma vez que a demanda do setor de construção está intimamente relacionada à aplicação de cerâmica, o bloqueio imposto pela maioria das nações ao redor do mundo desacelerou a aplicação em quase 3,2% no primeiro trimestre de 2020. Internamente, no entanto, a queda dos juros e o aumento da disponibilidade de crédito imobiliário aliados à incentivos à economia e à recente reabertura das cidades brasileiras provocou um crescimento da atividade de construção no país. Segundo dados do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), os investimentos em construção civil avançaram 3,2% em agosto de 2020, quando comparado ao mês anterior. Trata-se da quarta alta seguida do índice que obteve o maior patamar desde agosto de 2016.

Com relação aos principais participantes globais da indústria de Caulim, pode-se citar:

- LB MINERALS Ltd;
- BASF SE;
- Sibelco N.V.;
- KaMin LLC;
- Thiele Kaolin Company;
- Imerys S.A.;
- I-Minerals, Inc.;
- Quarzwerke GmbH;
- Maoming Xingli Kaolin Co., Ltd.;
- Guangdong Highsun Yongye Group Co., Ltd.;

A maior parte dos *players* do mercado tem aumentado os preços do caulim para garantir a sustentabilidade dos negócios no longo prazo. Recentemente, esses *players* anunciaram aumento de preços de 3% a 5% em 2019 para diferentes aplicações, nas quais o papel era a aplicação chave.

O mercado global de caulim pode ser segmentado com base em dois parâmetros, incluindo aplicação e região. Com base na aplicação, o mercado é segmentado em papel, cerâmica, tintas e revestimentos, fibra de vidro, plástico, borracha, produtos farmacêuticos e médicos, cosméticos e outros. Com base na região; América do Norte, Europa, Ásia-Pacífico, América Central e do Sul e Oriente Médio e África.

5.1 Análise da Cadeia de Valor do Caulim

O consumo mundial de Caulim foi estimado em 29,0 Mt em 2019 de acordo com as estatísticas da consultoria de mercado *Grand View Research*. Os EUA dominaram o consumo de Caulim em

2019, com um volume de 5,5 Mt, sendo seguido pela Alemanha e Índia com uma aplicação de 4,3 e 4,1 Mt, respectivamente.

A maioria das empresas que se dedicam à fabricação do produto está integrada em vários estágios da cadeia de valor. O tamanho do mercado global de Caulim é estimado em US$ 4,7 bilhões considerando dados de 2019.

5.2 Dinâmica de Mercado

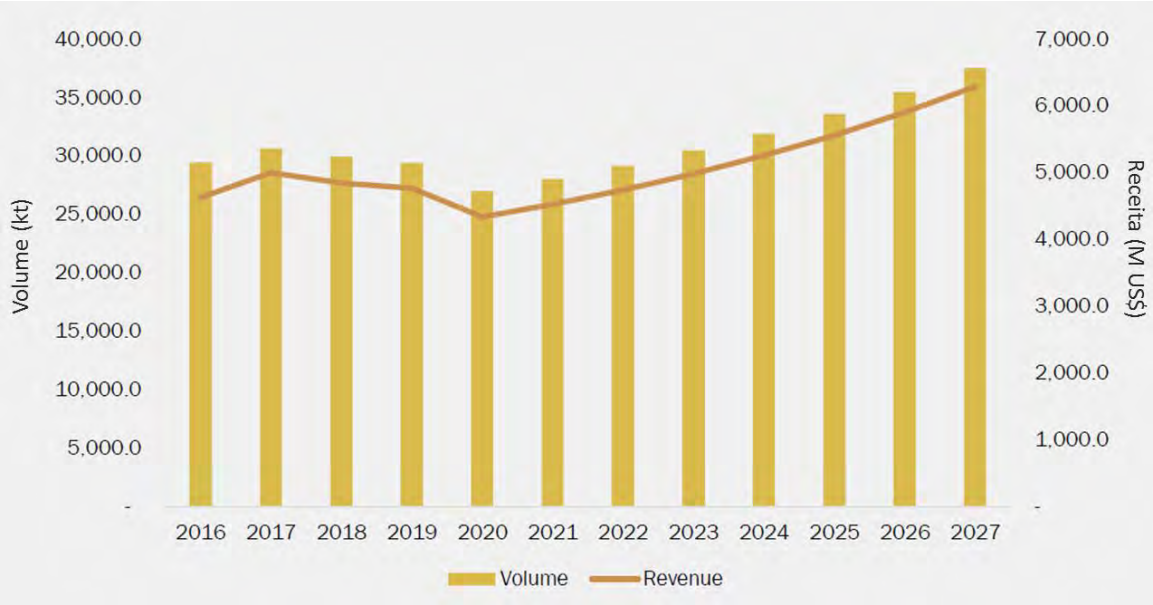
Segundo estudos da *Grand View Research,* o mercado mundial de Caulim deve crescer a uma taxa anual de 3,5% de 2020 a 2027. Desta maneira, espera-se que este mercado atinja em 2027 receitas totais da ordem de US$ 6,28 bilhões e uma demanda total da ordem de 37,5 Mt.

Este crescimento será puxado principalmente pela indústria de papel e cerâmica, mas também tintas e plástico.

O crescimento do mercado de plásticos é atribuído à crescente demanda por plásticos nas indústrias de construção e embalagens, especialmente na China, Índia e Estados Unidos. Na indústria de construção, os plásticos são usados em painéis de fachadas, revestimentos externos e carpintaria. Prevê-se que a indústria da construção apresente um crescimento acelerado devido ao foco crescente na infraestrutura industrial, que, por sua vez, provavelmente estimulará a utilização de plásticos.

Os fatores mencionados acima devem impulsionar o mercado de caulim nos próximos anos. A Figura 5.1 apresenta a compilação de resultados obtidos até 2019 e a expectativa de crescimento do mercado de Caulim, volume demandado e receitas previstas até 2027.

Figura 5.1: Evolução do mercado mundial de Caulim (2016 – 2027)



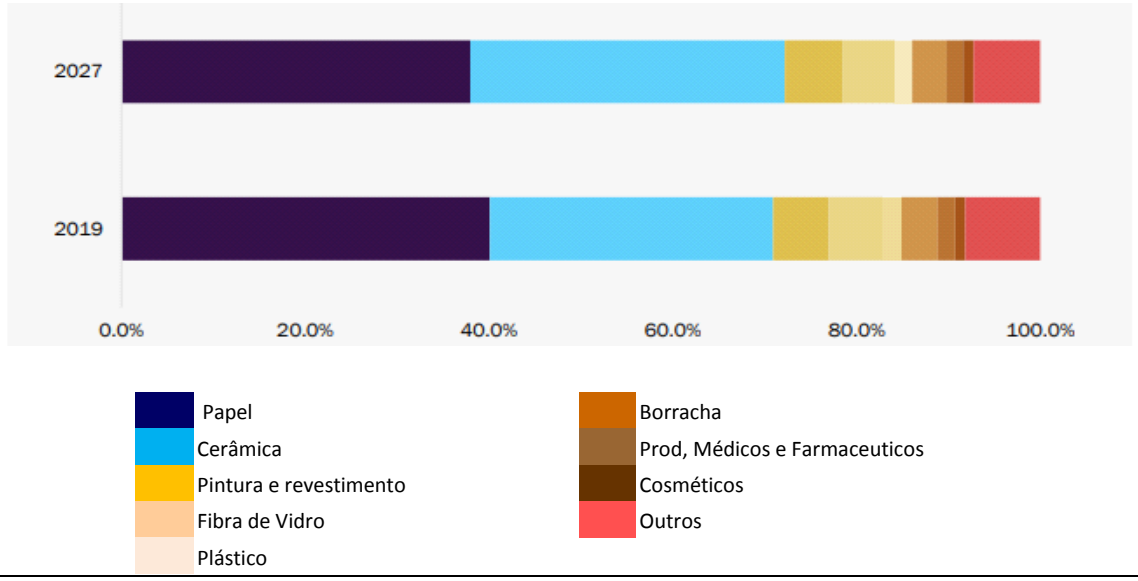
Fonte: *Grand View Research*

Na última década, fatores como compensação de custos crescentes em mineração, fabricação, gestão de qualidade, conformidade ambiental, estabilidade de negócios e aumento da demanda levaram ao aumento dos preços do Caulim.

5.3 Aplicações do Caulim

Em termos de receita, o segmento de papel representou a maior quota de mercado em 2019, enquanto a cerâmica ficou na segunda posição. O papel tem aplicações em embalagens, embrulhos, impressão e escrita, jornal e outros. De acordo com a *Pulp and Paper International*, a indústria global de embalagem e embrulhos consome 55% das aplicações de papel.

Figura 5.2: Aplicações do Caulim



5.4 O Mercado de Papel

O caulim é amplamente utilizado na indústria de papel, principalmente como carga (enchimento) e revestimento, por ser mais barato do que o enchimento de papel de madeira convencional. O Caulim é combinado na polpa de madeira para gerar substancialmente mais carga de papel, levando a maiores volumes de aplicação. Além disso, as partículas grandes de caulim desempenham um papel importante no enchimento e nos revestimentos, pois fornecem resistência adicional ao papel.

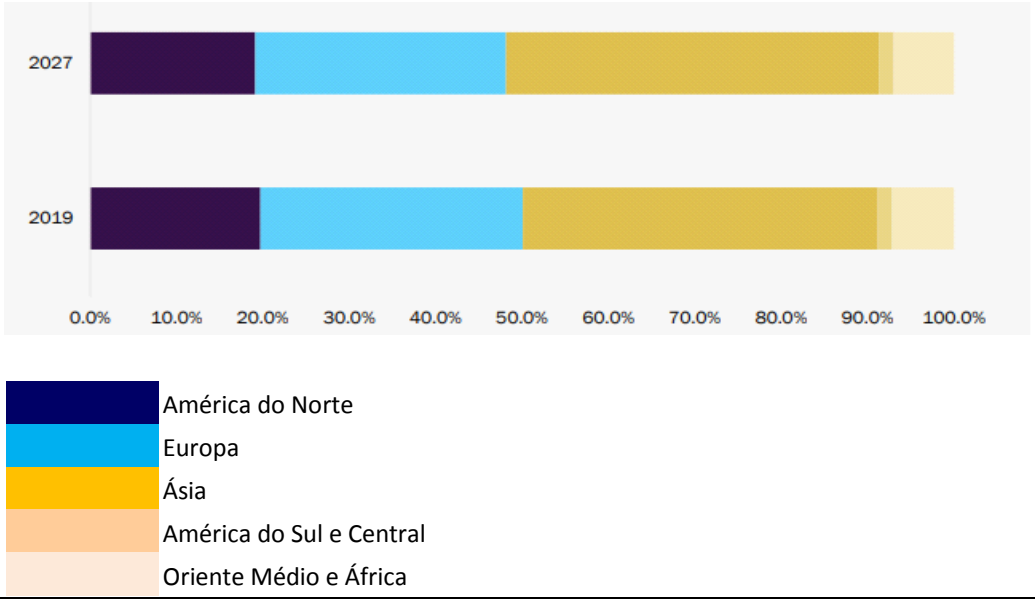
O revestimento de caulim melhora a aparência dando-lhe vários níveis de brilho, maciez, opacidade e capacidade de impressão. O mineral otimiza a capacidade de impressão do papel ao fornecer maior absorção de tinta, retenção de pigmento de tinta, menor tendência de tingimento e maior aspereza. Assim, os fatores mencionados contribuem para sua grande participação no mercado de papel. No entanto, espera-se que a participação no mercado de caulim na indústria de papel diminua devido a substitutos eficientes, como carbonatos de cálcio moídos (GCC) e carbonatos de cálcio precipitado (PCC), os quais reproduzem as propriedades do Caulim a um custo menor.

A Ásia tem a maior concentração da indústria de papel. A redução no uso de caulim como enchimento e revestimentos na indústria de papel devido a substitutos mais baratos como o carbonato de cálcio representa um risco ao crescimento da demanda pelo Caulim no mundo.

5.5 Análise de Movimento Regional

A região do Pacífico, na Ásia, detém a maior participação na receita em 2019, devido à alta penetração da aplicação nas indústrias de papel e tintas na região. Além disso, espera-se que o uso crescente de caulim na indústria de cerâmica aumente o crescimento da demanda futura, devido ao rápido crescimento das indústrias de cerâmica, particularmente na China.

Figura 5.3: Participação das receitas de Produção de Caulim no mundo



5.6 América do Norte

Na América do Norte, o papel para embalagens flexíveis dos setores de alimentos e bebidas provavelmente terá um impacto positivo na indústria de papel durante os próximos anos. De acordo com a Associação Internacional de Metalizadores, Revestidores e Laminadores (AIMCAL), as embalagens de papel representaram uma parcela de volume de quase 17% das embalagens de alimentos da América do Norte em 2019. As principais empresas de alimentos e bebidas têm participado de estratégias de investimento de longo prazo na indústria de embalagens, portanto, resultando no aumento da demanda por papel, que por sua vez deverá aumentar o crescimento do mercado nos próximos anos.

Além disso, a crescente demanda do setor de construção na América do Norte provocará o aumento do mercado durante os próximos anos; espera-se que o crescimento da construção residencial e não residencial, juntamente com o uso crescente de aplicações como aditivos para tintas, tenha um impacto positivo no mercado.

De acordo com o *US Geological Survey - Mineral Commodity Summaries,* de janeiro de 2018 - a aplicação estimada de caulim nos EUA foi de 5,5 Mt em 2017, sendo que o produto contribuiu com 22,3% para a aplicação total de argila dos EUA. Os EUA exportaram 2,3 Mt de caulim, destinado principalmente para o Japão, China, México, Finlândia e Canadá.

5.7 Análise Competitiva do Mercado de Caulim

Os principais *players* globais da indústria de caulim incluem BASF SE, Sibelco NV e Imerys SA. Não há atividades de aquisição significativas de fusões e aquisições observadas nos últimos anos. Porém, a Sibelco NV e a Thiele Kaolin Company iniciaram algumas atividades de aquisição a fim de expandir seu portfólio de ativos e diversificar seus negócios. Essas atividades são projetadas para criar impacto pouco significativo no mercado global.

A maioria das empresas experimentou inflação em diferentes aspectos do negócio, incluindo inflação em produtos químicos e custos de frete. Projeta-se que o aumento de preços previsto para o setor possa absorver estes impactos, causando poucos reflexos na demanda mundial de Caulim, já que esse aumento foi iniciado pela maioria das pequenas, médias e grandes empresas em todo o mundo.

5.8 Consumo de Caulim no Brasil

O consumo brasileiro de caulim (baseado no conceito de consumo aparente) evoluiu de forma bastante irregular ao longo das últimas décadas.

Segundo a ANM, em 2017, o consumo aparente de caulim beneficiado apresentou uma forte recuperação se comparado com o ano anterior, registrando um valor de 136,5 mil toneladas. Isto ocorreu devido à retração das exportações brasileiras, que diminuíram 3,2% em relação a 2016. Em relação ao caulim bruto, 65,6 % é consumido por indústrias de Pisos e Revestimentos, principalmente do estado de Santa Catarina e os demais, 34,4%, pelo setor de Construção Civil em Minas Gerais. O caulim beneficiado é majoritariamente consumido pela indústria de papel e celulose, cerca de 99,7%, e 0,3% para a Cerâmica Branca. Deste caulim beneficiado, 97,6% é exportado e apenas 2,3% são consumidos pelos estados do Pará e Paraná.

5.9 Aplicações nobres do Caulim

A partir do minério de caulim existem outras tecnologias de beneficiamento mais sofisticadas que podem gerar produtos mais nobres e com alto valor no mercado. O projeto Cadoux kaolin no Oeste da Austrália, por exemplo, em fase de viabilidade final, propõe-se, a partir de uma tecnologia proprietária, processar o caulim por meio de calcinação, lixiviação ácida e vários

estágios de purificação para alcançar um produto de alumínio de altíssima pureza (4N), para utilização no mercado de baterias, lâmpadas de LED, plasma para telas de equipamentos eletrônicos e indústria aeronáutica.

No caso específico do projeto australiano, o preço do produto final (alumínio de alta pureza) pode chegar a US$ 24.000/t para um custo de produção de cerca de US$ 1.800/t. Outros produtos, como o metacaulim, a sílica reativa produzida a partir do caulim, com aplicações em refratários, cerâmicas, cimento, que também podem atingir preços mais elevados, necessitam também tecnologias diferenciadas, como por exemplo, o uso da calcinação e ou lixiviação. Os mercados de tinta e borracha também necessitam de produtos sob medida, no tocante à granulometria, alvura, viscosidade e características das partículas de caulim, para cada aplicação específica. Entretanto, o mercado destes produtos, embora possa atingir volumes consideráveis, quando considerado como um todo, é muito particularizado e segmentado, com características próprias para empresas de médio e pequeno porte.

5.10 Preços

Os valores praticados pelo Caulim têm grande variabilidade de acordo com sua aplicação. Observando-se projetos próximos similares à CPRM-Rio Capim, os produtos e a tecnologia de beneficiamento, o presente estudo conceitual teve como foco o mercado de Caulim para papel, que possui um estado da arte mais dominada.

Aplicações como na indústria de cerâmica ou tintas podem ser também consideradas em etapas posteriores para o Projeto Rio Capim, desde que a caracterização tecnológica do material seja detalhada e direcionada à tais aplicações. De toda forma, o valor agregado nas aplicações ligadas à construção civil é semelhante ao observado na indústria do papel.

Aplicações mais nobres do Caulim, conforme descrito no item 5.9, poderiam conferir ao projeto ganhos extras. Todavia, a caracterização do material para que estes ganhos sejam estimados necessitaria de um maior detalhamento.

O preço do caulim em todo o mundo permaneceu bastante estável nos últimos anos, variando de 137 dólares americanos por tonelada em 2010 a 158 dólares americanos por tonelada em 2019 (*Statista Research Department*, Fevereiro de 2020).

Alguns produtores internacionais projetam reajustes de preços do caulim entre 5 e 8% a partir de 01 de Janeiro de 2020. Este reajuste deve fazer com que o preço médio internacional alcance US$ 170/t para o produto *coating*. Para o produto *filling*, considerou-se um preço médio de aproximadamente 88% do preço do produto *coating* (US$$ 150/t).

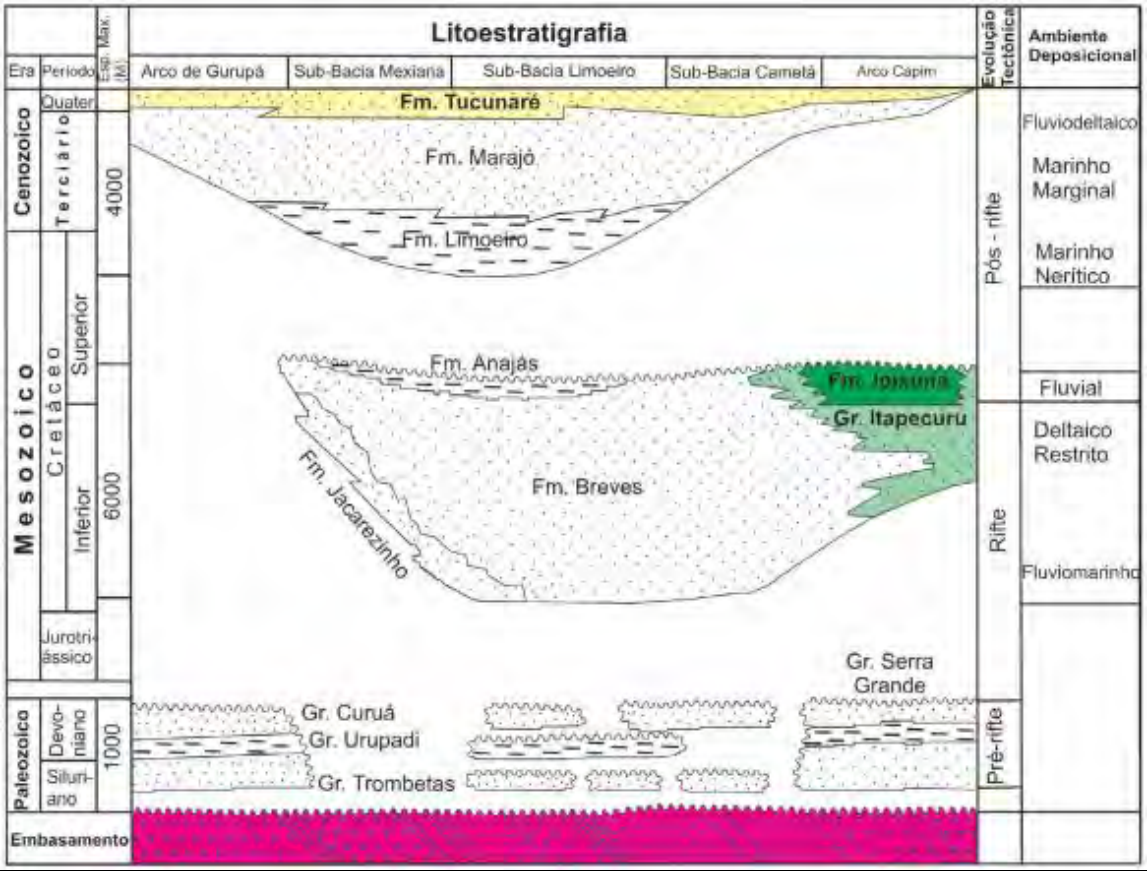
6 Definição dos principais aspectos técnicos do Projeto

6.1 Geologia Regional

Na região amazônica, três distritos principais são conhecidos pelos seus depósitos de caulim: Morro do Felipe, Manaus/Itacoatiara e Rio Capim, localizado na parte leste da Sub-Bacia Cametá e possuindo geometria alongada, com orientação NW-SE. 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 depósito Rio Capim integra o Sistema Graben do Marajó, que é constituído 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. O depósito de caulim originou-se pela ação supergênica sobre arenitos arcoseanos e pelitos oriundos de rochas graníticas da Plataforma Bragantina. Sua porção meridional experimentou alguma subsidência no Cretáceo, o que resultou na deposição das formações Ipixuna e Itapecuru. Os depósitos de caulim pertencem à Formação Ipixuna, sobreposta à Formação Itapecuru.

Figura 6.1: Litoestratigrafia



6.2 Geologia Local

A Formação Ipixuna, portadora de camadas mineralizadas, é caracterizada por arenitos médios a finos, moderadamente selecionados, caulinizados, muito desferrificados, com intercalação de argilitos cauliníticos.

A zona mineralizada no depósito Rio Capim pode ser dividida em dois horizontes: Caulim Arenoso, localizado na base do perfil intempérico e composto principalmente por quartzo e caulinita com diferentes tamanhos de grão. Camadas argilosas e arenosas se alternam, bem como estruturas plano paralelas e estratificações cruzadas podem ser observadas. Algumas camadas são enriquecidas em minerais pesados (zircão, turmalina, rutilo, estaurolita). O conteúdo de quartzo e o tamanho dos cristais de caulinita diminuem da base para o topo, onde a caulinita torna-se dominante, marcando a transição para o horizonte Caulim Macio. Os cristais de caulinita formam agregados em livro (*booklets*) bem desenvolvidos com dimensões que podem atingir 400 µm. O horizonte Caulim Macio possui cerca de 7 m de espessura, sua cor é branca com manchas avermelhadas sendo constituída por caulinita com algum quartzo minerais

acessórios como hematita e anatásio. Finas lentes de minerais pesados são encontradas na base do horizonte. A principal diferença em relação ao horizonte de caulim arenoso subjacente é o conteúdo de quartzo, que neste caso varia entre 5-20%. tipo agregados em livro e euédricos. Subindo no perfil, o horizonte Caulim Duro (*Flint Kaolin*) atinge 10m de espessura, sendo delimitado na parte superior por uma superfície de inconformidade. Sua cor varia de creme a branca com zoneamentos avermelhados devido a concentrações com fases ricas em ferro. Predomina a caulinita, sendo que hematita, goethita e anatásio aparecem em pequenas quantidades. Gibsita foi encontrada nas porções superiores, sugerindo bauxitização (baseado em Cherata 2016).

Nas áreas das minas de caulim, Grissolia (2017) propõem a seguinte estratigrafia abaixo. Como citado, a zona mineralizada é composta pelos horizontes Caulim Macio e Caulim Arenoso.

Figura 6.2: Estratigrafia

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 (*Flint Kaolin*)
Caulim Intermediário	CCI	Caulim Intermediário ou Zona de Transição
Fm. Ipixuna	CCM	Caulim Macio (*Soft Kaolin*)
	CCA	Caulim Arenoso (*Sandy Kaolin*)
	EST	Lentes de Argila vermelha
	ARE	Lentes ou níveis de areia inconsolidada

6.3 Estimativa de Recurso

A estimativa de recurso foi realizada pela CPRM e é relatada detalhadamente em seu relatório: "Relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral – Projeto Rio Capim - Pará – 2018". As informações apresentadas no presente capítulo tratam de uma síntese do trabalho feito pela CPRM.

De acordo com o relatório, o modelo de blocos foi obtido através das camadas dos sólidos de caulim gerados durante a modelagem geológica, desta forma com a cubagem do modelo pode-se obter os recursos pertinentes a cada região. A CPRM utilizou o *software* Strata 3D para a obtenção do modelo.

Estudos mostraram que os valores dos blocos que exibiram melhor ajuste aos modelos geológicos para o BN são de 170 x 170 x 0.5 m e para o BS 250 x 250 x 0.5 m (valores referentes

a x, y e z respectivamente). O fator de sub-blocagem utilizado pela CPRM para o BN é de uma vez e para o BS utilizou o mesmo fator de sub-blocagem de duas vezes.

Foi feita a aderência do volume dos modelos de blocos criados com o volume dos sólidos gerados na etapa de modelagem geológica, uma vez que é influenciada pelo fator de sub-blocagem. A diferença de volume no Bloco Sul foi superior a 5%, causada pela maior irregularidade da malha de sondagem. Também foi mencionado no relatório que na modelagem gerou alguns corpos pequenos, os quais não puderam ser preenchidos com blocos devido às dimensões do bloco utilizado.

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. Os arquivos de modelo de blocos foram estimados para cada camada de caulim em cada bloco de estudo.

6.3.1 Classificação dos Recursos

Com base no código internacional JORC (2012) e de acordo com o grau de confiabilidade (em medido, indicado e inferido), os recursos avaliados neste estudo foram classificados em sua totalidade como inferidos. As razões para tal classificação são:

- 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

Como resultado do estudo de reavaliação do depósito do Rio Capim, obteve-se o total de recursos para cada camada de caulim em cada bloco de estudo, assim como os valores médios dos principais parâmetros de qualidade.

Tabela 6.1: Cubagem CPRM

Bloco	Tipo de minério	Classificação	Volume (m^3)	Densidade (g/cm^3)	Tonelagem Bruta	Índice de Alvura média (%)	Espessura Média minério (m)	REM-Recuperação de Lavra
Norte	CCM	Inferido	214 027 875	1.55	331 743 206	80.81	11.84	3.41
	CCA	Inferido	147 646 587	1.64	242 140 403	81.12	4.49	3.48
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	361 674 462	1.59	573 883 609	80.94	8.74	3.4
Sul	CCM	Inferido	4 995 768	1.55	7 743 441	76.6	2.27	1.55
	CCA	Inferido	128 367 677	1.64	210 522 991	76.62	7.23	1.29

Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	133 363 445	1.64	218 266 431	76.62	7.05	1.3
Recurso Inferido Total			495 037 907	1.6	792 150 040	79.73	8.27	2.84

6.3.2 Parametrização do Recurso

A partir do modelo de blocos estimado realizou-se a parametrização dos recursos do depósito do Rio Capim de acordo com teor, espessura de camada de caulim e espessura de capeamento.

Teor de Alvura Crua

Considerou o parâmetro de índice de alvura média como determinante para valores de *cutoff*. A partir do valor de *cutoff* de interesse, tem-se a quantidade de minério caulinítico, como também seu teor ou índice de alvura média.

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

Tabela 6.2: Parametrização de recursos por espessura da camada total de caulim

Espessura x Tonelagem – CCM – Bloco Norte				
Chave	Espessura (m)	Minério (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	<2	129,68	81.71	
2	2 -4	419,57	80.14	
3	4 -6	105,34	80.3	
4	6 -8	6,52	80.32	
Total		**661,11**	**80.47**	
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	6.6
Total		**242.140.403**	**81.07**	**4.49**
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	376.882	80,64	8,85
6	10 -12	6.347.175	80,81	10,55
7	12 -14	140.689	81,07	12,56
Total		**573.883,609**	**87,54**	**5,24**
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	76.5	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
Total		**7.743.441**	**75.45**	**2.27**
Espessura x Tonelagem – CCA (Bloco Sul)				
Chave	Espessura (m)	Minério (Mt)	Índice de Alvura (%)	Espessura Média (m)
1	<1	770.566	76.3	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	7.6
9	8 -9	51.230.667	77.06	8.7
10	9-10	23.574.155	77.52	9.35
11	10 -11	1.297.883	77.16	10.13
Total		**210.522.991**	**76.67**	**7.23**
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	76.3	1.66
3	2 -3	7.309.262	75.8	2.69
4	3 -4	9.087.401	75.53	3.7
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	7.6
9	8 -9	51.230.667	77.06	8.7

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**

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.

6.3.3 Validação dos Recursos Minerais

A Saga realizou a verificação e validação do modelo de blocos recebido da CPRM. A Tabela 6.3 e Tabela 6.4 apresentam as cubagens realizadas por blocos para cada modelo:

Tabela 6.3: Cubagem SAGA Modelo REM

Bloco	Tipo de minério	Classificação	Volume (m³)	Densidade (g/cm^3)	Tonelagem Bruta	Índice de Alvura média (%)	REM Média
Norte	CCM	Inferido	214 027 812	1.58	338 296 165	80.65	1.02
	CCA	Inferido	147 646 485	1.6	235 587 182	80.83	1.19
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	361 674 297	1.59	573 883 347	80.72	1.09
Sul	CCM	Inferido	4 995 768	1.62	8 093 952	76.6	0.43
	CCA	Inferido	128 411 531	1.64	210 244 398	76.62	0.32
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	133 407 299	1.64	218 338 350	76.62	0.33
Recurso Inferido Total			495 081 596	1.6	792 221 697	79.59	0.88

Tabela 6.4: Cubagem SAGA Modelo Estimate

Bloco	Tipo de minério	Classificação	Volume (m³)	Densidade (g/cm^3)	Tonelagem Bruta	Índice de Alvura média (%)
Norte	CCM	Inferido	214 027 812	1.55	331 743 099	80.48
	CCA	Inferido	147 646 485	1.64	242 140 233	81.07
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	361 674 297	1.59	573 883 332	80.73

Sul	CCM	Inferido	4 995 768	1.55	7 743 440	75.45
	CCA	Inferido	128 411 531	1.64	210 594 909	76.67
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	133407299	1.64	218 338 350	76.62
Recurso Inferido Total			495 081 596	1.6	792 221 682	79.60

A Tabela 6.5 e a Tabela 6.6 apresentam a variação percentual em massa entre os recursos apresentados pela CPRM e os recursos cubados pela Saga no modelo de blocos recebido.

Tabela 6.5: Variação Percentual da Cubagem REM

Bloco	Tipo de minério	Classificação	Volume (m^3)	Densidade (g/cm^3)	Tonelagem Bruta	Índice de Alvura média (%)	REM Média
Norte	CCM	Inferido	0.00	1.94	1.98	-0.2	-
	CCA	Inferido	0.00	-2.44	-2.71	-0.36	-
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	0.00	-	0.00	-0.27	-0.91
Sul	CCM	Inferido	-	4.52	4.53	0.00	-38.26
	CCA	Inferido	0.03	-0.18	-0.13	0.00	-38.08
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	0.03	-0.18	0.03	0.00	-38.49
Recurso Inferido Total			0.01	-	0.01	-0.18	-6.44

Tabela 6.6: Variação Percentual da Cubagem Estimate						
Bloco	Tipo de minério	Classificação	Volume (m^3)	Densidade (g/cm^3)	Tonelagem Bruta	Índice de Alvura média (%)
Norte	CCM	Inferido	0.00	-	0.00	-0.41
	CCA	Inferido	0.00	-	0.00	-0.06
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	0.00	-	0.00	-0.26
Sul	CCM	Inferido	-	-	0.00	-1.50
	CCA	Inferido	0.03	-	0.03	0.06
Subtotal	CCM+ CCA	Inferido	0.03	-0.18	0.03	0.00
Recurso Inferido Total			0.01	-	0.01	-0.17

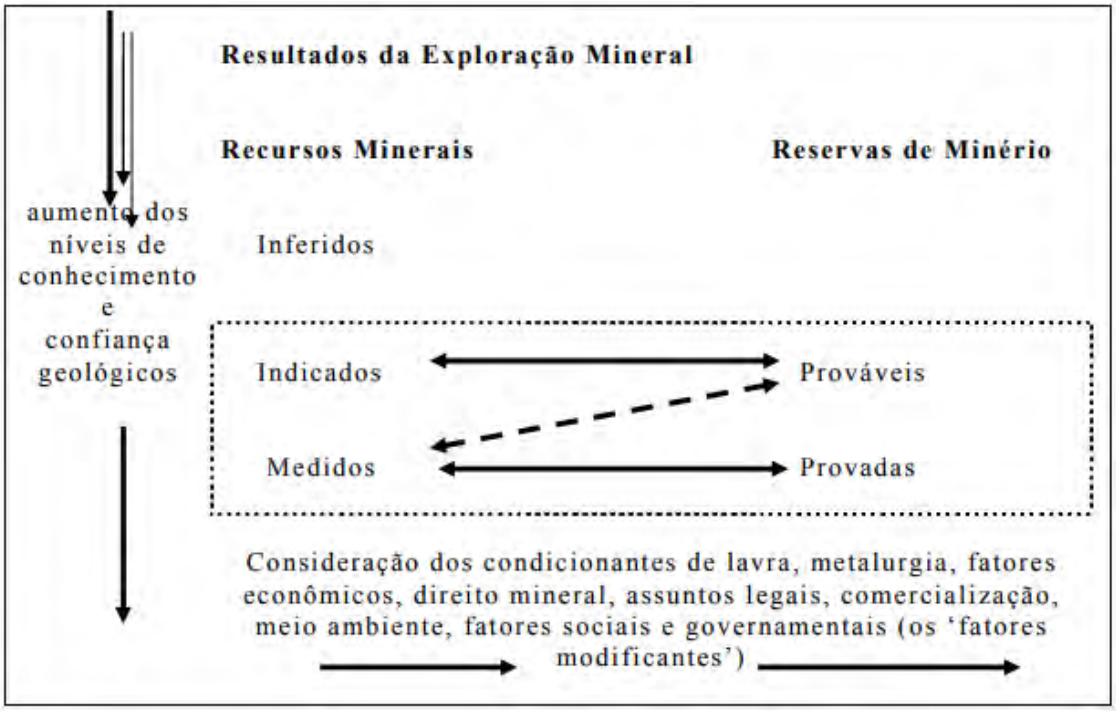
6.4 Reservas

Para a estimativa de reserva mineral é necessário que sejam considerados os diversos fatores que afetam a mineração, a saber: lavra, beneficiamento, impostos, comercialização, direitos minerais, assuntos legais, meio ambiente, fatores sociais e governamentais.

De acordo com os códigos de mineração internacionais, apenas as categorias de recursos minerais medidos e indicados são convertidas em reservas provada e provável, respectivamente.

A Figura 6.3 apresenta um diagrama de classificação de reservas adotado pelo JORC.

Figura 6.3: Diagrama de Classificação de Reserva



Fonte: Ausimm / http://www.jorc.org/docs/historical_documents/jorc_portuguese.pdf

Conforme apresentado no relatório de Reavaliação do Patrimônio Mineral Projeto Rio Capim – Caulim, devido à baixa confiabilidade dos trabalhos de pesquisa desenvolvidos, todo o recurso foi classificado como inferido.

Desse modo, considerando os códigos internacionais, não há a qualificação de reservas prováveis ou provadas no presente estudo. O material aproveitado no plano de lavra é denominado Inventário Mineral. O item 6.5.3 detalha os resultados do Inventário Mineral.

6.5 Planejamento de Lavra

6.5.1 Método de Lavra

A escolha do método de lavra deve levar em consideração diversos parâmetros fisiográficos e geológicos tais como a profundidade e atitude do corpo mineralizado, sua potência, características geotécnicas do corpo e das rochas encaixantes. A partir do método escolhido são definidos a frota a ser utilizada, o quadro de pessoal, os custos de operação de mina, dentre outras importantes variáveis para o estudo econômico.

No Brasil, devido às características geológicas encontradas nos depósitos de caulim, o método de lavra mais utilizado é a lavra em tiras.

Lavra em Tiras *(Strip mining)*

A lavra a céu aberto por tiras é utilizada principalmente em jazidas com predominância de camadas horizontais, com espessuras de minério menores em relação às grandes dimensões laterais. O método *strip mining* é caracterizado pela remoção de grandes volumes de estéril para cada tonelada de caulim produzido e envolve diversos equipamentos de escavação, transporte e carregamento. O capeamento (estéril) geralmente é transportado para áreas adjacentes já lavradas.

As dimensões típicas de uma tira lavrada variam conforme a geometria das camadas de minério e do capeamento, as características geomecânicas, a produção desejada e equipamentos dimensionados. A lavra em tiras pode ser aplicada tanto para rochas coesas, que necessitam de desmonte por explosivo, quanto para rochas friáveis ou brandas, que podem ser escavadas diretamente. De modo geral, a sequência de atividades do método são as seguintes: supressão vegetal e terraplanagem, decapeamento, lavra do minério (desmonte, carregamento e transporte), preenchimento da cava exaurida e plantio e reabilitação da área.

No Brasil as principais empresas que operam minas de caulim utilizam o método *Strip mining* e realizam a extração do minério e estéril através do desmonte mecânico, devido à baixa resistência das rochas. Devido as similaridades entre as características geológicas do depósito Rio Capim com outros depósitos de caulim da região, tanto o método de lavra quanto o tipo de desmonte serão os mesmos utilizados nessas minas.

6.5.2 Parâmetros e Critérios do Projeto

Topografia

As informações sobre a topografia utilizada no projeto foram retiradas do relatório Reavaliação do Patrimônio Mineral Projeto Rio Capim – Caulim.

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 arquivo foi criado a partir de um modelo digital de terreno (MDT) disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata). Assim, foi realizado o *download* do arquivo em formato '*.TIF', com base na articulação e Sistema Geodésico de Referência (SGB) WGS84.

Os dados disponibilizados pelo INPE são produto do Projeto Topodata, que oferece o MDT e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pelo *United States Geological Survey (USGS)* na rede mundial de computadores. A resolução espacial dos dados SRTM é de cerca de três arcos de segundo, ou aproximadamente 90 m, no sistema de Coordenadas Lat/Long e *Datum* WGS84.

