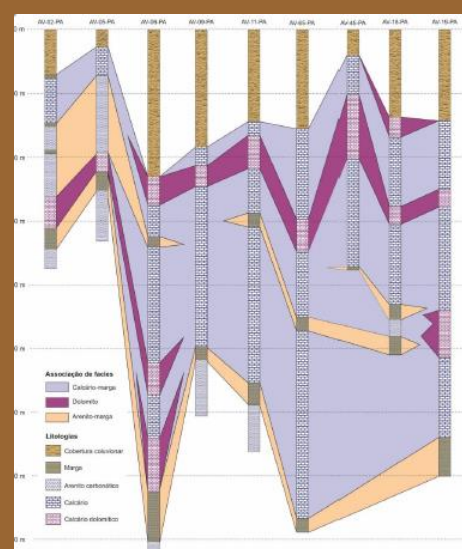
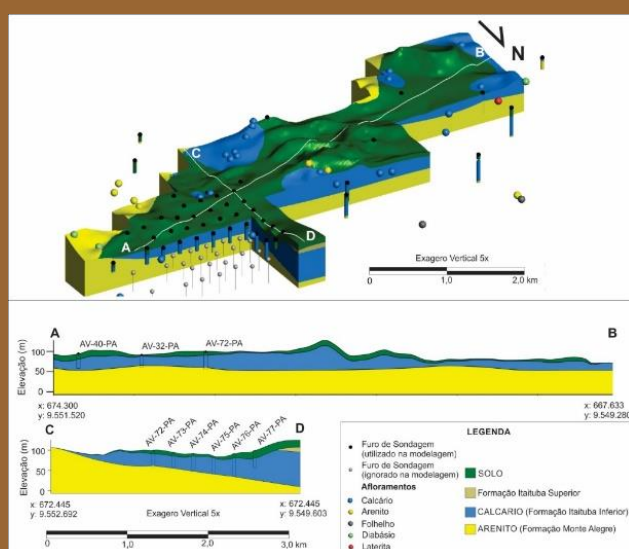


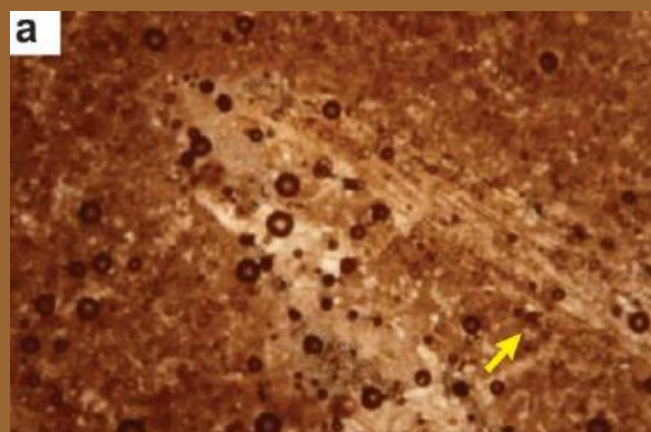
# PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

## REAVALIAÇÃO DO PATRIMÔNIO MINERAL – ÁREA CALCÁRIO AVEIRO

### ESTADO DO PARÁ



ERA	UNIDADE			LITOLOGIA E ESPESURA (METROS)	DESCRIÇÃO LITOLOGICA
	PERÍODO	ÉPOCA	LITOESTRATIGRAFIA		
CENÓZOICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	ALUVIÃO		Sedimentos inconsolidados, arenos-argilosos e argilo-arenosos
	PALEOGENO	OLIGOCENO			
		EÓCENO	FORMAÇÃO ALTA DO CARIÓ	10 a 150	Intercalações de arenito argiloso com conglomerados subarborescentes
MESOZOICO	CRETÁCIO	SUPERIOR			
		INFERIOR	DABÁSIO PENATECAUA		Solistas e drusas de diabásio
	JURÁSSICO	MÉDIO A SUPERIOR			
PALEOZOICO	PERMIANO	INFERIOR A MÉDIO	FORMAÇÃO NOVA OLÍNDIA	250 a 3000	Siltitos cinza-claro a folhelhos cinza-escuro. Arenitos finos a médios por vezes argilosos. Calcários, gessos e solistas de diabásio
	CARBONÍFERO	PENNSYLVANIANO	FORMAÇÃO ITAITUBA	100 a 115	Calcário ultra-arenoso por vezes argilosos (margá), intercalações de siltitos, folhelhos e arenitos
			FORMAÇÃO MONTE ALEGRE	38 a 64	Conglomerado basal com seitos de quartzo, arenitos grosseiros, melões e fins
	DEVONIANO	MISSISSIPIANO			
		SUPERIOR	GRUPO CURUÁ	100 a 215	Folhelho cinza médio a negro, de aspecto arenoso, tomam-dito-espaciais na base e com intercalações de siltitos. Arenito médio a fino com marcas diversas
		MÉDIO			



## INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Oportunidades Minerais  
Exame Atualizado de Projeto, nº 34

Brasília – 2022



VERSÃO PRELIMINAR

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA****Ministro de Estado**

Bento Albuquerque

**Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Pedro Paulo Dias Mesquita

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM****DIRETORIA EXECUTIVA****Diretor Presidente**

Esteves Pedro Colnago

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Marcio José Remédio

**Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

**Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Paulo Afonso Romano

**Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Souza Alves

**COORDENAÇÃO TÉCNICA****Chefe do Departamento de Recursos Minerais**

Marcelo Esteves Almeida

**Chefe da Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória**

Ruben Sardou Filho

**Chefe do Departamento de Geologia**

Lúcia Travassos da Rosa Costa

**Chefe do Departamento de Informações Institucionais**

Edgar Shinzato

**Chefe do Departamento de Relações institucionais e Divulgação**

Patrícia Düringer Jacques

**Chefe do Departamento de Apoio Técnico**

Maria José Cabral Cezar

**Chefe da Divisão de Editoração Geral**

Lucas Victor de Alcântara Estevão

**Chefe da Divisão de Documentação Técnica**

Roberta Pereira da Silva de Paula

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SÃO PAULO****Superintendente**

Lauro Gracindo Pizzatto

**Gerência de Geologia e Recursos Minerais**

Maurício Pavan Silva

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELÉM****Superintendente**

Jânio Souza Nascimento

**Gerência de Geologia e Recursos Minerais**

Cesar Lisboa Chaves

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**  
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS  
**PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil**

# **PROJETO DE REAVALIAÇÃO DO PATRIMÔNIO MINERAL - ÁREA CALCÁRIO AVEIRO**

**ESTADO DO PARÁ**

## **ORGANIZADORES**

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa  
Ricardo Wosniak  
Ricardo Gallart de Menezes  
Gustavo Alexandre Silva  
Ruben Sardou Filho  
Cesar Lisboa Chaves

**INFORME DE RECURSOS MINERAIS**  
Série Províncias Minerais do Brasil, nº 34



**SERVIÇO GEOLÓGICO  
DO BRASIL – CPRM**

---

Brasília 2022

## **REALIZAÇÃO**

Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

## **ORGANIZADORES**

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa (Chefe do Projeto)

Ricardo Wosniak (Coordenação Técnica)

Luiza Lopes Araújo

Ricardo Gallart de Menezes

Gustavo Alexandre Silva

Giovani Nunes Parisi

Ruben Sardou Filho (Coordenação Geral)

Raphael Araújo Neto (SUREG-BE)

José Guilherme Ferreira de Oliveira (SUREG-BE)

Élcio Rodrigues

Lucas Camargo Marquezine (SUREG-SA)

Luciano Castro (SUREG-BE)

## **TEXTO EXPLICATIVO**

### **Resumo**

Ricardo Gallart de Menezes

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

### **1. Introdução**

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

Ricardo Gallart de Menezes

### **2. Localização, Infraestrutura e Logística**

Ricardo Gallart de Menezes

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

### **3. Aspectos Legais**

Ruben Sardou Filho

Élcio Rodrigues

### **4. Histórico do Projeto**

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

### **5. Aspectos Fisiográficos**

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

### **6. Geologia Regional**

Raphael Neto Araújo (SUREG-BE)

José Guilherme Ferreira de Oliveira (SUREG-BE)

Ricardo Gallart de Menezes

### **7. Geologia Local e Características do Depósito de Calcário**

Raphael Neto Araújo (SUREG-BE)

José Guilherme Ferreira de Oliveira (SUREG-BE)

Ricardo Gallart de Menezes

### **8. Procedimentos de Resgate dos Dados Analógicos**

Luiza Lopes Araújo

Lucas Camargo Marquezine (SUREG-SA)

## **9. Modelagem Geológica e Estimativa de Recursos**

Ricardo Wosniak

Luiza Lopes Araújo

## **10. Lavra e Beneficiamento**

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

Ricardo Gallart de Menezes

## **11. Análise Econômica**

Gustavo Alexandre Silva

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

## **12. Diagnóstico Socioambiental**

Giovani Nunes Parisi

Ricardo Gallart de Menezes

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

## **13. Conclusões e Recomendações**

Ricardo Wosniak

Gustavo Alexandre

Ricardo Gallart de Menezes

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

## **14 Referências Bibliográficas**

Jairo Cleber de Oliveira Pessoa

Giovani Nunes Parisi

Raphael Neto Araújo (SUREG-BE)

José Guilherme Ferreira de Oliveira (SUREG-BE)

Luiza Lopes Araújo

Ricardo Gallart de Menezes

Gustavo Alexandre Silva

## **ESTAGIÁRIAS**

Daniela Pascoal de Paiva Macedo (SUREG-SA)

Beatriz Medeiros (SUREG-SA)

Geovana Finamore (SUREG-SA)

Vanessa Mercês (SUREG-SA)

## **COLABORAÇÃO TÉCNICA, REVISÃO E COMPATIBILIZAÇÃO**

Ricardo Gallart de Menezes

## **FOTOS DA CAPA**

Acima, esquerda para a direita:

1. Modelo geológico geral do depósito de calcário Aveiro em 3D e seções verticais;

2. Perfil com correlação das camadas de calcário através de furos de sondagem.

Abaixo, esquerda para direita:

3. Quadro estratigráfico da área com destaque para a Fm Itaituba, hospedeira do minério;

4. Calcilito com matriz biomicrítica (10x, nicóis //).

# APRESENTAÇÃO

---

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil - tem a satisfação de disponibilizar à comunidade geocientífica, empresários do setor mineral e à sociedade em geral, o Informe da Série Oportunidades Minerais – Exame Atualizado de Projetos, número 34, Calcário Aveiro do Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, o qual se insere no Programa **Geologia, Mineração e Transformação Mineral – Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil**. O Projeto de Reavaliação do Patrimônio Mineral da CPRM tem como objetivo resgatar e reavaliar dados geológico, geoquímicos e geofísicos gerados pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais entre as décadas de 1970 e 1990, que constituem o patrimônio mineral da empresa, validando-os, organizando-os em um sistema de banco de dados, integrando-os e reinterpretando-os à luz do conhecimento geológico atual. O projeto é de responsabilidade da Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória - DIEMGE, sob a coordenação geral do Departamento de Recursos Minerais – DEREM, da Diretoria de Geologia e Mineração – DGM. Neste sentido, o **Serviço Geológico do Brasil/CPRM** apresenta o presente produto com intuito de disponibilizar dados reavaliados sob a ótica de técnicas mais modernas dos recursos de calcário que constituem ativos da empresa situados na municipalidade de Aveiro, na região da bacia do Rio Cupari, no centro-oeste do Estado do Pará. O trabalho deverá servir de parâmetro para avaliações econômicas em nível conceitual que permitam estimar o valor do ativo mineral e a melhor forma de atuação da CPRM em futuras licitações para as demais substâncias que compõem seu portfólio. A CPRM detém 332 processos de direitos minerários ativos no Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, atual Agência Nacional de Mineração - ANM, em fases variáveis entre alvarás de pesquisa e relatórios finais de pesquisa, os quais constituem 30 blocos de áreas distribuídos por todo país. Os bens minerais que compõem o atual portfólio da instituição, com a quantidade de blocos de áreas pertinentes a cada substância indicados entre parêntesis, são: fosfato (1), cobre (1), chumbo (1), zinco (1), ouro (3), caulim (1), níquel laterítico (2), gipsita (1), carvão (5), turfa (9), diamante (2), nióbio (1), terras-raras (1) e calcário (1). O presente informe mineral apresenta resultados da modelagem e interpretação dos dados geológicos obtidos durante trabalhos de pesquisa realizados na década de 1980 nas áreas da CPRM, que permitiram esboçar um modelo geológico tridimensional para as camadas de gipsita na área de estudo e quantificar seus recursos em bases mais consistentes.

Esteves Pedro Colnago  
Diretor-Presidente

Márcio José Remédio  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

## RESUMO

A área de pesquisa com as jazidas de calcário titulada à CPRM está situada no interflúvio formado entre a bacia do alto curso rio Cupari e pelos afluentes pela margem direita do rio Tapajós, no município de Aveiro, Estado do Pará. É relativa ao processo DNPM 807.564/76, com 998,20 hectares, o qual, juntamente com os processos 801.847/75, 802.605/75, 802.606/75 e 811.406/75, foram alvo do denominado Projeto Aveiro, desenvolvido pela CPRM na década de 1970. É importante ressaltar, porém, conforme o sistema de informações de controle de áreas da ANM, que o único processo com relatório final de pesquisa aprovado relacionado ao calcário de Aveiro e outorgado à CPRM é o de número 807.564/76, que tem como substância alvo o magnésio. Portanto, todos os dados e informações apresentados no relatório são exclusivos a essa área. No contexto geológico local os depósitos de calcário estão inseridos na Formação Itaituba (Grupo Tapajós), onde predominam na sua porção basal na forma de camadas lenticulares sub-horizontais com espessuras variadas, que atingem dezenas de metros, contendo intercalações subordinadas de folhelhos, siltitos e arenitos. Em sentido ao topo da Formação Itaituba passam a prevalecer unidades siliciclásticas formadas por intercalações entre folhelhos, arenitos e siltitos, além de níveis de anidrita nodular, com a rocha calcária presente de forma mais restrita. O capeamento, muito irregular, comumente é formado por material argilo-arenoso cinza a amarelado, que pode atingir até 30 m ou está completamente ausente, com a rocha calcária exposta na forma de pequenos bancos e calotas, com blocos dispersos superficialmente, com frequentes feições de erosão cárstica. As rochas carbonáticas compreendem calcários e dolomitos ( $MgO > 10\%$ ), com amplo predomínio dos termos calcíticos, e ocorrem intercalados entre si, apresentando colorações que variam do cinza-esbranquiçado passando pelo creme até cinza-escuro. São rochas, em geral, compactas, fossilíferas, podendo conter impurezas argilosas, sendo classificados em termos da granulometria como variando de calcilutitos a calcarenitos e textura desde de micrítica a granular, até oolítica. Estratificações plano-paralelas, estilólitos e concreções silicosas por substituição são feições comuns associadas às camadas calcárias, assim como cavidades e fraturas preenchidas por calcita granular (sacaroide). O termo mais calcítico é classificado como um biocalcarenito esbranquiçado, poroso, microfossilífero e algo argiloso. A Formação Itaituba foi depositada em ambiente marinho raso a planície de inframaré, correspondendo a uma sequência químico-evaporítica localizada no flanco sul da bacia intracratônica do Amazonas com idade atribuída ao Carbonífero Médio (Pensilvaniano). Os recursos globais de rocha carbonática obtidos pelos trabalhos da modelagem indicaram uma quantidade da ordem de 585 milhões de toneladas, sendo classificados como recursos inferidos. Os teores médios obtidos para os óxidos de Ca e Mg foram, respectivamente, de 43,15% e 5,67%, indicando a prevalência dos termos calcíticos. Em relação aos teores médios do  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $Fe_2O_3$  os valores encontrados, respectivamente, de 0,97%, 6,17% e 0,82%, retratam calcários relativamente com baixo grau de impurezas. Análises realizadas em amostras exclusivamente calcárias (*sensu strictu*) forneceram teores médios para os óxidos de Ca e de Mg de 46,87% e 3,73%, respectivamente, enquanto daquelas classificadas como dolomíticas os valores respectivos para esses mesmos óxidos foram de 29,95% e 14,71%. Os recursos obtidos foram classificados como recursos inferidos por se tratarem de dados históricos, onde requisitos mínimos não foram atendidos, conforme exigem os códigos e normas internacionais.

## ABSTRACT

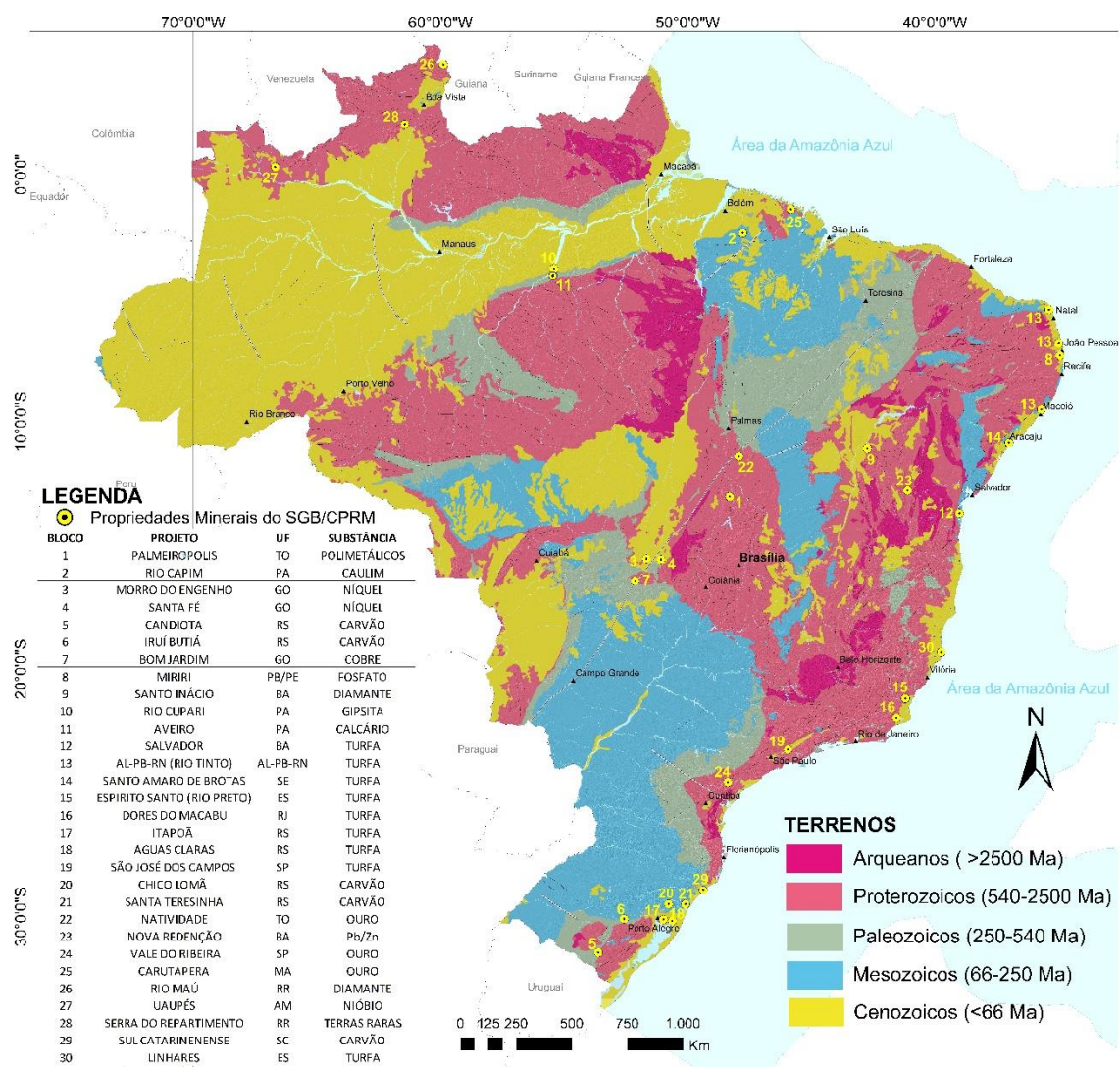
The research area with limestone deposits titled to CPRM is located in the interfluvium formed between the upper course of the Cupari River and the tributaries on the right bank of the Tapajós River, in the municipality of Aveiro, State of Pará. It is related to the DNPM 807.564 process /76, with 998.20 hectares, which, together with processes 801,847/75, 802,605/75, 802,606/75 and 811,406/75, were the target of the so-called Aveiro Project, developed by CPRM in the 1970s. However, according to the ANM area control information system, the only process with an approved final research report related to Aveiro limestone and granted to CPRM is number 807.564/76, which has magnesium as its target substance. Therefore, all data and information presented in the report are unique to this area. In the local geological context, limestone deposits are inserted in the Itaituba Formation (Tapajós Group), where they predominate in its intermediate portion in the form of sub-horizontal lenticular layers with varying thicknesses, reaching tens of meters, containing subordinate intercalations of shales, siltstones and sandstones. Towards the top of the Itaituba Formation, siliciclastic units prevailed, formed by intercalations between shales, sandstones and siltstones, in addition to levels of nodular anhydrite, with the limestone rock present in a more restricted way. The capping, very irregular, is commonly formed by gray to yellowish clayey-sandy material, which can reach up to 30 m or is completely absent, with exposed limestone rock in the form of small banks and caps, with superficially dispersed blocks, with frequent features of karst erosion. The carbonate rocks comprise limestones and dolomites ( $\text{MgO} > 10\%$ ), with a large predominance of calcitic terms, and occur interspersed with each other, with colors ranging from whitish gray through cream to dark gray. They are rocks, in general, compact, fossiliferous, and may contain clayey impurities, being classified in terms of granulometry as ranging from calcilutites to calcarenites and texture from micritic to granular, to oolitic. Plano-parallel bedding, stylolites and siliceous replacement concretions are common features associated with limestone layers, as are cavities and fractures filled with granular (saccharoid) calcite. The more calcitic term is classified as a whitish, porous, microfossiliferous and somewhat clayey biocalcarenite. The Itaituba Formation was deposited in a shallow marine environment at the subtidal plain, corresponding to a chemical-evaporitic sequence located on the southern flank of the intracratonic Amazon basin with an age attributed to the Middle Carboniferous (Pennsylvanian). The global resources of carbonate rock obtained by the modeling work indicated an amount of the order of 585 million tons, being classified as inferred resources. The average contents obtained for Ca and Mg oxides were, respectively, 45.44% and 4.60%, indicating the prevalence of calcitic terms. In relation to the average contents of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , the values found, respectively, of 0.97%, 6.17% and 0.82%, portray limestones with relatively low degree of impurities. Analyses performed on exclusively calcareous samples (*sensu strictu*) provided average contents for Ca and Mg oxides of 46.87% and 3.73%, respectively, while for those classified as dolomitic, the respective values for these same oxides were 29.95 % and 14.71%. The resources obtained were classified as inferred resources because they are historical data, where minimum requirements were not met, as required by international codes and standards.



# 1. INTRODUÇÃO

A CPRM detém 332 processos de direitos minerários ativos na Agência Nacional de Mineração - ANM, em fases variáveis entre alvarás de pesquisa e relatórios finais de pesquisa, os quais constituem 30 blocos de áreas distribuídos por todo país (Figura 1). Os bens minerais que compõem o portfólio da instituição, com a quantidade de blocos de áreas pertinentes a cada substância indicados entre parêntesis, são: fosfato (1) cobre (1), chumbo (1), zinco (1), ouro (3), caulim (1), níquel laterítico (2), gipsita (1), carvão (5), turfa (9), diamante (2), nióbio (1), terras-raras (1) e calcário (1).

Figura 1 - Mapa com a localização dos blocos de áreas de direitos minerários da CPRM.



O presente informe teve como objetivo resgatar e reavaliar os dados e informações geológicas, relativas a pesquisas realizadas na década de 1970 pela CPRM em ocorrências de calcário localizadas no município de Aveiro, no centro-oeste do estado do Pará. A área de pesquisa é pertinente a uma poligonal



outorgada à CPRM, com quase 1000 hectares, referente ao processo DNPM 807.564/76 com a substância alvo qualificada para magnésio.

As atividades realizadas para o presente Informe compreenderam a recuperação dos dados históricos e sua transformação em formatos digitais, que incluíram mapas geológicos, boletins com descrição das sondagens rotativas, perfis geológicos e dados analíticos diversos. Os boletins históricos de sondagem, análises químicas e outros existentes foram resgatados e organizados em pastas específicas, conforme às normas internacionais aplicadas à exploração mineral. Visando maximizar a confiança nos dados originais foi realizada a consistência de todas as informações históricas resgatadas, inserindo no banco de dados apenas aquelas consideradas válidas. Para melhor entendimento geológico e da aplicabilidade das técnicas exploratórias utilizadas no passado foram consultadas diversas fontes de estudos sobre a gênese da jazida.

Após a fase de resgate, organização e validação dos dados iniciou-se a modelagem tridimensional dos corpos de minério, em escala compatível, tendo a altimetria SRTM usada, corrigida por dados locais georreferenciados e consistidos obtidos em campo, inerentes aos pontos das sondagens e da descrição de afloramentos, entre outros, os quais devidamente localizados espacialmente. O modelo de blocos foi validado para verificação de ajuste/perda/ganho de material (litologia/geologia) e validação da interpolação de teores. O *software* Leapfrog Geo v. 6.0 foi utilizado para integração de todos os dados digitalizados para gerar modelos 3D e parametrizar os recursos.

O quadro de recursos foi realizado com base nas orientações contidas nos códigos JORC (*JOINT ORE RESERVES COMMITTEE*), da Austrália, e NI43-101, do Canadá. Contudo, e deve-se considerar que, por se tratar de dados históricos, não se pode garantir o seguimento dessas normas por completo.

O presente informe foi de responsabilidade do Departamento de Recursos Minerais (DEREM) da CPRM, por meio da Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória (DIEMGE), que teve apoio direto da Superintendência Regional de Belém da CPRM, que forneceu suporte técnico-administrativo e disponibilizou seus pesquisadores que contribuíram para elaboração do relatório. Todas as atividades foram acompanhadas por um ou mais técnicos da SUREG-BE, possibilitando assim treinamento e transferência de conhecimento na avaliação de recursos minerais.

## 2. LOCALIZAÇÃO, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

A área de pesquisa com as jazidas de calcário titulada à CPRM, relativa ao processo DNPM 807.564/76, está localizada no interflúvio formado entre a bacia do alto curso rio Cupari e pelos afluentes pela margem direita do rio Tapajós, no município de Aveiro, Estado do Pará. A poligonal dista aproximadamente 27 km ao sul do distrito de Fordlândia (Aveiro), situado na margem direita do rio Tapajós, podendo ser acessada por via terrestre através da estrada de terra que une esse povoado à BR 230 (Transamazônica) na altura do distrito de Divinópolis (Rurópolis), a sul, e que a corta longitudinalmente (Figura 2). Acesso terrestre a Santarém, terceira maior cidade paraense, pode ser realizado pelas rodovias BR 230 e BR 163, esta, partir de um entroncamento na cidade de Rurópolis, perfazendo um trecho total aproximado de 300 Km, em grande parte pavimentado.

Para uma visão mais regional, é mostrada na figura 3 o posicionamento da área de trabalho no mapa do estado do Pará com sua malha rodo-hidro-ferroviária, com as principais vias federais e estaduais, em operação e planejadas, conforme dados do ministério dos Transportes em 2012.

Figura 2 – Localização aproximada da área de pesquisa para calcário da CPRM, com detalhe de seus limites, relativa ao processo DNPM 807.564/76.

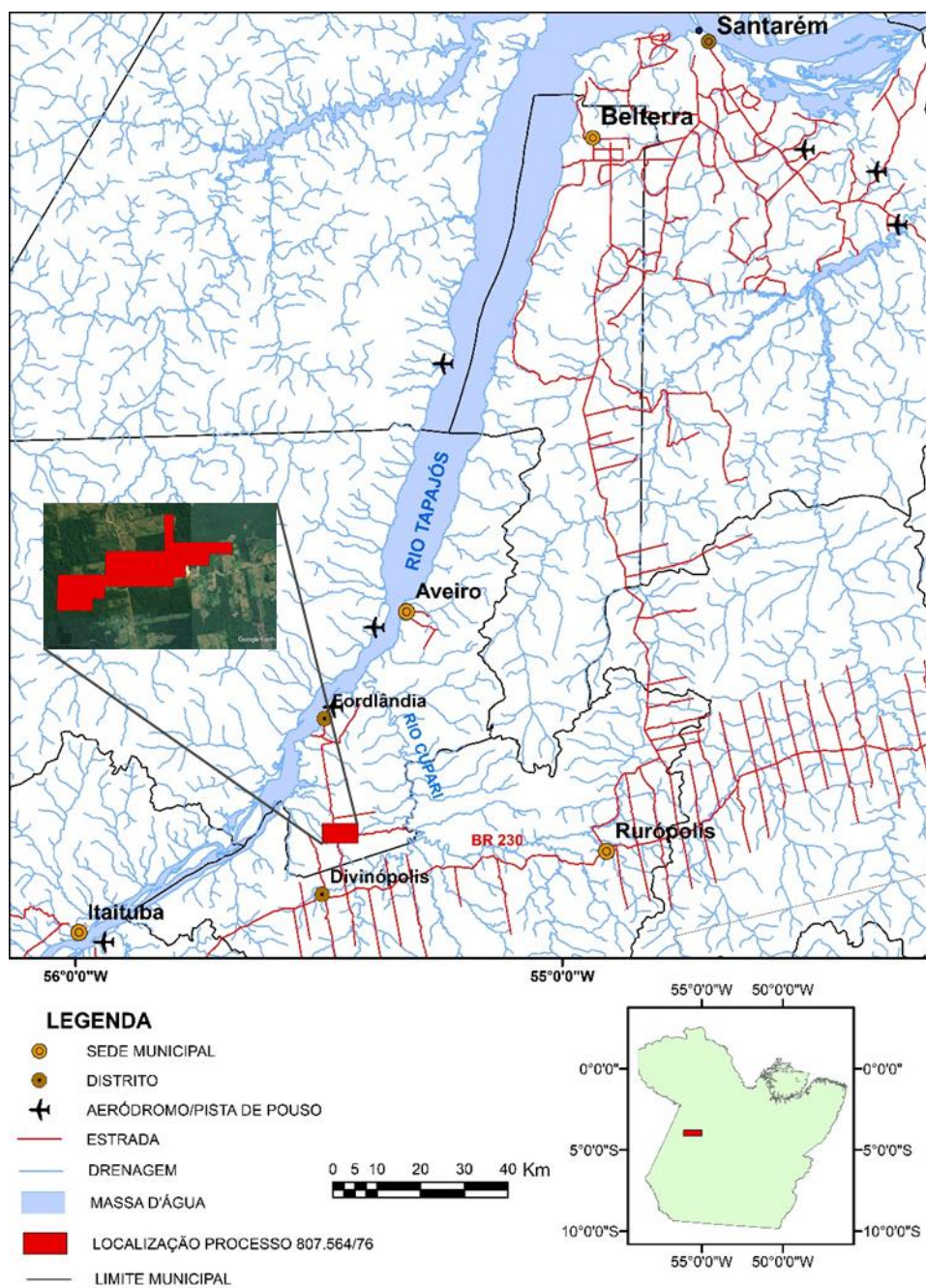
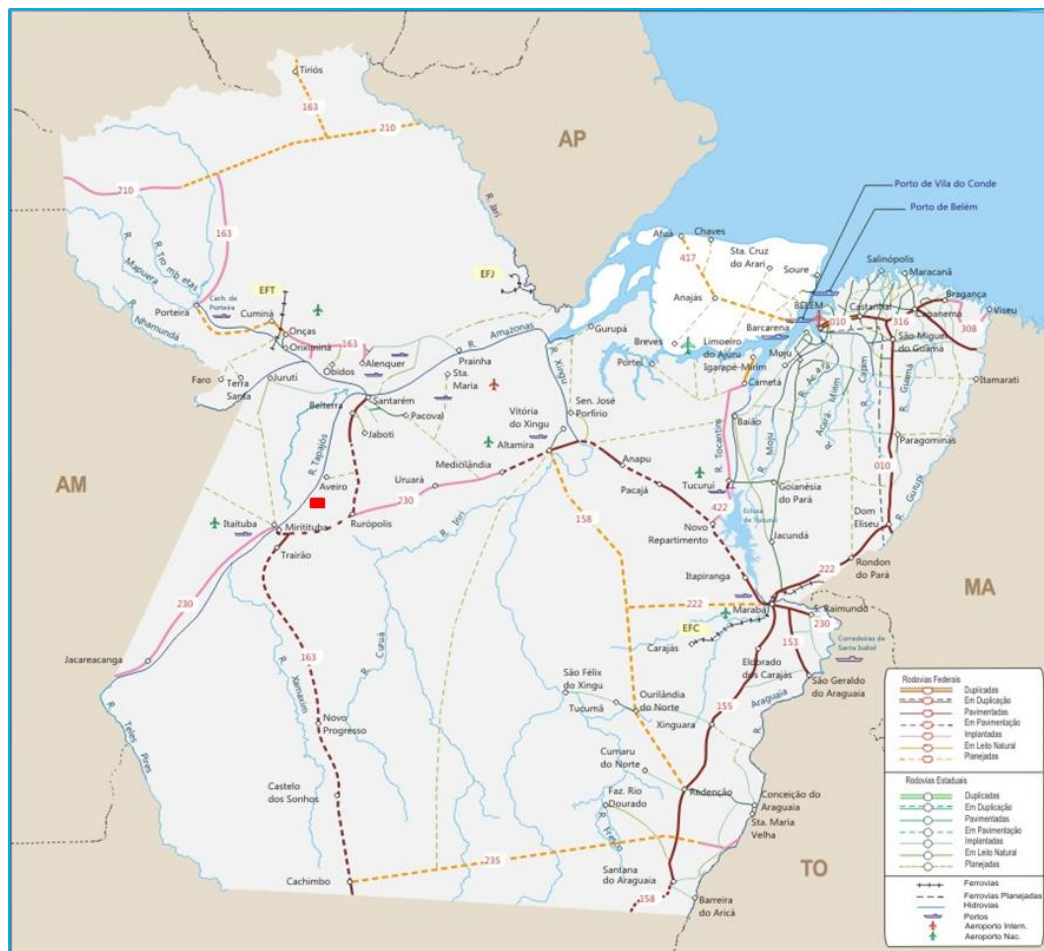


Figura 3 – Mapa com a infraestrutura rodo-hidro-ferroviária do Estado do Pará em 2012 (Conforme Ministério dos Transportes). Localização da área com os depósitos de gipsita destacada pelo retângulo vermelho (Fonte: <https://www.infoescola.com/mapas/mapa-rodoviario-do-para/>)



A cidade com melhor suporte para eventual apoio a atividades de mineração do calcário é Itaituba, situada a cerca de 70 km a montante pelo curso do rio Tapajós do distrito de Fordlândia. A cidade, com população de pouco mais de 100 mil habitantes, dispõe de uma boa infraestrutura, com bons hotéis, hospitais, agências bancárias, comércio variado, além de dispor de um aeroporto atendido por voos comerciais regulares. Este terminal (Figura 4), o mais próximo da área do projeto, é classificado como um aeroporto regional e considerado o mais importante do sudoeste paraense, contando com voos que ligam Itaituba a cidades como Santarém, Altamira, Belém e Manaus. O aeroporto é totalmente climatizado, contando com mix de lojas, praça de alimentação e acesso gratuito à Internet. A operação de pousos e decolagens no aeródromo é feita pelo Grupamento de Navegação Aérea de Itaituba (GNA III - SBIH). O aeródromo dispõe de sinalização que permite operações noturnas (IFR), e possui uma pista auxiliar para o taxiamento de aeronaves (WIKIPÉDIA, 2021). Segundo a ANAC (2021), Itaituba conta ainda com 18 pistas de pouso, entre pavimentadas e de piçarra, espalhadas por diversas fazendas no município. O aeroporto internacional de Santarém, Maestro Wilson Fonseca, está distante, aproximadamente, 370 km da área do projeto e possui voos regulares para as principais cidades e possibilidades de conexão com todo o País e para o exterior. Sua localização geográfica traz um diferencial atrativo para toda essa região. Entretanto, para suas demandas imediatas a área tem como suporte o distrito de Divinópolis, 13 km ao sul, o qual dispõe de um comércio razoável, com mercados, postos de combustíveis e oficinas mecânicas.

O estado do Pará possui uma condição hidroviária muito favorável em relação a outros estados do País. Mais de 50% dos municípios são interligados por rios e por conta disto são, pelo menos, 108 pontos de

infraestrutura portuária que permitem a chegada e saída de mercadorias e, evidentemente, transporte de passageiros. Neste sentido, como não poderia deixar de ser, a cidade de Itaituba está na rota de uma dessas hidrovias, que é a do Tapajós-Teles Pires (DNIT, 2021), em consolidação, que se estende por 850 km entre a confluência dos rios Teles Pires e Juruena, na divisa entre os estados do Mato Grosso, Pará e Amazonas, e a cidade de Santarém, no Pará.

A cidade de Itaituba dispõe de dois terminais portuários, um deles é o TUP (Terminal de Uso Privado) de Miritituba (Figura 5), com infraestrutura para movimentação e armazenamento de grãos sólidos e líquidos. É utilizado principalmente para escoamento de grãos vindos do estado do Mato Grosso por meio de caminhões através da BR-163 e BR 230, que são transportados por meio de balsas até o porto de Santarém, assim como ao complexo portuário de Vila do Conde na cidade de Barcarena, na Grande Belém, considerado o maior do estado do Pará. Em relação ao porto de Santarém, ele apresenta um cais com 200 metros de extensão, que se destina à atracação de navios de até dez metros de calado. Está equipado com dois guindastes de capacidade para 6,2 toneladas cada, e com um armazém de 1.500 m<sup>2</sup> de área, estando prevista a construção de mais dois armazéns idênticos ao já existente.

A partir da região com o depósito de calcário, o TUP de Miritituba pode ser alcançado por via terrestre através da conexão da estrada que une o distrito de Fordlândia à BR-230 (Rodovia Transamazônica), e desta até Itaituba, com percurso estimado de 90 km, em sua maior parte asfaltado.

O Porto de Miritituba tem-se tornado alvo de atenção dos principais investidores nacionais e internacionais, com algumas grandes empresas já instaladas e se valendo da operação de cargas através das chamadas Estações de Transbordo de Cargas, como a Bunge e a Cargill. Sua localização estratégica, às margens do rio Tapajós e com acesso curto e rápido para a BR 163, permite uma grande economia no frete de cargas e no tempo total de transporte, desde do centro produtor, na região centro-oeste, até os mercados consumidores no exterior. O TUP de Miritituba está praticamente consolidado como uma alternativa à exportação de grãos em relação aos portos de Santos (SP) e de Paranaguá (PR), aumentando assim o dinamismo econômico regional, em especial a região da bacia do Tapajós.

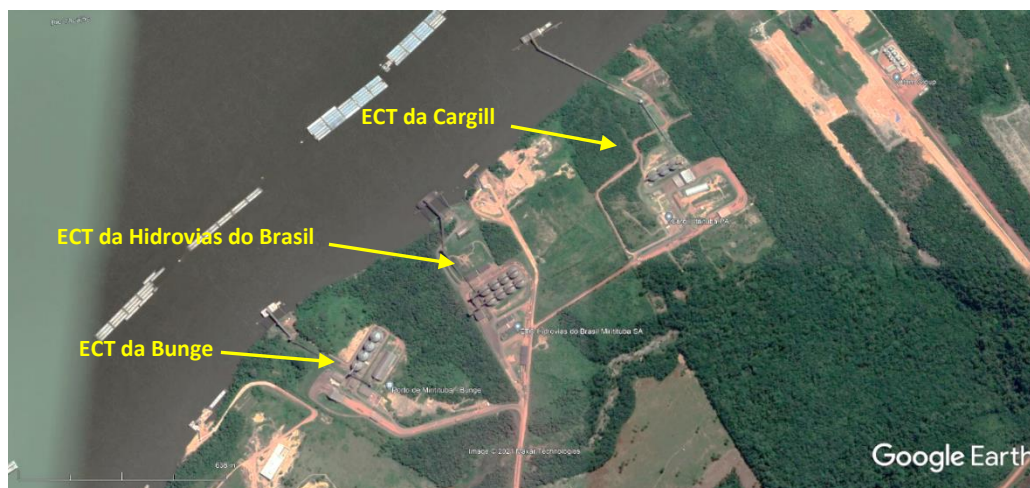
O segundo terminal é para o transporte de passageiros, com várias operadoras de linhas regulares ligando Itaituba a cidades como Santarém e Belém, e que atende Fordlândia, que dispõe de um pequeno cais de atracação.

Figura 4 – Torre de controle do aeroporto municipal de Itaituba (Fonte: WIKIPÉDIA, 2021).



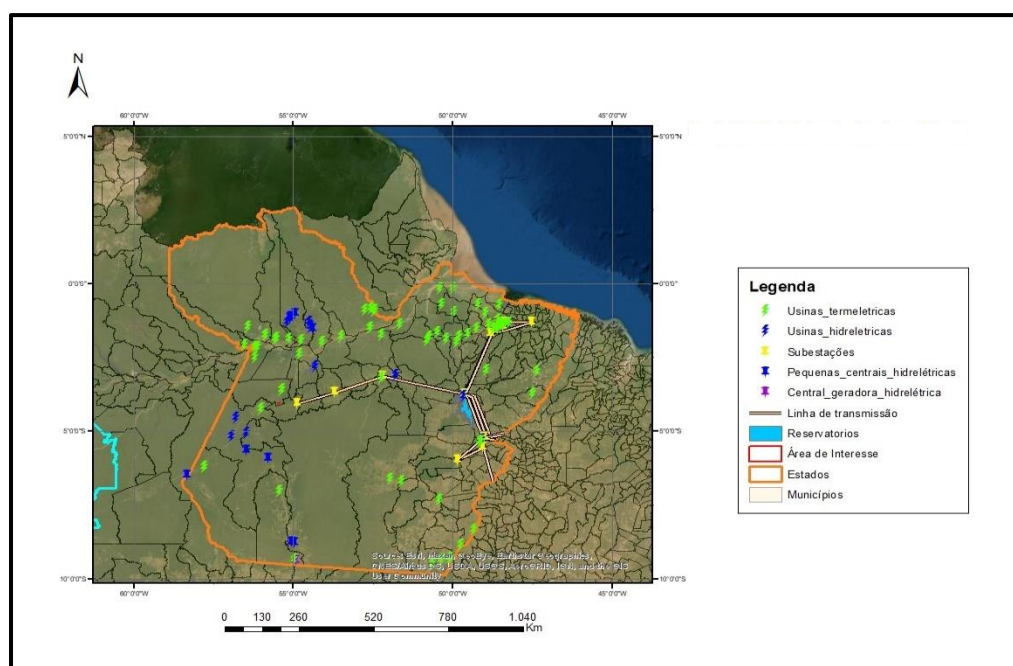


Figura 5 – Vista aérea através do Google Earth (2021) do complexo portuário do terminal de uso privado (TUP) de Miritituba com destaque para as estações de transbordo de cargas (ECTs) das empresas Bunge, Cargill e Hidrovias do Brasil.



Em relação a infraestrutura energética, de acordo com dados da ELETROBRAS (2021), linhas de transmissão de 138 KV ao longo da BR-230, conectam Itaituba a uma subestação localizada na cidade de Rurópolis, a qual integrada ao SIN (Sistema Interligado Nacional) através de linhões de 230KV que chegam a UHE de Tucuruí. A eletrificação no distrito de Fordlândia é fornecida através de linhas de energia instaladas ao longo da estrada de terra que une o distrito à BR-230 e que atravessam a área de pesquisa, as quais conectadas aos cabos de 138KV. A concessionária responsável pela distribuição da energia no Pará é a Equatorial Energia (antiga Centrais Elétricas do Pará – CELPA). A figura 6 mostra a infraestrutura energética do estado do Pará, conforme dados da ANEEL (2020), ressaltando que as unidades geradoras de energia assinaladas no mapa incluem tanto ativas como planejadas.

Figura 6 – Infraestrutura energética do estado do Pará (Dados adaptados da ANEEL, 2020)



### 3. ASPECTOS LEGAIS

Como antes enfatizado, das cinco áreas de processos de pesquisa para calcário arroladas pelo Projeto Aveiro, apenas uma está inserida no sistema de controle da ANM, com outorga à CPRM. Corresponde ao processo DNPM 807546/76 que dispõe de relatório final de pesquisa aprovado, cuja área está localizada no município de Aveiro, a sul do distrito de Fordlândia. Portanto, todos os aspectos legais levantados e apresentados referem-se unicamente ao processo citado.

No quadro 1 são apresentados dados sumarizados do Projeto Aveiro sobre as reservas totais de calcário, assim como números relativos às reservas totais do minério com especificações para a indústria do cimento e para corretivo de solo. Como cimento foi considerado como critério um teor máximo de 5,5% de MgO (calcário calcítico), uma vez que os teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, são admitidos como dentro das especificações para aquele insumo. Como corretivo de solo foi seguida uma norma então vigente da Secretaria da Fazenda do Estado de São Paulo que estabelece para o “pó calcário dolomítico tipo B” teor mínimo de 40% para a soma dos óxidos de CaO e MgO e teor mínimo de 10% para o MgO (calcário dolomítico/dolomito).

Quadro 1 – Sumário com os dados relativos à área do processo DNPM 807564/76, conforme dados do Projeto Aveiro (CPRM, 1979a).

PROCESSO DNPM	ALVARÁ	ÁREA (ha)	RESERVA MEDIDA (t)	RESERVA INDICADA (t)	RESERVA INFERIDA (t)	RESERVA TOTAL (t)	RESERVA TOTAL (CIMENTO) (t)	RESERVA TOTAL (CORRETIVO DE SOLO) (t)
807.564/76	517/78	998.20	51.345.826	10.714.080	529.626.064	590.685.970	448.209.101	142.243.049

#### 3.1 ANÁLISE DOS PROCESSOS MINERÁRIOS

No quadro 2 é apresentado de forma detalhada o histórico legal do processo DNPM nº 807.564/76, com análise processual obtida junto à agência da ANM do estado do Pará.

Quadro 2 - ANÁLISE PROCESSUAL - Processo ANM Nº 807.564/76 (processo digitalizado pela ANM-PA).

DATA	Discriminação	Folhas
12/08/76	A CPRM requereu pesquisa para MAGNÉSIO, <b>numa área de 9.995,80 hectares</b> , na região do rio Cupari, Distrito e município de Aveiro, comarca de Itaituba, no Estado do Pará (ÁREA M-2)	1-34
25/07/77	A CPRM apresentou nova planta de detalhe e novo memorial descritivo da área	38-42
DOU 23/02/78	A CPRM obteve o alvará de pesquisa nº 517 de 27/01/78 para pesquisar por 02 anos, MAGNÉSIO, <b>numa área de 9.995,80 hectares</b> , na região do rio Cupari, Distrito e município de Aveiro, no Estado do Pará.	52-53
16/03/78	A CPRM comunica a existência da substância CALCÁRIO, solicitando a devida averbação.	55
DOU 14/04/80	A CPRM obteve novo alvará de pesquisa nº 1747 de 09/04/80 para pesquisar MAGNÉSIO, <b>numa área de 5.024,31 hectares</b> , na região do rio Cupari, Distrito e município de Aveiro, no Estado do Pará.	65



	Esta retificação e redução da área se deveu em face de interferência com outras áreas prioritárias, analisada pelo DNPM.	
07/05/79	A CPRM protocolizou o relatório final de pesquisa. O memorial de pesquisa informa que a área possui 998,20 ha. <b>O relatório não está apenso ao presente processo.</b>	66-82
18/07/79	A CPRM protocolizou cumprimento de exigências ao Ofício nº 349/79 – DNPM – 5º distrito, publicada no DOU de 06/07/79, apresentando nova poligonal delimitadora, em nova planta de detalhe, em escala 1:50.000. Novos quadros de tabulação das reservas inferidas e novos memoriais descritivos de cada uma das áreas pretendidas. Este ofício não está no processo.	83-98
DOU 08/08/80	Publicada a aprovação do relatório final de pesquisa para calcário e calcário dolomítico, numa área de 998,20 hectares, no município de Aveiro-PA, com as seguintes reservas: <b>Calcário</b> Reserva medida: 48.877.116 t Reserva Indicada: 8.233.080 t Reserva Inferida: 301.581.394 t <b>Calcário Dolomítico</b> Reserva medida: 2.201.410 t Reserva Indicada: 2.481.000 t Reserva Inferida: 106.133.810 t	106-107
DOU 11/04/83	Publicada a negação do aprovo do relatório final de pesquisa por ter sido efetuada fora da área pesquisada.	119
11/05/83	A CPRM protocolizou recurso quanto a negação do aprovo do relatório final de pesquisa.	120-143
DOU 05/08/88	Publicado tornando sem efeito o despacho invalidatório da aprovação do RFP, restabelecendo o ato de aprovação do publicado no DOU de 08/08/80. Ao mesmo tempo indefere o pedido de renovação do alvará nº 3.314/83 formulado pela Mineração Carioca Ltda (processo DNPM 850.353/79.	173
DOU 15/02/95	Publicado novo despacho pelo Diretor-Geral do DNPM, confirmando o alvará retificador nº 1747/80, DOU 14/04/80, retificador do alvará nº 517/80, mantendo o despacho negando a aprovação do RFP, DOU de 11/03/93, por ter sido efetuada fora da área pesquisada.	196
17/04/95	A CPRM protocolizou recurso quanto a negação do aprovo do relatório final de pesquisa.	197-226
DOU 25/02/10	É dado provimento ao pedido de reconsideração formulado pela CPRM, para restabelecer na íntegra, o alvará de pesquisa nº 517/78 para que a aprovação do RFP contemple a área de 998,20 ha.	295
02/05/13	CPRM encaminha Ofício 058/2013-PR/CPRM ao Diretor Geral do Departamento da Produção Mineral/Agência Nacional de Mineração solicitando providências no sentido de obter esclarecimentos envolvendo a área de titularidade da CPRM conforme tópicos específicos abaixo. Salienta-se que a área da CPRM, referente ao Processo DNPM 807.546/1976, faz limite ao norte com a Portaria de Lavra 321 – Processo DNPM 811.406/1975, sob a titularidade da Votorantim,	<b>Não contam nos autos analisad o.</b>

	<p>e que foi arrendada para a Antares Mineração exercer atividades de exploração de calcário.</p> <p>Tendo em vista carta recebida pela CPRM de Belém em 03/12/2009 da Empresa Antares Mineração e Comércio Ltda, onde a mesma, em suma, requer que a CPRM autorize o registro de licenciamento Classe II na área de cinquenta hectares contida dentro do Processo DNPM 807.564/1976, de titularidade da CPRM.</p> <p>Em 09/12/2009, foi recebido pela CPRM Belém o Ofício 1545/2009 da Secretaria de Estado de Desenvolvimento, Ciência e Tecnologia do Estado do Pará, solicitando empenho da CPRM no encaminhamento necessário a solução da questão apresentada na carta da empresa Antares.</p> <p>Em decorrência da correspondência da Antares, técnicos da CPRM visitaram o local, concluindo que existir a atividade de mineração de calcário magnésiano. Esta atividade encontrava-se dentro da área da CPRM.</p>	
18/06/2014	<p>CPRM recebe Ofício 1483/2014/DNMPM/PA informando que este órgão lavrou, contra a Empresa Antares o Auto de Paralisação 001/2014 no dia 07/04/2014 publicado no D.O.U DE 14/04/2014 , por ter sido constatada , mediante vistoria in loco , a prática de lavra clandestina de calcário na área da CPRM.</p>	

#### 4. HISTÓRICO DO PROJETO

Durante os trabalhos de pesquisa de gipsita realizados pela CPRM, em meados de 1975 (CPRM, 1975), na bacia do rio Cupari, afluente do rio Tapajós pela margem direita, foram cadastrados alguns afloramentos de calcário. Com a execução do Projeto Calcário Itaituba pela CPRM, através do programa POLAMAZÔNIA, o nível de conhecimento dessas ocorrências aumentou substancialmente e a região foi considerada merecedora de trabalhos mais detalhados que permitissem avaliar suas possibilidades econômicas, principalmente ao que se refere ao aproveitamento da matéria-prima para a indústria de cimento e como corretivo de solos. Assim, foram selecionadas e requeridas ao DNPM cinco (5) áreas, sendo três (3) para calcário e duas (2) para magnésio, que, em seu conjunto, constituem o Projeto Aveiro. A fase inicial do Projeto de Aveiro deu-se a partir de janeiro de 1977, com trabalhos de pesquisa bibliográfica, fotointerpretação, confecção de mapas-base e planejamento das atividades de campo.

A pesquisa bibliográfica para o presente trabalho teve como principal fonte de informação os relatórios do Projeto Aveiro (CPRM, 1979a, b). Para a fotointerpretação da área foram utilizadas as fotografias aéreas verticais, escala 1:30.000, executadas pela FAB para a PETROBRÁS, objeto da obra 05/FAB/PETROBRAS/55, com as quais foi possível a delimitação do contorno do depósito de calcário com excelente precisão. Com essas mesmas fotos foram confeccionados os mapas-base, que constituíram os mapas preliminares de serviço, nos quais foi calcada a programação dos trabalhos de campo. Eventualmente, foram utilizadas as bases planimétricas do Projeto RADAM, na escala 1:250.000, além das bases planimétricas pertencentes ao Relatório do 65-G-RENOR-PETROBRAS/1966.

Atividades complementares às citadas compreenderam aberturas de picadas, levantamento topográfico, mapeamento geológico, sondagens rotativas, amostragens e análises químicas. Para a campanha de sondagem foram realizados 77 furos por meio de sonda rotativa (tipo Winkie G-15), perfazendo 3524,70 m perfurados, com critério de amostragem estabelecido para cada intervalo de 1,5 m. A sondagem foi

desenvolvida em malha regular nas direções N-S e E-W, com os furos espaçados de 1000 m, 500 m e 250 m, executados em três diferentes fases.

