



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

NATANAEL DE MATOS CEZARIO

CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS GEOLÓGICOS NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO
SUL PELA INTEGRAÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE MODELAGEM IMPLÍCITA

Porto Alegre

2021

NATANAEL DE MATOS CEZARIO

CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS GEOLÓGICOS NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO
SUL PELA INTEGRAÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE MODELAGEM IMPLÍCITA

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto a disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Diego Machado Marques
Orientadora: Profa. Dra. Juliana Charão Marques

Porto Alegre
2021

CIP - Catalogação na Publicação

Cezario, Natanael
CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS GEOLÓGICOS NA REGIÃO DE
CAÇAPAVA DO SUL PELA INTEGRAÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE
MODELAGEM IMPLÍCITA / Natanael Cezario. -- 2021.
68 f.
Orientadores: Diego Marques, Juliana Marques.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2021.

1. Modelagem Geológica. 2. Caçapava do Sul. 3.
Geologia Econômica. I. Marques, Diego, orient. II.
Marques, Juliana, orient. III. Título.

NATANAEL DE MATOS CEZARIO

CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS GEOLÓGICOS NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO
SUL PELA INTEGRAÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE MODELAGEM IMPLÍCITA

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto a disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Cidade, __ de _____ de ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.

Universidade

Prof. Dr.

Universidade

Prof. Dr.

Universidade

Dedico este trabalho aos meus pais e amigos que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Artur e Carolina. Minha jornada até o final deste trabalho, assim como minha construção como pessoa não existiriam sem todo o empenho e apoio incondicional deles. Mesmo as vezes não entendendo, eles lutaram por meus sonhos sem questionar ou julgar, novamente expresse os meus mais sinceros agradecimentos.

Agradeço aos meus amigos do grupo de estudos chamado Vitas (Raquel, Benedicte, Maurício, Luiz e Silvia), que começou de forma despreziosa, mas se transformou em amizades que quero levar para a vida inteira.

Agradeço ao meu amigo David, por todas as conversas, conselhos e experiências compartilhadas ao longo de todos esses anos. Em um período de tantas mudanças na minha vida sua amizade e seu apoio foram essenciais no meu trajeto até aqui.

Agradeço a minhas primas Sara e Julia, além de minha tia Tereza, por toda ajuda que me foi dada durante minha jornada.

Quero também agradecer a Gabriela, por todas conversas que tivemos antes e depois da pandemia. A Anna deixo meus agradecimentos pela nova amizade que aconteceu de forma tão natural, mesmo distância e neste contexto de pandemia.

Agradeço aos demais colegas e professores da UFRGS e ao IGEO pelos ensinamentos, experiências e ideias compartilhadas ao longo destes anos. Não tenho dúvida de quanto eu estou grato e sem arrependimentos do caminho que escolhi seguir.

Aos meus colegas da SEG UFRGS Student Chapter por todas as oportunidades de desenvolvimento oferecidas ao longo do curso, que contribuíram de forma inestimável para meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Agradeço aos colaboradores da empresa Equinox Gold, especialmente a Carol, Jordanna, Nataly, Lucas, Américo, Cintia e Luiz. Suas amizades e companhia foram muito importantes pra mim neste contexto de tantas mudanças que passei durante o estágio.

Agradeço aos meus orientadores, Diego e Juliana, por toda paciência, deidicação e compreensão durante a composição deste trabalho.

*"Sempre a indescorajada alma do homem
resoluta indo à luta.*

*(Os contingentes anteriores falharam?
Pois mandaremos novos contingentes
e outros mais novos.)*

*Sempre o cerrado mistério
de todas as idades deste mundo
antigas ou recentes;
sempre os ávidos olhos, hurras, palmas
de boas-vindas, o ruidoso aplauso;
sempre a alma insatisfeita,
curiosa e por fim não convencida,
lutando hoje como sempre,
batalhando como sempre."*

(Walt Whitman)