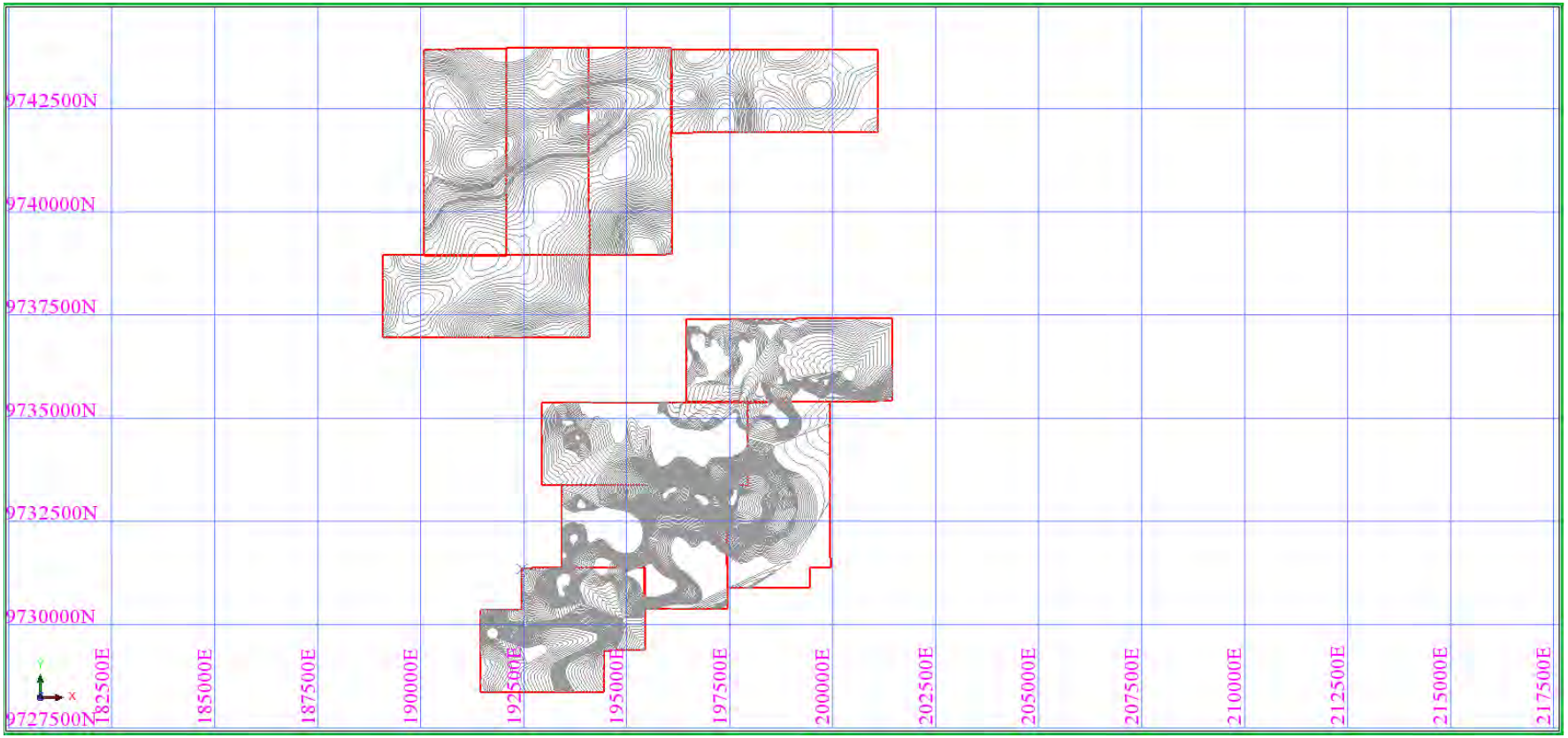
Para que o MDT ficasse compatível com o que foi observado em campo foi necessário um ajuste de cota com base no desenvolvimento de uma superfície de erro. A interpolação realizada através do Método de Mínima Curvatura (MMC) foi escolhida para a geração da superfície topográfica.

A segunda tentativa foi realizada com base na digitalização das curvas de nível encontradas nos mapas antigos. Conforme relatado, foi necessário um ajuste entre as curvas de níveis e os dados em campo. A digitalização original mantinha equidistância de 5m, mas, para essa etapa, as curvas consideradas para tal ajuste continham os intervalos equidistantes de 10 m. Para melhor adequar a curva foi necessário realizar um ajuste manual por meio da edição vetorial dessas linhas.

Com a finalização dos procedimentos, os dados foram enviados em formato *shapefile* para serem tratados em *software* em 3D.

A Figura 6.4 apresenta as curvas de níveis utilizadas no trabalho, da região norte e sul.

Figura 6.4: Curva de Nível



Densidade

Como discutido no item 4, os valores de densidade aparente, apenas para a zona mineralizada, foram aqueles adotados pela Imerys Rio Capim Caulim S.A.:

Caulim Macio = 1.55g/cm^3

Caulim Arenoso = 1.64g/cm^3

6.5.3 Função benefício e inventário mineral

Parâmetros Econômicos usados na Função benefício

A função benefício busca estimar o valor econômico de um bloco com base nos parâmetros de custos, preços, teores e qualidade dos produtos que se espera produzir. Para um bloco classificado como estéril, essa função recebe o valor do custo de extração, remoção e deposição. O bloco de minério recebe a diferença da soma de todas as receitas geradas com a venda dos produtos pela soma de todas as despesas de lavra, beneficiamento do minério e comercialização dos produtos.

Para sua definição, foram utilizadas as equações a seguir:

- Bloco de Minério: Receitas – Despesas

Onde:

Receitas: massa de minério (t) * recuperação da lavra * teor do bloco * Preço de venda do produto.

Despesas: (massa do bloco (t) * custo total de mina).

- Bloco de Estéril: massa do bloco (t) * Custo de lavra de estéril

O valor de cada bloco foi estimado utilizando-se os parâmetros geométricos e econômicos especificados no item 6.5.3

A Tabela 6.9 apresenta os dados usados na construção da Função Benefício. Importante salientar que o custo de transporte até o porto descrito na tabela não se refere ao custo do mineroduto.

Tabela 6.7: Parâmetros de Otimização		
Parâmetro	Unidade	Valor
Custos Operacionais		
Mina (Médio)	*R$/t mov*	14.00
Beneficiamento, Mineroduto e Secagem	*R$/t produto*	282.60
Recuperação Ambiental	*R$/t produto*	2.00
Carregamento de Produtos no Porto	*R$/t produto*	4.70
Estocagem e Embarque no Porto	*R$/t produto*	12.00
Vendas	*R$/t produto*	8.00
Geral e Administrativo	*R$/t produto*	3.00
Outros	*R$/t produto*	10.00

Metodologia

A otimização foi feita baseada no valor de retorno da função benefício desenvolvida, considerando a lavra das camadas de caulim maciço e arenoso. É importante ressaltar que os custos de CAPEX não foram incorporados na função benefício, apenas custos operacionais.

Cutoff

Para a definição do inventário mineral foi estabelecido um *cutoff* superior a 84 de alvura. Esse valor foi definido baseado nos estudos de testes de beneficiamento realizado pela CPRM, conforme apresentado no Reavaliação do Patrimônio Mineral Projeto Rio Capim – Caulim. Os resultados dos testes mostraram que amostras de caulim, com alvura de 84% tem o potencial para atingir as especificações de mercado (alvura de 89%) após os processos de beneficiamento.

Inventário Mineral

O inventário minério é o resultado da combinação dos blocos cujo somatório do valor da função benefício seja maior que zero e que tenha alvura maior ou igual a 84, conforme é apresentado na Tabela 6.8 e na Figura 6.5. Observa-se que o inventário mineral se restringe apenas ao bloco Norte. No bloco Sul não há ocorrência de material que se adeque às especificações exigidas.

Tabela 6.8: Inventário Mineral				
Classe de Material	**Volume (m³)**	**Massa (t)**	**Alvura (%)**	**REM**
Bloco Norte				
Estéril	-	**58 343 486**	**-**	**-**
Minério	**23 132 741**	**36 735 014**	**85.01**	**1.78**
CCA	9 769 615	15 613 489	84.81	1.77
CCM1	13 363 126	21 121 525	85.16	1.78
Bloco Sul				
-	**-**	**-**	**-**	**-**
Total Geral	**23 132 741**	**95 078 500**	**85.01**	**1.78**

Figura 6.5: Inventário Mineral

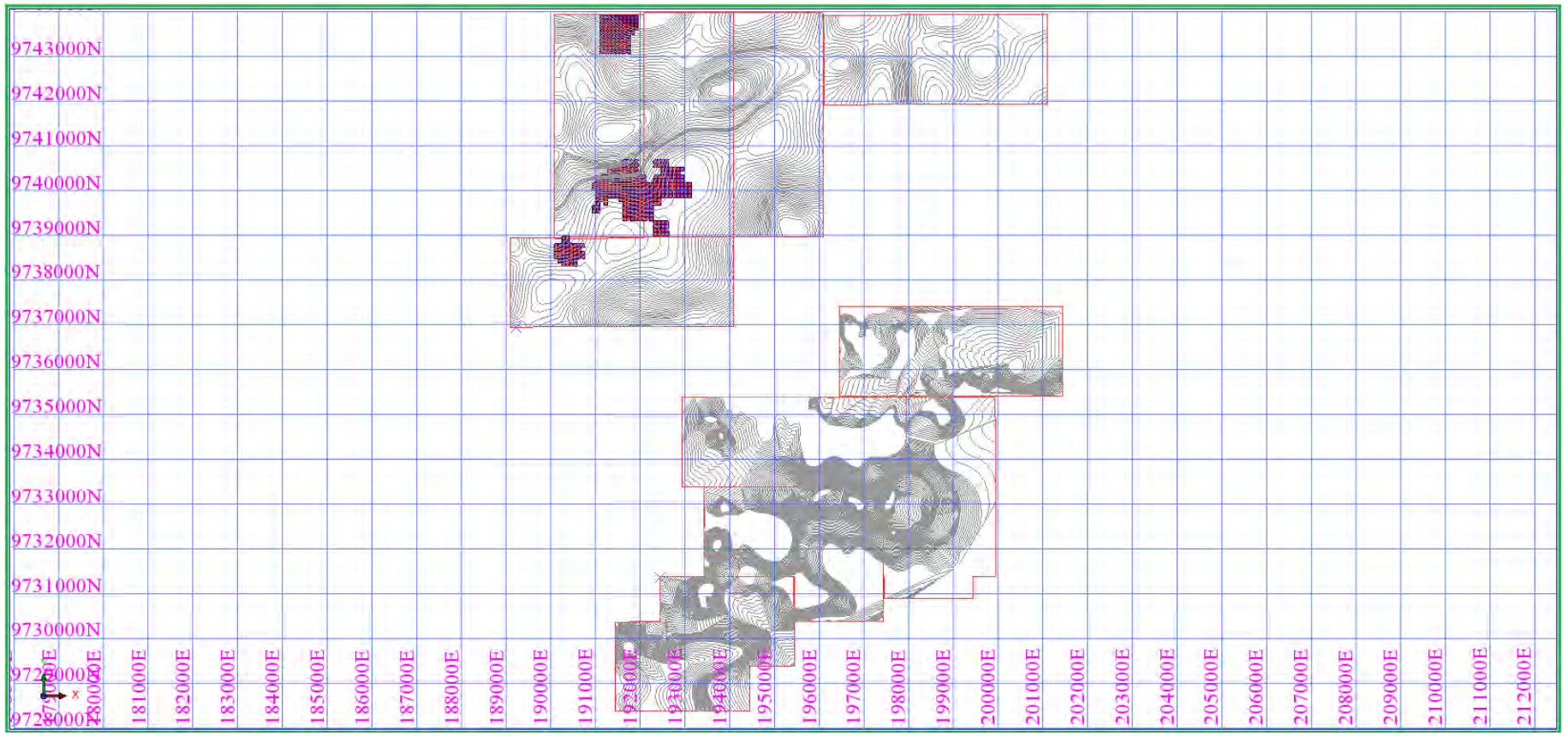
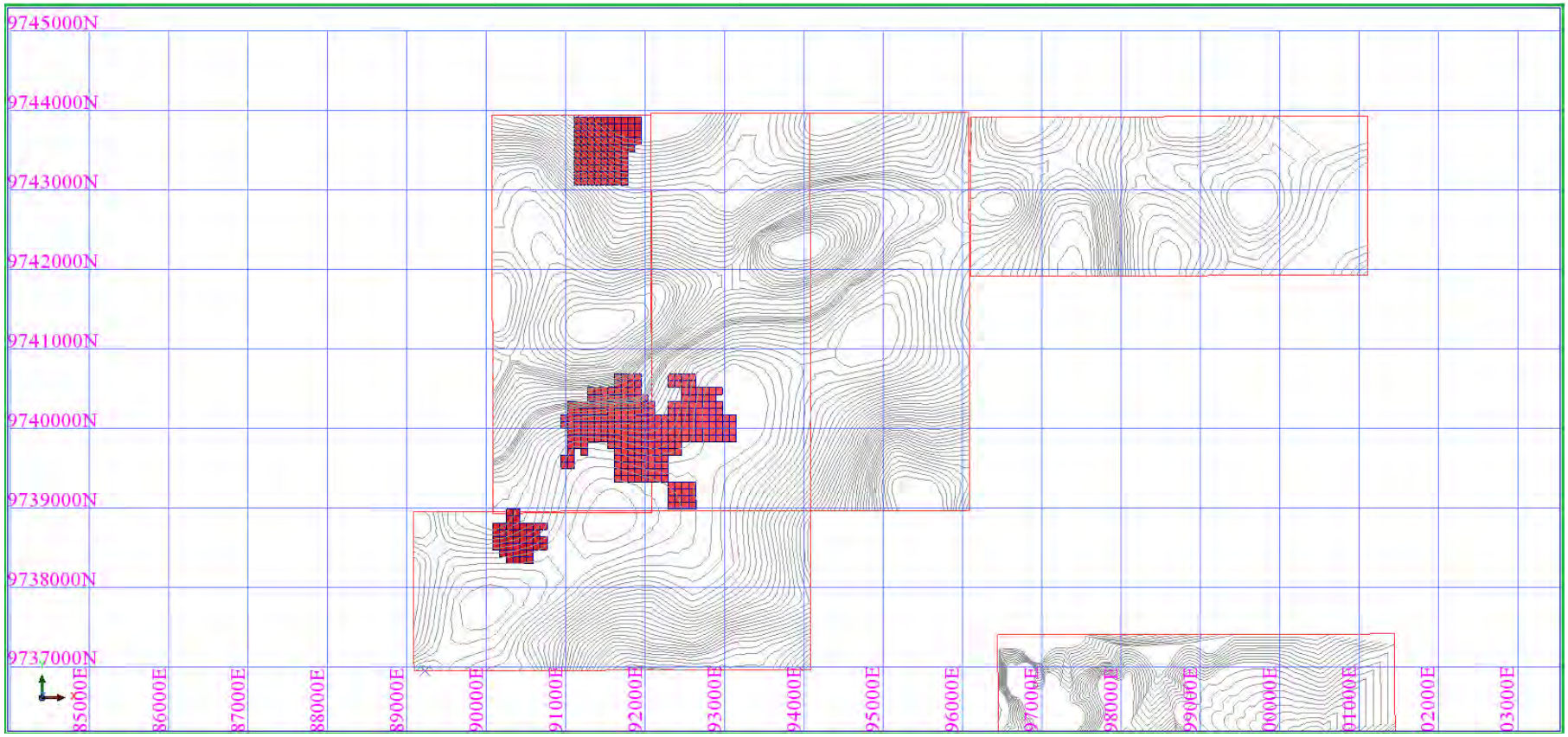


Figura 6.6: Inventário Mineral – Bloco Norte



6.5.4 Escala de Produção

A definição da escala de produção do Projeto Conceitual de aproveitamento do Caulim Rio Capim levou em consideração os seguintes aspectos:

Escala máxima:

A incerteza da capacidade de absorção do mercado foi um fator limitante de sua produção máxima. O mercado de produtos de caulim em 2019 foi de 27 milhões de toneladas e projeta-se um crescimento da ordem de 3,5% ao ano para os próximos anos. Uma produção de 750 mil toneladas por ano representa cerca de 2,8% e produções maiores necessitariam de um estudo de mercado mais detalhado, recomendado em estudos futuros do Projeto Caulim do Rio Capim.

Outro aspecto considerado para limitar a produção do projeto foi a capacidade atual do Porto de Barcarena, apenas suficiente para atender a sua demanda atual. Embora o porto tenha condições físicas que permitiriam sua expansão, ainda não existem estudos ou projetos conclusivos.

Escala mínima:

A produção de 750 mil toneladas por ano de produtos de caulim foi considerada como a mínima produção a viabilizar economicamente o projeto, principalmente pelo alto investimento inicial da planta de beneficiamento e do mineroduto. Sob a perspectiva de recursos e reservas minerais do projeto, as informações disponíveis permitiriam escalas de produção maiores.

6.5.5 Sequenciamento de Lavra

Os estudos de sequenciamento de lavra consistiram no estabelecimento dos programas de produção anual, na definição da sequência de lavra dos blocos de minério e na evolução das geometrias ao longo da vida da mina até atingir a cava (tira) final e posterior aterramento para conformação topográfica da área.

O estudo de sequenciamento foi realizado considerando os parâmetros estabelecidos de produtos e procurando atingir menores REM (Relação Estéril-Minério) no início da lavra, o que maximiza os resultados financeiros do projeto.

Os parâmetros considerados foram:

- Método: Lavra em tiras;
- Produção de 1.36 Mt de ROM;
- Recuperação na lavra: 100%;
- Recuperação na planta: 55.15%
- 20 anos de lavra;

Avaliação de REM por bloco

A primeira avaliação ao executar a sequência ótima de lavra foi o estudo da localização das menores REM no início da lavra. A mineração das regiões de menores Relação estéril-minério do início do plano de lavra provê ao fluxo de caixa melhores resultados, uma vez que adia gastos maiores com a remoção de estéril enquanto obtém-se um quantitativo estável de minério. O modelo de blocos entregue pela CPRM continha a REM de cada bloco já estimado.

Resultados

Considerando os parâmetros apresentados bem como os quantitativos de massa almejados anualmente, o sequenciamento da lavra de minério e estéril foi realizado.

Os resultados do sequenciamento são apresentados abaixo:

Figura 6.7: Inventário Mineral – REM

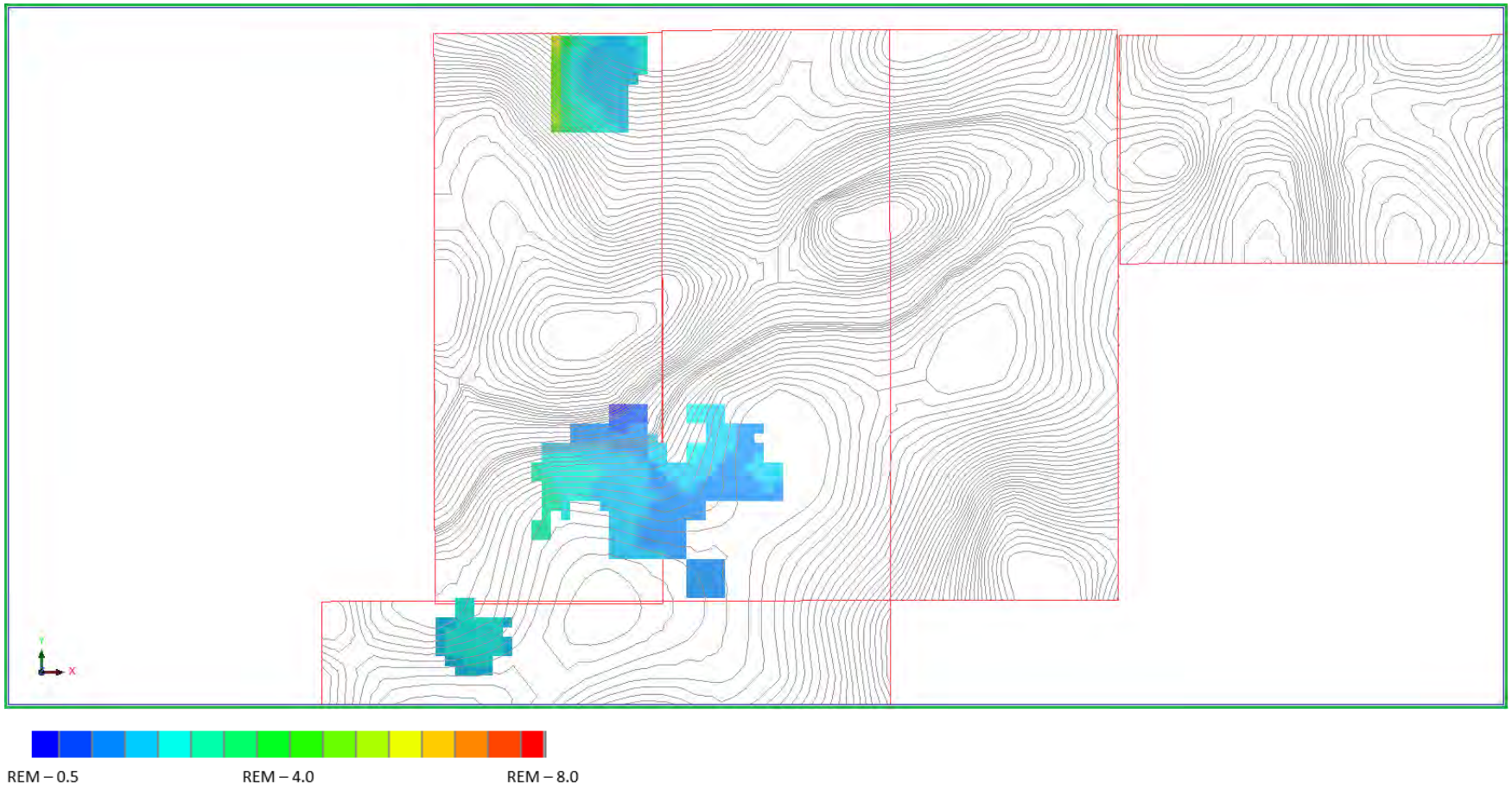


Figura 6.8: Ano 01

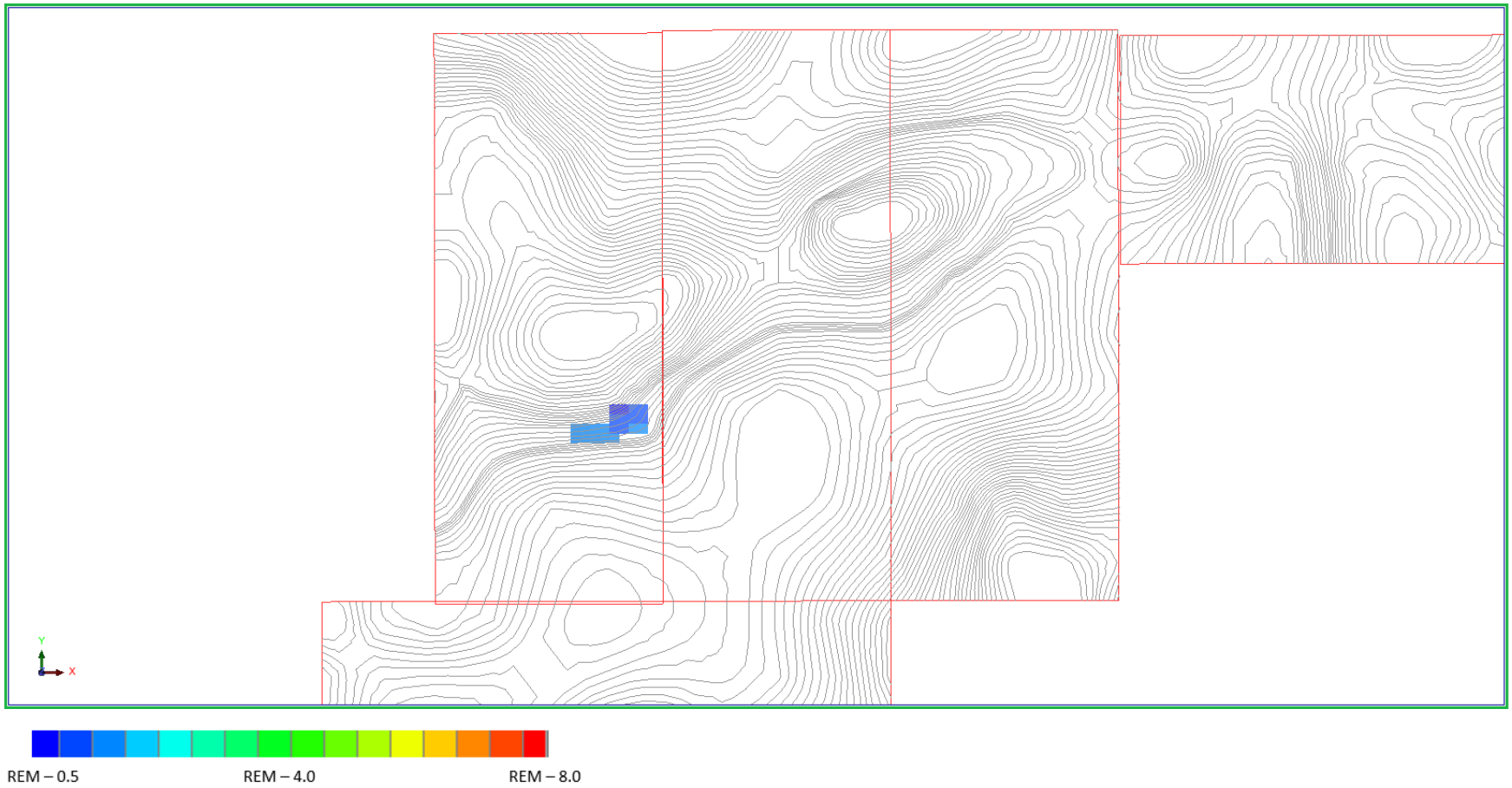


Figura 6.9: Ano 02

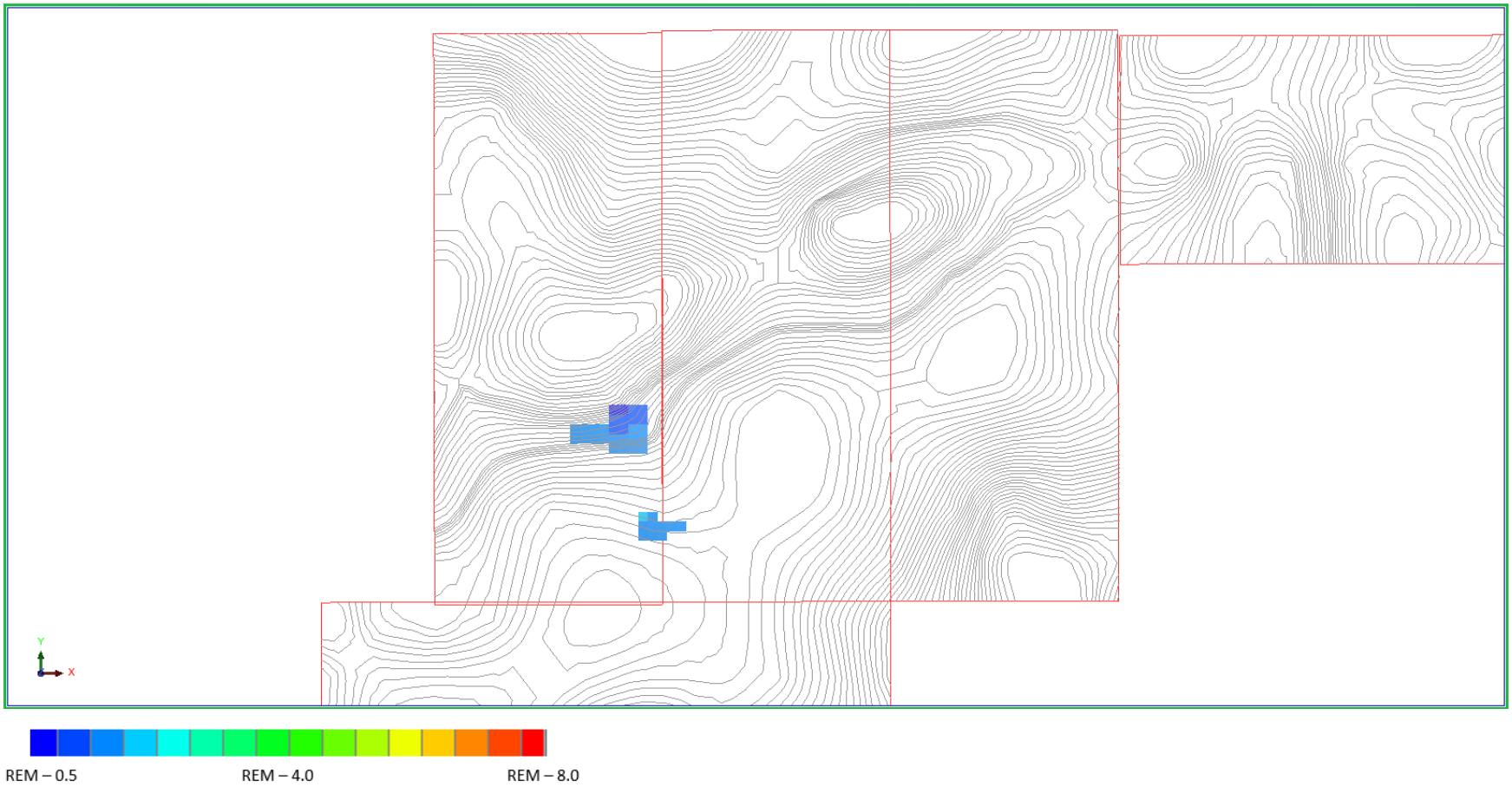


Figura 6.10: Ano 03

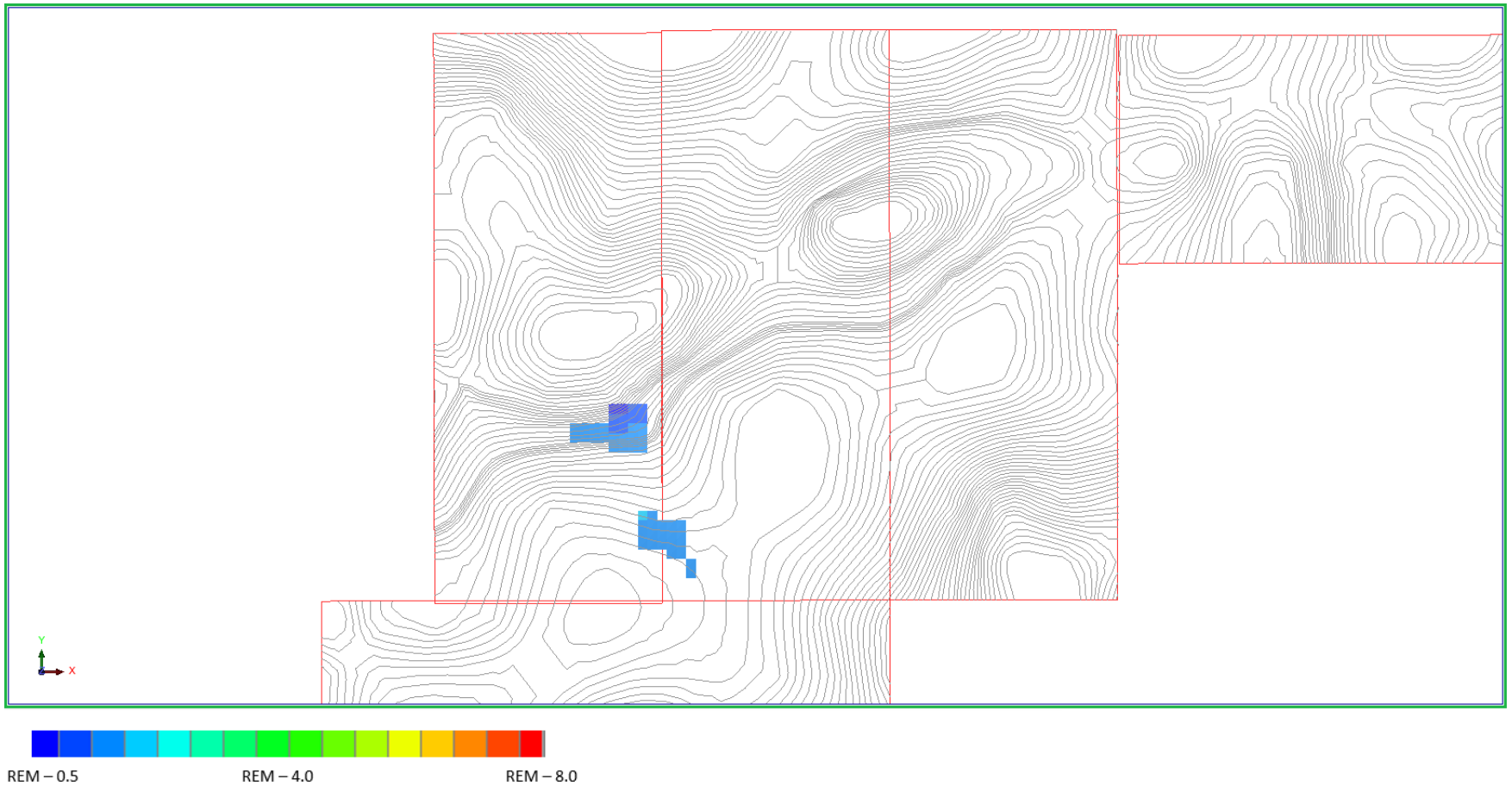


Figura 6.11: Ano 04

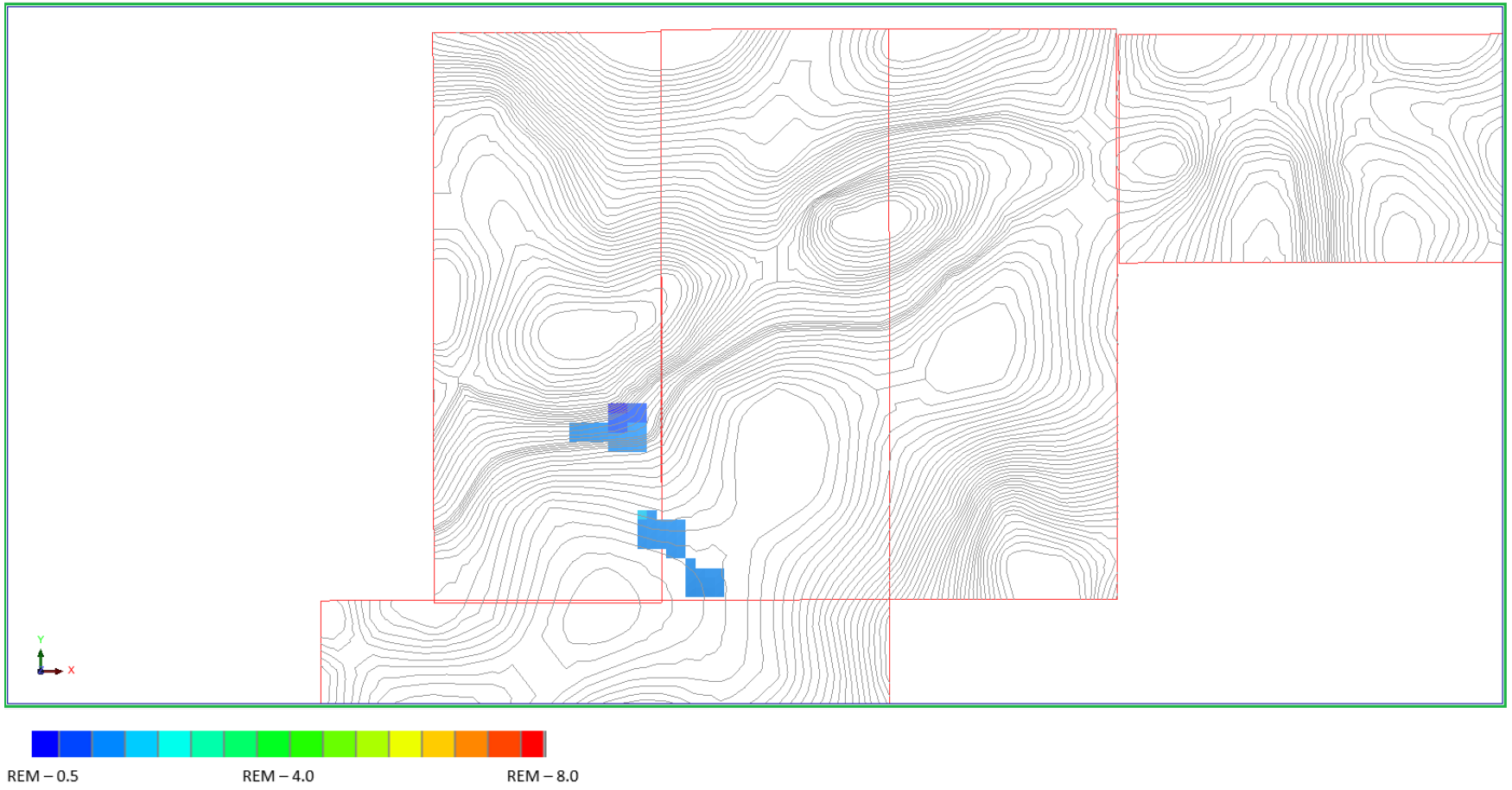


Figura 6.12: Ano 05

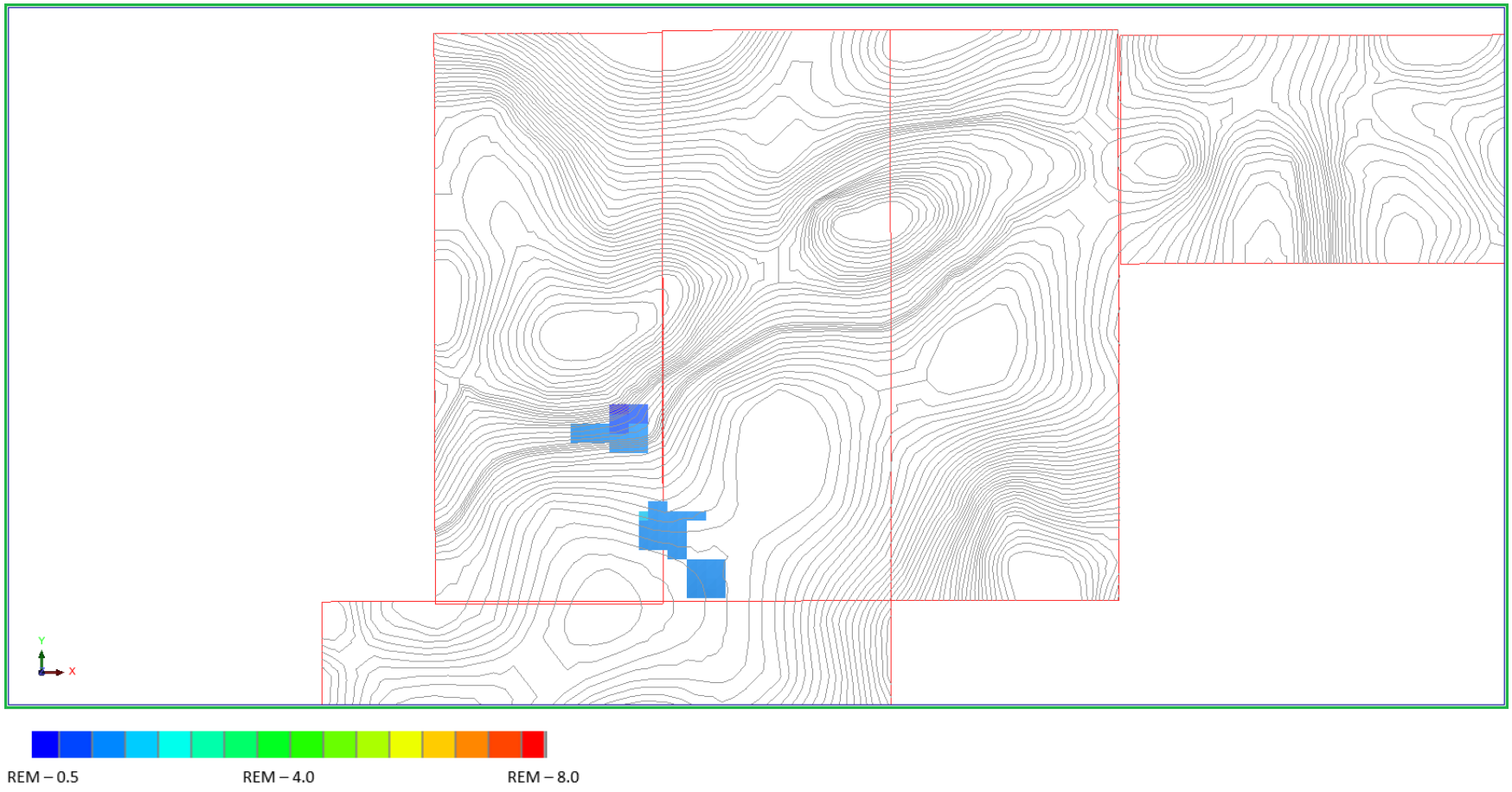


Figura 6.13: Ano 06

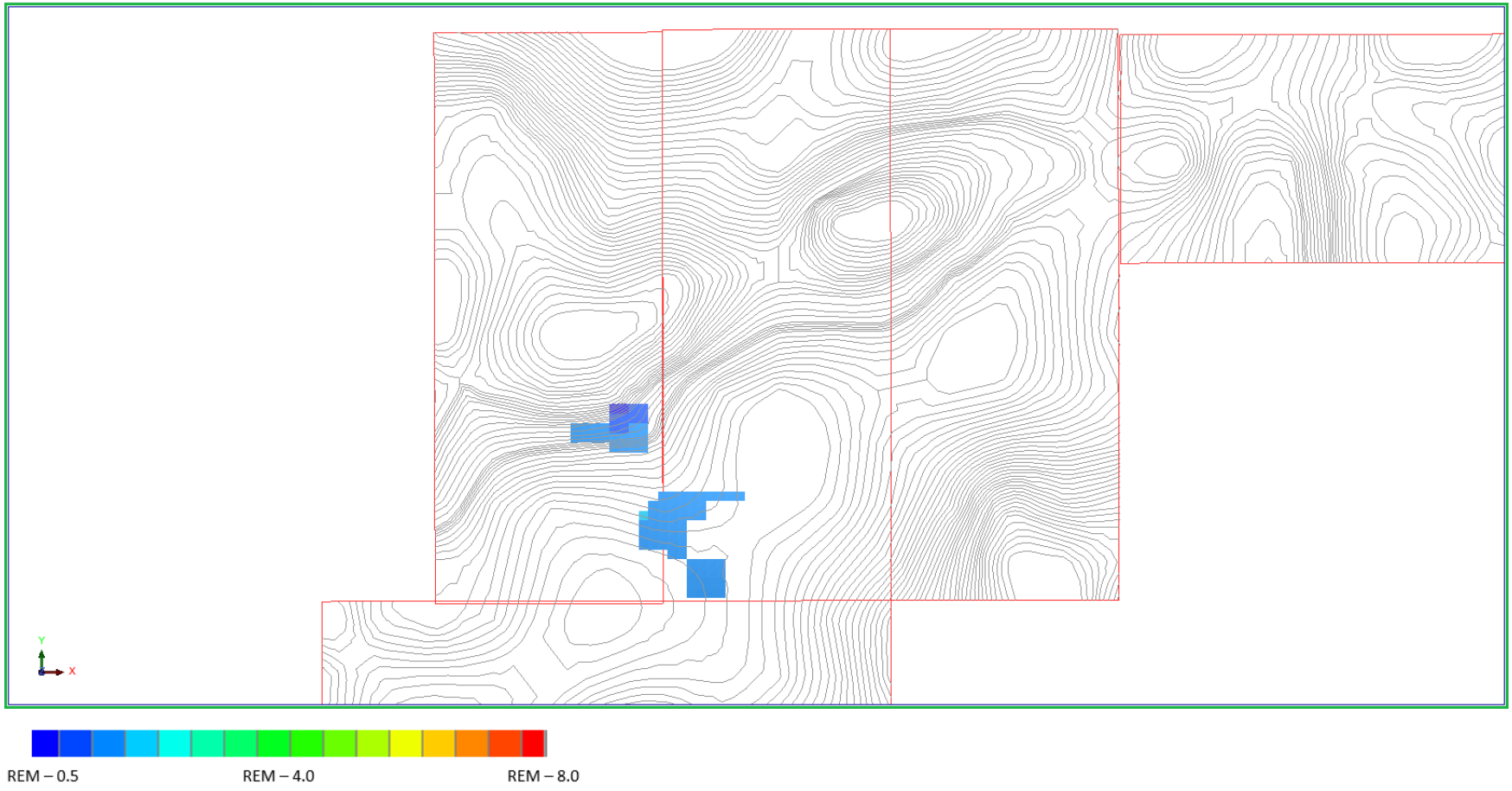


Figura 6.14: Ano 07

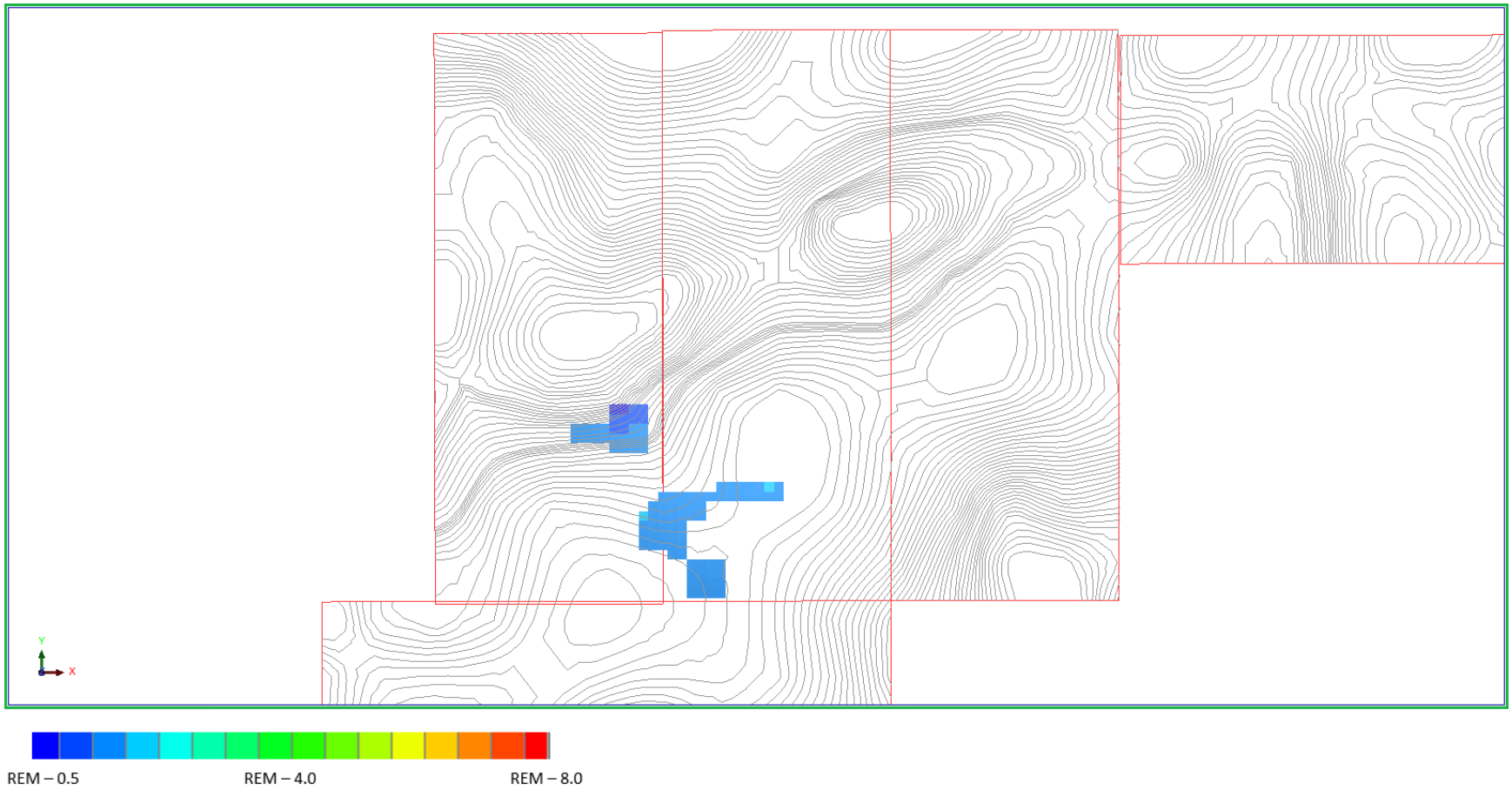


Figura 6.15: Ano 08

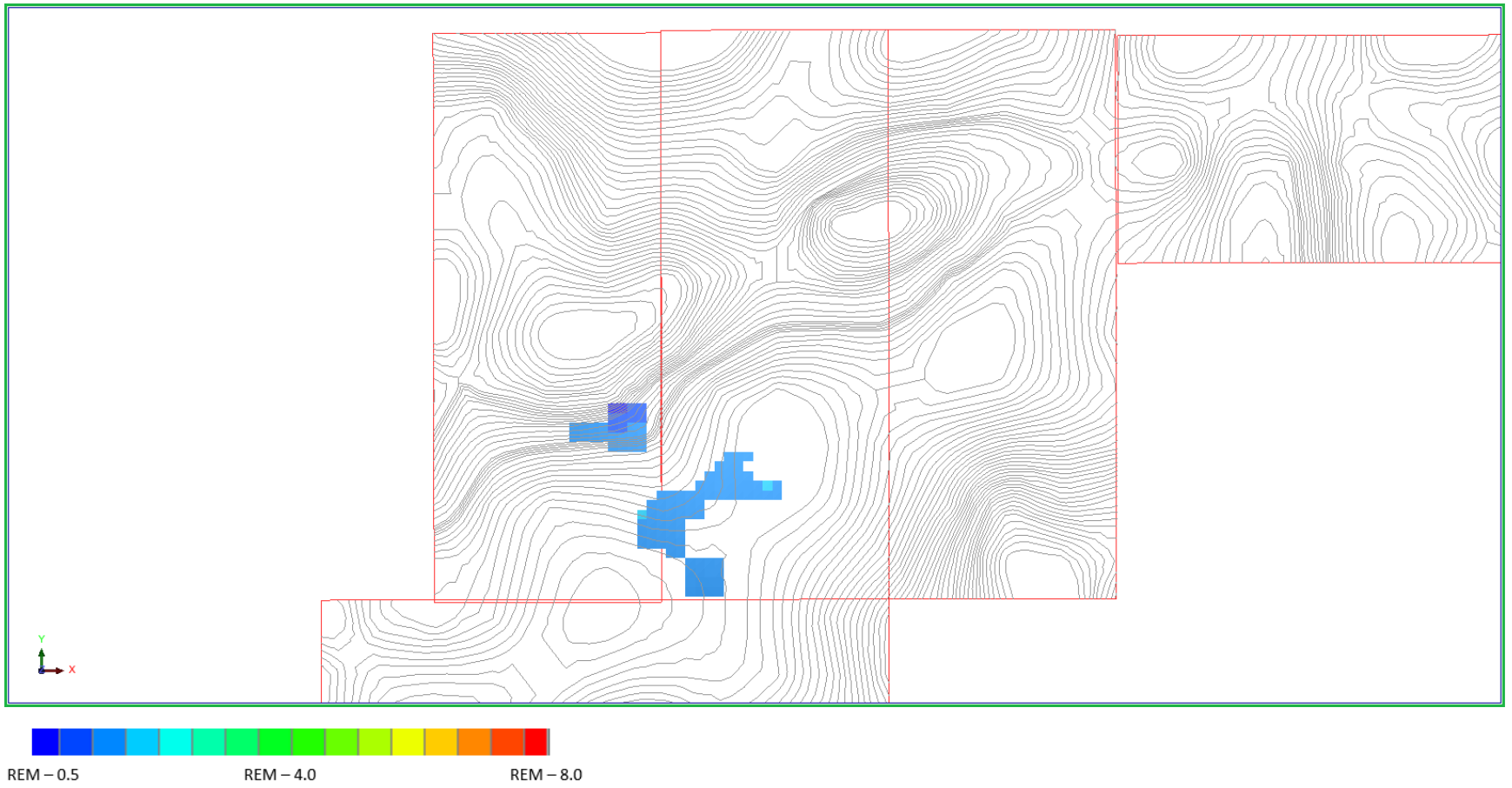


Figura 6.16: Ano 09

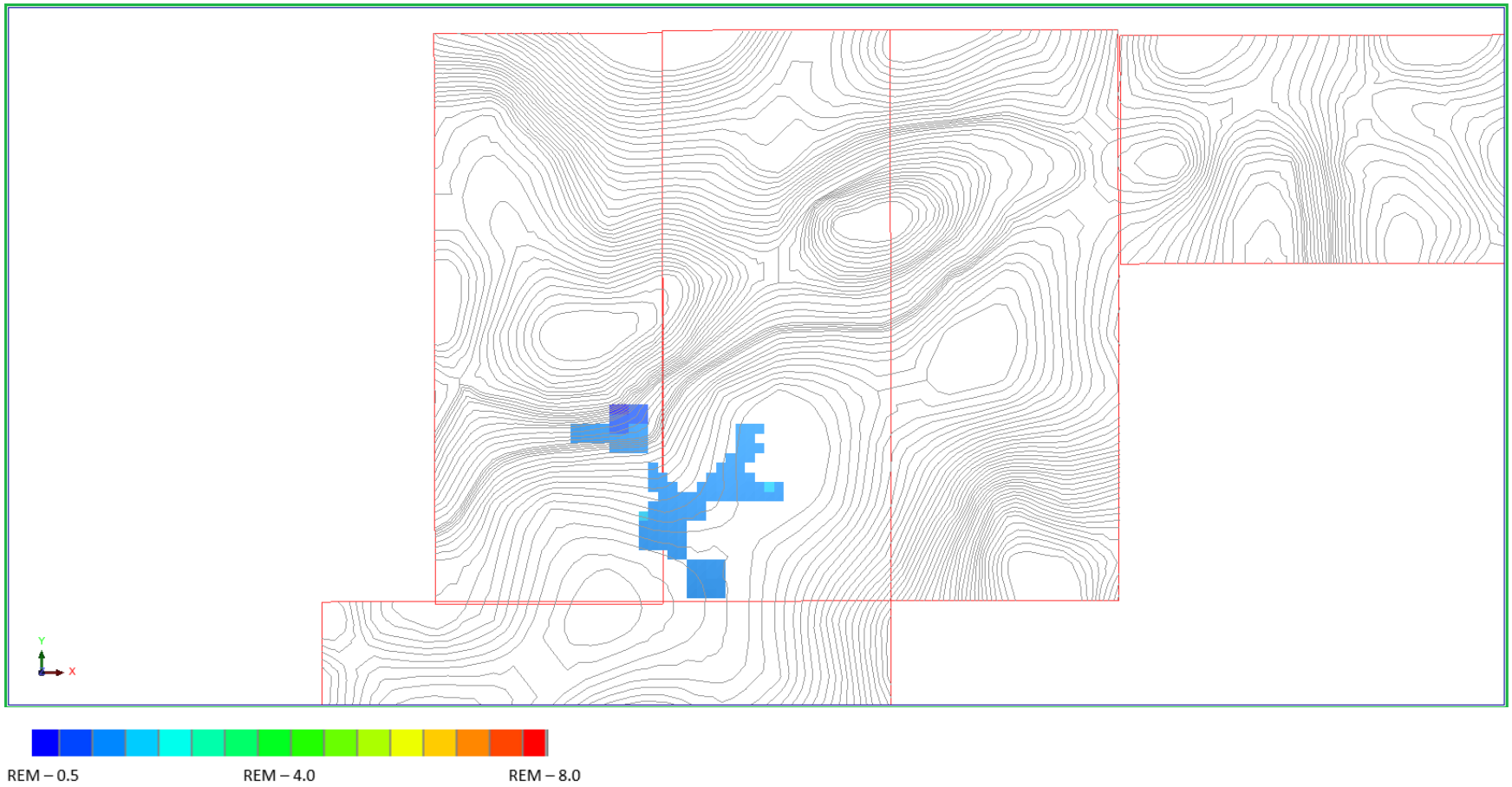


Figura 6.17: Ano 10

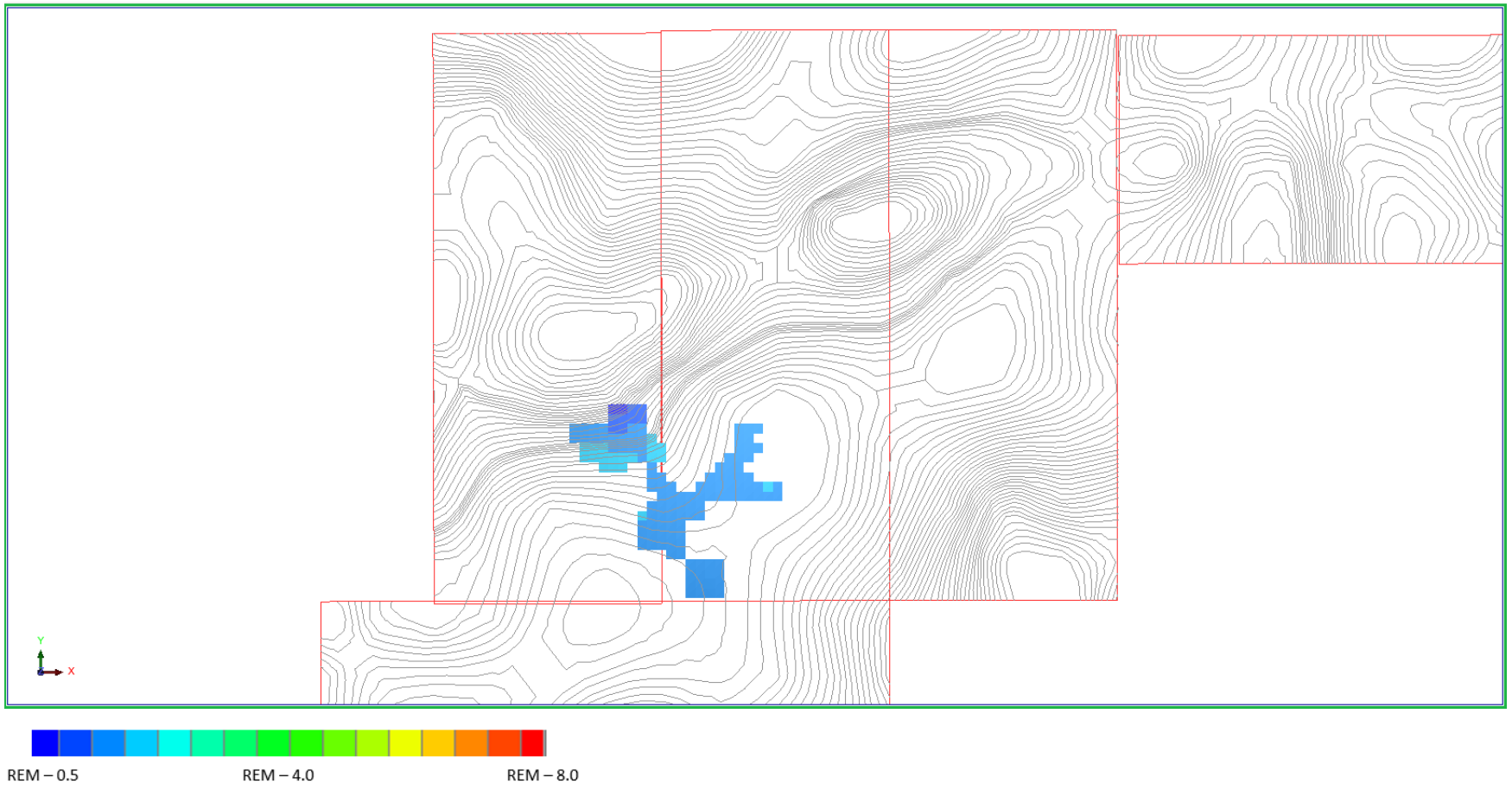


Figura 6.18: Ano 11

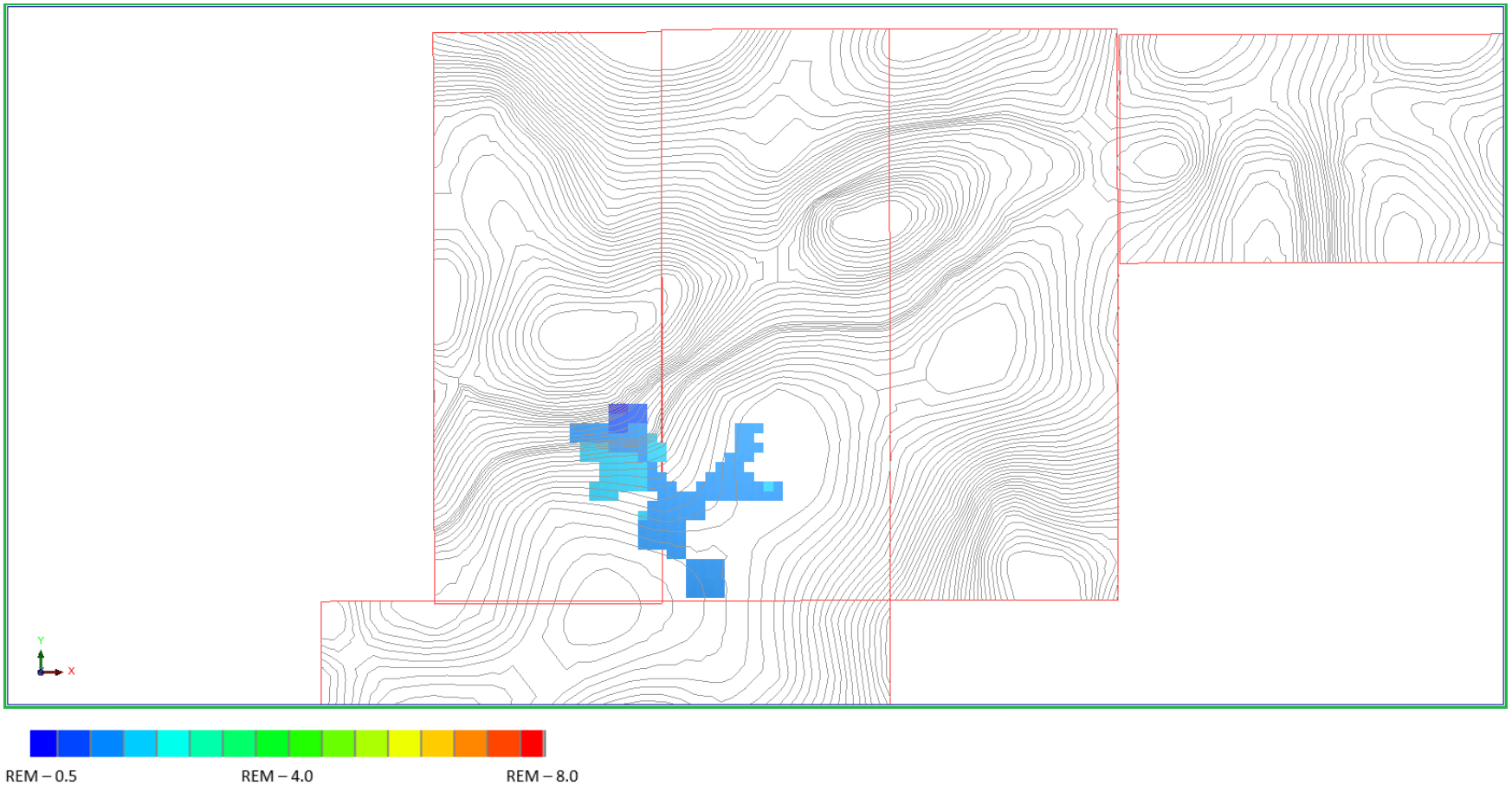


Figura 6.19: Ano 12

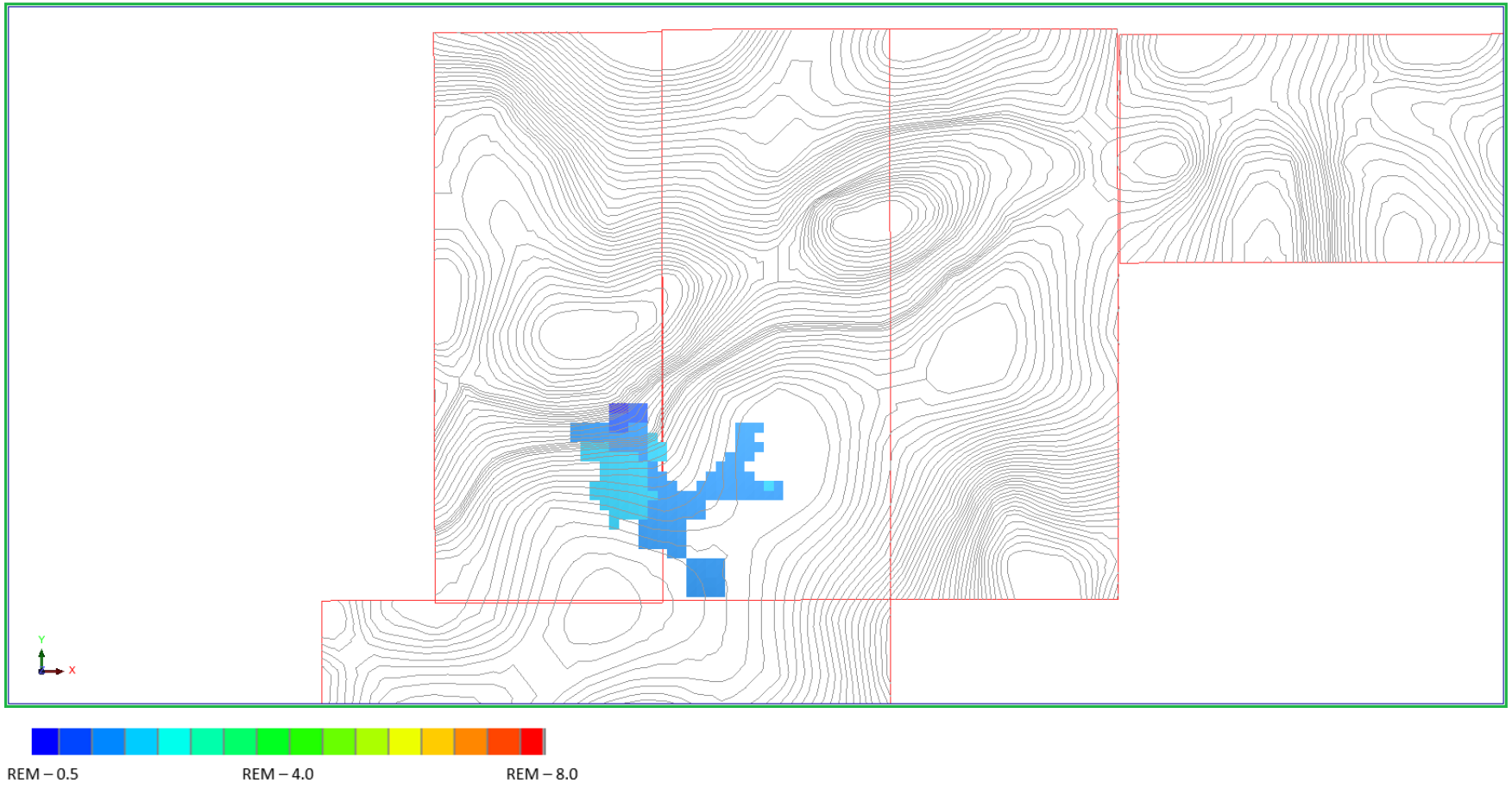


Figura 6.20: Ano 13

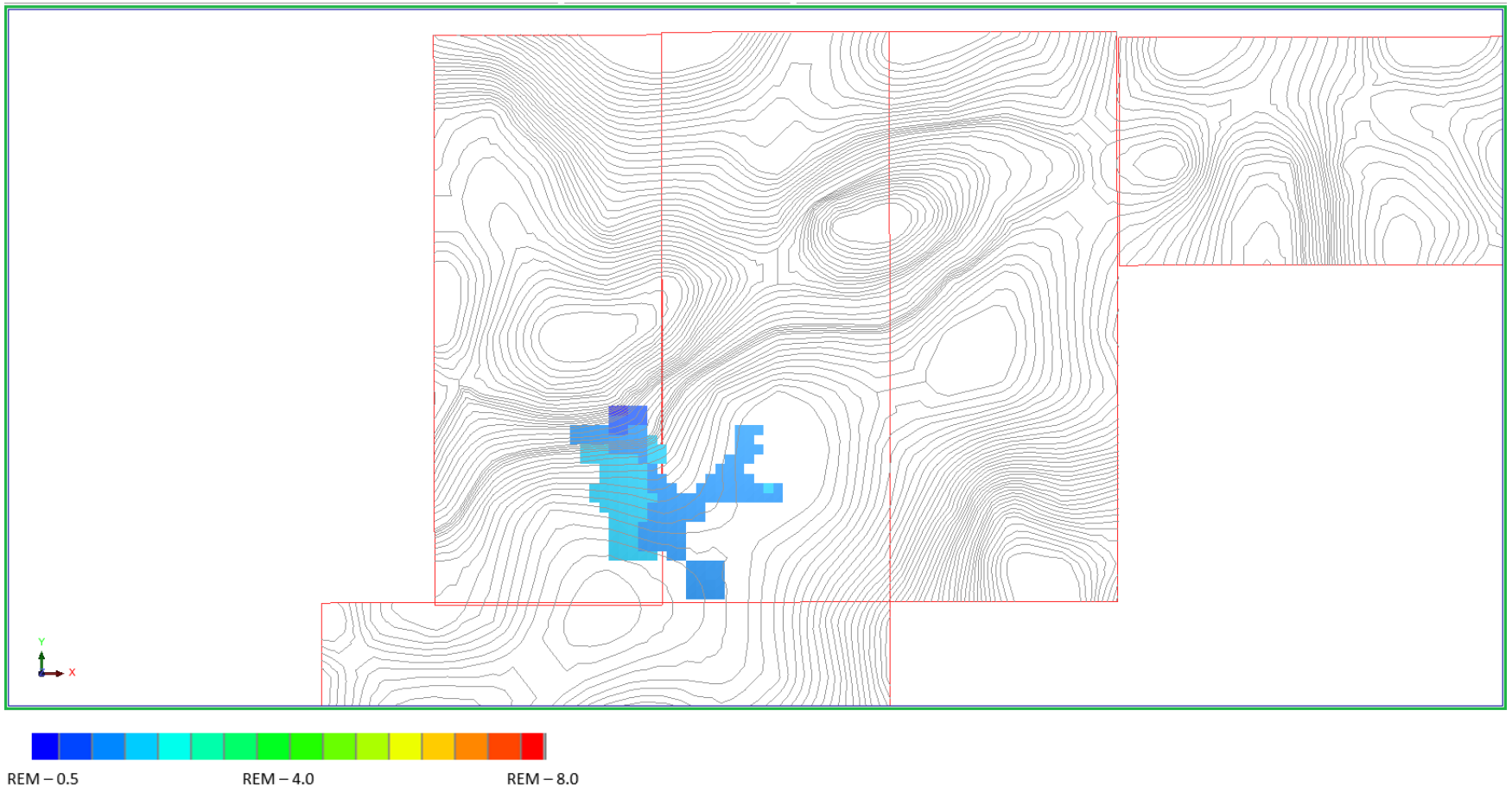


Figura 6.21: Ano 14

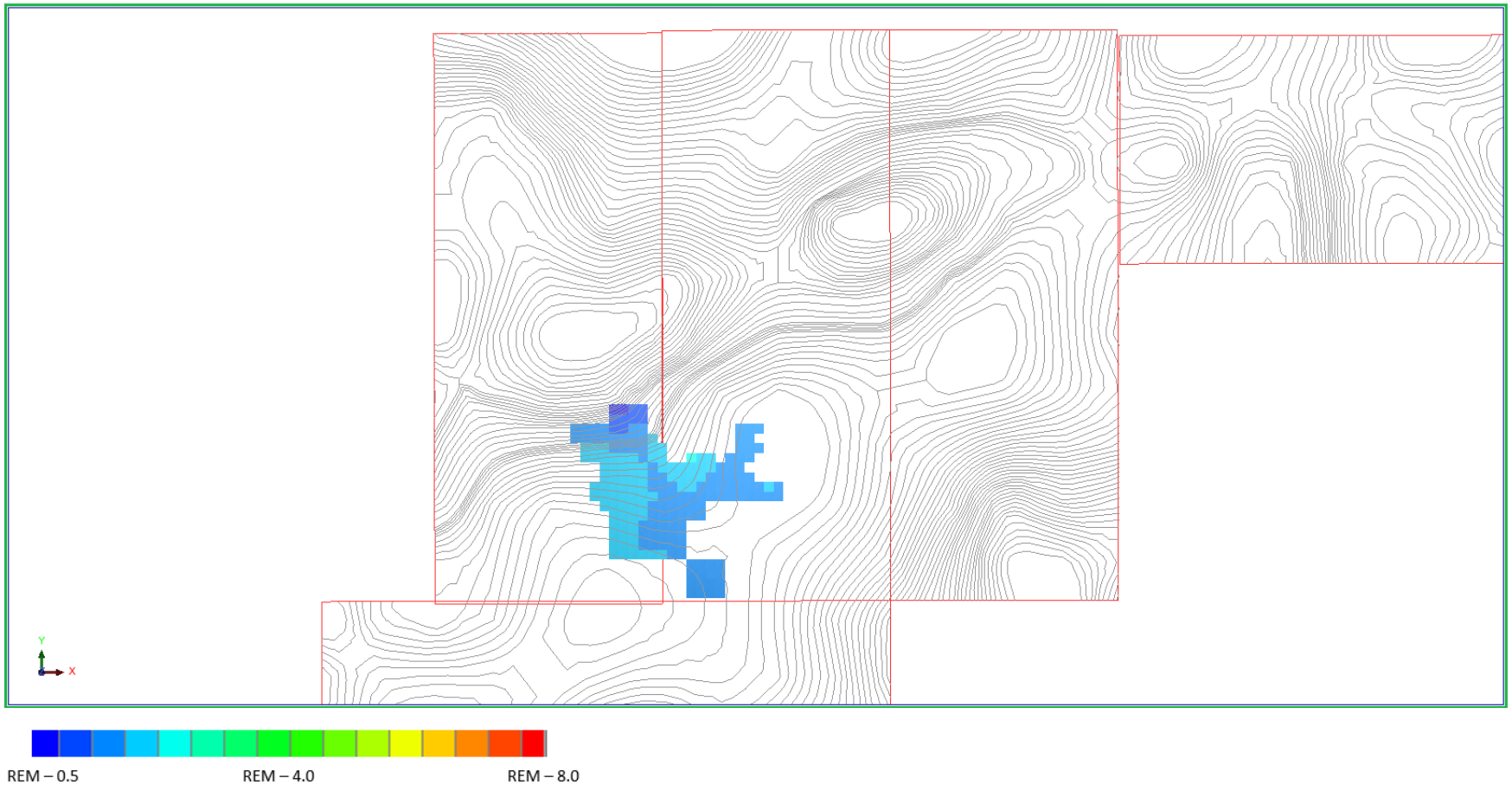


Figura 6.22: Ano 15

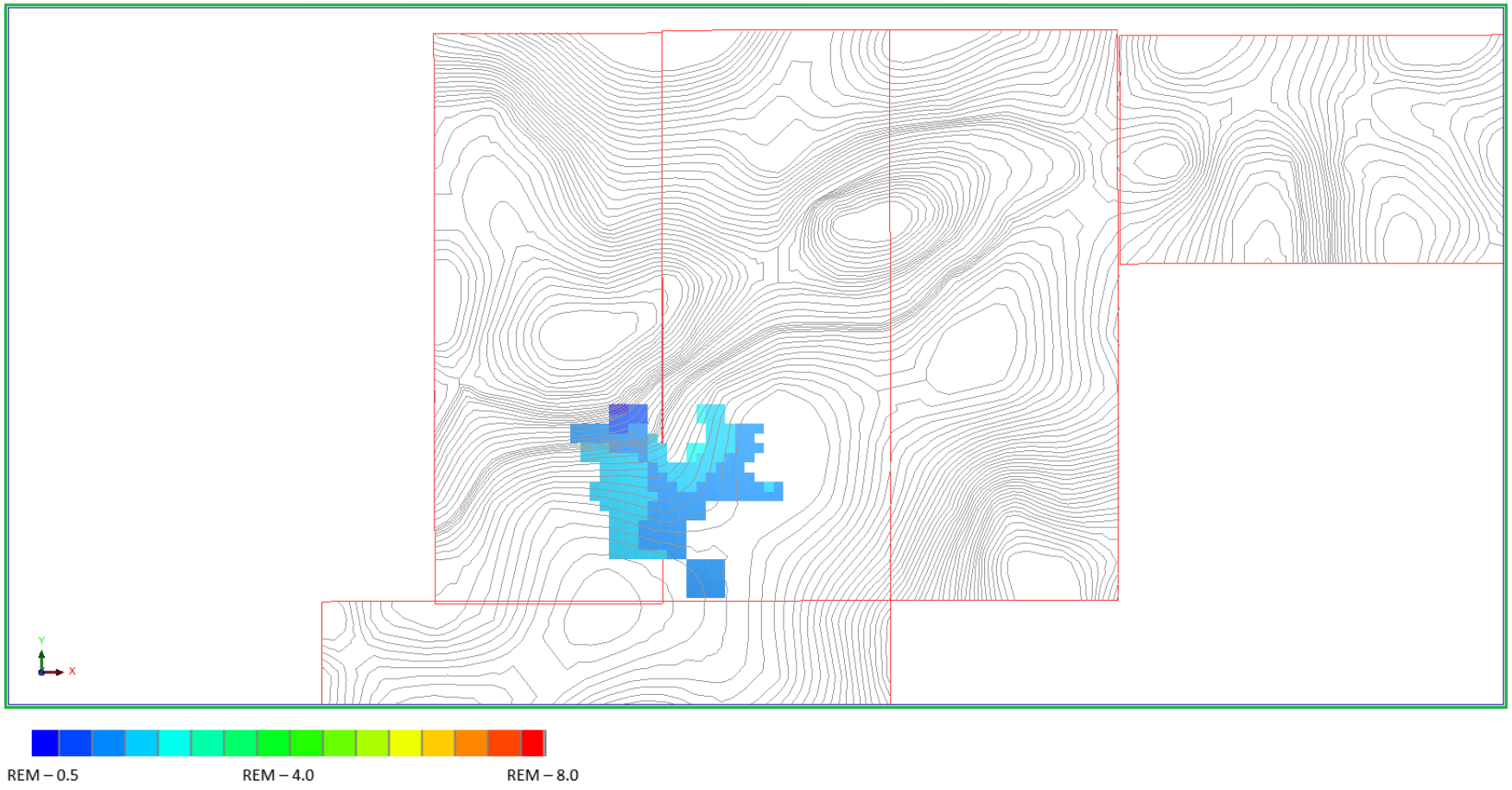


Figura 6.23: Ano 16

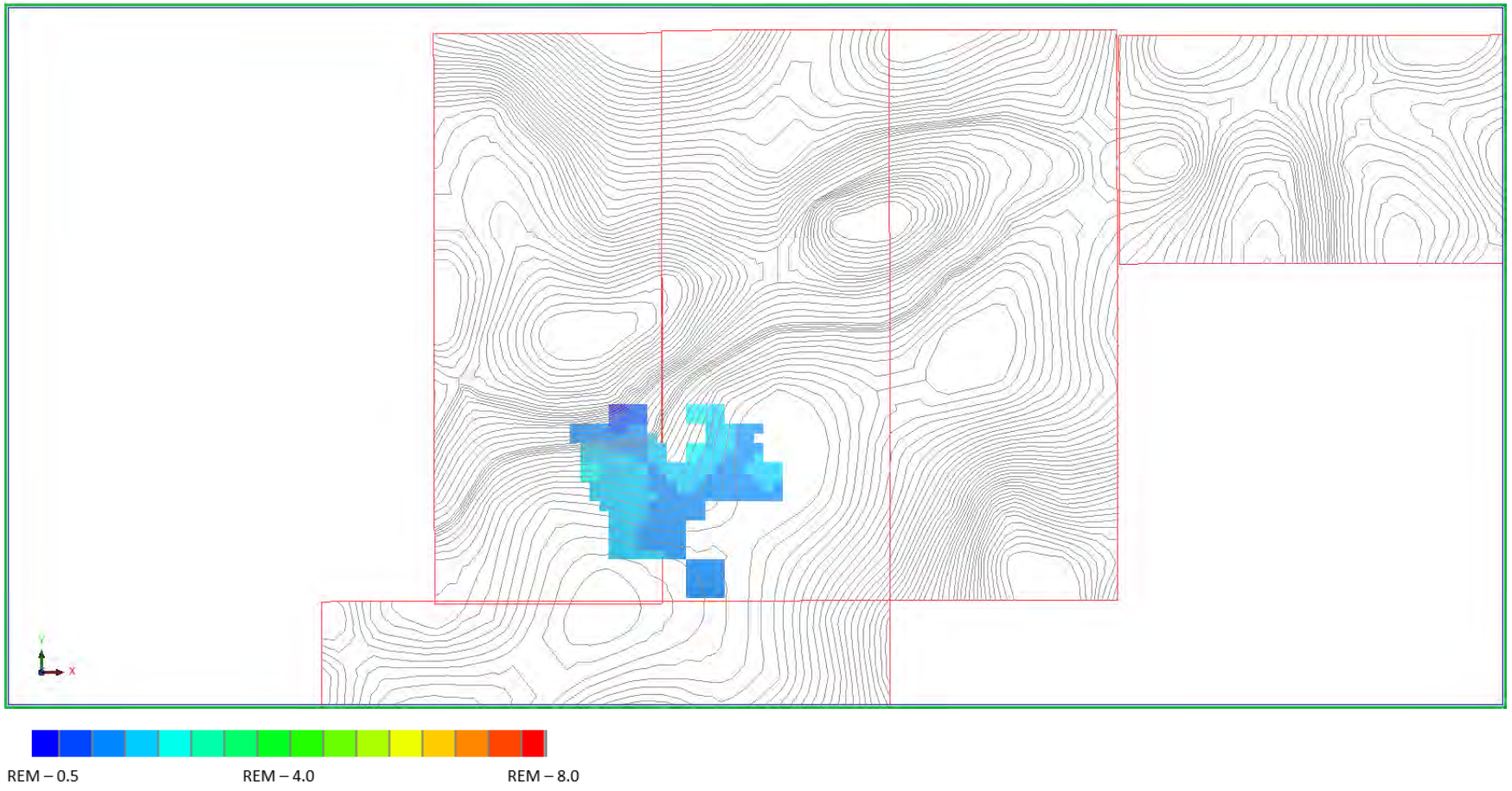


Figura 6.24: Ano 17

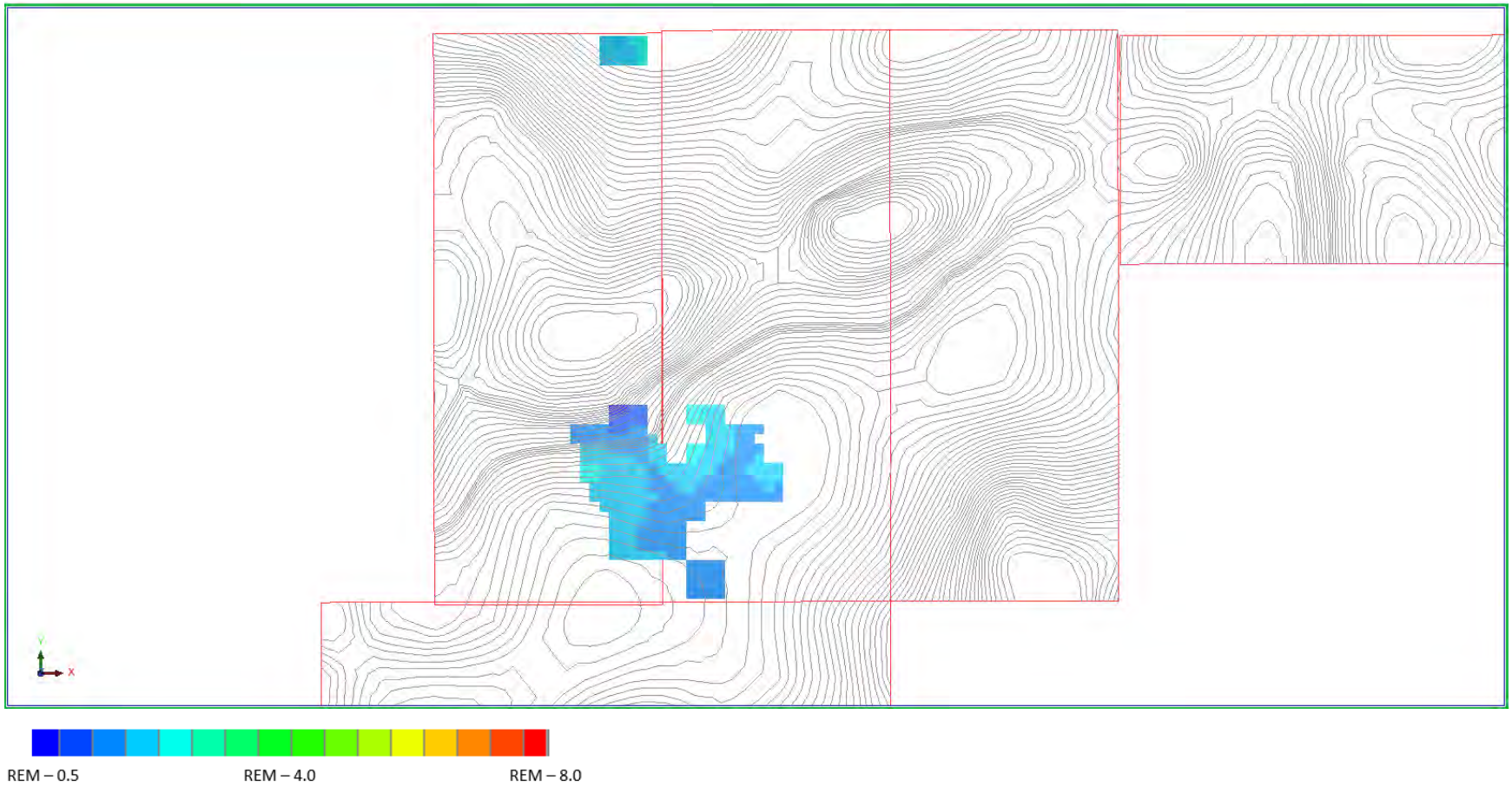


Figura 6.25: Ano 18

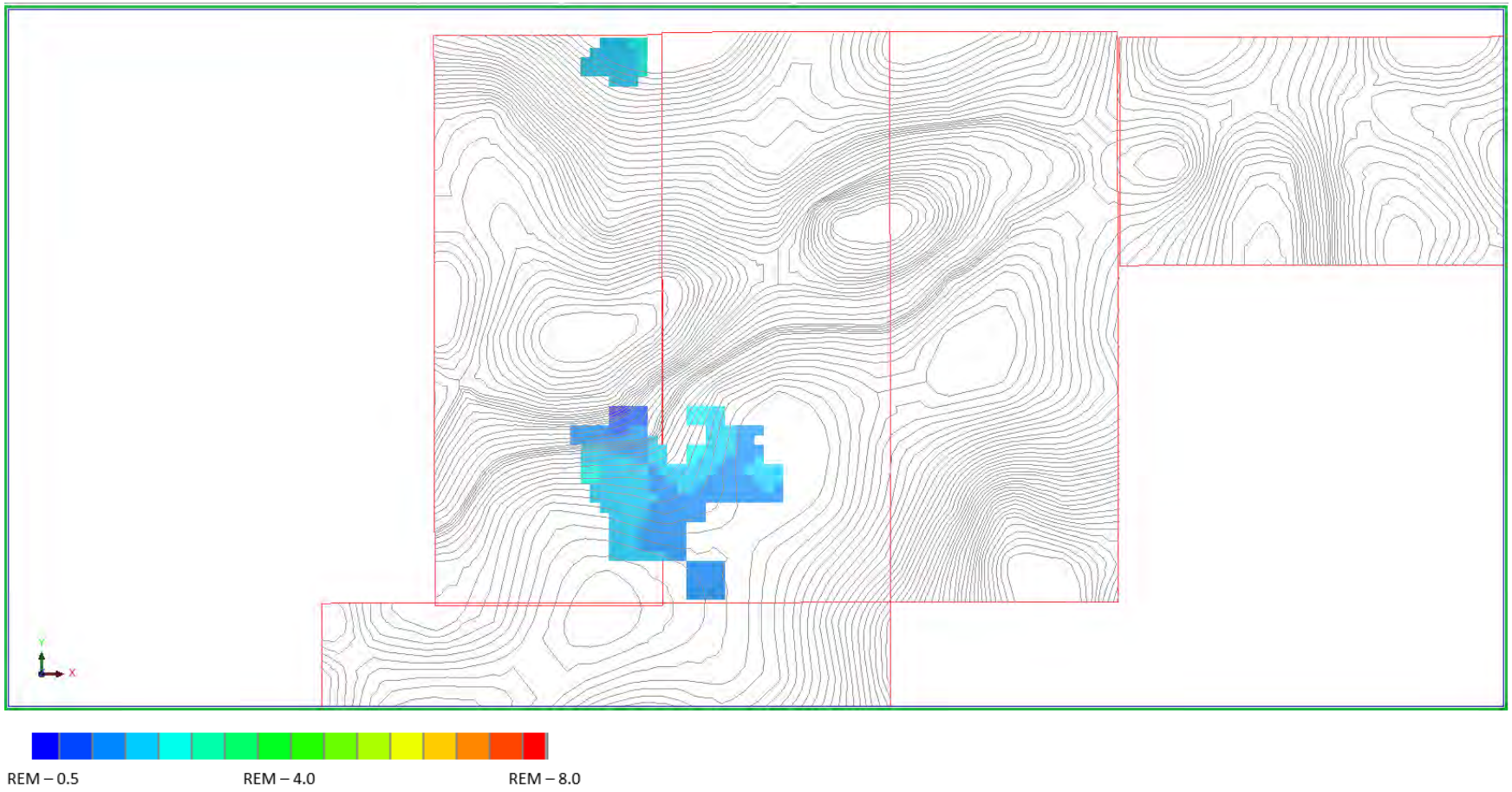


Figura 6.26: Ano 19

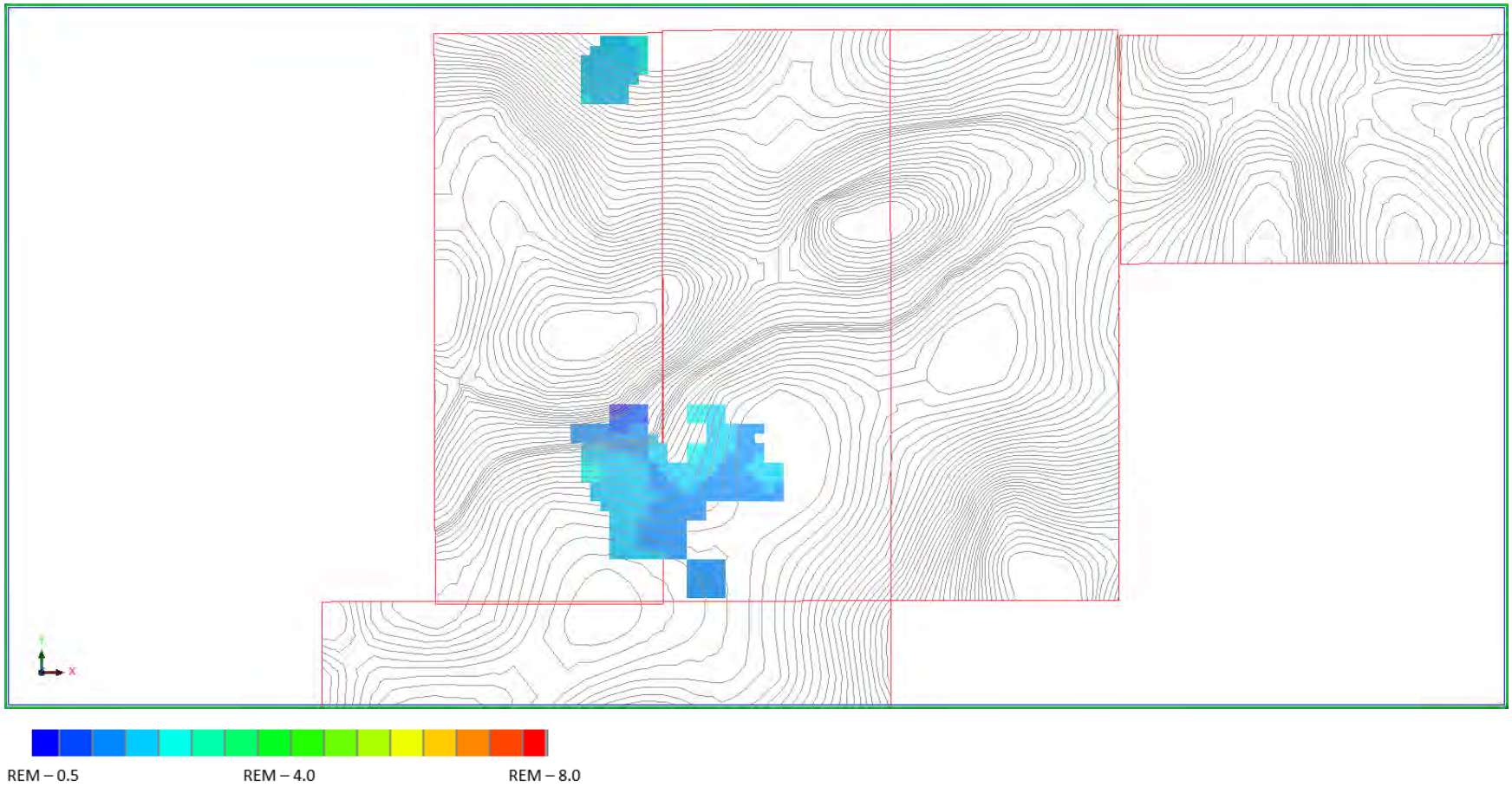


Figura 6.27: Ano 20

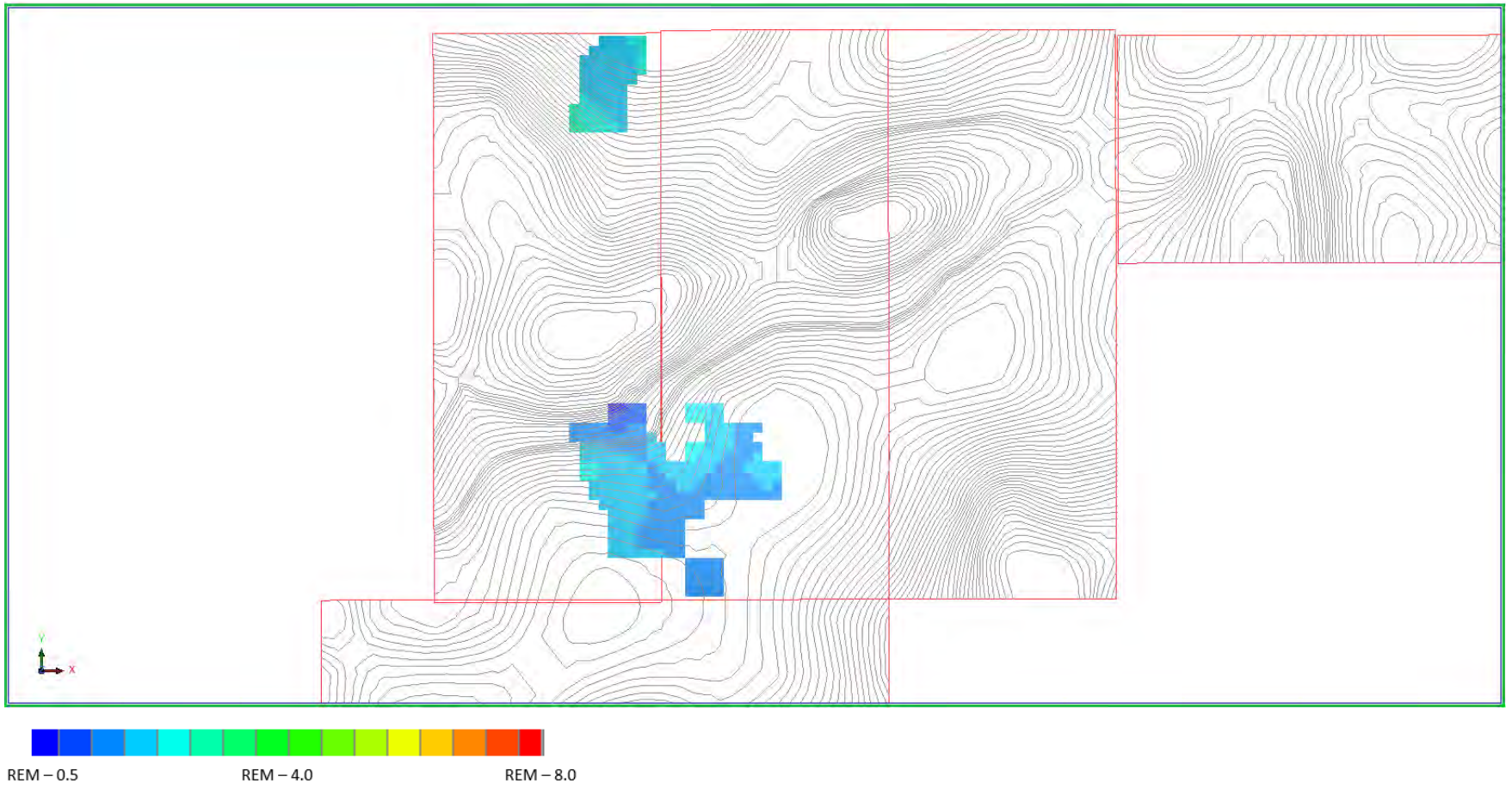


Tabela 6.9: Resultado Geral (ano 01 a 20)				
Rótulos de Linha	**Volume (m³)**	**Massa (t)**	**Alvura (%)**	**REM**
Estéril		**43 797 491**	**-**	**-**
Minério	**17 424 336**	**27 584 616**	**85.11**	**1.54**
CCA	6 409 962	10 194 634	84.97	1.41
CCM1	11 014 374	17 389 982	85.20	1.62
Total Geral	**17 424 336**	**71 382 107**	**85.11**	**1.54**

Ao total de 20 anos serão lavrados 27.58 Mt de minério, com alvura média de 85.11 e removidos 43.79 Mt de estéril. O resultado separado por ano é apresentado na Tabela 6.10

Tabela 6.10: Resultado Por Ano				
Rótulos de Linha	**Volume (m³)**	**Massa (t)**	**Alvura (%)**	**REM**
Ano 01	**878 857**	**2 720 258**	**84.35**	**0.95**
Estéril		**1 323 052**	**-**	**-**
Minério	**878 857**	**1 397 206**	**84.35**	**0.95**
CCA	388 661	618 722	84.33	0.97
CCM1	490 196	778 484	84.36	0.93
Ano 02	**856 125**	**3 272 778**	**84.86**	**1.40**
Estéril		**1 911 084**	**-**	**-**
Minério	**856 125**	**1 361 694**	**84.86**	**1.40**
CCA	370 112	589 086	84.82	1.41
CCM1	486 013	772 608	84.89	1.40
Ano 03	**858 657**	**3 329 831**	**84.35**	**1.43**
Estéril		**1 960 936**	**-**	**-**
Minério	**858 657**	**1 368 895**	**84.35**	**1.43**
CCA	432 818	690 052	84.37	1.43
CCM1	425 839	678 843	84.34	1.43
Ano 04	**858 754**	**3 246 645**	**84.65**	**1.37**
Estéril		**1 877 015**	**-**	**-**
Minério	**858 754**	**1 369 630**	**84.65**	**1.37**
CCA	416 235	663 865	84.67	1.37
CCM1	442 519	705 765	84.63	1.37
Ano 05	**862 034**	**3 289 568**	**84.61**	**1.40**
Estéril		**1 917 231**	**-**	**-**
Minério	**862 034**	**1 372 337**	**84.61**	**1.40**
CCA	419 047	667 188	84.59	1.40
CCM1	442 987	705 149	84.64	1.40
Ano 06	**859 368**	**3 316 720**	**85.89**	**1.43**
Estéril		**1 951 512**	**-**	**-**
Minério	**859 368**	**1 365 208**	**85.89**	**1.43**
CCA	352 478	559 950	85.89	1.43
CCM1	506 890	805 258	85.88	1.43
Ano 07	**858 083**	**3 259 962**	**84.76**	**1.39**
Estéril		**1 895 176**	**-**	**-**
Minério	**858 083**	**1 364 786**	**84.76**	**1.39**
CCA	393 298	625 548	84.70	1.39

CCM1	464 785	739 238	84.81	1.39
Ano 08	**863 011**	**3 374 948**	**86.45**	**1.46**
Estéril		**2 004 861**	**-**	**-**
Minério	**863 011**	**1 370 087**	**86.45**	**1.46**
CCA	364 753	579 104	86.51	1.46
CCM1	498 258	790 983	86.41	1.47
Ano 09	**876 755**	**3 413 225**	**85.09**	**1.46**
Estéril		**2 024 041**	**-**	**-**
Minério	**876 755**	**1 389 184**	**85.09**	**1.46**
CCA	340 352	539 328	85.08	1.46
CCM1	536 403	849 856	85.10	1.46
Ano 10	**855 711**	**3 689 082**	**85.08**	**1.72**
Estéril		**2 330 972**	**-**	**-**
Minério	**855 711**	**1 358 110**	**85.08**	**1.72**
CCA	352 856	561 438	85.04	1.73
CCM1	502 855	796 672	85.11	1.71
Ano 11	**874 218**	**3 828 878**	**85.18**	**1.75**
Estéril		**2 434 723**	**-**	**-**
Minério	**874 218**	**1 394 155**	**85.18**	**1.75**
CCA	434 625	693 629	85.08	1.77
CCM1	439 593	700 526	85.27	1.72
Ano 12	**832 553**	**3 573 608**	**84.81**	**1.68**
Estéril		**2 242 472**	**-**	**-**
Minério	**832 553**	**1 331 136**	**84.81**	**1.68**
CCA	451 796	722 672	84.76	1.70
CCM1	380 757	608 464	84.88	1.66
Ano 13	**841 840**	**3 578 321**	**84.28**	**0.71**
Estéril		**2 230 322**	**-**	**-**
Minério	**841 840**	**1 347 999**	**84.28**	**0.71**
CCA	479 402	767 733	84.27	0.00
CCM1	362 438	580 266	84.29	1.65
Ano 14	**879 552**	**3 644 847**	**86.17**	**1.62**
Estéril		**2 255 331**	**-**	**-**
Minério	**879 552**	**1 389 516**	**86.17**	**1.62**
CCA	291 238	460 848	86.24	1.58
CCM1	588 314	928 668	86.14	1.64
Ano 15	**888 568**	**3 807 656**	**84.79**	**1.73**
Estéril		**2 413 670**	**-**	**-**
Minério	**888 568**	**1 393 986**	**84.79**	**1.73**
CCA	185 632	292 243	84.95	1.62
CCM1	702 936	1 101 743	84.75	1.76
Ano 16	**865 832**	**3 818 744**	**84.82**	**1.77**
Estéril		**2 441 353**	**-**	**-**
Minério	**865 832**	**1 377 391**	**84.82**	**1.77**
CCA	392 806	626 568	84.84	1.76
CCM1	473 026	750 823	84.81	1.78
Ano 17	**937 553**	**4 182 091**	**85.44**	**1.87**

Estéril		**2 722 533**	**-**	**-**
Minério	**937 553**	**1 459 558**	**85.44**	**1.87**
CCA	70 562	109 918	85.16	1.91
CCM1	866 991	1 349 640	85.46	1.86
Ano 18	**905 156**	**3 889 843**	**85.89**	**1.76**
Estéril		**2 481 431**	**-**	**-**
Minério	**905 156**	**1 408 412**	**85.89**	**1.76**
CCA	60 224	93 788	85.52	1.79
CCM1	844 932	1 314 624	85.92	1.76
Ano 19	**891 212**	**3 830 892**	**85.98**	**1.76**
Estéril		**2 443 204**	**-**	**-**
Minério	**891 212**	**1 387 688**	**85.98**	**1.76**
CCA	70 107	109 202	85.86	1.77
CCM1	821 105	1 278 486	85.99	1.76
Ano 20	**880 497**	**4 314 209**	**84.70**	**2.13**
Estéril		**2 936 571**	**-**	**-**