Os trabalhos de pesquisa foram executados por técnicos da Superintendência Regional de Belém, através dos geólogos Alexandre José Martins Figueiras, José Moura Villas Boas e Ruy Célio Martins, sob a coordenação dos geólogos Roberto Magalhães Ribeiro e Fernando Pereira de Carvalho. A supervisão dos trabalhos foi realizada pelo Departamento de Pesquisas Próprias da CPRM, através do geólogo Vitor Hugo Silveira de Castro da Divisão de Controle Técnico. O responsável técnico foi o engenheiro de minas Carlos Eugenio Gomes Farias, chefe da extinta Superintendência de Recursos Minerais da CPRM (SUREMI).

Registros fotográficos históricos realizados à época dos trabalhos de pesquisa do Projeto Aveiro (CPRM, 1979a, b) podem ser acompanhados nas figuras 7 a 10.

Figura 7 – Sonda Winkie GW-15 instalada e preparada para início de perfuração.



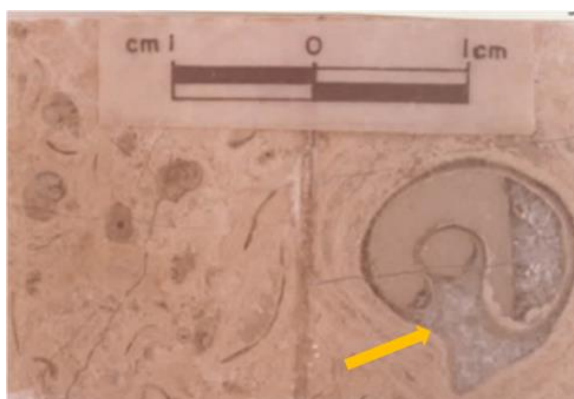
Figura 8 – Sonda Winkie GW-15 em operação.



Figura 9 – Forma de acondicionamento de testemunhos de sondagem, no caso um testemunho fragmentado relativo ao furo AV-45-PA.



Figura 10 –Detalhe de um molde interno de gastrópode preenchido por calcita recristalizada (seta) em rocha calcária fossilífera.

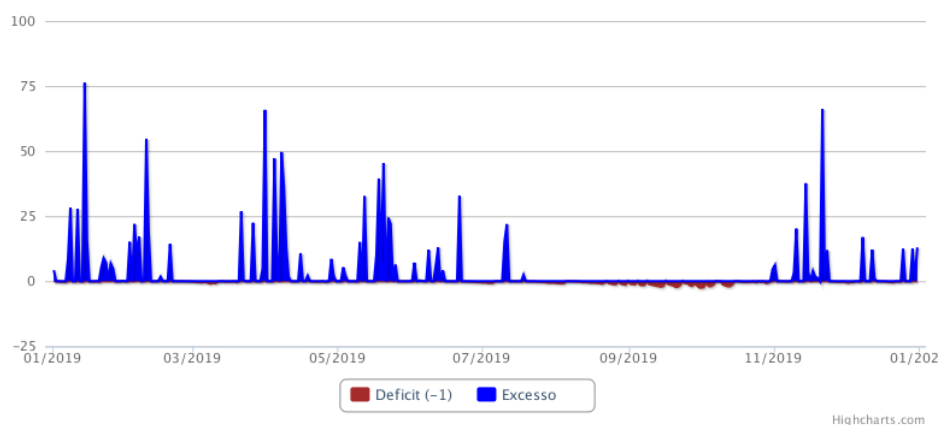


## 5. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

A região possui clima equatorial, quente e úmido - Af, segundo a classificação climática de Köppen, com temperaturas elevadas e valores médios de temperatura mínima e máxima de 22,5°C e 31°C, respectivamente, com média anual de 25°C. Conforme o INMETRO (2020), em 2019 a média anual foi de 27,34°C, sendo neste período a máxima registrada de 36,7°C e a mínima de 21,6°C. As estações chuvosas coincidem com meses de dezembro a maio e as menos chuvosas, de junho a novembro. A precipitação pluviométrica aproxima-se aos 2.000mm anuais, sendo fevereiro e março os meses de maior precipitação e julho e agosto, os mais secos.

Os dados obtidos pelo INMETRO (2020), por intermédio do balanço hídrico da estação pluviométrica de Itaituba, registraram em 2019 média anual de precipitação de 1.882,9 mm, sendo janeiro o mês de maior precipitação e agosto e setembro, os de menor precipitação, conforme mostra a figura 11. Quanto à umidade relativa do ar, invariavelmente apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano e está diretamente relacionado ao volume de chuva.

Figura 11 - Balanço hídrico da estação pluviométrica de Itaituba, indicando os períodos de maior e menor precipitação, no período de janeiro/2019 a janeiro/2020 (INMETRO, 2020).



A vegetação que recobre a região é nitidamente do tipo “Mata de Terra Firme”, possuindo espécimes de grande porte como castanheira (*Berbertholletia Excelsa*), maçaranduba (*Mimusops Huberi*), samaumeira (*Ceiba Pentandra* Garth) e seringueira (*Hevea Brasiliensis*). Na área do depósito a vegetação é descrita como caracterizada pela presença de lianas que envolvem parcial ou totalmente a formação arbórea, onde a topografia, retrata uma fisionomia florestal bastante aberta e de baixa altura, com árvores de porte presentes de forma espaçada e afastadas uma das outras e com cipós envolventes misturados com os galhos da copa, formando um emaranhado de elementos. Em imagens de satélite do Google Earth é visível parte da área do processo com sua mata degradada.

As características edafológicas da região refletem o natural controle que exercem os agentes geológicos e climáticos sobre a sua gênese. Os solos predominantes são descritos como argiloarenosos, compreendendo latossolos amarelos distróficos e podzólicos, bastante evoluídos, com perfis profundos e com boa drenagem, formados às expensas do intemperismo em folhelhos e calcários. Em geral, todos os solos mostram perfis mais ou menos evoluídos, sendo relativamente nítida as passagens entre os horizontes A, B e C e seus subtipos.

Com respeito à hidrografia, o rio Tapajós, formado pela confluência dos rios Juruena e São Manoel (ou Teles Pires) na divisa entre o Pará e o Mato Grosso comanda a drenagem regional. Apresenta uma extensão de aproximadamente 840 km e largura bastante variável, com cerca de 4,5 km na altura do distrito de Fordlândia, alcançando até 20 km próximo a sua foz no rio Amazonas. Os rios Jamanxim e Arapiuns são seus maiores tributários.

Na área do depósito, entretanto, a rede de drenagem está principalmente ligada à bacia do médio curso do rio Cupari, afluente pela margem direita do Tapajós, assim como a alguns tributários deste último que drenam a parte oeste da área do processo. Os vários e pequenos afluentes que formam a malha de drenagem pela margem esquerda do rio Cupari, onde localizadas as ocorrências de calcário, desenvolvem um padrão de drenagem basicamente dendrítico, o qual apresenta maior adensamento da sua rede hidrográfica em sentido ao seu baixo curso, condicionada a um substrato formado basicamente por unidades geológicas terciárias.

Do ponto de vista regional, a geomorfologia da região da área do processo está inserida no domínio Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental, que representa extensas superfícies tabulares, de idade paleógena, recobertas por mata de terra firme e caracterizam-se, em geral, por terrenos com cotas entre 200 e 250m. Os solos são descritos como espessos, pobres e bem drenados, em geral, latossolos amarelos. Essas

superfícies são sustentadas por espessos perfis lateríticos maduros, aluminoferruginosos. Porém, em algumas porções esses platôs, embasados por rochas sedimentares cretáceas, são dissecados em cotas mais baixas em um relevo de colinas tabulares, ou mesmo em colinas fortemente dissecadas (JOÃO, 2013).

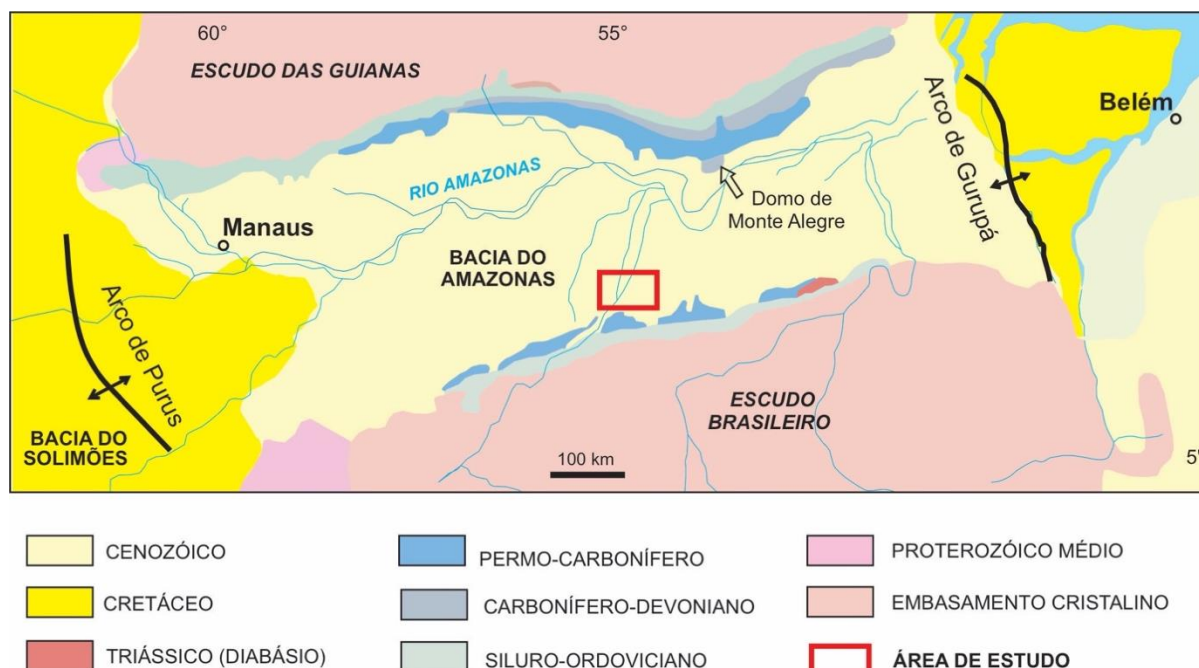
Na área de pesquisa, entretanto, são caracterizados dois níveis morfológicos distintos (CPRM, 1979a, b). O primeiro com cotas de 100 metros, associado aos sedimentos das Formações Monte Alegre e Nova Olinda, e o segundo com cotas inferiores a 100 metros atrelado, principalmente, às faixas de ocorrência dos calcários da Formação Itaituba. O primeiro nível morfológico é formado por pediplanos com aplainamentos em função da retomada de erosão recente. Apresenta vales bem encaixados, profundos, com perfil em “V”, podendo tornar-se mais amplo. O segundo nível, por sua vez, se caracteriza por superfícies aplainadas localmente bem conservadas, eventualmente recobertas por depósitos superficiais inconsolidados e com alguns bosselamentos, devido à maior espessura do manto regolítico, ou em função da presença de alguns testemunhos areníticos ainda não erodidos.

## 6. GEOLOGIA REGIONAL

Geologicamente, a região onde está localizada a área com os depósitos de calcário faz parte da Bacia do Amazonas, uma bacia do tipo intracratônica, que tem como embasamento rochas ígneas e metamórficas de natureza diversa do Craton Amazônico, que é dividido em duas partes, referidos aos Escudos das Guianas, ao norte, e Escudo Brasileiro (Escudo do Guaporé ou Brasil Central), a sul.

A Bacia do Amazonas é limitada a leste e a oeste, respectivamente, pelos altos estruturais relativos aos arcos de Gurupá e de Purus, o primeiro separando-a da Bacia do Marajó (Foz do Amazonas) e o segundo da Bacia do Solimões. A configuração física da bacia e suas relações com os contextos geológicos adjacentes é mostrada na figura 12 (WANDERLEY FILHO, 1991; WANDERLEY FILHO *et al.* 2005).

Figura 12 - Mapa da Bacia do Amazonas e suas relações com as entidades geotectônicas adjacentes. O polígono com limites em vermelho indica a localização da região onde inserida a área de pesquisa da CPRM (Modificado de WANDERLEY FILHO, 1991; WANDERLEY FILHO *et al.* 2005).





## 6.1. BACIA DO AMAZONAS

A Bacia do Amazonas é preenchida por uma sucessão de rochas paleozoicas após inversão da bacia rifte precursora e transição para uma bacia do tipo sinéclise, formando um empilhamento com aproximadamente 6.000 m de espessura no seu depocentro. A sucessão é intrudida por diques e soleiras de diabásio do fim do Triássico e apresenta uma cobertura sedimentar do Cretáceo–Paleógeno (CAPUTO *et al.* 1971). A bacia ocupa áreas dos estados do Pará, Amazonas e Amapá, apresentando configuração na forma de um polígono alongado na direção WSW-ENE, com 1.300 km de comprimento, 380 km de largura média e área total de 500.000 Km<sup>2</sup> (CAPUTO, 2015).

O Arco de Purus, um graben invertido e formado por um empilhamento sedimentar neoproterozoico soerguido e arqueado (WANDERLEY FILHO; TRAVASSOS, 2011), define a separação entre as bacias do Amazonas e Solimões, que se mantiveram como unidades independentes com evolução geológica e tectônica distintas, sem conexão entre si desde o início da sedimentação no Devoniano até o Neocarbonífero (CUNHA; MELO; SILVA, 2007). O limiar da sedimentação paleozoica nessas bacias foi associado a transgressões marinhas vindas tanto pelo lado oeste como leste, e invadindo, respectivamente, a sub-bacia do Alto Amazonas (Solimões) e as sub-bacias do Baixo e Médio e Amazonas (Amazonas), como então definida a compartimentação estrutural de toda bacia amazônica. Com o decorrer do processo de erosão e aplainamento do Arco de Purus, então aflorante, um *onlap* costeiro vindo da Bacia do Solimões marcou a passagem marinha para a Bacia do Amazonas, que, com a elevação do nível do mar e intermitentes incursões marinhas rasas vindas de oeste, foi estabelecida uma conexão marinha em toda a região, atingindo até mesmo a Bacia do Parnaíba, sob condições quentes e de clima árido, evidenciado por extensa sedimentação carbonático-evaporítica (CAPUTO, 2015).

A figura 13 ilustra a seção geológica E-W da Bacia do Amazonas com sua arquitetura tectônica, principais elementos estruturais e preenchimento ígneo-sedimentar, em que se evidencia a presença de estruturas de abatidas e escalonadas a leste decorrentes da tafrogenia mesozoica do Atlântico Sul (WANDERLEY FILHO *et al.*, 2005).

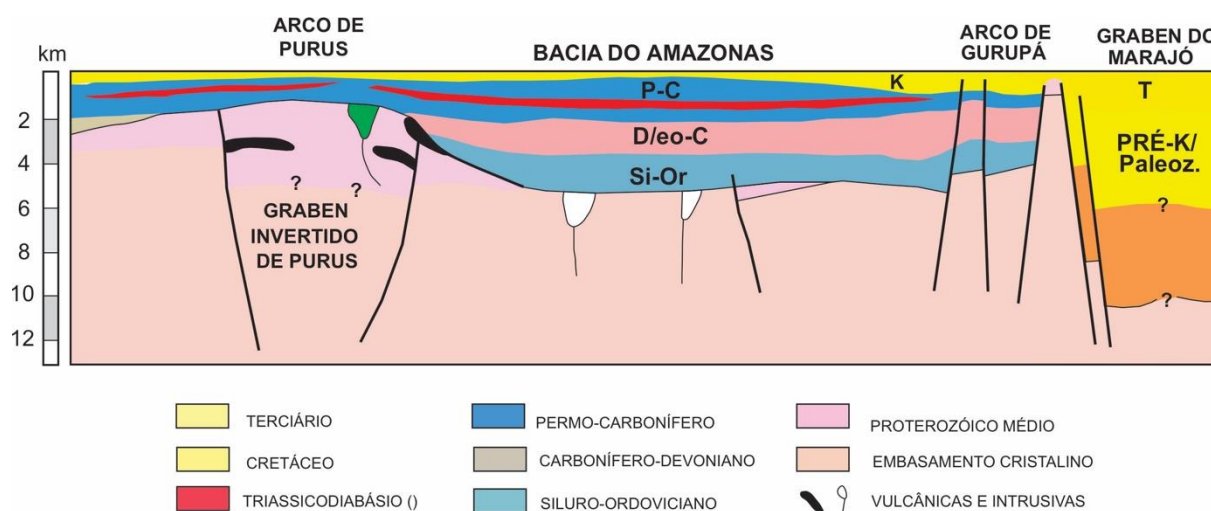


Figura 13 - Seção geológica E-W da Bacia do Amazonas e sua arquitetura tectônica e cronoestratigráfica (Modificado de WANDERLEY FILHO *et al.* 2005).

## 6.2. EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR DA BACIA DO AMAZONAS

Segundo BRITO NEVES *et al.* (1995) os eventos do Paleoproterozoico de caráter colisional foram importantes para a origem de núcleos cratônicos mais antigos do Continente Sul-Americano, com coalescência de vários blocos do Arqueano. Segundo estes autores, os sistemas sedimentares, vulcânicos e vulcano-plutono-sedimentares, então formados, desempenham hoje papéis distintos na estruturação do referido continente, isto após uma história evolutiva complexa que envolve pelo menos duas colagens orogênicas, uma no Mesoproterozoico e outra no Neoproterozoico (colagem brasileira).

Conforme UHLEIN *et al.* (2015), o Cráton Amazônico durante o Paleo-Mesoproterozoico fazia parte do supercontinente Columbia (ROGERS; SANTOSH, 2002), tempo em que foram gerados riftes vinculados à Tafrogenia Estateriana, ocorrida entre 1,8 e 1,6 Ga. Reconstruções paleogeográficas consideram que partes do Cráton Amazônico estariam inseridas nos supercontinentes Laurentia, Báltica e Rodínia (UHLEIN *et al.*, 2015). Posteriormente, houve desagregação do supercontinente Rodínia, levando diferentes blocos a se aglutinarem durante o Ciclo Brasileiro-Panafricano, conduzindo à geração das faixas neoproterozoicas dos cinturões Araguaia, Paraguai e Brasília. A colagem ou colisão destas faixas neoproterozoicas permitiu, então, a inserção do Cráton Amazônico na Plataforma Brasileira. BRITO NEVES *et al.* (1995) assinala que HOFFMAN (1991) denominou de Supercontinente Rodínia a aglutinação de todas as massas preexistentes por volta de 1,0 Ga. No final do Neoproterozoico ocorreu a formação do Supercontinente Gondwana e no final do Permocarbonífero, o Supercontinente Pangeia.

De acordo com CUNHA; MELO; SILVA (2007), a Bacia do Amazonas foi originada a partir da dispersão de esforços no fechamento do Ciclo Brasileiro. Em conexão com essa assertiva, a Faixa Araguaia-Tocantins, que ALMEIDA (1967) relaciona à orogenia Brasileira-Pan-Africana, é resultado de esforços compressivos na direção leste-oeste e alívio na direção norte-sul, sendo admitido, neste sentido, que essa zona de alívio corresponderia ao um rifte precursor da Bacia do Amazonas, e que esse mecanismo tenha ainda se propagado de leste para oeste em decorrência da reativação de antigas zonas de fraqueza pré-cambriana. Após esse evento extensional, o resfriamento engatilhou uma subsidência térmica regional e o desenvolvimento de uma sinéclise intracontinental (intracratônica), que é a Bacia do Amazonas.

No estágio final do ciclo brasileiro, entre 700 e 470 Ma, em condições tardi a pós-orogênicas, unidades sedimentares correlacionáveis às formações Prosperança (arenitos aluviais e fluviais) e Acari (carbonatos de planície de maré) acumularam-se sobre a recém-estabilizada plataforma Sul-Americana, que foram soerguidas e arqueadas vindo a constituir o Arco de Purus. É sugerido que as bacias do Amazonas e Solimões foram estruturadas no Neoproterozoico, durante a fragmentação do Supercontinente Gondwana e que a Bacia do Amazonas constitui um aulacógeno (rifte abortado) da junção tríplice que liga o Cinturão Araguaia (de idade brasileira) ao Cinturão Pan-Africano.

## 6.3. UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS DA BACIA DO AMAZONAS

O arcabouço estratigráfico da Bacia do Amazonas é formado por duas megassequências de primeira ordem, a primeira associada ao Paleozoico e a segunda ao intervalo Mesozoico-Cenozoico (CUNHA; MELO; SILVA 2007). A megassequência paleozoica é dividida em quatro sequências de segunda ordem, que são designadas como: (i) Ordovício-Devoniana (O-D); (ii) Devono-Tournaisiana (D-C); (iii) Neoviseana (mississipiana média) e (iv) Pensilvaniana-Permiana (C-P). Essas sequências são admitidas delimitadas por quebras significativas na sedimentação, como resultado de eventos tectônicos na borda da Placa Gondwânica, expressas por discordâncias de caráter regional.

A sedimentação na Bacia do Amazonas é encerrada pela deposição em larga escala, entre o cretáceo superior e o cenozoico, de uma sequência basicamente continental, que é representada pela Formação Alter do Chão, depositada por sistemas fluviais e fluviolacustres a deltaico. Intrusões ígneas na bacia estão relacionadas ao magmatismo toleítico Penatecaua, de idade mesozoica (Triássico) e relacionado a uma tectônica transtensiva ligada a abertura do oceano Atlântico Norte (ISSLER *et al.*, 1974). Com relação as

formações Prosperança e Acari, CUNHA *et al.* (1994) as associam a uma fase rifte precursora da bacia, representando a Formação Acari uma fase de transição rifte-sinéclise.

A figura 14 mostra a coluna estratigráfica formulada para toda a Bacia do Amazonas (CUNHA *et al.*, 1994), com indicação das orogenias que são consideradas como influenciadoras na sedimentação dos megaciclos sedimentares da bacia.

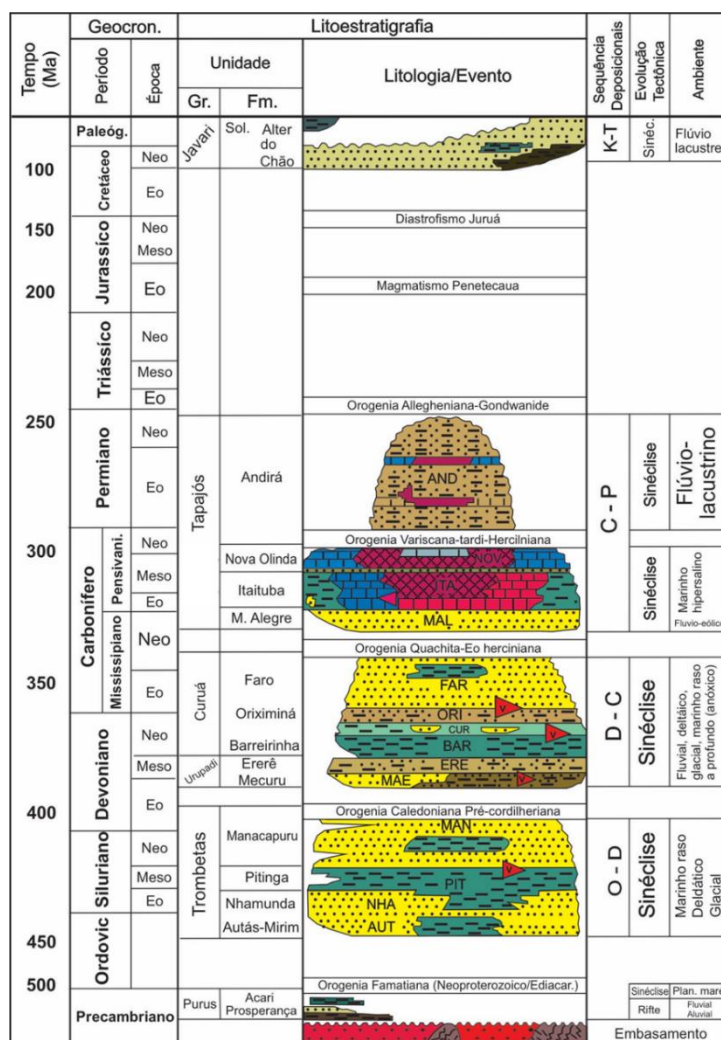


Figura 14 - Carta Estratigráfica da Bacia do Amazonas (CUNHA *et al.*, 1994).

### 6.3.1. SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES DA FASE RIFTE-SINÉCLISE

O Grupo Purus, neoproterozoico, com suas formações Prosperança e Acari, encerra os sedimentos de um estágio rifte precursor da Bacia do Amazonas de direção NNW-SSE. A Formação Prosperança (CAPUTO; RODRIGUES; VASCONCELOS, 1971) é constituída por arenitos, siltitos e arcóseos de cor branca, amarelada e avermelhada, os quais se intercalam com conglomerado, formado por seixos de quartzo, quartzito e riolito. Segundo os autores, os sedimentos da Formação Prosperança foram depositados em ambientes de leque aluvial, canais fluviais e lagos, que ainda incluiria sedimentos ligados à ambiente de planície deltaica, relacionada a um delta alongado com desembocadura em mar raso (NOGUEIRA; SOARES, 1996). A Formação Prosperança é sotoposta por rochas carbonáticas de planícies de maré da Formação Acari, que teria espessura

de até 400 m de espessura, enquanto que a Formação Prosperança, 1.100 m. A unidade Acari representaria a transição para a fase sinéclise da bacia (CUNHA *et al.*, 1994).

### 6.3.2. SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES DA FASE SINÉCLISE

Compreende a Megassequência Paleozoica de primeira ordem, que, como supracitado, é formada por quatro sequências de segunda ordem, denominadas de sequências Ordovício-Devoniana, Devon-Tournaisiana, Neoviseana e Pensilvaniana-Permiana, as quais limitadas por discordâncias regionais associadas a eventos tectônicos que afetaram a bacia durante o Paleozoico.

#### 6.3.2.1. SEQUÊNCIA ORDOVÍCIO-DEVONIANA

Esta sequência na Bacia do Amazonas registra o estágio inicial da deposição na sinéclise de natureza pulsante transgressivo-regressiva, compreendendo alternâncias de sedimentos glaciais e marinhos, que sugerem incursões de leste para oeste, e que ocorrem em *onlap* sobre o Arco Purus, que impedia a conexão com a bacia do Solimões (CUNHA; MELO; SILVA, 2007). A sedimentação se estendeu para a região do atual Arco do Gurupá—então inexistente—e esteve conectada com as bacias do noroeste africano. As rochas dessa sequência compõem o Grupo Trombetas, o qual subdividido nas formações Autás-Mirim, Nhamundá, Pitinga e Manacapuru (CUNHA *et al.*, 1994).

A Formação Autás-Mirim abrange intercalações de arenitos e siltitos de ambiente flúvio-estuarino (CAPUTO, 1984). A Formação Nhamundá, por sua vez, está associada a um ambiente marinho raso, com influência de tempestades e geleiras, sendo composta por arenitos finos a médio, encimados por folhelhos laminados intercalados com siltitos e diamictitos. A Formação Pitinga é de natureza glácio-marinha e inclui folhelhos, arenito finos e diamictitos, enquanto a Formação Manacapuru representativa de sedimentação em ambiente nerítico a litorâneo (CAROZZI *et al.*, 1975), formada por arenitos micáceos, finos a médios, e siltitos. Vale destacar, que o Membro Jatapu da Formação Maecuru, unidade pertencente ao Grupo Urupadi e que recobre o Grupo Trombetas, é reposicionado por CUNHA, MELO; SILVA (2007) no topo deste último grupo, que o elevaram à categoria de Formação. Segundo os autores, não existiria nenhuma descontinuidade significativa entre a base do Membro Jatapu e a Formação Manacapuru, sendo detectado, por outro lado, um considerável hiato temporal entre seu topo e a Formação Maecuru do Grupo Urupadi. Entretanto, independentemente dessa interpretação, a Orogenia Caledoniana (Pré-Cordilheirana) é admitida como responsável pela discordância entre os grupos Trombetas e Urupadi.

#### 6.3.2.2. SEQUÊNCIA DEVONO-TOURNAISIANA (MISSISSIPIANA INFERIOR)

Esta sequência, que relaciona um novo ciclo sedimentar de natureza transgressivo-regressiva na Bacia do Amazonas, é representada pelos grupos Urupadi e Curuá, os quais associados a um estágio deposicional marinho com incursões glaciais, e ainda sem conexão direta com a Bacia do Solimões, a oeste.

O Grupo Urupadi é constituído pelas formações Maecuru (Membros Jatapu e Lontra) e Ererê (CAPUTO, 1984), sendo considerada como uma unidade de terceira ordem e subdividida em ciclos menores de até quinta ordem, associados às oscilações climáticas oriunda das variações da órbita terrestre (CUNHA; MELO; SILVA, 2007). Seu ambiente de deposição é interpretado como fluviodeltaico a nerítico (CAPUTO; RODRIGUES; VASCONCELOS, 1972). O Membro Jatapu da Formação Maecuru ocorre na base e é constituído por arenitos finos com intercalações de folhelhos e siltitos, com camadas hematíticas na base (SANTOS *et al.* 1975; PASTANA, 1999). Este membro recobre em paraconformidade as rochas do Grupo Trombetas, e o contato superior e lateral com o Membro Lontra seria gradacional. O Membro Lontra é constituído por arenitos finos a conglomeráticos, brancos a cinza claros, micáceos, com estratificação, com contato gradacional com a Formação Ererê, alguns casos, abrupto (CAPUTO *et al.*, 1971). O ambiente deposicional é interpretado como um sistema de leques deltaicos interrompidos por uma rápida e curta transgressão marinha (CAPUTO, 1984).

A Formação Ererê é constituída por intercalações de silito, arenito e folhelho, depositados em ambiente de planície de maré (CAPUTO, 2015; CAROZZI *et al.*, 1975). As rochas exibem feições de

recristalização mineral, caracterizada pela muscovita, interpretada como alteração associada à intrusão de diques e soleiras do Diabásio Penatecaua (PASTANA, 1999).

O Grupo Curuá reúne as formações Barreirinha, Curiri, Oriximiná e Faro, que somadas totalizam 1420 m de empilhamento sedimentar. A Formação Barreirinha é constituída predominantemente por folhelhos negros, laminados, carbonosos, micáceos, piritosos e radioativos, que denotam ambiente deposicional de águas profundas, sob condições redutoras (CAPUTO, 1984). Seu contato superior com a Formação Curiri é gradacional. GONZAGA; GONÇALVES; COUTINHO (2000) destacam que os folhelhos da Formação Barreirinhas constituem o principal gerador de hidrocarboneto na Bacia do Amazonas.

A Formação Curiri (CAPUTO, 1984) consiste em folhelhos, siltitos, diamictitos e arenitos. O contato superior é marcado pela intercalação de siltitos e arenitos finos com folhelhos da Formação Oriximiná. O ambiente deposicional é interpretado como glacial.

A Formação Oriximiná (CAPUTO, 1984) consiste de arenitos finos a médios, brancos a avermelhados, maciços, micáceos, localmente com intercalações de siltitos, folhelhos e diamictitos. O ambiente de sedimentação é interpretado como fluvial e deltaico, com contribuição glacial (CAROZZI *et al.*, 1975). Seu contato superior com os arenitos da Formação Faro é abrupto, por vezes gradacional.

A Formação Faro (CAPUTO *et al.*, 1971) é constituída por arenitos finos quartzosos, micáceos, com arenitos médios a grossos, ferruginosos, e arenitos finos avermelhados, subordinados, os quais encimados por siltitos laminados e folhelhos silticos. O ambiente de sedimentação é interpretado como fluviodeltaico com influência de tempestade. O contato superior com a Formação Monte Alegre do Grupo Tapajós é discordante (CAPUTO *et al.*, 1971). A ausência de estratos do Neotournaisiano e Eoviseano (Mississipiano Inferior e médio, respectivamente) encimando a unidade perfaz um hiato regional de 12 a 14 Ma com a Formação Monte Alegre, sendo essa lacuna atribuída a Orogenia Acadiana, que soergueu e erodiu a sequência Devonotournaisiana, desenvolvendo a discordância regional que separa a Formação Faro do Grupo Tapajós (MELO; LOBOZIAK, 2003). Entretanto, para CUNHA; MELO; SILVA (2007) a Formação Faro, isoladamente, constituiria a chamada Sequência Neoviseana, que seria produto do soerguimento e erosão da sequência Devonotournaisiana devido à Orogenia Acadiana, cuja separação do Grupo Tapajós seria devido ao recuo do mar associado a Orogenia Eo-Herciniana, ocasionando extenso processo erosivo do topo da unidade que levou 15 Ma.

#### 6.3.2.3. SEQUÊNCIA PENSILVANIANA-PERMIANA

Um novo ciclo transgressivo-regressivo relativo à sequência Pensilvaniano-Permiana formou o Grupo Tapajós (CAPUTO, 1984), que perfaz uma sucessão sedimentar com cerca de 2800 m de espessura. A sedimentação do Grupo Tapajós marca o recobrimento do Arco de Purus e a conexão entre as bacias do Amazonas e Solimões. A deposição é associada a mudanças climáticas, de frio para quente e árido, ocorridas na transição Carbonífero-Permiano (CUNHA *et al.*, 1994). O Grupo Tapajós é constituído pelas formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda, a penúltima hospedeira das camadas de calcário.

A Formação Monte Alegre (CAPUTO *et al.*, 1972) encerra quartzarenitos médios a grossos, maciços e com estratificação cruzada de grande porte, localmente conglomeráticos e com raras intercalações de folhelhos. A Formação Monte Alegre foi depositada em ambiente flúvio-eólico intercalado com camadas de carbonato depositadas em ambiente marinho raso a restrito (MATSUDA; DINO; WANDERLEY FILHO, 2004). Grada lateralmente para a Formação Itaituba, com seu contato superior marcada por uma camada de anidrita dessa última unidade (CAPUTO *et al.* 1972).

A Formação Itaituba (CAPUTO *et al.*, 1972) é constituída na parte inferior por arenitos, folhelhos, siltitos e calcários, enquanto sua parte intermediária formada predominantemente por rochas carbonáticas, que ocorrem geralmente na forma de lentes espessas, contendo intercalações de folhelhos e siltitos. Na sua parte superior, predominam intercalações delgadas de folhelhos, arenitos, siltitos, anidrita nodular, e localmente calcário (PASTANA, 1999). A Formação Itaituba foi depositada em ambiente marinho raso a planície de inframaré (CAPUTO, 1984), e tem sua idade atribuída ao Carbonífero Médio (PLAYFORD e DINO, 2000a, b). O calcário da Formação Itaituba é constituído por bioclastitos com matriz biocalcítica ou calcissiltica e por calcissiltitos com fragmentos fosfáticos (CAROZZI *et al.*, 1975). Seu contato superior é concordante,



posicionado a partir da gradação entre calcários/evaporitos da Formação Itaituba e folhelhos da Formação Nova Olinda.

A Formação Nova Olinda, do Carbonífero Médio (PLAYFORD e DINO, 2000b), abrange sedimentos químicos e evaporíticos (CAPUTO *et al.* 1972), sendo sua porção inferior constituída por arenitos finos a médios com matriz argilosa e folhelhos e siltitos, laminados e calcíferos. Na porção superior, a Formação Nova Olinda é essencialmente constituída por evaporitos (halita e anidrita) e lentes de calcário (CAPUTO *et al.* 1972). O ambiente é interpretado como marinho restrito hipersalino, associado a um ambiente flúvio-lacustrino (PLAYFORD; DINO, 2000a). O contato superior com a Formação Andirá é erosivo, marcado por uma discordância de aproximadamente 21 Ma (MATSUDA *et al.*, 2004).

CUNHA; MELO; SILVA (2007) subdividem a Formação Nova Olinda em duas unidades de categoria hierárquica inferior, os membros Fazendinha, basal, e Arari, superior. O primeiro abrange essencialmente sedimentos químico-evaporíticos, depositados em ambientes marinho raso, de planícies de sabkha e lagos hipersalinos, sendo formado por folhelhos, carbonatos, anidritas, halitas e, localmente, sais mais solúveis (silvita). O Membro Arari registra o início da regressão marinha na bacia, caracterizado pela associação de folhelhos e siltitos com pacotes de halitas cristaloblásticas, e inexistência de carbonatos marinhos.

Embora reunida no Grupo Tapajós por CUNHA *et al.* (1994), a Formação Andirá (não aflorante na área) é limitada da Formação Nova Olinda por uma discordância devido a Orogenia Variscana-Tardi-Herciniana e representaria uma megassequência do Permiano (MATSUDA *et al.*, 2004). Essa unidade caracteriza-se por uma sedimentação predominantemente continental, representada por siltitos e arenitos avermelhados (*red beds*) e raras anidritas, associados às fácies fluviais e lacustrinas, atestando, além dos efeitos da tectônica, uma mudança climática significativa, passando de frio para quente e árido (CUNHA; MELO; SILVA, 2007).

### 6.3.3. SEQUÊNCIAS MESOZOICO-CENOZOICAS

Inclui duas unidades, o Diabásio Penatecaua (ISSLER *et al.*, 1974) e a Formação Alter do Chão (CAPUTO *et al.*, 1972).

O Diabásio Penatecaua compreende um conjunto de rochas ígneas básicas toleíticas do fim do Triássico que ocorrem como soleiras, diques e raros *stocks* cortando as unidades da Bacia do Amazonas. As rochas básicas do Diabásio Penatecaua formam soleiras com mais de 1.000 m de espessura na seção do Paleozoico (WANDERLEY FILHO *et al.*, 2005), sendo identificados na borda sul da Bacia do Amazonas, corpos alongados com extensão quilométrica, orientados na direção ENE–WSW e com anomalias gravimétricas negativas associadas. Na borda norte formam enxames de diques orientados segundo NE–SW e aproximadamente N–S, com continuidade nos domínios pré-cambrianos ao norte da Bacia do Amazonas, onde a unidade é denominada de Diabásio Cassiporé (OLIVEIRA *et al.*, 1975). Os diabásios são isotrópicos, cinza escuros a preto esverdeados, microgranulares a inequigranulares médios.

As idades K-Ar em rocha total e plagioclásio (ISSLER *et al.*, 1974; SANTOS *et al.*, 1975 e ARAÚJO *et al.*, 1976) variam de  $188 \pm 6$  a  $130 \pm 6$  Ma, com predomínio de idades do Jurássico. Basaltos correlatos ao magmatismo Penatecaua na Bacia do Amazonas, no estado do Pará, datados por K-Ar em plagioclásio, indicaram idades  $259 \pm 6$  e  $252 \pm 19$  Ma e  $140 \pm 6$  Ma (TEIXEIRA, 1978).

O amplo intervalo de idades do magmatismo do Mesozoico toleítico nas bacias fanerozóicas brasileiras tem sido correlacionado a diferentes estágios de abertura do Oceano Atlântico, com pulsos mais antigos associados ao rifteamento que levou a abertura do Oceano Atlântico Norte, e os pulsos do Cretáceo a abertura do Oceano Atlântico Sul (MILANI; ZALAN, 1999; MIZUSAKI; THOMAZ FILHO, 2004). De acordo com CAPUTO (2015), o magmatismo Penatecaua pertence a Província Magmática Atlântico Central (CAMP - *Central Atlantic Magmatic Province*) da transição Triássico-Jurássico e está associado ao início da fragmentação do Supercontinente Pangeia e à tectônica de reativação da Plataforma Sul-Americana.

A Formação Alter do Chão representa sedimentação principalmente continental entre o Neocretáceo e o Terciário (Paleógeno), sendo constituída por um espesso pacote de arenitos intercalados com camadas de pelitos e, em menor escala, de conglomerados. Os arenitos são finos a médios, marrom-avermelhados e variegados, argilosos, caulínicos, mal classificados, com estratificação cruzada. Os pelitos, representados por siltitos e argilitos em proporções variadas, são vermelhos e variegados, maciços ou laminados. O ambiente de



deposição da unidade é interpretado como fluvial de alta energia/lacustrino-deltáico (DAEMON, 1975). Também é apontada influência marinha em algumas fácies dos depósitos da Formação Alter do Chão, na porção oeste da Bacia do Amazonas (ROSSETTI; NETO, 2006), sendo considerada a sedimentação da Formação Alter do Chão como tendo ocorrida entre o Eoceno e o Mioceno (CAPUTO, 2015). A Formação Alter do Chão recobre em discordância erosiva diversas unidades do Paleozoico, enquanto que o contato com a Formação Prosperança se dá em discordância angular e o embasamento cristalino em não conformidade. Na extremidade leste da bacia essa unidade recobre parcialmente o Arco de Gurupá, composto de rochas metamórficas e ígneas do Pré-Cambriano (CAPUTO, 2015).

## 7. GEOLOGIA LOCAL E CARACTERÍSTICAS DO DEPÓSITO DE CALCÁRIO DE AVEIRO

Na região com os depósitos de calcário afloram rochas do Devoniano Superior-Carbonífero Inferior pertencentes ao Grupo Curuá (Formação Barreirinha) e do Carbonífero Médio a Superior do Grupo Tapajós, presentes em suas formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda. Diques e soleiras do Jurássico-Cretáceo (magmatismo Penatecaua) são relativamente comuns cortando as sucessões sedimentares paleozoicas, ocorrendo de forma subordinada estratos do Paleógeno pertencentes a Formação Alter do Chão. Depósitos aluvionares recentes, arenosos e argiloarenosos, se distribuem ao longo das margens dos cursos d'água que formam a bacia do rio Cupari, preenchendo calhas marginais e planícies de inundação. A estratigrafia completa, que seria representativa para a região onde inseridas as poligonais de pesquisa, é apresentada na figura 15 (adaptada de CPRM, 1979a, b).



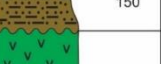



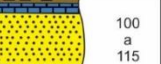
ERA	UNIDADE		LITOESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA E ESPESSURA (METROS)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	
	CRONOESTRATIGRAFIA					
	PERÍODO	ÉPOCA				
CENOZOICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	ALUVIÕES		Sedimentos inconsolidados areno-argilosos e argilo-arenosos	
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	FORMAÇÃO ALTER DO CHÃO		10 a 150	Intercalações de arenitos argilosos com conglomerados subordinados
		EOCENO				
		PALEOCENO				
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	DIABÁSIO PENATECAUA			Soleiras e diques de diabásio
	INFERIOR					
	JURÁSSICO	MÉDIO A SUPERIOR				
PALEOZOICO	PERMIANO	INFERIOR A MÉDIO	FORMAÇÃO NOVA OLINDA		250 a 3000	Siltitos cinza-claro a folhelhos cinza-escuro. Arenitos finos a médios por vezes argilosos. Calcário, gipsito e soleiras de diabásio
	CARBONÍFERO	PENNSYLVANIANO	FORMAÇÃO ITAITUBA		100 a 115	Calcário cinza-escuro por vezes argilosos (margas), intercalações de siltitos, folhelhos e arenitos
			FORMAÇÃO MONTE ALEGRE		38 a 64	Conglomerado basal com seixos de quartzo, arenitos grosseiros, médios a finos
			MISSISSIPIANO			
	DEVONIANO	SUPERIOR	GRUPO CURUÁ		100 a 215	Folhelho cinza médio a negro, de aspecto ardósiano, tornando-se cinza-claro na base e com intercalações de siltitos. Arenito médio e fino com marcas diversas
		MÉDIO				

Figura 15 - Quadro estratigráfico da região onde localizada a área de processo da CPRM, com destaque (seta) da Formação Itaituba, na qual ocorrem hospedados os depósitos de calcário de Aveiro (adaptado de CPRM, 1979a, b).

No contexto geológico local as rochas calcárias da Formação Itaituba formam camadas sub-horizontais com espessuras variadas, que atingem dezenas de metros em seções contínuas, contendo intercalações subordinadas de argilitos ou alternadas com camadas espessas de arenitos, que também são anotados de forma muito restrita compondo delgados leitos internamente às seções calcárias (CPRM, 1979a, b).

Em sentido ao topo da Formação Itaituba passam a prevalecer unidades siliciclásticas formadas por intercalações entre folhelhos e arenitos, com a rocha calcária praticamente ausente. De acordo com os dados do Projeto Aveiro, o capeamento que recobre o pacote carbonático é muito irregular, comumente formado por material argilo-arenoso cinza a amarelado, até avermelhado, que pode atingir até 30 m ou está completamente ausente, com as rochas calcárias expostas na forma de pequenos bancos e calotas, com blocos dispersos superficialmente, e com frequentes feições de erosão cárstica. Sua espessura média é calculada em 8 m e é interpretado como originário do intemperismo químico das próprias rochas calcárias.

As rochas carbonáticas compreendem calcários e dolomitos ( $\text{MgO} > 10\%$ ), com amplo predomínio dos termos calcíticos, e ocorrem intercalados entre si, apresentando colorações que variam do cinza-esbranquiçado passando pelo creme até cinza-escuro. São rochas, em geral, compactas, fossilíferas, podendo conter impurezas argilosas, sendo classificados em termos da granulometria como variando de calcilitos a calcarenitos e textura desde de micrítica a granular, até oolítica (Figura 16). Estratificações plano-paralelas, estilólitos e concreções silicosas por substituição são feições comuns associadas às camadas calcárias, assim como cavidades e fraturas preenchidas por calcita granular (sacaróide). O termo mais calcítico é classificado como um biocalcarenito esbranquiçado, poroso, microfossilífero e algo argiloso.

A área de ocorrência dos calcários Itaituba abrange aproximadamente 28,9 km<sup>2</sup>, distribuída segundo uma faixa na direção E-W com inflexão NE-SW na extremidade oriental (Figura 17). A distribuição em subsuperfície dos intervalos de calcário não obedece a nenhum *trend* de deformação regional como falhas ou zonas de cavalgamento. Fraturas são observadas apenas em escala de afloramento. A distribuição em subsuperfície dos intervalos de calcário é controlada exclusivamente pela estratigrafia, isso é, pela relação vertical e lateral de fácies.

Os arenitos que ocorrem na porção basal da Formação Itaituba, alternados com o pacote calcário, exibem coloração cinza-esverdeada, são em geral algo carbonáticos, de granulação fina a média, quase sempre argilosos, com intercalações delgadas (até 10 cm) de argilito. Podem formar camadas espessas que atingem mais de 15 m. É registrado o aumento das seções areníticas em sentido às rochas da Formação Monte Alegre, que está sotoposta à Formação Itaituba. Leitões de arenitos anotados intercalados à seção calcária são raros e formam níveis mais delgados, sendo descritos como de coloração cinzenta, porosos, carbonáticos e finos. Os argilitos associados, por sua vez, formam intercalações tanto nos arenitos como nos calcários, segundo leitões relativamente mais modestos, desde centimétricos até camadas com mais de 5 m. São rochas compactas, coloração esverdeada a acinzentada, carbonáticas. O contato com os calcários é feito de forma gradativa, com a rocha carbonática geralmente mais impura, dificultando a separação entre as duas litologias, enquanto o contato entre as fácies de argilito e arenito carbonáticos ora ocorre de forma brusca, ora ocorre de forma gradacional. Não há fragmentos fósseis nem moldes preservados nessas fácies. Cristais milimétricos a sub-milimétricos de pirita são registrados de forma disseminada tanto nos argilitos como nos arenitos intercalados aos calcários. Em relação as rochas siliciclásticas que predominam nas porções superiores da Formação Itaituba, elas são descritas como formadas por arenitos semelhantes aos da porção basal, porém não carbonáticos, com intercalações de folhelhos bem estratificados, de coloração cinza-claro e também não carbonáticos.

Três fácies são caracterizadas, ou seja, calcário-marga, dolomito e arenito-marga, os quais compõem uma sucessão clasto-química ou siliciclástica-carbonática (Figura 18).

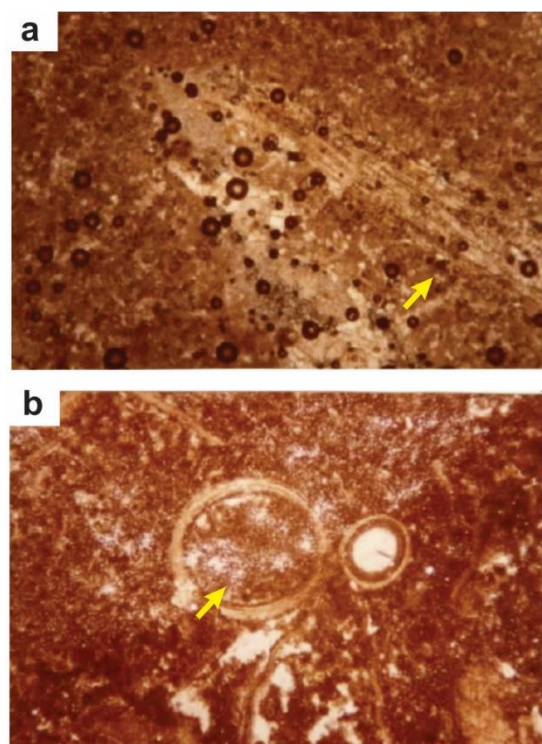


Figura 16 – Fotomicrografias: (a) calcilutito com matriz biomicroítica (seta); (b) biomicroito fossilífero com destaque para oólito (seta) e a direita formado por um grão de quartzo envolvido por material carbonático (Furo AV-44-PA; prof. 42 m. 10x. nicóis X) (CPRM, 1979 a, b).

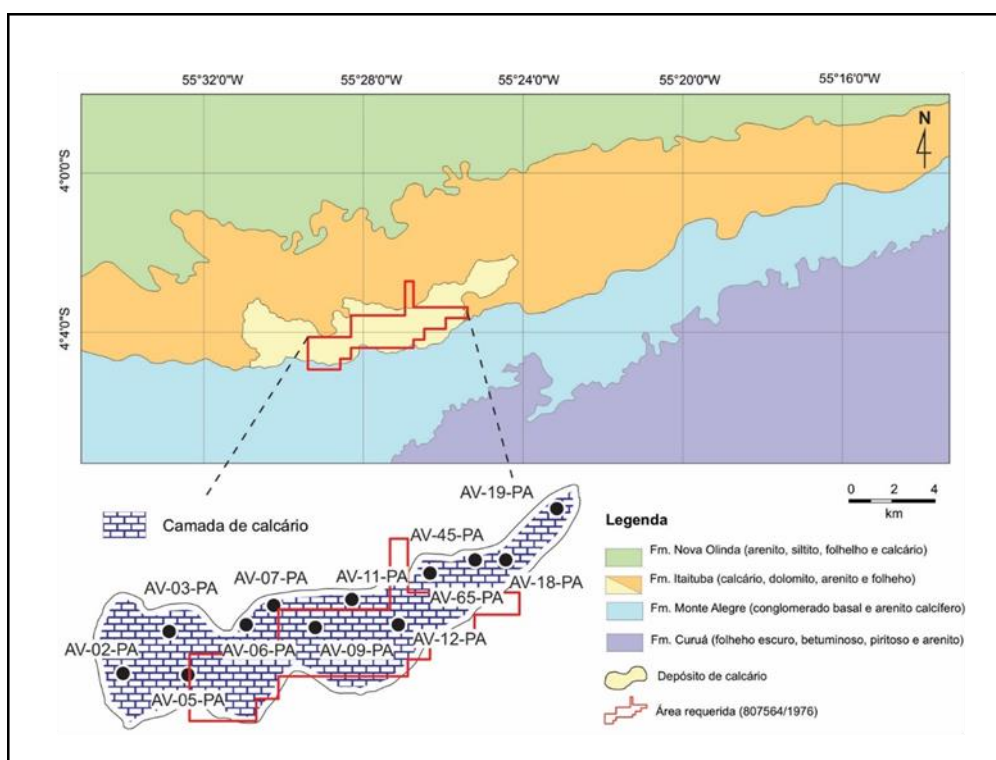


Figura 17 - Mapa geológico simplificado da região com localização da área de concessão da CPRM. No detalhe, configuração da faixa de ocorrência das rochas calcárias da Formação Itaituba, conforme o Projeto Aveiro (CPRM, 1979a, b). Círculos pretos relativos a furos de sondagem.

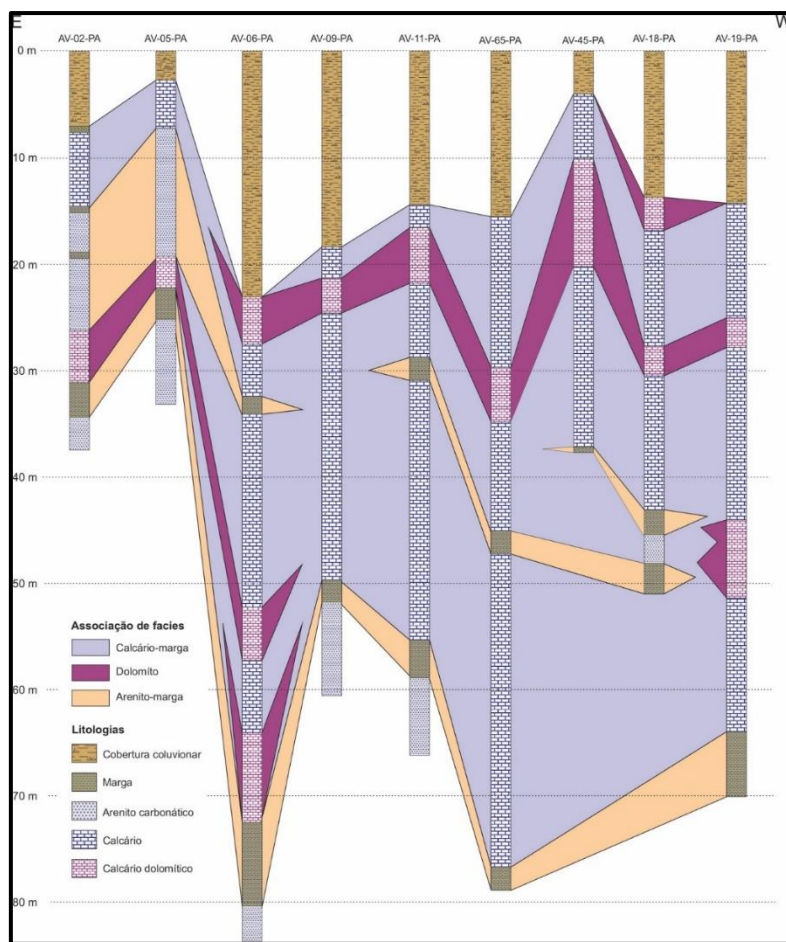


Figura 18 - Arcabouço estratigráfico das seções onde ocorrem as camadas calcárias em subsuperfície, construída a partir de furos de sondagem, no qual são caracterizadas três fácies: calcário-marga, dolomito e arenito-marga.