RESUMO

Para representação de dados geológicos complexos de maneira dinâmica e realista se faz o uso da modelagem geológica tridimensional, sendo a modelagem implícita uma ferramenta de grande utilidade na elaboração de projetos que visam o entendimento de corpos geológicos em superfície e subsuperfície. O presente trabalho propõe a elaboração de um modelo tridimensional da região de Caçapava do Sul, combinando informações de diversas bases de dados, visando entender a continuidade dos corpos geológicos na região. A partir desse modelo, espera-se um melhor entendimento da geologia em profundidade, a partir da integração de campos geralmente trabalhados de forma individual. O projeto tem como enfoque as litologias pertencentes ao Complexo Granítico Caçapava do Sul e o Complexo Passo Feio. A modelagem em profundidade a partir de dados litológicos e estruturais poderá mostrar a continuidade espacial dos corpos em subsuperfície, apresentando um novo tipo de mapa para utilização com ferramenta de visualização espacial (realidade virtual). Na confecção do projeto, foi construído um modelo geológico partindo de um modelo conceitual, com base em dados já publicados, direcionando construção do mesmo para que ele possa se adaptar a todas as anisotropias e feições particulares presentes nos corpos geológicos da região. Sendo assim, o projeto auxilia no entendimento da região de Caçapava do Sul, no que diz respeito ao controle espacial dos corpos geológicos da área, auxiliando no entendimento da geologia e possivelmente ser utilizado na área de prospecção, na busca de potenciais alvos de minério de Cu.

Palavras-chave: Modelagem Geológica. Caçapava do Sul. Geologia Econômica

ABSTRACT

In order to represent complex geological data in a dynamic and realistic way, three-dimensional geological modeling is used, with implicit modeling being a very useful tool in the elaboration of projects aimed at understanding geological bodies above and below the surfaces. The present work aims at the elaboration of a three-dimensional model of the region of Caçapava do Sul, combining information from several databases, aiming to understand the continuity of the geological bodies in the region. Based on this model, a better understanding of the geology of the region in depth is expected, based on the integration of fields usually worked individually. The project focuses on the lithologies belonging to the Caçapava do Sul Granitic Complex and the Passo Feio Complex. In-depth modeling based on lithological and structural data may show the spatial continuity of bodies in the subsurface, presenting a useful new type of map with a spatial visualization tool (virtual reality). For the design of the project, a geological model will be built starting from a conceptual model, based on data already published, orienting its construction so that it can adapt to all anisotropies and particular features present in the geological bodies of the region. Therefore, it is expected that the project can help in the understanding of the region, as well as its spatial control and continuity in the area, assisting in the understanding of the geology and possibly being used in the prospecting field, in the search for potential targets.

Keywords: Geological Modeling. Caçapava do Sul. Economic Geology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Uma divisão espacial de 12 modelos que podem ser usados para entender a geologia da província de Alberta, Canadá. Os modelos, desenvolvidos em uma variedade de escalas, estão ajudando os pesquisadores a entender as relações geoespaciais e as interações entre a superfície e a subsuperfície.....	15
Figura 2 — Localização do Município de Caçapava do Sul	18
Figura 3 — Mapa com compartimentação geotectônica do Escudo Sul Rio Grandense.....	19
Figura 4 — Mapa Geológico da Província Cuprífera de Caçapava do Sul.....	21
Figura 5 — (A) Mapa geológico da região. (B) Perfil Geológico referente a ocorrência Coronel Linhares.	23
Figura 6 — Mapa geológico da mineralização Andradas	24
Figura 7 — Seção geológica do corpo de minério de Andradas	25
Figura 8 — Ilustração comparativa entre modelagem explícita (A) e modelagem implícita (B)	26
Figura 9 — Depósito Peschanka, Cobre Pórfiro, Rússia: (A) Modelo 3D do depósito construído através da técnica de modelagem explícita com teor da mineralização restrito a 0,4% de Cu; (B) Modelo representado pelas linhas em 3D; (C) Modelo representado pelo sólido.	28
Figura 10 — Contato de base de um arenito tabular que hospeda um depósito de Urânio, Cazaquistão. Interpretação Geológica e modelos equipotenciais gerados matematicamente.....	29
Figura 11 — Interpolante Isotrópico	30
Figura 12 — Tendência global aplicada ao interpolante	31
Figura 13 — Tendência estrutural aplicada ao interpolante	31
Figura 14 — Fluxograma com rotina de aquisição, tratamento e interpretação dos dados.	33
Figura 15 — Relevo e imagem de satélite já processados no ambiente tridimensional. Exagero vertical de três vezes.	35
Figura 16 — Dados estruturais planares, representados por discos, onde a cor de cada disco representa a litologia a qual pertence. Exagero vertical de três vezes. ..	36
Figura 17 — Mapa radiométrico de contagem total dos elementos K, U e Th, com lineamentos traçados.	37
Figura 18 — Amplitude do sinal analítico, com lineamentos magnéticos.	38
Figura 19 — Dados utilizados para definição das litologias do modelo geral agrupados na interface do software Leapfrog Geo, linhas em amarelo representam os contornos litológicos retirados de UFRGS (1998).	42
Figura 20 — Contornos litológicos definidos a partir da junção e reinterpretação de trabalhos nas regiões que hospedam as mineralizações Andradas e Primavera	43