Minério	**880 497**	**1 377 638**	**84.70**	**2.13**
CCA	142 960	223 752	84.62	2.15
CCM1	737 537	1 153 886	84.72	2.13
Total Geral	**17 424 336**	**71 382 107**	**85.11**	**1.54**

Figura 6.28: Massa lavrada (Minério) x REM

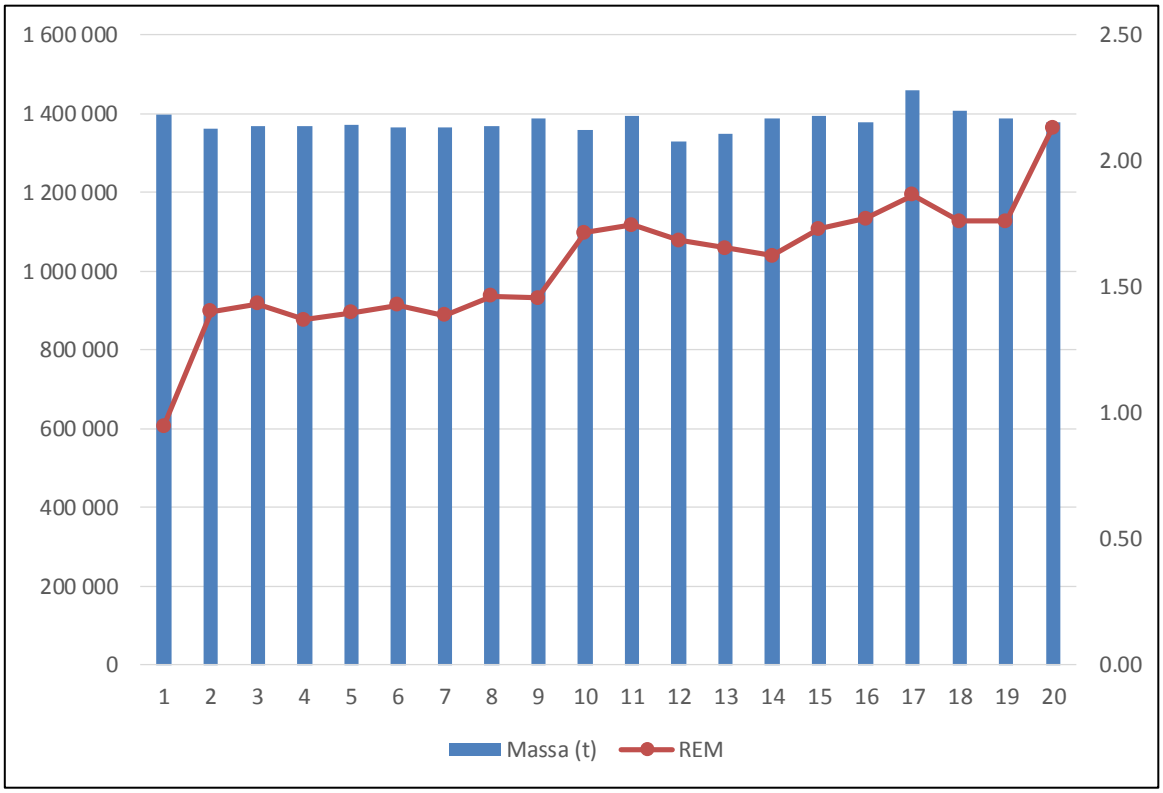
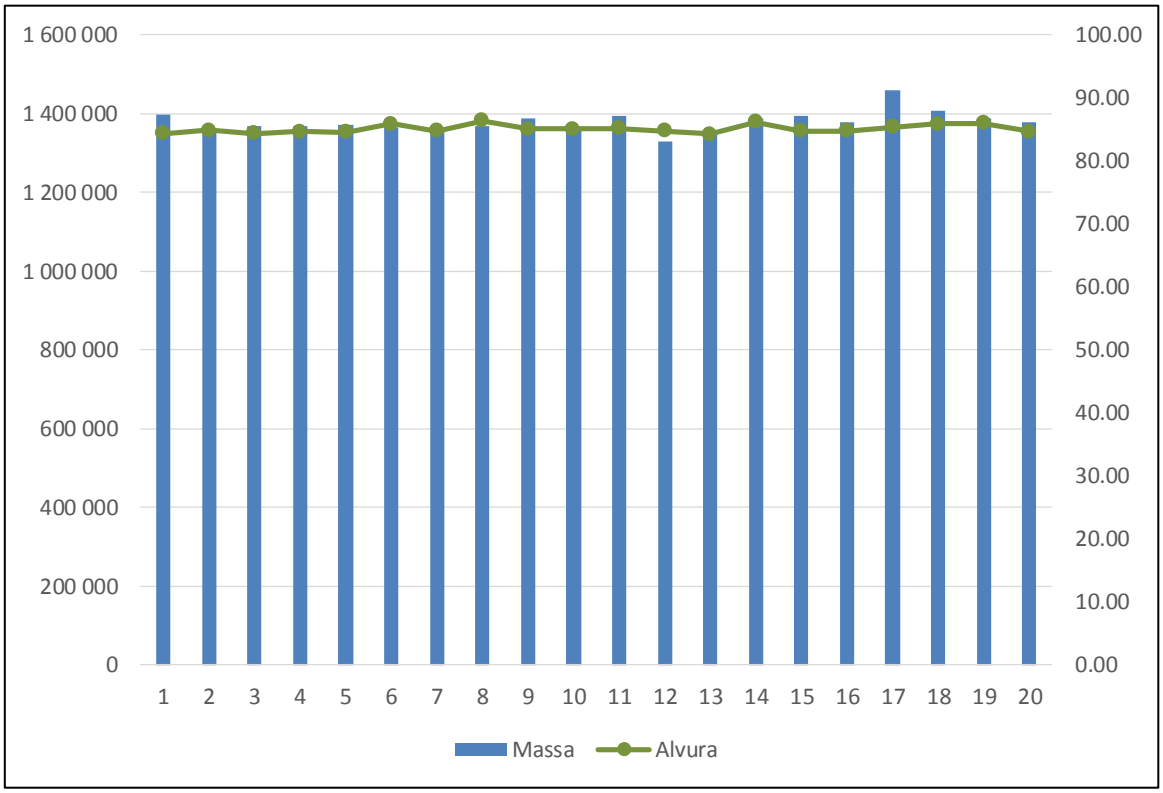


Figura 6.29: Massa lavrada (Minério) x Alvura



6.5.6 Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Lavra

A lavra será realizada com equipamentos convencionais. O desmonte do material será mecânico através de escaveira hidráulica e o transporte para o pátio de produção será realizado com caminhões rodoviários traçados 6x4.

No projeto desenvolvido pela Saga ficou definido que a frota de equipamentos de lavra será terceirizada. Assim, não foi desenvolvida uma estimativa de CAPEX desses equipamentos e tampouco um estudo de dimensionamento.

OPEX de Mina

Para a estimativa de custo operacional da mina, a Saga realizou uma consulta ao seu banco de dados de projetos similares desenvolvidos, considerando a opção de frota terceirizada. Além dos projetos que compõe o banco de dados da Saga, e, como referência, os seguintes projetos com Relatórios Públicos podem ser citados:

- Equinox Gold - Projeto Aurizona (Ouro – Maranhão): 2,30 US$/t;
- Altamira Gold Projeto Cajueiro (Ouro – Mato Grosso e Pará): 2,00 US$/t;
- Leagold - Projeto Santaluz (Ouro – Bahia): 2,09 US$/t.

Para o projeto Rio Capim foi considerado um OPEX de mina igual a R$ 14.00/t movimentada.

6.6 Caracterização tecnológica e estudos de processo

Os estudos de caracterização tecnológica e processo conduzidos pela CPRM, nessa fase da avaliação do depósito de caulim, foram consolidados nos relatórios: "Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Caulim CPRM", do centro de Tecnologia Mineral do CETEM de 2017; "Testes de Beneficiamento (ensaios Preliminares), da empresa Paulo Abib e Associados S.C. de 1973; "Dados dos ensaios tecnológicos das características e propriedades do caulim", apresentados no relatório final de pesquisa da CPRM de 1972.

Os estudos da Paulo Abib, com a utilização de duas amostras de 40 e 120 kg, foram direcionados para o levantamento de dados de processo. Os resultados indicaram uma recuperação em massa, com a utilização de ciclones, de cerca de 74,4% da fração menor que 44 micrômetros (325 *mesh*), que é uma indicação do potencial de rendimento na primeira etapa do beneficiamento, denominada de desareamento, na qual a maior parte dos contaminantes silicosos (areia) são descartados. Outros ensaios de ciclonagem, com ciclones de pequeno diâmetro, indicaram que 35,1% da massa original do minério apresenta-se com granulometria abaixo de 2 micrômetro. Esta granulometria é considerada ideal para o mercado de *coating*. Os ensaios de filtragem, filtro a vácuo, resultaram numa taxa de filtragem de cerca de 194 kg/h/m^2, com uma umidade de 35%, e uma taxa de espessamento de 4,6 m^2/t x 24 horas. Estes ensaios tiveram algumas limitações, como por exemplo, nos testes de espessamento não foram utilizados floculantes.

6.6.1 Classificação granulométrica

Os estudos de caracterização mineralógica e tecnológica, mais recentes, realizados pelo CETEM, em 7 amostras, designadas de DEP 928 a DEP 934, provenientes de poços de sondagem, com 4 kg de minério por amostra, indicaram uma recuperação em massa média no desareamento de 89,4%, com desvio padrão de 2,44. Testes estes, realizados por peneiramento. Com relação à fração menor que 2 micrômetros, fez-se uma caracterização granulométrica a laser, que indicou um comportamento de distribuição granulométrico semelhante entre as amostras, com d (10) igual a 1,2 micrômetros, d (50) igual a 4,7 micrômetros e d (90) igual a 18,5 micrômetros.

6.6.2 Separação magnética

Os ensaios de separação magnética foram realizados com o produto fino oriundo da classificação granulométrica em 44 micrômetros e apresentaram uma redução dos teores de ferro e titânio neste produto de cerca de 0,04 %, conforme pode ser visto na Tabela 6.11.

Tabela 6.11: Testes de separação magnética

Produto	Impureza (%)	DEP928	DEP929	DEP930	DEP931	DEP932	DEP933	DEP934	Média	Desvio padrão
ROM	TiO_2	1,1	0,78	0,72	0,66	0,91	0,41	0,42	0,71	0,23
	Fe_2O_3	0,91	0,81	0,67	0,48	0,6	0,35	0,36	0,60	0,20
	$TiO_2 + Fe_2O_3$	2,01	1,59	1,39	1,14	1,51	0,76	0,78	1,3114	0,42
Alim. separador Fração (- 44 um)	TiO_2	0,82	0,52	0,4	0,45	0,81	0,35	0,39	0,5343	0,18
	Fe_2O_3	0,84	0,74	0,66	0,41	0,56	0,39	0,42	0,5743	0,16
	$TiO_2 + Fe_2O_3$	1,66	1,26	1,06	0,86	1,37	0,74	0,81	1,1086	0,31
Produto separador Fração (- 44 um) (Nmag)	TiO_2	0,8	0,48	0,38	0,43	0,8	0,33	0,37	0,51	0,19
	Fe_2O_3	0,82	0,73	0,63	0,39	0,55	0,37	0,4	0,56	0,17
	$TiO_2 + Fe_2O_3$	1,62	1,21	1,01	0,82	1,35	0,7	0,77	1,0686	0,31
Potencial de redução ($Fe_2O_3 + TiO_2$) separação magnética		0,04	0,05	0,05	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,01

Estes resultados de redução dos teores de ferro e titânio muito provavelmente podem ser melhorados, tendo em vista que o campo magnético dos ensaios de laboratório realizados pelo CETEM, com separador magnético convencional e intensidade do campo de 14.000 gauss é baixo em relação à intensidade de campo dos separadores criogênicos (tipo Cryofilter da Carpco/Outotec ou similar), empregados nas operações de caulim, que atingem cerca de 50.000 gauss e com baixo consumo de energia. Portanto, é de se esperar melhores resultados, caso sejam utilizadas intensidades de campo mais altas.

6.6.3 Alvejamento

Os ensaios de alvejamento da fração não magnética (– 44 µm) e as determinações das alvuras (ISO) correspondentes, foram realizados com polpa a 20% de sólidos, pH entre 3,0 e 3,5 com adição de ácido sulfúrico a 10%. O diotionito de sódio foi utilizado como agente redutor nas proporções de 4 kg/t e o hametafostato de sódio como agente dispersante nas proporções de 3 kg/t. O tempo de processamento foi de 120 minutos, com agitação de 90 rpm.