A gênese dos depósitos de calcário de Aveiro é atribuída a existência de um mar raso e provavelmente restrito (i.e., tipo epicontinental) que conectava as bacias do Amazonas e Parnaíba durante o Carbonífero-Permiano. Os depósitos de calcário foram provavelmente depositados em condições de clima quente, em águas rasas, fóticas, que permitiram a proliferação e manutenção de uma fauna marinha diversificada e complexa. Esse sistema marinho ligado ao “Mar Itaituba” foi sucedido pela instalação de sistemas deposicionais continentais relacionados ao soerguimento regional como resultado da formação do supercontinente Pangeia no final do Paleozoico. Esses depósitos marinhos representam uma das evidências mais robustas de uma provável conexão marinha à oeste da Bacia do Amazonas com o Oceano Pantalassa durante o Pensilvaniano ( $323.2 \pm 0.4$  Ma até  $298.9 \pm 0.15$  Ma).

## 8. PROCEDIMENTOS DE RESGATE DOS DADOS ANALÓGICOS

Neste capítulo é apresentado o processo de resgate e conversão dos dados analógicos, que formam o acervo dos Projetos Aveiro (CPRM, 1979a, b) e Calcário Itaituba (CARVALHO; FIGUEIRAS; SANTOS, 1977) para arquivos digitais. São detalhadas as formas utilizadas para a recuperação dos dados visando buscar padronizações necessárias à realização da modelagem geológica tridimensional e estimativa de recursos. Os dados analógicos foram obtidos por meio de acesso livre ao acervo institucional do SGB/CPRM que contém as documentações técnicas digitalizadas em formato PDF. Desses relatórios foram extraídos temas ligados a diferentes áreas de interesse dos quais foram selecionadas informações e dados considerados essenciais para os estudos de reavaliação do potencial da área e dos recursos geológicos do depósito. Neste sentido, foram compilados, entre outros, dados relativos aos mapas geológicos, topográficos, furos de sondagem, afloramentos e resultados analíticos.

### 8.1. TRABALHOS DE PESQUISA DO PROJETO AVEIRO

Como a pesquisa de detalhe foi executada pelo Projeto Aveiro, o trabalho focou basicamente na recuperação dos seus dados (mapas, furos, afloramentos e análises). Do projeto Calcário de Itaituba (CARVALHO; FIGUEIRAS; SANTOS, 1977) apenas foram recuperadas informações relativas a cinco furos de sondagem, totalizando 232,9 m, e dados analíticos de seus intervalos, compreendendo 54 amostras analisadas, executados na área do processo da CPRM (807.564/1976) e em suas adjacências.

Os itens a seguir resumem os trabalhos de pesquisa executados pelo Projeto Aveiro:

- **Fotointerpretação:** interpretação de fotografias aéreas (1:30.000) para delimitar o contorno da faixa de ocorrência das rochas calcárias, assim como na confecção de mapas-base preliminares de serviço;
- **Levantamento topográfico:** em uma primeira etapa, realizado um levantamento taqueométrico de dois vetores para amarração das áreas de processos tendo como referência a confluência do igarapé Anta com o rio Cuparipixuna, sendo executado em paralelo a um levantamento altimétrico expedito de 80.430 m de picadas na direção E-W e transversais. A segunda etapa compreendeu a execução de um total de 113.188 m de linhas de levantamento planialtimétrico em picadas abertas na direção N-S com diferentes espaçamentos das linhas. A partir desse levantamento foram confeccionadas três plantas planialtimétricas (escala 1:10.000) com a equidistância das curvas de nível de 2 m e uma planta planialtimétrica (escala 1:25.000) com equidistância de 10m, condensando as 3 anteriores;
- **Mapeamento:** foram descritos 89 afloramentos, dos quais 34 ocorrências de calcário;
- **Sondagem rotativa:** nas linhas com levantamento planialtimétrico foram efetuados 77 furos de sondagem (rotativa à diamante, diâmetro AWG) totalizando 3.524,70 m perfurados distribuídos em três fases. Fase 1 (20 furos, malha 2.000 m), Fase 2 (18 furos, malha 500 m) e Fase 3 (39 furos, malha 250 m);
- **Amostragem e análises químicas:** amostragem realizada em intervalos estratigráficos de 1,5 m nos perfis de sondagem, totalizando 1603 amostras com análises. As amostras coletadas na Fase 1 (386 amostras) foram analisadas para CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> e Resíduos Insolúveis, na SECLAB-BE (Seção de Laboratório de Belém da CPRM) e no Laboratório de Geologia e Mineralogia da SUDAM (Superintendência Desenvolvimento Amazônia). Posteriormente, as amostras pertinentes áreas de detalhe tiveram suas análises complementadas. As amostras coletadas nas fases de detalhamento (1.217 amostras) foram analisadas para CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, além da determinação dos valores de Titulação (carbonato total) e Perda ao Fogo. Devido ao grande volume de análises as amostras foram distribuídas entre laboratórios do IDESP (Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará), SUDAM, SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), SGS (Sociedade Brasileira de Superintendência S.A.), Mineração Vera Cruz S.A., UFPA (Universidade Federal do

Pará), além da SECLAB-BE e do LAMIN (Laboratório de Análises Minerais da CPRM). A preparação das amostras, que constou de britagem e moagem a 150 *mesh* foi toda executada pela SECLAB-BE. Além das análises citadas, na SECLAB-BE foi efetuada análise termo diferencial (DTA) em duas amostras, análise petrográfica da seção delgada em sete amostras e determinação de densidade de seis amostras, estas últimas escolhidas aleatoriamente.

## 8.2. GEORREFERENCIAMENTO E DIGITALIZAÇÃO DOS MAPAS

A recuperação do material cartográfico do Projeto Aveiro (CPRM, 1979a, b) teve como objetivo a digitalização das informações cartográficas apresentadas no relatório do referido projeto, visando sua utilização na modelagem geológica tridimensional. Para tanto, buscou-se converter este material em um conjunto de dados vetoriais de um sistema de informações geográficas (SIG). Definiu-se como prioridade a extração das coordenadas dos furos de sondagem e afloramentos mapeados no relatório de pesquisa. A digitalização também incluiu os elementos relativos à drenagem e a topografia da área, no caso curvas de nível altimétrico, visando a geração de um Modelo Digital de Terreno (MDT). Para esse fim foi feita a digitalização do mapa intitulado “Projeto Aveiro – Novo Mapa de Síntese”, escala 1:25.000, que contempla os limites de ocorrência da faixa calcária da Formação Itaituba e seus contatos com as demais unidades geológicas adjacentes, pontos de afloramentos e dos furos de sondagem, assim como elementos topográficos, como curvas de nível, entre outras informações.

Cabe ressaltar, que o Sensoriamento Remoto oferece vários instrumentos para elaboração de um MDT. No presente trabalho, foram testadas imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model*). Todavia, foi feita a ressalva de que a densa cobertura vegetal da área poderia representar um fator de imprecisão dos dados de satélite, especialmente em uma escala de detalhe ou semi-detalhe. Esse tipo de cobertura pode gerar ruídos (GROHMANN, 2015), comprometendo a interpretação do modelo. Observou-se que os modelos obtidos apresentavam baixa aderência aos dados de campo registrado no relatório da CPRM (1979a, b), seja no que diz respeito aos valores de altimetria, seja, principalmente nas feições geomorfológicas apresentadas. Assim, considerando a existência desses dados no material original, optou-se pela digitalização das curvas de nível identificáveis no mapa georreferenciado, a fim de poder gerar um MDT. Essas curvas foram extraídas por digitalização manual através do programa ArcMap, da plataforma ArcGIS 10.6.

A digitalização do material obedeceu às etapas de georreferenciamento e extração de dados. O georreferenciamento consiste em relacionar coordenadas planas de um sistema de projeção cartográfica no espaço bidimensional por meio de funções polinomiais (D’ALGE, 1997). A extração de dados foi feita através do desenho das feições constantes no mapa em Sistema de Informações Geográficas, convertendo as informações passadas para tela do computador do formato matricial (*raster*) para o vetorial (formato *shapefile*). Para este processo foi usado o programa ArcGIS 10.6.

O georreferenciamento foi feito no Sistema de Referência Córrego Alegre, em projeção geodésica. Posteriormente foi feita a transformação para SIRGAS2000, em Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). A mudança no sistema de referência visa obedecer às definições da Resolução No. 01/2015 do IBGE e a mudança de projeção visou adequar os dados gerados para importação e processamento na modelagem geológica, que trabalha com unidades métricas.

É importante ressaltar, que nas cartas selecionadas para digitalização não havia mais do que um par de coordenadas geodésicas, além do que as coordenadas originais dos pontos relativos aos furos de sondagem, que poderiam ser utilizadas para o georreferenciamento dos mapas, estão baseadas em um sistema de localização concebido para uso local. Neste sentido, foi necessário usar como referência para o posicionamento das cartas os contornos da área de requerimento de pesquisa da CPRM, cadastrados no sistema georreferenciado SIGMINE da ANM. Visando uma maior acurácia, e considerando reduzir as distorções inerentes ao processo de georreferenciamento, foi feito um levantamento de imagens orbitais da área, visando elaborar um georreferenciamento por pontos de controle. Esse tipo de posicionamento consiste na orientação da imagem com base em feições características da área, como confluências de rios e cruzamento



de estradas. (D'ALGE, 1997). Apesar de ser uma área de cobertura vegetal homogênea na escala de observação dos satélites, com poucos elementos identificáveis na imagem, esse georreferenciamento foi possível através de alguns elementos da hidrografia. Foi utilizada uma imagem do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite LANDSAT 8, coletada em 21 de outubro de 2020, com resolução espacial de 30 metros, cuja faixa capturada cobre toda a área projeto, com baixa cobertura de nuvens. Essa imagem foi obtida através do sistema *Earth Explorer* do *Earth Resources Observation and Science (EROS)* do USGS, o Serviço Geológico Norte-Americano. O material disponibilizado em sistema de coordenadas geodésicas WGS 84 foi convertido também para o sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000. Para validação das informações, também foram consultadas imagens do sensor ASTER com resolução de 15 metros, bem como o mosaico de imagens do *basemap* da ESRI, disponível na plataforma ArcGIS.

Foi feita uma composição RGB com as bandas 7 (para o vermelho), 5 (para o verde) e 2 (para o azul), que possibilitou uma melhor verificação de aspectos da drenagem e do relevo, obtendo-se um cenário no qual fosse possível utilizar esses elementos como pontos de controle e usá-los para ampliar a acurácia do georreferenciamento, através da redução do Erro Quadrático Médio (*RMS Error*). Observou-se um pequeno deslocamento do polígono da área de processo cadastrado da base *Sigmine* da ANM em relação aos atributos do mapa localizados na imagem.

Ao fim desta etapa, obteve-se o mapa do projeto Aveiro georreferenciado, a partir do qual foi possível extrair as coordenadas UTM de localização das informações pontuais do mapa, como furos de sondagem e afloramentos rochosos. Essas coordenadas UTM, que não constavam no relatório, foram aferidas a partir de sua localização no mapa e exportados para planilhas, com as coordenadas X, Y, meridiano central e *datum*.

A finalização da digitalização abrangeu os elementos físicos lineares do mapa para meio digital em formato vetorial *shapefile*. Esse processo foi feito manualmente, tendo em vista que o excesso de informações disponíveis do mapa geraria ruídos que tornariam a digitalização manual contraproducente. Assim, o mapa foi redesenhado em classes distintas, obtendo-se como produto final arquivos *shapefile* distintos para as curvas de nível, hidrografia, contatos litológicos, limites da reserva.

### 8.3. REGASTE DOS DADOS DOS FUROS DE SONDAGEM

Os dados fundamentais para os estudos de modelagem geológica constituíram basicamente os metadados relativos as sondagens rotativas constantes nos projetos Aveiro e Calcário Itaituba. As informações dos furos de sondagem rotativa se encontram em boletins anexos aos relatórios dos projetos citados (Figuras 19 e 20) e são compostas, dentre outros, pelas seguintes especificações: um cabeçalho com informações sobre a sigla do furo, cota, profundidade total do furo, número do alvará de pesquisa relacionado ao furo (Projeto Aveiro), além da seção estratigráfica, com descrição sumarizada dos intervalos litológicos, níveis amostrados, resultados analíticos e taxas de recuperação dos furos.

Para atender aos trabalhos da modelagem, esses dados foram organizados em cinco tabelas padronizadas denominadas “*Collar*”, “*Survey*”, “*Geology*” e “*Recuperação*”, cujas informações arroladas por cada uma são apresentadas a seguir:

- *Collar*: dados relacionados ao posicionamento dos furos de sondagem;
- *Survey*: orientação dos furos de sondagem (mergulho e azimuth). Neste caso todos são verticais e, portanto, apresentam valores de 90 e 0, para mergulho e azimuth, respectivamente;
- *Geology*: dados relacionados aos intervalos litológicos;
- *Recuperação*: dados de percentual de recuperação do testemunho;

Para a consecução dos trabalhos da modelagem para cada tabela ainda foi definida uma composição de parâmetros, que constituem seus atributos (coluna). Essa estrutura de dados é apresentada no quadro 3, onde é descrito o significado de cada atributo criado, cabendo destacar como dado fundamental para todas as tabelas o “elemento de pesquisa”, que compreende os furos de sondagem, que são identificados por suas siglas de campo (BHID). Algumas colunas das tabelas digitadas foram criadas para inserir informações necessárias para a modelagem que não existiam nos dados originais. Na tabela *Collar*, conforme explicitado

no item anterior, as coordenadas X e Y dos furos de sondagem foram obtidas a partir dos mapas georreferenciados, já que originalmente estavam em coordenadas locais. Na tabela *Survey* os campos “AT”, “DIP” e “AZIMUTE” foram criados, por serem informações de inserção obrigatória no *software* de modelagem (Leapfrog Geo v. 6.0). O campo “SIGLA” da tabela *Geology* foi criado com o intuito de categorizar os litotipos descritos, de forma a facilitar a correlação entre furos na modelagem. O Quadro 4 apresenta as categorias criadas.

Figura 19 – Exemplo de boletim com perfil de sondagem retirado do relatório final de pesquisa do projeto Aveiro (CPRM, 1979a, b).

COMPANHIA DE PESQUISA RECURSOS MINERAIS – CPRM														
SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS – SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS – SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS														
PROJETO VEIRO														
PERFIL DO FURO														
REC. LATERAL														
PROJETO	C.C.	ALVARÁ	PESQUISA DE INTERESSADO	SONDA	INCLINAÇÃO	DÍMETRO	ESC. VERT.	SOLA DO FURO						
AVENO	260		11/78	CPRM	SW-05	VERTICAL	1:100	AW-60-PA						
ESTADO	COORDENADA	MUNICÍPIO	LOCAL	COTA (m)	PROFUND. (m)	ÂNGULO (gr)	TÊNACIA (kg/cm²)							
GO	AVENO	AVENO	AVENO	AVENO	AVENO	AVENO	AVENO							
INTERVALO DE 10m	ESPES. (m)	REC. (m)	REC. (m)	DESCR. (m)	USO (m)	PROF. (m)	RES. ANALÍTICO (m)							
DE	PARA	DE	PARA	DE	PARA	DE	PARA							
0,00	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00							
1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00							
2,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00							
3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	6,00							
4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	7,00							
5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00							
6,00	7,00	7,00	8,00	8,00	9,00	9,00	9,00							
7,00	8,00	8,00	9,00	9,00	10,00	10,00	10,00							
8,00	9,00	9,00	10,00	10,00	11,00	11,00	11,00							
9,00	10,00	10,00	11,00	11,00	12,00	12,00	12,00							
10,00	11,00	11,00	12,00	12,00	13,00	13,00	13,00							
11,00	12,00	12,00	13,00	13,00	14,00	14,00	14,00							
12,00	13,00	13,00	14,00	14,00	15,00	15,00	15,00							
13,00	14,00	14,00	15,00	15,00	16,00	16,00	16,00							
14,00	15,00	15,00	16,00	16,00	17,00	17,00	17,00							
15,00	16,00	16,00	17,00	17,00	18,00	18,00	18,00							
16,00	17,00	17,00	18,00	18,00	19,00	19,00	19,00							
17,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00	20,00	20,00							
18,00	19,00	19,00	20,00	20,00	21,00	21,00	21,00							
19,00	20,00	20,00	21,00	21,00	22,00	22,00	22,00							
20,00	21,00	21,00	22,00	22,00	23,00	23,00	23,00							
21,00	22,00	22,00	23,00	23,00	24,00	24,00	24,00							
22,00	23,00	23,00	24,00	24,00	25,00	25,00	25,00							
23,00	24,00	24,00	25,00	25,00	26,00	26,00	26,00							
24,00	25,00	25,00	26,00	26,00	27,00	27,00	27,00							
25,00	26,00	26,00	27,00	27,00	28,00	28,00	28,00							
26,00	27,00	27,00	28,00	28,00	29,00	29,00	29,00							
27,00	28,00	28,00	29,00	29,00	30,00	30,00	30,00							
28,00	29,00	29,00	30,00	30,00	31,00	31,00	31,00							
29,00	30,00	30,00	31,00	31,00	32,00	32,00	32,00							
30,00	31,00	31,00	32,00	32,00	33,00	33,00	33,00							
31,00	32,00	32,00	33,00	33,00	34,00	34,00	34,00							
32,00	33,00	33,00	34,00	34,00	35,00	35,00	35,00							
33,00	34,00	34,00	35,00	35,00	36,00	36,00	36,00							
34,00	35,00	35,00	36,00	36,00	37,00	37,00	37,00							
35,00	36,00	36,00	37,00	37,00	38,00	38,00	38,00							
36,00	37,00	37,00	38,00	38,00	39,00	39,00	39,00							
37,00	38,00	38,00	39,00	39,00	40,00	40,00	40,00							
38,00	39,00	39,00	40,00	40,00	41,00	41,00	41,00							
39,00	40,00	40,00	41,00	41,00	42,00	42,00	42,00							
40,00	41,00	41,00	42,00	42,00	43,00	43,00	43,00							
41,00	42,00	42,00	43,00	43,00	44,00	44,00	44,00							
42,00	43,00	43,00	44,00	44,00	45,00	45,00	45,00							
43,00	44,00	44,00	45,00	45,00	46,00	46,00	46,00							
44,00	45,00	45,00	46,00	46,00	47,00	47,00	47,00							
45,00	46,00	46,00	47,00	47,00	48,00	48,00	48,00							
46,00	47,00	47,00	48,00	48,00	49,00	49,00	49,00							
47,00	48,00	48,00	49,00	49,00	50,00	50,00	50,00							
48,00	49,00	49,00	50,00	50,00	51,00	51,00	51,00							
49,00	50,00	50,00	51,00	51,00	52,00	52,00	52,00							
50,00	51,00	51,00	52,00	52,00	53,00	53,00	53,00							
51,00	52,00	52,00	53,00	53,00	54,00	54,00	54,00							
52,00	53,00	53,00	54,00	54,00	55,00	55,00	55,00							
53,00	54,00	54,00	55,00	55,00	56,00	56,00	56,00							
54,00	55,00	55,00	56,00	56,00	57,00	57,00	57,00							
55,00	56,00	56,00	57,00	57,00	58,00	58,00	58,00							
56,00	57,00	57,00	58,00	58,00	59,00	59,00	59,00							
57,00	58,00	58,00	59,00	59,00	60,00	60,00	60,00							
58,00	59,00	59,00	60,00	60,00	61,00	61,00	61,00							
59,00	60,00	60,00	61,00	61,00	62,00	62,00	62,00							
60,00	61,00	61,00	62,00	62,00	63,00	63,00	63,00							
61,00	62,00	62,00	63,00	63,00	64,00	64,00	64,00							
62,00	63,00	63,00	64,00	64,00	65,00	65,00	65,00							
63,00	64,00	64,00	65,00	65,00	66,00	66,00	66,00							
64,00	65,00	65,00	66,00	66,00	67,00	67,00	67,00							
65,00	66,00	66,00	67,00	67,00	68,00	68,00	68,00							
66,00	67,00	67,00	68,00	68,00	69,00	69,00	69,00							
67,00	68,00	68,00	69,00	69,00	70,00	70,00	70,00							
68,00	69,00	69,00	70,00	70,00	71,00	71,00	71,00							
69,00	70,00	70,00	71,00	71,00	72,00	72,00	72,00							
70,00	71,00	71,00	72,00	72,00	73,00	73,00	73,00							
71,00	72,00	72,00	73,00	73,00	74,00	74,00	74,00							
72,00	73,00	73,00	74,00	74,00	75,00	75,00	75,00							
73,00	74,00	74,00	75,00	75,00	76,00	76,00	76,00							
74,00	75,00	75,00	76,00	76,00	77,00	77,00	77,00							
75,00	76,00	76,00	77,00	77,00	78,00	78,00	78,00							
76,00	77,00	77,00	78,00	78,00	79,00	79,00	79,00							
77,00	78,00	78,00	79,00	79,00	80,00	80,00	80,00							
78,00	79,00	79,00	80,00	80,00	81,00	81,00	81,00							
79,00	80,00	80,00	81,00	81,00	82,00	82,00	82,00							
80,00	81,00	81,00	82,00	82,00	83,00	83,00	83,00							
81,00	82,00	82,00	83,00	83,00	84,00	84,00	84,00							
82,00	83,00	83,00	84,00	84,00	85,00	85,00	85,00							
83,00	84,00	84,00	85,00	85,00	86,00	86,00	86,00							
84,00	85,00	85,00	86,00	86,00	87,00	87,00	87,00							
85,00	86,00	86,00	87,00	87,00	88,00	88,00	88,00							
86,00	87,00	87,00	88,00	88,00	89,00	89,00	89,00							
87,00	88,00	88,00	89,00	89,00	90,00	90,00	90,00							
88,00	89,00	89,00	90,00	90,00	91,00	91,00	91,00							
89,00	90,00	90,00	91,00	91,00	92,00	92,00	92,00							
90,00	91,00	91,00	92,00	92,00	93,00	93,00	93,00							
91,00	92,00	92,00	93,00	93,00	94,00	94,00	94,00							
92,00	93,00	93,00	94,00	94,00	95,00	95,00	95,00							
93,00	94,00	94,00	95,00	95,00	96,00	96,00	96,00							
94,00	95,00	95,00	96,00	96,00	97,00	97,00	97,00							
95,00	96,00	96,00	97,00	97,00	98,00	98,00	98,00							
96,00	97,00	97,00	98,00	98,00	99,00	99,00	99,00							
97,00	98,00	98,00	99,00	99,00	100,00	100,00	100,00							
98,00	99,00	99,00	100,00	100,00	101,00	101,00	101,00							
99,00	100,00	100,00	101,00	101,00	102,00	102,00	102,00							
100,00	101,00	101,00	102,00	102,00	103,00	103,00	103,00							
101,00	102,00	102,00	103,00	103,00	104,00	104,00	104,00							
102,00	103,00	103,00	104,00	104,00	105,00	105,00	105,00							
103,00	104,00	104,00	105,00	105,00	106,00	106,00	106,00							
104,00	105,00	105,00	106,00	106,00	107,00	107,00	107,00							
105,00	106,00	106,00	107,00	107,00	108,00	108,00	108,00							
106,00	107,00	107,00	108,00	108,00	109,00	109,00	109,00							
107,00	108,00	108,00	109,00	109,00	110,00	110,00	110,00							
108,00	109,00	109,00	110,00	110,00	111,00	111,00	111,00							
109,00	110,00	110,00	111,00	111,00	112,00	112,00	112,00							
110,00	111,00	111,00	112,00	112,00	113,00	113,00	113,00							
111,00	112,00	112,00	113,00	113,00	114,00	114,00	114,00							
112,00	113,00	113,00	114,00	114,00	115,00	115,00	115,00							
113,00	114,00	114,00	115,00	115,00	116,00	116,00	116,00							
114,00	115,00	115,00	116,00	116,00	117,00	117,00	117,00							
115,00	116,00	116,00	117,00	117,00	118,00	118,00	118,00							
116,00	117,00	117,00	118,00	118,00	119,00	119,00	119,00							
117,00	118,00	118,00	119,00	119,00	120,00	120,00	120,00							
118,00	119,00	119,00	120,00	120,00	121,00	121,00	121,00							
119,00	120,00	120,00	121,00	121,00	122,00	122,00	122,00							
120,00	121,00	121,00	122,00	122,00	123,00	123,00	123,00							
121,00	122,00	122,00	123,00	123,00	124,00	124,00	124,00							
122,00	123,00	123,00	124,00	124,00	125,00	125,00	125,00							
123,00	124,00	124,00	125,00	125,00	126,00	126,00	126,00							
124,00	125,00	125,00	126,00	126,00	127,00	127,00	127,00							
125,00	126,00	126,00	127,00	127,00	128,00	128,00	128,00							
126,00	127,00	127,00	128,00	128,00	129,00	129,00	129,00							
127,00	128,00	128,00	129,00	129,00										

Quadro 3 - Estrutura das tabelas Collar, Survey, Geology e Recuperação. (Elaboração: Luiza Lopes de Araújo).

Tabela	Coluna	Descrição do Atributo da Coluna
Collar	BHID	Nome do furo
	X	Coordenada X (E-W) UTM SIRGAS2000 ZONA 21S
	Y	Coordenada Y (N-S) UTM SIRGAS2000 ZONA 21S
	Z	Cota em metros
	LENGTH	Profundidade total do furo
	OBS	Observação sobre as informações recuperadas na tabela COLLAR
Survey	BHID	Nome do furo
	AT	Profundidade da medida de desvio
	DIP	Mergulho do desvio do elemento de pesquisa
	AZIMUTE	Azimute do desvio do elemento de pesquisa
Geology	BHID	Nome do furo
	FROM	Início do intervalo litológico “De”
	TO	Fim do intervalo litológico “Até”
	LENGTH	Comprimento do intervalo litológico
	SIGLA	Sigla do intervalo litológico
	DESCRIÇÃO	Descrição completa do intervalo litológico
Recuperação	BHID	Nome do furo
	FROM	Início do intervalo recuperado “De”
	TO	Fim do intervalo recuperado “Até”
	esp_m	Comprimento total do intervalo
	rec_m	Comprimento do intervalo recuperado
	rec_perc	Percentual de recuperação do intervalo

Quadro 4 – Categorias de litotipos criadas para a coluna “SIGLA” da tabela *Geology* (Elaboração: Luiza Lopes de Araújo).

Categoria Litotipo	Litotipo/Material Predominante	Categoria Litotipo	Litotipo/Material Predominante
A	Argila	CD	Calcário dolomítico
AC	Argila carbonática	CM	Calcário magnesiano
AG	Argilito	D	Dolomito
AGC	Argilito carbonático	DA	Dolomito argiloso
AR	Arenito	DC	Dolomito calcítico
ARC	Arenito carbonático	FO	Folhelho
C	Calcário	FRCC	Fragmentos de calcário e chert
CA	Calcário argilo/arenoso	S	Solo ou material argiloso
CAV	Caverna	SC	Solo ou material argiloso carbonático
CC	Calcário calcítico		

## 8.4. REGASTE DOS RESULTADOS ANALÍTICOS

Os dados relativos aos resultados analíticos encontram-se disponíveis nos anexos dos relatórios finais de pesquisa sob duas formas, nos boletins de sondagem (Figuras 19 e 20) e nos certificados dos resultados de análises (Figura 21). Nos boletins de sondagem estão compilados os intervalos amostrados e os resultados de índice de titulação, perda ao fogo, CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Já os certificados analíticos contemplam todas essas informações mais o Número de Laboratório. Além desses principais parâmetros analisados, alguns certificados possuem valores de resíduos insolúveis, SiO<sub>2</sub> anidrido silícico, CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> e densidade.

Na recuperação e digitação dos dados analíticos as informações foram agrupadas na planilha *Assay*, que foi estruturada conforme apresentada no quadro 5. Cabe informar, que os dados analíticos dos boletins

de sondagem reproduzem o que consta nos certificados analíticos, tendo, nesse sentido, como procedimento de boa prática, sempre que possível, priorizar a recuperação dos valores analíticos a partir desses últimos documentos. Porém isso nem sempre foi possível, por falta de legibilidade das informações no material disponibilizado. Os resultados analíticos dos furos do Projeto Calcário Itaituba foram todos obtidos a partir dos Boletins de Sondagem.

Além dos resultados analíticos, considerou-se como uma informação relevante a classificação do tipo de uso para calcário, contida nos boletins de sondagem. Por isso, foi criada uma coluna chamada “TIPO\_TAB” na tabela Assay para atender essas classificações. Segundo o relatório final de pesquisa do Projeto Aveiro (CPRM, 1979a), os parâmetros considerados para categorizar os tipos de calcário estão contidos no texto a seguir:

*“Assim, foram determinadas as reservas de calcário para uso na fabricação de cimento, calcário para corretivo de solos, calcário ainda sem utilização definida, além de toda reserva de calcário existente no depósito. Para o cálculo foi utilizado como índice de titulação mínimo (% de carbonato total) o valor de 65%, ou seja, os níveis em que o teor de carbonatos é inferior àquele valor foram considerados como **estéril**. Como critério para a definição de calcário para cimento foi adotado o teor limite máximo de 4,5% de MgO, uma vez que os teores de sílica, ferro e alumínio estão dentro das especificações para fabricação de cimento. No que se refere ao calcário para corretivo de solos, embora não exista uma especificação oficial, foi admitida aquela adotada pela Secretaria da Fazenda do Estado de São Paulo para “Pó Calcário Dolomítico Tipo B”, que estabelece um teor mínimo de 40% para a soma dos óxidos de cálcio e magnésio, com um mínimo de 10% para o MgO”*

No entanto, ao validar a classificação contida nos boletins de sondagem com os resultados analíticos, percebeu-se que em alguns casos os parâmetros de classificação supracitados não foram completamente seguidos. Portanto, optou-se por criar uma coluna chamada “TIPO\_CALC”, que seguiu estritamente os parâmetros definidos no relatório, somente para efeito comparativo. É válido ressaltar que atualmente existem outros parâmetros que definem as categorias de uso do calcário, porém, esse assunto foge do escopo deste capítulo e será tratado em capítulos posteriores relacionados à estimativa de recursos e beneficiamento. Todos os dados recuperados e digitados foram organizados e validados conforme os padrões necessários para utilização no *software* de modelagem implícita Leapfrog Geo v. 6.0.

Figura 21 – Exemplo de certificado com resultados analíticos retirado do relatório final de pesquisa do Projeto Aveiro (CPRM, 1979a).

**RESULTADOS DE ANÁLISES — MÉTODOS QUANTITATIVOS**

**CPRM**

Requisição: 069/SUREG/EE/78

Projeto: Aveiro - 2160.600

Lote nº: 108/ES

Data de registro: 12/12/78

79.80

Cartão nº 15

S	E	Q	Nº de Campo 2160.600 AV-15-PA	Elemento ou Composto	SiO <sub>2</sub> %		PF %		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %							
					1-2	10-11	19-20	28-29	37-38	46-47	55-56							
				Código	01		43		11		03							
				Nº de Lab 11 - 78	3	4-9	12	13-18	21	22-27	30	31-36	39	40-45	48	49-54	57	58-63
1			7,50-49,00	825		3,3		42,1		0,81		0,56						
2			49,00-50,50	826		28,3		38,6		0,52		1,32						
3			50,50-52,00	827		13,8		35,5		1,14		2,27						
4			52,00-53,50	828		27,4		28,2		2,00		4,72						
5			53,50-55,00	829		44,3		18,8		2,93		7,74						
6																		

Quadro 5 - Estrutura da tabela Assay (Elaboração: Luiza Lopes de Araújo).

Tabela	Coluna	Descrição do Atributo da Coluna
Assay	BHID	Nome do furo
	No DO LAB	Número de laboratório da amostra
	FROM	Início do intervalo amostrado "De"
	TO	Fim do intervalo amostrado "Até"
	PF %	Resultado analítico de perda ao fogo em percentual
	SiO <sub>2</sub> %	Resultado analítico de SiO <sub>2</sub> em percentual
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Resultado analítico de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> em percentual
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Resultado analítico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> em percentual
	CaO %	Resultado analítico de CaO em percentual
	MgO %	Resultado analítico de MgO em percentual
	TÍTULO	Resultado analítico de índice de titulação em percentual
	RI%	Resultado analítico de resíduos insolúveis em percentual
	Umidade_100graus	Resultado analítico de umidade a 100 °C
	SiO <sub>2</sub> anidrido silicico	Resultado analítico de SiO <sub>2</sub> anidrido silício em percentual
	CaCO <sub>3</sub>	Resultado analítico de CaCO <sub>3</sub> em percentual
	MgCO <sub>3</sub>	Resultado analítico de MgCO <sub>3</sub> em percentual
	Densidade	Resultado analítico de densidade g/cm <sup>3</sup>
	TIPO_TAB	Tipo de uso para o calcário conforme classificação contida no boletim de sondagem
	TIPO_CALC	Tipo de uso para o calcário conforme os critérios de classificação apresentados no relatório final de pesquisa do Projeto Aveiro*
	OBS	Observações relacionadas à recuperação dos resultados analíticos
	OBS2	Observações relacionadas às diferenças entre as colunas TIPO_TAB e TIPO_CALC

\*Estéril: índice de titulação < 65%. Cimento: MgO <= 4,5%. Correção de Solos: CaO+MgO >= 40% e MgO >= 10%. Fonte: CPRM, 1979a.



## 9. MODELAGEM 3D E ESTIMATIVA DE RESERVAS

Com o intuito de reavaliar os recursos do Projeto Calcário Aveiro, foram gerados modelos geológicos 3D e estimativa de recursos do depósito considerando a propriedade mineral DNPM Nº 807.564/1976 (Figura 2). A modelagem geológica tridimensional é uma metodologia de espacialização, interpretação e integração de dados em subsuperfície. Esse tipo de abordagem permite compreender melhor a distribuição espacial e as relações entre as unidades estudadas. Além disso, a modelagem geológica serve de base para a geração do modelo de blocos para o cálculo e estimativa de recursos.

A preparação do banco de dados é a primeira e mais importante etapa no processo de modelagem geológica 3D. A qualidade e confiabilidade do modelo gerado dependem diretamente dos dados de entrada utilizados em sua confecção. Contudo, não é sempre que se tem disponível dados em quantidade e qualidade ideais. Por outro lado, dependendo da escala e do objetivo do trabalho, essa questão pode ser contornada, desde que haja transparência nos métodos aplicados na preparação dos dados e na execução do modelo. Os dados utilizados na modelagem desse depósito apresentam particularidades e limitações que necessitam ser pontuadas:

- Os furos de sondagem e afloramentos, originalmente possuíam apenas coordenadas locais, baseadas nas picadas abertas e no ponto de amarração. De forma que foi necessário o georreferenciamento dos mapas para a retirada das coordenadas em UTM. As cotas dos furos consideradas foram as constantes nos perfis descritivos de sondagem. Não foi realizada a verificação em campo da localização dos furos;

- As curvas de nível utilizadas para gerar a topografia foram digitalizadas a partir do mapa topográfico gerado no projeto Aveiro. Porém, o ideal para a escala deste trabalho seria fazer um levantamento topográfico detalhe.

Tendo isso em vista, é importante ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho fornecem uma visão global do potencial da área e auxiliam na compreensão da natureza e geometria desse depósito. Entretanto, ainda carece de detalhamento através da execução de furos de sondagem em uma malha de regular, levantamento topográfico de detalhe, dentre outros estudos, que fogem do escopo do atual projeto.

### 9.1. METODOLOGIA

Previamente à modelagem, procedeu-se a validação do banco de dados, que contemplou a verificação de eventuais informações ausentes, intervalos com erros de digitação, intervalos duplicados, e a consistência da profundidade final do furo e dos intervalos “De” (FROM) e “Até” (TO), com eliminação de *gaps* (lacunas) e *overlaps* (sobreposições). A inserção dos dados validados no software de modelagem, Leapfrog Geo v. 6.0, deu-se a partir de tabelas no formato csv (*comma separated values*), organizadas da seguinte forma:

- *Collar*: coordenadas das bocas dos furos e as profundidades finais;
- *Survey*: orientação dos furos (mergulho e azimuth). Neste caso todos os furos são verticais e, portanto, apresentam valores de 90 e 0, para mergulho e azimuth, respectivamente;
- *Geology*: intervalos litológicos descritos;
- *Assay*: dados de resultados analíticos provenientes dos intervalos amostrados.

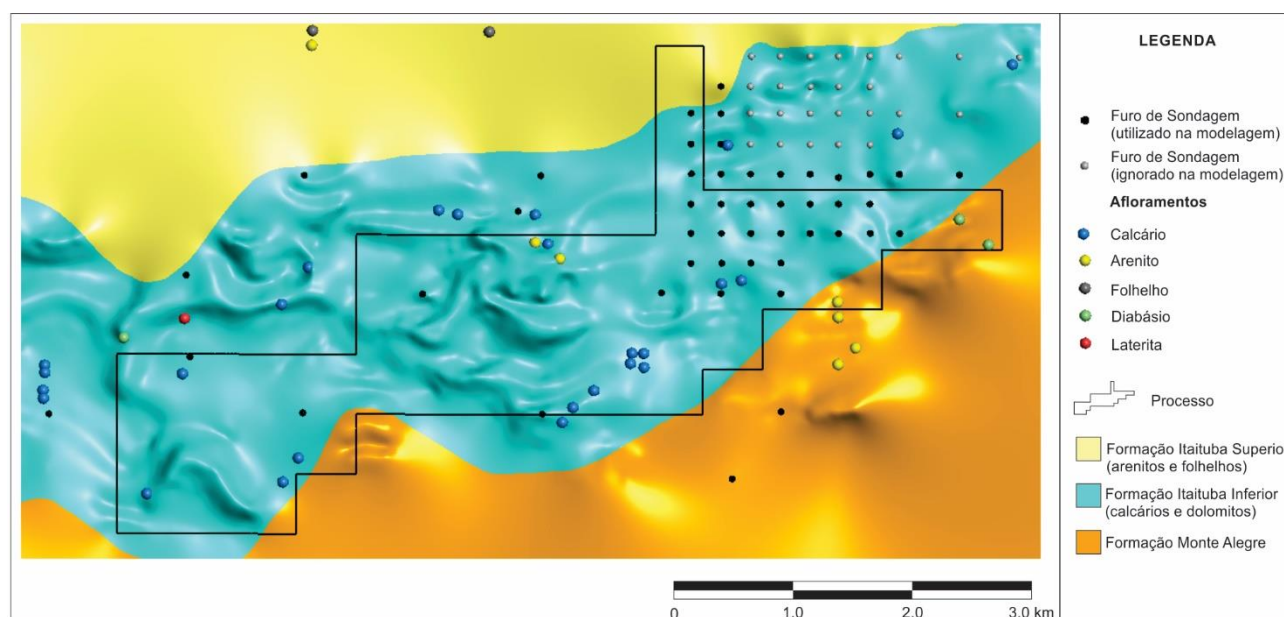
Os dados relacionados às feições digitalizadas dos mapas, como as curvas de nível, mapa geológico e afloramentos, foram importados em formato *shapefile*. A superfície topográfica foi gerada a partir das curvas de nível e das cotas dos furos. No entanto, alguns furos tiveram suas cotas ajustadas à topografia, pelo fato de estarem destoando das curvas de nível. O campo “OBS” da tabela *Collar* identifica esses furos. No caso dos afloramentos, que não possuíam originalmente cota, considerou-se os valores projetados na topografia gerada.

A partir da inserção e visualização dos dados em ambiente 3D, foi possível avaliar em conjunto com a geologia da área como seria feita a modelagem. Como as ocorrências do calcário (calcítico e dolomítico) distribuem-se desde de próximas à base até a seção intermediária da Formação Itaituba, decidiu-se fazer dois modelos: um modelo geológico geral das unidades litoestratigráficas (Formação Monte Alegre e Formação

Itaituba superior e inferior) e outro modelo refinado com o detalhamento da camada de calcário. Para fins da modelagem foi considerada como constituinte da porção inferior da Formação Itaituba a seção calcária atravessada pelos furos de sondagem.

O “modelo geológico geral” foi construído a partir dos furos, afloramentos e dos contatos das unidades, que podem ser observados no mapa da figura 22, na qual estão delineados os limites da área de pesquisa da CPRM. Foram utilizados somente 47 furos, de um total de 82 furos, inseridos no processo da CPRM e em suas adjacências. Os afloramentos de calcário foram empregados para definir as áreas sem a cobertura de solo no modelo. Os contatos do mapa geológico auxiliaram na delimitação do topo da formação Monte Alegre, na porção sul do processo, e na base do arenito da formação Itaituba Superior, na porção norte.

Figura 22 – Mapa geológico simplificado com os elementos utilizados na modelagem do depósito de calcário de Aveiro e os limites da área de processo da CPRM.

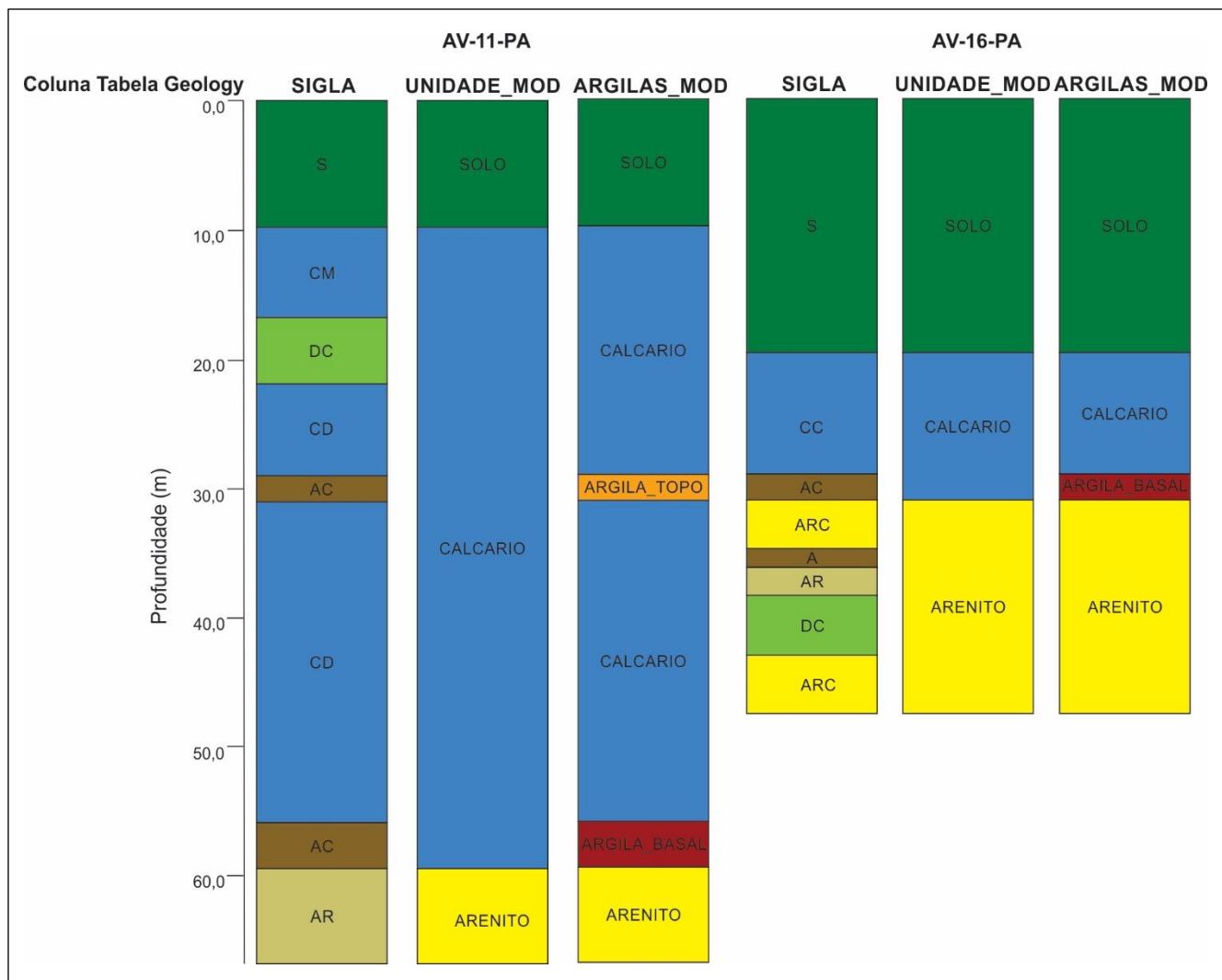


Com relação a tabela *Geology*, fez-se necessária a criação de uma coluna denominada “UNIDADE\_MOD”, objetivando uma simplificação das unidades descritas, de forma a agrupar os litotipos em três unidades: “SOLO” (solo e material argiloso da porção superior dos furos), “CALCARIO” (pacote de calcário dolomítico/calcítico com intercalações de argila e raros folhelhos/argilitos) e “ARENITO” (pacote da porção basal dos furos, abaixo da unidade “CALCARIO”, predominantemente composto por arenitos com algumas intercalações de argila, calcário e folhelho). Para fins da modelagem, a unidade “ARENITO” foi considerada como constituinte único da formação Monte Alegre.

Finalizado o modelo geológico geral, foi gerado o “modelo geológico refinado” com o intuito de delimitar as intercalações mais expressivas de argila dentro do sólido de “CALCARIO” do modelo geológico geral. Para isso, criou-se uma nova coluna na tabela *Geology* denominada “ARGILAS\_MOD”, com a individualização de dois horizontes de argila: “ARGILA\_TOPO” e “ARGILA\_BASAL”. O restante dos intervalos foi considerado como “CALCARIO”.

Exemplo com as definições para os modelos “geológico geral” e “geológico refinado” pode ser observada na figura 23, com os agrupamentos configurados a partir das seções estratigráficas dos furos AV-11-PA e AV-16-PA.

Figura 23 – Perfis dos furos AV-11-PA e AV-16-PA com as colunas SIGLA (classificação original), UNIDADE\_MOD (classificação modelo geral) e ARGILAS\_MOD (classificação modelo refinado).



Nota: A- argila, AC- argila carbonática, AR- arenito, ARC- arenito carbonático, CC- calcário calcítico, CD- calcário dolomítico, CM- calcário magnesiano, DC- dolomito calcítico, S- solo.

## 9.2. SÓLIDOS GERADOS

Neste subitem são apresentados os sólidos gerados nos modelos geológicos “geral e refinado” do depósito de calcário de Aveiro. O modelo geral apresenta a distribuição das unidades litoestratigráficas na área de estudo e serviram de base para a criação do modelo refinado.

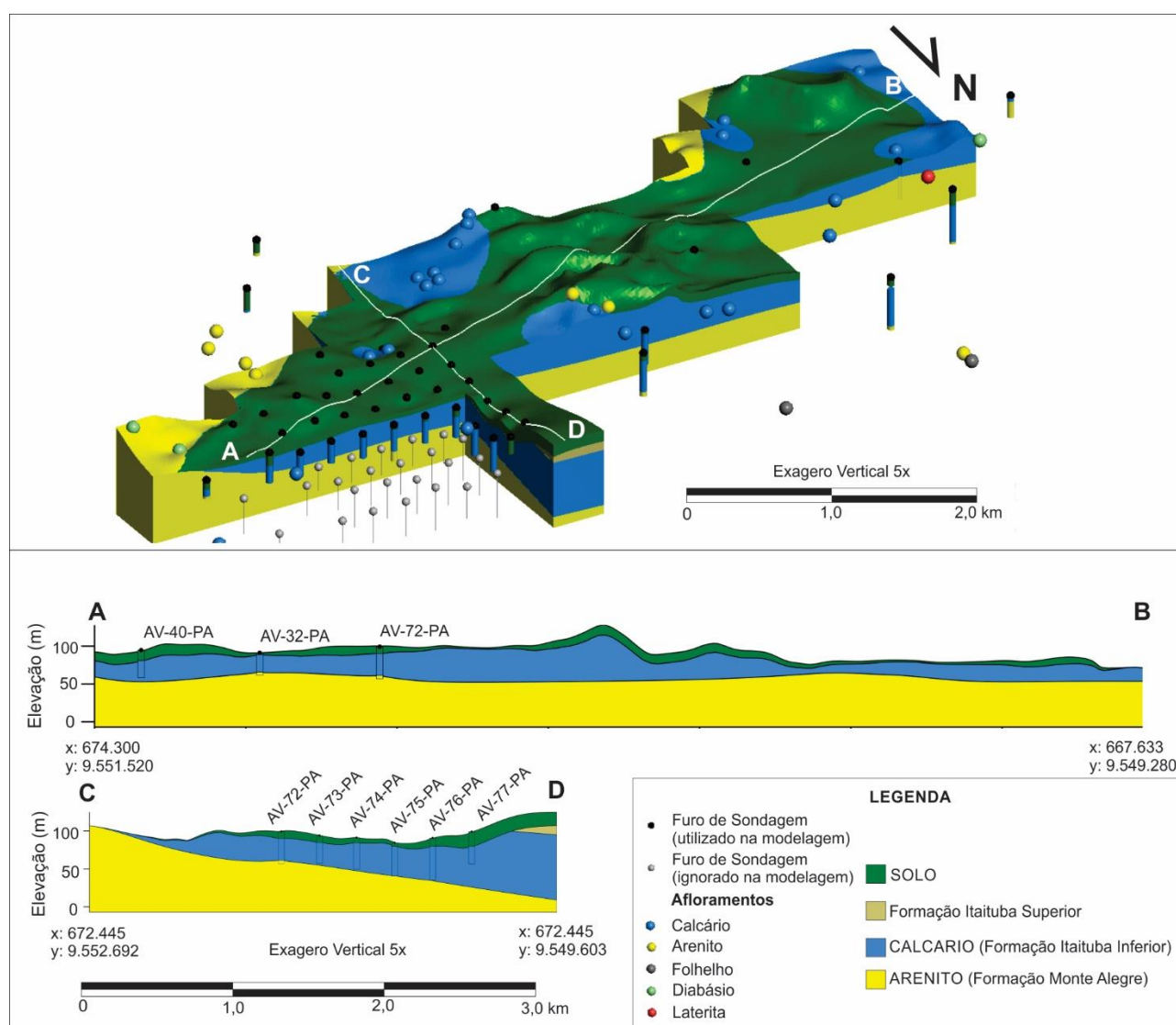
### 9.2.1. MODELO GERAL

A figura 24 mostra o modelo geológico geral elaborado para o depósito de calcário de Aveiro sob forma de um bloco diagrama, além de duas seções verticais, A-B e C-D, com direções respectivas NE-SW e S-N, que ilustram um suave mergulho das camadas das unidades em sentido a N-NW. Em segmentos da porção sul da área de processo afloram arenitos creditados a formação Monte Alegre, que, em parte, são atribuídos a seção basal da Formação Itaituba. No restante da área do processo ocorrem os calcários da formação Itaituba, com exceção do seu extremo norte, onde afloram arenitos da seção superior dessa unidade. A espessura da seção calcária aumenta em sentido ao norte conforme aumenta o caimento das camadas. Apesar da maioria dos

furos concentrar-se na porção leste da área do processo, os furos mais a oeste também indicam a continuidade das camadas de calcário.

A cobertura de solo foi considerada como um nível de alteração do calcário e, por isso, segue as variações da topografia, que refletem as oscilações das espessuras de suas camadas. Onde havia afloramento de calcário não foi gerada a superfície de solo. Como a formação de interesse deste trabalho é a formação Itaituba, só foi gerado solo sobre essa unidade. Porém, isso não implica que formação Monte Alegre não tenha cobertura de solo, apenas não teve esse detalhamento.

Figura 24 – Modelo geológico geral do depósito de calcário Aveiro representado em 3D por um bloco diagrama e por duas seções verticais, A-B e C-D, com direções respectivas NE-SW e S-N.