Figura 21 — Contorno da porção carbonática do Complexo Passo Feio (linha tracejada em verde)	44
Figura 22 — Superfície cronológica do Complexo Granítico Caçapava do Sul junto com dados estruturais utilizados para interpolar os dados em subsuperfície do corpo	45
Figura 23 — Modelo geológico tridimensional da região de Caçapava do Sul. Seções em cinza indicando perfis de corte das Figuras 23, 24 e 25.	46
Figura 24 — Perfil Leste-Oeste do modelo mostrando os planos interpolados que representam o conjunto da deformação, o que indica a presença de estruturas de menor escala nos dados.....	47
Figura 25 — Perfil Leste-Oeste da região gerado através do modelo geológico.	47
Figura 26 — Perfil Geológico NW-SE da região gerado através do modelo geológico.	48
Figura 27 — Complexo Granítico Caçapava do Sul e Complexo Passo Feio modelados no ambiente tridimensional. Exagero vertical de três vezes.	49
Figura 28 — Ilustração da função compiladora do modelo geológico realizado, através das diferentes fontes de dados utilizados.....	50
Figura 29 — Contagem total dos elementos U-Th-K com linhas pontilhadas em branco destacando regiões da borda do Complexo Granítico Caçapava do Sul com baixos valores na contagem total.	51
Tabela 1 — Dados Estruturais compilados. Valor em Z foi extraído através das informações digitais de elevação.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Au	Ouro
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
Cu	Cobre
ESRG	Escudo Sul Rio Grandense
K	Potássio
Th	Tório
U	Urânio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.3	OBJETIVOS E METAS	16
2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3	ESTADO DA ARTE	19
3.1	GEOLOGIA REGIONAL	19
3.1.1	Terreno São Gabriel	19
3.1.2	Complexo Passo Feio	21
3.1.3	Complexo Granítico Caçapava do Sul	22
3.1.4	Mineralizações	22
3.2	MODELAGEM COMPUTACIONAL	25
4	METODOLOGIA	32
4.1	ETAPA DE PLANEJAMENTO	32
4.1.1	Levantamento bibliográfico	Erro! Indicador não definido.
4.2	SELEÇÃO E FILTRAGEM DOS DADOS	33
4.2.1	Levantamento bibliográfico	33
4.2.2	Dados litológicos	34
4.2.3	Dados Topográficos	34
4.2.4	Dados Estruturais	35
4.2.5	Dados Geofísicos	36
4.2.6	Tratamento dos dados	38
4.2.7	Parâmetros da Modelagem	39
5	RESULTADOS	41
5.1	MODELO GEOLÓGICO	41
5.2	DISCUSSÕES	48
6	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	54
	ANEXO A — Tabela de Dados Estruturais	58

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve uma evolução significativa nas tecnologias de modelagem tridimensional. Os geólogos sempre reconheceram a necessidade de ver o mundo como multidimensional. A complexidade dos problemas com as quais se precisa lidar rotineiramente em diversas áreas, requer respostas elaboradas em um curto período de tempo, que permitam a análise das relações estruturais e geológicas em 3D. Os requisitos para caracterização e modelagem de subsuperfície podem ser definidos como modelos espaciais e espaço-temporais da natureza física de porções da crosta terrestre. Ou seja, a capacidade de modelar e visualizar efetivamente a geometria das unidades estratigráficas das rochas, as relações espaciais e temporais entre geo-objetos, a variação na composição interna de geo-objetos, os deslocamentos ou distorções por forças tectônicas, e o fluxo de fluido através de unidades de rocha (Raper; Kelk, 1991).

No campo da geologia, a realidade existente geralmente devem ser analisada apenas contando com uma pequena amostragem do fenômeno a ser estudado. Esse modelo geológico da região de Caçapava do Sul resulta da compilação de diversos dados geológicos, observações e estudos disponíveis até o momento, montado de tal maneira a mostrar e explicar as observações tanto do ponto de vista empírico quanto genético. O modelo pode ser extremamente simples ou muito complexo dependendo da natureza do depósito, dos dados disponíveis ou o grau de sofisticação das técnicas de análise utilizadas. O modelo empírico representa a compilação e integração de inúmeros tipos de estudos químicos, mineralógicos e estruturais, enquanto o modelo conceitual ou genético tenta explicar a distribuição e a origem destas características de maneira útil e significativa (Erickson, 1992).

O modelo geológico deve reunir realismo e simplicidade, sendo uma ferramenta fundamental para a realização de estudos nas mais diversas áreas. Em geociências, a elaboração de modelos geológicos em três dimensões da forma e da distribuição das propriedades químicas e físicas possibilita o entendimento dos fenômenos que originaram o depósito mineral, sua vizinhança e o comportamento espacial. São delimitadas as unidades geológicas, implicando em decisão de estacionariedade e homogeneidade em cada domínio modelado, descrevendo a

extensão, forma e volume das diferentes unidades no espaço, bem como de suas propriedades físicas e químicas.