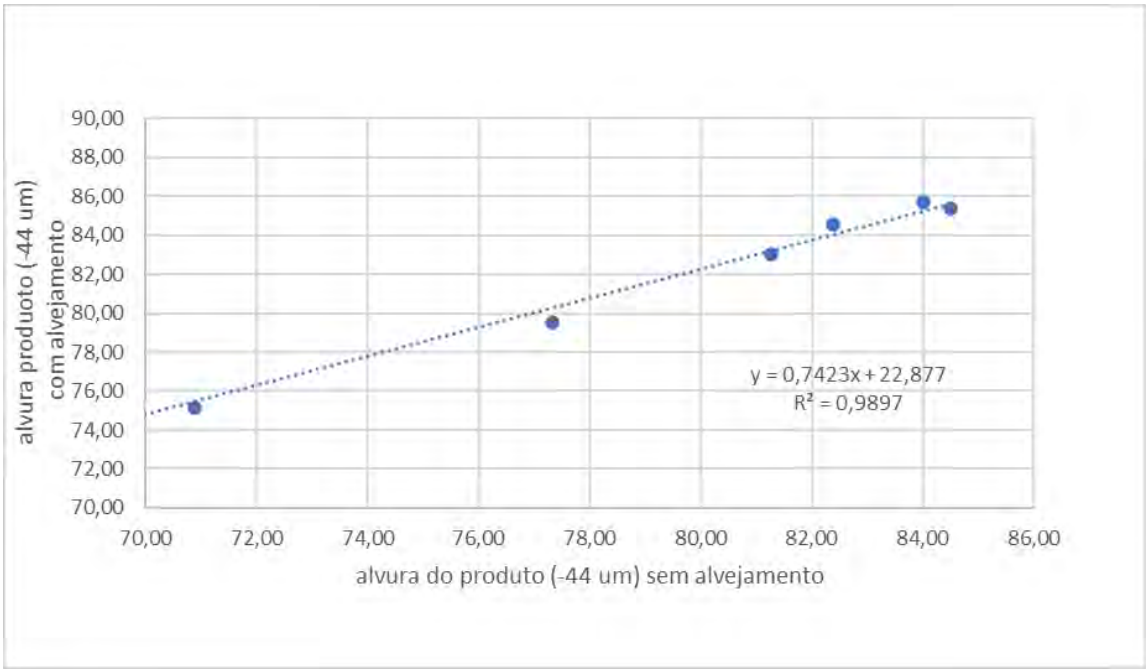
Os resultados mostram um ganho médio no índice de alvura de 2,68, com algumas amostras atingindo valores de alvura final na faixa de 85 a 86, conforme apresentado na Tabela 6.12.

Tabela 6.12: Resumo dos resultados testes alvejamento CETEM

Testes alvura	Testes alvura	DEP928	DEP929	DEP930	DEP931	DEP932	DEP933	DEP934	Média	Desvio padrão
Indice alvura IA (ISO)	ROM	67,4	70,88	77,33	84,5	81,26	84	82,38	78,25	6,22
	Fração (- 44 um)	68,02	71,1	76,52	83,24	81,9	83,97	82,45	78,17	5,94
	Ganho (desaeramento)	0,62	0,22	-0,81	-1,26	0,64	-0,03	0,07	-0,08	0,66
	Fração (- 44 um) (Nmag)	68,5	70,81	76,03	83,48	82,12	83,49	83,59	78,29	6,02
	Ganho (sep magnetica)	0,48	-0,29	-0,49	0,24	0,22	-0,48	1,14	0,12	0,55
	Fração (- 44 um (alvejada)	73,44	75,17	79,53	85,35	83	85,69	84,57	80,96	4,64
	Ganho (alvejamento)	4,94	4,36	3,5	1,87	0,88	2,2	0,98	2,68	1,49

O comportamento da alvura crua do ROM em relação a alvura da fração fina, após os processos de desareamento, separação magnética e alvejamento, pode ser visto na Figura 6.30

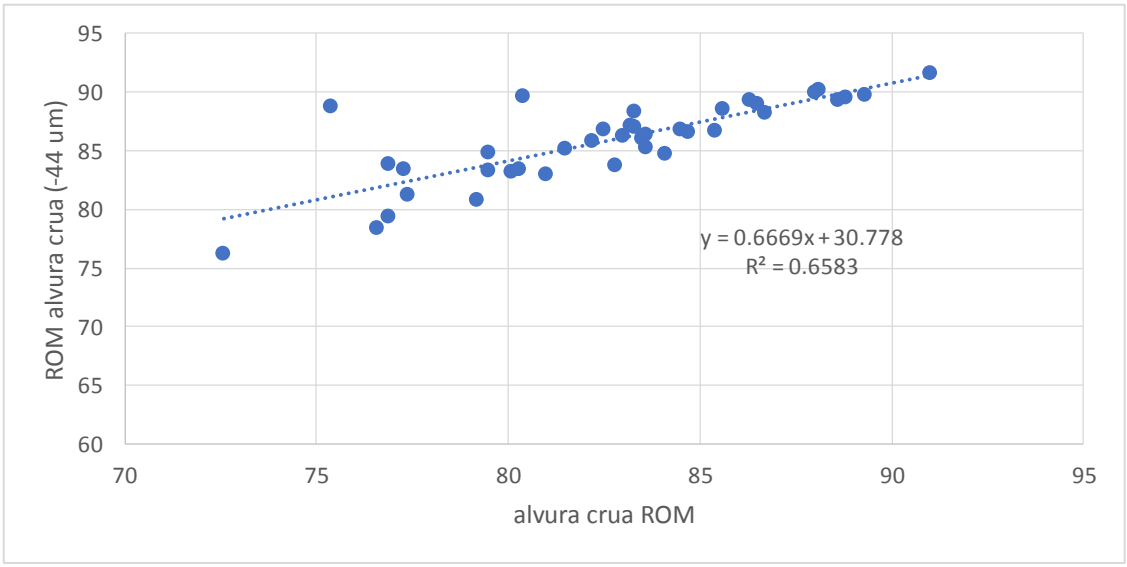
Figura 6.30: Testes de alvejamento CETEM



Acredita-se que estes resultados podem ser melhorados quando os testes de alvura forem realizados com o produto menor que 2 micrômetros e introduzidas algumas otimizações no processo, como por exemplo, o aumento do tempo de alvejamento de 2 para 3 horas, ou ajustes na dosagem de reagentes.

Outros resultados de alvura provenientes do banco de dados de sondagem mostram um comportamento da alvura crua do ROM em relação à alvura da fração fina (-44 µm), conforme apresentado na Figura 6.31.

Figura 6.31: Alvura crua do ROM em relação a alvura crua da fração (-44 um) em amostras de furos de sondagem



Por estes dados provenientes das sondagens, é possível estimar que a partir de um ROM com alvura 84 pode-se chegar a alvuras dos produtos na fração -44 micrômetros igual ou superior a 87. Isto sem levar em consideração o fato de que estes resultados podem ser melhorados, quando forem aplicados o alvejamento químico e o fracionamento do produto para a fração menor que 2 micrômetros.

6.6.4 Viscosidade e pH

Os ensaios de viscosidade, realizados com a fração grosseira (< 44 µm) mostraram ser este um depósito de caulim com baixa viscosidade e pH na faixa padrão(Tabela 6.13), mesmo considerando que valores maiores de viscosidade são esperados para as frações finas do caulim tipo *coating* (< 2 µm).

Tabela 6.13: Resumo dos resultados testes alvejamento CETEM

Produto (-44 um) Nmagn.	DEP928	DEP929	DEP930	DEP931	DEP932	DEP933	DEP934	Média	Desvio padrão
Viscosidade angular mPa.s (100 rpm)	4,023	4,09	4,275	4,519	4,658	3,761	4,695	4,29	0,33
pH	6,03	6,17	6,08	6,04	6,1	6,13	5,99	6,08	0,06

A comparação da qualidade dos produtos obtidas nos estudos de caracterização tecnológica, em relação àquelas especificações praticadas pelo mercado, não pode ser feita diretamente tendo-se em vista que estes estudos foram realizados com produtos mais grosseiros, ou seja, na fração

(< 44 µm). Entretanto, com base na tendências e expectativas destes testes, é coerente esperar que a partir de um ROM com alvura crua de 84 seja alcançada uma qualidade de produtos compatível com àquelas de mercado, quando o processo de alvejamento for direcionado somente para a fração (< 2 µm) e quando forem aplicados campos de intensidade mais elevados na separação magnética. Neste caso, para o projeto conceitual e em conformidade com as considerações anteriores, foi considerada a possibilidade de ser atendida a especificação, conforme apresentado na Tabela 6.14.

Tabela 6.14: Especificações de mercado

Produto	Alvura (ISO)	% Fe2O3	% TiO2	Granulometria	Viscosidade (mpa)
Amazon Plus [1]	86,86	1,72	0,98	80 a 100% < 2 um	max 200 (100 rpm)
Amazon Premium [1]	88,2	1,65	0,98	81 a 100% < 2 um	max 200 (100 rpm)
Amazon SB [1]	89,3	1,6	0,6	82 a 100% < 2 um	max 200 (100 rpm)
Caulim CPRM [2] (amostra DEP 931)	85,35	0,39	0,43	< 44 um *	4,0 (100 rpm)
Caulim CPRM [2] (Amostra DEP 933)	85,69	0,37	0,33	< 44 um *	4,0 (100 rpm)
Caulim CPRM (estudo conceitual)[3]	87,5 a 88,5	0,4 a 1,0%	0,4 a 1,0%	80 a 100% < 2 um	max 200 (100 rpm)
Filler (espec. geral) [4]	> 80%	< 1%	< 1%	50 a 70% < 2 um	Max. 500 (10 rpm)
Coating (espec. geral) [4]	> 85%	0,4 a 1,8%	0,4 a 1,6%	80 a 100% < 2 um	Max. 500 (10 rpm)

Notas:

(1) Usinas de beneficiamento minério do Brasil, CETEM.
(2) Relatório caracterização tecnológica caulim CPRM.
(3) Expectativa de especificação no estudo conceitual.
(4) Luz et al. 2003.

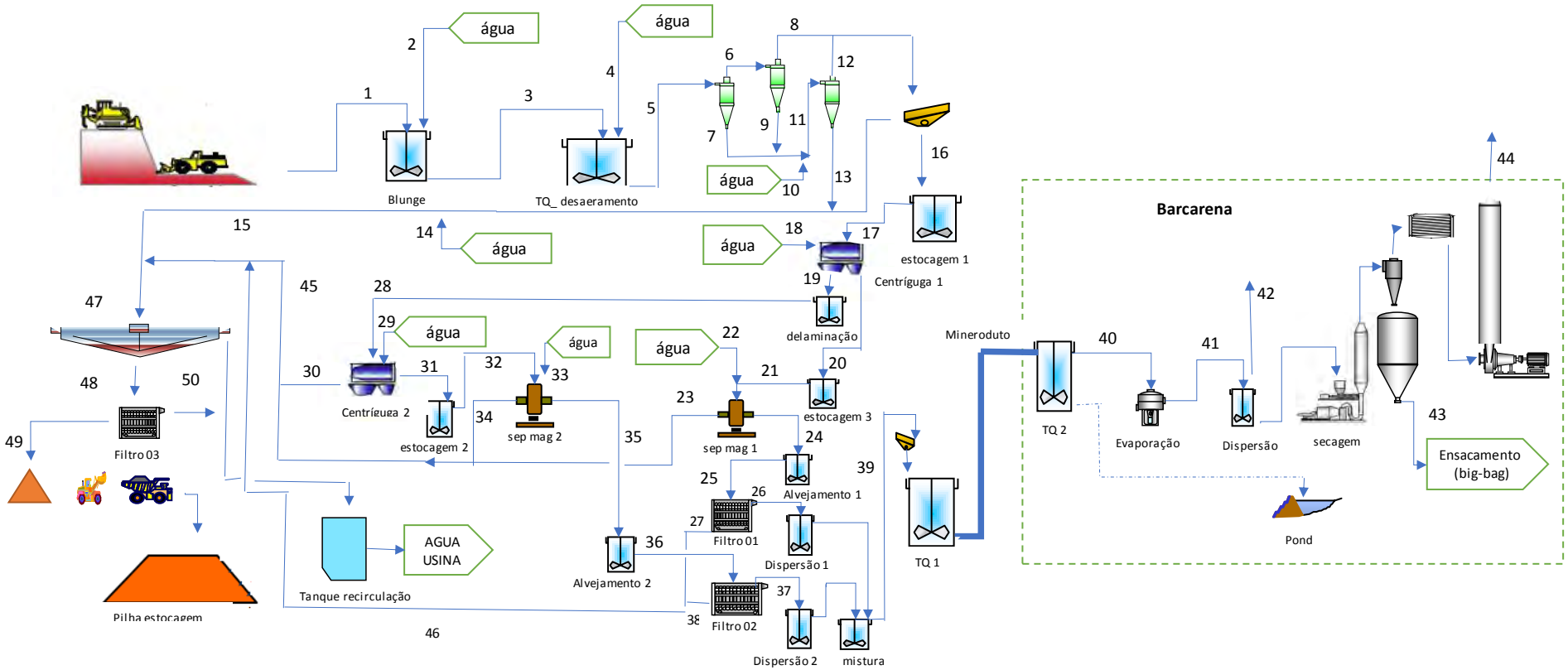
6.7 Beneficiamento

Neste estudo conceitual para o processamento do caulim da CPRM, é proposto o circuito de beneficiamento conforme apresentado no fluxograma simplificado da Figura 6.32. Estabeleceu-se como premissa um "CASO BASE" com uma produção de 750.000 tpa de caulim, sendo 80% caulim tipo *coating* e 20% de caulim tipo *filler*. As premissas **Recuperação** e **Disponibilidade** foram adotadas com base em análise dos dados de plantas similares e considerando a análise das características deste caulim, disponibilizadas nos relatórios de testes de caracterização tecnológicas. Para a estimativa de CAPEX e OPEX foram definidos os dados básicos apresentados na Tabela 6.15. As operações de beneficiamento serão realizadas próximo à mina e os produtos beneficiados serão transportados, via mineroduto, para Barcarena, onde se dará a secagem de parte dos produtos que serão disponibilizados para comercialização na forma seca (a granel ou em *big-bags*) ou na forma de polpa.

Tabela 6.15: Dados básicos da usina de beneficiamento

Regime operacional	Caso base	Unidade
Dias programados para produção/ano	365	dias
Horas programadas/dia	24	horas
Dias programados produção/semana	7	dias
Horas calendário/ano	8760	horas
Disponibilidade Física	98,0%	
Utilização Física	95,0%	
Rendimento operacional	93,1%	
Horas efetivas/ano	8.156	horas
ROM (bs)	1.359.927	tpa
Umidade	20,0%	%
ROM (bu)	1.699.909	tpa
Alimentação horária (bu)	208,4	tph
Aimentação horária (bs)	166,7	tph
Produto filtrado	92,0	
Produção de Caulim horária	92,0	tph (bs)
Produção de Caulim anual	750.000	tpa (bs)
Partição de produtos	80,0%	
Caulim tipo Coating	20,0%	
Caulim tip filler	20	
Produção caulim tipo filer	150.000	tpa
Produção caulim tipo coating	600.000	tpa
% produto seco	50,0%	

Figura 6.32: Fluxograma simplificado do circuito de beneficiamento

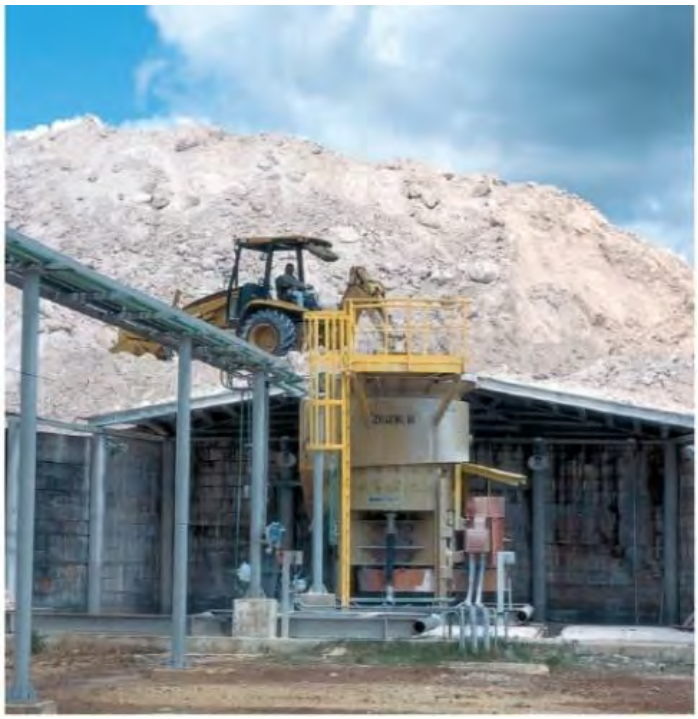


6.7.1 Descrição do Beneficiamento

Dispersão

O minério proveniente da frente de lavra é enviado para pilhas de estocagem, localizadas próximo aos *blungers*, posicionados mais próximos da frente de lavra e podem ser deslocados à medida do avanço da operação de lavra, de modo a minimizar a distância de transporte. De modo a facilitar a operação, são previstos 4 *blungers*, a blendagem dos diversos tipos de minérios e seus deslocamentos. Estes *blungers* são tanques misturadores de alta energia (200 kW), alimentados diretamente por meio de pás carregadeiras, que possibilitam a dosagem controlada do minério. Nesta etapa ocorrem o empolpamento por meio da adição controlada de água, a desagregação e dispersão das partículas de minério de caulim provenientes da mina por meio da regulagem do pH e a utilização do dispersante poliacrilato de sódio. A Figura 6.33 exemplifica este tipo de operação.

Figura 6.33: Alimentação do *blunger*



Desareamento

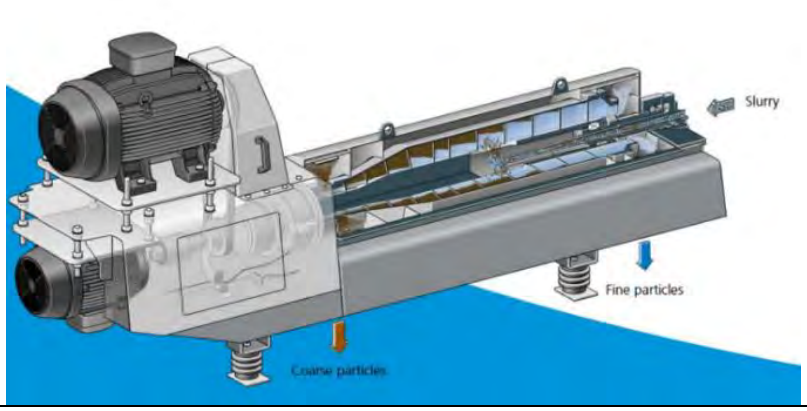
A polpa proveniente dos *blungers,* com 52% de sólidos, será enviada por meio de bombeamento para 3 tanques intermediários de estocagem que alimentam a etapa de desareamento. Nesta etapa, por meio de 3 estágios de ciclones de 6 polegadas de diâmetro, a polpa é separada dos contaminantes grosseiros, principalmente das partículas de areia com granulometria superior a 325 *mesh* ou 44 micrômetros. O *overflow* destes ciclones é direcionado por gravidade para um peneiramento de controle, em peneiras de alta frequência, para a retirada das partículas grossas (*by pass*). O *underflow* da ciclonagem, composto principalmente de areia, é enviado por meio de bombeamento para o espessamento e filtragem. Este rejeito poderá ser empilhado ou voltar

para as cavas. Esta operação de desareamento deverá estar posicionada num local intermediário entre a mina e usina e mais próxima das pilhas de estocagem de areia.

Centrifugação primária

A polpa, após passar pelo peneiramento de controle da etapa de ciclonagem, é estocada em um tanque agitado de 12m x 12m (diâmetro x altura), com tempo de estocagem de 4 horas, de forma a garantir uma alimentação constante, mesmo que haja uma interrupção da etapa anterior de desareamento. Em seguida, a partir deste tanque, a polpa é bombeada para a centrifugação primária. Esta etapa tem por finalidade, por meio de 4 centrifugas tipo *decanter* com aceleração de 5.000 g e capacidade unitária de 35 tph/cada, a classificação do minério *desareado* em duas frações: o caulim fino (< 2µm), denominado fino natural, que será enviada para as etapas de separação magnética primária e alvejamento primário. O caulim grosseiro (> 2 µm e < 44 µm) será enviado para uma etapa de delaminação. As centrífugas são equipamentos com descarga contínua, que face às elevadas forças centrífugas em que operam, permitem separações de grande eficiência em frações menores que 2 µm. A Figura 6.34 exemplifica este tipo de equipamento.

Figura 6.34: Centrifugação



Separação magnética primária

A polpa de caulim fino natural proveniente da centrifugação primária é enviada para a separação magnética primária, tendo passado anteriormente por um peneiramento de controle, em peneiras de alta frequência, com malha de 0,8 mm. Nesta separação magnética são utilizados 3 separadores magnéticos criogênicos, com matriz magnetizada com alto campo magnético (50.000 gauss) e baixo consumo de energia, onde os contaminantes ferríferos magnéticos e paramagnéticos são aderidos à matriz, com consequente aumento da alvura deste caulim. Estes equipamentos funcionam a úmido e o caulim é alimentado na forma de polpa. A Figura 6.35 ilustra o separador criogênico.

Figura 6.35: Separador magnético criogênico



Alvejamento primário

Nesta etapa, à polpa de caulim fino desmagnetizado são adicionados reagentes redutores e oxidantes como hidrossulfito de sódio (também chamado de dionito de sódio), ácido sulfúrico e sulfato de alumínio. Nesta operação, os contaminantes ferríferos são reduzidos de Fe^{3+} para Fe^{2+}, possibilitando o aumento da alvura do caulim. Esta operação é realizada em tanques agitados e a polpa, após passar por esta etapa, é enviada para a filtragem primária.

Filtragem primária

Nesta etapa, a polpa proveniente do alvejamento primário recebe um coagulante, normalmente sulfato de alumínio ou ácido sulfúrico, sendo então filtrada em filtros-prensa, com 70 placas de 2,5 x 2,5 m, tendo-se adotado uma taxa de filtragem de 100 kg/h/m^2, um pouco inferior àquela dos testes da Paulo Abib, tendo em vista que este caulim é mais fino em relação à amostra dos testes.

Redispersão Primária

O produto da filtragem primária, com aproximadamente 60% de sólidos, é enviado para um tanque dotado de agitação no qual é redisperso com poliacrilato de sódio. Em seguida, é enviado, por meio de bombeamento, para um tanque intermediário de mistura também com agitação mecânica, de modo que sejam preparadas, de acordo com as características desejadas pelo mercado, diversas composições do caulim natural e o caulim delaminado, que posteriormente será enviado para os tanques de estocagem do mineroduto.

Delaminação

A polpa de caulim grosso proveniente da centrifugação primária é enviada para 11 delaminadores, com capacidade unitária de 6 tph e providos de dois motores de 150 kW em cada tanque. Nesta etapa o caulim (>2µm) é submetido a um intenso processo de desplacamento das partículas lamelares de caulinita, com a utilização de intensa agitação dos

agregados de caulim, valendo-se de esferas de quartzo ou zircônia, com granulometria apropriada (1,19 a 0,59 mm). A delaminação é capaz de transformar os agregados de caulim em várias placas de pequena espessura.

Centrifugação secundária

A polpa proveniente do processo de delaminação, após passar pelo peneiramento de controle, é enviada para a centrifugação secundária. Nesta etapa, por meio de 2 centrifugas tipo *decanter*, com aceleração de 5.000 g e capacidade unitária de 35 tph/cada, é realizada a classificação do minério delaminado em duas frações: o caulim fino delaminado (< 2 µm), denominada **fino delaminado**, que será enviada para as etapas de separação magnética secundária e alvejamento secundário e o **produto grosseiro** (> 2 µm e < 44 µm), que será descartado para o rejeito ou, dependendo das características deste material, será blendado ao caulim fino, em proporções adequadas de modo a atingir a especificação do caulim tipo *filler*, sendo estocado em tanques separados para envio, na forma de bateladas, para o porto de Barcarena através do mineroduto.

Separação magnética secundária

A polpa de caulim fino delaminado proveniente da centrifugação secundária é enviada para a separação magnética secundária, tendo passado anteriormente por um peneiramento de controle, em peneiras de alta frequência, com malha de 0,8 mm. Nesta separação magnética são utilizados 2 separadores magnéticos criogênicos, com matriz magnetizada de alto campo magnético (50.000 gauss) e baixo consumo de energia, onde os contaminantes ferríferos magnéticos e paramagnéticos são aderidos à matriz, com consequente aumento da alvura deste caulim.

Alvejamento secundário

Nesta etapa são adicionados à polpa de caulim fino delaminado, reagentes redutores e oxidantes, tais como hidrossulfito de sódio (também chamado de dionito de sódio), ácido sulfúrico e sulfato de alumínio, à polpa de caulim fino delaminado e desmagnetizado, na qual os contaminantes ferríferos são reduzidos de Fe^{3+} para Fe^{2+}, possibilitando o aumento da alvura do caulim. Esta operação é realizada em tanques agitados e a polpa, após passar por esta etapa, é enviada para a filtragem secundária.

Filtragem secundária

Nesta etapa o caulim fino delaminado proveniente do alvejamento secundário recebe um coagulante, normalmente sulfato de alumínio ou ácido sulfúrico e então é filtrado em filtros-prensa, com 20 placas de 2,5 m x 2,5 m, tendo-se adotado para este tipo de caulim uma taxa de filtragem de 200kg/h/m^2, um pouco superior àquela do caulim fino primário.

Redispersão secundária

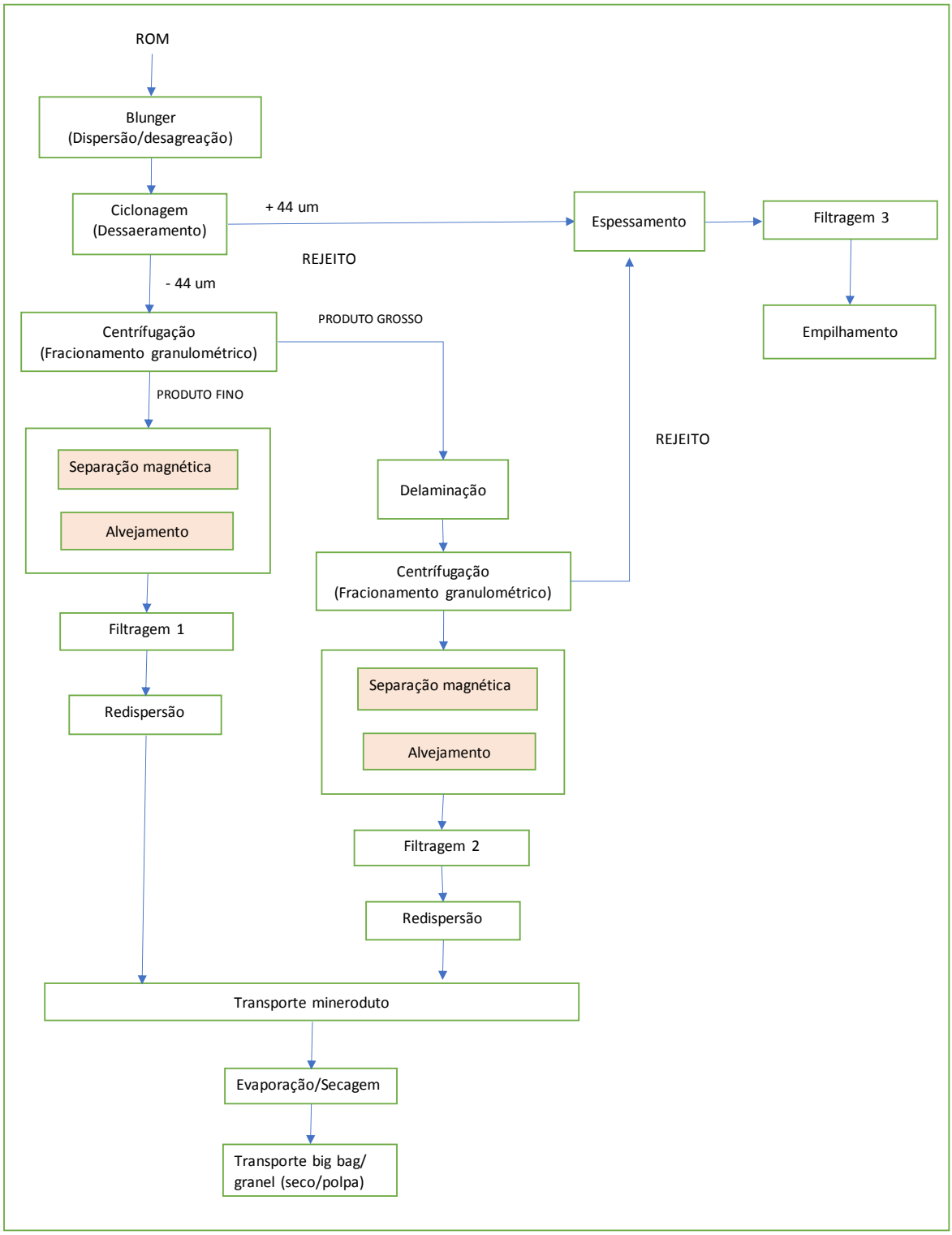
O produto da filtragem secundária, com aproximadamente 60% de sólidos é enviado para um tanque dotado de agitação, no qual é redisperso com poliacrilato de sódio e então enviado, por

meio de bombeamento, para um tanque intermediário de mistura, também com agitação mecânica. Assim, são preparados lotes de acordo com as características desejadas pelo mercado, com diversas composições de caulim natural e caulim delaminado, que posteriormente serão enviadas para os tanques de estocagem do mineroduto.

Processamento dos rejeitos

Os rejeitos provenientes das separações magnética primária e secundária, da centrifugação secundária e do desareamento da etapa de ciclonagem serão enviados por meio de bombeamento para um espessador com 90m de diâmetro, tendo-se adotado uma taxa de espessamento de 2,3 m^2/h x 24 horas, superior àquela dos testes da Paulo Abib, tendo em vista que nestes testes não foram utilizados floculantes. O produto deste espessamento, com cerca de 60% de sólidos, será enviado para uma etapa de filtragem de rejeitos, dotada de um filtro prensa de 23 placas de 2,5 m x 2,5 m, tendo sido adotada para esta filtragem uma taxa de filtragem de 400 kg/h x 24 horas. Este rejeito filtrado poderá ser enviado por meio de caminhões para pilhas de estocagem ou servir de material para preenchimento das cavas. A Figura 6.36 abaixo ilustra mais didaticamente estas etapas de beneficiamento.

Figura 6.36: Diagrama simplificado das etapas de beneficiamento do estudo conceitual



6.7.2 Mineroduto

As polpas dos produtos de caulim, tipo *coating* e tipo *filler*, após serem estocados em dois tanques agitados com dimensões de 12 m x 12 m, nos quais se adicionarão reagentes

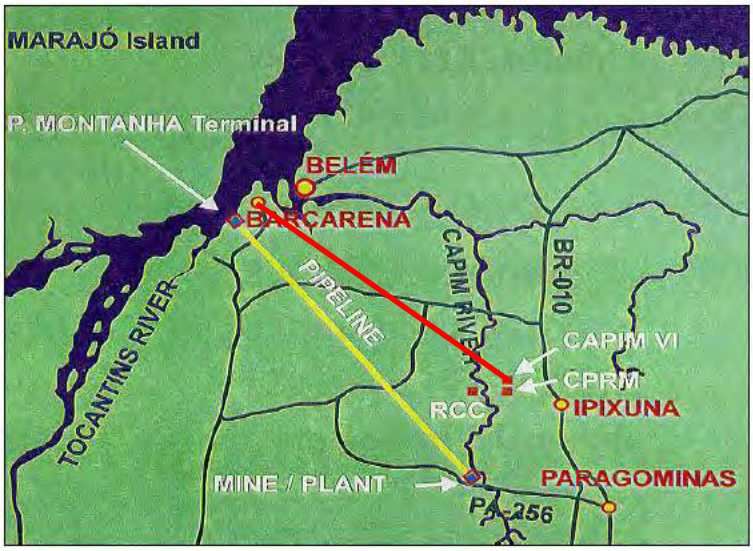
dispersantes e bactericidas de forma a preservar esta polpa durante o processo de bombeamento, em seguida serão bombeadas, por meio de um mineroduto, por uma distância de aproximadamente 160 km, até as instalações de evaporação e secagem, localizadas no porto de Barcarena, para estocagem em tanques e silos e envio para carregamento no porto. As premissas dos dados básicos adotadas para a estimativa deste bombeamento são apresentadas na Tabela 6.16.

Tabela 6.16: Dados básicos do Mineroduto.

Discriminação	unidade	Valor
Taxa horária	tph	153,27
Vazão bombeamento	usgpm	465,33
Vazão bombeamento	m3/h	105,76
Diâmetro tubo	pol	8,00
Peso total	t	9.273
Altura manométrica total	m	2.360
Potência (bombeamento)	kW	1.443
Potência (motor)	kW	1.804
Densidade específica	t/m3	2,64
% solidos (peso)	%	60
Velocidade	m/s	1,1
Distância bombeamento	km	160
Custo unitário tubo	US$/kg	3,36
Desnível	m	20
Horas operação anual	hs	8.156

Um esquema simplificado da rota deste mineroduto é apresentado na Figura 6.37. Este mineroduto terá um comprimento semelhante àquele da empresa Imerys.

Figura 6.37: Rota ilustrativa do mineroduto



Evaporação/secagem

Os produtos provenientes do mineroduto e recebidos em Barcarena serão estocados em 2 tanques agitados de 12 m x 12 m (altura x diâmetro), sendo em seguida enviados para dois evaporadores contínuos, que elevam a concentração de sólidos da polpa de 60% para 69%. Após estocagem em tanques, os produtos dos evaporadores são enviados para dois secadores tipo *spray dryer*, com redução da umidade do caulim para cerca de 1%. Inicialmente é previsto que 50% do produto será seco, embora o sistema tenha capacidade para secar 100% do material. Este material será estocado em silos para posterior carregamento no porto.

Premissas da recuperação para o balanço de massas

Foram definidas algumas premissas para a recuperação em massa, de acordo com os vários estágios de processamento, resultando numa recuperação global de 55%, adotada para o estudo conceitual. Estes dados estão apresentados na Tabela 6.17.

Tabela 6.17: Premissas da recuperação em massa

Etapa beneficiamento	Recuperação em massa
Blunger	100,0%
Desareamento	76,7%
Filtragem (1 e 2)	99,0%
Centrifugação (1)	55,0%
Separação magnética do conc. fino. C1	92,0%
Centrifugação (2)	55,0%
Separação magnética (2)	92,0%
Recuperação total	**55,2%**

Estas premissas tiveram por base uma comparação com outros dados operacionais disponíveis de outras plantas caulim (tabela 8) e apresentam uma similaridade com as recuperações do Projeto 1 (banco de dados da SAGA CONSULTORIA), no qual a recuperação no desareamento é mais elevada dadas as características do minério, com menor porcentagem de areia e recuperações no estágio de desareamento na faixa de 70%. Consequentemente, a recuperação global será mais alta, com valores acima de 50%. Observa-se que, no projeto Saga 2 e no projeto Kalamazon, as recuperações no desareamento são baixas, provavelmente porque o minério apresenta uma alta percentagem de areia, ou por não haver o aproveitamento do caulim grosseiro, com utilização da operação de delaminação. No caso do projeto conceitual da CPRM está prevista esta operação de delaminação, que possibilitará o aproveitamento da fração grossa de caulim e consequente aumento da recuperação em massa.

Tabela 6.18: Dados de recuperações de outros projetos de caulim.

Discriminação	SAGA ENGENHARIA (*)		Relatório N°39_ Perfil do Caulim			EIA/RIMA - DNPM	CPRM (**)
	Proj 1	Proj 2	RCC	PPSA	CADAM	Projeto Kalamazon	Estudo conceitual
ROM/Feed blunger (ton)	1.557.235	1.121.075	2.550.000	2.085.000	1.200.000	1.200.000	1.400.000
Kaolim (intermediario) (ton)	1.192.993	513.173	NA	NA	NA	420.000	1.064.000
Mine recovery (dessaeramento + centrifugação)	71,10%	40,00%	NA	NA	NA	35%	76%
Recup. separação magnética + laminação * + alvejamento)	82,70%	82,25%	NA	NA	NA	71%	72,63%
Recup. Total	**58,80%**	**32,90%**	**36,90%**	**30,65%**	**59,50%**	**25,00%**	**55,20%**
Produção final (filler + coating)	**915.654**	**368.834**	**940.900**	**639.000**	**714.000**	**300.000**	**750.000**

6.7.3 Balanço de massa

O balanço de massa utilizado para o dimensionamento preliminar dos equipamentos teve como referência as premissas de recuperações em massa, conforme descrito anteriormente e considerou as porcentagens de sólidos típicas para as operações unitárias de caulim. Este balanço é apresentado a seguir.