## 9.2.2. MODELO REFINADO

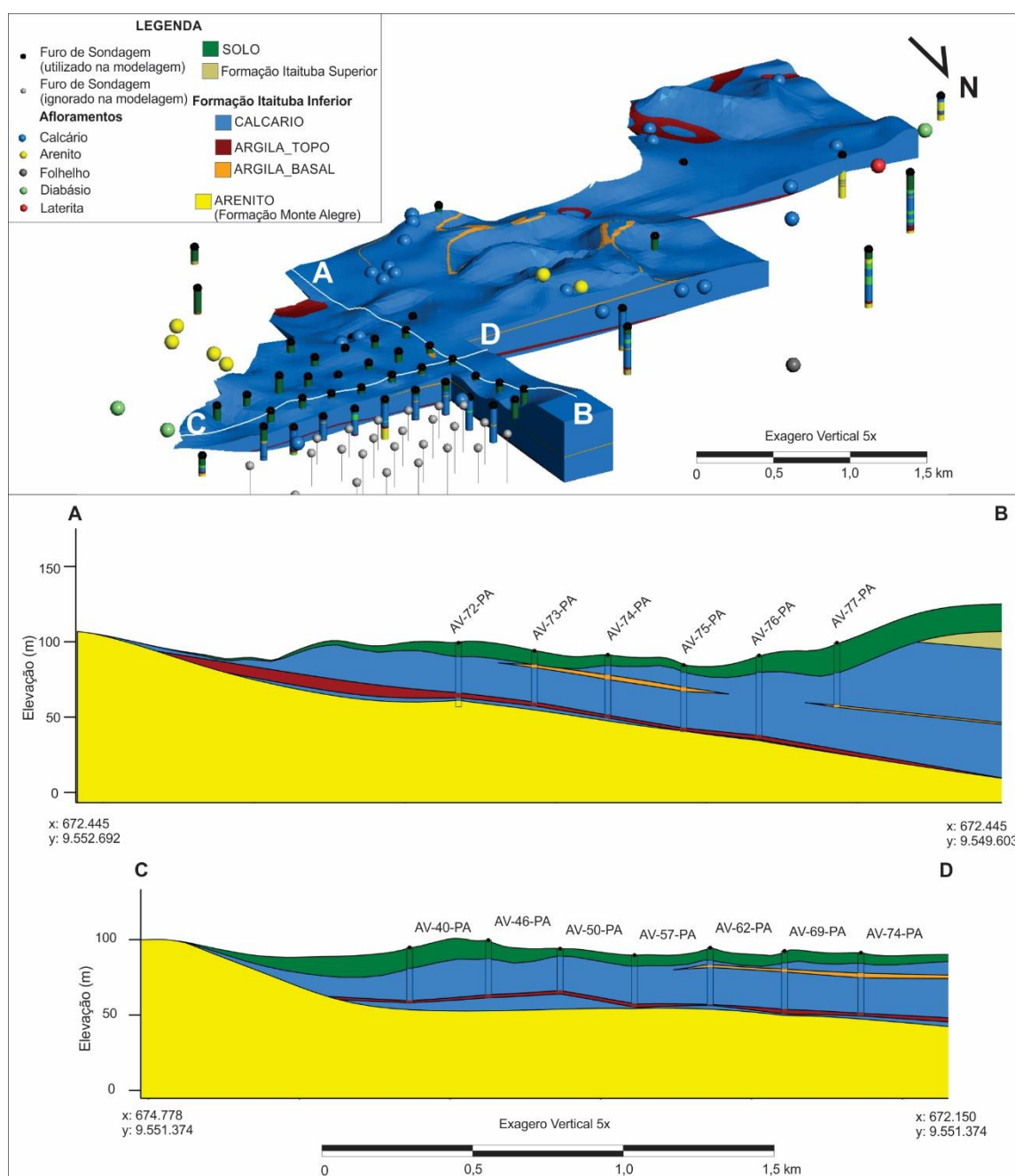
Com o intuito de detalhar as variações dos níveis de argila na camada de calcário foi elaborado o modelo refinado do depósito a partir do sólido “CALCARIO”, gerado no modelo geral. A figura 25 mostra o modelo refinado elaborado em forma de bloco diagrama e com duas seções verticais, A-B e C-D, com direções

respectivas S-N e E-W. O bloco diagrama apresenta apenas os sólidos de “CALCARIO”, ARGILA\_BASAL” e “ARGILA\_TOPO” para facilitar a visualização da seção calcária.

Não foi possível modelar as variações que corresponderiam aos intervalos formados pelos calcários calcítico e dolomítico, sendo, portanto, tudo considerado genericamente como calcário. A parametrização por tipo de calcário foi feita pelos resultados analíticos na estimativa de recursos.

Foram identificados basicamente dois níveis de argila, um nível basal (“ARGILA\_BASAL”) e um nível mais próximo ao topo (“ARGILA\_TOPO”). O nível de argila basal estende-se por toda a área do processo e, no geral, apresenta-se mais espesso, variando de 0,60 m a 8,70 m, nos furos que a interceptaram. Já o nível da argila do topo restringe-se à porção leste da área do processo, com sua espessura nos furos variando de 1,35 m a 3,10 m. Esses níveis de argila quando comparados aos do calcário são pouco representativos no processo estudado.

Figura 25 – Modelo geológico refinado do depósito de calcário de Aveiro representado em 3D pelo bloco diagrama e por duas seções verticais com direções respectivas S-N e E-W.





### 9.3. RECURSOS GEOLÓGICOS

O minério definido como calcário foi modelado separadamente das encaixantes, refletindo a extensão da mineralização ao longo da área de estudo. O processo de estimativa envolveu a análise estatística dos dados e a geração de modelos de blocos para as camadas de gipsita. O método Inverso do Quadrado da Distância (IQD) possibilitou a estimativa dos teores de diversos parâmetros inseridos no sólido mineralizado.

A análise estatística permite inferência sobre distribuições, modas e valores anômalos das variáveis em foco, de modo a auxiliar na análise de distribuição dos teores. Para tanto, amostras originais e compostas foram estudadas sob o enfoque da estatística clássica.

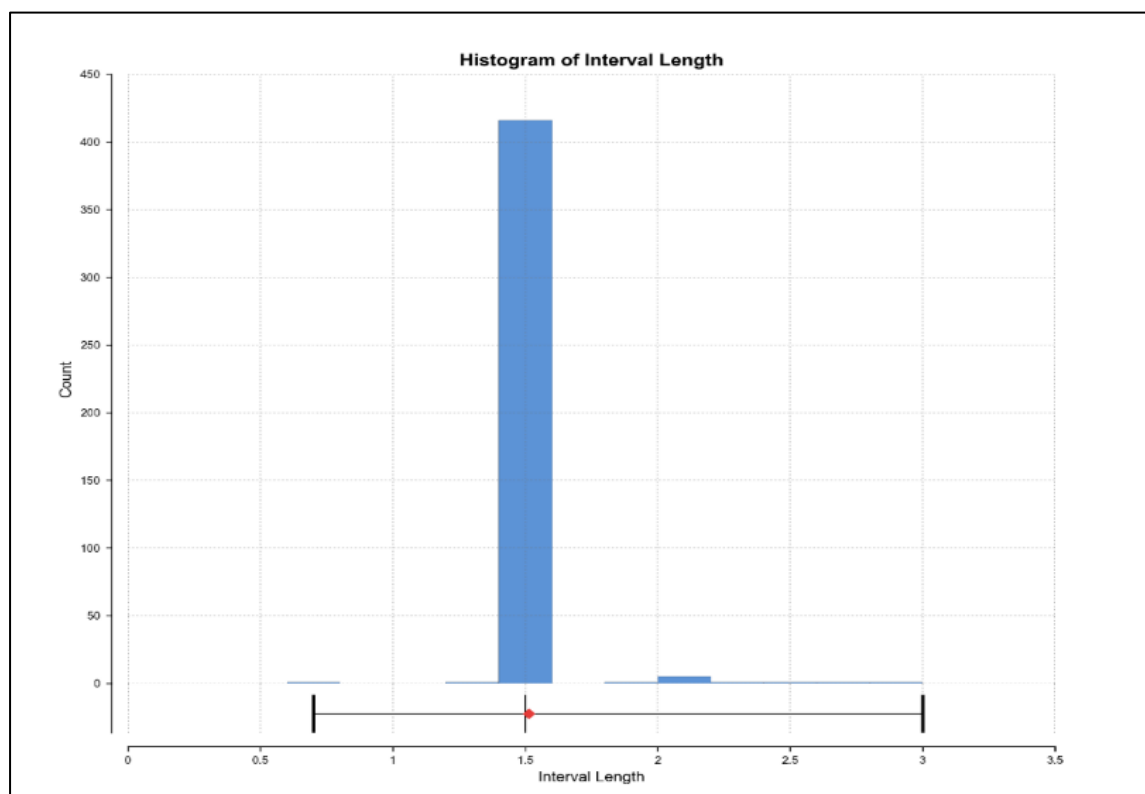
#### 9.3.1. COMPOSITAGEM DAS AMOSTRAS

A compositagem consiste em regularizar todas as amostras ao mesmo volume, com o objetivo de atingir uma amostragem uniforme, reduzindo o impacto da variabilidade aleatória e minimizando o efeito de média amostral. Nessa etapa, cada amostra recebeu a denominação de “compósito”. Após análise, verificou-se que, do total de 1665 amostras com registradas na tabela *Assay*, 428 ocorrem dentro do sólido mineralizado, sendo 367 analisadas para  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 426 para  $\text{CaO}$ , 371 para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 414 para  $\text{MgO}$ , 371 para  $\text{PF}$ , 181 para  $\text{RI}$  e 403 para  $\text{SiO}_2$ .

Ficou constatado uma homogeneidade do intervalo amostral no conjunto de amostras originais, conforme mostra a figura 26. Foi considerado compósitos de 1.5 m com suporte mínimo de até 1 m, gerando 432 amostras. Ao todo, foram 4 amostras a mais que as do banco original, respeitando-se os comprimentos mínimo e máximo mais próximos do tamanho da compósita com *range* menor, distribuindo igualmente amostras com tamanho menores que 15 cm.

No quadro 6 é apresentado uma comparação entre as amostras originais contidas nos corpos de minério e as amostras compostas. Após a geração das compostas, procedeu-se à validação visual nos arquivos, buscando a validação com os limites dos intervalos mineralizados.

Figura 26 – Distribuição do tamanho das amostras originais.



Quadro 6 – Comparação entre as amostras originais e as amostras compostas do bloco.

	Comprimento das amostras originais	Comprimento das amostras compostas (1.5m)
Nº amostras	428	432
Média	1.51	1.50
SD (desvio padrão)	0.13	0.03
CV (coef. de variação)	0.09	0.02
Variância	0.017	0.001
Mínimo	0.7	1
Q1	1.5	1.5
Q2	1.5	1.5
Q3	1.5	1.5
Máximo	3	1.58

### 9.3.2. TEORES

Amostras originais e compostas foram estudadas sob o enfoque da estatística clássica (Quadro 7). As análises histográficas com a distribuição dos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{PF}$ ,  $\text{RI}$ ,  $\text{SiO}_2$  das amostras originais e compostas inserido no sólido mineralizado são exibidas nas figuras 27 a 34. O estudo estatístico foi totalmente desenvolvido no *software* LeapFrog versão 6.0.4.

Quadro 7 – Sumário dos resultados estatísticos obtidos a partir do tratamento dos dados de amostras originais e compostas (Considere tabela original no Excel).

Tipo de amostra	Variável	Nº de amostras	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Variância	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Maximo
Original	Al2O3_pc	367	1.00	0.84	0.84	0.71	0.01	0.37	0.83	1.30	5.91
Composta	Al2O3_pc	367	1.00	0.84	0.84	0.71	0.01	0.37	0.83	1.30	5.91
Original	CaO_pc	426	45.44	8.33	0.18	69.38	19.50	40.60	48.30	51.70	55.10
Composta	CaO_pc	430	45.44	8.23	0.18	67.68	19.50	40.84	48.20	51.66	55.10
Original	Fe2O3_pc	371	0.62	0.48	0.77	0.23	0.02	0.25	0.48	0.88	2.46
Composta	Fe2O3_pc	371	0.62	0.48	0.77	0.23	0.02	0.25	0.48	0.88	2.46
Original	MgO_pc	414	4.60	5.21	1.13	27.15	0.10	0.78	2.00	7.20	19.60
Composta	MgO_pc	420	4.59	5.13	1.12	26.30	0.10	0.78	2.16	7.10	19.60
Original	PF_pc	371	40.99	2.22	0.05	4.93	27.86	40.06	41.30	42.50	46.10
Composta	PF_pc	371	40.99	2.22	0.05	4.93	27.86	40.06	41.30	42.50	46.10
Original	RIpc	181	6.38	7.32	1.15	53.53	0.03	1.35	4.34	9.07	54.10
Composta	RIpc	185	6.53	7.56	1.16	57.16	0.03	1.38	4.39	9.10	54.10
Original	SiO2_pc	403	7.04	8.48	1.20	71.83	0.44	2.50	5.10	7.83	54.40
Composta	SiO2_pc	413	7.04	8.46	1.20	71.58	0.44	2.50	5.10	7.94	54.40
Original	T_TULO	412	90.41	8.30	0.09	68.81	0.00	88.10	91.90	95.80	99.70
Composta	T_TULO	412	90.41	8.18	0.09	66.95	0.00	88.10	91.80	95.80	99.70

Figura 27 - Histograma com a distribuição dos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  para amostras originais e compostas.

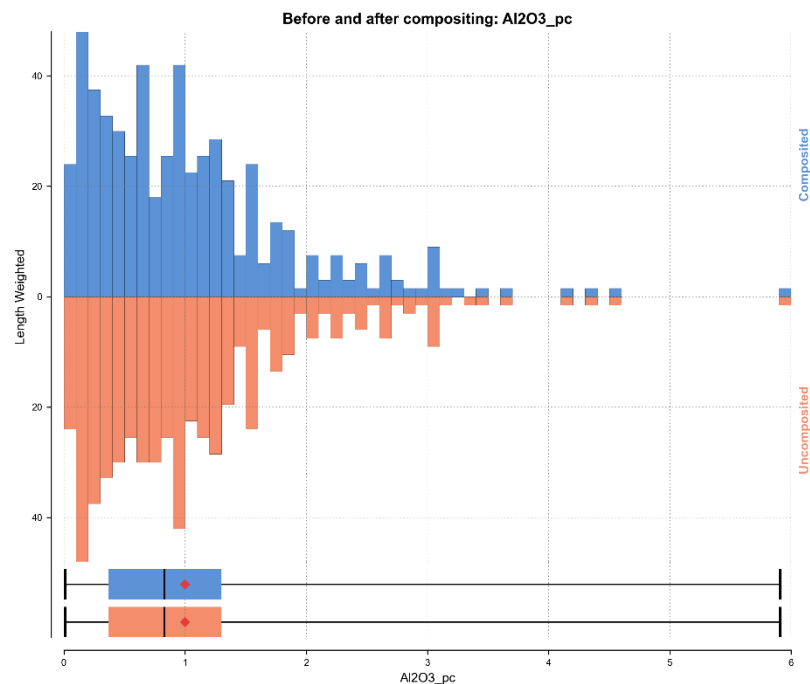


Figura 28 – Histograma com a distribuição dos teores de  $\text{CaO}$  para amostras originais e compostas.

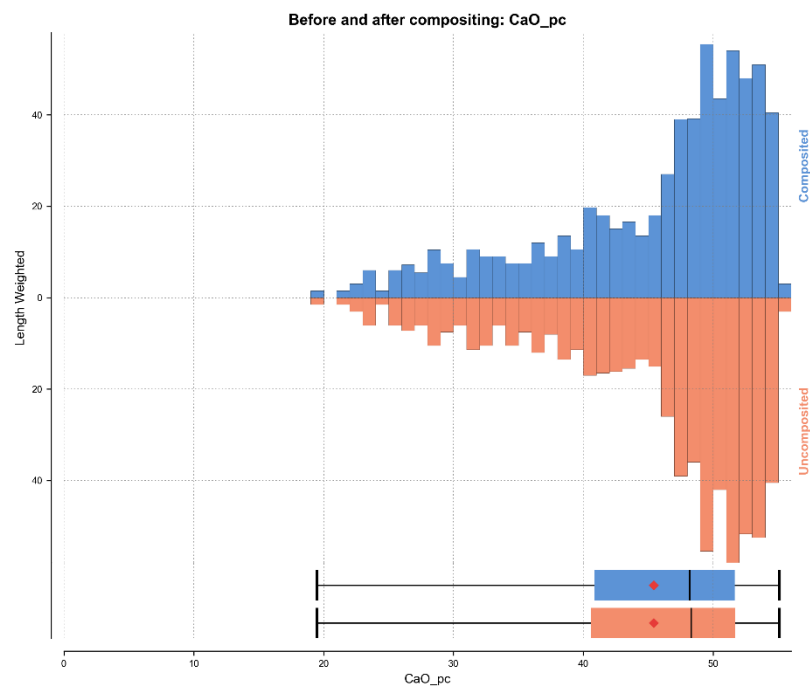


Figura 29 – Histograma com a distribuição do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para amostras originais e compostas.

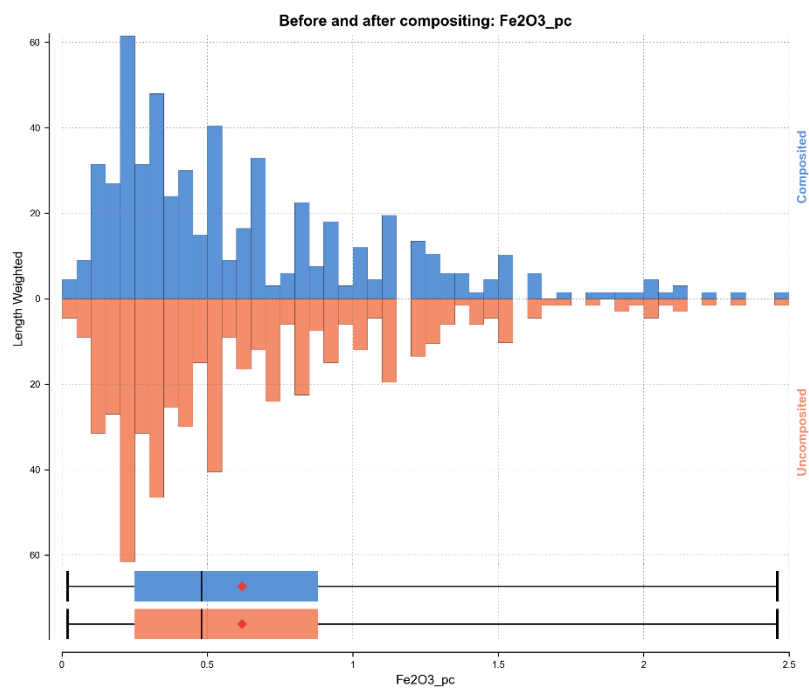


Figura 30 – Histograma com a distribuição do  $\text{MgO}$  para amostras originais e compostas.

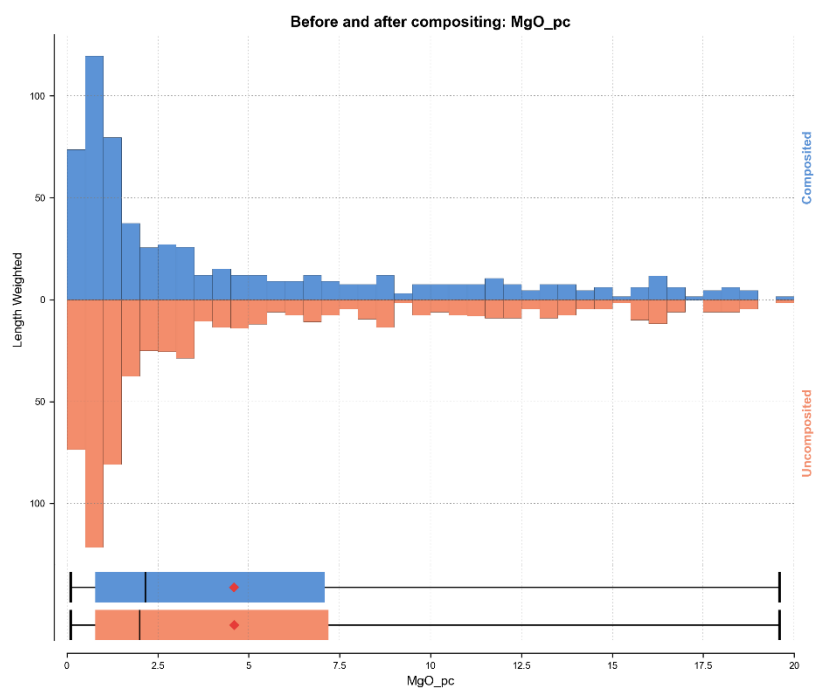


Figura 31 – Histograma com a distribuição dos teores de SiO<sub>2</sub> para amostras originais e compostas.

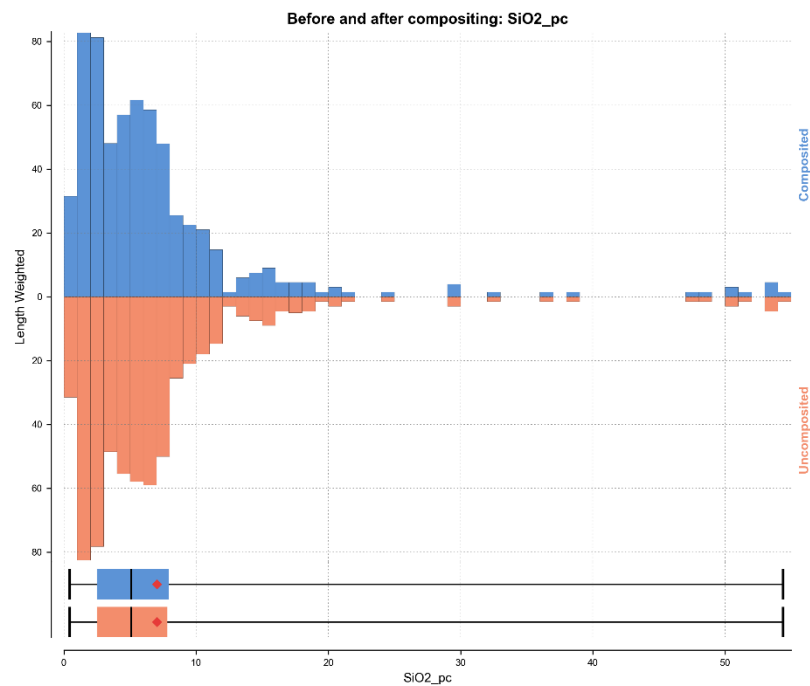


Figura 32 – Histograma com a distribuição dos teores de PF para amostras originais e compostas.

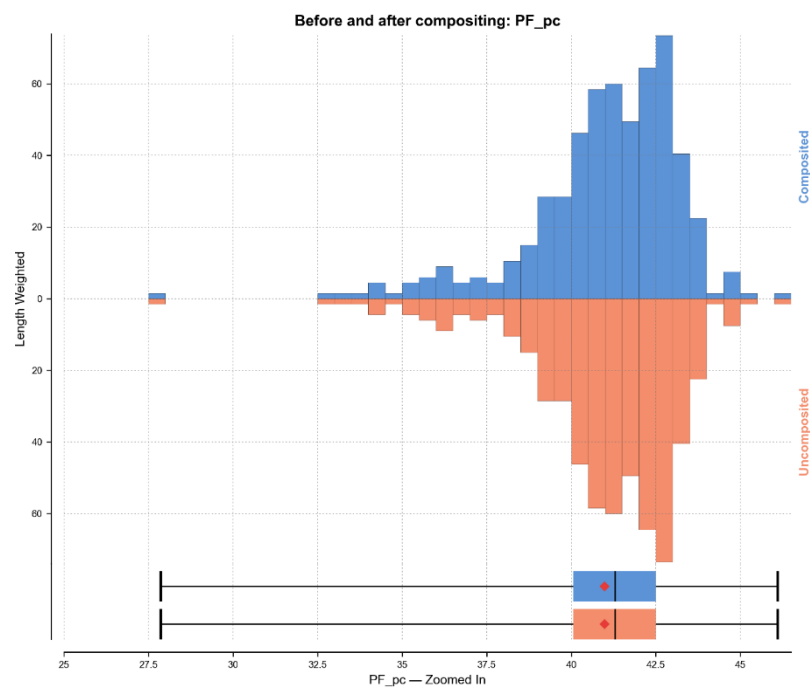
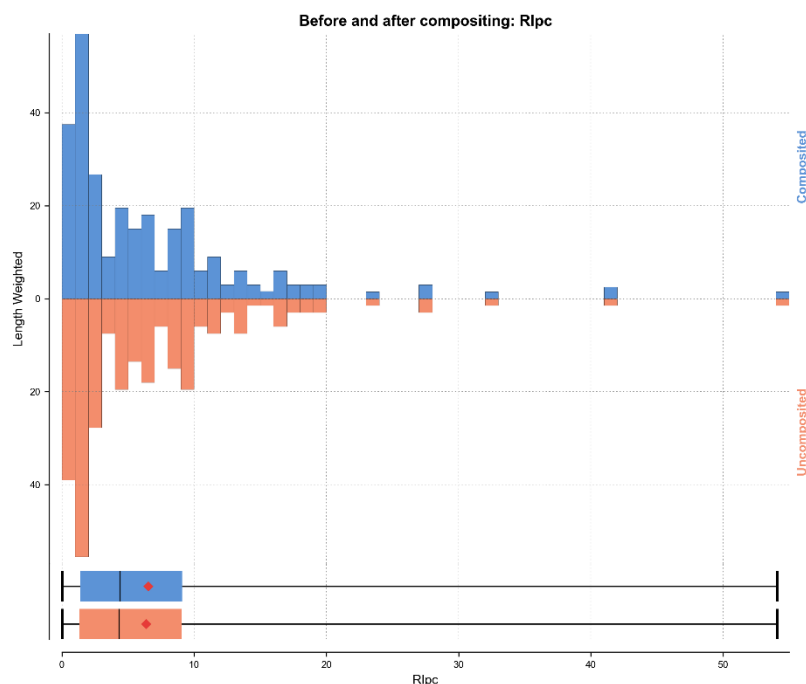




Figura 33 – Histograma com a distribuição dos teores de RI para amostras originais e compostas.



O processo estatístico deu seguimento à análise dos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{PF}$ ,  $\text{RI}$  e  $\text{SiO}_2$ , por *Box Plot*, com base nos resultados estatísticos obtidos a partir das amostras compostas (Figura 34 a 40), com os diagramas de caixa discriminando o minério conforme as duas principais destinações de uso, se para cimento ou corretivo de solo. Nos quadros 8 e 9, por sua vez, é apresentado o sumário com os parâmetros estatísticos obtidos para os dois tipos de minérios caracterizados (cimento e insumo agrícola).

Figura 34 – *Box Plot* para  $\text{Al}_2\text{O}_3$  para os dois tipos de minério caracterizados conforme destinação de uso (cimento/corretivo de solo).

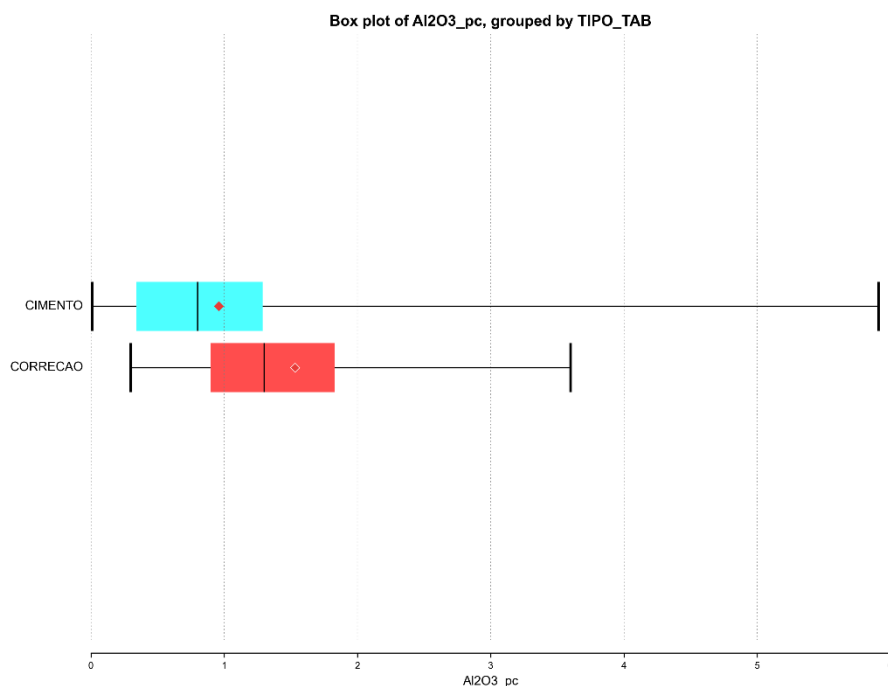


Figura 35 – *Box Plot* para CaO para os dois tipos de minério caracterizados conforme destinação de uso (cimento/corretivo de solo).

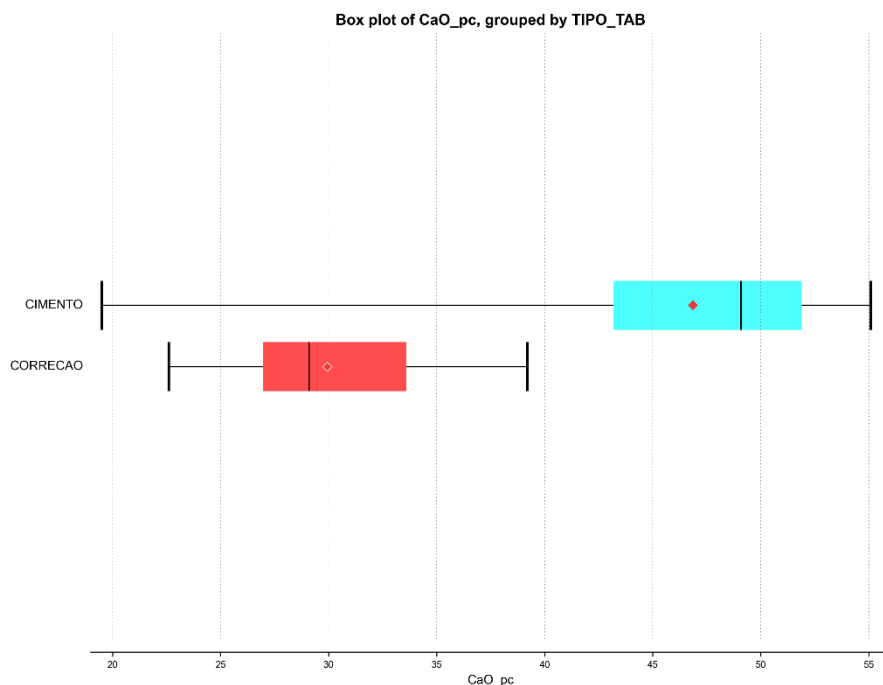


Figura 36 – *Box Plot* para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para os dois tipos de minério caracterizados conforme destinação de uso (cimento/corretivo de solo).

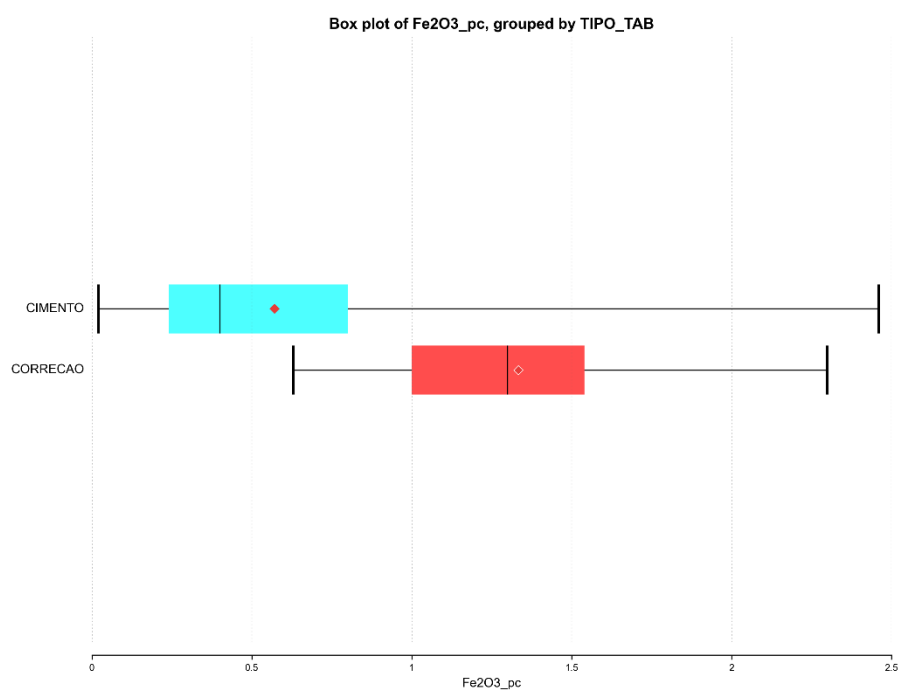


Figura 37 – *Box Plot* para MgO para os dois tipos de minério caracterizados conforme destinação de uso (cimento/corretivo de solo).

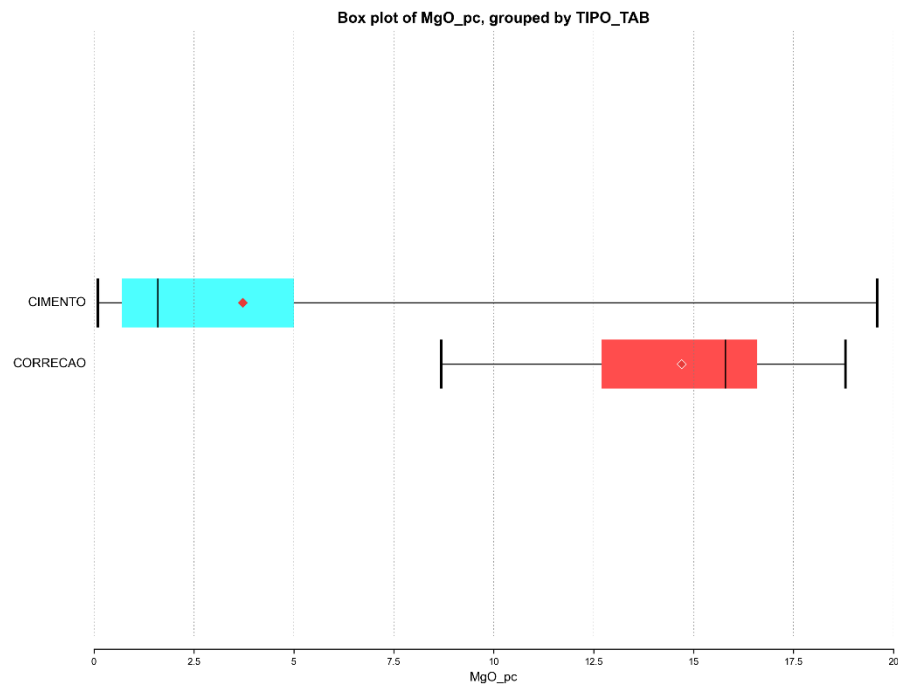


Figura 38 – *Box Plot* para PF para os dois tipos de minério caracterizados conforme destinação de uso (cimento/corretivo de solo).

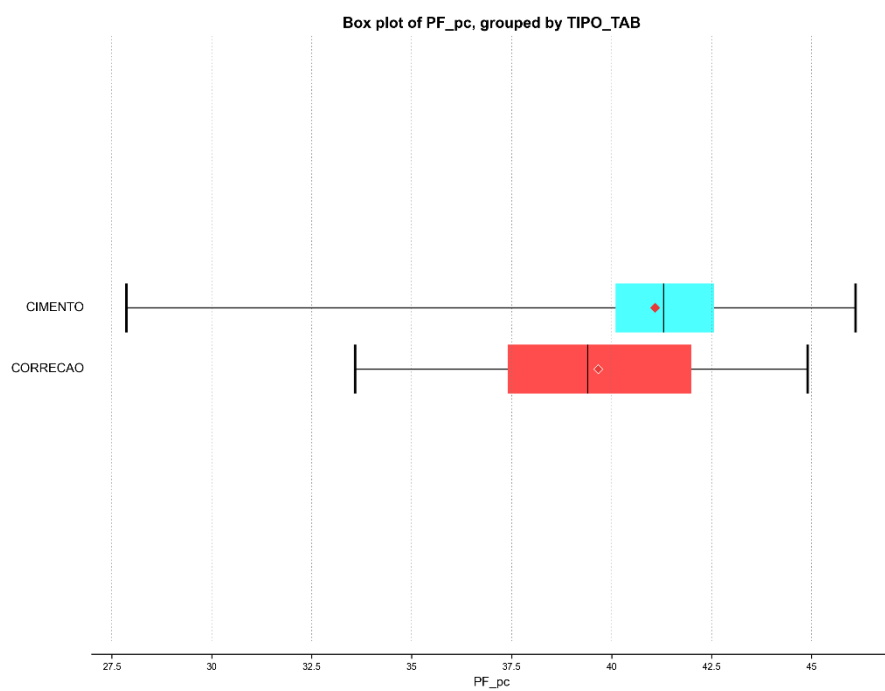


Figura 39 – *Box Plot* para RI para os dois tipos de minério caracterizados conforme destinação de uso (cimento/corretivo de solo).

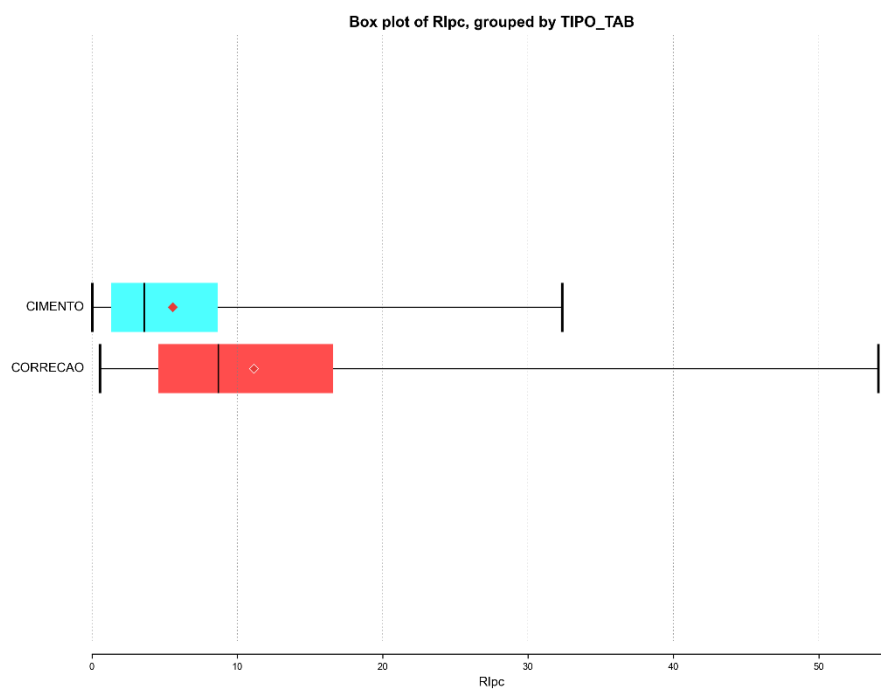
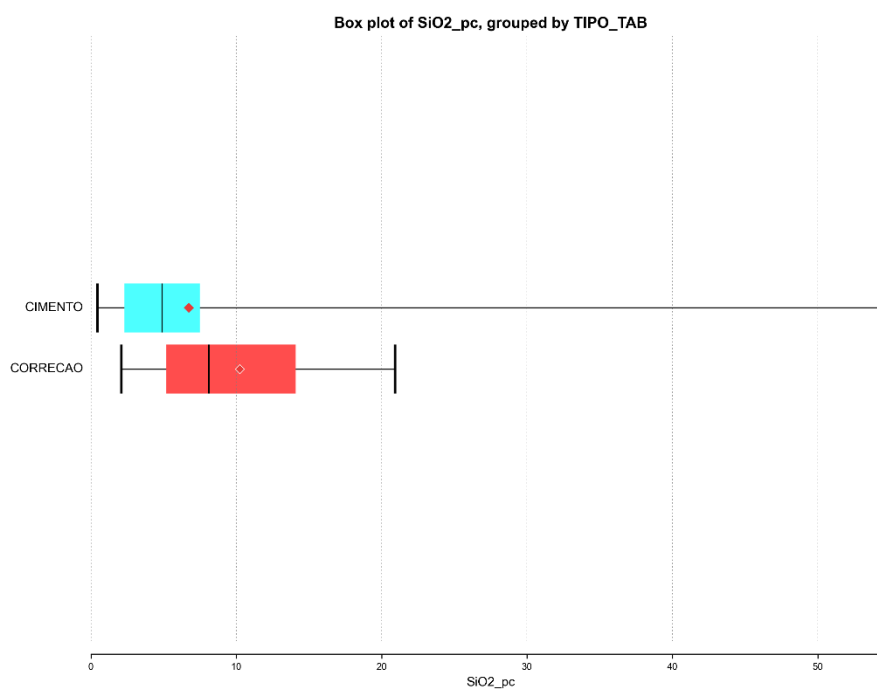


Figura 40– *Box Plot* para SiO<sub>2</sub> para os dois tipos de minério caracterizados conforme destinação de uso (cimento/corretivo de solo).



Quadro 8 – Sumário dos resultados estatísticos obtidos a partir do tratamento dos dados de amostras compostas para finalidade de cimento.

Finalidade	Variável	Nº de amostras	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Variância	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Maximo
CIMENTO	Al2O3_pc	344	0.96	0.82	0.86	0.68	0.01	0.34	0.80	1.29	5.91
	CaO_pc	385	46.87	7.14	0.15	50.94	19.50	43.20	49.09	51.90	55.10
	Fe2O3_pc	348	0.57	0.44	0.77	0.19	0.02	0.24	0.40	0.80	2.46
	MgO_pc	373	3.73	4.40	1.18	19.37	0.10	0.70	1.60	5.00	19.60
	PF_pc	348	41.09	2.09	0.05	4.37	27.86	40.10	41.30	42.56	46.10
	Rlpc	161	5.58	5.79	1.04	33.48	0.03	1.32	3.60	8.65	32.36
	SiO2_pc	370	6.73	8.59	1.28	73.77	0.44	2.30	4.90	7.48	54.40
	T_TULO	381	90.80	7.95	0.09	63.17	0.00	88.60	91.90	96.00	99.70

Quadro 9 – Sumário dos resultados estatísticos obtidos a partir do tratamento dos dados de amostras compostas para finalidade de corretivo de solo.

Finalidade	Variável	Nº de amostras	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Variância	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Maximo
CORRECAO	Al2O3_pc	22	1.53	0.89	0.58	0.78	0.30	0.90	1.30	1.83	3.60
	CaO_pc	30	29.95	4.51	0.15	20.35	22.61	26.98	29.10	33.60	39.20
	Fe2O3_pc	22	1.33	0.46	0.34	0.21	0.63	1.00	1.30	1.54	2.30
	MgO_pc	30	14.71	3.10	0.21	9.63	8.69	12.70	15.80	16.60	18.80
	PF_pc	22	39.67	3.21	0.08	10.27	33.58	37.40	39.40	42.00	44.90
	Rlpc	20	11.15	11.56	1.04	133.54	0.56	4.59	8.70	16.59	54.10
	SiO2_pc	25	10.24	5.52	0.54	30.46	2.10	5.20	8.12	14.09	20.93
	T_TULO	29	87.45	7.55	0.09	57.07	68.10	81.30	86.70	93.60	97.60

## 9.4. MODELO DE BLOCOS

A partir dos sólidos mineralizados modelados na etapa anterior (modelo geológico), os recursos existentes nas áreas da CPRM foram estimados por meio da geração de modelos de blocos (Figuras 41 a 43). As dimensões dos blocos foram baseadas no espaçamento médio da malha de sondagem e morfologia dos corpos delineados. Assim como a modelagem, a geração de blocos foi realizada no *software* LeapFrog. É importante destacar que, em função da desigualdade de espaçamento entre as malhas de sondagem, utilizaram-se tamanhos de blocos de 100x100x2m (Quadro 10), sendo menores que os recomendados de ¼ do suporte amostral.

Figura 41 – Visão em planta do modelo de blocos.

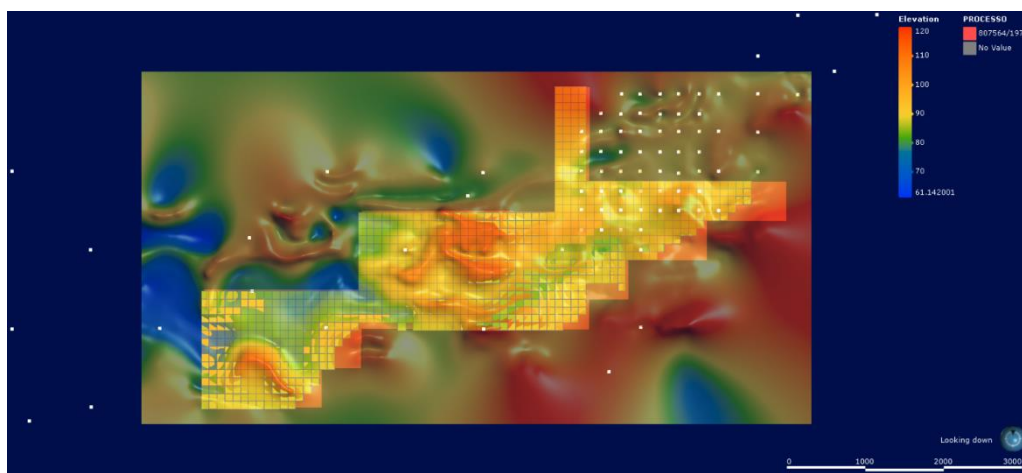




Figura 42 – Visão de Sul para norte do modelo de blocos.

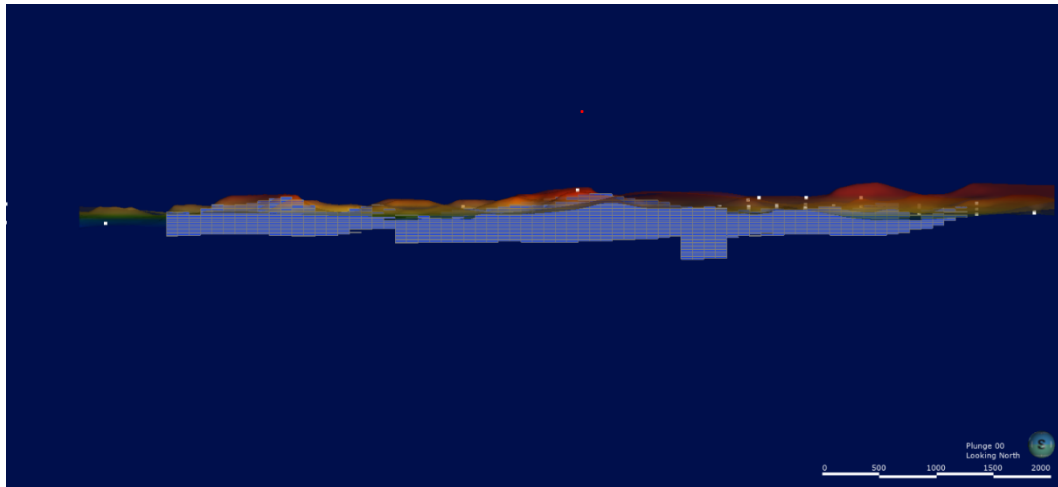
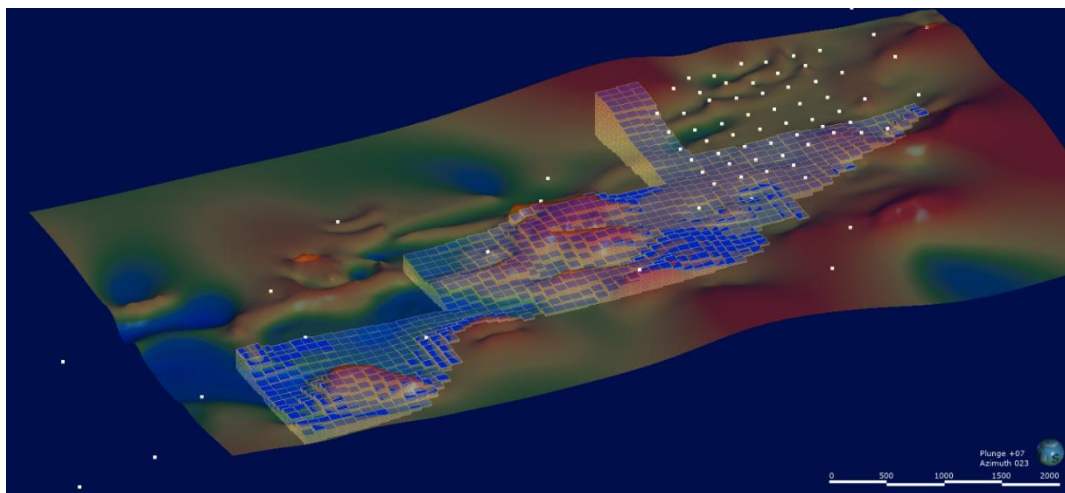


Figura 43 – Visão em perspectiva do modelo de blocos.



Quadro 10 – Parâmetros utilizados no modelo de blocos.

	Área Total
Número de blocos	80 (x) × 45 (y) × 65 (z) = 234.000
Ponto base (centroide)	667.200 (x), 9.548.400 (y), 130 (z)
Tamanho do bloco	100 (X), 100 (y), 2 (Z)
Azimute	0° (não rotacionado)
Tamanho limite	8.000 (x), 4.500 (y), 130 (z)
Mínimo	667.200 (x), 9.548.000 (y), 0 (z)
Máximo	675.200 (x), 9.553.000 (y), 130 (z)

Outra validação realizada foi a comparação dos volumes calculados pelos sólidos e pelo modelo de blocos (Quadro 11), que teve como objetivo verificar a aderência do modelo de blocos ao modelo geológico. Para tanto foi levado em consideração o nível de complexidade, a geometria e as dimensões do depósito. Comumente é aceita uma tolerância de até 5% de diferença entre os volumes. Entretanto, as diferenças obtidas foram ínfimas, em sua maioria, menores que 1%, sendo essa excelente aderência em função do tamanho de bloco ser inferior a ¼ do suporte amostral e pela geometria favorável dos corpos mineralizados.

Quadro 11 – Comparação entre volumes calculados por *wireframes* e pelo modelo de blocos

Minério	Wireframe/ Volume (m3)	Modelo de Blocos/ Volume (m3)	% Diferença
Calcário	243,660,000	245,040,000	-1.38%

#### 9.4.1. ESTIMATIVAS DOS RECURSOS

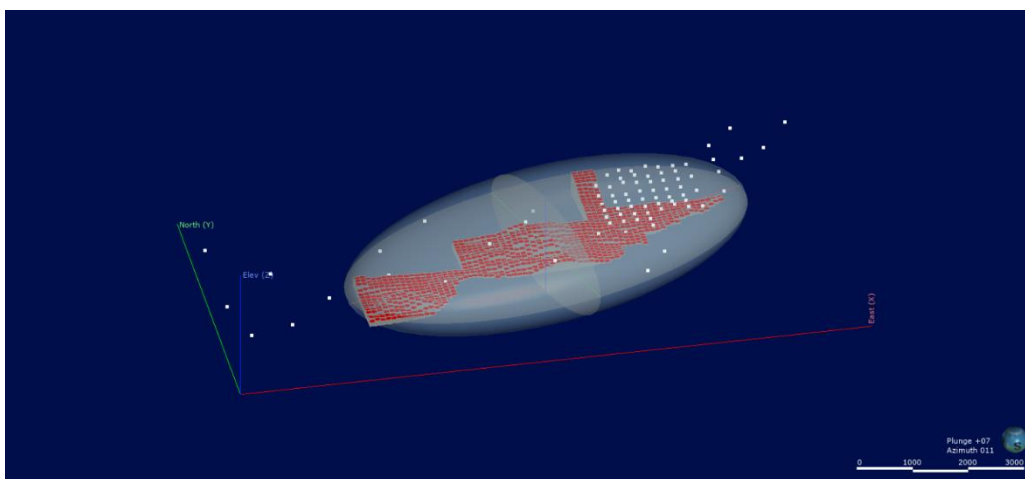
Em função das limitações descritas, a estimativa dos recursos de calcário foi desenvolvida por meio do método Inverso do Quadrado da Distância (IQD), com a utilização de um raio de busca distinto para interpolação dos teores, conforme seu suporte amostral e considerando o grande espaçamento e a irregularidade da malha de sondagem existente. As distâncias adotadas para os raios foram de 4.000, 2.000 e 200 m nas variáveis CaO, MgO, RI e SiO<sub>2</sub>, 6.000, 2.000 e 200 nas variáveis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PF e 5.000, 3.000 e 200 para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Quadros 12 a 14) e (Figuras 44 a 46), com o mínimo de amostras por bloco de 4 e máximo de 20.

Nenhum *capping* foi aplicado no processo de estimativa devido à baixa variabilidade nos dados e a natureza consistente das camadas de calcário observadas em toda a área. Todo o recurso estimado recebeu a classificação de recurso inferido, cujos resultados finais podem ser observados no quadro 15.

Quadro 12 – Dimensões dos elipsoides de busca para o bloco nas variáveis CaO, MgO, RI e SiO<sub>2</sub>.

Bloco Total			
Elipsoide/ <i>range</i> (m)		Direções	
Máximo	4.000	Dip	0.00
Intermediário	2.000	Dip Azimute	321.80
Mínimo	200	Pitch	20.09

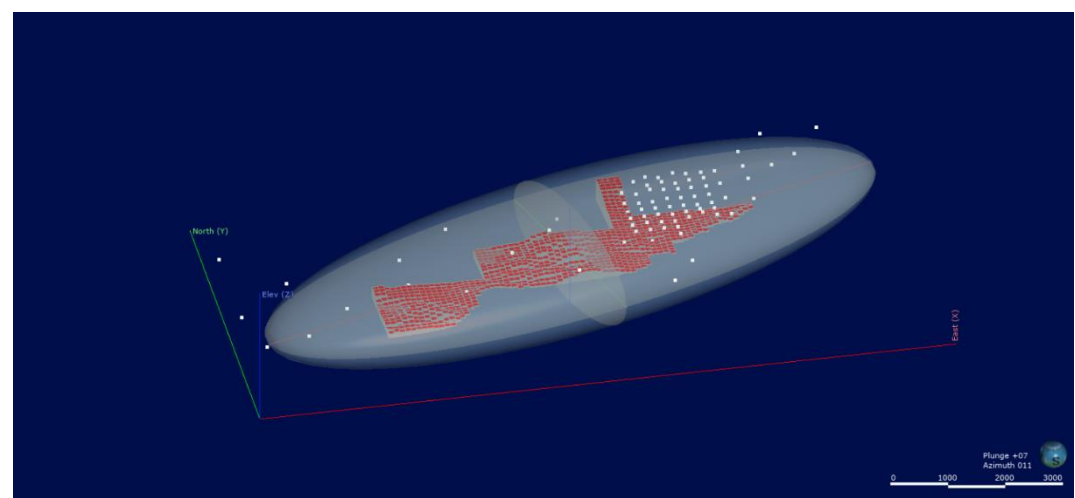
Figura 44 – Vista em perspectiva dos modelos de blocos e elipsoide de busca para as variáveis CaO, MgO, RI e SiO<sub>2</sub>.