Para fins de entendimento da geologia envolvendo dados das mais diversas fontes e sua integração em um modelo geológico tridimensional, a região de Caçapava do Sul foi escolhida como alvo. A região de Caçapava do Sul é conhecida por sua geodiversidade e por sua importância histórica na área da mineração de elementos metálicos. Ao longo do tempo, diversos trabalhos foram feitos buscando caracterizar e compreender as ocorrências minerais da área (Ribeiro *et al.*, 1966; Remus *et al.*, 2000a; Remus *et al.*, 2000b; Reis *et al.*, 2017). E diversas empresas têm trabalhado na prospecção e mineração de minérios na região. Dessa forma, é possível perceber o grande interesse na pesquisa geológica e mineral na área, a fim de que se tenha dados que possam esclarecer o controle e gênese dos minérios, assim como entender melhor a estratigrafia e formação dos corpos hospedeiros e dos corpos fontes para as mineralizações.

Este projeto busca correlacionar os dados litológicos, estruturais e geofísicos disponíveis para a região, buscando compreender melhor a geologia da área, criando um modelo tridimensional das ocorrências litológicas, visto que ainda não existem trabalhos integradores desta natureza na região. Consiste de trabalho complementar ao mapeamento geológico, podendo beneficiar a sociedade, onde o modelo pode ser usado desde pesquisa e monitoramento até modelagem e gestão de recursos. Espera-se que um modelo dessa natureza possa permitir avaliar a continuidade espacial dos corpos geológicos e colaborar para a definição de regiões com possíveis potenciais de pesquisa e exploração.