Tabela 6.19: Balanço de Massas

BASE CASE (A) BALANÇO DISPERSÃO - DESAREAMENTO

PARÂMETRO	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
	ALIM BLUNGER	ÁGUA BLUNGER	ALIM. DESAR.	ÁGUA DILUIÇÃO	ALIM. CICLONES PRIM.	O.FLOW CICLONES PRIM.	U.FLOW DESAR. PRIM.	O.FLOW CICLONES SECUND.	U.FLOW CICLONES SECUND.	ÁGUA DILUIÇÃO U.FLOW	ALIM. CILONES TERC.	O.FLOW CICLONES TERC.	U.FLOW CICLONES TERC.	ÁGUA DILUIÇÃO REJEITO	REJEITO FINAL	PRODUTO *DESAREADO*
SÓLIDOS (t/h)	166.75		166.75		166.75	**125.06**	41.69	**107.55**	17.51		59.20	9.17	50.02		50.02	**116.72**
ÁGUA (m³/h)	49.81	104.11	153.92	49.88	203.80	179.55	24.25	163.49	16.06	18.88	59.20	25.85	33.35	83.37	116.72	189.34
POLPA (t/h)	216.56		320.67		370.55	304.61	65.94	271.04	33.57		118.39	35.02	83.37		166.75	306.06
POLPA (m³/h)	112.97		217.08		266.97	**226.92**	40.04	**204.23**	22.69		81.62	29.32	52.30		135.67	233.55
DENS. POLPA (t/m³)	1.92		1.48		1.39	1.34	1.65	1.33	1.48		1.45	1.19	1.59		1.23	1.31
DENS. SÓLIDO (t/m³)	2.64		2.64		2.64	2.64	2.64	2.64	2.64		2.64	2.64	2.64		2.64	2.64
% SÓLIDOS EM PESO	77.00		**52.00**		**45.00**	41.06	63.22	39.68	52.16		**50.00**	26.19	**60.00**		**30.00**	38.14
% SÓLIDOS EM VOLUME	55.91		29.10		23.66	20.88	39.43	19.95	29.23		27.47	11.85	36.23		13.97	18.93

Tabela 6.20: Balanço de Massas (cont.)											
BASE CASE (A) BALANÇO CENTRIFIGAÇÃO 1 - SEP. MAGNÉTICA 1 - ALVEJAMENTO 1 - FILTRAGEM 1											
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	ALIM CENTRIF 1.	ÁGUA	GROSSOS CENTRIF.1	FINOS CENTRIF 1.	ALIM. SEP.MAG 1.	ÁGUA SEP MAG 1	MAG 1.	NÃO MAG 1.	ALVEJ./ ALIM. FILTR. 1	TORTA FILTR.1	FILTRADO1
SÓLIDOS (t/h)	116.72		52.53	64.20	64.20		5.14	59.06	59.06	58.47	0.59
ÁGUA (m³/h)	189.34	35.02	64.20	160.15	160.15	308.15	316.43	151.87	151.87	38.98	112.89
POLPA (t/h)	306.06		116.72	224.35	224.35		321.57	210.94	210.94	97.45	113.48
POLPA (m³/h)	234.06		84.09	184.47	184.47		318.38	174.25	174.25	61.13	113.12
DENS. POLPA (t/m³)	1.31		1.39	1.22	1.22		1.01	1.21	1.21	1.59	1.00
DENS. SÓLIDO (t/m³)	2.61		2.64	2.64	2.64		2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
% SÓLIDOS EM PESO	38.14		45.00	28.61	28.61		1.60	28.00	28.00	60.00	0.52
% SÓLIDOS EM VOLUME	19.11		23.66	13.18	13.18		0.61	12.84	12.84	36.23	0.20

Tabela 6.21: Balanço de Massas (cont.)											
BASE CASE (A) BALANÇO CENTRIFIGAÇÃO 2 - SEP. MAGNÉTICA 2 - ALVEJAMENTO 2 - FILTRAGEM 2											
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
	ALIM CENTRIF 2. (DELAMIN.).	ÁGUA	GROSSOS CENTRIF.2	FINOS. CENTRIF 2.	ALIM. SEP.MAG 2.	ÁGUA SEP MAG 2	MAG 2.	NÃO MAG 2.	ALVEJ./ ALIM. FILTR. 2	TORTA FILTR.2	FILTRADO 2
SÓLIDOS (t/h)	52.53		15.76	36.77	36.77		2.94	33.83	33.83	33.49	0.34
ÁGUA (m³/h)	64.20	15.76	19.26	60.70	60.70	176.49	150.20	86.98	86.98	22.33	64.66
POLPA (t/h)	116.72		35.02	97.46	97.46		153.14	120.81	120.81	55.81	65.00
POLPA (m³/h)	84.32		25.23	74.62	74.62		151.31	99.80	99.80	35.01	64.79
DENS. POLPA (t/m³)	1.38		1.39	1.31	1.31		1.01	1.21	1.21	1.59	1.00
DENS. SÓLIDO (t/m³)	2.61		2.64	2.64	2.64		2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
% SÓLIDOS EM PESO	45.00		45.00	37.72	37.72		1.92	28.00	28.00	60.00	0.52
% SÓLIDOS EM VOLUME	23.87		23.66	18.66	18.66		0.74	12.84	12.84	36.23	0.20

Tabela 6.22: Balanço de Massas (cont.)													
BASE CASE (A) EVAPORAÇÃO - SECAGEM									**ESPESSMENTO + FILTRAGEM REJEITO**				
	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
	ALIM MINEROD.	ALIM. EVAP.	PROD. EVAP.	AGUA EVAPOR.	PROD. SPRAY DRUER	AGUA EVAPOR.	REJ SM+CENT	REJ FILTRGS	ALIM ESPESS	UNDER ESPES.	PROD FILT REJ	OVER ESP.	AGUA RECIRC
SÓLIDOS (t/h)	91.96	91.96	91.96	0.00	91.96	0.00	23.84	0.93	74.79	75.72	75.72	0.00	0.00
ÁGUA (m³/h)	61.31	61.31	41.32	19.99	5.87	35.45	485.89	177.55	780.17	50.48	18.93	729.69	761.24
POLPA (t/h)	153.27	153.27	133.28	19.99	97.83	35.45	509.73	178.48	854.95	126.20	94.65	729.69	761.24
POLPA (m³/h)	96.14	96.14	76.15	19.99		35.45	494.92	177.90	808.49	79.16	47.61	729.69	761.24
DENS. POLPA (t/m³)	1.59	1.59	1.75	1.00		1.00	1.03	1.00	1.06	1.59	1.99	1.00	1.00
DENS. SÓLIDO (t/m³)	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
% SÓLIDOS EM PESO	60.00	60.00	69.00	0.00	94.00	0.00	4.68	0.52	8.75	60.00	80.00	0.00	0.00
% SÓLIDOS EM VOLUME	36.23	36.23	45.74	0.00		0.00	1.86	0.20	3.63	36.23	60.24	0.00	0.00

6.7.4 Estimativa de CAPEX

Equipamentos da usina

Para esta estimativa fez-se um dimensionamento preliminar dos principais equipamentos de processo, cujos preços foram obtidos por meio de banco de dados de equipamentos similares, ou fatorados para ajuste de capacidade. O quantitativo dos equipamentos e os seus respectivos preços são apresentados na Tabela 6.23.

Tabela 6.23: Lista de equipamentos de processo e estimativa de preços da usina

EQUIPAMENTO	CARACTERÍSITICAS	QUANT.	US$
Blunger	conjunto móvel, dimensões 2,44 m diâmetro x 2,34 altura (3 em operação e 1 reserva)	4	240.990
Tanque Desareamento	dimensões 6,5 m x 6,0 m , tempo residencia 110 min	3	791.559
Bateria de hidrociclones primario	conjunto com 19 ciclones, diâmetro 6 pol	1	157.296
Bateria de hidrociclones secundario	conjunto com 14 ciclones, diâmetro 6 pol	1	118.539
Bateria de hidrociclones terciario	conjunto com 7 ciclones, diâmetro 6 pol	1	56.290
Centrífugas primárias	capacidade unitária 35 tph (914 x 2438 mm) 5000 g	4	2.379.642
Delaminador de grossos	capacidade 6 tph, com dois motores de 200 cv	11	1.216.168
Centrífugas secundárias	capacidade unitária 35 tph (914 x 2438 mm) 5000 g	2	1.070.839
Separador magnético primário	separador magnético criogênico 50.000 gauss, cap. 25 tph	3	7.168.506
Separador magnético secundário	separador magnético criogênico 50.000 gauss, cap. 25 tph	2	4.105.599
Filtro prensa primário produto	Filtro prensa, placas 2,5 m x 2,5, 70 placas	1	3.519.807
Filtro prensa secundário produto	Filtro prensa, placas 2,5 m x 2,5, 20 placas	1	1.561.405
Filtro prensa rejeito	Filtro prensa, placas 2,5 m x 2,5, 23 placas	1	1.679.984
Evaporador (sistema completo)	Evaporador para caulim capacidade 10 t/h agua evaporada	2	2.643.020
Secador Spray Dryer (sistema completo)	Secador tipo spray drayer capacidade 15 m3/h agua evaporad	2	10.047.846
Transportadores correia descarga filtros	600 mm x 8 m	3	15.600
Sistema de preparação e dosagem reagentes	Composto de tanques, bombas e misturadores	1	139.500
Peneiras de proteção	1.067 x 2.743mm - alta frequência	6	136.000
Bombas de polpa	Bombas Centrífugas em diversos tamanhos		923.022
Tanque estocagem produto desaerado	tanques (diâm 12 m x 12 m), 1360 m3	1	877.820
Tanques e caixas de polpa	diâmetro 4,4 x altura 4,8 volume 51 m3	21	563.178
Tanques de água recirculada	dimensão 12 m x 12 m, volume = 1400 m3	2	1.555.633
Espessador de rejeito	diâmetro 90 m	1	1.919.425
Sistema de ensacamento e manuseio de bags	conjunto completo para bags 1 ton	1	400000
Conjunto de Miscelâneas		1	671.160
TOTAL EQUIPAMENTOS			43.958.828

Mineroduto

Para a estimativa do Capex do mineroduto (Tabela 6.24), com base nas premissas do dimensionamento, determinou-se o custo da tubulação e calculou-se o restante dos custos com a utilização de alguns índices obtidos de outros projetos semelhantes.

Realizou-se uma comparação deste custo do estudo conceitual em relação a valores de referência disponíveis de outros projetos (Tabela 6.25). Estes índices foram colocados na mesma base de comparação em US$/pol/km.

Tabela 6.24: Estimativa de Capex do mineroduto

Discriminação	Índice	Valor US$
tubulação		31.156.177
02 Tanques Alim. Mineroduto (12 m x 12 m	5,62%	1.750.000
2 Bombas de Carga Mineroduto	3,85%	1.200.000
2 Bombas Mineroduto (deslocamento positi	3,64%	1.133.756
02 Tanques Receb.. Mineroduto (12 m x 12	5,62%	1.750.000
válvula e acessórios	25,67%	7.998.402
Infraestrutura (serviços + instal. Tubos, et	86,00%	26.794.312
Elétrica (materiais + montagem)	14,02%	4.368.749
automação (materiais + montagem)	6,48%	2.017.420
Concreto e estrutras + drenagem + regula	5,60%	1.744.898
Fundações e pilares	3,91%	1.217.292
Instalações de equipamentos	4,55%	1.418.879
Civil - prédios	1,08%	335.139
Estruturas metálicas + estruturas especiais	2,24%	698.624
Equipamentos de Telecomunicações	5,46%	1.699.923
Instalações temporárias	0,31%	96.584
Mobilização e desmobilização	0,45%	141.299
Projeto básico	4,23%	1.319.060
Projeto detalhado	9,44%	2.940.991
Gerenciamento da construção	15,00%	4.673.427
sub-total		94.454.931
Contingências	20%	18.890.986
Total		**113.345.917**

Tabela 6.25: Comparativo dos índices de investimento para o mineroduto

Projeto	extensão	Região	Diâmetro	índice custo (US$/pol/km)	Fase	Data
Potássio	4 7 km	Nordeste	40 pol	61.400	Viabilidade final	2011
Níquel	180 km	Norte	18 pol	91.665	Pré-viabilidade	2003
CPRM	160 km	Norte	8 pol	88.551	conceitual	2020

Nota: os valores foram atualizados pela variação do dólar para a mesma data.

Capex total

O Capex total (Tabela 6.26) foi avaliado tendo por base a valoração do investimento dos principais equipamentos de processo e, em seguida, foram calculados os custos diretos e indiretos, tais como, calderaria, montagem, arquitetura, engenharia, gerenciamento, etc.,

através de índices sobre o custo dos equipamentos de processo, índices estes normalmente aceitos para empreendimentos de mineração.

Para os itens de infraestrutura complementar, tais como linha de transmissão, subestação principal, compra de terrenos, instalações portuárias, *ponds* de emergência para descarga do mineroduto, estrada de acesso principal, por não se dispor de levantamentos e informações locais, definiu-se um valor denominado “verba”, que entendeu-se razoável para cobrir estes investimentos.

Tabela 6.26: Capex total da usina e infraestrutura complementar

DISCRIMINAÇÃO	Índice		US$
CUSTOS DIRETOS			**128.359.778**
Equipamentos mecânicos **			43.958.828
Calderaria e pequenas estruturas	10%	s/equip. mecan.	4.395.883
Tubulação/esistemas	25%	s/equip. mecan.	10.989.707
Elétrica	25%	s/equip. mecan.	10.989.707
Instrumentação/automação	10%	s/equip. mecan.	4.395.883
Estrutura metálica	20%	s/equip. mecan.	8.791.766
Concreto	45%	s/equip. mecan.	19.781.473
Arquitetura	8%	s/equip. mecan.	3.516.706
Terraplenagem	5%	s/equip. mecan.	2.197.941
Miscelâneas	2%	s/equip. mecan.	879.177
Montagem eletromecância	35%	s/equip. mecan.	15.385.590
Sobressalentes	2%	s/equip. mecan.	879.177
Fretes	5%	s/equip. mecan.	2.197.941
CUSTOS INDIRETOS			**55.172.725**
Supervisão e montagem	2%	s/equip. mecan.	879.177
Seguro de engenharia	1,50%	s/custos diretos	2.567.196
First fill	5%	s/custos diretos	1.925.397
Comissionamento e treinamento	1%	s/custos diretos	6.417.989
Engenharia	7%	s/custos diretos	1.283.598
Gerenciamento	8%	s/custos diretos	8.985.184
Diligenciamento e inspeção	1%	s/custos diretos	10.268.782
Pré-operação	5%	s/custos diretos	1.283.598
Mobilização, desmob e canteiro obras	15%	s/mont. Eletromec.	2.307.838
Custos administ. E outros	2%	s/custos diretos	19.253.967
CUSTO TOTAL			**183.532.502**
Contingências	20%	s/custo total	36.706.500
CAPEX USINA TOTAL COM CONTINGÊNCIA			**220.239.003**
CAPEX MINERODUTO COM CONTINGÊNCIA			**113.345.917**
CAPEX TOTAL (USINA + MINERODUTO)			**333.584.920**
INFRAESTRUTURA COMPLEMENTAR			**70.800.000**
Linha de transmissão		Verba	10.800.000
Subestação principal		Verba	9.600.000
Compra terreno (porto)		Verba	8.000.000
Instalações portuárias		Verba	24.000.000
Pond de descarga mineroduto porto		Verba	800.000
Estrada de acesso principal		Verba	9.600.000
Silos no porto		Verba	8.000.000
CAPEX TOTAL (USINA+MINERODUTO+INFRA)			**404.384.920**

Realizou-se uma comparação do investimento do projeto conceitual em relação a outros projetos de caulim, cujos dados estão disponíveis na literatura. Esta comparação foi realizada

por meio do índice de investimentos (US$/t produto). Estes valores são apresentados na Tabela 6.27.

Tabela 6.27: Comparação dos índices de investimento

Índice de investimento	Valor (US$/t produto)	Fonte	Observações
Projeto Kalamazon (1)	350	EIA/RIMA - Projeto Kalamazon	não utiliza mineroduto de longa distância
Projetos Caulim Brasil (Green Fields)	500	MME (J.Mendo Consultoria - Relatório Técnico 39)	não informa se está incluído o mineroduto
Projeto Conceitual CPRM	539	Estudo conceitual Rio Capim CPRM	com mineroduto de 160 km
Projeto Bovill Kaolin I-Minerals	450	NI 43-101 Updated Prefeasibility	projeto com flotação e moagem, sem mineroduto

Observa-se que o índice do projeto conceitual é um pouco mais elevado em relação aos índices dos outros projetos, ora apresentados. Entretanto, convém levantar algumas observações: o projeto Kalamazon, cujo índice de investimento é mais baixo, é um projeto mais simples, com um alto percentual de areia, que resulta numa menor massa a ser tratada nas etapas de separação magnética e centrifugação e, portanto, com redução do número destes equipamentos. Tampouco utiliza o processo de delaminação, o que justifica este investimento mais baixo. O índice "Projetos Caulim do Brasil", conforme apresentado no relatório Técnico 39 do MME, é um índice genérico sem detalhamento das operações unitárias envolvidas, inclusive se o mineroduto está contemplado. O índice do projeto Bovil da I-Mineral, um projeto com a utilização das operações de flotação e moagem, igualmente não contempla o investimento de mineroduto de longa distância.

6.7.5 OPEX do Beneficiamento

Para a estimativa do custo operacional do beneficiamento foram identificados os principais itens que compõem este custo, conforme relacionados abaixo.

- Mão de obra usina
- Mão de obra G&A
- Despesas G&A
- Reagentes
- Energia
- Manutenção
- Combustíveis
- Manuseio de rejeito
- Mineroduto

A estimativa de cada um destes itens foi detalhada, conforme as premissas, nos dados e tabelas relacionados a seguir:

Mão de obra usina

Para o item mão de obra, definiram-se algumas faixas salariais consideradas como compatíveis para a região. No cálculo do custo anual estão incluídos no salário, conforme o caso, adicional de periculosidade de 30%, adicional noturno e 120% de encargos.

Tabela 6.28: Mão de Obra Usina

LOCAL	FUNÇÃO	Turno	Qtd	Salário R$	Custo anual R$	Custo anual US$
BENEFICIAMENTO (OPERAÇÃO)	Gerente de produção	1	1	20000	533000	100.566
	Operador de Blunger	3	4	5000	615410	116.115
	Operador Desareamento/Reagentes	3	4	5000	615410	116.115
	Operador Bombeamento	3	4	5000	615410	116.115
	Supervisor turno (blunger/desaeramento)	3	4	5000	615410	116.115
	Operador Centrífuga	3	4	5000	615410	116.115
	Operador Separação Magnética	3	4	5000	615410	116.115
	Operador reagentes	3	4	5000	615410	116.115
	Operador Branqueamento	3	4	5000	615410	116.115
	Operador Filtragem	3	4	5000	615410	116.115
	Auxiliares	3	8	3000	962492	181.602
	Técnico de Produção	1	1	8000	216200	40.792
	Supervisor usina	3	4	8000	936656	176.728
	Supervisor de Laboratório	1	1	5000	137000	25.849
	Laboratorista	3	8	5000	1390820	262.419
	Engenheiro de produção	1	1	15000	401000	75.660
	Engenheiro de Processo	1	1	15000	401000	75.660
	Sub-Total		**61**			**1.984.313**
PORTO (OPERAÇÃO)	Operador do Evaporador	3	4	5000	615410	116.115
	Supervisor turno (bllunger/desaeramento)	3	4	5000	615410	116.115
	Operador do Spray Dryer	3	4	5000	615410	116.115
	Operador Silos	3	4	5000	615410	116.115
	Operador Caldeira	3	4	5000	773810	146.002
	Operador carregamento	3	4	5000	615410	116.115
	Técnico de Produção	1	1	8000	216200	40.792
	Sub-Total		**25**			**767.370**
TOTAL (operação)			**86**			
MANUTENÇÃO (GERAL)	Gerente engenharia	1	1	15000	401000	75.660
	Gerente manutenção	1	1	15000	401000	75.660
	Técnico mecânico	1	1	5000	137000	25.849
	Técnico eletricista	1	1	5000	137000	25.849
	Inspetor mecânico	1	1	3500	97400	18.377
	Programador/planejador	1	1	3000	84200	15.887
	Engenheiro mecânico	1	1	15000	401000	75.660
	Engenheiro eletricista	1	1	15000	519800	98.075
	Supervisor manut. Mecânica	1	1	5000	137000	25.849
	Supervisor manut. Elétrica	1	1	5000	176600	33.321
	Supervisor de oficina	1	1	5000	137000	25.849
	Instrumentistas	1	2	5000	363200	68.528
	Eletricistas	1	4	5000	608000	114.717
	Soldadores/caldeireiros	1	2	5000	284000	53.585
	Mecânicos I	1	4	5000	608000	114.717
	sub-total		**23**			
MANUTENÇÃO (TURNO)	Técnico Mecânico/benef.	3	4	5000	615410	116.115
	Mecânico/benef.	3	4	5000	615410	116.115
	Soldador/benef.	3	4	5000	615410	116.115
	Téc. Instrumentação/benef.	3	4	5000	773810	146.002
	Eletricista/benef.	3	4	5000	773810	146.002
	Técnico Mecânico/porto	3	4	5000	615410	116.115
	Mecânico/porto	3	4	5000	615410	116.115
	Soldador/porto	3	4	5000	615410	116.115
	Téc. Instrumentação/porto	3	4	5000	773810	146.002
	Eletricista/porto	3	4	5000	773810	146.002
	sub-total		**40**			**2.128.283**
					Total	**4.879.966**
					US$/t	**6,51**

Tabela 6.29: Mão de obra G&A

FUNÇÃO	Turno	Qtd	Salário R$	Custo anual R$	Custo anual US$
Gerente Geral	1	1	25.000	665.000	125.472
Secretária	1	1	2.500	71.000	13.396
Auxiliares Administrativos - ADM	1	1	1.200	36.680	6.921
Gerente de SSO	1	1	14.000	374.600	70.679
Supervisor de SSO e MA	1	1	8.000	216.200	40.792
Supervisor de Medicina e Saúde	1	1	5.000	137.000	25.849
Supervisor de MA	1	1	8.000	216.200	40.792
Engenheiro de Segurança	1	1	10.000	269.000	50.755
Engenheiro de Meio Ambiente	1	1	10.000	269.000	50.755
Técnico de Meio Ambiente	1	1	3.500	97.400	18.377
Médico do Trabalho	3	2	10.000	713.810	134.681
Enfermeiro do trabalho	3	1	5.000	178.453	33.670
Técnico de enfermagem	3	1	3.500	126.417	23.852
Técnico de Segurança ADM	1	2	3.500	204.800	38.642
Analista de Meio Ambiente	1	2	5.000	284.000	53.585
Gerente de Administração e Finanças	1	1	10.000	269.000	50.755
Supervisor de Suprimentos	1	1	8.000	216.200	40.792
Analista de Suprimentos	5	4	5.000	608.000	114.717
Supervisor de RH	1	4	8.000	924.800	174.491
Analistas de RH	1	4	5.000	608.000	114.717
Supervisor de Gestão Economica	1	4	8.000	924.800	174.491
Analistas de Gestão Economica	5	4	5.000	608.000	114.717
Supervisor de Tributação	1	4	8.000	924.800	174.491
Analista de Tributação	2	1	5.000	137.000	25.849
					1.713.238
TOTAL		**45**			
				Total	**1.713.238**
				US$/t	**2,28**

Despesas de G&A

Os valores deste item foram estimados por **verba anual**, considerada razoável dado o porte do empreendimento e baseada em projetos similares. Incluído no item **despesas administrativas**: materiais de limpeza e higiene, apoio à comunidade, compensação ambiental, atividades culturais, correios e malotes, cartórios, materiais de escritório e verba de representação. Para o item **seguro** adotou-se um percentual de 0,0955% sobre o valor do investimento em equipamentos. Para o item **combustíveis**, considera-se o combustível para os veículos leves.

Tabela 6.30: Despesas G&A

Discriminação	**Verba anual R$**	
Locação de Veículos	350.000	
Combustíveis	40.000	
Seguro	41.981	
Manutenção e limpeza	480.000	
Viagens (nacionais/internacionais)	300.000	
Manutenção de vias	200.000	
Vigilância patrimonial	500.000	
Dispositivos de segurança	25.000	
Análises laboratoriais	50.000	
Consultorias externas	70.000	
Despesas adrministrativas	400.000	
Manutenção de TI e comunicção	50.000	
Despesas com telefones	10.000	
Servidão de terras		
Total	2.516.981	R$
	474.902	US$
	0,63	US$/t

Reagentes

Para o item **reagentes** foram considerados consumos específicos típicos para operação de caulim desta natureza e adotados os preços de acordo com dados médios de mercado.

Tabela 6.31: Reagentes					
REAGENTES	**Consumo específico kg/t produto**	**Preço (US$/kg)**	**Consumo anual (t)**	**Custo anual US$**	**Aplicação**
Poliacrilato de Sódio	10,000	0,920	7.500	6.900.000	Dispersão, desaeramento, delaminação, filtragem, secagem, estocagem polpa)
Barrilha leve	2,350	0,300	1.763	528.750	Dispersão, desaeramento, filtragem, estocagem, ETA
Sulfato de Alumínio	1,768	0,170	1.326	225.420	Alvejamento
Sulfato de Alumínio	0,442	0,170	332	56.355	ETA
Acido sulfurico	0,300	0,200	225	45.000	Alvejamento
Bronopol	0,150	5,000	113	562.500	Estocagem de polpa
Hidrosulfito de sodio	2,250	0,270	1.688	455.625	Alvejamento
Hipoclorito de cálcio	0,050	1,100	38	41.250	ETA
Carboxil Metil celulose	0,500	2,500	375	937.500	Estocagem de polpa
Peróxido de hidrogênico	0,500	0,450	375	168.750	Estocagem de polpa
Total				**9.921.150,000**	
				13,23	**US$/t**

Energia

O custo de energia foi estimado a partir da demanda, estimada pela lista de equipamentos e considerando um custo unitário de energia da região. Neste custo não está incluído o custo de energia do mineroduto, computado separadamente.

Tabela 6.32: Energia

Discriminação	Valor	Unidade
Demanda	5952	kW
Fator de carga	85%	
consumo específico	55,01	kWh./t produto
Consumo anual	41.260.609	kWh
Consumo anual	41.261	MWh
Custo da energia	494,21	R$/Mwh
Gasto anual	20.391.406	R$
	3.847.435	US$
Custo unitário	5,13	US$/t produto

Manutenção

Para este item foi considerado um índice de 10% sobre o investimento em equipamentos, que totaliza US$ 4.395.883 anual ou 5.86 US$/t de produto.

Combustível

Para o item combustível foi considerada a utilização de óleo 1A, com as características conforme apresentado abaixo:

Tabela 6.33: Consumo Combustível

Óleo combustível	tipo	1A
densidade	0,957	t/m3
Poder calorífico inferior	9650	Kcal/kg
Preço	1.600	R$/m3
	1.672	R$/t

Nestas condições, os consumos específicos para as operações de evaporação e secagem e custos totais por tonelada são apresentados a seguir.

Tabela 6.34: Custos Combustível

SECAGEM	**Valor**	**Unidade**
porc seco	50,00%	% da produção
Produção	750.000	t
massa seca	375.000	t
% solidos alim	69,00%	
umidade do produto	1,00%	
água alim	168.478	t
água produto	3.788	t
água evaporada	164.690	t
índice especifico	950	kcal/kg agua evaporada
Consumo energético	156.455.863	Mcal
consumo combustivel	16.213	t
Custo	27.106.446	R$
	5.114.424	US$
Consumo específico	43,23	kg óleo/t produto seco
EVAPORAÇÃO	**Valor**	**Unidade**
porc evaporada	100,00%	
Produção	750.000	t
Massa evaporada	750.000	t
% solidos alim	60,00%	
% solidos produto	69,00%	
água evaporada	163.043	t
consumo energético	154.891.304	Mcal
consumo combustivel	16.051	t
Custo	26.835.381	R$
	5.063.279	US$
cosumo específico	21,40	kg óleo/t produto seco
Combustível total	**10.177.703**	**US$/ano**
	13,57	**US$/t**

6.7.6 OPEX Mineroduto

Para a estimativa do custo operacional do mineroduto foram considerados os itens energia, reagentes, mão de obra e manutenção, conforme apresentados nas tabelas a seguir:

Energia

Tabela 6.35: Custos com Energia

Discriminação	Valor	Unidade
Potência	1.443	kWh
Demanda	11.771.440	kWh-ano
Tarifa	494,21	R$/MWh
Custo	5.817.564	R$
Total	1.097.654	US$/ano

Reagentes

Tabela 6.36: Reagentes (Mineroduto)

Discriminação	Consumo específico kg/t produto	Preço (US$/kg)	Consumo anual (t)	Custo anual US$	Aplicação
Sulfato de Alumínio	2,210	0,170	1.658	281.775	Mineroduto
Glutaraldeído	0,640	2,600	480	1.248.000	Mineroduto, estocagem de polpa
Cloreto de zinco	0,010	2,500	8	18.750	Mineroduto
Custo total				1.548.525	

Mão de obra

Tabela 6.37: Mão de obra (Mineroduto)

Discriminação	Qtde	Custo anual US$
Operador bombas (carregameto)	4	116.115
Auxiliar carregamento	4	90.801
Operador tanques recebimento	4	116.115
auxiliar recebimento	4	90.801
Custo total		413.832

Manutenção

Tabela 6.38: Custo operacional de manutenção

Discriminação	Custo anual US$	Índice	Observação
Manutenção bombas, tanques, valvula	604.108	5,00%	(s/investimento bombas, tanques, valvulas)
Manutenção tubos	155.781	0,50%	(s/investimento tubos)
Limpeza e supervisão acessos	300000	verba	
Total manutenção	1.059.889		

Custo operacional do mineroduto

Tabela 6.39: Custo operacional do mineroduto

Custo total mineroduto	4.119.900	US$
	5,49	US$/t tranportada

6.7.7 Deposição de rejeitos

Para a deposição de rejeito foi adotada uma distância média de transporte de 4km e os custos estimados de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 6.40: Custo operacional de deposição de rejeitos

Discriminação	Valor	Unidade
Massa rejeitos	94,65	tph (bu)
Massa anual rejeitos	771.897	tpa
Custo carregamento	0,15	US$/t
Distância transporte	4	km
Custo unit.transporte	0,08	US$/t/km
Custo transporte + espalhamento	0,32	US$/t
Custo total (carga + transporte)	0,47	US$/t
Custo total	362.792	US$/ano
	0,48	US$/t produto

6.7.8 Ensacamento

Para este item foi considerado que somente 5% da produção será ensacada, sendo o restante da produção comercializado a granel seco ou na forma de polpa. O custo estimado para este item é o seguinte:

Tabela 6.41: Custo Ensacamento

Premissas	Valor	Unidade
% produção ensacada	5%	
Massa ensacada	37.500	tpa (bs)
Custo bag 1 ton	2,52	US$/bag
custo bags	94.500	US$
Custo unit. ensacamento + carregamento	0,1	US$/bag
Custo ensac + carregamento	3750	US$
Custo total	98.250	US$/ano
	0,13	US$/t

6.7.9 OPEX - BENEFICIAMENTO

O custo operacional total do beneficiamento, conforme estimado nos itens precedentes, é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 6.42: Operacional total

Discriminação	US$/ano	US$/t produto
OPEX - Usina	**39.991.218**	**53,32**
Mão obra usina	4.879.966	6,51
Mão obra G&A	1.713.238	2,28
Despesas G&A	474.902	0,63
Reagentes	9.921.150	13,23
Energia	3.847.435	5,13
Manutenção	4.395.883	5,86
Combustíveis	10.177.703	13,57
Mineroduto	4.119.900	5,49
Manuseio rejeitos	362.792	0,48
Ensacamento bags	98250	0,13

7 Programa mínimo de pesquisa geológica

7.1 Introdução

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

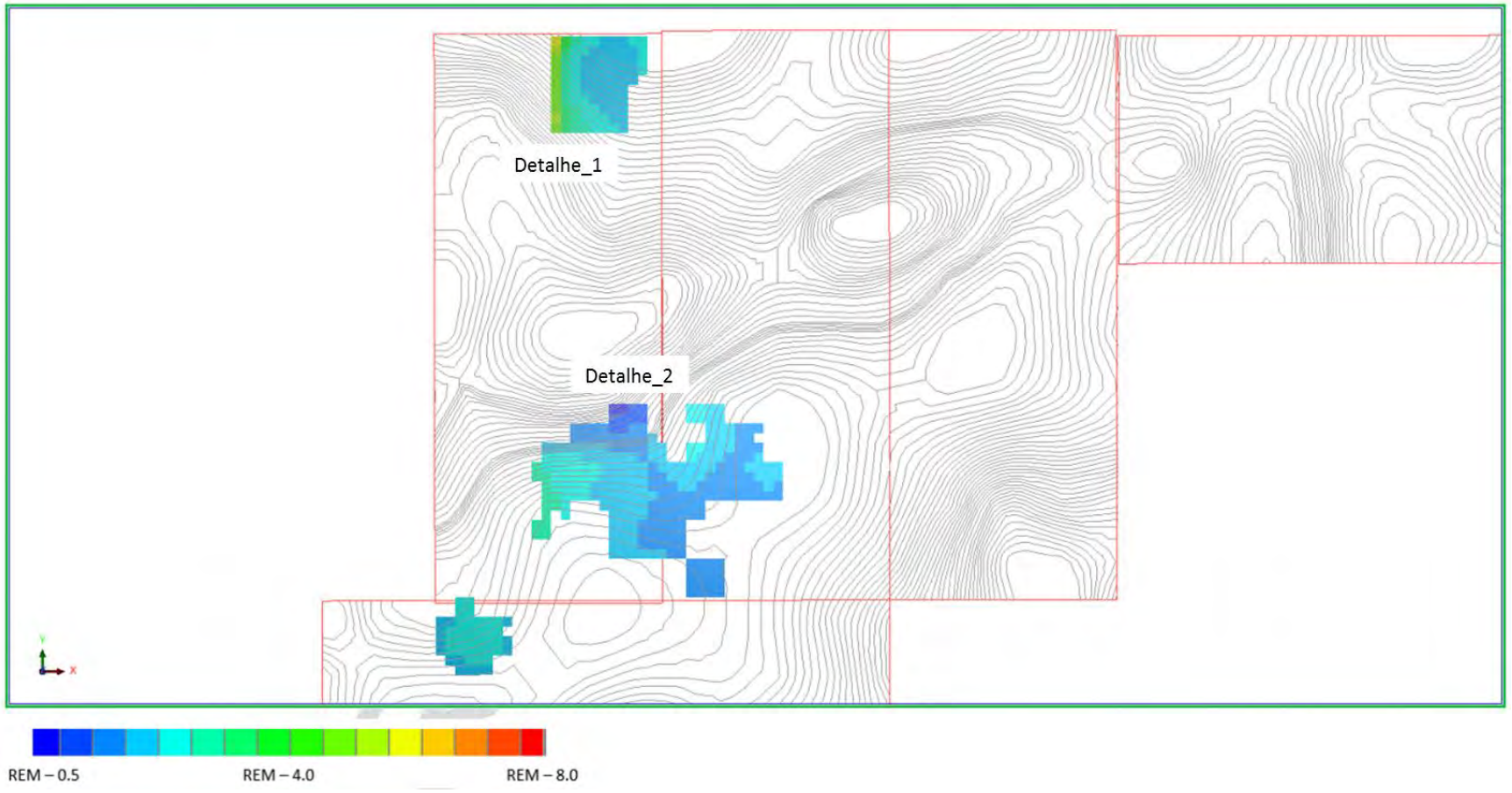
7.2 Topografia

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

7.3 Adensamento da malha de sondagem

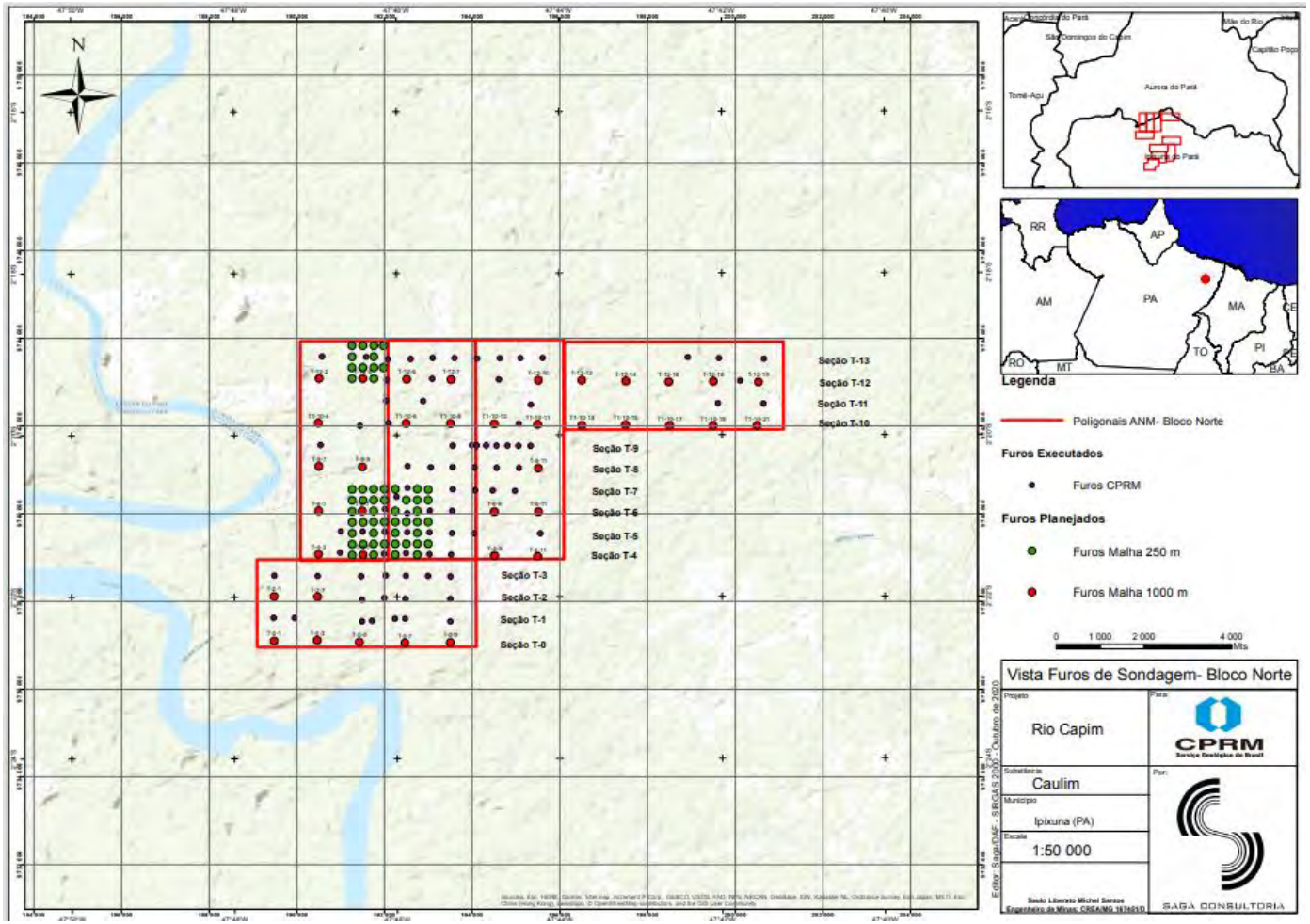
A partir do modelo geológico e da estimativa de recursos determinados na reavaliação do projeto executada pela CPRM e validada pela Saga, propõe-se um programa mínimo de exploração do depósito objetivando duas metas (planilha em anexo): a) sondagem exploratória para reconhecimento de toda a área mineralizada em malha regular espaçada em 1000 m (blocos Norte e Sul) e b) detalhamento de sondagem em duas áreas no bloco Norte (Detalhe_1, mais a norte e Detalhe_2, ao centro), com maior densidade de sondagem já realizada e baixa relação estéril/minério (veja item 6.5 -Planejamento de Lavra – Fig. 6.7 – Inventário Mineral – REM) deste relatório. Para estas duas áreas de detalhamento são propostas malhas regulares espaçadas em 250 m. (Figura 7.1)

Figura 7.1 – Áreas de Detalhamento



Para o bloco Norte são sugeridos, para a malha de 1000 m x 1000 m, 50 furos totalizando 925 m, com média de profundidade dos furos de 18 m (mín: 5 m, máx: 35 m). Para a área de detalhamento 1, a malha de 250 m x 250 m conta com 12 furos (322 m), com profundidade média dos furos equivalente a 27 m, profundidade mínima de 18 m e máxima de 33 m (Figura 7.2)

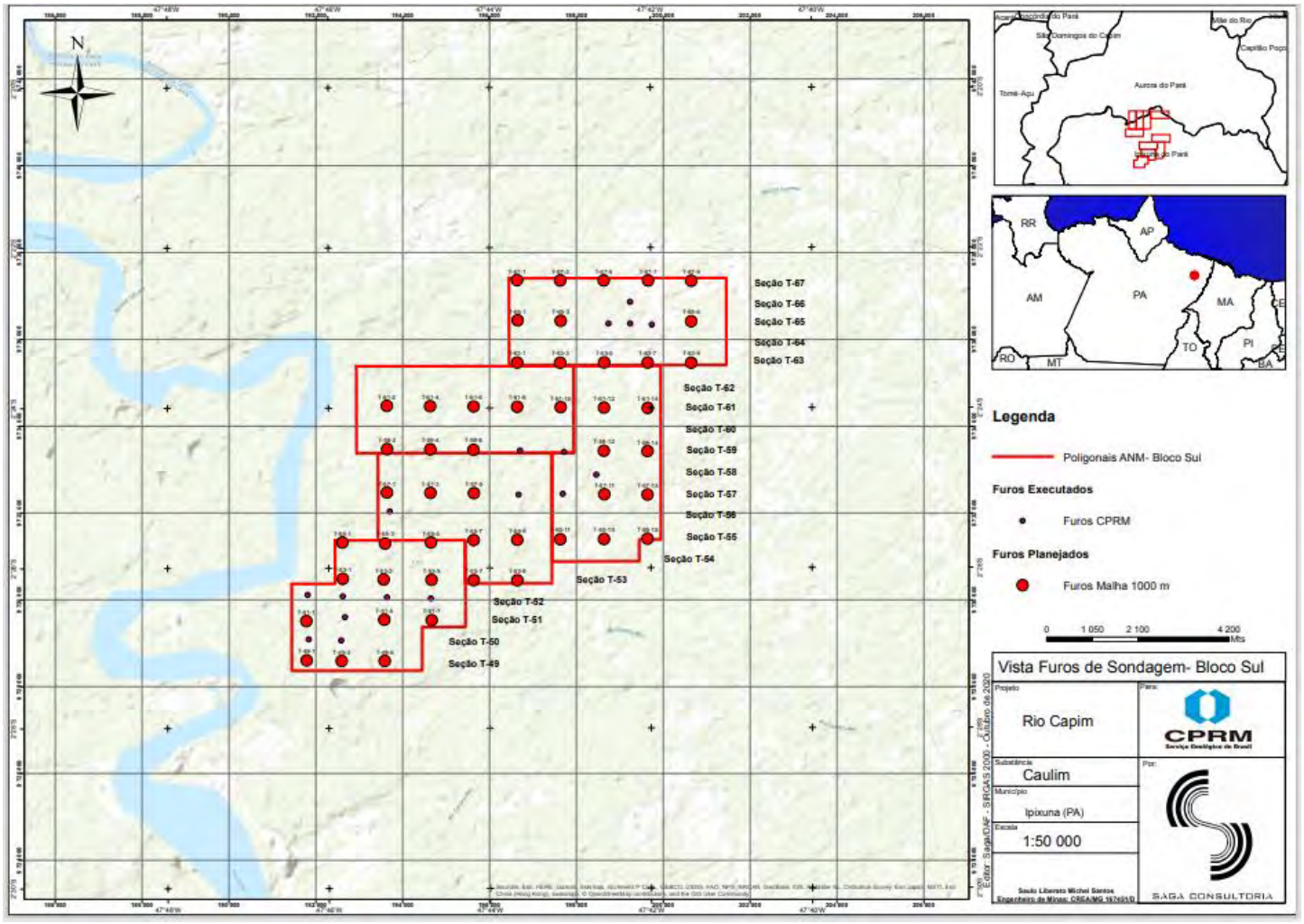
Figura 7.2 – Malha de sondagem proposta



A área de detalhamento 2 (Figura 7.2) conta com 39 furos (1034 m), com média de profundidade de 27 m (mín: 10m, máx: 33 m).