Quadro 13 – Dimensões dos elipsoides de busca para o bloco nas variáveis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PF.

Bloco Total			
Elipsoide/ <i>range</i> (m)		Direções	
Máximo	6.000	Dip	0.00
Intermediário	2.000	Dip Azimute	321.80
Mínimo	200	Pitch	20.09

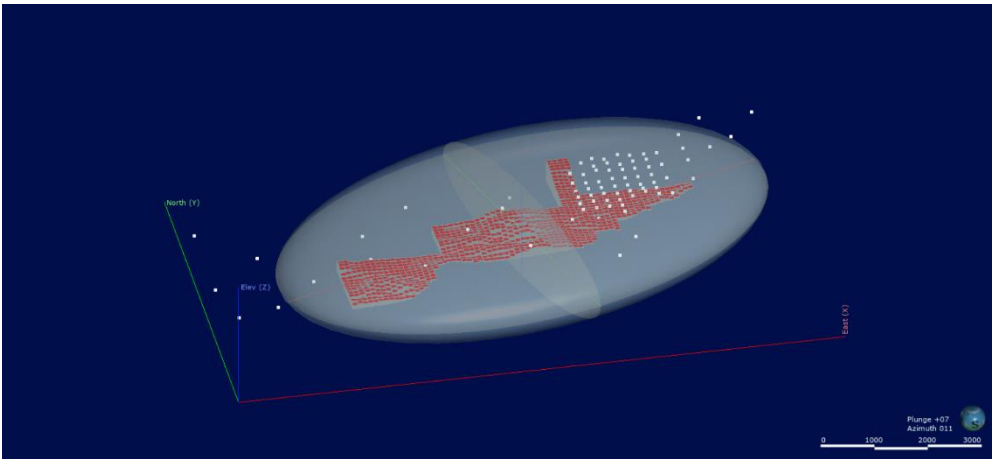
Figura 45 – Vista em perspectiva dos modelos de blocos e elipsoide de busca para variáveis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PF.



Quadro 14 – Dimensões dos elipsoides de busca para o bloco na variável Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Bloco Total			
Elipsoide/ <i>range</i> (m)		Direções	
Máximo	5.000	Dip	0.00
Intermediário	3.000	Dip Azimuth	321.80
Mínimo	200	Pitch	20.09

Figura 46 – Vista em perspectiva dos modelos de blocos e elipsoide de busca para variável Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



Quadro 15 - Resultado final da estimativa para os recursos inferidos de calcário e dos teores médios de seus principais óxidos.

Relatório

Teor de corte (*Cut-off*): Nenhum

Filtro: Nenhum

Densidade: 2.4 g/cm³

Volume	Massa	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	PF	RI	SiO <sub>2</sub>
m³	t	%	%	%	%	%	%	%
245.040.000,00	588.096.000,00	0,97	43,15	0,82	5,67	40,88	8,26	6,17

### 9.4.2. CURVAS DE PARAMETRIZAÇÃO

Para elaboração das curvas de parametrização do recurso total do depósito de Aveiro, considerou-se as variáveis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{PF}$ ,  $\text{RI}$  e  $\text{SiO}_2$  (Figuras 46 a 52). A curva lida do eixo Y à esquerda = *Tonnes* (quantidade de minério em Mt), enquanto a do eixo Y à direita = o teor médio em % para rendimento. O eixo horizontal indica o teor de corte (*cut-off*) considerado e é válido para os dois eixos verticais.

Figura 46 – Curvas de parametrização do recurso total a partir da variável  $\text{Al}_2\text{O}_3$  para o depósito.

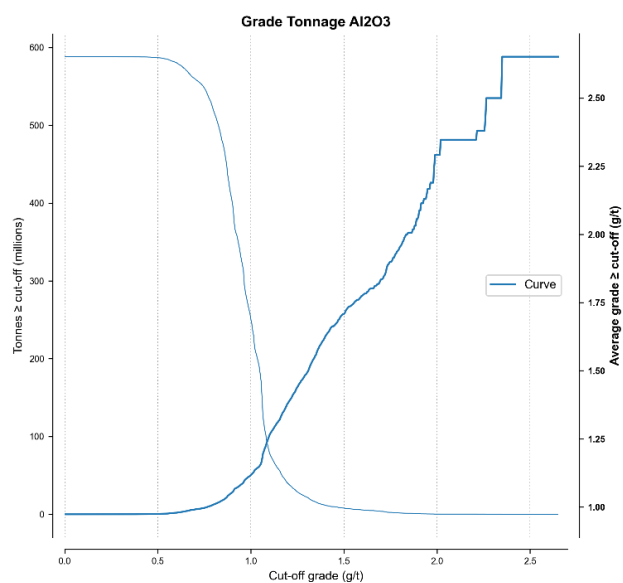


Figura 47 – Curvas de parametrização do recurso total a partir da variável  $\text{CaO}$ .

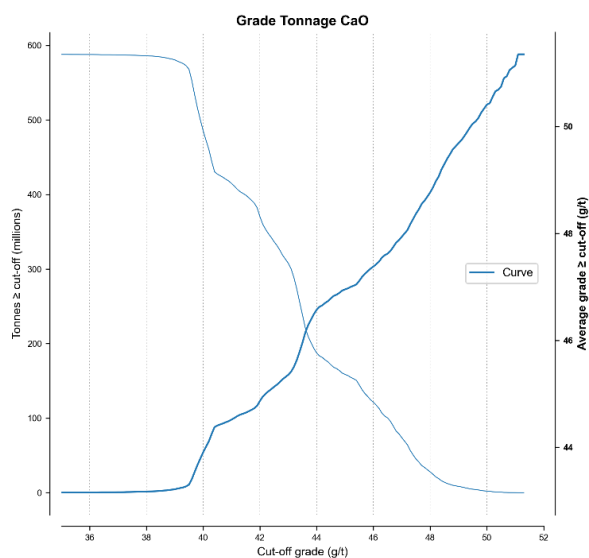




Figura 48 – Curvas de parametrização do recurso total a partir da variável MgO.

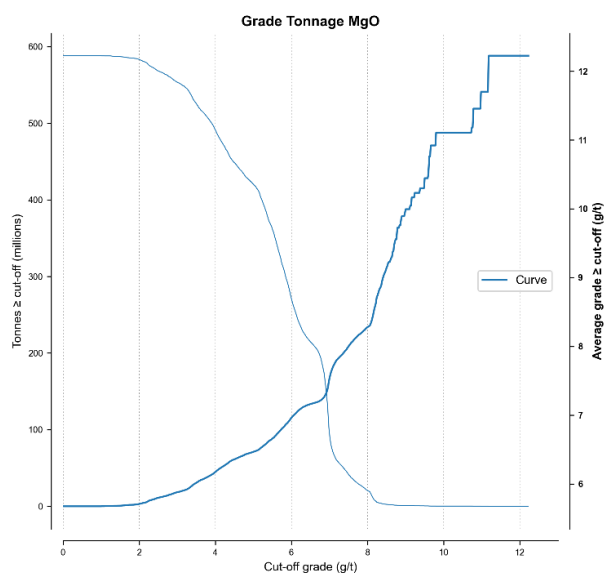


Figura 49 – Curvas de parametrização do recurso total a partir da variável  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

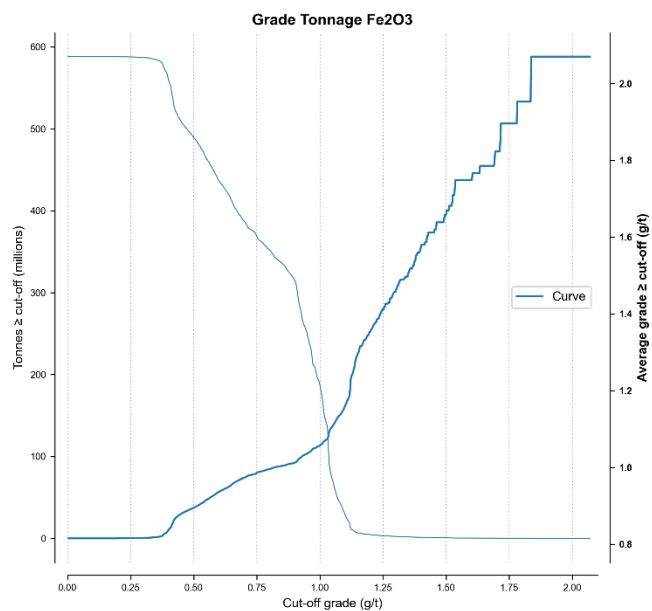


Figura 50 – Curvas de parametrização do recurso total a partir da variável PF.

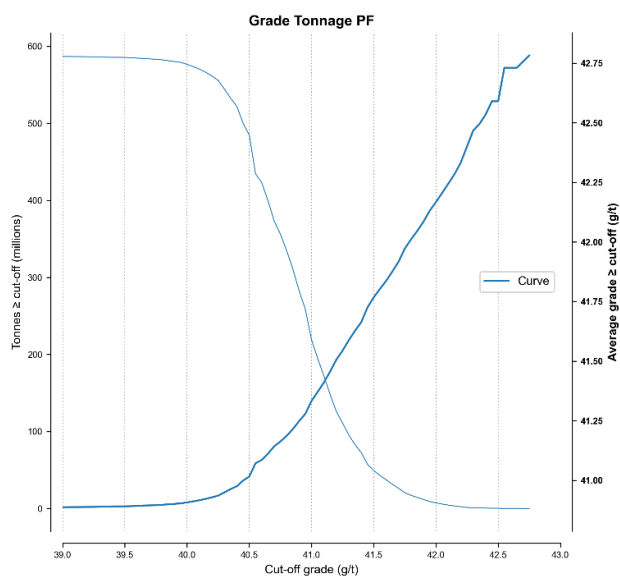


Figura 51 – Curvas de parametrização do recurso total a partir da variável RI.

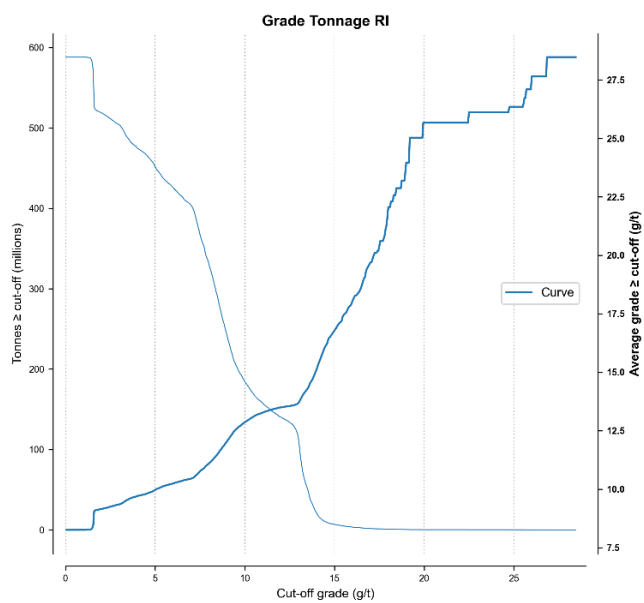
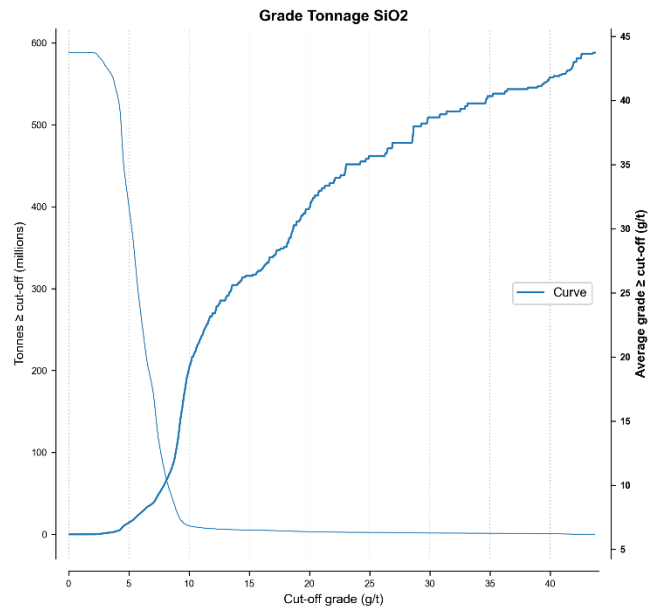


Figura 52 – Curvas de parametrização do recurso total a partir da variável  $\text{SiO}_2$ .



Nas figuras 53 a 58, por sua vez, é apresentada a distribuição dos teores para variáveis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{RI}$  e  $\text{SiO}_2$  estimada nos modelos de blocos.

Figura 53 – Vista em planta da distribuição dos teores para  $\text{Al}_2\text{O}_3$  conforme modelo de blocos.

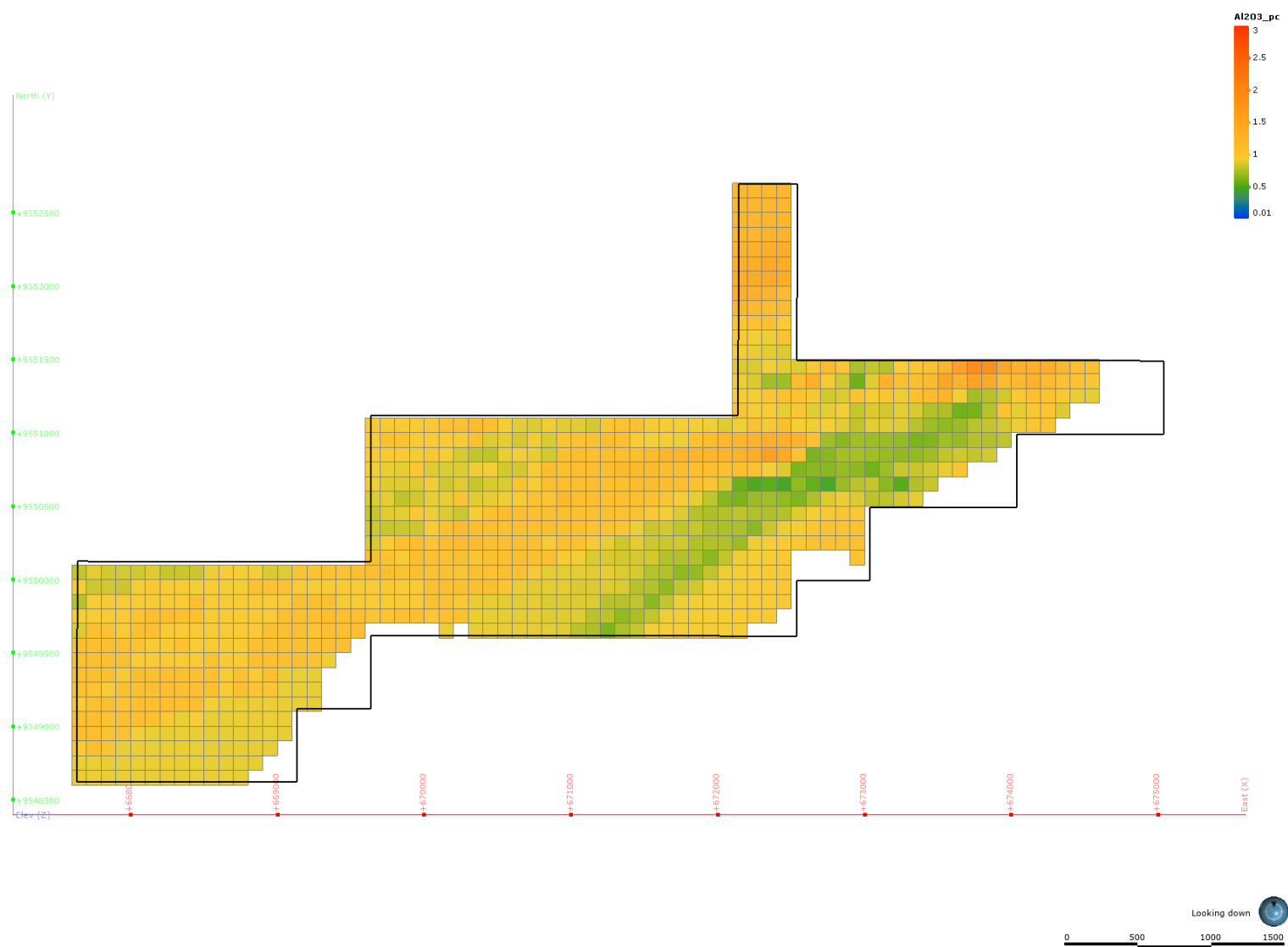


Figura 54 – Vista em planta da distribuição dos teores para CaO conforme modelo de blocos.

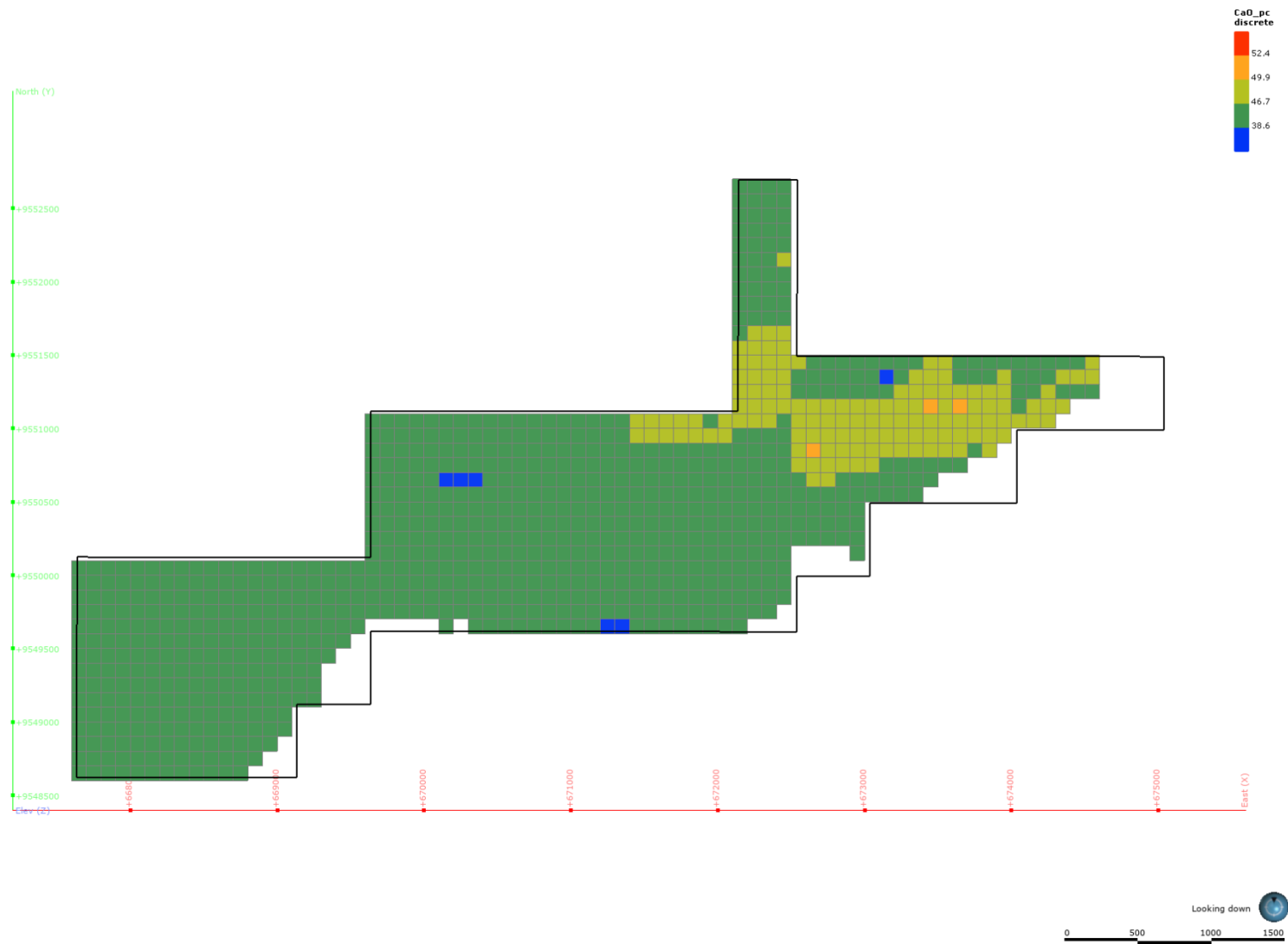


Figura 55 – Vista em planta da distribuição dos teores para MgO conforme modelo de blocos.

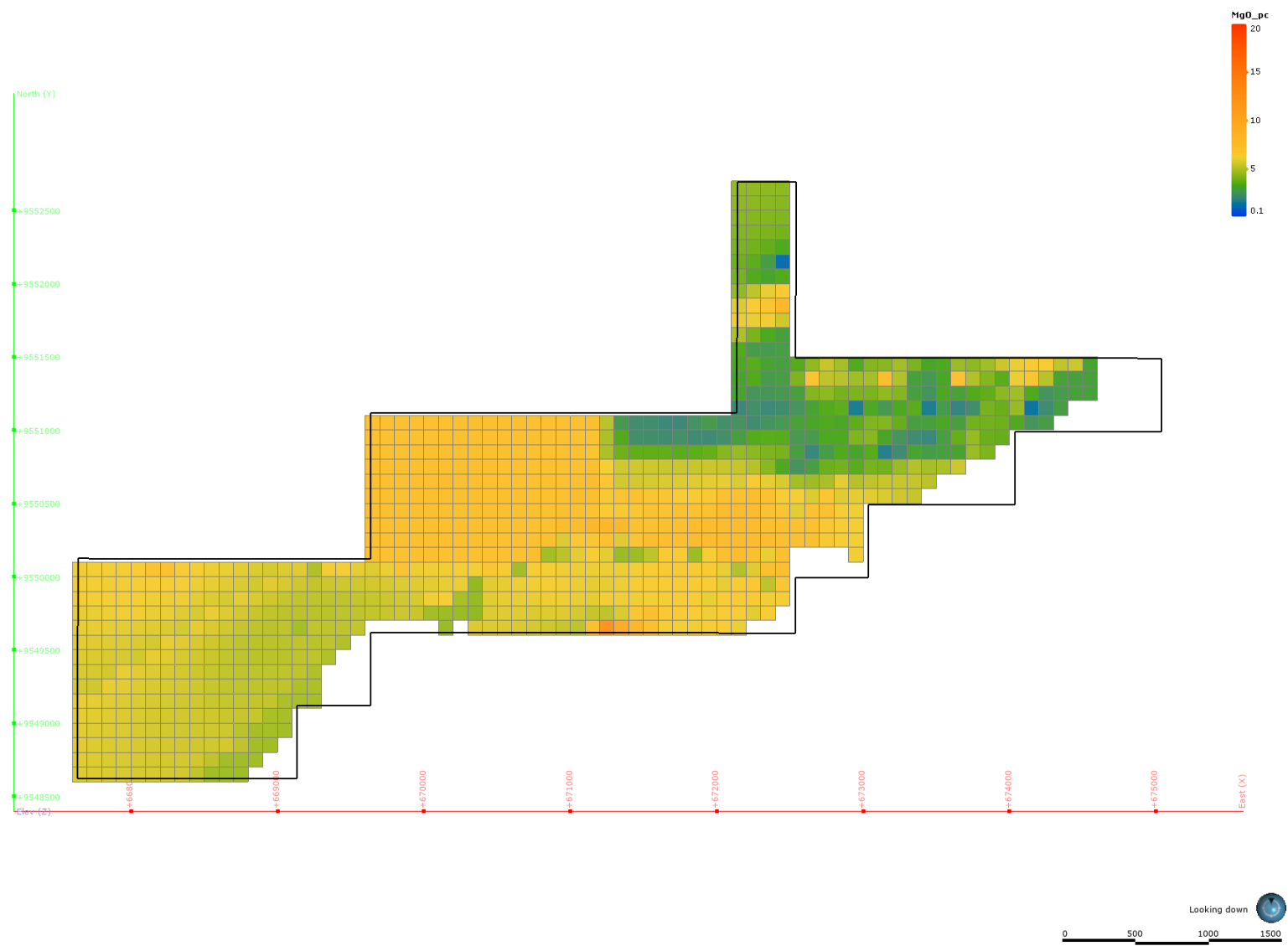




Figura 56 – Vista em planta da distribuição dos teores para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  conforme modelo de blocos.

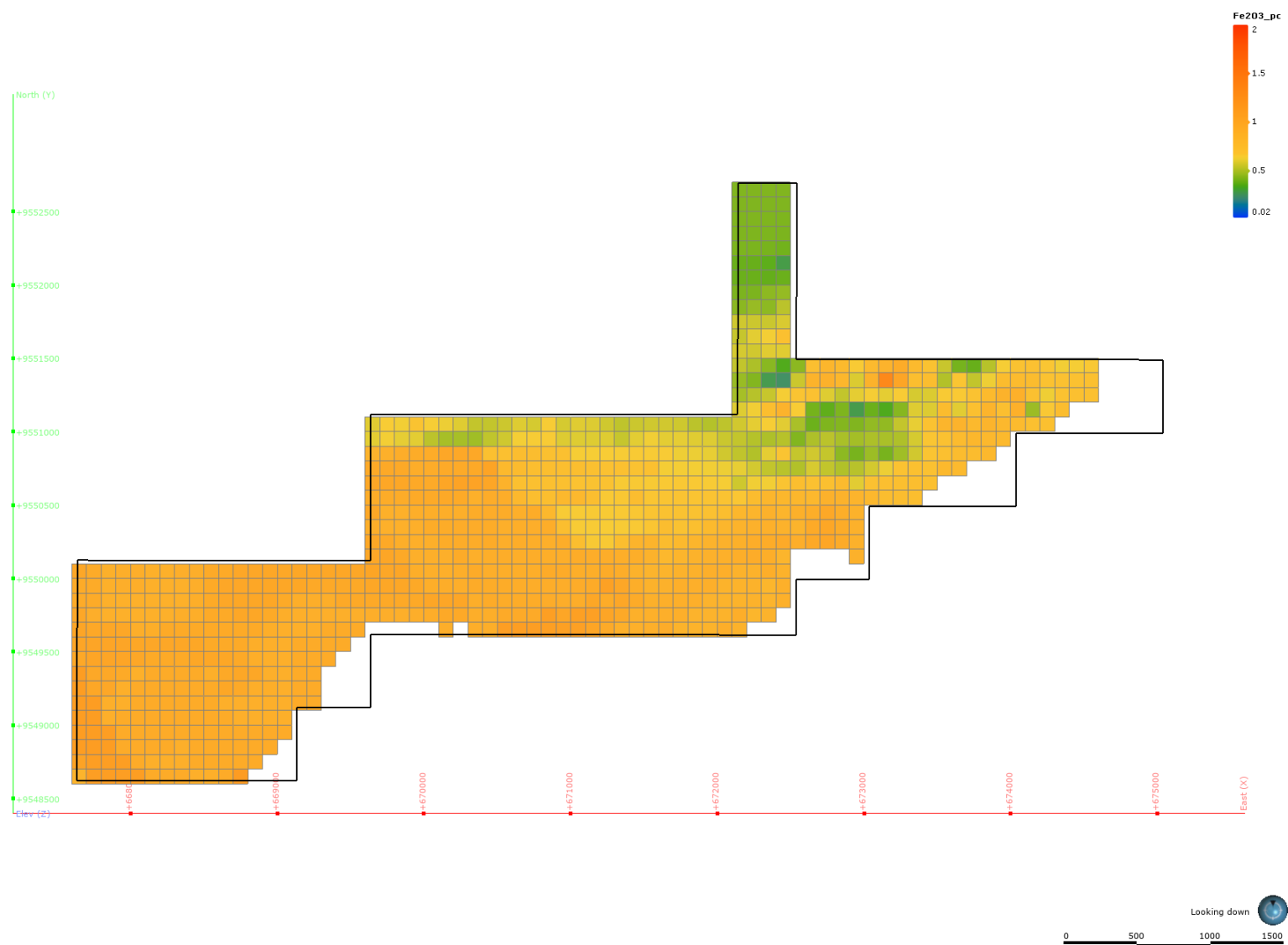


Figura 57 – Vista em planta da distribuição dos teores para RI conforme modelo de blocos.

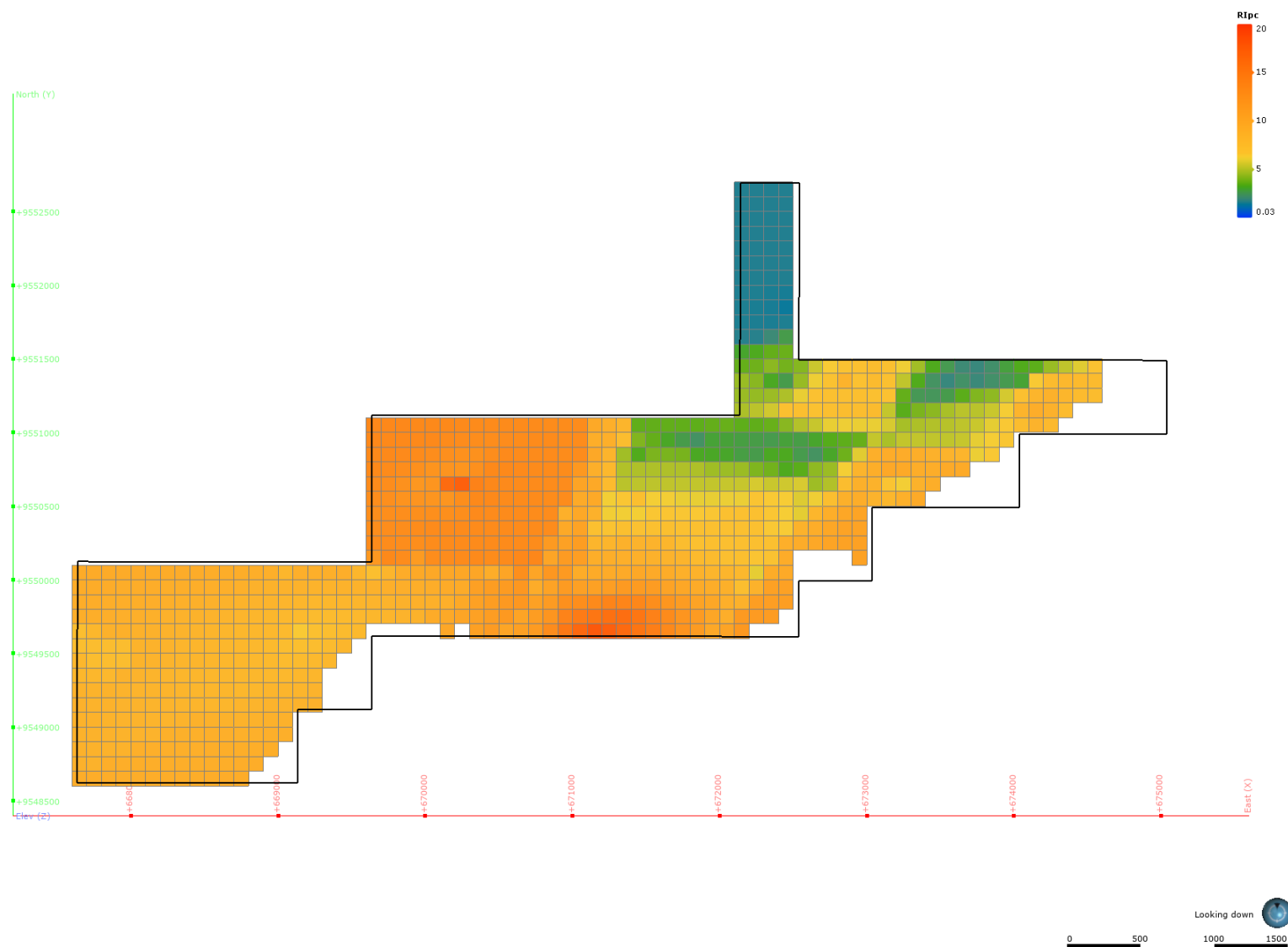
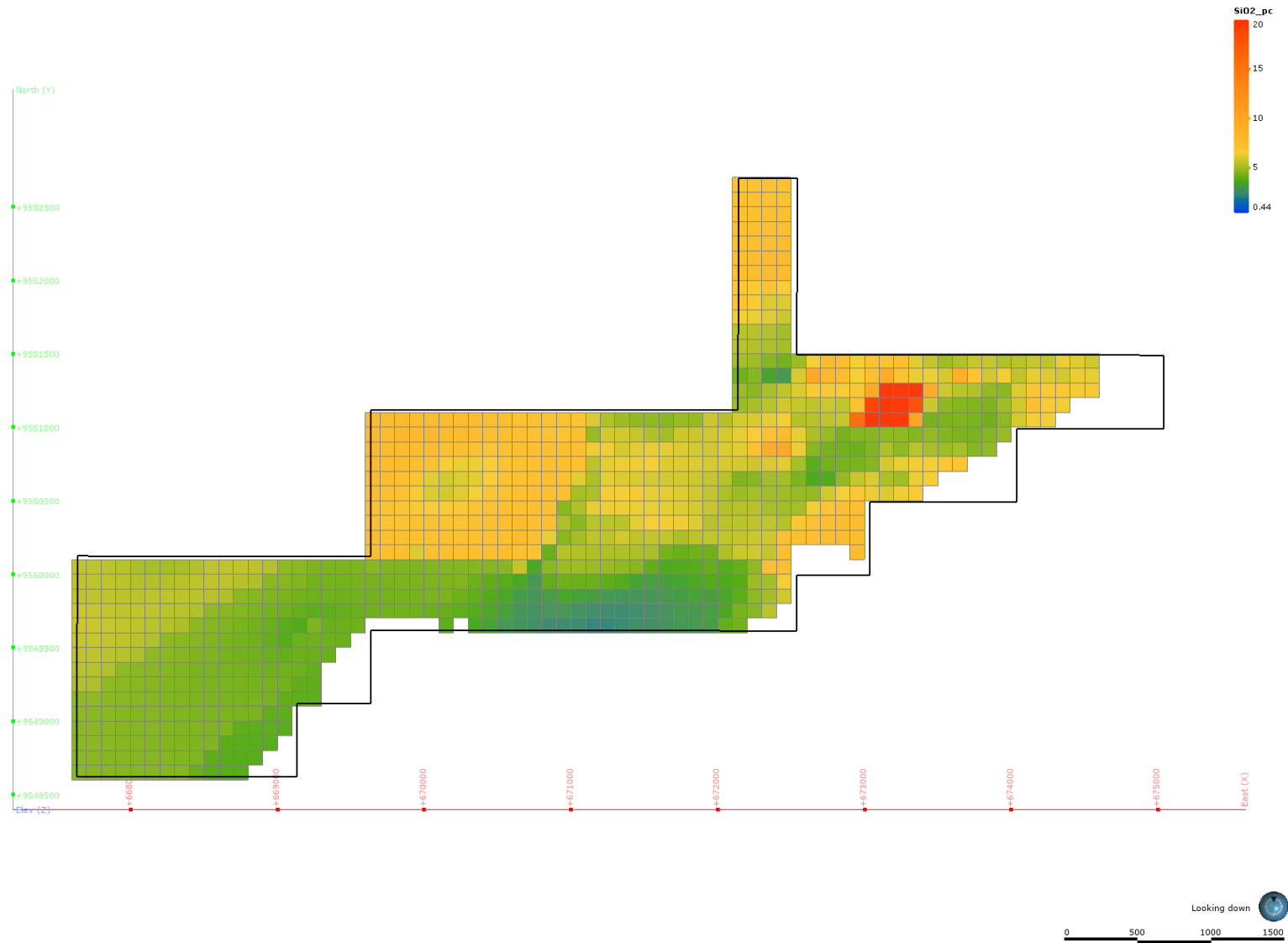


Figura 58 – Vista em planta da distribuição dos teores para SiO<sub>2</sub> conforme modelo de blocos.



## 10. LAVRA E BENEFICIAMENTO

### 10.1. LAVRA

A quase totalidade das minas de calcário, termo genericamente empregado às rochas carbonáticas sedimentares metamorfasadas ou não, que incluem os calcários propriamente ditos e os termos magnesianos dolomíticos, são lavradas a céu aberto, embora, por razões técnicas, ambientais e/ou escala de produção, possa vir a ser utilizada a lavra subterrânea para a produção de calcário.

Basicamente, as principais etapas da lavra de calcário a céu aberto compreendem: remoção do capeamento, perfuração, desmonte normalmente por explosivos e transporte até a usina de processamento/beneficiamento. A seleção dos equipamentos varia com a particularidade de cada operação, que leva em conta a capacidade de produção, tamanho e forma do depósito, distância de transporte, estimativa da vida útil da mina, localização em relação aos centros urbanos e fatores socioeconômicos. Adicionalmente, outros fatores são também considerados, como preços de comercialização dos produtos e das condições ambientais e de segurança associadas aos jazimentos. A terceirização das operações de lavra e transporte de calcário é um fato relativamente comum em grandes minerações. Todavia, em muitos casos, estas etapas da mineração estão no complexo geral das operações da própria empresa, em especial, para as minas próximas aos centros urbanos.

Geralmente a remoção do capeamento é o elemento chave no custo da lavra a céu aberto. Para cada operação ou situação, há uma razão estéril/minério economicamente viável. A escala de produção é responsável pela viabilidade econômica de várias minas, cujos produtos inserem baixo valor agregado.

Em síntese, a seleção do método de lavra, que leva em conta, além dos aspectos tecnológicos, também os socioeconômicos e ambientais, é o principal elemento em qualquer análise econômica de uma mina, sendo sua escolha norteadada por aquela que melhor permite o desenvolvimento da operação. A seleção do método de lavra deve considerar dois aspectos: (i) avaliar as condições geológicas e socioambientais para permitir a exclusão de métodos que não estejam de acordo com os critérios desejados; e (ii) definir o método com menor custo possível, considerando, entretanto, as condições técnicas que garantam maior segurança.

Como os principais objetivos para definição do método de lavra estão relacionados aos contextos socioeconômicos e ambientais, pode-se destacar como aspectos fundamentais a serem considerados após sua definição:

- ✓ Segurança e condições ambientais adequadas para o trabalho dos operários;
- ✓ Redução dos impactos causados ao meio ambiente;
- ✓ Redução e controle dos resíduos gerados;
- ✓ Adaptação do método as condições geológicas e a infraestrutura disponível;
- ✓ Melhoria da produtividade, com impacto direto na redução do custo.

Considerando as características dos depósitos de calcário de Aveiro, tais como a geometria e disposição estrutural dos corpos de minério, assim como seu nível de profundidade, a lavra a céu aberto é obviamente a indicada para exploração do calcário. Seu pequeno capeamento e com o minério em vários pontos aflorante, indica, sem dúvida, o método definido como “pedreira”, com desmonte do minério em um único nível, como o mais adequado. Entretanto, a depender do aprofundamento da cava e aumento da altura da frente de lavra, o método por bancadas pode ser utilizado, facilitando as operações de desmonte e carregamento do minério. Este processo é usualmente empregado em depósitos explorados em flancos de elevações, como observado nas minas calcárias localizadas no centro-sul do estado do Mato Grosso, a maioria produzindo calcário agrícola, com pequena parcela destinada à indústria do cimento e para a produção de cal (MUNIZ *et al.*, 2008). Os métodos citados são empregados para minérios próximos à superfície, que, no caso do calcário, normalmente, é indiferente se para camadas espessas horizontais ou inclinadas. Nestes processos, o estéril, que inclui o solo, é removido, formando uma pilha próxima ao local de sua extração, o qual posteriormente poderá ser utilizado na recomposição do solo, como parte de um planejamento de estudo de recuperação ambiental.

Na lavra do calcário podem ser empregados equipamentos como rompedores hidráulicos, martelos hidráulicos, tratores de esteira, pás carregadeiras ou retroescavadeiras, além de caminhões basculantes. A atividade de lavra do calcário, de modo geral, obedece à seguinte sequência: limpeza do terreno, decapeamento, perfuração, desmonte (com explosivos), fragmentação, carregamento e transporte. Em algumas operações pode ser utilizado do rompedor hidráulico para redução das dimensões dos blocos de minério desmontado, ainda relativamente grandes, em lugar do fogo secundário ou fogacho.

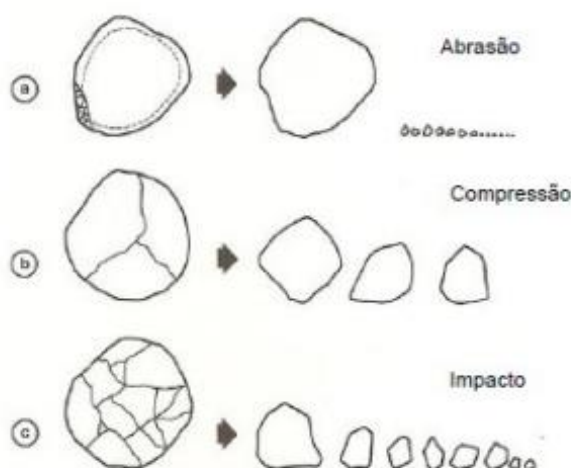
## 10.2. BENEFICIAMENTO

O tratamento de rochas calcárias depende do uso e especificações do produto final. A lavra seletiva, a catação manual, a britagem em estágio unitário e o peneiramento são os métodos usuais para obtenção de produtos, cuja utilização final não requer rígidos controles de especificações. Ainda sob esse aspecto, havendo a necessidade de obtenção de produtos para aplicações consideradas nobres, um circuito complexo de beneficiamento deverá ser implantado. Isto ocorre principalmente quando sua destinação às indústrias de papel, plásticos, tintas e borrachas, entre outras. Para essas finalidades a moagem do minério é fundamental no caso de haver a presença de contaminantes, como o ferro. A fragmentação das partículas tem a necessidade de ter uma parte ou de todo o minério, dentro das especificações granulométricas conforme seu uso posterior. A moagem aumenta a área superficial específica dos minerais do minério, expondo-os mais facilmente ao ataque por reagentes químicos para obter um grau de liberação necessário para se efetuar uma operação de concentração subsequente. Todo esse processo compreende a denominada “cominuição”, que é definida como um processo no qual materiais particulados são reduzidos de tamanho. Esta redução de tamanho inicia-se pelo desmonte das rochas, por explosivos ou por via mecânica, e sua subsequente britagem e/ou moagem, a depender dos produtos que serão obtidos e os respectivos tamanhos adequados aos processos subsequentes ou aos usos finais (BERGERMAN, 2013). Cabe destacar, que para uso ornamental da rocha calcária esses processos inexistem, demandando outros tipos de operações de lavra e desmonte, que visam a obtenção de blocos com dimensões específicas, através de cortes amparados por tecnologias que se valem de fios diamantados, perfurações consorciadas a argamassas expansivas e perfurações contínuas, dentre outros.

No tocante a “cominuição”, para que ocorra a fratura de uma partícula mineral, segundo BERALDO (1987), é necessário que a força aplicada seja maior que a sua resistência. Existem três mecanismos de fratura presentes nos processos de cominuição que são descritos abaixo e ilustrados na figura 59 (KELLY; SPOTISWOOD, 1982; BERALDO, 1987):

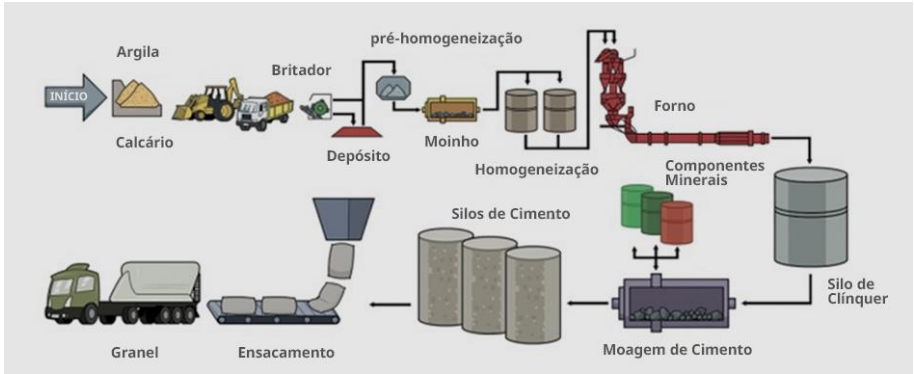
- **Abrasão:** aplicação de força de forma insuficiente para provocar uma fratura em toda a partícula. Há a concentração de esforços localmente, que provoca o aparecimento de pequenas fraturas, com o surgimento de uma distribuição granulométrica de partículas finas ao lado da partícula original, cujo o diâmetro é pouco diminuído. Este mecanismo ocorre devido abrasão entre partículas e bolas-partículas;
- **Compressão:** aplicação de força de forma lenta onde o esforço é aliviado com o aparecimento de fraturas. Desse tipo de fratura resultam fragmentos de diâmetros equivalentes. Este tipo de mecanismo é típico em britadores (mandíbulas, giratórios e cônicos) e em moinhos quando as partículas são comprimidas entre os corpos moedores e/ou partículas maiores;
- **Impacto:** aplicação de força de forma rápida e em intensidade muito superior à resistência da partícula. Mecanismo encontrado em britadores de impacto ou em moinhos na zona de queda dos corpos moedores. A resultante deste mecanismo é uma distribuição de partículas finas.

Figura 59 - Mecanismos de quebra existentes na cominuição (adaptado de KELLY; SPOTISWOOD, 1982).



Na figura 60 pode ser observado o fluxograma de beneficiamento do minério calcário, com sua redução granulométrica, visando sua utilização na indústria cimenteira. Nestas condições, a fragmentação desenvolve-se por meio de três estágios, isto é, grossa, intermediária e fina ou moagem. Nos dois primeiros estágios, a fragmentação é realizada em britadores e no último estágio, em moinhos.

Figura 60 – Fluxograma da fabricação de cimento (CIMENTO MAUÁ, 2021)



Os equipamentos empregados durante o processo de beneficiamento do calcário, inicialmente são os de grande porte que sempre operam em circuito aberto e sem o descarte (escalpe) da fração fina contida na alimentação. A britagem primária é realizada a seco. Para este estágio são utilizados os seguintes tipos de britadores: britador de mandíbulas, britador giratório, britador de impacto e o de rolos dentado. O Quadro 16 apresenta a comparação entre as características de alguns desses equipamentos. Geralmente, o britador de impacto é escolhido para britagem primária, onde se deseja uma alta razão de redução e alta percentagem de finos, pois os processos subsequentes para conseguir uma boa fragmentação do calcário, exige uma granulometria muito fina para alimentar o moinho e os outros equipamentos de classificação, concentração e separação. Segundo SAMPAIO *et al* (2001), dependendo das condições de operação, existem britadores de impacto que processam até 2.500 t/h e os blocos de calcário podem ser cominuídos a uma granulometria com 95% abaixo de 25mm. Uma característica especial deste tipo de britador é a possibilidade de inclusão de um sistema de proteção da câmara de britagem contra corpos metálicos estranhos.

Quadro 16 – Características dos britadores primários (LUZ *et al.*, 2010)

Características Consideráveis	Britador de Impacto	Britador de Rolo Dentado
Teor de Minerais Abrasivos Altos	Geralmente restrito a materiais com teor de sílica equivalente menor que 15%	Como o de impacto, é limitado a materiais pouco abrasivos
Grau de Redução. Valores Usuais Médios	Grande o suficiente para muitas vezes se fazer o trabalho de britagem primária e secundária em uma só máquina	Alto. Brita qualquer bloco que caiba na boca do britador. Todavia, a presença de blocos grandes limita bastante a capacidade
Modo de Alimentação	Exige alimentador	Exige alimentador

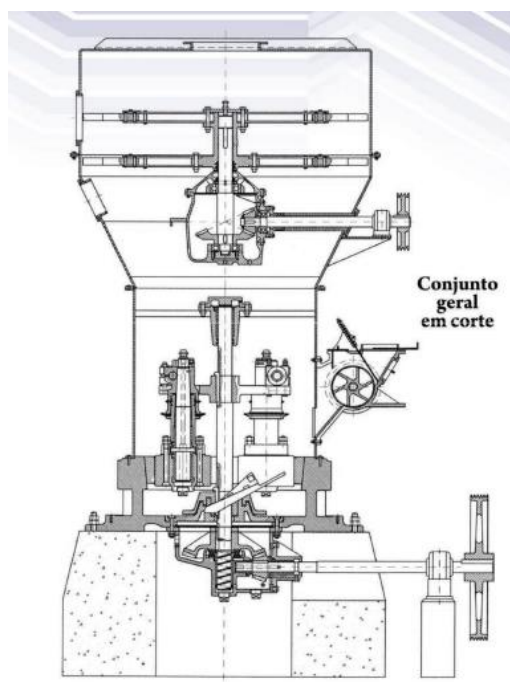
Ressalta-se ainda que o tratamento dado ao calcário inicialmente, é o primeiro processo a ser feito para obter os produtos de interesse para a indústria cimenteira, química e agrícola. Processos como a flotação e a separação magnética, entre outros, são usados para a concentração do minério e/ou remoção das impurezas, quando necessária. Desse modo, são obtidos produtos de carbonato de cálcio, por meios físicos de purificação e/ou beneficiamento, com elevados índices de pureza para atender à necessidade do mercado a que se destina. Tais procedimentos são usados nas etapas de concentração e não de purificação, razão pela qual há, em alguns



casos, dificuldades no processo de purificação. A aplicação de métodos químicos seria a solução, desde que a prática fosse levada a efeito em meio alcalino. Fato incomum, pois a maioria dos compostos de ferro é solúvel apenas em meio ácido, sendo, portanto, de difícil aplicação para o caso de calcário. Com esse dilema, imputa-se ao especialista o uso cada vez mais racional da criatividade e imaginação para solucionar as questões caso a caso.

Em seguida, é necessário que o material passe por um processo de moagem, que é o último estágio do processo de fragmentação, porém faz-se homogeneização da farinha antes de alimentar o moinho e durante o processo de moagem. Segundo LUZ *et al* (2010), na indústria cimenteira a moagem de farinha crua, em moinhos de rolos, se consolidou como uma alternativa à moagem tradicional, ampliando o campo de utilização desse equipamento também à indústria de tintas, fertilizantes, vidro, cerâmica e etc. O princípio de funcionamento, desse moinho (Figura 61) (SOUZA, 2017), constitui um sistema automático do material, no qual os principais componentes são: alimentador automático, câmara de moagem, separador, ciclone coletor e ventilador.

Figura 61 – Moinho de rolos USW Raymond (SOUZA, 2017).



O moinho de rolos opera continuamente com máxima eficiência e máxima produção por potência consumida, por ser dotado de controle automático de alimentação. Este dispositivo é comandado pela pressão diferencial no sistema a qual é, por sua vez, proporcional à carga do moinho. Desta maneira, o equipamento trabalha sempre na máxima capacidade e a classificação do material é feita ao mesmo tempo que se processa a moagem, uma corrente de ar, gerada por um exaustor, penetra na câmara de moagem através de aberturas dispostas tangencialmente ao redor de sua base. O material moído é arrastado pela corrente de ar em seu movimento ascendente em direção ao separador. O separador classifica o material pulverizado permitindo apenas a passagem das partículas cuja granulometria atenda às especificações requeridas. As partículas maiores, rejeitadas pelo separador, voltam ao fundo da câmara de moagem, onde são submetidas à nova pulverização para atingir a granulometria desejada. Quando provido de apenas um separador simples, o moinho de rolos permite obter produtos de média e fina granulação, desde 60% passando em malha 100, até 95%, passando em malha 200, já a faixa de aplicação, quando emprega o separador duplo, é muito ampla, indo desde 60% do material passando em malha 100, até 99,9% ou mais, passando malha de 325.

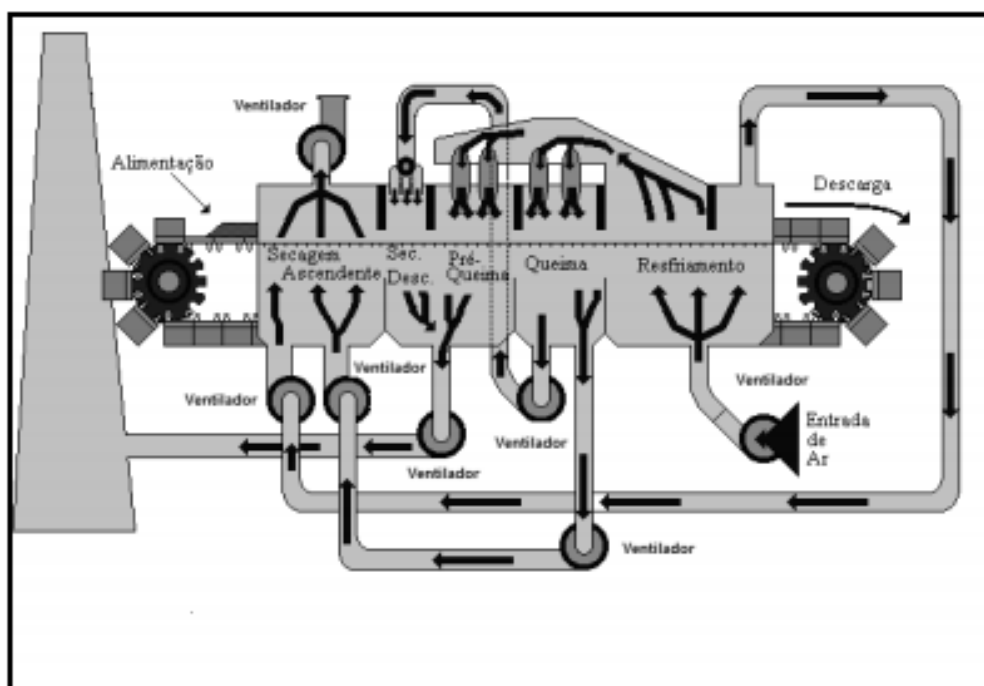
A farinha crua que passa pelo classificador é transportada pela corrente de ar até o ciclone coletor, local em que o produto é retido. O material é descarregado por meio de uma válvula automática existente no fundo do ciclone; o ar retorna ao moinho, aspirado pelo exaustor, fechando o circuito.