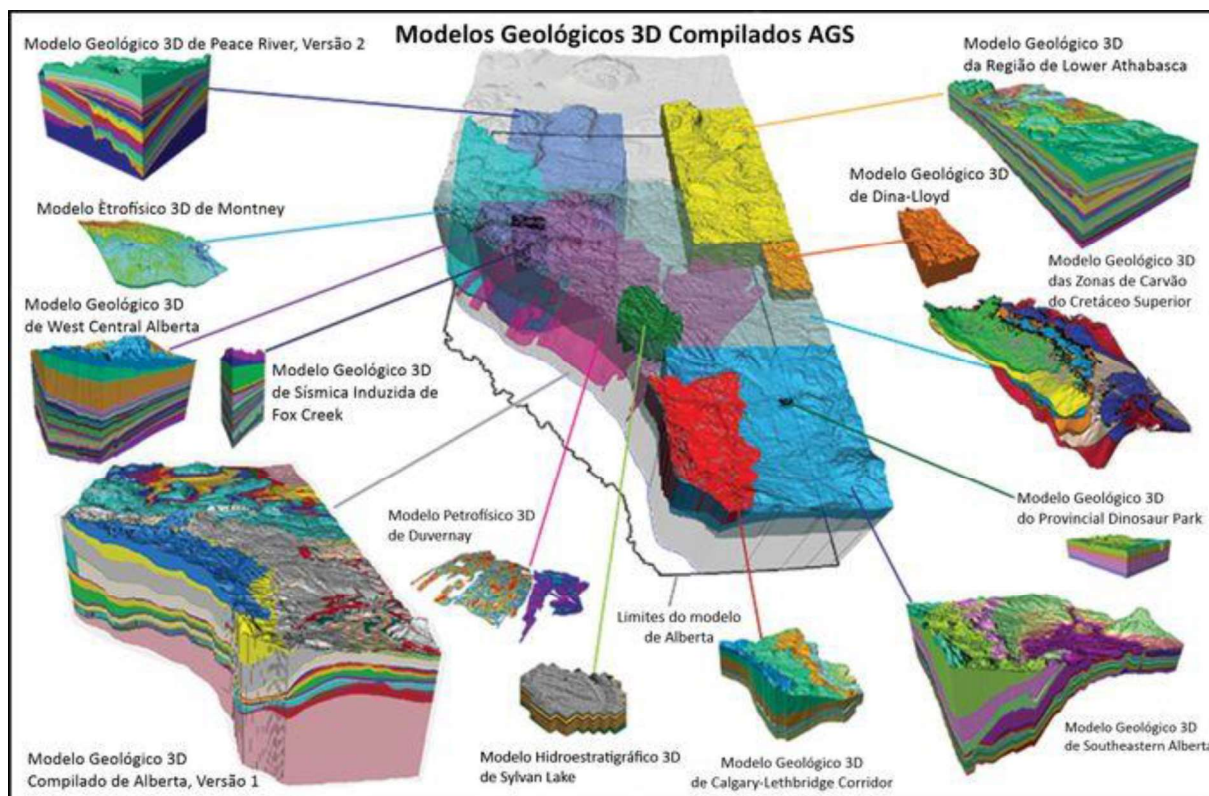
1.1 JUSTIFICATIVA

A trabalho aqui apresentado tem originalidade e relevância para o desenvolvimento científico, pois permite a combinação de dados de múltiplas fontes inicialmente tratadas de forma independente. Diversos trabalhos vêm sendo apresentados nesse sentido, como exemplos do processo para desenvolver mapas geológicos 3-D em várias escalas (Boyd, 2018). As aplicações e benefícios deste método são elencados nos pontos abaixo:

- Desenvolvimento de ferramentas inovadoras para permitir que os usuários explorem interativamente modelos geológicos 3D,
- Incorporar informações do banco de dados estrutural, GIS e Geológico para retratar com mais precisão as falhas e deslocamentos lineares dentro deste modelo,
- Desenvolver estrategicamente a aquisição de dados em áreas que requerem avaliação adicional para reduzir a incerteza ou melhorar a resolução do modelo, e
- Melhorar a ligação entre as atividades e recursos de superfície e subterrânea em toda a região.

Espera-se que o modelo possa ser usado também no setor mineral na área de prospecção, pois poderá auxiliar em um melhor controle dos contatos geológicos, além de permitir auxiliar na identificação de estruturas que possam ser alvos de interesse. A maneira de como os dados podem ser integrados para a geração dos modelos pode ser visto na Figura 1. Da mesma maneira, esse trabalho busca integrar e processar os dados através de um modelo tridimensional que reúna informações geológicas, geofísicas e estruturais da região.

Figura 1 — Uma divisão espacial de 12 modelos que podem ser usados para entender geologia da província de Alberta, Canadá. Os modelos, desenvolvidos em uma variedade de escalas, estão ajudando os pesquisadores a entender as relações geoespaciais e as interações entre a superfície e a subsuperfície.



Fonte: Modificado de Boyd (2018)

O presente trabalho irá contribuir para o entendimento da área de maneira considerável, tanto em critérios geoeconômicos quanto na geologia no geral, definindo melhor o posicionamento de corpos em subsuperfície.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Historicamente a região de Caçapava do Sul, bem como toda a extensão do Terreno São Gabriel são alvos de discussões sobre a gênese e comportamento dos corpos litológicos ali contidos, bem como das mineralizações hospedadas na região. Dados de diversas fontes constantemente são produzidos na região, seja pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por trabalhos acadêmicos ou por projetos de prospecção de empresas privadas.

Devido ao interesse prospectivo na região, se torna de grande interesse que as informações possam ser integradas de maneira concisa, a fim de que o dado e sua referida interpretação possa ser mensurado e representado de uma maneira fidedigna.

Atualmente grande parte dos depósitos de minerais metálicos são encontrados em subsuperfície, o que torna cada vez mais importante a geração de modelos que possam interpretar o comportamento dos corpos em profundidade. Nenhum trabalho publicado gerou um modelo tridimensional integrado da região, que compile tanto as informações de escala regional quanto de detalhe.

1.3 OBJETIVOS E METAS

O objetivo desse estudo é desenvolver modelos de corpos geológicos e definir os atributos geométricos com técnicas de modelagem numérica, conhecidas como métodos implícitos, a partir de informações de mapeamento, estruturais e outras fontes de informações secundárias (geofísica, topografia e imageamento aéreo) na região de Caçapava do Sul. Isso permitirá um melhor entendimento da continuidade espacial da geologia local, obtido a partir da compilação, produção e processamento de dados geológicos, geofísicos e estruturais da região. O Projeto visa melhorar a relação entre os dados já existentes e possibilitar um maior entendimento do controle e continuidade espacial das mineralizações. Para o atendimento destas metas, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Gerar um modelo integrado dos dados da região de Caçapava do sul a partir de dados públicos de superfície;
- Integralizar as informações estruturais e correlacionar espacialmente através de contornos computacionais, ou seja, um CAD (*Computer Aided Design*) geológico;
- Analisar a continuidade espacial dos corpos geológicos com ajuda de mapas e seções produzidos em estudos anteriores, além de dados estruturais para gerar o modelo em profundidade;
- Testar o algoritmo de modelagem implícita na integralização das informações estruturais, topográficas, GIS e outras;