Para o bloco Sul, a ser sondado exclusivamente em malha de 1000 m x 1000 m, são propostos 54 furos totalizando 625 m, com média de profundidade de 12 m (mín: 2 m, máx: 36 m).

Figura 7.3 – Malha de sondagem – Bloco Sul



A Tabela 7.1 resume os quantitativos relacionados à sondagem proposta:

Tabela 7.1: Resumo - Sondagem

BLOCO	MALHA	FUROS	METRAGEM	PROFUNDIDADE MÉDIA (m)	PROFUNDIDADE MÍNIMA/MÁXIMA (m)
Norte	1000m	50	925	18	5/35
Norte – Detalhe_1	250m	12	322	27	18/33
Norte – Detalhe_2	250m	39	1034	27	10/33
Subtotal		51	2281		
Sul	1000m	54	625	12	2/36
TOTAL		**155**	**2906**		

Em resumo, para os blocos Norte e Sul são sugeridos 155 furos, em diâmetro H, totalizando 2906 m (Vide Anexo II). O critério para determinação da profundidade dos furos é a interceptação da base do horizonte Caulim Silicoso.

7.4 Análises químicas e testes de qualidade do minério

A Saga Consultoria propõe a análise química (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3) e testes de qualidade, em suporte amostral de 1 m (granulometria, alvura, separação magnética, etc.) para os intervalos mineralizados (Caulim Macio e Caulim Arenoso). Considerando oito amostras de minério por furo (155 furos), seriam necessários 1240 testes de caracterização do minério.

7.5 Cronograma

O prazo para realização dos procedimentos de pesquisa preliminar dependerá, fundamentalmente, do número de sondas a ser contratado. A Saga Consultoria sugere como produção diária da sondagem a taxa de 10 m de perfuração diária/sonda.

7.6 Custos

Um quadro de quantitativos e preços para as atividades de pesquisa preliminar sugeridas consta da planilha em anexo “QQP_Rio_Capim_pesquisa_preliminar. xlsx”. (Anexo XX)

7.7 Relatório

Deverá ser apresentado à CPRM relatório onde constem todos os trabalhos desenvolvidos e resultados obtidos, independentemente da viabilidade econômica positiva ou negativa do depósito.

8 Análise Econômico-Financeira Do Projeto

A análise econômica do Projeto Rio Capim teve como base o fluxo de caixa descontado, com análise do VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno) e período de recuperação do capital.

8.1 Estratégia de Aproveitamento do Depósito de Caulim

A análise econômica do projeto foi realizada com base em uma produção anual de 750 mil toneladas de produtos, sendo 80% de produtos tipo *coating* e 20% do tipo *filling*, ao longo de um período de 20 anos de produção.

A operação da mina está sendo considerada como terceirizada.

Previu-se um período de 3 anos para a implantação do projeto.

8.2 Escala de Produção, *Ramp-up* e Regime de Operação

Para a produção de 750 mil toneladas anuais de produto, o projeto produzirá cerca de 1,4 milhões de toneladas de minério *run-of-mine* (ROM), totalizando 27,6 milhões de toneladas em 20 anos.

A movimentação anual de estéril será variável entre 1,3 e 3,0 milhões de toneladas, com uma média de 2,2 milhões de toneladas no período.

O regime de operação da planta será em três turnos diários de 8 horas por turno, 365 dias por ano, totalizado 8.760 horas programadas por ano. A mina operará em apenas dois turnos de 8 horas.

Nenhum fator de *ramp-up* foi aplicado para fins da presente análise econômica.

8.3 Produtos e Preços de Venda

Dois produtos foram considerados para o projeto Rio Capim: produto *coating* (denominado produto A na planilha de fluxo de caixa) e produto *filling* (produto B).

Os preços utilizados na presente análise econômica foram baseados em informações obtidas na Internet ou diretamente de empresas especializadas em fornecer dados e informações de produtos e *commodities* minerais, conforme a seguir:

> *"O preço do caulim em todo o mundo permaneceu bastante estável nos últimos anos, variando de 137 dólares americanos por tonelada em 2010 a 158 dólares americanos por tonelada em 2019. (fonte: Statista Research Department, Fevereiro de 2020).*
>
> *O mercado mundial de caulim movimentou em 2019 um total de US$ 4,33 bilhões, com uma demanda de 27 milhões de toneladas, o que resultou em um preço médio de venda de US$ 160/t. (fonte: Grand View Research, Setembro de 2020)*

Alguns grandes produtores internacionais projetam reajustes de preços do caulim entre 5 e 8% a partir de 01 de Janeiro de 2020 (fonte: MACON, Ga., Nov. 1, 2019 /PRNewswire/ -- KaMin LLC e CADAM AS).

Portanto, adotou-se no fluxo de caixa um preço médio para comercialização no mercado externo de US$ 170/t (R$ 900/t – FOB PORTO) para o produto *coating* e de US$$ 150/t (R$ 800/t) para o produto *filling*.

8.4 Cronograma de Implantação

Para fins da análise econômica, considerou-se a necessidade de um período de três anos para a completa implantação do projeto.

8.5 Fluxos de Caixa e Resultados Econômicos

Os seguintes dados e parâmetros foram adotados para a elaboração do fluxo de caixa do projeto:

- Produção Anual Produtos Finais: 750 mil t/ano de produtos finais;
- *Ramp-up* Ano 1: 100%
- Número de Anos de Produção: 20
- Relação Estéril/Minério Anual: variável, com uma média de 1,59 t/t;
- Movimentação Anual da Mina: variável, como resultado do planejamento sequencial de lavra;
- Recuperações de Produtos na Planta: 55,15%;
- Partição de Produtos: 80% produto A (*coating*), 20% produto B (*filling*);
- Preços dos Produtos Finais: R$ 900/t (*coating*), R$ 800/t (*filling*);
- Destinação dos Produtos: exportação;
- Deduções de Venda (isenção de tributos pela Lei Kandir)
  ICMS: 0%
  PIS: 0%
  COFINS: 0%
- Custos de Operação
  Mina: R$ 14,00/t de minério ou estéril, correspondente a um valor médio de R$ 48,30/t de produto;
  Planta de Beneficiamento: R$ 282,60/t de produto;
  Recuperação Ambiental: R$ 2,00/t de produto;
  Transporte de Produtos no Porto: R$ 4,70/t de produto;
  Estocagem e Embarque no Porto: R$ 12,00/t de produto;
  Vendas: R$ 8,00/t de produto;
  Geral e Administrativo: R$ 3,00/t de produto;
  Outros: R$ 10,00/t de produto;
  Total: R$ 370,60/t de produto.
- Despesas Operacionais
  CFEM: 2,0% sobre a receita operacional líquida;
  Royalties do Superficiário: 50% da CFEM.

- Investimentos
  Equipamentos de Mina: Nenhum (operação terceirizada);
  Custos Diretos da Planta de Beneficiamento: R$ 680 milhões;
  Custos Indiretos da Planta de Beneficiamento: R$ 293 milhões;
  Mineroduto (Custos Diretos e Indiretos): R$ 600 milhões;
  Infraestrutura da Área da Mina, Instalações do Porto e Outros: R$ 376 milhões;
  Fechamento de Mina: R$ 120 milhões (último ano de operação do projeto);
  Capital de Giro: R$ 80 milhões.
  Contingências: já incluída.
- Distribuição do Investimento Inicial: 30% no primeiro ano (ano -2), 30% no segundo ano (ano -1) e 40% no terceiro ano (ano 0).
- Depreciação: em 10 anos para equipamentos e em 20 anos para outros investimentos.
- Imposto de Renda e Contribuição Social: sobre lucro real, com alíquota de 34% nos dois primeiros anos e de 15,25% (incentivo Sudam) para os anos restantes.
- Taxa de desconto: 8% ao ano.

A Tabela 8.1 apresenta o fluxo de caixa utilizado para a análise econômica do projeto Rio Capim.

Tabela 8.1: Fluxo de Caixa

			Ano =>	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
Produção																											
Produto Final																											
* Produto A			*t milhões*				616.4	600.8	604.0	604.3	605.5	602.3	602.1	604.5	612.9	599.2	615.1	587.3	594.7	613.1	615.0	607.7	644.0	621.4	612.2	616.4	**12 170 333**
* Produto B			*t milhões*				154.1	150.2	151.0	151.1	151.4	150.6	150.5	151.1	153.2	149.8	153.8	146.8	148.7	153.3	153.8	151.9	161.0	155.3	153.1	154.1	**3 042 583**
* Total			*t milhões*				770.6	751.0	754.9	755.4	756.8	752.9	752.7	755.6	766.1	749.0	768.9	734.1	743.4	766.3	768.8	759.6	804.9	776.7	765.3	770.6	**15 212 916**
Minério ROM			*t milhões*				1397.2	1361.7	1368.9	1369.6	1372.3	1365.2	1364.8	1370.1	1389.2	1358.1	1394.2	1331.1	1348.0	1389.5	1394.0	1377.4	1459.6	1408.4	1387.7	1397.2	**27 584 616**
Estéril			*t milhões*				1323.1	1911.1	1960.9	1877.0	1917.2	1951.5	1895.2	2004.9	2024.0	2331.0	2434.7	2242.5	2230.3	2255.3	2413.7	2441.4	2722.5	2481.4	2443.2	1323.1	**43 797 490**
Receita Operacional																											
Tonelagem Vendida de Produto			*t*				770.6	751.0	754.9	755.4	756.8	752.9	752.7	755.6	766.1	749.0	768.9	734.1	743.4	766.3	768.8	759.6	804.9	776.7	765.3	770.6	**15 212 916**
Receita Bruta de Venda			*R$ milhões*				678.09	660.86	664.35	664.71	666.02	662.56	662.36	664.93	674.20	659.12	676.61	646.03	654.21	674.36	676.53	668.48	708.35	683.53	673.47	668.60	**13 387.37**
Outras Receitas			*R$ milhões*				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
Total receitas Operacionais			***R$ milhões***				**678.09**	**660.86**	**664.35**	**664.71**	**666.02**	**662.56**	**662.36**	**664.93**	**674.20**	**659.12**	**676.61**	**646.03**	**654.21**	**674.36**	**676.53**	**668.48**	**708.35**	**683.53**	**673.47**	**668.60**	**13 387.37**
Deduções de Venda (Exportação)																											
ICMS	%	0.0	*R$ milhões*				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
PIS	%	0.0	*R$ milhões*				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
COFINS	%	0.0	*R$ milhões*				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
Total Deduções de Venda	%	0.0	*R$ milhões*				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
Receita Operacional Líquida			***R$ milhões***				**678.09**	**660.86**	**664.35**	**664.71**	**666.02**	**662.56**	**662.36**	**664.93**	**674.20**	**659.12**	**676.61**	**646.03**	**654.21**	**674.36**	**676.53**	**668.48**	**708.35**	**683.53**	**673.47**	**668.60**	**13 387.37**
Custo de Operação																											
Mina	*R$/t mov.*	14.00																									
Mina (Médio)	*R$/t produto*	48.30	*R$ milhões*				38.08	45.82	46.62	45.45	46.05	46.43	45.64	47.25	47.79	51.65	53.60	50.03	50.10	51.03	53.31	53.46	58.55	54.46	53.63	60.40	**999.35**
Planta de Beneficiamento	*R$/t produto*	282.60	*R$ milhões*				217.76	212.23	213.35	213.46	213.88	212.77	212.71	213.53	216.51	211.67	217.28	207.46	210.09	216.56	217.26	214.67	227.48	219.51	216.28	214.71	**4 299.17**
Recuperação Ambiental	*R$/t produto*	2.00	*R$ milhões*				1.54	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.53	1.50	1.54	1.47	1.49	1.53	1.54	1.52	1.61	1.55	1.53	1.52	**30.43**
Transporte de Produtos Até o Porto	*R$/t produto*	4.70	*R$ milhões*				3.62	3.53	3.55	3.55	3.56	3.54	3.54	3.55	3.60	3.52	3.61	3.45	3.49	3.60	3.61	3.57	3.78	3.65	3.60	3.57	**71.50**
Estocagem e Embarque no Porto	*R$/t produto*	12.00	*R$ milhões*				9.25	9.01	9.06	9.06	9.08	9.03	9.03	9.07	9.19	8.99	9.23	8.81	8.92	9.20	9.23	9.12	9.66	9.32	9.18	9.12	**182.55**
Vendas	*R$/t produto*	8.00	*R$ milhões*				6.16	6.01	6.04	6.04	6.05	6.02	6.02	6.04	6.13	5.99	6.15	5.87	5.95	6.13	6.15	6.08	6.44	6.21	6.12	6.08	**121.70**
Geral e Administrativo	*R$/t produto*	3.00	*R$ milhões*				2.31	2.25	2.26	2.27	2.27	2.26	2.26	2.27	2.30	2.25	2.31	2.20	2.23	2.30	2.31	2.28	2.41	2.33	2.30	2.28	**45.64**
Outros	*R$/t produto*	10.00	*R$ milhões*				7.71	7.51	7.55	7.55	7.57	7.53	7.53	7.56	7.66	7.49	7.69	7.34	7.43	7.66	7.69	7.60	8.05	7.77	7.65	7.60	**152.13**
Total Custos de Operação (R$ / t produto)	***R$/t produto***	**370.60**	*R$ milhões*				**286.43**	**287.86**	**289.94**	**288.90**	**289.98**	**289.10**	**288.23**	**290.78**	**294.71**	**293.05**	**301.41**	**286.64**	**289.70**	**298.01**	**301.09**	**298.29**	**317.98**	**304.80**	**300.29**	**305.27**	**5 902.47**
Despesas Operacionais																											
CFEM	%	2.0	*R$ milhões*				13.56	13.22	13.29	13.29	13.32	13.25	13.25	13.30	13.48	13.18	13.53	12.92	13.08	13.49	13.53	13.37	14.17	13.67	13.47	13.37	**267.75**
Royalties Superficiários	%	50	*R$ milhões*				6.78	6.61	6.64	6.65	6.66	6.63	6.62	6.65	6.74	6.59	6.77	6.46	6.54	6.74	6.77	6.68	7.08	6.84	6.73	6.69	**133.87**
Total Despesas Operacionais			***R$ milhões***				**20.34**	**19.83**	**19.93**	**19.94**	**19.98**	**19.88**	**19.87**	**19.95**	**20.23**	**19.77**	**20.30**	**19.38**	**19.63**	**20.23**	**20.30**	**20.05**	**21.25**	**20.51**	**20.20**	**20.06**	**401.62**
EBTDA																											
EBITDA			*R$ milhões*				371.31	353.17	354.48	355.86	356.06	353.59	354.26	354.20	359.26	346.30	354.90	340.01	344.88	356.12	355.15	350.13	369.12	358.22	352.98	343.27	**7 083.27**
% EBITDA			*%*				54.76	53.44	53.36	53.54	53.46	53.37	53.48	53.27	53.29	52.54	52.45	52.63	52.72	52.81	52.50	52.38	52.11	52.41	52.41	51.34	**52.91**
Investimento																											
Equipamentos de Mina			*R$ milhões*																								**0.00**
Custos Diretos da Planta de Beneficiamento			*R$ milhões*	204.00	204.00	272.00																					**680.00**
Mineroduto			*R$ milhões*	180.00	180.00	240.00																					**600.00**
Custos Indiretos da Planta de Beneficiamento			*R$ milhões*	88.00	88.00	117.00																					**293.00**

Infraestrutura Mina - Instalações do Porto - Outros			*R$ milhões*	113.00	113.00	150.00																				**376.00**
Fechamento de Mina			*R$ milhões*																						120.00	**120.00**
Contingências	*%*	0	*R$ milhões*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
Capital de Giro			*R$ milhões*			80.00																				**80.00**
Investimento Total			***R$ milhões***	**585.00**	**585.00**	**859.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**120.00**	**2 149.00**
Depreciação																										
* Equipamentos da Mina e Planta	*Anos*	10	*R$ milhões*				128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**1 280.00**
* Infrraestrutura e Outros	*Anos*	20	*R$ milhões*				33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	**669.00**
*** Total**			***R$ milhões***				**161.45**	**161.45**	**161.45**	**161.45**	**161.45**	**161.45**	**161.45**	**161.45**	**161.45**	**161.45**	**33.45**	**33.45**	**33.45**	**33.45**	**33.45**	**33.45**	**33.45**	**33.45**	**33.45**	**1 949.00**
Fluxo de Caixa																										
Receita Operacional Líquida			*R$ milhões*				678.09	660.86	664.35	664.71	666.02	662.56	662.36	664.93	674.20	659.12	676.61	646.03	654.21	674.36	676.53	668.48	708.35	683.53	673.47	668.60	**13 387.37**
							286.43	287.86	289.94	288.90	289.98	289.10	288.23	290.78	294.71	293.05	301.41	286.64	289.70	298.01	301.09	298.29	317.98	304.80	300.29	305.27	**5 902.47**
Custo de Operação			*R$ milhões*																							
Despesas Operacionais			*R$ milhões*				20.34	19.83	19.93	19.94	19.98	19.88	19.87	19.95	20.23	19.77	20.30	19.38	19.63	20.23	20.30	20.05	21.25	20.51	20.20	20.06	**401.62**
Depreciação			*R$ milhões*				161.45	161.45	161.45	161.45	161.45	161.45	161.45	161.45	161.45	161.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	33.45	**1 949.00**
Recuperação de Capital de Giro			*R$ milhões*				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.00	**80.00**
Base para Cálculo do Imposto de Renda e Contr. Social			***R$ milhões***				**209.86**	**191.72**	**193.03**	**194.41**	**194.61**	**192.14**	**192.81**	**192.75**	**197.81**	**184.85**	**321.45**	**306.56**	**311.43**	**322.67**	**321.70**	**316.68**	**335.67**	**324.77**	**319.53**	**309.82**	**5 134.27**
Imposto de Renda e Contr. Social (Lucro Real)																										
* Anos 1 e 2	%	34	*R$ milhões*				71.35	65.19																			**136.54**
* Demais Anos (Incentivo Sudam)	%	15.25	*R$ milhões*						29.44	29.65	29.68	29.30	29.40	29.39	30.17	28.19	49.02	46.75	47.49	49.21	49.06	48.29	51.19	49.53	48.73	47.25	**721.73**
*** Total Imposto de Renda e Contribuição Social**			***R$ milhões***				**71.35**	**65.19**	**29.44**	**29.65**	**29.68**	**29.30**	**29.40**	**29.39**	**30.17**	**28.19**	**49.02**	**46.75**	**47.49**	**49.21**	**49.06**	**48.29**	**51.19**	**49.53**	**48.73**	**47.25**	**858.27**
Fluxo de Caixa Operacional			*R$ milhões*				**299.96**	**287.99**	**325.05**	**326.22**	**326.38**	**324.29**	**324.86**	**324.81**	**329.10**	**318.11**	**305.88**	**293.26**	**297.39**	**306.91**	**306.09**	**301.84**	**317.93**	**308.70**	**304.25**	**376.02**	**6 305.00**
Investimentos			*R$ milhões*	585.00	585.00	859.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	120.00	**2 149.00**
Fluxo de Caixa			***R$ milhões***	**-585**	**-585.00**	**-859.00**	**299.96**	**287.99**	**325.05**	**326.22**	**326.38**	**324.29**	**324.86**	**324.81**	**329.10**	**318.11**	**305.88**	**293.26**	**297.39**	**306.91**	**306.09**	**301.84**	**317.93**	**308.70**	**304.25**	**256.02**	**4 156.00**
Fluxo de Caixa Acumulado			***R$ milhões***	**-585**	**-1 170**	**-2 029**	**-1 729**	**-1 441**	**-1 116**	**-790**	**-463**	**-139**	**186**	**511**	**840**	**1 158**	**1 464**	**1 757**	**2 054**	**2 361**	**2 667**	**2 969**	**3 287**	**3 596**	**3 900**	**4 156**	

8.6 Indicadores Econômicos

Os indicadores econômicos resultantes do fluxo de caixa do projeto Rio Capim seguem abaixo:

Tabela 8.2: Indicadores Econômicos			
Taxa de Desconto	*% ao ano*	8	
VPL Após Impostos (ano -2)		*R$ milhões*	***760.88***
Taxa Interna de Retorno (TIR)		*%*	***12.5***
Período de Retorno do Capital		*Anos*	***6.4***

8.7 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada variando-se as principais variáveis do fluxo de caixa e observando-se o resultado do VPL e da TIR em cada uma das variações. Este processo foi otimizado com a utilização do *software* Oracle Crystalball, valendo-se do método de Monte Carlo. Existem diversas teorias sobre a origem do método de Monte Carlo, porém não se sabe ao certo quem o desenvolveu. O primeiro trabalho publicado, porém, foi *The Monte Carlo Method*, em 1949, pelos cientistas John Von Neumann e Stanislaw Ulam.

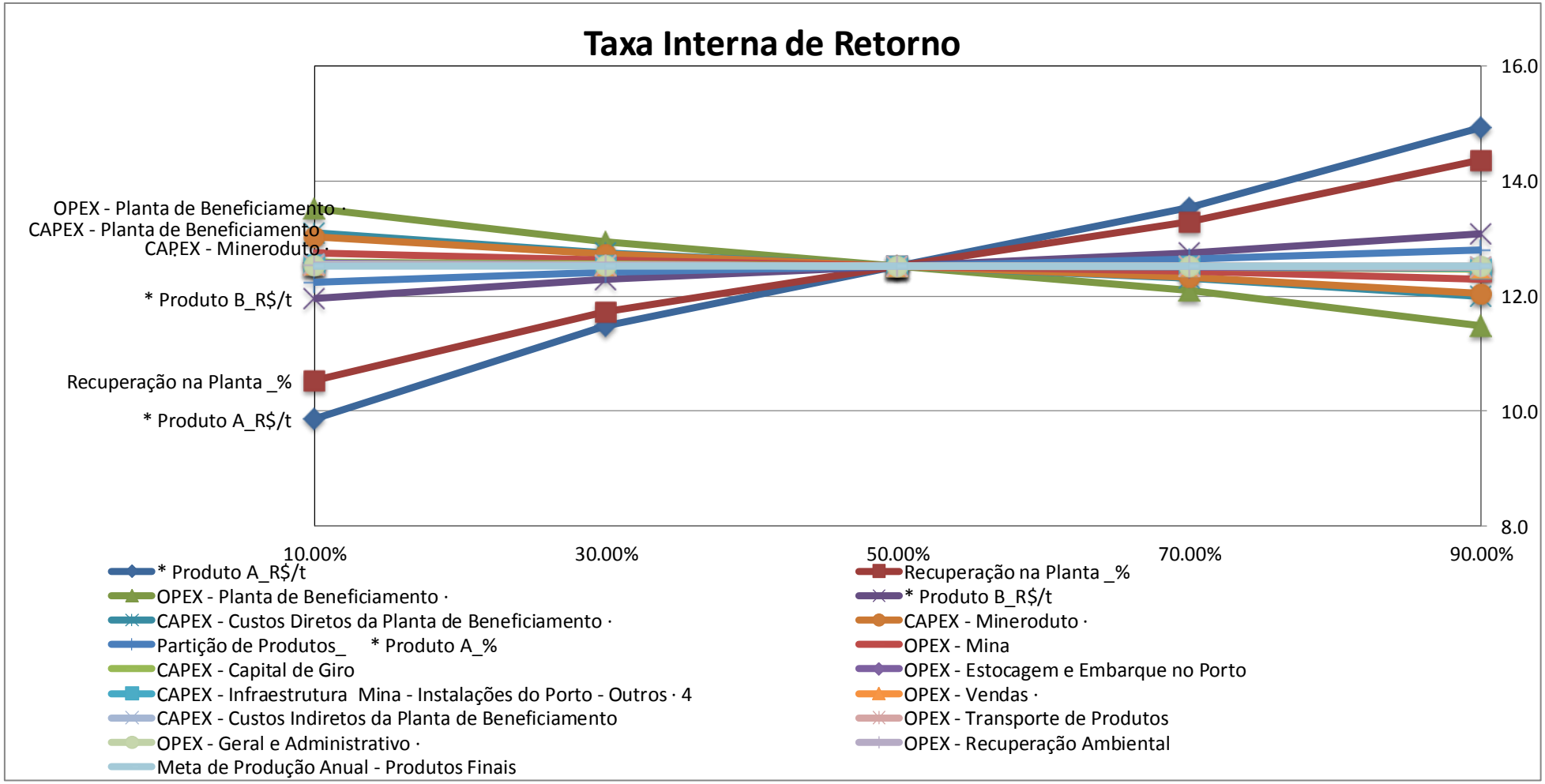
O método de Monte Carlo consiste em testar diversas vezes valores aleatórios contra determinada variável aleatória e então analisar os resultados. Estas variáveis aleatórias podem, por exemplo, estar combinadas em uma função qualquer e o método estimará por interações os valores desta função. Para que esta estimativa tenha maior representatividade, o processo precisa ser repetido várias vezes, sendo, portanto, de complexa utilização sem recursos computacionais.

Para a Análise de Sensibilidade do Projeto Rio Capim, as seguintes variáveis foram testadas:

- CAPEX - Capital de Giro
- CAPEX - Custos Diretos da Planta de Beneficiamento ·
- CAPEX - Custos Indiretos da Planta de Beneficiamento
- CAPEX - Infraestrutura Mina - Instalações do Porto - Outros
- CAPEX - Mineroduto
- Meta de Produção Anual - Produtos Finais
- OPEX - Estocagem e Embarque no Porto
- OPEX - Geral e Administrativo ·
- OPEX - Mina
- OPEX - Planta de Beneficiamento ·
- OPEX - Recuperação Ambiental
- OPEX - Transporte de Produtos
- OPEX - Vendas ·
- Partição de Produtos_ * Produto A_%;
- Recuperação na Planta _%;
- Venda - Produto B_R$/t;
- Venda - Produto A_R$/t;

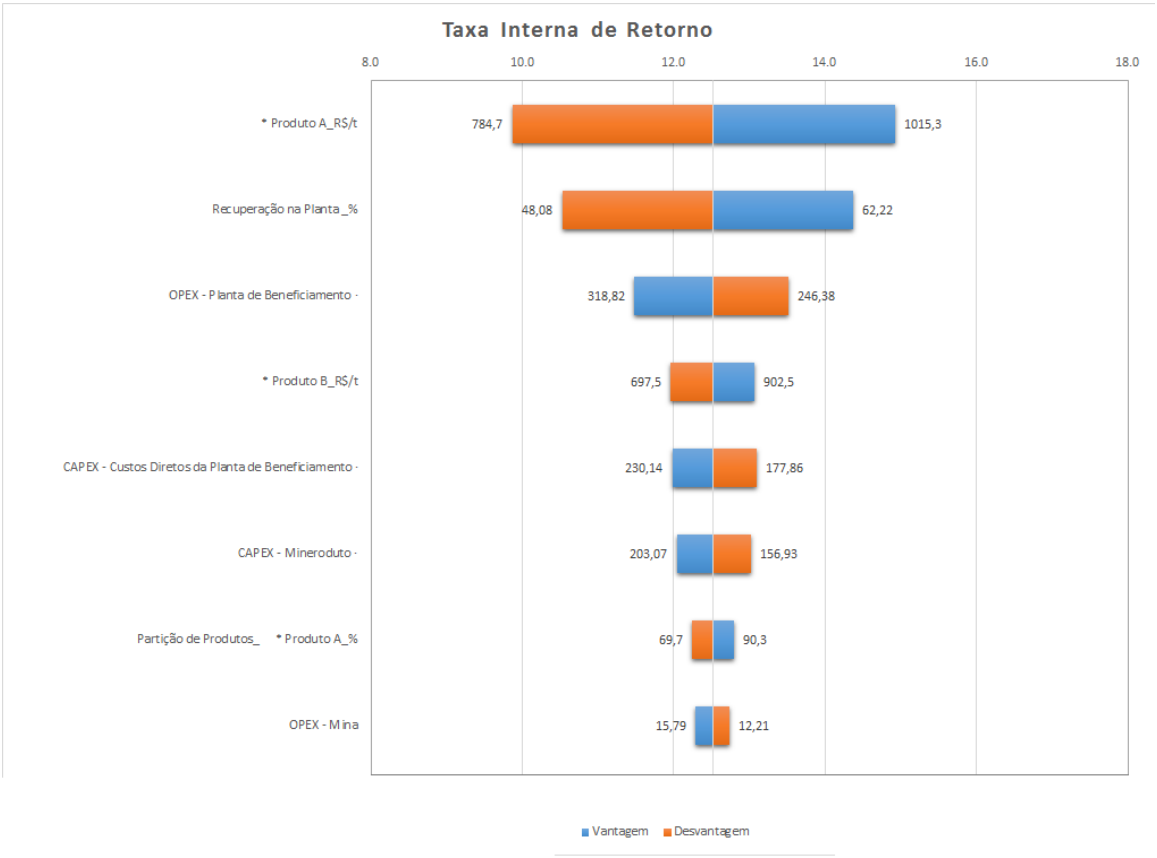
Para avaliação do impacto na TIR, cada variável recebeu uma variação hipotética de 10% sob uma distribuição gaussiana. O gráfico aranha da figura abaixo apresenta o resultado da análise de sensibilidade.

Figura 8.1: Análise de sensibilidade - Gráfico Aranha



A figura abaixo apresenta o gráfico tornado, que compara o impacto de cada variável selecionada na TIR, seja positivo ou negativo.

Figura 8.2: *Tornado analisys*



O comprimento de cada barra representa o impacto relativo da variável no resultado analisado, no caso a TIR.

Em ambos os gráficos é possível observar que as variáveis de maior sensibilidade do projeto são o Preço de Venda e a Recuperação da Planta. Esta análise reforça as recomendações acerca da grande necessidade do aprimoramento da caracterização tecnológica do Caulim, seja para o melhor conhecimento das técnicas possíveis de tratamentos de minérios que poderiam culminar em uma maior recuperação, seja para a aplicação do Caulim em segmentos mais nobres e de maior valor agregado.

Destaca-se também o forte impacto causado pelos itens de CAPEX: Planta e Mineroduto. Estes itens deverão ser devidamente detalhados nas fases posteriores do projeto como Estudos de Viabilidade e EPCM.

9 Alternativas de Negócio

A área objeto do presente estudo é parte integrante do Programa de Parcerias de Investimentos – PPI do Governo Federal. O Programa foi criado pelo governo para reforçar a coordenação das políticas de investimentos em infraestrutura por meio de parcerias com o setor privado.

A ideia é ter um novo fluxo de decisões para a priorização e o acompanhamento dos projetos que serão executados por meio de concessões, Parceria Público-Privada (PPP) e privatizações, além de garantir um ambiente propício à expansão da infraestrutura, do desenvolvimento econômico e das oportunidades de investimento e emprego no País.

São objetivos do PPI:

- Ampliar as oportunidades de investimento e emprego e estimular o desenvolvimento tecnológico e industrial, em harmonia com as metas de desenvolvimento social e econômico do País;
- Garantir a expansão com qualidade da infraestrutura pública, com tarifas adequadas aos usuários;
- Promover ampla e justa competição na celebração das parcerias e na prestação dos serviços;
- Assegurar a estabilidade e a segurança jurídica dos contratos, com a garantia da mínima intervenção nos negócios e investimentos,
- Fortalecer o papel regulador do Estado e a autonomia das entidades estatais de regulação.

A exploração de direitos minerários tem prioridade na agenda governamental. Por isso, desafios concretos justificam a parceria entre os setores público e privado nesse setor. Desse modo, novos investimentos em infraestrutura agregam melhorias ao sistema existente e preservam o patrimônio público, além da necessidade na garantia da continuidade dos serviços de manutenção.

Ao integrar o portfólio do PPI, os projetos de concessão de direitos exploratórios minerários da CPRM são fortalecidos no que diz respeito à exequibilidade devido ao grau de maturidade, governança e soluções regulatórias que estimulam a atração de investimentos. Por fim, a consecução dos projetos beneficiará a economia por meio da geração de emprego e renda.

É parte integrante do presente estudo de avaliação econômica do Projeto Rio Capim, a apresentação de sugestões relacionadas a possíveis formatos para as licitações do depósito, buscando alcançar condições justas para a negociação. As alternativas abaixo descritas foram obtidas por meio de revisão bibliográfica de alternativas possíveis na relação de parceria público-privada e visam munir a CPRM de informações acerca destas possibilidades.

A Saga Consultoria reitera que a decisão sobre qual a alternativa de negócio melhor se encaixa aos anseios da CPRM cabe só e unicamente à companhia estatal. Dessa maneira, não existe no presente estudo qualquer pretensão em elencar o modelo de negócio mais indicado, mas sim,

apresentar com idoneidade e transparência as alternativas que podem, eventualmente, ser aplicadas em um futuro acordo com a inciativa privada.

A evolução do conhecimento de um projeto mineral demanda investimentos expressivos em pesquisa geológica, parte já aportada pela CPRM. Novos investimentos deverão ser dedicados ao detalhamento das informações geológicas e de engenharia de lavra da área.

Seguindo em linhas gerais as estratégias da CPRM, almeja-se que o aporte financeiro necessário no detalhamento da pesquisa geológica seja realizado por empresa parceira da CPRM. Tal detalhamento deverá guiar as decisões a serem tomadas no futuro quanto à exequibilidade da lavra, quanto aos produtos, a escala de produção futura, mercados a serem atendidos, estratégias logísticas, dentre outros. Dessa forma, é razoável que o convite à parceria por parte da CPRM apresente duas macroatividades distintas:

- Complementação da pesquisa geológica;
- Parceria para a lavra e comercialização de produtos.

A estratégia abaixo descrita abrange as duas macroatividades supracitadas, partindo de cinco alternativas de modelos de negócios. Internamente, cada um destes modelos elencados apresenta nuances que produzem, por fim, outros modelos possíveis de negócio. Algumas características são consideradas indispensáveis para o êxito da aplicação do modelo de negócio, enquanto outras são consideradas facultativas e podem ou não ser aplicadas de acordo com a estratégia a ser definida pela CPRM.

É imprescindível, em quaisquer das alternativas descritas, que as empresas interessadas comprovem junto à CPRM sua idoneidade, regularidade com obrigações trabalhistas, regularidade com as receitas federal, estadual e municipal, sua capacidade financeira para execução das atividades de pesquisa e eventual lavra futura, sua experiência na execução de projetos similares e que estejam em conformidade com a legislação brasileira.

9.1 Modelo 01: Concessão para complementação de pesquisa e opção de arrendamento (*Royalties*)

A concessão de ativos de mineração é prática comum em diversos países, inclusive fora largamente realizada pela própria CPRM no último século. Atualmente a CBPM (Companhia Baiana de Pesquisa Mineral) tem executado com sucesso a concessão de ativos minerais para pesquisa e posterior lavra, sendo, portanto, importante fonte de conhecimento acerca das melhores práticas na concepção do acordo.

Em linhas gerais, esta alternativa de negócio inicia-se com o convite junto à iniciativa privada para concessão da área considerando a complementação da pesquisa e a opção de arrendamento futuro com o pagamento de *royalties* à CPRM. A empresa escolhida como parceira da CPRM deverá, necessariamente, aportar os valores necessários ao detalhamento da pesquisa geológica da área. *A priori*, recomenda-se que o período da pesquisa não deva ultrapassar 3 anos, devendo a empresa reportar periodicamente os avanços realizados na exploração geológica do ativo.

No acordo inicial entre as partes deverá ser detalhado o quantitativo de bônus de assinatura, percentual de *royalties*, prêmio de oportunidade, prazo para pesquisa e prazo de arrendamento. Portanto, ao final da atividade de pesquisa a empresa concessionária terá a opção de arrendamento (sob valores de prêmio de oportunidade e percentual de *royalties* prefixados) caso o projeto confirme sua atratividade. Caso a concessionária opte por não prosseguir com a explotação do depósito, toda informação gerada na pesquisa deverá ser repassada à CPRM e o acordo se encerrará.