O moinho de rolos Raymond destaca-se por sua operação limpa, sem produção de poeira, pois o sistema trabalha sob pressão, evitando assim qualquer possibilidade de que partículas muito finas venham a escapar da câmara de moagem para o ambiente.

Em relação ao método a úmido, os moinhos de bolas são mais eficientes na moagem a uma granulometria fina. A operação a úmido é mais complexa, todavia, pode ser empregada numa variedade de matérias-primas que, em muitos casos, prepara a alimentação da flotação. Na moagem ultrafina e a úmido de carbonato de cálcio natural, há necessidade do uso de dispersante químico. Este garante a fluidez da polpa, melhorando a eficiência da moagem, mas deve ser avaliado o efeito do reagente na aplicação do produto final.

Após a cominuição do calcário, se o objetivo do produto final for, por exemplo, a indústria cimenteira, é necessário obter a especificação requerida para a alimentação ao forno de queima (Figura 62) e que esse material passe por um processo de homogeneização antes da pelotização. No pré-aquecimento a farinha alcança uma temperatura inicial de 850°C já na entrada do forno de queima, sendo obtidas na zona de clinquerização, próxima à chama do queimador, temperaturas entre 1350 e 1450°C (SAMPAIO *et al.*, 2001).

Figura 62 – Forno de Queima (SAMPAIO *et al.*, 2001).



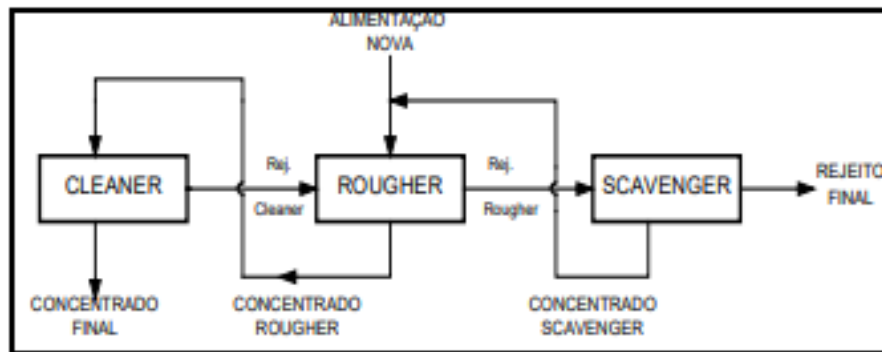
Porém se o objetivo final for gerar produtos para indústria de tintas e plásticos, por exemplo, é necessário que após a moagem, a farinha passe por processos como; a flotação, a separação magnética, entre outros, que tenha como finalidade a concentração de calcário e/ou remoção das impurezas, quando necessária. Desse modo, são obtidos produtos de carbonato de cálcio, por meios físicos de purificação e/ou beneficiamento, com elevados índices de pureza para atender à necessidade do mercado a que se destina. Tais procedimentos são usados nas etapas de concentração e não de purificação, razão pela qual há, em alguns casos, dificuldades no processo de purificação.

A flotação é uma operação unitária de separação complexa, que se utiliza de fenômenos de superfície para se concentrar os minerais de interesse. Desta forma, a flotação depende principalmente de fatores químicos para otimizar a hidrofobicidade das partículas minerais (repelência dos materiais à água), mas é também fortemente influenciada pela hidrodinâmica e dispersão de gás nos equipamentos (RAHMAN *et al.*, 2013; SOUZA PINTO *et al.*, 2015).

De acordo com LUZ *et al.* (2010), o processo de flotação (Figura 63) e alguns processos correlatos a esse se baseiam em propriedades muito menos evidentes que as anteriores. É uma separação feita numa suspensão em água (polpa). Como nos demais, as partículas são obrigadas a percorrer um trajeto e num dado instante as partículas que se deseja flotar são levadas a abandoná-lo, tomando um rumo ascendente. A diferenciação entre as espécies minerais é dada pela capacidade de suas partículas se prenderem (ou prenderem a si) a bolhas de gás (geralmente ar). Se uma partícula consegue capturar um número suficiente de bolhas, a densidade do conjunto partícula-bolhas torna-se menor que a do fluido e o conjunto se desloca verticalmente para a superfície,

onde fica retido e é separado numa espuma, enquanto que as partículas das demais espécies minerais mantêm inalterada a sua rota.

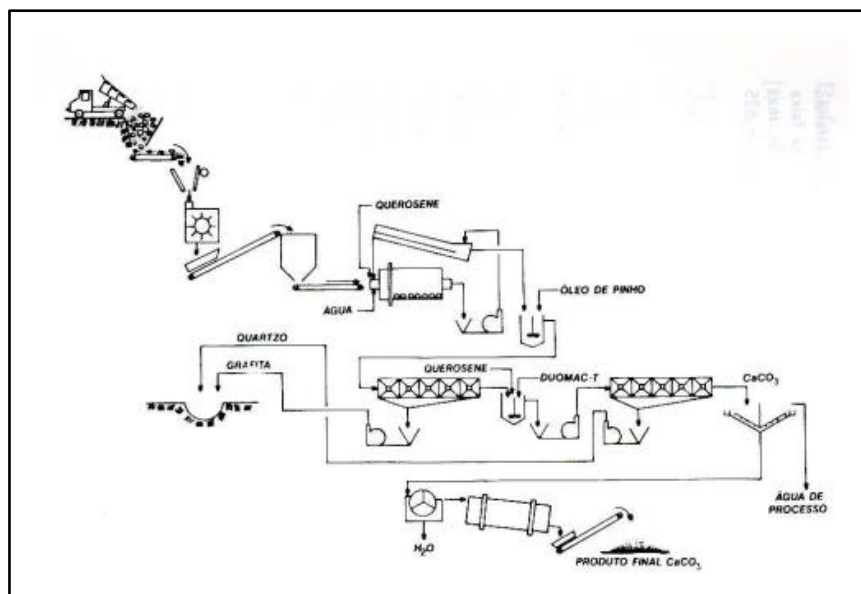
Figura 63 – Circuito de flotação (Adaptado de LUZ *et al.*, 2010)



Genericamente, executa-se uma primeira flotação, chamada "rougher", onde se obtém um concentrado pobre e um rejeito que ainda contém teores dos minerais úteis. O concentrado é relavado numa segunda flotação, denominada "cleaner", onde são produzidos um concentrado final e um rejeito de teor elevado. O rejeito "rougher" é repassado numa outra flotação, chamada "scavenger", onde se obtém um rejeito muito pobre (rejeito final) e um concentrado que reúne os minerais úteis que estavam no rejeito "rougher", mas que é pobre para ser considerado produto final. Tanto o rejeito "cleaner" como o concentrado "scavenger" ainda contêm minerais úteis e por isso são retornados à célula "rougher". Todo esse circuito pode ser observado na figura 63.

Segundo BARROS *et al* (1984), ensaios por processos de flotação reversa, que é quando os minerais de ganga são flotados e os minerais de interesse permanecem na polpa mineral, e os minerais de interesse flotados (flotação direta) e separados nas espumas e os minerais de ganga acompanhando o fluxo da polpa mineral, ofereceram resultados satisfatórios para a produção de carbonato de cálcio de alta pureza. BARROS *et al* (1984) afirmam que o processo de flotação reversa é o mais recomendado, tanto pelo menor gasto de reagentes, como por menores tempos de flotação, o que implica em utilizar um menor volume de células, e consequentemente tornando o processo menos oneroso. Explica também que o carbonato de cálcio purificado por flotação seletiva (Figura 64), pode ser moído até cerca de 70% abaixo de 400 malhas sem influência significativa do processo de flotação e que o produto obtido apresenta propriedades químicas melhores que as requeridas pelo mercado consumidor.

Figura 64 – Fluxograma para a produção de carbonato de cálcio por flotação seletiva (LUZ *et al.*, 2010).



Sendo assim, devido a exigência dos mercados de papel, tinta, plásticos e borracha reivindicarem produtos cada vez mais finos, os grandes produtores de carbonato de cálcio natural passaram a investir em novos processos de moagem. Neste contexto, o sistema de classificação recebe maior atenção, tanto no avanço dos circuitos, adicionando mais estágios ao processo, como no desenvolvimento de equipamentos de classificação com melhor desempenho. BARROS; CAMPOS (1990) concluíram que os resultados obtidos pelo processo de flotação, atende às especificações das indústrias de tintas, plásticos, borracha, laminados asfálticos e carpetes.

## 11. ANÁLISE ECONÔMICA

Provavelmente não existem outras rochas com uma variedade de uso tão ampla quanto as rochas calcárias (calcário e dolomito), que desempenham um papel invisível na maioria dos setores da indústria moderna. Estas rochas são usadas como material para agregados, cimento, na agricultura como corretivo de solos, produção de chapas de rochas ornamentais (variedades metamórficas), produção de cal para utilização na elaboração de argamassas e preparação dos processos de pintura, assim como na indústria cerâmica. Outras aplicações também incluem seu uso como matéria-prima para as indústrias de vidro, siderúrgica, papel, plásticos, química e de alimentos. São um dos recursos minerais mais consumidos no mundo (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

De acordo com dados do USGS (2020b), no ano de 2019 a produção mundial de cal (óxido de cálcio), principal produto gerado pelo beneficiamento do calcário, foi estimada em 424,6 milhões de toneladas, sendo de longe o maior produtor mundial a China, que respondeu por 70,6% dessa produção, ou seja, 300 milhões de toneladas. Entretanto, considerando outros produtos obtidos a partir do beneficiamento do calcário, como por exemplo o pó calcário utilizado na agricultura, a quantidade da rocha lavrada no mundo certamente deve ser muito superior à produção estimada para a fabricação de cal.

No presente capítulo são apresentadas considerações sobre o setor de calcário, com foco nos panoramas mundial e nacional do setor, com abordagem sob a ótica mercadologia dos produtos comercializados e explanação sobre algumas variáveis importantes para compreensão comportamental deste setor, tais como: produção, consumo, seus produtos e usos, especificações de mercado, preços, estrutura produtiva e perspectivas, no que toca, os aspectos mercadológicos e concorrenciais.

### 11.1. ASPECTOS MERCADOLÓGICOS DO CALCÁRIO

Tendo em vista a sua utilidade e versatilidade, o calcário se apresenta como uma das mais importantes matérias-primas do setor mineral, com uma gama de aplicações, como supracitado.

Na indústria siderúrgica, especificamente, é utilizado para formar escórias fluídas e silicatos de cálcio, que facilitam a eliminação das impurezas dos minérios, enquanto que na indústria química, sua aplicação é numerosa, dentre as quais se destacam a produção de cálcio precipitado, cloreto de cálcio, carbonato de cálcio e diversos sais de cálcio. É utilizado como insumo na fabricação de graxas, lubrificantes, inseticidas, tintas, explosivos, refino de sal, tratamento de água de esgoto, produção e refino de açúcar.

O calcário *sensu strictu* (calcítico) é de longe a rocha carbonatada mais comum, seguida dos termos magnesianos dolomíticos e de seus equivalentes metamórficos, como o mármore. Mesmo que a calcita e dolomita possam ser utilizadas em conjunto para várias aplicações, para certas destinações de uso é indispensável a caracterização química do calcário afim de determinar os percentuais dos óxidos de cálcio e magnésio e sua aplicação mais adequada com base no conteúdo dos mesmos. Neste sentido, a composição química da rocha é mais importante que a mineralógica. Os teores desses óxidos definem ainda a classificação da rocha carbonática, que refletem a quantidade dos minerais calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita  $\{(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)\}$  na sua composição modal. Na caracterização química da rocha calcária também deve ser definida a quantidade máxima de impurezas (óxidos de Fe, sulfetos, argilominerais, matéria orgânica, etc.) que pode ser tolerada para várias finalidades de uso (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

De modo geral, o calcário representa um produto relativamente barato, exceto em suas formas beneficiadas mais sofisticadas, de valor agregado elevado. Considerando os produtos de menor valor agregado, o baixo preço do calcário resulta numa estreita relação entre a demanda e a produção, levando a um baixíssimo

nível de estoques na indústria. Por outro lado, dada a relação entre os baixos preços do calcário e o custo do frete, há pouco intercâmbio da produção, em nível internacional (SILVA, 2009).

Entre os principais setores de consumo de calcário, destaca-se em primeiro lugar, a indústria cimenteira, seguida da indústria de cal e em terceiro lugar o setor agrícola. No Brasil o uso do calcário está ligado, principalmente, na fabricação do cimento, na construção civil no preparo de argamassa e como corretivo da acidez de solos (calcário agrícola).

Em termos de potencial de crescimento, o setor agrícola é considerado uns dos mais promissores para o consumo de calcário no Brasil, uma vez que, a maior parte dos solos brasileiros possuem características de elevada acidez. Neste contexto, é sabido que o território brasileiro é composto por cerca de 70% de solos ácidos, tendo assim um potencial de consumir 70 milhões de toneladas de calcário agrícola ao ano. No entanto estima-se que o país só aplica 50% desse montante (BOGGIO, 2020). Estando o Brasil entre os maiores produtores de grãos (EMBRAPA, 2019), observa-se que há grande demanda reprimida por este bem mineral (calcário agrícola). Vale destacar, a crescente demanda natural da indústria cimenteira e outros setores, como os segmentos metalúrgico e químico e para a produção de cal, por exemplo, cujo consumo de calcário, possui forte correlação com o desenvolvimento econômico do país. No contexto global do mercado das rochas calcárias a cifra arrolada da sua cadeia produtiva deve atingir US\$ 65,3 bilhões em 2027 (PRNEWSWIRE, 2020).

#### 11.1.1. PANORAMA MUNDIAL

A produção mundial de calcário não é acompanhada pelas principais entidades internacionais como o *United States Geological Survey* – USGS e o *British Geological Survey* – BGS. O USGS apenas publica anualmente em seu informe mineral (*Mineral Commodity Summaries*) a produção de cal e de outros subprodutos. Estas estatísticas não contemplam os dados mundiais sobre as produções e reservas de calcário para fins agrícolas. Geralmente, não há armazenamento da produção de calcário por muito tempo, dessa forma as estatísticas sobre o volume de consumo e produção mundial de calcário são aproximadamente iguais (SILVA, 2009). Não há informações públicas confiáveis quanto aos dados de produção/consumo e reservas minerais de calcário no mundo, parte desta carência de informações é e devida à dificuldade de caracterização da produção de calcário, diferenciada da produção de outras rochas comumente consideradas como calcário, e vice-versa. Existe também inconsistência nos critérios de informação dos dados apresentados entre diferentes países, que dificulta uma comparação dos dados sobre o calcário, no mundo como um todo (SILVA, 2009). Também não há dados precisos sobre as reservas de calcário no mundo, mas USGS sugere que as reservas mundiais atuais de calcário e dolomito, mesmo não sendo estimadas precisamente, seriam adequadas para atender a demanda mundial durante muitos anos. Na estimativa do IUGS as maiores reservas estão com os maiores produtores mundiais (USGS, 2020a).

Como pode ser observado no quadro 16, que contempla apenas países com produção estimada de cal superior a um milhão de toneladas, os principais países produtores do insumo mineral foram a China (cerca de 71%), EUA (4%), Índia (4%), Alemanha (4%) Rússia (3%), Japão (2%) e Brasil (2%). A liderança na produção e o consumo de cal deve continuar com a China, uma vez que, os mercados onde são utilizados os produtos de cal, seguem o crescimento do produto interno bruto (PIB) da região produtora/consumidora, que neste contexto se destaca a China com índices elevados de crescimento.

Quadro 16 – Panorama da produção mundial de Cal por país entre 2017 e 2019 (USGS: Mineral Commodity Summaries, 2020b).

Discriminação	Produção (10 <sup>3</sup> t)		
	2017	2018	2019
Países			
Estados Unidos	17.800	18.100	18.000
Austrália	2.000	2.000	2.100
Bélgica	1.500	1.330	1.300
Brasil	8.300	8.300	8.400
Bulgária	1.400	1.500	1.500
Canadá	1.830	1.810	1.800
China	290.000	300.000	300.000

Tchéquia	1.100	1.040	1.100
França	2.600	2.600	2.600
Alemanha	7.000	7.000	7.100
Índia	16.000	16.000	16.000
Iran	3.100	3.300	3.300
Itália	3.600	3.600	3.600
Japão (apenas quicklime)	7.300	7.580	7.600
Cazaquistão	1.040	1.050	1.100
Coréia, Republica da	5.200	5.200	5.200
Malásia	1.600	1.600	1.600
Polônia	1.840	2.680	2.700
Romênia	2.130	2.210	2.200
Rússia	11.100	11.100	11.000
Eslovênia	1.060	1.060	1.200
África do Sul	1.130	1.200	1.200
Espanha	1.830	1.820	1.800
Turquia	4.700	4.700	4.700
Ucrânia	2.500	2.100	2.100
Reino Unido	1.500	1.400	1.400
Outros Países <sup>(e)</sup>	13.500	13.400	14.000
<b>Total</b>	<b>412.660</b>	<b>423.680</b>	<b>424.600</b>

### 11.1.2. COMÉRCIO INTERNACIONAL

Tendo em vista que a cal é um produto de valor relativamente baixo, reativo e comercializado a granel, geralmente não é viável economicamente seu transporte por longas distâncias. Todavia, a maioria dos países possui depósitos de calcário ou dolomita e são capazes de fabricar pelo menos formas básicas de cal para consumo próprio. Pode haver, entretanto, comércio entre países em uma base regional onde as distâncias não são elevadas, como na União Europeia, ou para fornecimento de produtos de cal de qualidade não disponível localmente. Além da produção de grandes empresas comerciais de cal, há produção de pequenos fabricantes que operam fornos simples para abastecer os consumidores locais e por indústrias que produzem cal para consumo interno (USGS, 2020c).

No que concerne à participação no comércio mundial, o mercado para os produtos da rocha calcária é relativamente fragmentado. Poucos dos principais *players* atualmente dominam o mercado. As principais empresas concorrentes deste mercado são: Adelaide Brighton Ltd., Atlantic Minerals Limited, Buechel Stone Corp., Carmeuse Group S.A., CRH plc, Elliott Stone Company Inc., Fels-Werke GmbH, Graymont Limited, Grupo Calidra, Independent Limestone Company LLC, LafargeHolcim Ltd., Grupo Lhoist, Mississippi Lime Company, Mitsubishi Materials Corporation, NALC LLC, Nittetsu Mining Co. Ltd., Schaefer Kalk GmbH & Co KG, Sumitomo Osaka Cement Co. Ltd., Grupo de cimento Taiheiyo, Todaka Mining Co. Ltd., e UBE Material Industries, Ltd. (PRNEWswire, 2020)

De acordo com o Observatory of Economic Complexity - OEC (OEC, 2018), os maiores países exportadores de calcário em 2018, em termos de valor comercializado, foram os Emirados Árabes Unidos (US\$ 366 milhões), Vietnã (US\$ 61,7 milhões), Japão (US\$ 61,3 milhões), Omã (US \$ 58,3 milhões) e Malásia (US\$ 54,7 milhões). Quanto aos países importadores de calcário em 2018, os principais foram a Índia (US\$ 401 milhões), Taiwan (US \$ 47 milhões), Bangladesh (US \$ 43,6 milhões), Ucrânia (US \$ 36 milhões) e Coreia do Sul (US\$ 34,9 milhões). Os países com as tarifas mais altas de importação de calcário são Bahamas (31,2%), Angola (30%), Uzbequistão (28,7%), Jordânia (23,3%) e Zâmbia (22,7%), enquanto aqueles que não cobram tarifas de importação do produto incluem São Maurício, África do Sul, Hong Kong, Japão e Sri Lanka (OEC, 2018).



As figuras 65 e 66 mostram a participação das principais nações na exportação e importação de calcário no mundo, respectivamente.

Figura 65 – Principais exportadores mundiais de Calcário, em termos de valor comercializado, em 2018 (Observatory of Economic Complexity – OEC, 2018).

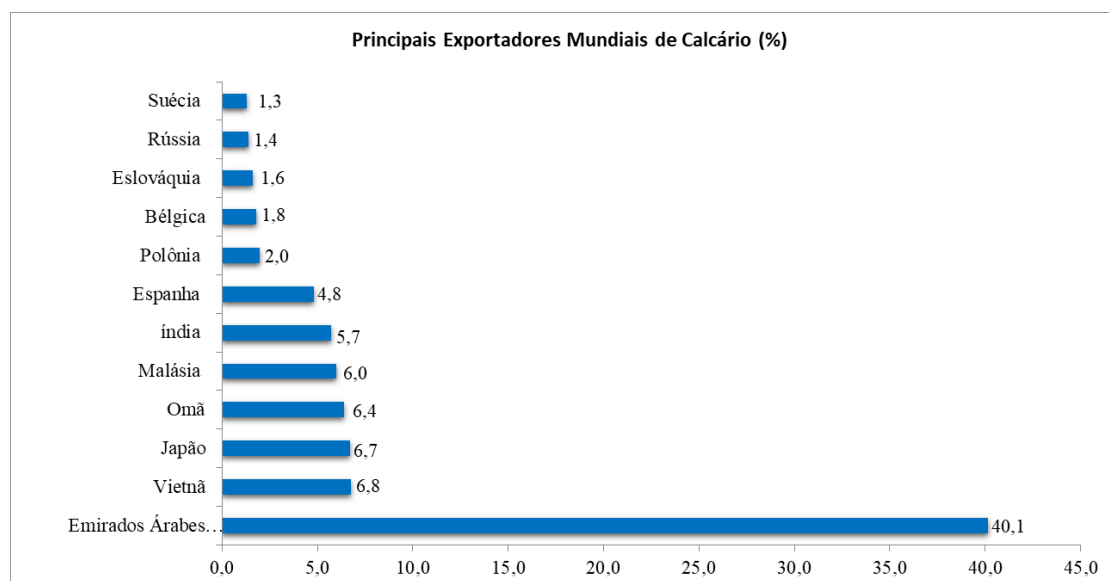
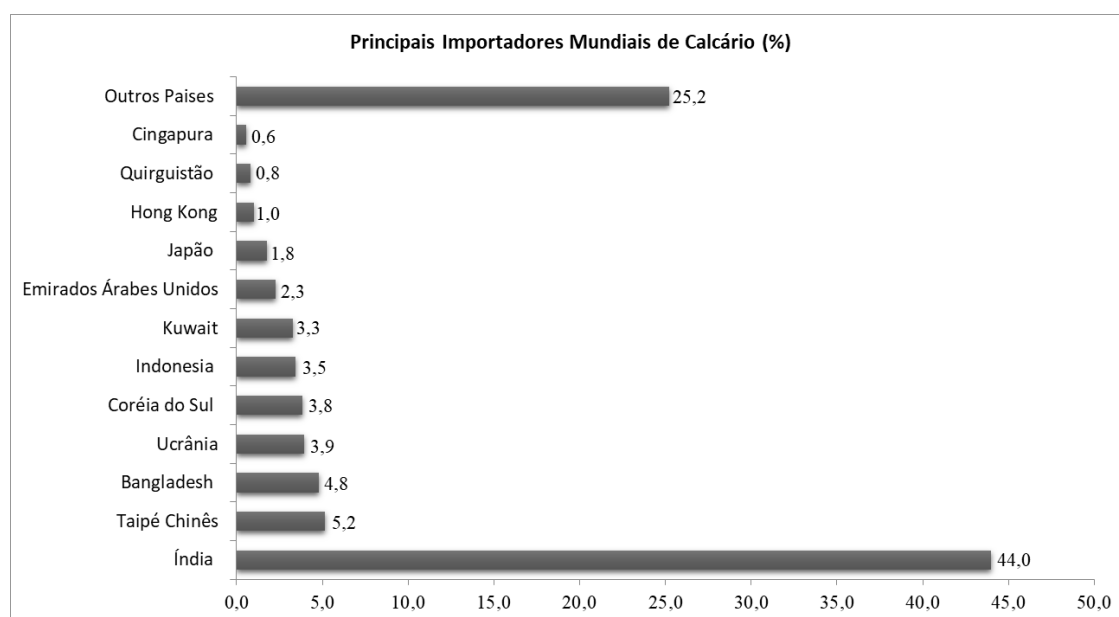


Figura 66 – Principais importadores mundiais de calcário, em termos de valor comercializado, em 2018 (Observatory of Economic Complexity – OEC, 2018).



### 11.1.3. PANORAMA NACIONAL

Tendo em vista que, basicamente, todas as rochas carbonáticas compostas predominantemente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de cálcio e magnésio (calcários e dolomitos), independentemente da relação CaO/MgO, são fontes para a obtenção de corretivos de acidez dos solos, é possível concluir que as reservas calcário agrícola no Brasil, podem ser consideradas como as mesmas reservas brasileiras de calcário, independentemente de sua aplicação. As reservas de calcário no Brasil estão relativamente bem distribuídas pelos estados e garantem fornecimento do bem mineral por centenas de anos, considerando os níveis atuais de

produção e consumo. Os estados brasileiros como maior destaque no que toca o tamanho das reservas são: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e Goiás, que juntos reprimam quase 60% das reservas de calcário do país, além de São Paulo, Bahia, Ceará, Mato Grosso e Rio de Janeiro.

A cal virgem, também chamada de cal viva, com óxido de cálcio entre 100% e 90%, é o principal produto de calcinação de rochas calcárias (calcários/dolomitos). A cal hidratada é formada pela adição de água à cal virgem gerando a formação de hidróxido de cálcio e de outros compostos (SGM, 2019). A produção cal brasileira representou cerca de 2%, ocupando a 5ª posição no cenário internacional (USGS, 2020b). A produção cal brasileira representou cerca de 2%, ocupando a 5ª posição no cenário internacional (USGS, 2020b). A produção estimada foi 8,4 milhões de toneladas em 2019, representada pelos produtores integrados (79%); mercado cativo (15%); mercado cativo produtores não integrados (3%) e transformadores (3%). As regiões Sudeste e Sul do País são responsáveis por 85% da produção de cal virgem e hidratada. Em Minas Gerais localizam-se as principais indústrias de cal do País, com produção anual acima de 5 milhões de toneladas (SGM, 2019).

No que toca o comércio exterior brasileiro de cal, ele é bastante tímido. As exportações e importações de cal são irrelevantes, de forma que o consumo aparente equivale à produção interna, estimando-se a partir daí um consumo per capita em torno de 40 kg/habitante (SGM, 2019).

Apesar da importância do calcário para diversos setores da indústria, há uma relativa falta de dados sobre a sua produção e consumo no Brasil. Parte desta dificuldade se deve ao fato de que as informações sobre o calcário agrícola, por exemplo, acabam englobadas nos dados sobre o calcário com suas variadas aplicações e usos em outros setores produtivos, dificultando um acompanhamento estatístico. Contudo, há dados mais precisos no que toca a indústria de calcário agrícola, já que os dados são levantados e fornecidos pela Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola – ABRACAL.

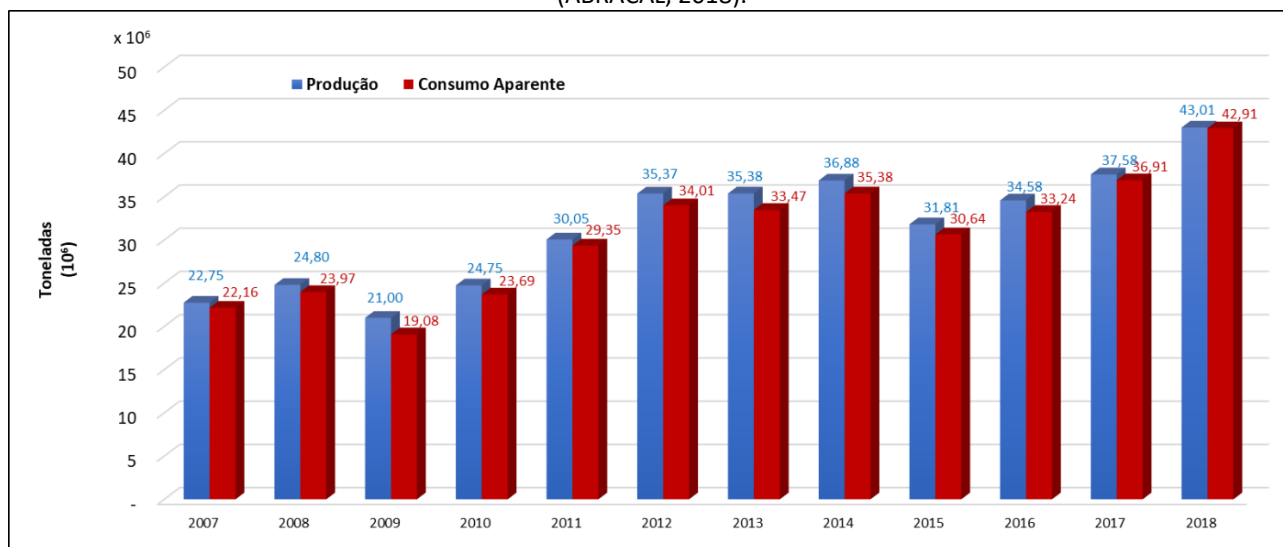
No comércio interno, embora o preço do calcário agrícola seja considerado baixo, principalmente, quando comparado com outros insumos utilizados na agricultura, o frete é um dos fatores que desestimulam a sua aquisição pelos produtores agrícolas, além da falta de informações sobre os benefícios de sua utilização na agricultura.

A produção brasileira de calcário agrícola em 2018 foi estimada em 43,01 milhões de toneladas com oito estados como destaque: Mato Grosso (20% da produção total), Minas Gerais (15%), Paraná (12%), Goiás (11%), Tocantins (9%), São Paulo (9%), Rio Grande do Sul (8%) e Mato Grosso do Sul (8%). Juntos eles responderem por 92% da produção de calcário usado na correção de solo. O consumo aparente total (consumo aparente = produção + importação - exportação - estoque final) ficou em 42,9 milhões de toneladas, aproximadamente igual ao total produzindo no mesmo período. O estado do Pará aparece com apenas 1 % de participação na produção nacional de calcário agrícola de 2018 (ABRACAL, 2018).

No contexto histórico, na década de 1970, iniciou-se a implantação da indústria propriamente dita de calcário agrícola no Brasil, sendo registrada em 1973 uma produção de 3,7 milhões de toneladas para uma capacidade instalada de 6,8 milhões de toneladas/ano. Com a implantação do Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola (PNFCA), formado por um subprograma para fertilizantes e outro para calcário agrícola, o PROCAL, no período de 1975 e 1979 o governo federal conseguiu estimular o crescimento da oferta. O objetivo do programa era estimular à oferta industrial de calcário e incrementar o seu consumo por meio de financiamento aos agricultores por linha especial de crédito. Esse programa permitiu que o parque produtor de calcário agrícola fosse ampliado substancialmente entre as décadas de 70 e 80. Novas propostas de políticas públicas para aumento do consumo e produção de calcário agrícola foram sugeridas na década de 90, pela Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL) através da formulação do Plano Nacional de Calcário Agrícola (PLANACAL) (BECKER *et al*, 1995). Com isso entre os anos de 1998 e 2002, foi criado o Programa de Incentivo ao Uso de Corretivos de Solos (PROSOLO) pelo Banco Central e operacionalizado pelo BNDES. A finalidade do programa era aumentar a produtividade da agricultura no Brasil, através do uso adequado de corretivos de solos. Na última década (2000), o Banco Central criou outro instrumento de estímulo, no sentido de ampliar o uso de corretivo de solo em pastagens, denominado de Programa Nacional de Recuperação de Pastagens Degradadas (PROPASTO) (NAHASS; SEVERINO, 2003). A partir do Plano Agrícola e Pecuário 2011/2012, dois programas do governo federal passaram a incentivar o uso do calcário agrícola no solo: o Programa de Modernização da Agricultura e Conservação dos Recursos Naturais (MODERAGRO) e o Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura (Programa ABC). O MODERAGRO é destinado a produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas) e suas cooperativas, inclusive para repasse a seus cooperados, podendo ser financiada, entre outras, a aquisição, transporte, aplicação e incorporação de calcário agrícola para correção da acidez do solo. O volume de recursos é de R\$ 850 milhões com limite de crédito de até R\$ 600 mil,

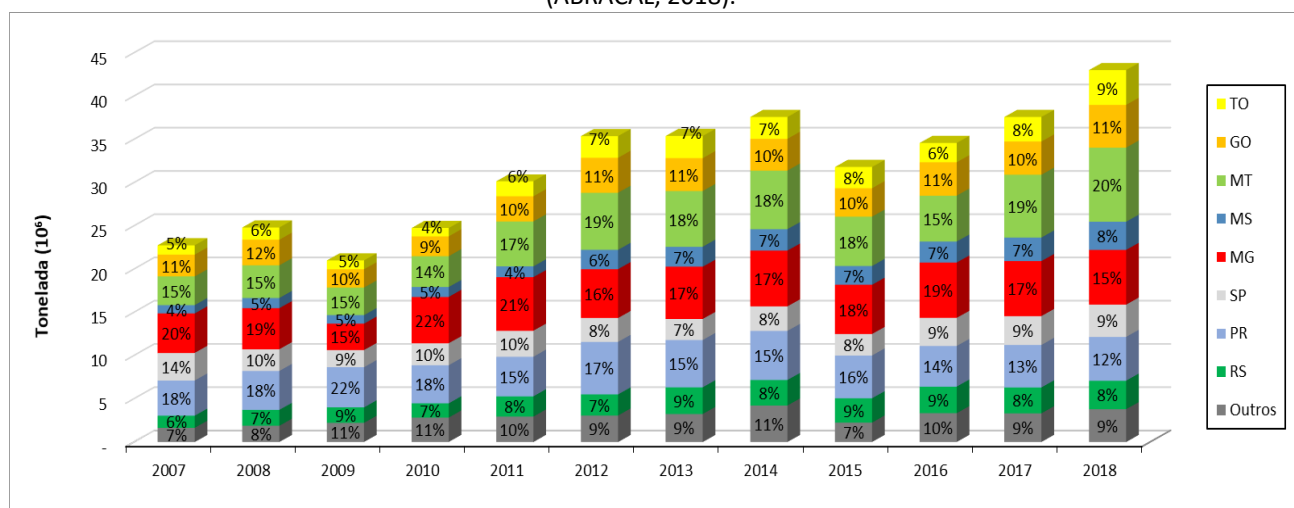
quando se tratar de crédito individual, e de R\$ 1,8 milhão, para o empreendimento coletivo, respeitado o limite individual por participante. A taxa de juros é de 6,6% ao ano com prazo de reembolso de até 10 anos, incluída a carência de até 3 anos (BNDES, 2020). No cenário atual, a produção de calcário agrícola tem atraído novos investidores por todo Brasil. Neste sentido, a produção nacional de calcário agrícola entre os anos de 2007 e 2018 apresentou considerável aumento de oferta, saindo de 22,75 milhões de toneladas/ano para 43,0 milhões de toneladas/ano, representando uma taxa CAGR de crescimento de 5,45% ao ano (Figura 67).

Figura 67 – Evolução da produção de calcário agrícola no Brasil no período de 2007 a 2018 (ABRACAL, 2018).



No que toca à participação dos estados brasileiros na produção de calcário agrícola, entre os anos de 2007 e 2018, os principais produtores foram Mato Grosso, Paraná, Minas Gerais, Goiás, São Paulo e Rio Grande do Sul. A figura 68 mostra a evolução da participação dos estados na produção de calcário agrícola no Brasil no período de 2007 a 2018.

Figura 68 - Participação dos estados na produção de calcário agrícola no Brasil entre os anos de 2007 e 2018 (ABRACAL, 2018).

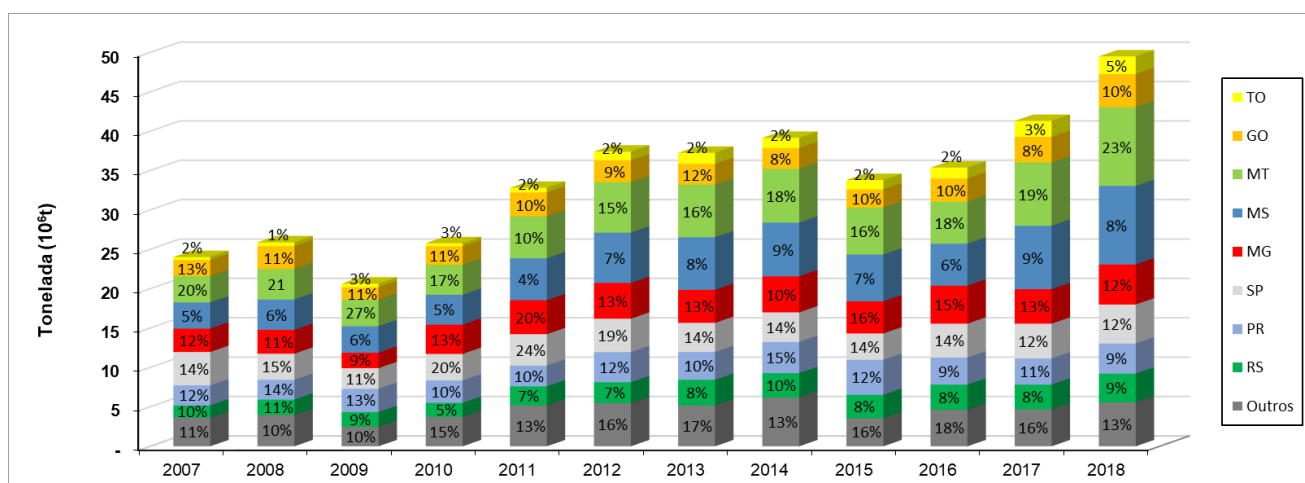


O consumo aparente de calcário agrícola no país, de 2007 a 2018, também foi realizado principalmente pelos estados de Mato Grosso, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, Goiás e Rio Grande do Sul, que responderam por cerca de 80% do consumo no país em 2018 (ABRACAL, 2018). O consumo interno

aparente no período de 2007 e 2018 ocorreu a uma taxa média de crescimento de 5,66% ao ano, saindo de 22,16 milhões de toneladas/ano para 42,91 milhões de toneladas/ano.

Por fim, vale salientar que o consumo de calcário agrícola, principal produto utilizado para corrigir a acidez dos solos, não tem acompanhado a evolução do consumo dos fertilizantes agrícolas, os quais somente são plenamente potencializados quando o solo recebe calagem adequada, o que não vem ocorrendo, em geral, na agricultura brasileira. A figura 69 mostra a evolução do consumo aparente de calcário agrícola no Brasil no período de 2007 a 2018.

Figura 69 - Participação dos estados no consumo aparente de calcário agrícola no Brasil entre os anos de 2007 e 2018 (ABRACAL, 2018).



#### 11.1.4. MERCADO CONSUMIDOR

Na América do Norte, Europa Ocidental e Japão (regiões desenvolvidas) a produção de cal é considerada uma indústria madura, caracterizada pela consolidação entre os produtores regionais, cada um atendendo seus próprios mercados regionais (IHSMARKIT, 2019). Nestas nações o principal uso da cal é na metalurgia, principalmente na produção de aço para remoção de impurezas, como fósforo, enxofre, sílica e manganês do aço fundido, formando a escória, como também desempenhando um papel importante na dessulfuração do ferro gusa. A cal também é usada na produção de alumínio e magnésio, assim como no processamento de outros minérios (cobre, ouro, níquel, zinco, cobalto e chumbo). Globalmente, uma de suas principais aplicações é na construção civil, como insumo na indústria do cimento, fabricação de argamassas e cal para rebocos, entre outras (IHSMARKIT, 2019).

A indústria do ferro e aço está entre os maiores consumidores de calcário, participando com mais de 20% do valor total da venda de cal comercializada no mercado mundial. Espera-se também que a indústria agrícola conquiste uma maior participação neste mercado até 2025, devido à significativa utilização de cal agrícola para aplicações de melhoria da qualidade do solo (ADROITMARKETRESEARCH, 2018).

No Brasil, as empresas produtoras de brita, em suas várias especificações, podem ter como principal produto o próprio calcário, seja para comercialização como calcário agrícola ou para a indústria do cimento ou concreto, como é registrado em algumas empresas ligadas àquele segmento, que operam de maneira verticalizada, com algumas coligadas a construtoras de vários portes ou empresas do agronegócio. O Grupo Votorantim (Votorantim S.A.) é um exemplo disso, atuando por meio da Votorantim Cimentos S.A., que por sua vez criou a marca Viter com foco exclusivo no segmento agrícola (VITER, 2020). Esta marca conta com apoio e solidez da Votorantim Cimentos que possui jazidas estrategicamente distribuídas em todo território nacional e um parque industrial com uma das maiores capacidades instaladas para produção de corretivos agrícolas do País.

No Brasil apesar da maior parte dos solos brasileiros serem ácidos, apenas 40% dos produtores agrícolas brasileiros, em geral, tem conhecimento das necessidades da correção da acidez. De acordo com as informações da ABRACAL, o consumo deveria seguir o crescimento do uso de fertilizantes na ordem de 2,5 a 3 toneladas de

calcário agrícola para cada tonelada de fertilizante. Atualmente, no entanto, a estimativa da ABRACAL é que a relação esteja entre 1,5 e 2 toneladas de calcário agrícola para cada tonelada de fertilizante (METSO, 2020).

#### 11.1.4.1. USOS E PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DA INDÚSTRIA

Aqui serão abordados os principais usos e especificações geralmente exigidas dos produtos das rochas carbonáticas na indústria nacional. De acordo com SAMPAIO e ALMEIDA (2008), destacam-se como principais usos: calcário para cal virgem, carbonato na indústria de cimento, carbonato de cálcio natural na indústria de papel, carbonato de cálcio natural na indústria de plásticos, carbonato de cálcio natural na indústria de plásticos, carbonato de cálcio na indústria de tintas, carbonatos de cálcio e magnésio na indústria de vidros, do carbonato de cálcio na indústria cerâmica, calcário na agricultura, carbonato de cálcio na alimentação de animais, rochas para fins ornamentais ou decorativas, carbonato de cálcio na indústria metalúrgica e uso do carbonato de cálcio no tratamento da água.

Quanto às especificações das rochas calcárias, estas variam em função do produto final que se deseja obter. Em suma, tais especificações podem ser físicas ou químicas ou os estes dois parâmetros. Especificações físicas, tais como durabilidade e degradação, são mais importantes quando a rocha é usada *in natura* (SAMPALIO; ALMEIDA, 2008). Geralmente, o controle das especificações químicas e físicas é mais rígido quando o produto é usado nas indústrias de papel, plástico, tintas, borracha, siderúrgica e na obtenção de carbonato de cálcio precipitado, entre outros produtos mais nobres. Também para produtos mais nobres, em muitos casos, há maior controle na granulometria e na alvura.

Produtos obtidos das rochas calcárias e aspectos relacionados às suas características, beneficiamento e de suas variadas aplicações, inclusive seu emprego na sua forma bruta são descritos a seguir:

##### ➤ Carbonato de Cálcio Precipitado – PCC

A procura crescente de produtos cada vez mais puros levou à produção do carbonato sintético conhecido como carbonato de cálcio precipitado – PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*). Este produto é geralmente obtido através da calcinação do calcário, formando cal e dióxido de carbono. Nessa calcinação há uma redução de 44% na massa original do  $\text{CaCO}_3$ , em decorrência da liberação do  $\text{CO}_2$ . Quando se utilizam calcários magnesianos, essa perda pode atingir 48% (a perda é conhecida como perda ao fogo ou PF). Como a reação de calcinação é reversível (a cal é um produto instável), ao reagir com água (reação exotérmica) resulta na cal hidratada [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], um produto mais estável. Por fim, faz-se a reação da cal hidratada com dióxido de carbono, resultando no PCC, um carbonato de cálcio puro precipitado (SAMPALIO; ALMEIDA, 2008).

##### ➤ Produção de Carbonato de Cálcio Moído – GCC

Com granulometria ultrafina ( $<10\ \mu\text{m}$ ), o carbonato de cálcio natural moído, é conhecido como GCC (*Ground Calcium Carbonate*). Ele é usado em diversas aplicações nas indústrias de papel, plástico, tintas, entre outras. A moagem de carbonato de cálcio natural para a indústria de papel (GCC) considera importantes duas faixas granulométricas: uma grossa ( $<45\ \mu\text{m}$ ) e uma ultrafina ( $<10\ \mu\text{m}$ ). Na faixa grossa, a moagem é geralmente realizada em moinhos de rolos (método a seco), em circuitos fechados e com sistemas de classificação. Na faixa ultrafina, a moagem, geralmente, também é realizada em moinhos de rolos. Mesmo assim, há necessidade de vários estágios de classificação para se obter a granulometria desejada, o que resulta na elevação da carga circulante da moagem, diminuindo a capacidade nominal do sistema como um todo. O método de moagem a úmido, com moinhos de bolas, é mais eficiente para obter granulometrias finas.

Embora, esse método seja mais complexo, todavia, pode ser empregada numa variedade de matérias-primas que, em muitos casos, prepara a alimentação da flotação. Na moagem ultrafina e a úmido, eventualmente há necessidade do uso de dispersantes químicos, que garantem a fluidez da polpa, melhorando a eficiência da moagem, porém deve ser avaliado o efeito no produto final (SAMPALIO; ALMEIDA, 2008).

➤ Calcário para cal virgem

A cal ou óxido de cálcio (CaO) é um produto derivado da calcinação do calcário ou do dolomito. A cal é produzida com base em calcário com elevado teor de cálcio ou de magnésio. Normalmente, a cal, com elevado cálcio, tem menos de 5% de MgO. Cal proveniente de um calcário com elevado teor de magnésio é referida como cal dolomítica. Existem dois tipos de cales: a cal virgem (ou cal viva) e a cal hidratada. A cal virgem é o produto da calcinação de rochas carbonatadas (calcário) a temperaturas próximas à da fusão (900 a 1.000 °C). A cal hidratada é obtida a partir da cal virgem, através da adição de água, gerando hidróxido de cálcio e outros compostos. No processo, estima-se que uma tonelada de cal virgem resulta em 1,3 toneladas de cal hidratada. Como a cal hidratada é produto da cal virgem, para efeito de estimativa da quantidade de calcário demandada para a produção de cal, apenas a quantidade de cal virgem é considerada. Nas práticas industriais há uma relação média de consumo que indica o consumo de duas toneladas de calcário para uma tonelada de cal produzida (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

➤ Carbonato na indústria de cimento e construção civil

Desde o início até o acabamento final de uma obra de construção civil há emprego do cimento, sendo este também, um dos principais componentes na obtenção do concreto (mistura de cimento, água, brita e areia). Na composição do cimento há alguns componentes importantes, entre eles o calcário. Na produção de uma tonelada de cimento, em geral, é necessário o emprego de 1,4 t de calcário, 100-300 kg de argila e 30-40 kg de gipsita. Nos últimos anos tem havido o emprego de escórias siderúrgicas de alto-forno, o chamado clínquer siderúrgico, que vem sendo empregado para dar maior qualidade ao cimento, em termos de resistência e impermeabilidade, além de outros resíduos industriais, substituindo parcialmente as matérias-primas minerais usadas como aditivos. Assim, na produção de uma tonelada de clínquer, utiliza-se cerca de 1,3 t de calcário. Dessa forma, para a fabricação do cimento, é necessário 0,68 t de clínquer, ou seja, cada tonelada de cimento produzido corresponde ao uso de 884 kg de calcário (SGM, 2019). Grande parte do consumo de calcário no mundo é voltado para a construção civil, usado como matéria prima de emprego direto na construção, ou como rochas utilizadas na construção de estradas e outras obras. Este tipo de uso representa um grande volume do calcário produzido, mas é frequentemente incluído nas estatísticas de rochas moídas, na categoria de materiais usados na construção civil.

Embora as estatísticas sobre esta informação sejam imprecisas, nos EUA, por exemplo, o calcário usado como agregado (brita em diversas escalas granulométricas) chega a representar 69% das rochas usadas como agregados na construção civil. No Brasil, a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil - ANEPAC, estima que de todos os tipos de rochas utilizadas na produção de pedra britada para a construção civil, o calcário responde por apenas 10% (QUARESMA, 2009).

➤ Carbonato de cálcio natural na indústria de papel

O setor produtivo de papel consome o carbonato de cálcio natural em todo o mundo, numa granulometria que varia desde 4 até 0,5 µm, com a maior parte das partículas entre 1-2 µm. O uso do carbonato de cálcio na indústria papelreira cresce, sistematicamente, desde o seu ingresso no mercado, como substituto do caulim e do óxido de titânio, nas aplicações como carga e cobertura (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). Há uma tendência, pelos fabricantes de papel, para o maior uso de produtos carbonatados, segundo as versões GCC e PCC. Geralmente, as unidades produtoras de PCC ficam localizadas nas próprias fábricas de papel, dessa forma é possível eliminar a etapa de secagem do carbonato e utilizar o CO<sub>2</sub> disponível na própria fábrica, que é um insumo necessário à produção do PCC. As vantagens do PCC em relação ao GCC estão ligadas ao índice de alvura bastante elevado e à ausência de impurezas tais como quartzo, ferro, entre outras (CARVALHO; ALMEIDA, 1997).

➤ Carbonato de cálcio natural na indústria de plásticos

Nesta indústria o consumo se assemelha ao setor de papel, o GCC ou PCC são adicionados à composição dos plásticos para melhorar suas propriedades físicas e as características de processabilidade.

Há muitas vantagens no uso do GCC no setor de plásticos, tais como: (i) proporciona dureza, propriedades de tensão, textura e brilho superficial, aos compostos de PVC, por meio de dosagem e distribuições granulométricas apropriadas; (ii) controla a viscosidade e o coeficiente da expansão térmica do plástico na moldagem das placas; (iii) confere resistência ao polímero e baixa o custo do produto acabado; e (iv) favorece a manufatura de poliéster, saturado com 40% de GCC, usado com sucesso na indústria automobilística, permitindo a obtenção de produtos competitivos com o aço e o alumínio.

O GCC ultrafino (1,5 µm) também é usado na produção de plástico, que resulta em variadas aplicações, tais como na produção de fraldas, filmes, móveis, materiais de construção, produtos automotivos, sacolas de lixo, tubos, baldes de lixo, embalagens de alimentos, papéis, garrafas sintéticas, entre outras. Sua adição, na faixa de 15 a 30% em peso, permite aumentar o rendimento dos produtos, porque sua condutividade térmica, é 5 vezes maior do que a do polietileno (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

#### ➤ Carbonato de cálcio na indústria de tintas

As tintas são dispersões de pós, identificados como pigmentos ou cargas, em substâncias macromoleculares, aproximadamente viscosas, chamadas de materiais filmógenos. Em outras palavras, a tinta pode ser entendida como a dispersão de um ou mais pigmentos num veículo (resina), que quando aplicada numa camada adequada forma um filme opaco e aderente no substrato. Líquidos voláteis, solventes ou diluentes permitem regular a viscosidade do conjunto, facilitando a fabricação e aplicação. No que toca à forma de secagem, é classificada em três tipos de tintas: (i) a de secagem física (o filme de tinta se forma pela simples evaporação do solvente); (ii) a de secagem físico-química (evaporação da água é acompanhada de coalescência dos grãos em suspensão na água); e (iii) de secagem por oxidação em contato com o ar (neste caso os óleos e as resinas de secagem que eles encerram solidificam-se após uma demão fina).

A tinta tem como base três componentes principais: resinas, solventes e pigmentos. As resinas (tais como termoplásticos e thermosets) representam cerca de 50% do volume da tinta. O solvente representa cerca de 25% da composição e auxilia a formação dos constituintes de filmes dispersos. O solvente se evapora e não faz parte do filme seco de tinta. O outro componente é relativo a produtos minerais, compondo os pigmentos e a carga, que representam o restante (25%) da composição das tintas. Eles conferem propriedades de espaçamento, opacidade, alvura e durabilidade, além do que a redução de custos (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). Como carga e extensor, os minerais têm participação importante na composição das tintas. A indústria de tintas exige uma granulometria muito fina do produto mineral. Isso decorre da necessidade de se formar em leitos muito finos sobre a superfície pintada. Os produtos minerais, neste setor, são mais utilizados quando se considera a ação do vento, da chuva e dos agentes corrosivos que atacam a superfície pintada.

Contudo, os minerais que atendem à demanda para pigmentos, cargas e extensores na produção de tintas atendem desde 15% a mais de 30% da demanda.

Entre as áreas ou setor de consumo mais especializado, destaca-se o setor automotivo. As tintas utilizadas para o segmento consomem pigmentos, TiO<sub>2</sub>, carga e extensores. Também são empregados carbonato de cálcio, barita, talco, caulim, bentonita, montmorilonita, wollastonita e muscovita. Os carbonatos de cálcio são utilizados como espaçadores e redutores da quantidade de TiO<sub>2</sub> necessária à pintura, e dão propriedades mecânicas aos vidros (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

O carbonato de cálcio disponível no mercado para tintas de automóveis apresenta duas granulometrias. A primeira, entre 3 e 10 µm, destina-se (10%) à produção dos leitos de base da tinta. O material ultrafino, com granulometria entre 1,0 e 0,7 µm, destina-se (2 a 3%) à cobertura de clareamento, permitindo a aplicação da tinta sobre a superfície em forma de finos leitos, além de exibir um brilho mais intenso que o GCC mais grosso (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). Logicamente, devido ao maior valor agregado deste produto, a tendência é que seja mais valorizado no mercado.