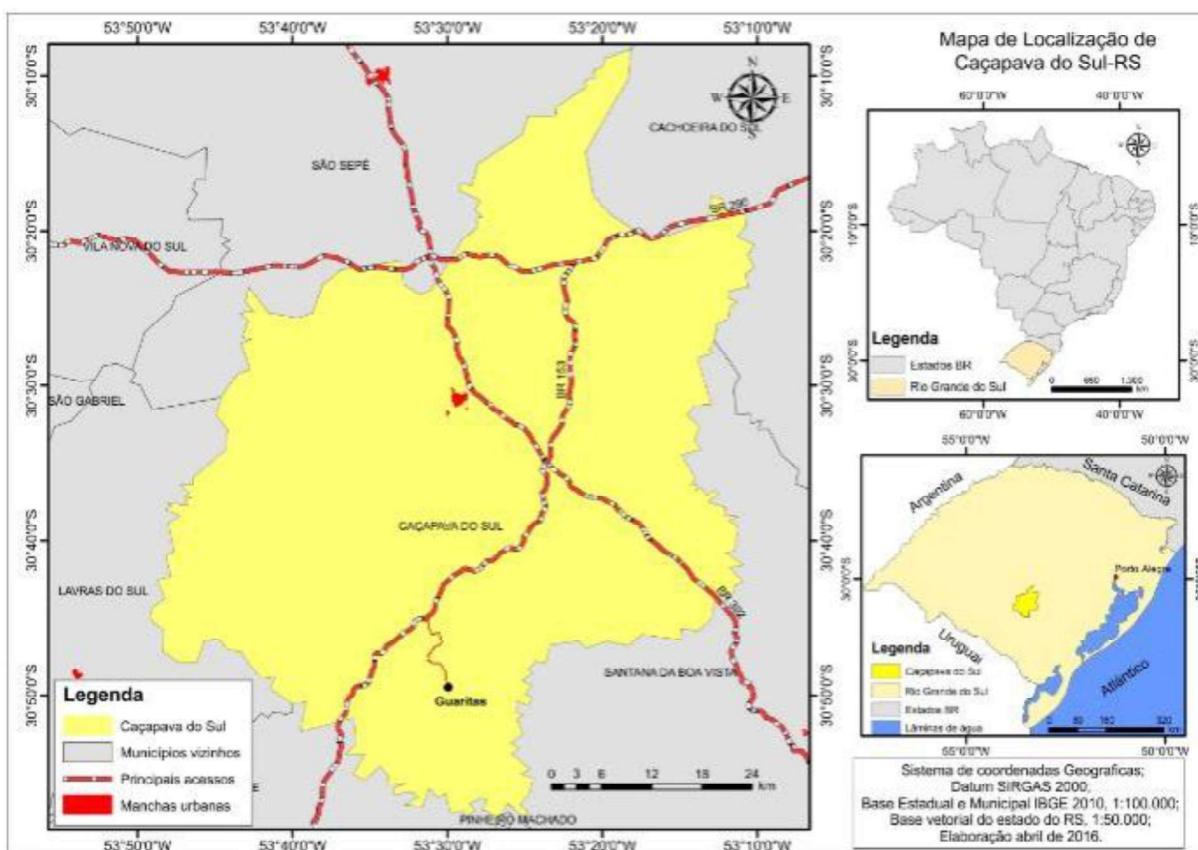
O projeto trabalhará com a extensa quantidade de dados já publicados na área para compilação de um modelo prévio para posteriormente definir alvos de interesse e refinar as informações adquiridas com novos dados enfocando nas áreas com mineralizações.

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Caçapava do Sul, no centro do estado do Rio Grande do Sul. A cidade fica a aproximadamente 261 km do município Porto Alegre.

O polígono de estudo pode ser acessado através da BR-290 no sentido oeste, seguindo a partir da cidade de Porto Alegre, passando pelas cidades de Eldorado do Sul, Butiá e Pântano Grande. Posteriormente pegando a rodovia BR-392 no sentido sul até a cidade de Caçapava do Sul (Figura 2).