9.1.1 Características principais do modelo proposto

Abaixo são apresentadas as características consideradas **indispensáveis** na concepção do Modelo 01:

- **Condições pré-fixadas:** Como em qualquer acordo de opção, as condições de arrendamento a serem executadas no futuro devem ser pré-fixadas (mesmo que com determinada flexibilização de valores atrelada aos resultados da pesquisa) no momento da concessão. Todos os desembolsos previstos, obrigações das partes, percentuais de remuneração, prazos para a pesquisa, marcos contratuais etc. devem ser acordados previamente, devendo a empresa concessionária apenas exercer ou não sua opção de arrendamento no futuro, à luz das informações obtidas na pesquisa geológica;
- ***Royalties*:** O pagamento de *Royalties* por parte da concessionária é imprescindível em qualquer acordo de arrendamento. A forma de cálculo da alíquota pode ser feita de diversas formas, dentre elas o cálculo de percentual no faturamento bruto ou atrelado ao valor de CFEM pago pela concessionária. No primeiro dos casos, segundo base de dados da SAGA, o valor varia de 1% a 5%, a depender do bem mineral a ser aproveitado e do tamanho do empreendimento. No modelo proposto, é recomendável que o percentual de *Royalty* seja já predefinido no momento da concessão, mas tal valor pode também ser apresentado em função da estimativa de recursos a ser feita ao final dos trabalhos de pesquisa. Ao final dos trabalhos de pesquisa, caso a empresa execute a opção de arrendamento do ativo mineral, o pagamento de *Royalties* à CPRM deve ocorrer tão logo se inicie a operação de lavra;
- **Prêmio de oportunidade:** É prática comum que a empresa concessionária, caso decida por executar a opção de arrendamento, realize o pagamento do chamado Prêmio de Oportunidade (PO) à CPRM. O pagamento tem como objetivo remunerar a CPRM pela descoberta e pesquisa realizados, bem como mostrar o comprometimento da empresa concessionária na parceria de lavra com a CPRM e com o governo. Em linhas gerais, o cálculo do valor deve ser feito em função dos recursos minerais estimados, por exemplo, US$/ t (dólar por quantidade de Caulim *in situ*) e/ou pode ser objeto de qualificação de empresas no momento da concessão.
- **Relatório periódico de atividades:** A empresa concessionária deve necessariamente reportar à CPRM as atividades de pesquisa realizadas. Os valores acordados a serem investidos na pesquisa devem ter aplicação comprovada por parte da concessionária, podendo a CPRM rescindir o contrato em caso de divergências entre as atividades inicialmente previstas e as executadas.

- **Possibilidade de abandono:** A concessionária, ao final do contrato de opção, pode escolher não realizar a lavra do depósito, devendo obrigatoriamente repassar à CPRM as informações geradas, além de se responsabilizar por quaisquer passivos gerados.

O modelo proposto apresenta também características consideradas facultativas, que podem ou não ser empregadas pela CPRM no momento da licitação, devendo a licitante objetivar sempre manter a atratividade do negócio para que a concessão obtenha sucesso. Os itens abaixo descrevem sucintamente estas **características facultativas:**

- **Bônus de assinatura:** Facultativamente, pode-se exigir um pagamento inicial no momento da assinatura do contrato da empresa concessionária para a CPRM. Esse pagamento pode também ser usado como critério de seleção e qualificação da empresa concessionária dentre todas as interessadas. É considerada característica facultativa, pois, dependendo do montante mínimo exigido pela CPRM, o Bônus de Assinatura pode afugentar potenciais investidores precocemente.
- **Prêmio por produção**: Durante a operação de lavra, além dos *royalties* devidos, pode-se exigir da concessionária o pagamento de prêmios anuais em caso de ampliação da produção.
- **Prêmio por negócios adjacentes:** A CPRM tem pesquisado a região há muito tempo e pode eventualmente fornecer dados de áreas adjacentes mediante o pagamento de prêmios em caso de requerimento e pesquisa da concessionária

9.1.2 Critérios a serem observados na seleção da(s) empresa(s) parceira(s)

A seleção e qualificação da empresa parceira dentre as interessadas no negócio devem seguir as práticas preconizadas pelo TCU e pelo governo brasileiro, sendo realizada de maneira transparente, justa e em conformidade com a legislação brasileira.

Antes da seleção das empresas, deve-se realizar uma detalhada habilitação dos participantes verificando-se a idoneidade, a capacidade técnica-financeira, a regularidade com a receita e regularidade trabalhista.

De maneira geral, é recomendado que a seleção da empresa parceria da CPRM ocorra a partir da avaliação e pontuação das propostas apresentadas, buscando-se selecionar a empresa que se mostre com o maior potencial para atender as expectativas da CPRM. Recomenda-se que a pontuação das empresas interessadas se dê por:

- Qualidade da proposta técnica da pesquisa geológica;
- Histórico da empresa e experiência no desenvolvimento de projetos relevantes;
- Sinergia com o negócio Caulim;
- Investimento proposto em pesquisa geológica;
- Valor proposto para pagamento de Bônus de Assinatura;
- *Royalty* a ser pago na lavra,
- Prêmio de oportunidade a ser pago à CPRM.

Para cada um desses critérios deve-se aplicar determinado peso visando que os objetivos do PPI sejam atingidos.

9.1.3 *Cases* e referências

O modelo proposto é aplicado de maneira similar por diversas empresas públicas no mundo, e no Brasil tem sido largamente aplicado pela CBPM. Desde sua criação, a CBPM já licitou mais de 100 oportunidades minerais que, entre outros empreendimentos de destaque, resultaram na implantação de projetos de grande porte de bentonita, fosfato, vanádio, níquel e ouro, além de mineradoras de pequeno porte de argilas, quartzo, feldspato e rochas ornamentais.

Entre 2014 e 2015, a CBPM celebrou três contratos de arrendamento de jazidas. Um deles, voltado à produção de areia silicosa pela Vitro Brasil e Mineração Jundu, que deve iniciou suas operações em 2018. A mina fornecerá matéria-prima para a indústria de vidros – incluindo a nova fábrica da Vitro, em Camaçari - e, futuramente, para o setor de energia solar e de embalagens.

Segundo dados de 2015, a empresa é detentora de quase 900 direitos minerários, sendo que cerca de 300 áreas estão arrendadas à iniciativa privada. A política de atuação da empresa nesse segmento prevê a pesquisa inicial de risco, por parte da CBPM e, delineando-se uma potencialidade mineral na área, realiza-se o arrendamento para a iniciativa privada através de licitações públicas, cujo resultado para a CBPM é o pagamento de Prêmio de Oportunidade e *royalties* sobre a produção comercializada.

Dentre os vários casos de sucesso de concessões/arrendamentos realizados pela CBPM destacam-se os seguintes:

VANÁDIO DE MARACÁS

- Quatro depósitos de vanádio, com ferro e titânio associados, tipificados como corpos maciços de magnetita titano-vanadífera;
- Áreas licitadas para a Largo Mineração (Grupo Canadense), cujos testes de produção tiveram início em março de 2014.
- Produção inicial prevista de 5 mil t/ano de pentóxido de vanádio;
- Investimentos de mais de 500 milhões de reais;
- Emprego direto de mais de 400 pessoas;
- *Royalties* de 3% para a CBPM.

A Figura 9.1 mostra uma foto da planta do Projeto Vanádio.

Figura 9.1 – Vanádio de Maracás



Fonte: ADIMB/CBPM

OURO DE SANTA LUZ

- Áreas arrendadas à Yamana Gold (grupo canadense), com investimentos da ordem de 142 milhões de dólares, com início de produção comercial no 1º trimestre de 2014;
- A produção de ouro é em barra, da ordem de 90 a 120 mil onças/ano (3 toneladas de ouro) e o emprego de 400 trabalhadores diretos e 900 indiretos na fase de operação;
- Reserva de Ouro de 13,8 t de metal contido;
- *Royalties* para a CBPM: 2%.

A Figura 9.2 mostra uma foto da planta do Projeto Ouro de Santaluz.

Figura 9.2 – Ouro de Santaluz



Fonte: ADIMB/CBPM

Assim, sendo a CPRM e CBPM empresas públicas com fins similares, recomenda-se fortemente o *benchmarking* entre as companhias visando à obtenção de informações acerca dos procedimentos realizados nas concessões da CBPM e eventual aplicação de algumas dessas práticas numa futura parceria entre CPRM e o setor privado.

9.2 Modelo 02: Concessão para complementação de pesquisa com opção de venda direta do ativo mineral.

O modelo 02 aqui proposto é bastante similar ao modelo 01, com a diferença que, após a complementação de pesquisa, a empresa parceira terá a opção de comprar o ativo mineral da CPRM, sob preços e condições pré-fixadas.

Assim como no modelo anterior, a empresa a ser escolhida como parceira da CPRM deverá, necessariamente, aportar os valores necessários ao detalhamento da pesquisa geológica da área. Acredita-se que o período da pesquisa não deva ultrapassar 3 anos, devendo a empresa reportar periodicamente os avanços realizados na exploração geológica do ativo.

No acordo inicial entre as partes deverão ser definidas as regras de venda do ativo mineral ao final da pesquisa, sendo recomendado que um preço por tonelada de recurso estimada (estimativa a ser realizada por consultores independentes) seja pré-fixado, para evitar a subvaloração do ativo no futuro.

Considerando uma TIR de 12,0%, taxa mínima de atratividade observada em projetos similares, o investimento na aquisição do ativo seria da ordem de R$ 67,3 Milhões, valor inferior ao que poderia ser obtido em *royalties* descontados pela estatal ao longo dos 20 anos analisados (considerando valores médios praticados em acordos de arrendamento). Reforça-se, portanto, a análise de que o ativo se encontra em fase extremamente incipiente para uma eventual venda direta, o que poderia provocar a *subvaloração* e redução de ganhos futuros.

A Tabela 9.1 apresenta este cenário hipotético de venda direta.

Tabela 9.1: Cenário hipotético de venda direta.

			Ano -2	Ano -1	Ano 0	∑ (Ano -2 à Ano 20)
Venda direta		*R$ milhões*	67.28			67.28
						0.00
Total (R$ milhões)			**67.28**	**0.00**	**0.00**	**67.28**
Fluxo de Caixa (R$ milhões)			**-652.28**	**-585.00**	**-859.00**	**4 088.72**
Fluxo de Caixa Acumulado			**-652.28**	**-585.00**	**-1 511.28**	
Taxa de Desconto (% ao ano)	8					
VPL Após Impostos (ano -2)	*R$ milhões*	***693.60***				
Taxa Interna de Retorno	*%*	***12.0***				

9.2.1 Características principais do modelo proposto

Abaixo são apresentadas as características consideradas **indispensáveis** na concepção do Modelo 02. Muitas são similares ao que já foi descrito no Modelo 01, portanto foram resumidas:

- **Condições pré-fixadas:** As condições de venda futura do ativo mineral devem ser pré-fixadas (mesmo que com determinada flexibilização de valores atrelada aos resultados da pesquisa/estimativa de recursos) no momento da concessão;
- **Relatório periódico de atividades:** A empresa concessionária deve necessariamente reportar à CPRM as atividades de pesquisa realizadas. Os valores acordados a serem investidos na pesquisa devem ter aplicação comprovada por parte da concessionária, podendo a CPRM rescindir o contrato em caso de divergências entre as atividades inicialmente previstas e as executadas.
- **Opção de compra do ativo mineral pela empresa:** Ao final da pesquisa, a empresa concessionária poderá exercer seu direito de compra do ativo mineral da CPRM sob condições pré-fixadas em contrato de opção;
- **Possibilidade de abandono:** A concessionária, ao final do contrato de opção, pode escolher não realizar a compra/lavra do depósito, devendo obrigatoriamente repassar a CPRM as informações obtidas, além de se responsabilizar por quaisquer passivos gerados.

Os itens abaixo descrevem sucintamente as características facultativas do Modelo 02:

- **Bônus de assinatura;**
- **Prêmio por negócios adjacentes.**

9.2.2 Critérios a serem observados na seleção da(s) empresa(s) parceira (s)

De maneira análoga ao explanado no Modelo 01, antes da seleção das empresas deve-se realizar uma detalhada habilitação dos participantes. É recomendado que a seleção da empresa parceira da CPRM ocorra a partir da avaliação e pontuação das propostas apresentadas buscando-se selecionar a empresa que se mostre com o maior potencial para atender as expectativas da CPRM. Recomenda-se que a pontuação das empresas interessadas se dê por:

- Qualidade da proposta técnica da pesquisa geológica;
- Histórico da empresa e experiência no desenvolvimento de projetos relevantes;
- Sinergia com o negócio Caulim ou com a Região de Ipixuna;
- Investimento proposto em pesquisa geológica;
- Valor proposto para pagamento de Bônus de Assinatura,
- Preço proposto para a compra do ativo mineral.

Para cada um desses critérios deve-se aplicar determinado peso visando que os objetivos do PPI sejam atingidos.

9.2.3 *Cases* e referências

O contrato de opção de compra é provavelmente o modelo mais comum de negociação de ativos minerais entre empresas do setor privado. A modalidade também ocorre na relação Governo/Empresas, além de ser também muito aplicada no mercado de capitais.

Os contratos de opções de compra são aqueles que dão à parte interessada o direito, mas não a obrigação, de comprar um ativo em uma data futura, por um preço previamente estabelecido. Para a concepção do contrato, geralmente um bônus de assinatura é pago pela parte interessada na compra. No caso do ativo mineral, esse bônus é comumente substituído pelo investimento a ser realizado em pesquisa mineral. Caso a parte compradora não exerça seu direito de compra, as informações obtidas com a pesquisa são repassadas à parte vendedora.

9.3 Modelo 03: Venda direta do ativo mineral

A CPRM pode realizar a venda à vista do Projeto Rio Capim, separando ou não os blocos de pesquisa. Vários são os modelos de venda possíveis, porém, tratando-se de um bem público, é recomendado que a venda siga os moldes de um leilão com preço mínimo definido pela CPRM.

O nível de conhecimento geológico e tecnológico atual do Projeto Rio Capim é ainda muito baixo e uma eventual comercialização neste estágio poderia alcançar valores muito abaixo do potencial de valorização futura do projeto. Dessa maneira, a venda direta do ativo mineral no

estágio atual renderia aos cofres públicos valor inferior ao valor que pode ser atingido nas demais alternativas de negócio elencadas.

O Projeto Rio Capim tem um potencial muito grande de aumento de valor após a conclusão da primeira fase de pesquisas geológicas e tecnológicas complementares através do acréscimo ou maior detalhamento de recursos e reservas.

9.3.1 Características principais do modelo proposto

As características intrínsecas ao modelo são simples e de conhecimento comum:

- **Venda direta do ativo:** A CPRM venderia o ativo, com base em valoração a ser executada por assessoria específica seguindo moldes de um leilão ao mercado visando o máximo valor de venda
- **Isenção de responsabilidade:** A CPRM, após a comercialização do ativo, estará isenta de qualquer responsabilidade nas etapas posteriores de complementação de pesquisa e de participação na lavra.

9.4 Modelo 04: Concessão para complementação de pesquisa e criação de *Joint Venture* para operação do projeto

De maneira similar aos Modelos 01 e 02, no Modelo 04 proposto a CPRM realizaria uma concessão para a complementação de pesquisa. Ao final dos trabalhos de pesquisa, sob condições predeterminadas, a CPRM e a empresa concessionária formariam uma *Joint Venture*, possivelmente uma SPE (Sociedade de Propósito Específico) que seria responsável pela operação da mina. Em outras palavras, uma nova sociedade seria criada, entrando a CPRM com o ativo mineral e a pesquisa realizada até então e a outra parte com o capital necessário à pesquisa complementar e ao CAPEX para operação de lavra.

Uma sociedade de propósito específico (SPE) é uma sociedade empresária cuja atividade é bastante restrita, podendo em alguns casos ter prazo de existência determinado, normalmente utilizada para isolar o risco financeiro da atividade desenvolvida.

A SPE não constitui um novo tipo societário na ordem jurídica brasileira. Ela se organiza, sempre, sob uma das formas previstas pela legislação. Pode ser uma sociedade limitada, uma companhia fechada ou aberta.

Nesse sentido, o tipo societário escolhido para amparar a SPE definirá as suas características básicas, já que deverão ser respeitadas as disposições legais de constituição e funcionamento do referido tipo societário :em caso de sociedade limitada, Lei 10.406/2002, se sociedade anônima, Lei 6.404/1976.

Uma vez constituída, a SPE adquire personalidade jurídica própria e, portanto, estrutura destacada das sociedades que a constituíram.

Outros caminhos legais possíveis além da criação de uma SPE podem ser citados no modelo proposto, como a criação de uma Sociedade em Conta de Participação (SPC) ou a criação de

uma *holding* para que esta seja sócia-controladora das demais sociedades empresariais criadas para operar os projetos da CPRM. Todavia, estes caminhos possíveis, por apresentarem lógica empresarial similar, não serão detalhados na proposta aqui descrita. No momento de tomada de decisão por parte da CPRM, as diversas formas legais de constituição de uma sociedade (caso esta seja a estratégia preferida pela companhia) deverão ser estudadas.

9.4.1 Características principais do modelo proposto

Abaixo são apresentadas as características consideradas **indispensáveis** na concepção do Modelo 04:

- **Concessão para a pesquisa:** Assim como nos modelos 01 e 02 a pesquisa complementar ficará a cargo da empresa parceira. Estes custos serão necessários para o cálculo posterior de participação acionária na nova empresa a ser criada.
- **Criação da SPE:** Ao final dos trabalhos de pesquisa, uma nova SPE deverá ser criada entre a CPRM e a empresa parceira. O controle da sociedade deverá ser dividido e recomenda-se que a CPRM, por ser uma empresa pública, seja acionista minoritária na SPE. Os moldes contratuais e definições do acordo deverão ser melhor estudados no futuro pela CPRM.
- **Participação nos lucros e dividendos:** Ao contrário do que ocorreria nos modelos 01 e 02, não é previsto no modelo 04 o recebimento de *royalties* pela CPRM. Por outro lado, sendo as partes identificadas então como uma sociedade empresária, a CPRM deverá fazer jus ao recebimento dos lucros e dividendo advindos da comercialização de minérios do Projeto Rio Capim;
- **Relatório periódico de atividades:** A empresa concessionária deve necessariamente reportar à CPRM as atividades de pesquisa realizadas.
- **Possibilidade de abandono:** A concessionária poderá, ao final da concessão para a pesquisa, escolher não efetivar a criação da SPE, devendo obrigatoriamente repassar à CPRM as informações geradas, além de se responsabilizar por quaisquer passivos gerados.

Além das características supracitadas, outros pontos facultativos podem ser adotados pela CPRM:

- **Bônus de assinatura;**
- **Prêmio de oportunidade.**

9.4.2 Critérios a serem observados na seleção da(s) empresa(s) parceira (s)

De maneira análoga ao explanado para os modelos 01 e 02, os seguintes critérios devem ser observados na escolha da empresa parceira:

- Qualidade da proposta técnica da pesquisa geológica;
- Histórico da empresa e experiência no desenvolvimento de projetos relevantes;
- Sinergia com o negócio Caulim e/ou com a região de Ipixuna;
- Investimento proposto em pesquisa geológica;

- Valor proposto para pagamento de Bônus de Assinatura;

As exigências para a escolha da empresa parceira neste caso devem ser ainda maiores e mais bem acuradas, dada a possibilidade que no futuro a empresa se torne sócia da CPRM na lavra do ativo.

9.4.3 *Cases* e referências

Tradicionalmente, as SPE são utilizadas para grandes projetos de engenharia, com ou sem a participação do Estado, como, por exemplo, na construção de usinas hidroelétricas, redes de transmissão ou nos projetos de Parceria Público Privadas (PPP) ainda recentes no Brasil.

O funcionamento de uma SPE segue as normas e exigências para as sociedades limitadas em geral como, por exemplo, designação do administrador, poderes e obrigações dos sócios, quórum para votações, retirada de sócios, distribuição dos lucros etc. Pode-se fazer um termo de confidencialidade para proteger informações estratégicas, segredos de produção, composição de custos, entre outras particularidades que representam vantagem competitiva de cada uma das empresas sócias.

As leis abaixo regem o regime de SPE e muito utilizadas por grandes empresas:

- Lei nº 8.666/93, alterada pela Lei nº 9.074/95, conhecida como Lei das Licitações Públicas, determina a constituição de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) especialmente constituída pelos vencedores para levar adiante o objeto da licitação.
- Lei nº 8.987/95. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no art. 175 da Constituição Federal.
- Lei nº 11.079/04. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública.

Como grandes exemplos da constituição de SPE's têm-se:

- A usina de Belo Monte no Pará será operada por uma SPE, que tem como principais participantes: Eletronorte, Eletrobras e Chesf.
- A Energia Sustentável do Brasil S.A. (ESBR) é também uma Sociedade de Propósito Específico (SPE).

9.5 Modelo 05: Partilha do ativo

O modelo de Partilha tem sido largamente empregado na indústria do Petróleo, principalmente nas licitações do pré-sal. O regime de partilha altera a apropriação do ativo, que mesmo após a extração, é de propriedade da União. O vencedor da licitação tem direito a uma parcela do produto, firmado em contrato, sendo que no caso do petróleo o Estado fica com, no mínimo, 41,65%.

As atividades de complementação de pesquisa seriam feitas por concessão, de maneira análoga aos modelos 01 e 02. Em seguida, no momento da lavra dar-se-ia início ao regime de partilha.

No regime em questão, não há pagamento de participação especial e taxas de ocupação, mas há bônus de assinatura de contrato, pagamentos de *royalties* (15% do valor da produção no caso do petróleo) e o pagamento de tributos e contribuições sociais.

Não há registro do emprego do modelo na mineração, porém este é aqui relatado para fins de pesquisa e análise por parte da CPRM. Além disso, eventualmente algumas características podem ser importadas do regime de partilha nos outros modelos de concessão apresentados.

9.5.1 Características principais do modelo proposto

Abaixo são apresentadas as características consideradas **indispensáveis** no Modelo 05:

- **Relatório periódico de atividades:** A empresa concessionária deve necessariamente reportar à CPRM as atividades de pesquisa realizadas. Os valores acordados a serem investidos na pesquisa devem ter aplicação comprovada por parte da concessionária, podendo a CPRM rescindir o contrato caso haja divergências entre as atividades inicialmente previstas e as executadas.
- **Prêmio de oportunidade:** Ao final da etapa de pesquisa e início do regime de partilha, a empresa parceira deve proceder o pagamento do Prêmio de Oportunidade (PO) para então dar início à etapa de explotação.
- **Possibilidade de abandono:** A concessionária, ao final do contrato para pesquisa complementar, pode escolher não prosseguir com o acordo de partilha, devendo obrigatoriamente repassar à CPRM as informações obtidas, além de se responsabilizar por quaisquer passivos gerados.

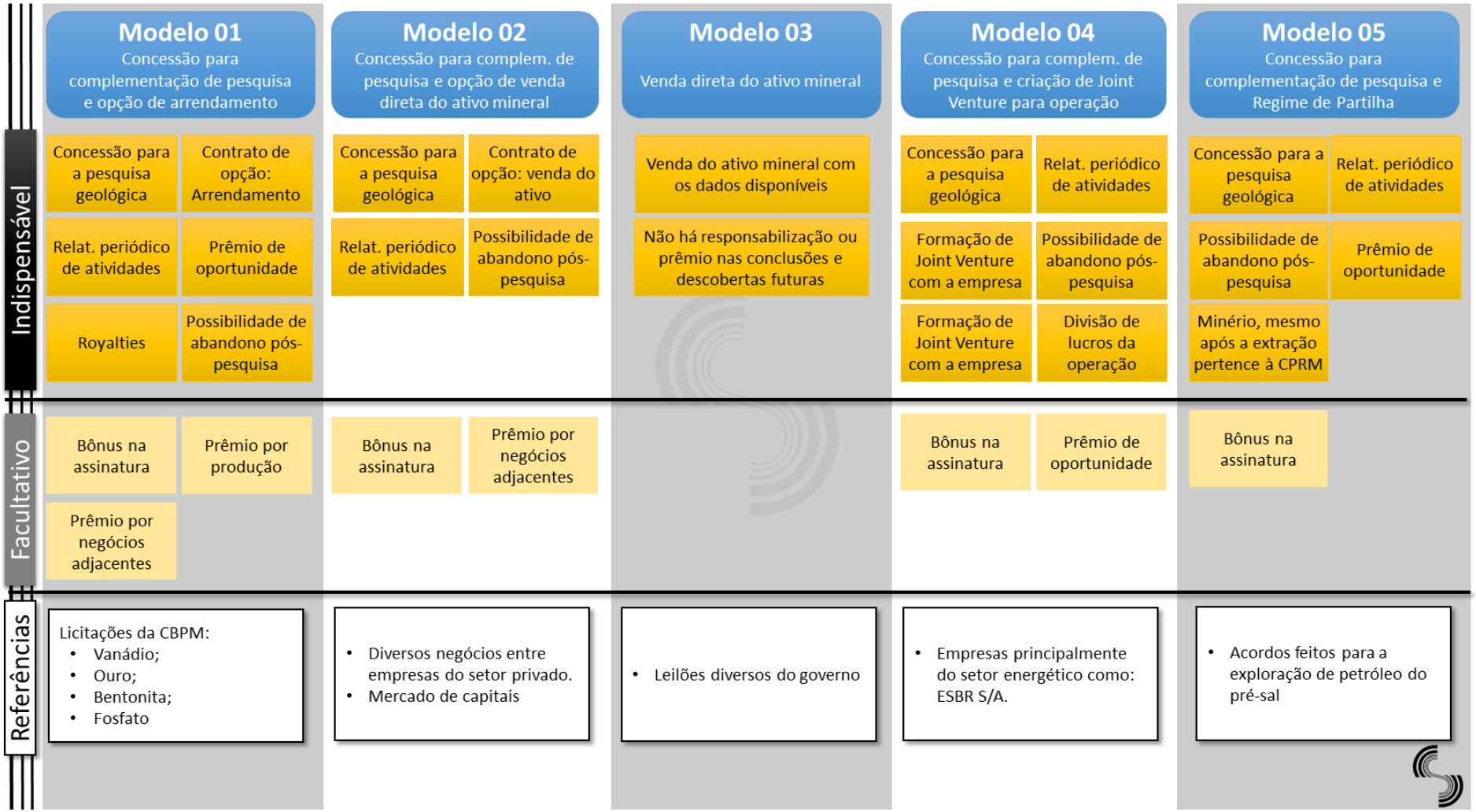
Considera-se como caraterística facultativa:

- **Bônus de assinatura.**

9.6 Discussões e conclusões

A Figura 9.3 apresenta um diagrama sintetizando os modelos levantados pela Saga.

Figura 9.3: Diagrama resumindo os modelos de negócio elencados



Assim, observa-se que os modelos 02 e 03 tratam da venda do ativo mineral. As informações disponíveis para a avaliação econômica do depósito do Rio Capim são ainda incipientes. Dessa maneira, uma venda neste momento poderia por subvalorizar um ativo com grande potencial ainda não totalmente mensurável. Caso seja a intenção da CPRM proceder a venda do ativo mineral, a opção de construir um acordo de opção de venda futura do ativo após a etapa de complementação do ativo é mais recomendada, pois proverá maiores ganhos à companhia.

A venda ou leilão do ativo mineral, mesmo que em momento futuro, não provê à CPRM ganhos com a lavra, o que, tratando-se de áreas com tamanho potencial pode representar um ponto negativo das alternativas de negócio. Por outro lado, a experiência positiva da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) tem fornecido valores interessantes de *royalties* ao estado, fazendo com que a companhia estatal seja autossuficiente.

O modelo de arrendamento tende a oferecer receitas em um longo período de tempo à CPRM, recursos esses que podem ser utilizados no desenvolvimento do conhecimento geológico nacional.

Dessa maneira, é muito importante o *benchmarking* entre CPRM e CBPM para que o *know-how* adquirido pela estatal baiana seja compartilhado, ajudando a construir um modelo de negócios rentável à CPRM e alinhado com os objetivos do PPI de desenvolvimento do país.

A ideia de se criar uma *joint venture* entre a CPRM e uma empresa maximizaria as receitas da CPRM com a lavra, porém, representam também um risco maior da companhia em caso de queda abrupta de preços, por exemplo. Em casos extremos, a SPE pode apresentar prejuízos. De toda maneira, recomenda-se que a ideia seja melhor estudada e que as questões legais intrínsecas numa associação entre empresas públicas e privadas sejam detalhadamente levantadas, assim produzindo uma análise de risco acerca desta alternativa de negócio.

Não se tem qualquer histórico do emprego do Regime de Partilha na mineração, portanto possui maior complexidade de aplicação. Todavia algumas características desse modelo, amplamente utilizado na indústria do petróleo, podem ser importadas. Assim recomenda-se o maior estudo do modelo em trabalhos futuros.

10 Análise dos Aspectos Socioambientais e sua influência na economicidade e viabilidade do Projeto

Os estudos ambientais preliminares foram fornecidos pela CPRM, validados pela Saga Consultoria e são apresentados nos itens a seguir. As informações levantadas têm como origem o estudo: "RELATÓRIO DE REAVALIAÇÃO DO PATRIMÔNIO MINERAL PROJETO RIO CAPIM – CAULIM – Dezembro 2018".

10.1 Introdução

Para a abordagem exposta, foram consultadas diversas fontes bibliográficas 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), assim como a legislação correlata. Procedeu-se, também, a elaboração de mapas de apoio para o levantamento de campo. 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. 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 mineral. 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. Foram elaborados 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) e a identificação de regiões com presença de comunidades tradicionais (quilombolas e indígenas).

10.2 Contexto 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.

10.3 Unidades de Conservação

O território paraense apresenta variedade vegetativa muito grande, que inclui florestas de transição, matas secas e semideciduais, 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.

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.

10.4 Áreas de Preservação Permanente

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).

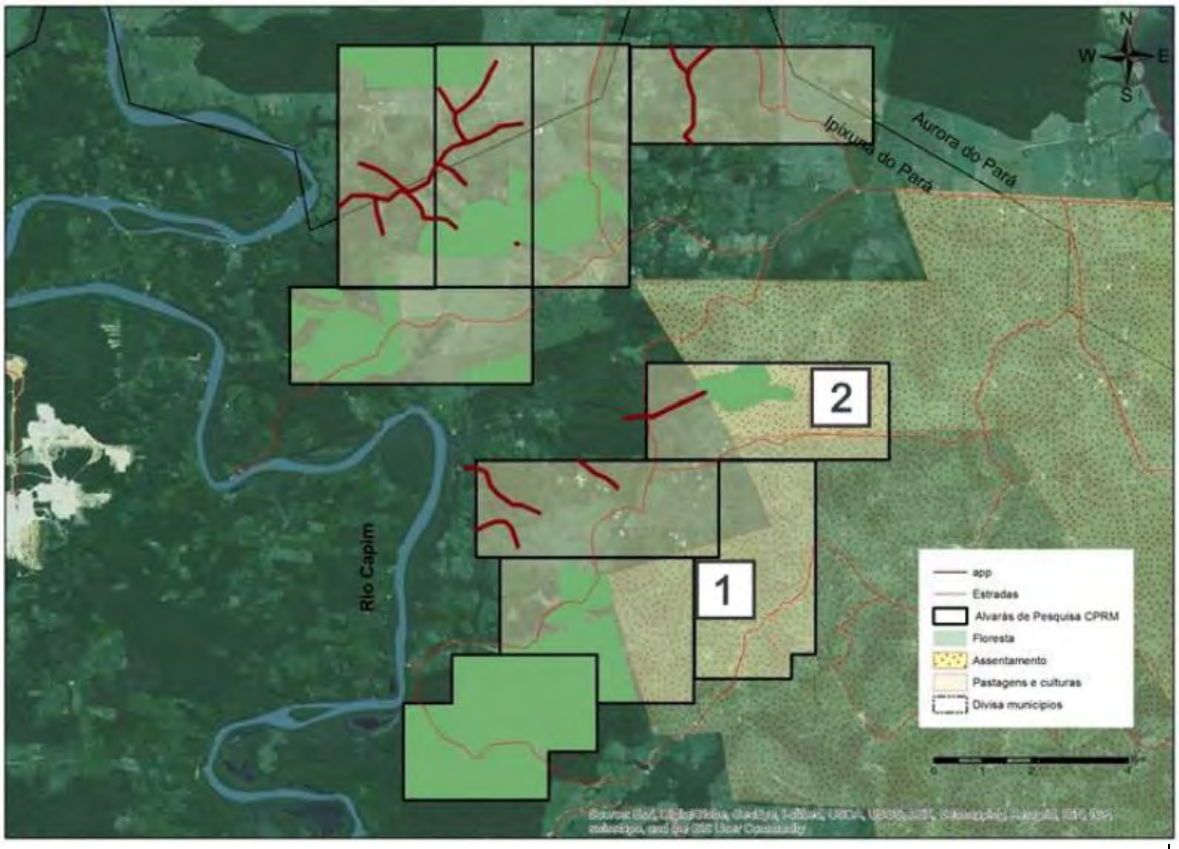
10.5 Áreas de Regularização Fundiária (Assentamentos)

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 10.1). 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.

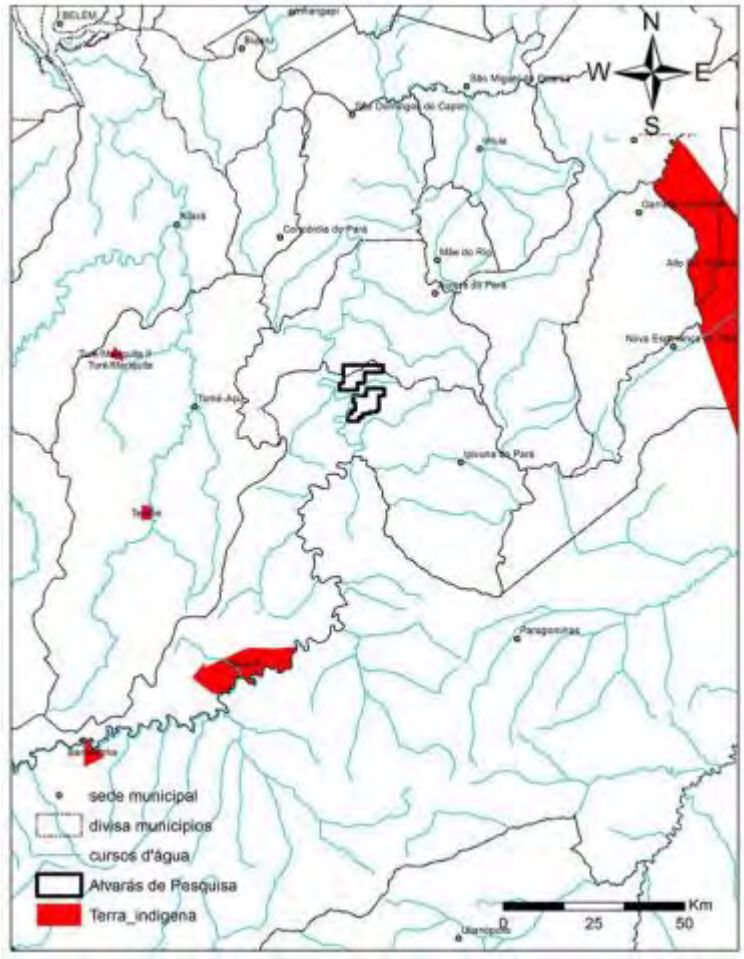
Figura 10.1: Uso e ocupação do solo



10.6 Áreas Indígenas e Quilombolas

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 10.2). As TI Barreirinha e Sarauá situam-se às margens do rio Capim, mas posicionadas à montante das áreas de alvará de pesquisa.

Figura 10.2: Áreas protegidas próximas as áreas da CPRM



11 Conclusões e Recomendações

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

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

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

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

Em resumo, 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% *in situ*.

Sugere-se a adoção de procedimento da garantia e controle da qualidade das amostras analisadas (QAQC), com inserção de padrões, brancos e duplicatas conforme as melhores práticas estabelecidas pelo mercado. Embora oneroso, tal procedimento agregará valor ao empreendimento dadas as exigências cada vez mais severas em negociações de ativos minerários.

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

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

Conforme apresentado, o mercado global de Caulim movimentou em 2019 US$4,7 bilhões. O segmento de papel representou a maior quota de mercado em 2019 (37,7%), enquanto o segmento de cerâmica ficou na segunda posição, cerca de 30%. Os principais *players* globais da indústria de caulim incluem BASF SE, Sibelco NV e Imerys SA. O mercado mundial de Caulim

deve crescer a uma taxa anual de 3,5% de 2020 a 2027. Desta maneira, espera-se que este mercado atinja em 2027 receitas totais da ordem de US$ 6,28 bilhões, conforme dados do *Grand View Research* apresentados no Capítulo 5.

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

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

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

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

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

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

Foram levantadas, no Capítulo 9, possíveis alternativas de negócio para uma parceria público-privada para a explotação do ativo. O modelo de concessão para complementação de pesquisa e posterior arrendamento da área poderá conferir a estatal ganhos futuros maiores tendo em vista o atual conhecimento acerca do depósito e as possibilidades futuras de produção e aproveitamento do bem mineral.

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

Os resultados dos fluxos de caixa demonstraram a viabilidade econômica do Projeto. A análise da TIR, no entanto, evidencia que os resultados financeiros obtidos são bastante ajustados se comparados com outros projetos mineiros. Isto se deve aos expressivos investimentos demandados, principalmente para a construção da Planta de beneficiamento e Mineroduto. A taxa interna de retorno obtida na análise pelo Fluxo de Caixa do Projeto foi de 12,5%, enquanto o VPL nos 20 anos de produção avaliada foi de R$ 760,88 Milhões.

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

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

Considerando também o estágio em que se encontra o projeto, uma venda direta agora provavelmente atrairia poucos interessados, fazendo com que este modelo seja considerado de baixa liquidez. Reforça-se, portanto, a análise de que o ativo se encontra em fase extremamente incipiente para uma eventual venda direta, que poderia culminar em subvaloração e redução de ganhos futuros à estatal. Assim, conforme recomendado no Capítulo 9, a abordagem ideal de parceria público-privada, e que remuneraria a CPRM em situações de ganhos extraordinários, passa, necessariamente, por acordos que envolvam o pagamento de *Royalties* ao longo da explotação do depósito mineral.

Em comparação com modelos de negócios similares, pode-se citar as parcerias público-privadas que vêm sendo realizadas pela CBPM (Companhia Baiana de Pesquisa Mineral). A estatal têm executado leilões de áreas para diversas commodities minerais, conforme modelo apresentado

no Capítulo 9, obtendo-se Royalties de até 4% a partir de leilões tendo como valor inicial de 0,5% à 1%.

12 Referências bibliográficas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Anexo I – Orçamento preliminar de pesquisa mineral complementar

QUADRO DE QUANTIDADES E PREÇOS RIO CAPIM	VALOR UNITÁRIO (R$)	QUANTIDADE	SUBTOTAL (R$)	OBSERVAÇÃO
Mobilização pessoal (por equipe de sonda)	15 000.00	1	15 000.00	
Desmobilização pessoal	15 000.00	1	15 000.00	
Mobilização e desmobilização (equipamentos) (sonda/km)	25.00	200	5 000.00	Distância Belém - Rio Capim: 100 km
Manutenção de acampamento (m2)	35.00	40	1 400.00	
Conteiner (unidade/mês)	2 000.00	2	4 000.00	
Acampamento (construção + mensal)	10 000.00	2	20 000.00	
Trator de esteiras - 140HP e 165HP (unidade/mês)	50 000.00	1	50 000.00	
Mudança de sonda	2 000.00	155	310 000.00	
Corte de testemunho (m)	15.00	2 906	43 590.00	
Caminhão pipa (unidade/mês)	25 000.00	1	25 000.00	
Sanitário químico (unidade/mês)	2 000.00	2	4 000.00	
Caixa de testemunho de madeira (unidade)	50.00	1 000	50 000.00	
Gerador de 25 kva (unidade/mês)	10 000.00	1	10 000.00	
Caminhão Munck (unidade/mês)	25 000.00	1	25 000.00	
Sondagem diâmetro H (m)	450.00	2 906	1 307 700.00	
Análises Químicas + testes bancada (unidade)	3 000.00	1 240	3 720 000.00	Espessura média do minério: 8m@155 furos@suporte amostral: 1 m
Topografia(ha)	30.00	10 000	300 000.00	
TOTAL			**5 905 690.00**	

Anexo II – Mapa com sugestão de locação de sondagem