#### ➤ Carbonatos de cálcio e magnésio na indústria de vidros

Depois da areia de quartzo e da barrilha (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), os minerais dolomita e/ou calcita estão entre os principais insumos utilizados na fabricação do vidro. Esses produtos podem ser usados como fonte de cal na composição soda-cal-sílica, dependendo do tipo de vidro a ser fabricado. A cal atua como material fundente sobre a areia de quartzo, aumentando a insolubilidade e a resistência, além de reduzir a fragilidade do vidro. A



composição da mistura ponderada das matérias-primas para manufatura do vidro (conhecida simplesmente como "mistura") segue um controle especial em função da qualidade do produto final (o vidro). A denominação vidro plano refere-se ao vidro fabricado em folhas planas ou chapas que, posteriormente, podem ser usadas para outros fins, como o vidro automotivo. Na fabricação desses produtos, a dolomita é usada, principalmente, em decorrência de o óxido de magnésio atuar como estabilizador para melhorar a resistência do vidro contra ataques promovido por gases e umidade, tanto de origem química como natural. Além de tudo, a dolomita atua na redução da temperatura de fusão, melhorando a trabalhabilidade e inibindo as reações entre o estanho e o vidro no banho de estanho fundido para obtenção de vidros planos. Vale salientar que a dolomita pura nunca é usada de forma isolada, ou seja, sem a calcita (aragonita) na fabricação de vidro. Sendo ideal um calcário dolomítico com uma razão  $\text{CaO/MgO}$  de 3:2 (a dolomita com esta composição facilita o balanceamento da mistura dolomita/calcita). Na fabricação de vidros para embalagens, a dolomita é usada apenas como fonte de cal, função inversa do mesmo insumo, quando usado na fabricação de vidro plano (SAMPAIO; ALMEIDA, 2009b).

➤ Carbonato de cálcio na indústria cerâmica

De acordo com LIRA *et al* (1997), a aplicação do calcário calcítico ou dolomítico, na composição das massas cerâmicas, fornece ao produto final uma redução nas expansões térmica por umidade. O  $\text{CaCO}_3$  reage com a sílica livre amorfa resultante da queima dos componentes da mistura e forma uma fase cristalina cálcica. Os pesquisadores encontraram resultados análogos quando utilizaram carbonato de magnésio, porém com concentrações e temperaturas de queima mais elevadas. Nestas condições há formação de fases cristalinas na forma de aluminossilicatos de magnésio, como safirina.

Muitas vezes, jazidas de argila de queima vermelha, que são utilizadas para produção de cerâmica estrutural, não são exploradas de forma adequada ou simplesmente são abandonadas por causa da "contaminação" com calcário (este o principal contaminante indesejável pelos ceramistas). Um estudo feito por SOARES *et al* (2012), mostrou que a presença do calcário proporcionou a formação de fases cristalinas à base de cálcio e magnésio, fases estas que promoveram uma melhoria na estabilidade da massa cerâmica, mas em consequência disto aumentou a absorção de água e diminuiu a resistência mecânica das peças cerâmicas quando comparada aos corpos cerâmicos obtidos com a massa industrial. Todas as formulações compostas com argila com calcário obtiveram os resultados de absorção de água e resistência mecânica dentro dos parâmetros exigidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para revestimento semiporoso. Além disso, tiveram bom comportamento ao ciclo de queima e ao ambiente interno do forno industrial, demonstrando a potencialidade da aplicação da argila "contaminada" com calcário na fabricação de revestimento cerâmico.

➤ Carbonato de cálcio na indústria metalúrgica

Nas indústrias siderúrgica e metalúrgica a cal é fundamental em diversas fases no processo de obtenção de metais não ferrosos, como cobre e o zinco. A cal atua no processo de sinterização e na dessulfuração de gusa, como elemento escorificante, protetor de revestimentos refratários em fornos de aciaria e como lubrificante na trefilaria. A metalurgia de alumínio emprega a cal na causticação ou recuperação da soda cáustica usada na digestão da bauxita (APPC, 2011).

Um outro ponto a evidenciar é que o óxido de cálcio reage de imediato com impurezas, entre outras, como aquelas que contêm enxofre, segundo a reação:  $\text{CaO (do calcário)} + \text{SO}_3 \lll \ggg \text{CaSO}_3$  (na escória). Reações desse tipo são importantes nos processos pirometalúrgicos de altas temperaturas, nos quais o  $\text{CaO}$  produzido pela decomposição do  $\text{CaCO}_3$  reage com as impurezas ácidas, por exemplo, nos fornos de fabricação de ferro gusa. O uso do calcário na indústria do aço objetiva escorificar as impurezas da carga e diminuir a temperatura de fusão da carga e a viscosidade da escória, facilitando o seu escoamento. O calcário calcítico utilizado na siderurgia tem duas funções: fundente e fluxante. Quanto às especificações, esses calcários devem conter, no mínimo, 49% de  $\text{CaO}$ ; entre 2% e 4% de  $\text{MgO}$ , e entre 2% e 5% de  $\text{SiO}_2$ . A granulometria deve ser entre 20 e 49  $\mu\text{m}$ , e a perda ao fogo deve ser em torno de 40% (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

➤ Carbonato de cálcio na alimentação de animais

O calcário calcítico puro e moído é muito usado como fonte de cálcio no suplemento alimentar de animais e aves. Outras fontes de cálcio incluem conchas calcárias e mármore britados. Em ambos os casos, não há uma demanda tão significativa, a exemplo do que acontece com o calcário. O consumo de carbonato de cálcio é sazonal, mesmo assim, há uma taxa média de  $\text{CaCO}_3$  na alimentação de animais, ligada ao tipo de animal em questão. Por exemplo, para o gado de corte, demanda-se de 1,1% a 1,2% em peso de  $\text{CaCO}_3$ , na composição do bolo alimentar, e, para o frango de corte, essa demanda cresce para 3% de  $\text{CaCO}_3$ . A granulometria do carbonato de cálcio deve estar com 95% abaixo de 150  $\mu\text{m}$  e 80% abaixo de 74  $\mu\text{m}$ , apresentar baixo teor de sílica e elevadas restrições em relação aos elementos arsênio e flúor (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). Ainda, na forma de cal, é utilizado na produção de açúcar e de álcool, agindo como redutor de acidez e clarificador do caldo da cana. No setor cítrico, é agente redutor de acidez e auxiliar para secagem do bagaço de cítricos e fonte de cálcio na produção das rações preparadas à base do farelo desse bagaço (APPC, 2011).

➤ Uso do carbonato de cálcio no tratamento da água

Na forma de cal, age como poderoso bactericida e saneador de ambientes, tendo papel destacado na prevenção de males como a doença de Chagas e no combate a vetores como o vibrião da cólera. É elemento básico no tratamento de efluentes domésticos e industriais e de água para abastecimento público. Ainda, é um valioso agente dessulfurante no controle de emissões atmosféricas da indústria, contribuindo para reduzir a incidência de chuvas ácidas (APPC, 2011). Por dureza da água entende-se a característica conferida à água pela presença de sais de metais alcalinos e alcalino-terrosos (cloro, cálcio, magnésio, sódio, potássio e outros) e alguns metais, porém em menores concentrações. A maneira mais prática para identificar a dureza da água consiste na ausência da espuma, quando se usa o sabão nas operações de lavagens. No transporte da água para o abastecimento, é comum, em decorrência do equilíbrio químico desfavorável, a formação de incrustações nas tubulações, com mais intensidade, quando se trata de água quente. As incrustações decorrem da existência dos compostos químicos que tornam a água dura (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). Os compostos responsáveis pela dureza da água também respondem pelo custo elevado da água utilizada nas indústrias de bebidas, tintas, têxtil, operações de lavagem, consumo doméstico, entre outros. Nestes casos, é necessária a remoção dos compostos que provocam a dureza da água.

A cal hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$  é um dos reagentes mais usados para remoção dos íons cálcio e magnésio da água, através de reações que precipitam os compostos de cálcio e magnésio, impedindo sua disponibilidade na água e sua deposição como incrustações (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). A tabela 1 mostra as principais especificações da cal hidratada usada no tratamento de água.

Tabela 1 - Principais especificações da cal hidratada usada no tratamento de água (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

Composto	Peso (%)	Composto	Peso (%)
$\text{Ca(OH)}_2$	95,83 - 97,0	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,08
$\text{CaCO}_3$	1,3 - 1,56	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,16 - 0,20
$\text{CaSO}_4$	0,30 - 0,48	$\text{SiO}_2$	0,16 - 0,40
MgO	0,27 - 0,72	$\text{H}_2\text{O}$	0,35 - 0,60

➤ Uso de rochas para fins ornamentais ou decorativas

As rochas calcárias, notadamente, as variedades metamorfas como o mármore, são usadas como rochas ornamentais ou decorativas. Usualmente apresentam cores acinzentadas, não sendo incomum

encontradas nas tonalidades esbranquiçadas, amareladas, ou até mesmo em tons escuros. Nas rochas ornamentais, certas impurezas podem comprometer o uso do produto como rocha decorativa ou até mesmo valorizá-la, a depender da flutuação (modismo) do mercado. As impurezas mais comuns, que provocam escurecimento da rocha em tonalidades variadas, incluem óxidos de ferro e sulfetos, sílex, argilominerais, grafita e matéria orgânica, entre outros. A cristalinidade, homogeneidade da sua textura, a facilidade de polimento e até mesmo presença de fósseis fazem das rochas calcárias muito atrativas como objetos decorativos, sendo, entretanto, seu maior campo de aplicação no revestimento de pisos, paredes e fachadas internas em projetos arquitetônicos. Seu uso como elemento estrutural na construção civil foi sendo gradualmente substituído por outros materiais, como o aço e o concreto armado, que aliam vantagens de resistência e facilidade construtiva na maior escala. Desde que se desenvolveram técnicas de beneficiamento para o acabamento das peças de mármore e granitos, tais materiais passaram a ser amplamente utilizados nos revestimentos de construções mais sofisticadas, pois apresentavam características de beleza, funcionalidade, facilidade de aplicação e durabilidade, além é claro, do forte apelo de exclusividade (ALENCAR; INSTITUTO EUVALDO LODI, 2013). Em suma, os aspectos mais determinantes para a utilização das rochas para fina ornamentais estão relacionados com seu aspecto estético-decorativo, onde merecem destaque as características cromáticas, a harmonia do desenho e a sanidade da rocha. As utilizações são praticamente ilimitadas, pela infinidade de usos que se pode obter com a combinação de suas qualidades estruturais e estéticas. Contudo, estas podem ser reunidas em quatro principais grupos: arquitetura e construção, construção e revestimento de elementos urbanos, arte funerária e o de arte e decoração, sendo o setor de obras civis o campo de maior aplicação, respondendo com 75% do consumo (ALENCAR; INSTITUTO EUVALDO LODI, 2013).

#### ➤ Calcário na agricultura

Um dos mais importantes insumos minerais para a agricultura é o calcário agrícola, usado como corretivo da acidez do solo, já que, a acidez influi na toxidez de alguns elementos e na disponibilidade de nutrientes para as plantas, presentes no solo e nos dos fertilizantes incorporados. O calcário moído e seus produtos, cal virgem e hidratada e escória, dentre outros, são aplicados no solo para corrigir a acidez e promover o crescimento das plantas. Recomenda-se a sua aplicação alguns meses antes do plantio. A reação do cálcio com o hidrogênio em excesso, provoca a redução da concentração dos íons hidrogênio, elevando o pH do solo. A maior parte do calcário usado para fins agrícolas no Brasil apoia-se na aplicação direta do produto no solo. Mesmo assim, produtos, como cal virgem e hidratada, escória, dentre outros, também são utilizados na correção da acidez do solo, proporcionando atingir valores de pH entre 6 e 7, faixa considerada ótima para o cultivo de muitas plantas (SAMPALIO; ALMEIDA, 2008). O calcário, principalmente o dolomítico, proporciona dois nutrientes importantes para os solos, cálcio e magnésio, como também elementos-traço contidos na rocha calcária. O calcário também neutraliza a acidez gerada pelos fertilizantes nitrogenados, tais como nitrato, amônio e sulfatos, aumentando o cultivo e o conteúdo orgânico do solo. A taxa de aplicação do calcário no solo ( $\text{kg/m}^2$ ) depende de muitos fatores, entretanto a mais usual inclui-se na faixa entre 0,1 e 0,9  $\text{kg/m}^2$  de solo. No que toca as especificações do calcário, eles consistem no controle da concentração de CaO e da distribuição granulométrica. Para calcários puros, evidenciam-se maiores concentrações de CaO na faixa granulométrica entre 250 e 140  $\mu\text{m}$  e, ainda, maior desempenho do calcário na correção do solo (SAMPALIO; ALMEIDA, 2008).

De acordo com o Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004 que aprovou o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura (PARAHYBA, 2009). Os corretivos são produtos de natureza inorgânica, orgânica ou ambas, usados para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, isoladas ou cumulativamente, ou como meios para o crescimento de plantas, não tendo em conta seus valores como fertilizantes, incluindo a condição de não produzirem características prejudiciais ao solo e aos vegetais. Além disso, estabelece que os corretivos de acidez são os produtos que promovem a correção da acidez do solo, além de fornecerem cálcio, magnésio ou ambos. A Instrução Normativa nº 35, de 04 de julho de 2006, da Secretaria de Defesa Agropecuária – SDA do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, aprovou normas relativas ao decreto nº 4.954/2004, entre elas especificações para os corretivos de acidez dos solos, conforme são apresentadas no quadro 17 (PARAHYBA, 2009).

Quadro 17 – Especificações para os corretivos de acidez dos solos Brasileiros (PARAHYBA, 2009).

<b>Material Corretivo de Acidez</b>	<b>PN (% e CaCO<sub>3</sub>) Mínimo</b>	<b>Soma ( % CaO + MgO)</b>	<b>PRNT Mínimo</b>
Calcário agrícola	67	38	45
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Cal hidratada agrícola	94	50	90
Cal virgem agrícola	125	68	120
Parâmetros de referências para outros corretivos de acidez	67	38	45

De acordo com os dados mostrado no quadro 17 para que um material seja classificado como corretivo de acidez, alguns condicionantes devem ser observados, quais sejam:

- ✓ Poder de Neutralização – PN: capacidade potencial do corretivo em neutralizar ácidos e é expressa em teor de neutralizante equivalente ao carbonato de cálcio ( $E_{CaCO_3}$ ) presente na amostra, cujos métodos analíticos estão previstos na Instrução Normativa SDA nº 28, de 27 de julho de 2007;
- ✓ Teor em óxidos de cálcio e magnésio; e
- ✓ Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT: calcula a eficiência de calcários corretivos agrícolas e é estabelecido em relação ao PN e à Reatividade das partículas – RE. Esta última é calculada a partir da granulometria do corretivo (Reatividade zero para a fração retida na peneira ABNT n.º 10; reatividade 20% para a fração que passa na peneira ABNT n.º 10 e fica retida na peneira ABNT n.º 20; reatividade 60% para a fração que passa na peneira ABNT n.º 20 e fica retida na peneira ABNT n.º 50; e reatividade 100% para a fração que passa na peneira ABNT n.º 50).

A legislação brasileira de corretivos admite as seguintes faixas, na comercialização de um calcário agrícola (DNPM/ANM, 2020):

Faixa A - calcário com PRNT entre 45,0 e 60,0 %;

Faixa B - calcário com PRNT entre 60,1 e 75,0%;

Faixa C - calcário com PRNT entre 75,1 e 90,0 %;

Faixa D - calcário com PRNT superior a 90,0 %.

Calcários com PRNT menor que 45% não podem ser comercializados, e mesmo que a legislação brasileira apresente quatro faixas de variação de PRNT para calcários agrícolas (45% a mais de 90%), o mercado não aceita produtos com PRNT menor do que 67%. Quanto maior o PRNT menor o tempo de reação no solo, permitindo que seja aplicado com menos antecedência (NAHASS; SEVERINO, 2003). A taxa de aplicação do calcário no solo, ou seja, a calagem, varia de 6 a 7 toneladas por hectare, na abertura de novas áreas agrícolas, e de cerca de três toneladas por hectare a cada dois a cinco anos, uma vez que, os benefícios da calagem se prolongam por 2 a 5 anos, dependendo da cultura (BNDES, 1997).

#### 11.1.5. ESTRUTURA PRODUTIVA

A produção de calcário destinado à indústria de cal e na fabricação do calcário agrícola está relativamente concentrada nas maiores empresas produtoras. No que tange às usinas de beneficiamento de calcário, diferentemente da situação do parque de mineração, onde há um grande número de pequenas e médias empresas de mineração atuantes, a produção de calcário beneficiado se dá com uma distribuição relativamente concentrada em grandes e médias empresas beneficiadoras (SILVA, 2009). As empresas do setor produtivo da cal, consideradas grandes, principalmente aquelas que produzem mais de 500 mil toneladas por ano, possuem

um padrão organizacional elevado, comparável às empresas de países desenvolvidos produtores de cal. Por outro lado, as pequenas empresas apresentam carência na administração profissional do negócio, além de deficiências na capacitação gerencial, prevalecendo uma gestão onde o empresário e seus familiares são os administradores (SILVA, 2009c). Segundo NEVES; SILVA (2007), que classificaram as minas brasileiras em um levantamento sobre o universo da mineração brasileira, o conjunto das minas foi estratificado de acordo com a sua produção bruta (*Run-of-Mine*), resultando em três categorias de porte: minas grandes (produção > 1 milhão toneladas /ano); minas médias (entre 1 milhão de toneladas/ano e maior que 100 mil toneladas/ano) e minas pequenas (até 100 mil toneladas/ano e maior que 10 mil t/ano). De acordo como este estudo, menos de 10% das minas de calcário eram classificadas como grandes, tendo sua maioria classificada como de médio e pequeno porte. O estudo também apontou que as maiores indústrias estavam concentradas no setor de cimento. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2016), o parque produtor de cimento brasileiro é constituído por cerca de 100 fábricas produtoras de cimento, controlados por 24 grupos industriais (com 34 marcas de cimento).

De acordo com SILVA (2009c), a Associação Brasileira dos Produtores de Cal – ABPC, classifica os produtores de cal como: integrados, que produzem cal (virgem e hidratada) a partir do calcário produzido em minas próprias; não integrados, que produzem (cal virgem e hidratada) a partir do calcário comprado de terceiros; transformadores, que realizam a moagem e/ou produzem cal hidratada a partir de cal virgem adquirida; e cativos, que produzem a cal para consumo próprio, como as siderúrgicas. Tendo em vista que na prática industrial há uma relação média de consumo de 2,0 toneladas de calcário para 1,0 t de cal produzida (SAMPALIO; ALMEIDA, 2009a), considerando ainda que a produção de cal no Brasil, estimada para o ano de 2018, foi de 8,4 milhões de toneladas e a produção de calcário agrícola de 43,0 milhões de toneladas (ABRACAL, 2019), conclui-se que a movimentação de calcário destinado ao setor agrícola gira entorno de 42% de toda produção nacional.

O parque produtor de rochas carbonáticas é geograficamente bem distribuído pelo Brasil. O quadro 18 mostra algumas das principais empresas deste setor, considerando sua produção direcionada ao fornecimento para as indústrias cimenteira e de cal, para fabricação de calcário agrícola e de outros produtos e subprodutos.

Quadro 18 – Algumas das principais empresas produtoras do setor de rochas carbonáticas (SNIC, 2016; SILVA, 2009c; NEVES; SILVA, 2007).

GRUPOS	MARCAS QUE PRODUZEM	UNIDADES DE PRODUÇÃO	UF COM UNIDADES DE PRODUÇÃO
VOTORANTIM	VOTORAN , POTY, ITAU, TOCANTINS, ZINCAL(VOTORAN , POTY, ITAU, TOCANTINS, ZINCAL(CALCÁRIO AGRÍCOLA))	28	CE-DF-GO-MA-MG-MS-MT-PA-PE-PR-RJ-RO-RS-SE-SP-TO
INTERCEMENT	CAUÊ, CIMPOR, ZEBU E GÓIAS	16	AL-BA-GO-MG-MS-PB-PE-RS-SP
NASSAU	NASSAU E ITA	11	AM-BA-CE-ES-MA-PA-PE-PI-RN-SE
LAFARGEHOLCIM	LAFARGE, MONTES CLAROS, MAUÁ E HOLCIM	10	BA-MG-GO-PB-RJ-ES-SP
MIZU	MIZU	7	AM-ES-RJ-RN-SE-SP-MG
CSN	CSN	2	MG e RJ
TUPI	TUPI	3	MG-RJ-SP
CIPLAN	CIPLAN	1	DF
CIMENTO ITAMBÉ	ITAMBÉ	1	PR
CRH	CAMPEÃO E ALVORADA	4	MG-RJ
RICARDO BRENAND	NACIONAL	2	MG e PB
LIZ	LIZ	1	MG
SECIL	SUPREMO	2	PR E SC
IVENS DIAS BRANCO	APODI	2	CE

ELIZABETH	ELIZABETH	1	PB
GRUPO ASA	FORTE	1	PE
QUEIROZ GALVÃO E CORNÉLIO BRENNAND	BRAVO	1	MA
CVB (MASAVEU E FERROESTE)	AÇAI	1	MA
MINERADORA CAMOCAL	UAU	1	MG
GRUPO PETRIBU	PAJEÚ	1	PE
POZOSUL	POZOSUL	1	SC
ICIBRA	LAFARGE	1	MA
CIMENTO ZUMBI	CIMENTO ZUMBI	1	AL
CIMENTO ELO	ELO	1	RN
DAGOBERTO BARCELLOS S.A.	PRIMOR - FINALIZA (também calcário agrícola)	3	RS
LHOIST DO BRASIL LTDA.	BELOCAL	4	MG - ES
GRUPO BRITACAL	BRITACAL	9	GO - MG- TO -BA
GRUPO PAGLIATO (GMIC)	MINERCAL	3	SP
CARBOMIL S.A. MINERAÇÃO E INDÚSTRIA.	CARBOMIL	2	CE
GRUPO BRASICAL	BRASICAL	1	MG
GRUPO ICAL	ICAL-SUPERCAL	2	MG
GRUPO CALPAR	CALPAR/CALCÁRIO AGRÍCOLA	3	PR
QUALLICAL INDÚSTRIA E COMERCIO LTDA.	QUALLICAL	1	SP
IND. DE CAL CRUZEIRO LTDA.	CAL CRUZEIRO	1	MG
MINERAÇÃO LAPA VERMELHA (MLV)	UNICAL- DOLOCAL	2	MG
CALCÁRIO CALPONTA LTDA	CALPONTA	1	PR
IRMÃOS CIOCCARI & CIA LTDA.(FIDA)	CALCÁRIO AGRÍCOLA FIDA E CAL FIDA	2	RS

#### 11.1.5.1. ETAPAS DA CADEIA PRODUTIVA

Os depósitos de rochas carbonáticas podem ocupar em grandes extensões territoriais e apresentar espessura de centenas de metros das camadas de minério, possibilitando a existência de minas de calcário com operações de grande porte e longa vida útil.

O tratamento das rochas calcárias depende do uso e especificações do produto final. A lavra seletiva, a catação manual, a britagem em estágio unitário e o peneiramento são os métodos usuais para obtenção de produtos, cuja utilização final não requer rígidos controles de especificações. Este é o caso, especialmente, para o calcário agrícola. A cominuição do calcário normalmente é realizada via seca, seguindo as etapas de britagem, classificação, moagem em moinho de rolos tipo Raymond ou em moinhos tubulares com bolas (SILVA, 2009d).

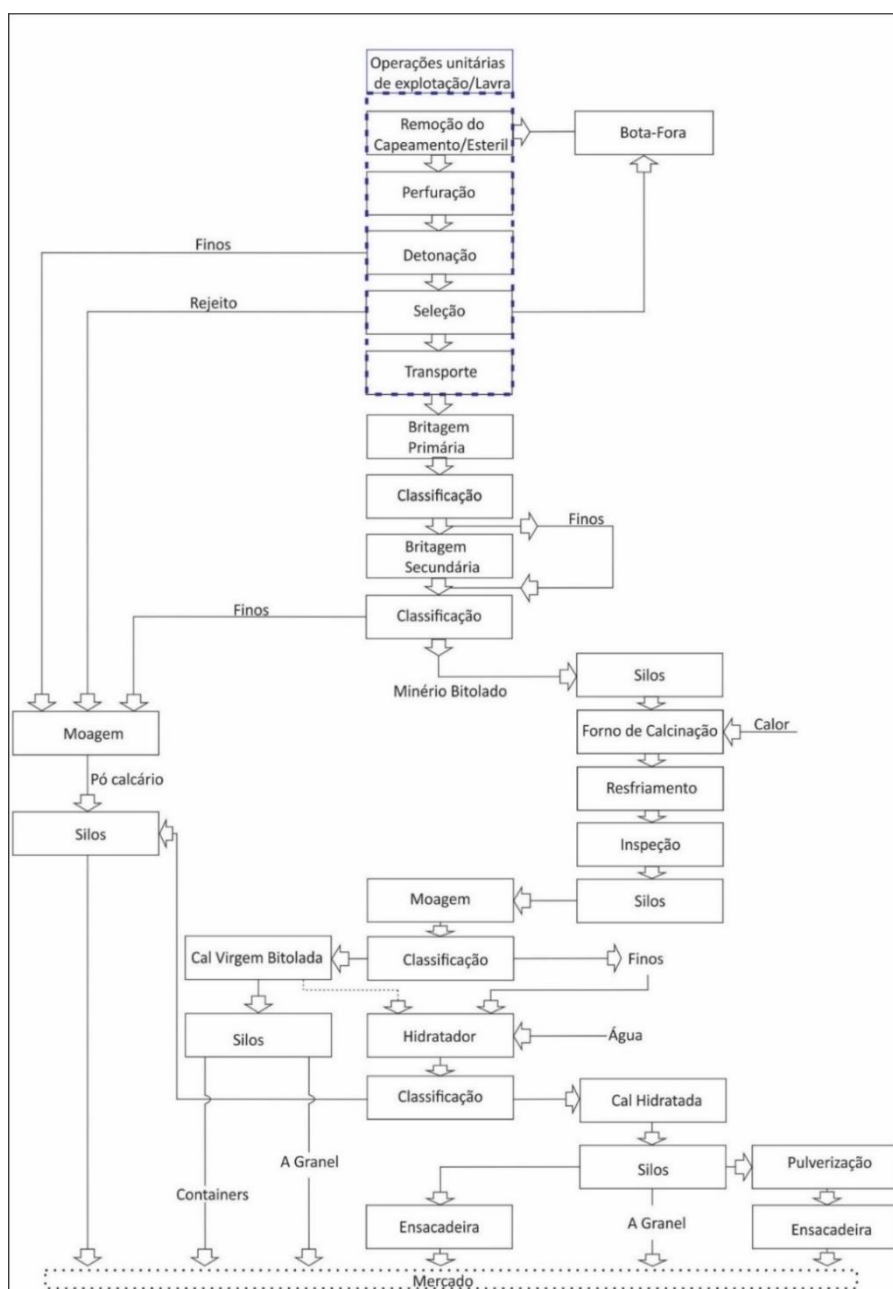
No estado do Mato Grosso foi observado que na maior parte das minas localizadas no estado o processamento do calcário agrícola visa basicamente sua utilização na calagem dos solos, sendo os calcários magnesianos ou dolomitos o principal alvo das moageiras. O fluxo da etapa de lavra segue o seguinte roteiro: Decapeamento – Perfuração – Desmonte por explosivos – carregamento – transporte – Beneficiamento.

No tocante ao beneficiamento, minério sofre apenas modificações físicas a seco, com a utilização de britadores primários, rebritadores e moinhos, que promovem a redução da granulometria para os valores exigidos pelo mercado e pela regulamentação do Ministério da Agricultura. Os britadores primários, em sua totalidade, são do tipo mandíbula e precedidos de grelha (peneira) para eliminação de material do capeamento proveniente da lavra. Em alguns circuitos as grelhas também precedem os rebritadores. Essas grelhas, além de otimizar as performances dos equipamentos, melhoram a qualidade do produto final (pó calcário). Na britagem secundária e terciária são utilizados britadores de mandíbulas ou cônico e na moagem do minério, comumente o moinho de martelos ou tubulares com bolas (LIMA *et al*, 2008).

Conforme SILVA (2009d), a depender da aplicação agrícola pretendida, ela pode envolver a aplicação do calcário na forma de cal. Nesse caso, o calcário é calcinado a temperaturas em que ocorre a dissociação do carbonato de cálcio (ou carbonato de magnésio, nos calcários magnesianos). Em muitas unidades produtivas são obtidos diversos produtos, e o minério produzido que não atende às especificações para certos usos, ainda pode ser aproveitado para outros fins, como, por exemplo, usado como agregados para a construção civil (SILVA, 2009d).

De forma sumariada, no caso da produção da cal virgem, após o processo de cominuição (britagem e moagem) o material previamente classificado granulometricamente é submetido a um processo reacional de decomposição térmica em fornos de calcinação industrial de forma a produzir a cal virgem. Esta etapa (processo de calcinação) exige maior custo operacional e de investimento, além de uma mão de obra mais qualificada. A cal produzida é seccionada de acordo com os parâmetros de qualidade e certificações por análises laboratoriais (SOARES, 2007). A figura 70 mostra o fluxograma esquemático, simplificado, do processo produtivo da cal e outros produtos de menor complexidade tecnológica.

Figura 70 – Fluxograma esquemático, simplificado, do processo produtivo típico da cal e outros produtos de menor complexidade tecnológica (adaptado de SOARES,2007).

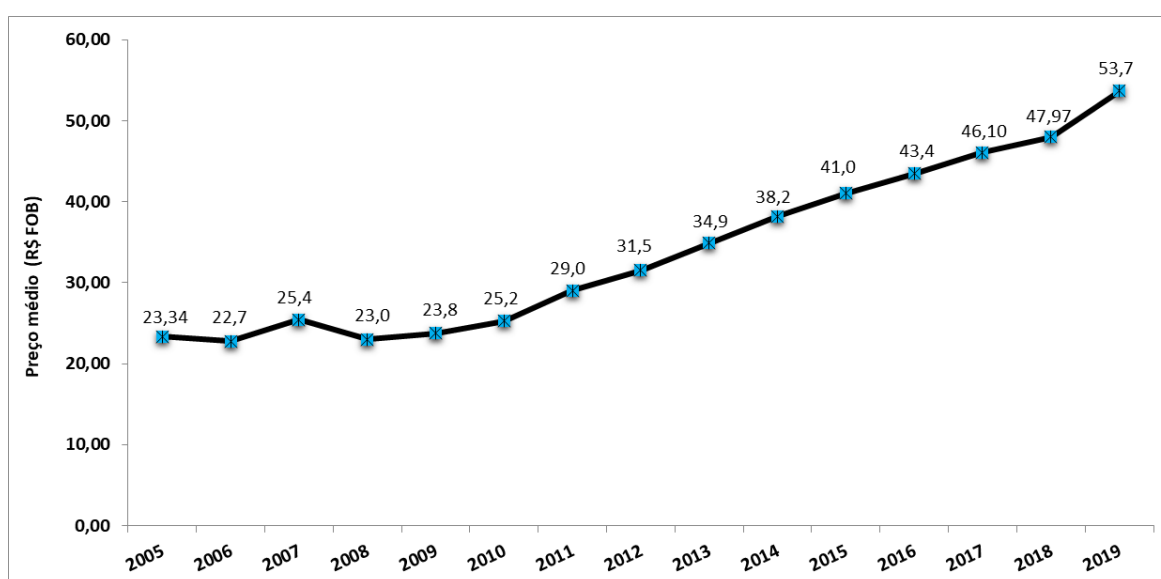


## 11.2. PREÇOS

O preço dos produtos provenientes das rochas carbonáticas varia de acordo com a função ou aplicação, e com o nível de beneficiamento empregado. No caso da cal, o que mais interfere com seu preço é o seu grau de pureza, os materiais presentes na composição e o processo produtivo envolvido.

No caso do calcário agrícola, as considerações mais importantes na avaliação do seu preço, referem-se ao diferencial entre o PN (poder de neutralização, definido pelas quantidades de cálcio magnésio que compõem o produto) e o PRNT (poder relativo de neutralização total, que leva em conta o PN e a finura do produto), além da localização da mina e da planta de beneficiamento, pois o custo do frete é um fator primordial no custo final do produto comercializado. No período entre 2005 e 2019 o calcário agrícola, apresentou uma valorização de 130%, com aumento do preço médio de R\$23,3/tonelada para R\$53,7 /tonelada. A figura 71 mostra a evolução dos preços médios de comercialização do calcário agrícola entre 2005 e 2019.

Figura 71 – Evolução dos preços (FOB) médios do calcário agrícola no período de 2005 a 2018 (a granel) no período de 2005 a 2019 (DNPM/ANM, 2020); ABRACAL, 2019).



No Brasil, os preços da cal virgem e cal hidratada evoluíram, em média, mais de 10% a.a. (CAGR, taxa de crescimento anual composta) no período de 2005 a 2018, em função da demanda da construção civil, agrícola e outros, apesar das várias turbulências e crises no mercado nacional e internacional neste período.

Os Estados Unidos também obtiveram uma boa valorização com os produtos de cal (virgem e hidratada), porém esta evolução foi bem mais tímida, cerca de 3,8 % a.a. CAGR no período analisado. O quadro 19 apresenta a evolução dos preços médios de comercialização cal (cal virgem e cal hidratada) no Brasil e nos EUA, no período de 2005 a 2018. Os dados do Brasil (BR) relativos ao período 2015 – 2019 foram obtidos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que é gerido pela Caixa Econômica Federal e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O sistema reúne informações sobre referências de preços de insumos e de custos de composições de serviços da construção civil, de todas unidades da federação do Brasil (SINAPI, 2019).



Quadro 19 – Evolução dos preços médios de cal (cal virgem e cal hidratada) nos mercados brasileiro (BR) e americano (EUA) entre 2005 e 2018 (USGS, 2020d; DNPM/ANM, 2020; SINAPI, 2020).

Ano	Brasil - BR (R\$/t)		EUA (US\$/t)	
	Preço Cal Virgem	Preço Cal Hidratada	Preço Cal Virgem	Preço Cal Hidratada
2005	150,00	200,00	72,10	91,10
2006	170,00	250,00	78,10	98,30
2007	168,00	281,00	84,60	102,40
2008	184,80	228,80	89,20	106,00
2009	220,00	284,12	102,00	126,40
2010	216,30	339,00	127,70	125,00
2011	85,70	198,30	107,90	130,90
2012	211,90	235,40	115,40	136,90
2013	311,00	321,00	117,80	140,60
2014	262,68	298,51	119,10	142,20
2015*	365,00	770,00	121,50	146,40
2016**	635,00	555,00	121,00	145,50
2017**	690,00	600,00	122,10	147,10
2018**	715,00	625,00	124,60	151,50

Nota: \*Dados BR - SINAPI (2015-2018), média de preços de referência dos estados: PE, AM, PA, MG, SP e RS - mês de referência: maio (cal virgem e cal hidratada para argamassa); \*\*Dados BR, cal virgem para argamassa (NBR 6453), mês de referência: maio.

### 11.3. SINOPSE DA CADEIA PRODUTIVA DO CALCÁRIO NO ESTADO DO PARÁ

O estado do Pará possui reservas de rochas carbonáticas de aproximadamente 1,34 bilhões de toneladas (DNPM/ANM, 2020), e quase todo o calcário produzido no Estado, cerca de 98%, é destinado à indústria de cimento, formado pelas fábricas da CIBRASA, no município de Capanema, Votorantim Cimentos, município de Primavera, e ITACIMPASA (Grupo João Santos), no município de Itaituba. Entretanto, é importante informar que esta última, fabricante do cimento da marca Nassau, devido a problemas de gestão interna no Grupo controlador, paralisou suas atividades em fins de 2018.

A unidade instalada em Capanema/PA, trata-se da primeira indústria de cimento implantada no Pará, inaugurada na década de 1960, que, apesar da defasagem tecnológica, continua em operação. A fábrica de Itaituba/PA, por sua vez, apesar de moderna, está paralisada, como citado acima. Já a unidade instalada em Primavera/PA, inaugurada em 2016, continua em operação, possuindo uma capacidade para produção de 1,2 milhões de toneladas de cimento (DIGEM/SEDEME, 2020).

Apesar da crise desencadeada no Grupo João Santos, que levou ao fechamento da sua unidade localizada em Itaituba, existe perspectiva de crescimento da indústria do cimento no estado, assim como de alta no consumo de calcário agrícola, dada a tendência crescente do agronegócio no Pará e a necessidade de manter ou elevar a produtividade dos solos. Neste sentido, é importante acrescentar, que levantamento realizado pelo IBGE no início de 2021 para o Estado do Pará (REDEPARÁ, 2021), estimou que o crescimento da produção agrícola do estado deverá chegar a mais de 3,3 milhões de toneladas já em 2022, uma variação positiva de 17% em relação a 2020, sendo o crescimento da área plantada atingir 1,1 milhão de hectares neste mesmo período, um aumento de 14,6% em relação a 2020. A produção de grãos, da sua parte, tem previsão de crescimento, com destaque para a soja, que deve produzir 2,1 milhões de toneladas (17,6% acima da estimativa de 2020).

Em relação a cal, não há produção deste insumo no Estado, sendo toda a cal consumida no Pará importada de diversas partes do Brasil, que envolve quase duas dezenas de estados. Os setores consumidores da cal no estado são a agropecuária, as empresas de água e esgoto, comércio, construção civil, indústria de transformação, indústria extrativa e de serviços. Com uma movimentação de 36 milhões de reais em 2014 no comércio da cal, o destaque foi a indústria de transformação, com investimentos de 12 milhões na aquisição de cal viva para a produção de laminados de alumínio (DIGEM/SEDEME, 2020).

No Estado do Pará existem cinco polos de produção de calcário (DIGEM/SEDEME, 2020), os quais são descritos a seguir:

- **Polo Araguaia** – o depósito é formado por metadolomitos da Sequência Santa Fé, localizados na Fazenda homônima, no município de Santana do Araguaia. O depósito Santa Fé possui uma reserva estimada de dois milhões de toneladas e reserva medida de um milhão de toneladas, com teores de 15 – 19% MgO e de 27 – 30% CaO, e com PRNT entre 95 – 105%. A empresa Agropastoril do Araguaia opera a lavra e beneficia e comercializa o insumo na própria Fazenda Santa Fé. O calcário agrícola é vendido a granel;
- **Polo Baixo Amazonas** – no município de Monte Alegre/PA há uma produção significativa de brita e pó de rocha a partir de rochas calcárias que compõem o arcabouço geológico da Bacia do Amazonas e compreendem as áreas de ocorrência das Formações Itaituba/Nova Olinda (Permo-Carbonífero). As reservas medidas somam 58 Mt, sendo 46 Mt nos depósitos da colônia da Mulata e 12 Mt nos depósitos da serra de Itauajuri e com os seguintes teores: 30 - 43% de CaO; 0.8 – 1,8% de MgO, 0 - 10% SiO<sub>2</sub> e 56% de PN.
- **Polo Carajás** – ocorrem depósitos de calcário nas Formações Pedra de Fogo e Couto Magalhães ao norte do Cinturão Araguaia. Nessa região a mina de calcário (Globo Verde Mineração) está localizada no Município de Palestina, localizada a 138 Km do município de Marabá/PA, onde há produção de calcário calcítico e dolomítico. Em dezembro de 2019, a Mineradora Calmp (Grupo SM Minérios do Brasil), situada no município de São Geraldo do Araguaia a 162 Km de Marabá, iniciou a operação de beneficiamento de calcário destinado a agricultura, com teores médios de 30% de hidróxido de cálcio, 17% de óxido de magnésio e 4% de silício (Quadro 20).

Quadro 20 - Depósitos de calcário das Formações Pedra de Fogo (DIGEM/SEDEME, 2020).

Rochas	Depósitos	Reservas/Teores
Formação Pedra de Fogo	Itamirim	11 Mt reserva estimada / 3,7-4,1% MgO, 32-49% CaO
	Palestina	39 Mt reserva estimada; 7,6 Mt reserva medida/ 6-8% MgO, 38-40% CaO
Formação Couto Magalhães	NE do Tocantins	21Mt calcítico e 3,7 Mt dolomítico reserva estimada

- **Polo Caeté** – nesta região há ocorrência, predominantemente, de rochas carbonárias calcíticas, ou seja, com teores de < 5% MgO. Relativamente próximas às ocorrências estão instaladas as indústrias de cimento CIBRSA, município de Capanema, e a Votorantim Cimentos, município de Primavera;
- **Polo Tapajós** - nessa região, onde estão localizados os ativos de calcário da CPRM, a lavra do minério atende a indústria de cimento, ITACIMPASA, no município de Itaituba, e de corretivo de solos, a COMINA, em Rurópolis. Os depósitos de calcário ocorrem nas rochas das Formações Nova Olinda e Itaituba do Grupo Tapajós (Quadro 21).

Quadro 21 - Depósitos de calcário do Grupo Tapajós (DIGEM/SEDEME, 2020).

Depósitos	Reserva medida	Teores
Itaujari	12 Mt	1,4% MgO, 46,5% CaO
Mulata	35 Mt	2% MgO, 47% CaO
Jibóia	200 Mt e 26 Mt*	8% MgO, 42% CaO

\*Reserva medida de calcário agrícola

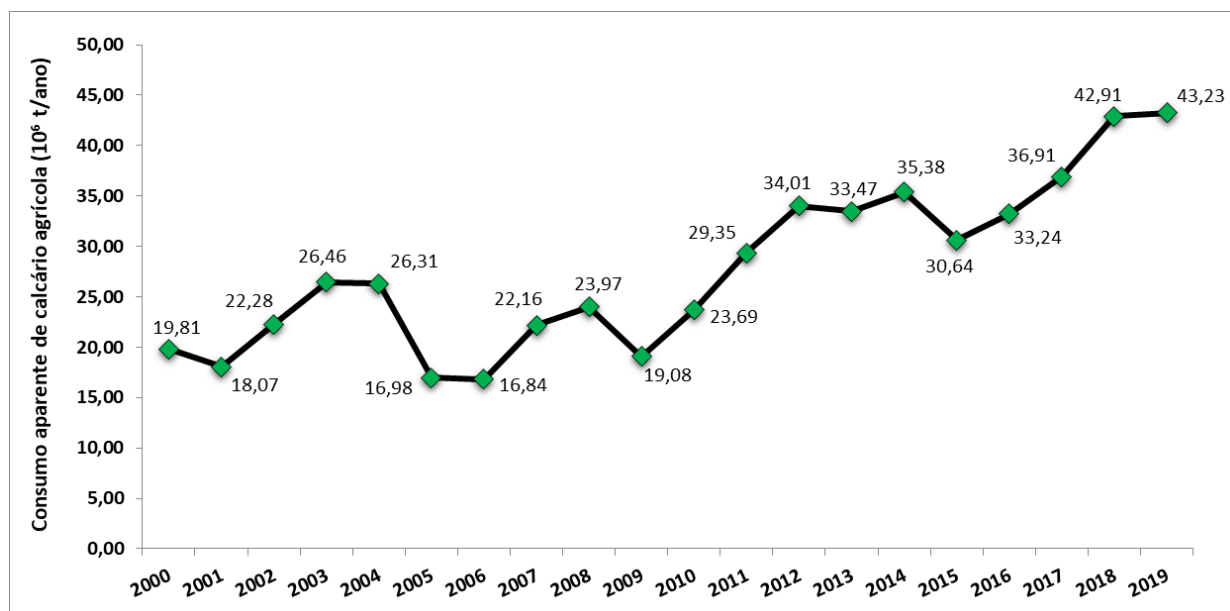
#### 11.4. PERSPECTIVAS, INVESTIMENTOS E PROJEÇÕES

Embora em meio à crise do Coronavírus (COVID-19) e à iminente recessão econômica, a previsão para o mercado mundial de calcário é de crescimento entre 2020 e 2027, impulsionado por uma Taxa de Crescimento Anual Composta (CAGR) de 1,6%. Assim, o mercado global de calcário, estimado em US\$ 58,5 bilhões no ano de 2020, está projetado para atingir US\$ 65,3 bilhões em 2027 (RESEARCH AND MARKETS, 2020).

Um período incomum na história, a pandemia de (COVID-19) desencadeou uma série de eventos sem precedentes que afetaram, e ainda afetam, todos os setores produtivos no planeta. A previsão para o mercado de calcário, como para tantos outros, é sua redefinição para uma nova normalidade que, provavelmente, em uma era pós COVID-19, deverá ser continuamente reavaliado e redesenhado. Grandes incertezas mercadológicas são vislumbradas no horizonte dos próximos meses e até anos, sendo necessárias mudanças e adaptações contínuas às novas condições do mercado em evolução (PRNEWswire, 2020).

Entretanto, mesmo nesse período incomum que afeta o mundo, a previsão é de aumento no consumo de produtos finais de calcário. Setores ligados as indústrias de papel e celulose, tratamento de água e esgoto, agricultura, plásticos, construção civil e siderúrgica, dentre tantos, são encarados como destaques impulsionadores para o mercado do calcário. O fato de ser um dos bens minerais com uma vasta gama de aplicações na indústria, legitima o setor de calcário como um dos mais importantes da mineração brasileira. Neste contexto, vale destacar o crescimento da indústria de corretivos para a calagem de solos, amparado pelo peso maiúsculo do agronegócio na economia nacional, sendo tal segmento o segundo maior consumidor de calcário no país. De acordo com a ABRACAL (2020), o consumo de calcário no agronegócio brasileiro, apenas no período de 2017 a 2019, apresentou uma alta de 17%, indo de 36,9 milhões de toneladas para 43,2 milhões de toneladas. A evolução das pesquisas sobre a correção da acidez de solos com desenvolvimento de novos processos tecnológicos nas práticas agrícolas e com a produção de produtos inovadores é apontada como um dos pontos chaves para esse avanço. Além de tudo, a velocidade do incremento de novas tecnologias nas operações de campo, principalmente no manuseio de equipamentos de forma autônoma, faz com que a cada ano se produza mais, demandando maior a necessidade de insumos básicos para atender a contínua elevação da produção. Neste contexto, o calcário é um dos insumos mais importantes, com reservas praticamente inesgotáveis, que nunca deixarão de existir. As características do solo brasileiro, em sua maior parte, ácidos, seja pela sua própria natureza, seja em decorrência do uso de sistemas de irrigação ou de seu uso continuado, garantem sem sombra de dúvida a evolução crescente do mercado do calcário (ABRACAL, 2020). As culturas em geral são tolerantes à acidez, que não impede o seu desenvolvimento, mas é num ambiente de neutralidade que as plantas adquirem máxima produtividade. Não é à toa que na série histórica do consumo aparente de calcário agrícola no período de 2000 a 2019, se constata um crescimento considerável (mais de 118%), período no qual, houve evolução de 19,81 milhões para 43,2 milhões toneladas consumidas, como mostra a figura 72.

Figura 72 – Evolução do Consumo aparente de calcário agrícola no Brasil no período de 2000 a 2019, segundo dados da ABRACAL (Elaboração: Gustavo Alexandre Silva).



### 11.3. SUBSTITUTOS

Na construção civil a cal funciona como uma substância aglomerante, ou seja, é o produto que “dá a liga” para a argamassa utilizada em assentamentos e revestimentos. Após o período de secagem (chamado de “cura”), a cal volta a “ser rocha”, trazendo resistência extra, com uma eficácia tão elevada que até hoje nenhum outro agregado conseguiu substituí-la, seja químico ou natural. A cal também é usada na pintura de paredes, seja como base para tinta ou para acabamentos mais rústicos, em um método conhecido como “caiação”.

O calcário, em relação ao seu subproduto, a cal, é um substituto em muitas aplicações, como na agricultura, fundente e remoção de enxofre. O calcário, que contém menos material reativo, é mais lento para reagir e pode ter outras desvantagens em comparação com cal, dependendo da aplicação. No entanto, o calcário é consideravelmente mais barato do que a cal. O gesso calcinado, oriundo da calcinação da gipsita, é um material alternativo a argamassa na construção civil. Cimento, pó de forno de cimento ou cinza volante (ou cinzas de combustível pulverizadas) são substitutos potenciais para alguns usos da cal na construção. O hidróxido de magnésio é um substituto da cal no controle de pH, e o óxido de magnésio é um substituto da cal dolomítica como fundente na siderurgia (USGS, 2019).

Vantagens da cal hidratada sobre outros substitutos no mercado está atrelado a sua propriedade aglomerante, que promove maior resistência e reduz a quantidade de cimento necessária na obra, dispensando o uso de qualquer tipo de aditivo na mistura, além do que não possui substâncias voláteis potencialmente tóxicas que podem estar presentes nos aditivos misturados na argamassa. Sua natureza alcalina a torna um revestimento com funções bactericida e fungicida, combatendo o mofo, permitindo a transpiração e evitando o descolamento da tinta e a formação de bolhas nas superfícies. Os substitutos da cal disponíveis no mercado, como os plastificantes, não proporcionam as vantagens listadas acima. Sua utilização na pintura, seja como base ou como acabamento, também tem um custo menor que o uso da tinta acrílica ou em Acetato de Polivinila – PVA (FIDA, 2020).

O uso do carbonato de cálcio na indústria papeleira cresce, sistematicamente, desde o seu ingresso no mercado, como substituto do caulim e do óxido de titânio, em aplicações como carga e cobertura (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008). Há uma tendência dos fabricantes de papel para maior uso de produtos carbonatados, segundo as versões GCC (Carbonato de Cálcio Moído) e PCC (Carbonato de Cálcio Precipitado). Geralmente, as unidades produtoras de PCC ficam localizadas nas próprias fábricas de papel, eliminando, dessa forma, a etapa de secagem do carbonato, além do que permite utilizar o CO<sub>2</sub> disponível na própria fábrica, que é um insumo necessário à produção do PCC.

### 11.4. DINÂMICA ECONÔMICA DA REGIÃO RI TAPAJÓS – PA E INVESTIMENTOS

A região onde estão localizados os direitos minerários da CPRM relativos ao calcário, é denominada Região de Integração (RI) Tapajós, a qual criada pelo Decreto Estadual nº 1.066, de 19 de junho de 2008 e abrangendo seis municípios: Aveiro, Itaituba, Jacareacanga, Novo Progresso, Rurópolis e Trairão.

Sua população, em 2018 foi estimada em 253.023 habitantes, equivalente a 3% da população estadual. Itaituba é o município de maior contingente populacional, representando 40% da população da RI, seguido de Rurópolis (20%) e Novo Progresso (10%). A taxa de crescimento populacional médio da região entre 2010 e 2018 foi de 0,64%, abaixo da média estadual, de 1,46%, para o mesmo período.

O Produto Interno Bruto (PIB) da região em 2016 atingiu R\$ 3 bilhões, que equivale a 2% do PIB Estadual. Na composição do PIB, o setor de serviço contribuiu com 33%, a atividade da administração pública com 26%, a agropecuária com 20%, a indústria com 12%, e os Impostos sobre produtos com 9% (PARÁ, 2019).

De acordo com o plano plurianual 2020-2023 da RI Tapajós estava previsto investimentos governamentais em infraestrutura e logística da ordem de R\$1,7 milhões, R\$ 2,3 milhões em programas relativos ao meio ambiente e ordenamento territorial, R\$1,8 milhões em educação profissional e tecnológica, R\$ 100,6 milhões em desenvolvimento urbano, habitação, saneamento e mobilidade, além de investimentos de cerca de R\$ 7,6 milhões no setor agrícola, pecuária, pesca e aquicultura. Estes investimentos quando somados aos de outros setores (como Ciência, Tecnologia e Inovação, saúde e segurança, etc.), totalizariam R\$ 684,6 milhões no período de 2020-2023 (PARÁ, 2019).

Os principais setores de atividades produtivas na região são o extrativo e transformação mineral, construção civil, comércio e agropecuário. Contudo, vislumbra-se uma dinâmica econômica por parte dos investidores na produção de matérias-primas, principalmente as relacionais com o setor produtivo do calcário.

É importante acrescentar, que a RI Tapajós faz parte das principais zonas de tráfego fluvial do estado do Pará, que é a Hidrovia do Tapajós-Teles Pires (DNIT, 2021), utilizada para escoamento da produção de grãos provenientes do estado do Mato Grosso através das rodovias BR 163 e BR 230, constituindo atualmente uma das maiores atividades econômicas, senão a maior, da região. O terminal portuário de Miritituba, em Itaituba, situado na margem direita do rio Tapajós, é um dos seus pilares. Grandes empresas ligadas ao segmento já se encontram instaladas no terminal portuário, que incluem a Bunge, Cargill e Amaggi, que dispõem de silos de armazenamento de grãos e movimentam suas cargas através de suas ECT's (Estações de Transbordo de Cargas) com transferência das *commodities* agrícolas para barcas, que são destinadas a terminais de uso privado localizados nos municípios de Barcarena (PA), Santarém (PA) e Santana (AP). No seu retorno, transportam outras mercadorias, como agrotóxicos (INESC, 2021).

Segundo o plano plurianual 2020-2023 idealizado pelo governo do estado (PARÁ, 2019), investimentos privados eram previstos para o período de 2018 a 2030, com a RI Tapajós podendo ser contemplada com cerca de R\$12,14 bilhões, que representa 9,6% do total para o estado, destacando-se projetos como a ferrovia Sinop (MT) - Miritituba (PA), com investimentos previstos de R\$10 bilhões, e de um terminal em Miritituba, R\$45 milhões.

## 11.5. PROJEÇÕES

A cadeia produtiva do setor de rochas carbonáticas destinada produção de cal (cal vagem e cal hidratada, e demais subprodutos) possui inconsistências de dados estatísticos quanto a produção nacional e seu destino, seja para construção civil, setor de tintas, vidro, entre outros. Este fato prejudica as projeções sobre consumo futuro por parte do mercado em geral (demanda). No entanto, a cadeia produtiva do calcário agrícola, especificamente, apresenta dados mais consistidos e com um bom período histórico de informações sobre produção e consumo, permitindo a possibilidade de realizar projeções por meio de modelos estatísticos. Neste sentido, foi realizada projeção para o consumo de calcário agrícola no Brasil, para os próximos 7 anos, com base nos dados históricos disponibilizados pela Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola entre 2000 e 2019 (ABRACAL, 2018; 2019).

A hipótese considerada nas projeções leva em conta que o crescimento do agronegócio manterá a linha de crescimento médio observado nos últimos 19 anos, sustentando o consumo de calcário agrícola, mesmo em período de crise, já que o setor de alimentos se mostra sempre resiliente mesmo em períodos de dificuldades da indústria brasileira. Neste sentido, vale destacar a crescente demanda externa por *commodities* agrícolas brasileiras, por parte de países como a China, União Europeia, Estados Unidos, Japão, Reino Unido, entre outros (SUINOCULTURAINDUSTRIAL, 2020).