Figura 2 — Localização do Município de Caçapava do Sul



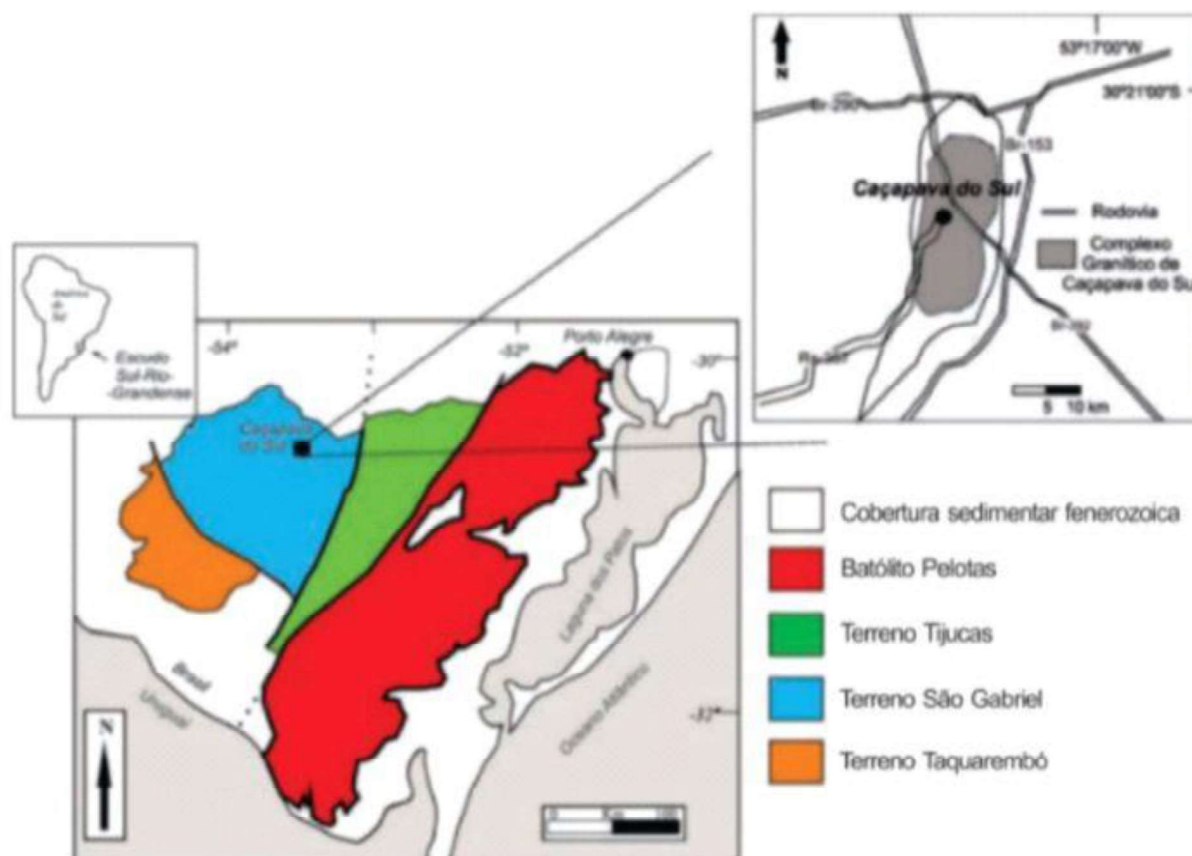
Fonte: Retirado de Degrandi (2011)

3 ESTADO DA ARTE

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo do projeto está localizada na porção oeste do Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), que por sua vez está localizado na porção sul da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1976). É interpretado como produto dos ciclos orogênicos Transamazônico (2260-2000 Ma) e Brasileiro (900-535 Ma), sendo dividido em quatro domínios: Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito Pelotas (Remus *et al.*, 2000b; Hartmann *et al.*, 2007). A região de estudo está localizada no Terreno São Gabriel, região de Caçapava do Sul (Figura 3).

Figura 3 — Mapa com compartimentação geotectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense.