Quanto ao apetite da indústria nacional pelo setor de calcário agrícola, há um crescente interesse de grandes grupos empresariais, como o Grupo Votorantim, que, devido a lenta recuperação econômica de setores relacionados ao consumo da cal e da construção civil, promoveram mudanças de foco, passando também atuar com maior ênfase no agronegócio nacional. Aliado a esse ambiente, existem planos de ampliação da capacidade produtiva de calcário agrícola em regiões estratégicas do Brasil.

Em 2020 a Grupo Votorantim lançou uma nova marca (Viter) na sua unidade de negócios de insumos agrícolas, criada com intuito de reforçar a estratégia do Grupo de ampliar a atuação no agronegócio. A Votorantim vem investido fortemente no segmento desde 2016, sendo atualmente líder na comercialização de calcário agrícola no Brasil e a única empresa com presença nacional (VOTORANTIMCIMENTOS, 2020).

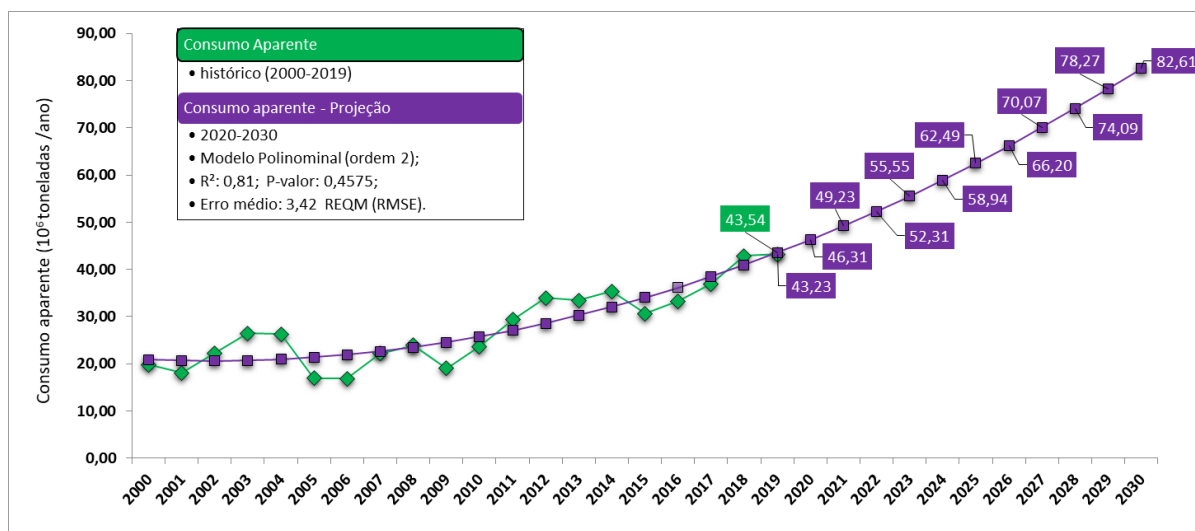
A figura 73 mostra a projeção realizada para o consumo aparente de calcário agrícola no período de 2020 – 2030, tendo como hipótese básica o crescimento do consumo em linha com crescimento histórico citado acima.

Foram analisados vários modelos e projeções de séries temporais e linhas de tendências por meio do *Software Risk Simulator* (© 2005-2019 *Real Options Valuation, Inc.*), através de uma série de modelos, como: “exponencial, de suavização”, “exponencial simples”, “suavização exponencial dupla, média móvel simples e dupla”, “aditiva de Holt-Winter”, “aditiva de sazonalidade”, “multiplicativa de Holt-Winter”, “multiplicativa de

sazonalidade”, “potência”, “polinomial”, “tendência linear”, sendo que dos citados o que mais se ajustou (obteve melhor resultado) foi o do modelo de tendência polinomial.

De acordo com a projeção selecionada, o consumo aparente de calcário agrícola no Brasil deve ir de 43,23 milhões de toneladas em 2019 para 82,61 milhões de toneladas em 2030.

Figura 73 – Projeção para o consumo aparente de calcário agrícola no Brasil (2020-2030), conforme dados da ABRACAL (2018; 2019). (Elaboração: Gustavo Alexandre Silva).



## 12. DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL

### 12.1. INTRODUÇÃO

O objetivo dessa análise é retratar, a partir de levantamento preliminar, a situação socioambiental da região em que se localiza a área de pesquisa para calcário da CPRM, de modo a identificar os espaços territoriais protegidos, com regime restritivo de uso dos recursos naturais ou que possam gerar conflitos de uso do solo nas áreas analisadas. Essa identificação é essencial para a tomada de decisão sobre a exploração dos depósitos de gipsita pois são utilizados como critérios para a aprovação ou indeferimento dos empreendimentos mineiros por parte dos órgãos ambientais. Como se trata de uma avaliação de caráter informativo, a metodologia adotada para esse diagnóstico é distinta das metodologias estabelecidas para os estudos ambientais realizados por empreendimentos mineiros, que visam à obtenção de licenças ambientais.

Na composição do diagnóstico ambiental consideraram-se as áreas registradas na Agência Nacional de Mineração (ANM) como áreas de enfoque para aspectos dos meios físico e biótico (área de influência direta para possível empreendimento de mineração). Para os aspectos socioeconômicos a abordagem envolveu os municípios onde estão inseridas as áreas de processos, bem como os limites da bacia hidrográfica do rio Cupari. Para a finalidade do trabalho foram consultadas informações constantes no relatório de pesquisa da CPRM, dados obtidos junto ao órgão ambiental estadual (IEMA) e do IBGE, assim como o levantamento da legislação correlata, que regula o uso e ocupação do solo e a política ambiental a relativa às esferas federal, estadual e municipal.

### 12.2. USO DO SOLO

O Sistema de Classificação de Uso Atual da Terra, Manual Técnico de Uso da Terra (SOKOLONSKI, 1999) leva em conta o tipo de uso da terra na data do mapeamento, o manejo empregado e a estrutura de

produção (relações sociais de produção), procurando com isso caracterizar da melhor maneira possível as classes de uso definidas.

De acordo com a Lei nº. 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012a), todo imóvel rural deve manter uma área com cobertura de vegetação nativa, a título de reserva legal. Trata-se de área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa. Sua dimensão mínima em termos percentuais relativos à área do imóvel é dependente de sua localização, conforme abaixo:

- Imóveis que realizaram desmatamentos na Amazônia entre 1989 e 1996 obedecendo a percentual mínimo de 50% de Reserva Legal em vigor na época, estão desobrigados de recompor suas áreas ao percentual de 80% (EMBRAPA, 2012);
- No caso da Amazônia Legal, em áreas de florestas, o poder público estadual, ouvido o Conselho Estadual do Meio Ambiente, poderá reduzir a Reserva Legal para até 50% para fins de regularização nos seguintes casos: (i) quando o Estado tiver Zoneamento Ecológico-Econômico aprovado e mais de 65% do seu território ser ocupado por unidades de conservação da natureza de domínio público, devidamente regularizadas, e por terras indígenas homologadas; e (ii) quando o município tiver mais de 50% da área ocupada por unidades de conservação da natureza de domínio público e por terras indígenas homologadas.

### 12.3. ESPAÇOS TERRITORIAIS PROTEGIDOS OU RESTRITIVOS

Os espaços territoriais protegidos, com regime restritivo de uso dos recursos naturais ou que possam gerar conflitos de uso do solo nas áreas analisadas contemplam: (i) áreas de preservação permanente (APPs); (ii) unidades de Conservação cadastradas no sistema municipal ou federal, no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, Lei nº. 9.985 de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000) e suas áreas de amortecimento ou entorno e a zona do Bioma Amazônia, assim como todo imóvel rural deve manter uma área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal; (iii) áreas com potencial para sítios arqueológicos e paleontológicos; (iv) áreas de regularização fundiária (assentamentos); e (v) as áreas de regularização fundiária (assentamentos), onde estão identificadas regiões com presença de comunidades quilombolas e indígenas.

#### 12.3.1. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPs)

Legalmente, o conceito de APP está definido no atual Código Florestal - Lei nº. 12.651 (BRASIL, 2012a), no Art. 3º, inciso II:

*Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.*

Por esta definição, entende-se que a proteção está diretamente relacionada à área e, se esta área vier a sofrer algum tipo de impacto ambiental negativo na vegetação, ela continua sendo APP.

Essa APP é regulamentada pelo Art. 4º da mesma lei e compreende tanto territórios localizados na zona rural como na zona urbana; ela norteia as situações a seguir:

Inciso I – as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30m para os cursos d'água de menos de 10m de largura;
- b) 50m, para os cursos d'água que tenham de 10 a 50m de largura;

- c) 100m para os cursos d'água que tenham de 50 a 200m de largura;*
- d) 200m para os cursos d'água que tenham de 200 a 600m de largura.*
- e) 500m para os cursos d'água que tenham largura superior a 600m.*

Inciso II – as áreas no entorno de lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

- a) 100m em zonas rurais, exceto para corpo d'água com até 20ha de superfície, cuja faixa marginal será de 50m;*
- b) 30m em zonas urbanas.*

Inciso III – as áreas de entorno de reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento.

Inciso IV – as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50m.

Inciso V – as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive.

Inciso VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues.

Inciso VII – os manguezais em toda a sua extensão.

VIII – as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100m em projeções horizontais.

Inciso IX – no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100m e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo está definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.

Inciso X – as áreas em altitude superior a 1.800m, qualquer que seja a vegetação.

Inciso XI – em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50m, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.

Quanto a identificação de APPs na área de pesquisa da CPRM é importante frisar que não foi executado nenhum inventário ou cadastramento neste sentido, que é uma atividade compatível com os estudos para o licenciamento ambiental. Desse modo, busca-se aqui apontar de forma preliminar e genérica a existência destas áreas, limitando-se às bases cartográficas consultadas. Mas é importante pontuar a localização da poligonal de pesquisa em uma área de bioma amazônico, numa região de divisor de águas entre as bacias de captação ligadas aos rios Tapajós e ao médio curso do Cupari, que poderão ser avaliadas pelo órgão ambiental quando do licenciamento, nos termos do Art. 4º, inciso III da Lei nº. 12.651- Código Florestal (BRASIL, 2012a).

### 12.3.2. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UCs)

De acordo com a Lei nº. 9.985 (BRASIL, 2000) que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, Unidade de Conservação (UC) é o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção. Esta lei ainda institui dois grupos de Unidades de Conservação: as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável.

As Unidades de Proteção Integral têm como objetivo básico a preservação da natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. Esse grupo abrange cinco categorias: Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional (ou estadual, ou Municipal); Monumento Natural; e Refúgio de Vida Silvestre. Cabe salientar que o desenvolvimento da atividade de mineração no interior dessas unidades de conservação, por demandar o uso direto de recursos naturais, mostra-se incompatível com o grupo de Unidades de Proteção Integral.

As Unidades de Uso Sustentável, por sua vez, permitem compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. Esse grupo inclui sete categorias: (i) Área de Proteção Ambiental; (ii) Área de Relevante Interesse Ecológico; (iii) Floresta Nacional (ou estadual, ou municipal); (iv)



Reserva Extrativista; (v) Reserva de Fauna; (vi) Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e (vii) Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

A possibilidade de uma mineração compatibilizada dentro de unidades de Uso Sustentável poderá existir mediante avaliação do órgão gestor da UC e desde que não fira os objetivos descritos no seu decreto de criação.

As áreas de entorno de todas as unidades de conservação citadas também possuem regime especial de administração para fins de licenciamento ambiental, que são as chamadas zonas de entorno e zonas de amortecimento. Nas unidades de conservação cuja zona de amortecimento ainda não tenha sido definida por Plano de Manejo, a autorização do órgão gestor se faz obrigatória para todo o empreendimento que se localizar no interior de um *buffer* de 3 km de seus limites. Conforme Art. 25 da Lei Federal nº. 9.985 (BRASIL, 2000) não existe essa exigência para a Reserva Particular do Patrimônio Natural e Área de Proteção Ambiental.

Os limites da unidade de conservação mais próxima à área de pesquisa, a Floresta Nacional do Tapajós (FLONA Tapajós), está distante o suficiente, não existindo conflito da poligonal da CPRM com a área da UC e nem com a sua zona de amortecimento.

### 12.3.3. RESERVA DA BIOSFERA

A Reserva da Biosfera é uma importante ferramenta para o ordenamento territorial, manejo da paisagem e conservação da biodiversidade. Com base no Sistema Nacional de Unidades de Conservação e nas diretrizes da UNESCO, o zoneamento da Reserva contempla três zonas distintas que visam cumprir funções complementares:

- ✓ Zona Núcleo - é a zona de máxima restrição. São as Unidades de Conservação constituídas legalmente (como parques, reservas biológicas e estações ecológicas) e áreas de preservação permanente (encostas, topos de morro, margens de rios). As restrições estão estabelecidas de acordo com os instrumentos legais de sua criação. São proibidos o corte e a exploração da vegetação. As potencialidades dessas regiões são ecoturismo, educação ambiental e pesquisa científica naquelas Unidades em que se admite tal uso. Devem ser respeitados os processos naturais e a vida silvestre. Há ocorrência de endemismos, espécies raras de importante valor genético e locais ou de uma paisagem excepcional;
- ✓ Zona de Amortecimento - também chamada de tampão, envolve as zonas núcleo e juntamente com estas, constitui as áreas tombadas. As atividades devem garantir a integridade das áreas de preservação e unidades de conservação. Por isso, é proibido: (a) o corte e exploração da floresta primária e secundária em estágio médio e avançado de regeneração, localizada em área de Mata Atlântica (b) o corte da vegetação nas áreas de preservação permanente, reservas florestais, ocorrência de associações vegetais relevantes, espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção, sítios de importância para a reprodução e sobrevivência da fauna nativa, ocorrência de conjuntos de importância histórica, artística ou sítios arqueológicos, incluindo seus entornos imediatos com dimensões e características que estão estabelecidas caso a caso; (c) a coleta, o comércio e o transporte de plantas ornamentais oriundas de florestas nativas; e (d) a prática de queimadas para manejo agrossilvopastoril;
- ✓ Zona de Transição - são as áreas mais externas da Reserva e não dispõem de um instrumento legal de proteção específico. Em seus limites, privilegia-se o uso sustentado da terra e a recuperação das áreas degradadas.

É importante complementar, que todo imóvel rural deve manter uma área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal.

### 12.3.4. POTENCIAL PARA SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS E PALEONTOLÓGICOS

Os sítios arqueológicos e paleontológicos são considerados bens da União e são definidos e protegidos pela Lei nº. 3.924 de 26 de julho de 1961 BRASIL (1961) e Decreto-Lei nº. 4.146 04 de março de 1942 (BRASIL, 1942), respectivamente. O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN é o órgão federal responsável pela gestão do patrimônio arqueológico do país, e à ANM cabe a gestão do patrimônio fossilífero do país.

Quanto à ocorrência de sítios arqueológicos na área de Pesquisa da CPRM, conforme consulta ao Sistema de Gerenciamento do Patrimônio Arqueológico (SGPA) V5 2018, IPHAN (1997), não foi constatada a presença de sítios arqueológicos no âmbito da mesma.

### 12.3.5. ÁREAS DE REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA (ASSENTAMENTOS)

O assentamento rural é um conjunto de unidades agrícolas independentes entre si, instaladas ou reconhecidas pela União, através do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA (2021), onde originalmente existia um imóvel rural considerado improdutivo e que pertencia a um único proprietário. Os principais regramentos legais que regem o tema são a Lei nº. 4.504 de 30 de novembro de 1964 (BRASIL, 1964) sobre o Estatuto da Terra e a Lei nº. 8.629 de 25 de fevereiro de 1993 (BRASIL, 1993).

Existem duas modalidades de assentamentos. A primeira, denominada Projeto de Assentamento (PA), é estabelecida diretamente pela União, enquanto a segunda a projetos de assentamento estaduais (PE), que são reconhecidos pelo INCRA.

O desenvolvimento de mineração em áreas de assentamento é um tema normalmente controverso e com forte atuação do Ministério Público, pois se trata de um conflito de uso do solo. Muitas vezes gera-se um paradoxo: de um lado a União declara a área em questão como sendo de interesse à reforma agrária com a sua aquisição ou reconhecimento e, de outro, a União, por meio da concessão de títulos minerários, declara a mesma área como de interesse mineral.

Jurisprudências, tais como a tese apresentada por RANGEL (2010) pregam que, mesmo admitindo o interesse público na desapropriação para reforma agrária, nesse confronto prevalece a exploração das reservas minerais por quatro razões: 1) a rigidez locacional, 2) a anterioridade do título minerário na maior parte dos casos, 3) a vocação mineral da área desapropriada e 4) a vastidão do território nacional e as diversas áreas disponíveis para assentamento dos sem-terra. Adicionalmente, este autor lança mão dos seguintes regramentos:

Lei nº. 8.629 (BRASIL, 1993) que regulamenta os dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária.

“Art. 10. Para efeito do que dispõe esta lei, consideram-se não aproveitáveis:

(...) III – as áreas sob efetiva exploração mineral.”

Lei nº. 4.504 (BRASIL, 1964) sobre o Estatuto da Terra, no que diz respeito a assentamentos:

“Art. 9º: “Dentre as terras públicas, terão prioridade, subordinando-se aos itens previstos nesta lei, as seguintes: I – As de propriedade da União, que não tenham outra destinação específica.”

Art. 87 do Código de Minas: “Não se impedirá por ação judicial de quem quer que seja o prosseguimento da pesquisa ou lavra”.

Entretanto, a rigor, quando identificado que a atividade de lavra se situa em área de assentamento, o órgão ambiental solicita que o empreendedor apresente documento de autorização do INCRA para o prosseguimento do licenciamento ambiental. De acordo com a base de dados do INCRA (2021), o único projeto de assentamento próximo à área de direitos minerários da CPRM, relativa ao processo DNPM nº 807.564/76, corresponde a PA Rio Cupari, que está situado imediatamente a norte da poligonal e sem nenhuma interferência física com seus limites.

### 12.3.6. ÁREAS INDÍGENAS E QUILOMBOLAS

Tendo em vista que a implantação da atividade minerária implica, muitas vezes, na mudança de domínio de propriedades rurais, cuidados especiais são requeridos nas regiões em que estão localizadas comunidades tradicionais. Tais cuidados visam à prevenção de problemas sociais decorrentes de transações imobiliárias que envolvam áreas reconhecidas ou em processo de reconhecimento, bem como uma possível mudança dos hábitos culturais daquelas comunidades em função da mineração.

A partir de janeiro de 2019, foi editada a medida provisória nº. 870 de 1º de janeiro de 2019 (Brasil, 2019) do governo federal que estabelece:

Art. 21. Constitui área de competência do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento:

§ 2º A competência de que trata o inciso XIV, no que se refere à reforma agrária, regularização fundiária de áreas rurais, Amazônia Legal, terras indígenas e quilombolas, compreende:

*Inciso I - a identificação, a delimitação, a demarcação e os registros das terras tradicionalmente ocupadas por indígenas; e*

*Inciso II - a identificação, o reconhecimento, a delimitação, a demarcação e a titulação das terras ocupadas pelos remanescentes das comunidades dos quilombos.*

*§ 3º Cabe ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento exercer, por meio do Serviço Florestal Brasileiro, a função de órgão gestor prevista no Art. 53 da Lei nº. 11.284 (BRASIL, 2006), em âmbito federal.*

A Fundação Cultural Palmares é o órgão vinculado ao Ministério da Cidadania responsável por reconhecer e certificar as comunidades de remanescentes quilombolas. No Art. 23, constitui área de competência do Ministério da Cidadania, institui que:

*XVII - assistência ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária nas ações de regularização fundiária, para garantir a preservação da identidade cultural dos remanescentes das comunidades dos quilombos.*

No artigo Art. 43 da Medida Provisória nº. 870 (BRASIL, 2019) constitui área de competência do Ministério da Mulher, da Família e dos Direitos Humanos:

*i) direitos do índio, inclusive no acompanhamento das ações de saúde desenvolvidas em prol das comunidades indígenas, sem prejuízo das competências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.*

No que diz respeito à execução de atividades que possam gerar conflitos de uso da terra junto a essas comunidades, a ratificação e promulgação da Convenção nº. 169 da Organização Internacional do Trabalho, através do Decreto nº. 5.051 de 19 de abril de 2004 (BRASIL, 2004).

Desse modo, para fins de licenciamento ambiental, sempre que constatado que o empreendimento se localiza em área de comunidades tradicionais, o órgão ambiental exige autorização emitida pelas instituições competentes para a análise do processo. Já no caso de terras indígenas a atividade minerária é vedada em seu interior, nos termos da Constituição Federal – BRASIL (1988) e legislação correlata.

Após consulta à base de dados do INCRA (2021) e da FUNAI, não foi constatada a presença de áreas indígenas e quilombolas na área de pesquisa da CPRM avaliada.

### 12.3. INDICADORES SOCIOECONÔMICOS

Na tabela 2 são apresentados de forma sintetizada os indicadores socioeconômicos baseados em dados do IBGE sobre o município de Aveiro, onde localizadas as áreas de processo da CPRM (AFFONSO *et al.*, 2016).

Tabela 2 – Dados socioeconômicos do município de Aveiro (AFFONSO *et al.*, 2016).

INDICADORES – MUNICÍPIO DE AVEIRO (ESTADO DO PARÁ)		
PIB Per Capta	Produto Interno Bruto Per Capta - R\$	7.212,72
POPULAÇÃO	Estimativa (2021)	16.404
*IDHM	Geral	0,541
ATIVIDADES ECONOMICAS		
Percentual PIB (%)		
PIB	Serviço	9,7
PIB	Indústria	3,5
PIB	Impostos	1,3
PIB	Agropecuária	32,10
PIB	Administração pública	53,40

\*IDHM – Índice de desenvolvimento humano municipal.

## 16. RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

- ✓ Os dados relativos às coordenadas geodésicas dos trabalhos exploratórios utilizados (sondagem rotativa e afloramentos) são provenientes da década de 1970, e foram conferidos a partir de *logs*, tabelas e mapas, e, após, confrontados para validação relativa (georreferenciamento). Porém, considerando as limitações das tecnologias para cartografia disponíveis na época, existe a necessidade de sua validação em campo para comprovar a acurácia do posicionamento;
- ✓ Os dados físico-químicos utilizados na reavaliação dos depósitos precisam ser avaliados através de ferramentas de QAQC para validar sua qualidade;
- ✓ A área de ocorrência dos calcários abrange aproximadamente 28,9 km<sup>2</sup>, distribuída segundo uma faixa na direção E-W com inflexão NE-SW na extremidade oriental. Estão associados à porção média da Formação Itaituba (Grupo Tapajós), configurando camadas sub-horizontais que atingem até 15 m. O capeamento é muito irregular e pode atingir até 30 m ou está ausente, sendo sua espessura média estimada em 8 m. As rochas carbonáticas compreendem intercalações entre calcários e dolomitos (MgO >10%) com argilitos e arenito carbonáticos subordinados;
- ✓ A quantidade total de minério contabilizada pelos trabalhos da modelagem estimou recursos inferidos de calcário da ordem de 588 milhões de toneladas de minério, com teores médios de 43,15% de CaO, 5,67% de MgO, 0,97% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6,17% de SiO<sub>2</sub> e 0,82% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que retratam amplo predomínio dos termos calcíticos e rochas carbonáticas com baixo grau de impurezas;
- ✓ O principal fator que impede a realização da análise variográfica e estimativa por krigagem (geoestatística) e a migração dos recursos para um nível de confiança mais elevado (indicado e medido) é a densidade de dados e irregularidade dos pontos de observação. As estimativas atuais dos recursos foram classificadas na categoria de inferidos, de acordo com normas e recomendações vigentes aceitas pela indústria mineral, pois os requisitos mínimos não foram atendidos, conforme exigem os códigos e normas internacionais;
- ✓ Apesar da crise desencadeada no Grupo que levou ao fechamento da fábrica de cimento localizada na cidade de Itaituba em 2018, existe perspectiva de crescimento do segmento no estado, assim como de alta no consumo de calcário agrícola, dada a tendência crescente do agronegócio no Pará e a necessidade de manter ou elevar a produtividade dos solos;
- ✓ Com base no exposto acima, dados projetados pelo IBGE em 2021, estimam o crescimento da produção agrícola para o Pará acima de 3,3 milhões de toneladas (> 17% em relação a 2020) e da área plantada para 1,1 milhão de hectares (>14,6% em relação 2020), com a produção de grãos alcançando 2,1 milhões de toneladas (>17,6% acima de 2020) mostrando um cenário muito favorável para o calcário agrícola, por ser a substância fundamental para a calagem de solos, e considerando que a maior parte dos solos brasileiros possuem características de elevada acidez;
- ✓ Em relação à logística, a área com os depósitos de calcário, de certa forma, é privilegiada pela relativa proximidade com a cidade de Itaituba, que possui uma boa infraestrutura de suporte para um eventual desenvolvimento de um empreendimento mineiro. A cidade dispõe de um complexo portuário (Porto de Miritituba), que integrado à Hidrovia do Tapajós-Teles Pires, constitui uma opção natural para o escoamento de subprodutos do minério;

- ✓ Acrescenta-se ainda que o porto de Miritituba integra uma importante rota de escoamento de grãos proveniente do Mato Grosso através das rodovias federais BR-163 e BR-230 (Transamazônica), com enorme tráfego de caminhões, constituindo o estado um potencial mercado para calcário agrícola, se valendo dessa modal no retorno a sua origem para transporte do minério;
- ✓ Segundo o plano plurianual 2020-2023 idealizado pelo governo do estado (PARÁ, 2019) para a Região de Integração Tapajós, na qual se insere a área com os depósitos de calcário, investimentos privados da ordem de R\$12,14 bilhões estariam sendo previstos até 2030, destacando-se projetos de vulto como a ferrovia Sinop (MT) - Miritituba (PA), com investimentos previstos de R\$10 bilhões, e de um terminal em Miritituba (R\$45 milhões);
- ✓ Não existe nos limites da área de direitos minerários da CPRM quaisquer interferências com áreas de restrição ou protegidas, devendo apenas se ressalvar a sua localização em um bioma amazônico, colocando-a à mercê dos regramentos que poderão ser avaliadas pelo órgão ambiental quando do licenciamento, nos termos do Art. 4º, inciso III da Lei nº. 12.651- Código Florestal.

## 17. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADROITMARKETRESEARCH. 2018. **Empresa de consultoria e pesquisas de Metais e Minerais**. Disponível em: <<https://www.adroitmarketresearch.com/industry-reports/limestone-market>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. 2021. Sistema Informações Geográficas do Setor Elétrico – Sigel. Download. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/Down/>. Acesso em: set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. 2021. **Dados Abertos**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/acesso-a-informacao/dados-abertos>. Acesso em: 20 ago. 2021c.

AFFONSO, A. G.; ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S.; SOUZA, A. R.; SIQUEIRA, J. M.; TORRES, N. C.; CAMILOTTI, V. L.; DAL’ASTA, A. P.; COSTA, L. C. O.; SOARES, F, da R. **As comunidades ribeirinhas do Baixo Tapajós (PA): infraestrutura, mobilidade, serviço sócio ambientais e conectividade**. São José dos Campos, SP: INPE, 2016. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3M7C69L>. Acesso em: 14 abr. 2021.

ALENCAR, C.R.A.; INSTITUTO EUVALDO LODI, 1969-159m. 2013. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais**/Instituto Euvaldo Lodi - Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim/ES: IEL, 2013. 242 p (p. 26 – 28).

ASSOCIAÇÃO PARANAENSE DOS PRODUTORES DA CAL - APPC. 2011. **Homepage da APPC - tudo sobre a cal: indústrias siderúrgica e metalúrgica**. Disponível em: <[http://www.calcem.com.br/tudo\\_sobre\\_cal.html](http://www.calcem.com.br/tudo_sobre_cal.html)>. Acesso em: 31 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA – ABRACAL. 2018. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.abracal.com.br/arquivos/documentos/CONSUMO%20APARENTE%20POR%20ESTADO%20-%20-%20PER%C3%8DODO%201992-2018.pdf>>. Acesso em 04 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA – ABRACAL. 2020. **Notícias – 12/08/2020**. Disponível em: < <http://calcariobrasil.com.br/noticia/185/consumo-de-calcario-salta-17-e-abracal-aponta-relacao-com-tecnologia.html>>. Acesso em 08 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA – ABRACAL. 2019. **Estatísticas**. Disponível em:< <http://www.ABRACAL.com.br/estatisticas>>. Acesso em 10 ago. 2020.

ALMEIDA, F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia/DNPM**, Rio de Janeiro: DNPM, 1967. nº 241, p. 36.

ARAÚJO J.F.V. et al., 1976. Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. Folha SA.21 – Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, p.19-122. il. (Levantamentos de recursos naturais, 10).

BERALDO, J. L. 1987. Moagem de Minérios em Moinhos Tubulares. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1987. 143p.

BERGERMAN, M.G. 2013. Dimensionamento e Simulação de Moinhos Verticais. **Tese (Doutorado)** – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. 282 p.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. 2020. **Moderagro** - Financiamento para projetos de modernização e expansão da produtividade nos setores agropecuários. Disponível em:< <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/moderagro>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. 1997. **Calcário – Informe Setorial nº 12**, novembro/97. Disponível em:< <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16523>>. Acesso em: 02 set. 2020.

BARROS, V.R; CAMPOS, A.R. 1990. **Beneficiamento de calcário para as indústrias de tintas e plásticos**. CETEM/CNPQ. Rio de Janeiro, 1990.

BARROS, V.R.; FIGUEIRA, H.V.; ADAMIAN, R. 1984. Beneficiamento do calcário da região de Cantagalo, RJ. DNPM. **Série Tecnologia Mineral**, 34. Seção beneficiamento, 21. Brasília, 1984.

BECKER, C.F; SILVA, E.F.; M, E.; FERREIRA, C.R.R.P.T; SOUZA SANTOS, Z.A.P.; GHILARDI, A.A. 1995. **Proposta para um plano nacional de calcário agrícola (PLANACAL)**. Informações Econômicas, SP, v.26, n.2. Disponível em: < <http://www.ABRACAL.com.br/planacal>>. Acesso em 12 ago. 2020.

BOGGIO, A.M. 2020. **Reação do Solo e Calagem**. Departamento Técnico Agropecuário da COOPERCITRUS. Disponível em: <<http://www.coopercitrus.com.br/?pag=revista&p=materia&codigo=6443>>. Acesso em: 29 jun.2020.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto-Lei nº 4.146 de 04 de março de 1942**. Dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos. Rio de Janeiro: Presidência da República, 1942. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/1937-1946/Del4146.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/Del4146.htm) Acesso em: 31 fev. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961**. Dispõe sobre os monumentos arqueológicos e pré-históricos. Brasília: Presidência da República, 1961. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/L3924.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L3924.htm) . Acesso em: 25 jan. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 4.504 de 30 de novembro de 1964**. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1964. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4504.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4504.htm). Acesso em: 31 jan. 2019.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 8.629 de 25 de fevereiro de 1993**. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Brasília: Presidência da República, 1993. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L8629.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8629.htm) . Acesso em: 28 jan. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 10, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm). Acesso em: 31 jan. 2019.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 5.051 de 19 de abril de 2004**. Promulga a Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho - OIT sobre Povos Indígenas e Tribais. Brasília: Presidência da República, 2004. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5051.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5051.htm). Acesso em: 02 fev. 2019.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.284 de 2 de março de 2006**. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm). Acesso em: 27 jan. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2012a. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm). Acesso em: 10 fev. 2019.

BRASIL. Presidência da República. **Medida Provisória nº 870 de 1º de janeiro de 2019**. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios. Brasília: Presidência da República, 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Mpv/mpv870.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Mpv/mpv870.htm) . Acesso em: 31 jan. 2019.

BRITO NEVES, B.B.; SÁ, J.M.; NILSON, A.A.; BOTELHO, N.F. 1995. A Tafrogênese Estateriana nos Blocos Paleoproterozóicos da América do Sul e Processos Subsequentes. UFMG, **Revista Geonomos**, v. 3, n. 2, p. 1-21. Belo Horizonte, 1995.

Belém, 2020. Expediente: Carlos Augusto de Paiva Ledo, Secretário de Estado de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia. Ronaldo Jorge da Silva Lima, Diretora de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

CAPUTO, M.V., RODRIGUES, R., VASCONCELOS, D.N.N. 1971. **Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas**. RENOR - Petrobras, 1971. 92 p (Relatório interno).

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D.N.N. 1972. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas: histórico e atualização. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, Belém, 1972, Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 3: 35-46.

CAPUTO, V.M. 1984. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and palaeogeography of northern basins of Brazil*. 586 p. **Thesis** (Phd). University California, Santa Barbara, 1984.

CAPUTO, V.M. 2015. **Bacia do Amazonas**. *In*: Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000). Vol. II n-Geologia da Província Hidrogeológica Amazonas. Brasília: ANA, 2015. p.30-63.

CARVALHO, E. A., ALMEIDA, S. L. M. 1997. Caulim e carbonato de cálcio: competição na indústria de papel. **Série Estudos e Documentos**, no 41, Rio de Janeiro, CETEM. Disponível em< <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/266>>. Acesso em: 21 ago. 2020.

CIMENTO MAUÁ. **Como é feito o cimento: Fluxo de fabricação**. (2017). Disponível em: <[https://cimentomaua.com.br/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/proces\\_fabricacao/](https://cimentomaua.com.br/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/proces_fabricacao/)>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

CAROZZI, A.V. *et al.* 1975. **Análise Ambiental e Evolução Tectônica Sinsedimentar da Seção Siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão**. Rio de Janeiro: Petrobras-Cenpes, 1975. 748 p. (Ciência-Técnica-Petróleo).

CARVALHO, J.M.A. de; FIGUEIRAS, A.J.M.; SANTOS, C.A. dos. 1977. Projeto Calcário Itaituba: Relatório Final. Belém: CPRM, 1977. 1 v.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. 1975. **Projeto Itamaguari: Pesquisa de Gipsita - Rio Cupari**, município de Aveiro, estado do Pará. Processos DNPM 802.188/73 a 802.197/73. Belém: CPRM, 1975.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Departamento de Pesquisas Próprias – **Projeto Aveiro**: estudo de viabilidade de pesquisa. Rio de Janeiro, 1976. 18 p., mapas.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. 1979. **Projeto Aveiro: Relatório Final de Pesquisa**. Alvarás n°s 1841/76 e 0517/78. Belém: CPRM, 1979a. 3 v.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. 1979. **Projeto Aveiro: Relatório Final de Pesquisa**. Alvarás n°s 2202/76, 2378/78 e 2379/78. Belém: CPRM, 1979b. 3 v.



CUNHA, P.R.C. *et al.* 1994. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, 1994. v. 8, n.1, p. 47-55.

CUNHA, P.R.C.; MELO, J.H.G.; SILVA, O.B. 2007. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, 2007. v. 15, n.2, p. 227-251.

DAEMON, R.F. 1975. Palinomorfos-guias do Devoniano Superior e Carbonífero Inferior das Bacias do Amazonas e Parnaíba. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 46, n. 3-4, p. 549-587, 1975.

D'ALGE, J.C.L. **Atualização cartográfica por imagem de satélite**: considerações teóricas e possibilidades de implementação. São José dos Campos: INPE, 1997. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~julio/arquivos/consult1.pdf>. Acesso em 14 mai. 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. 2021. Hidrovia do Tapajós-Teles Pires. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/hidrovia-do-tapajos-teles-pires>. Acesso em: 18 out. 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL/AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – DNPM/ANM. 2020. **Sumários Minerais** (2008, 2009, 2010, 2012 e 2017). Disponível em: <<http://antigo.anm.gov.br/portal/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral>>. Acesso em: set. 2020.

DIRETORA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL/SECRETÁRIO DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, MINERAÇÃO E ENERGIA - DIGEM/SEDEME. 2020. **Calcário. Nota Técnica Nº 001/2020 - calcário**. 2ª Ed. atualizada – 2020. Lílian Poliana S. Gualberto (resp. tec.). Governo do Estado do Pará.

ELETROBRAS. 2021. Áreas de atuação. **Mapas do Sistema Elétrico Brasileiro**. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Sistema-Eletrico-Brasileiro.aspx>>. Acesso em: 20 de set. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2012. **Código florestal: adequação ambiental da paisagem rural**. Brasília: EMBRAPA, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl>. Acesso em: 15 abr. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 2019. **Dados Econômicos**. Jun. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

FIDA. 2020. Irmãos Ciocari & Cia Ltda (Indústria FIDA): **CALCÁRIO AGRÍCOLA FIDA E CAL FIDA**. Notícias. 27 maio, 2020. Disponível em: <<https://www.fida.com.br/cal-na-construcao-civil-entenda-porque-ela-e-insubstituivel/>>. Acesso em: 13 out. 2020.

GONZAGA, F. G., GONÇALVES, F. T. T.; COUTINHO, L. F. C. 2000. **Petroleum geology of the Amazonas Basin, Brazil: Modeling of hydrocarbon generation and migration**. In: Mello, M. R.; Katz, B. J. (Eds.). *Petroleum systems of South Atlantic margins*. AAPG Memoir, 73, p. 159-178.

GROHMANN, C. E. 2015. Análise comparativa preliminar entre dados SRTM, Topodata, ASTER GDEM e Modelos de Superfície/Terreno do Projeto Radiografia da Amazônia. *In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*. João Pessoa: INPE, 2015.

HOFFMAN, P.F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? *Science*, vol. 252, p.1409–1412. 1991.

IHSMARKIT. 2019. **Empresa de Consultoria e Perícias de Mercado**. Disponível em:<<https://ihsmarkit.com/products/lime-chemical-economics-handbook.html>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. 2021. **Acervo fundiário**. Brasília: INCRA [s.d.]. Disponível em: <https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: 9 abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS – INESC. 2021. **Logística no Médio Tapajós: o caso de Itaituba-Miritituba**. Disponível em: <https://www.inesc.org.br/logistica-no-medio-tapajos-o-caso-de-itaituba-miritituba/>. Acesso em: 18 out. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMETRO. 2020. **Balanço Hídrico Sequencial**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>. Acesso em: 30 nov. 2020.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL - IPHAN. 1997. **Sistema de Gerenciamento do Patrimônio Arqueológico (SGPA)**. Brasília: IPHAN, 1997. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/sgpa/?consulta=cnsa>. Acesso em: 18 jan.2021.

ISSLER, R.S. *et al.* 1974. **Geologia**. *In: BRASIL*. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. Folha SA. 22 - Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. p. 1/3–1/60. (Levantamentos de recursos naturais, 5).

JOÃO, X. da S.J. 2013. **Geodiversidade do estado do Pará**. Xafi da Silva Jorge João, Sheila Gatinho Teixeira, Dianne Danielle Farias Fonseca (orgs.). Belém: CPRM, 2013. 256 p.: il. 1 DVD-ROM.

KELLY, E.G.; SPOTTISWOOD, D.J. 1982. **Introduction to Mineral Processing**. Wiley- Interscience, New York, 1982. 491 p.

LIRA, C; ALARCON, O. E.; SILVEIRA, M. D. M.; BIANCHI, J. A. A.; HONORATO, E. L. e COSTA, L. 1997. **Efeitos da composição e da temperatura de queima na expansão por umidade dos corpos cerâmicos**. *Cerâmica Industrial*, nº 1, vol. 2, p. 27-30. Disponível em:< <http://host-article-assets.s3.amazonaws.com/ci/587656fc7f8c9d6e028b45e6/fulltext.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2020.

MATSUDA, N.S; DINO, R.; WANDERLEY FILHO, J.R. 2004. Revisão litoestratigráfica do Grupo Tapajós, Carbonífero Médio- Permiano da Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 12, n. 2, p. 435-441. Rio de Janeiro, 2004.

MELO, J.H.G.; LOBOZIAK, S. 2003. Devonian – Early Carboniferous miospore biostratigraphy of the Amazon Basin, northern Brazil. **Rev. Palaeobot. Palynol.** 124, p. 131-202. Amsterdam, 2003

METSO. 2020. **AGREGADOS BLOG**, Calcário: 7 fatos sobre a importância do calcário agrícola no país. Disponível em: < [MILANI, E.J. ; ZALÁN , P.V. 1999. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America. 1999. \*\*Episodes\*\*, v. 22, n. 3, p. 199-205.](https://www.metso.com/br/blog/agregados/conheca-7-fatos-sobre-a-importancia-do-calcario-agricola-no-pais/#:~:text=Quem%20produz%20o%20calc%C3%A1rio%3A&text=Oito%20estados%20se%20destacam%20pela,Sul%20(7%2C6%25).> . Acesso em: 12 ago. 2020.</p></div><div data-bbox=)

MIZUSAKI, A.M.P.; THOMAZ-FILHO, A. 2004. **O magmatismo pós-paleozóico no Brasil**. In: Mantesso-Neto, V. et al. (org.). Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, cap. XVII, p. 281-292. Petrobras/SBG, 2004.

NAHASS, S., SEVERINO, J. 2003. Calcário Agrícola no Brasil. **Série Estudos & Documentos**, CETEM/MCT, 2003. Disponível em: <[https://www.cetem.gov.br/series/serie-estudos-e-documentos/item/download/279\\_00d9226850d4bcdc56000e54f72d4894](https://www.cetem.gov.br/series/serie-estudos-e-documentos/item/download/279_00d9226850d4bcdc56000e54f72d4894)>. Acesso em: 01 Set 2020.

NEVES, C. A. R., DA SILVA, L. R. 2007. **Universo da Mineração Brasileira**. Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral, Ministério de Minas e Energia. Disponível em: < [https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/universo-da-mineracao-brasileira-2007/@@download/file/universo\\_da\\_mineracao\\_brasileira\\_2007.pdf](https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/universo-da-mineracao-brasileira-2007/@@download/file/universo_da_mineracao_brasileira_2007.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2020.

NOGUEIRA, A.C.R.; SOARES, E.A.A. 1996. **Fácies sedimentares da Formação Prosperança, Proterozoico Superior da Bacia do Amazonas, ao norte da cidade de Manaus - AM**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5. Resumos expandidos. Belém: SBG, Núcleo Norte, 1996. p. 214-216.

OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY – OEC. 2018: **LIMESTONE TRADE**. Disponível em: < <https://oec.world/en/profile/hs92/52521/#tariffs> >. Acesso em: 20 jul. 2020.

OLIVEIRA, A.S. et al. 1975. **Geologia**. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. Folha NA.21 Tumucumaque e parte da folha NB.21: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da Terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. p. 19-97, il. (Levantamentos de recursos naturais, 9).

PARÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO. **Plano Plurianual 2020-2023 do Governo do Estado do Pará**. 3v. Belém: Diretoria de Planejamento, 2019.

PARAHYBA, R.E. Economia do Brasil. **Calcário Agrícola**. Brasília, 2009. Disponível em: < [https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4002](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4002)>. Acesso em 20 ago. 2020.

PASTANA, J.M.N. 1999. **Síntese geológica e favorabilidade para tipos de jazimentos minerais do Município de Monte Alegre-PA**. Belém: CPRM, 1999. 34 p. il.

PLAYFORD, G.; DINO, R. 2000a. **Palynostratigraphy of Upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part one**. Palaeontographica Abteilung B 255 (1-3), 2000a. p. 1-46.

PLAYFORD, G.; DINO, R. 2000b. **Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajos Group), Amazonas Basin, Brazil: Part Two**. Palaeontographica Abteilung B 255 (4-6), 2000b. p. 87-145.

PRNEWswire. 2020. Pesquisa e Mercados. **Análise global do mercado de calcário 2020-2027**. Disponível em: <<https://www.prnewswire.com/news-releases/global-analysis-of-the-limestone-market-2020-2027-featuring-key-players-buechel-stone-corp-crh-plc-lafargeholcim-ltd-todaka-mining-co-ltd-and-ube-material-industries-ltd-301074347.html>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

QUARESMA, L.F. 2009. Produto 22 – Outras rochas e minerais industriais: **Relatório Técnico 30 - Perfil de brita para construção civil**. Brasília: MME/SGM; Banco Mundial; J Mendo Consultoria, 2009. 30p. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22\\_RT30\\_Perfil\\_de\\_brita\\_para\\_construcao\\_civil.pdf/0b657545-498a-46ee-b836-a974026d435a?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_construcao_civil.pdf/0b657545-498a-46ee-b836-a974026d435a?version=1.0)>. Acesso em: 20 ago.2020.

RAHMAN, R.M.; ATA, S.; JAMESON, G.J. Froth recovery measurements in an industrial flotation cell. **Minerals Engineering**. Ed. Elsevier. Seul, 2013. v. 53, p. 193-202.

RANGEL, M. de A. B. **Atividade minerária e projetos de reforma agrária**. Salvador, 2010. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000617.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

REDEPARÁ. **Pará tem produção agrícola estimada em 3,3 milhões de toneladas para 2021** Disponível em: <https://redepara.com.br/Noticia/219417>. Acesso em: 20 set. 2021.

RESEARCH AND MARKETS. 2020. **Mercado global de calcário: Trajetória e Análise do Mercado Global**. Ju. 2020. Disponível em: <[https://www.researchandmarkets.com/reports/1206764/limestone\\_global\\_market\\_trajectory\\_and\\_analytics?utm\\_source=GNDIY&utm\\_medium=PressRelease&utm\\_code=2cz3sc&utm\\_campaign=1265232+-+Global+Limestone+Market+Forecast+2019-2022+with+Select+M%26A+Deals+Through+2015-2018&utm\\_exec=joca220prd](https://www.researchandmarkets.com/reports/1206764/limestone_global_market_trajectory_and_analytics?utm_source=GNDIY&utm_medium=PressRelease&utm_code=2cz3sc&utm_campaign=1265232+-+Global+Limestone+Market+Forecast+2019-2022+with+Select+M%26A+Deals+Through+2015-2018&utm_exec=joca220prd)>. Acesso em: 08 out. 2020.

ROGERS, J.; SANTOSH, M. 2002. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic supercontinent. **Gondwana Research**, v. 5, n. 1, p. 5–22. 2002.

SAMPAIO, J. A., LUZ, A. B., LINS, F. A. F. (eds.). 2001. **Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M de, 2008. **Calcário e Dolomito**, Cap. 16. *In*: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins (orgs.). 2ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 363-387. II.

SANTOS, D.B. et al. 1975. **Geologia**. *In*: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. Folha SB. 21 – Tapajós: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, II., p. 15-(Levantamento de Recursos Minerais, 7).

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO - SGM. 2019. **Anuário Estatístico do Setor de Não Metálicos 2019**. Brasília, DF: SGM, 2020. p.86. Disponível em: <

<http://www.mme.gov.br/documents/36108/405154/Anu%C3%A1rio+Estat%C3%ADstico+do+Setor+d e+N%C3%A3o+Met%C3%A1licos+2019/1ab93dc6-47b2-e947-a7f5-93a9ba95def0>>. Acesso em: 03 ago. 2020.

SILVA J.O. 2009b. Produto 38 – Outras rochas e minerais industriais: **Relatório Técnico 38 - Perfil do Calcário**. Brasília: MME/SGM; Banco Mundial; J Mendo Consultoria, 2009. 24-27p. Disponível em:< [http://www.jmendo.com.br/wp-content/uploads/2011/08/P27\\_RT38\\_Perfil\\_do\\_Calcario.pdf](http://www.jmendo.com.br/wp-content/uploads/2011/08/P27_RT38_Perfil_do_Calcario.pdf) >. Acesso em: 10 set.2020.

SILVA J.O. 2009c. Produto 72 – **Relatório Técnico 72 - Perfil da Cal**. Brasília: MME/SGM; Banco Mundial; J Mendo Consultoria, 2009. 11-14p. Disponível em:< [http://www.jmendo.com.br/wp-content/uploads/2011/08/P46\\_RT72\\_Perfil\\_do\\_Cal.pdf](http://www.jmendo.com.br/wp-content/uploads/2011/08/P46_RT72_Perfil_do_Cal.pdf) >. Acesso em: 10 set.2020.

SILVA J.O. 2009d. Produto 55 – **Relatório Técnico 55 - Perfil da Cal**. Brasília: MME/SGM; Banco Mundial; Jmendo Consultoria, 2009. 49p. Disponível em:< [http://www.jmendo.com.br/wp-content/uploads/2011/08/P46\\_RT72\\_Perfil\\_do\\_Cal.pdf](http://www.jmendo.com.br/wp-content/uploads/2011/08/P46_RT72_Perfil_do_Cal.pdf) >. Acesso em: 10 set.2020.

SINAPI. 2020. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices de insumos da construção civil**. Caixa Econômica federal/ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em:<<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 02/05/2020.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento-SNIC. 2016. **Dados do setor de cimento**. Disponível em:<<http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>>. Acesso em: 14 set.2020.

SOARES, R. A. L.; CASTRO, R. J. S.; NASCIMENTO, R. M. 2012. Estudo da potencialidade da aplicação de uma argila contaminada com calcário na produção de placas cerâmicas. **Cerâmica** 58 (2012), p.475-480. Disponível em:< <https://www.scielo.br/pdf/ce/v58n348/v58n348a10.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2020.

SOARES, B. D. 2007. Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos. Decomposição térmica e otimização paramétrica. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia: 2007 (Parte 1). Disponível em:< <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15127/1/Parte%201.pdf> >. Acesso em: set. 2020.

SOUZA, F. O. de. Implantação da metodologia manutenção produtiva total para o aumento da eficiência dos setores de manutenção e produção de uma mineradora no Ceará, 2017. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Metalúrgica. Fortaleza, 2017.

SOUZA PINTO, T. C.; BRAGA, A. S.; VIANA, L. O.; LEAL FILHO, L. S. 2015. **Caracterização Hidrodinâmica e Metalúrgica de banco industrial de Flotação para purificação de calcário**. XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Poços de Caldas - MG, 18 a 22 outubro 2015.

SOKOLONSKI, H. H. (Coord.). **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999 (Manuais Técnicos em Geociências, 7).

SUINOCULTURAINDUSTRIAL. 2020. **Portal Suinocultura Industrial: Exportações- Saldo comercial do agro.** 18-set. 2020. Disponível em:<<https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/saldo-comercial-do-agro-e-recorde-em-2020/20200918-114849-h737>>. Acesso em: 09 out. 2020.

TEIXEIRA, W. 1978. Significação Tectônica do Magmatismo Anorogênico Básico e Alcalino na Região Amazônica. **Dissertação** (mestrado). IGUSP. São Paulo, 1978.

THOMAZ FILHO, A., CORDANI, U.G., MARINO, O. 1974. Idades K/Ar de rochas basálticas da Bacia Amazônica e sua significação tectônica regional. *In*: CONGR. BRAS.GEOL., 28, Porto Alegre, **Anais...**Porto Alegre: SBG, 1974. v. 6, p. 273-278.

UHLEIN, A.; PAIM, P.S.G.; TASSINARI, C.C.G.; PEDREIRA, A.J. 2015. Análise Estratigráfica de Bacias Ríftes Paleo-Mesoproterozoicas dos Cratons Amazônico e São Francisco. BRASIL. **REVISTA GEONOMOS**, v. 23, N.2, p. 1-13. BELO HORIZONTE, 2015.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS. 2019. Institutional site: **Mineral Commodity Summaries** 2019. Fev. 2019. Disponível em: < [https://www.usgs.gov/centers/nmic/lime-statistics-and-information?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/centers/nmic/lime-statistics-and-information?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con) >. Acesso em: 02 jul. 2021.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS. 2020a. Institutional site: **Mineral Commodity Summaries** (2020), January 31, 2020. p. 69. Disponível em:< <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS. 2020b. Institutional site: **Mineral Commodity Summaries** (2019-2020). Disponível em:< [https://www.usgs.gov/centers/nmic/lime-statistics-and-information?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/centers/nmic/lime-statistics-and-information?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con) >. Acesso em: 02 jul. 2021.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS. 2020c. Institutional site: Lime Statistics and Information - **Minerals Yearbook** 2017. June, 2020. Disponível em:< [https://www.usgs.gov/centers/nmic/lime-statistics-and-information?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/centers/nmic/lime-statistics-and-information?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)>. Acesso em: 03 jul. 2021.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS. 2020d. Institutional site: **Mineral Commodity Summaries** (2009-2020). Disponível em:< [https://www.usgs.gov/centers/nmic/lime-statistics-and-information?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/centers/nmic/lime-statistics-and-information?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con) >. Acesso em: 05 jul. 2021.

VITER. 2020. Site da Viter. **Marca do segmento agrícola** – Votorantim Cimentos S.A. Disponível em:< <https://viteragro.com.br/quem-somos/>>. Acesso em: 13 ago. 2020.

VOTORANTIMCIMENTOS. 2020. Lançamentos: **Viter, nova marca de insumos agrícolas**. São Paulo, 18 de maio de 2020. Disponível em:< <https://www.votorantimcimentos.com.br/noticia/apresentamos-viter-nossa-nova-marca-de-insumos-agricolas/>>. Acesso em: 13 Out.2020.

WIKIPÉDIA. **Aeroporto de Itaituba.** Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto\\_de\\_Itaituba](https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_de_Itaituba). Acesso em: 30 set. 2021.

WANDERLEY FILHO, J.R. 1991. Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. 125 f. **Dissertação** (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 1991.

WANDERLEY FILHO, J.R.; TRAVASSOS, W.A.S.; ALVES, D.B. 2005. The diabase in the Amazonian paleozoic basins-hero or villain? **Boletim de Geociências da PETROBRAS**. Rio de Janeiro, 2005. v. 14, n 1.

WANDERLEY FILHO, J.R.; TRAVASSOS, V.A.S. 2011. **Graben invertido de Purus**. *In*: Tapias, J.G. (editor/Coordenador Técnico). XIV Congreso Latinoamericano de Geología – XIII Congreso Colombiano de Geología. Medellín-Colombia. Memorias Resúmenes. 2011. p. 268-269.