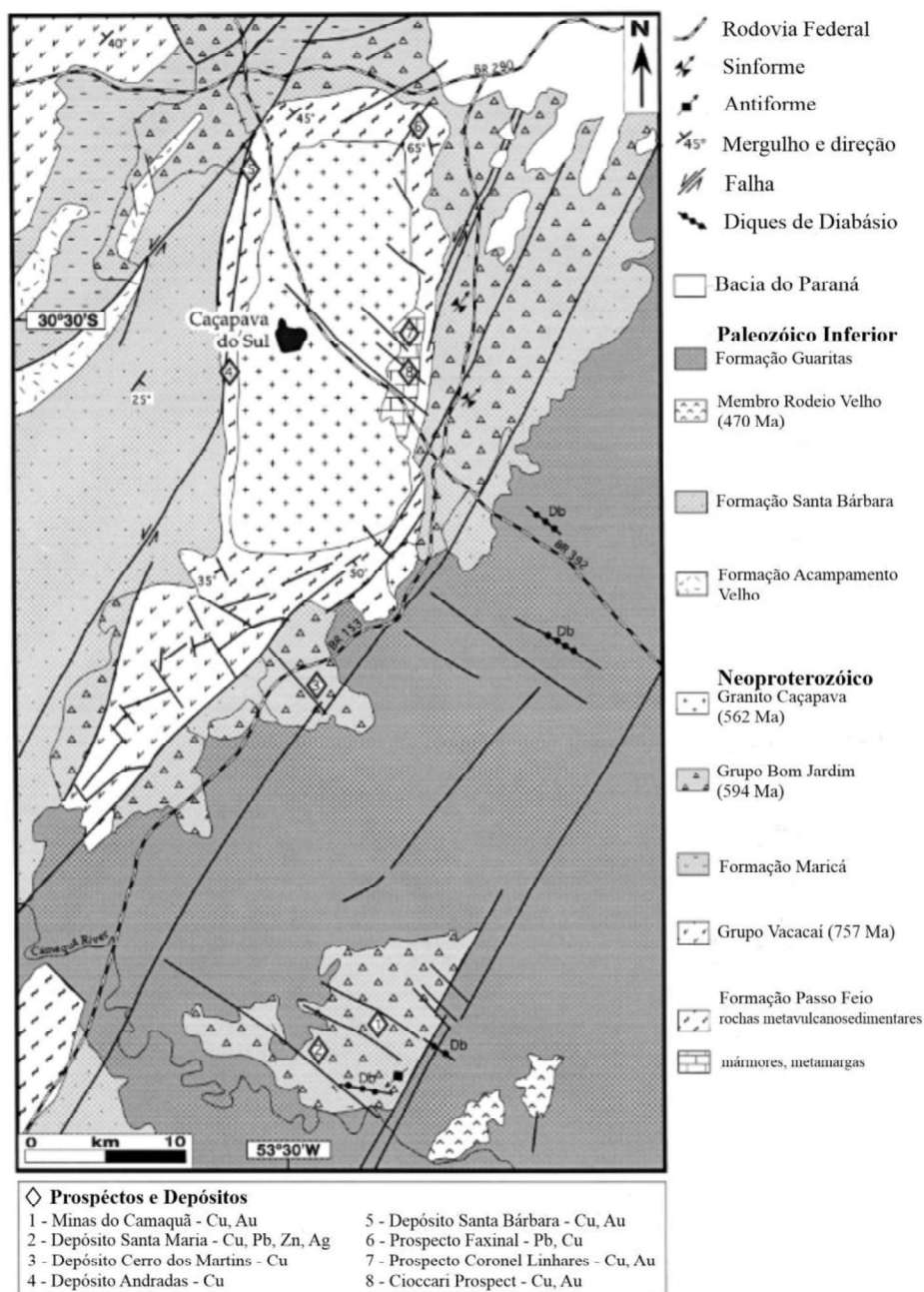
Fonte: Modificado de Remus *et al.* (2000b)

3.1.1 Terreno São Gabriel

O Terreno São Gabriel é delimitado a oeste e norte por unidades Fanerozóicas da Bacia do Paraná, a sul pela Zona de Cisalhamento de Ibaré e a leste pela Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul. Segundo Philipp *et al.* (2016a), o terreno tem direção alongada segundo direção N20 - 30°E, abrangendo uma área de aproximadamente 110 x 60km. Suas unidades são controladas estruturalmente por zonas de cisalhamento com direção de N30 - 40°E que são rotacionadas para a direção N30°W pela Zona de Cisalhamento de Ibaré, no limite sul do terreno.

As diferentes unidades litológicas do Terreno São Gabriel podem ser divididas em três principais associações petrotectônicas, são elas o Prisma Acrescionário Palma, as Associações relacionadas a Arco Magmático e Associações vulcano-plutônica-sedimentar Seival (Philipp *et al.* 2016a). Dentro deste contexto, o polígono de estudo do projeto irá trabalhar com as rochas metamórficas do Complexo Passo Feio, que estão ligadas com as Associações relacionadas a Arco. Também se trabalhará com as rochas plutônicas da Associação vulcano-plutônica sedimentar do Seival, mais especificamente o Complexo Granítico Caçapava do Sul. As unidades da Formação Guaritas, Membro Rodeio Velho, Formação Santa Bárbara, Formação Acampamento Velho e Grupo Bom Jardim foram englobadas na região de estudo (Figura 4), porém não serão o foco do trabalho, ainda que sejam pertencentes a Associação vulcano-plutônica sedimentar do Seival.

Figura 4 — Mapa Geológico da Província Cuprífera de Caçapava do Sul



Fonte: Retirado de Remus *et al.* (2000a)

3.1.2 Complexo Passo Feio

O Complexo Passo Feio é uma seqüência vulcano-sedimentar metamorfizada, principalmente na fácies anfibolito superior (Remus *et al.*, 2000a). Possui idade de deposição máxima de 774 ± 8 Ma pelo método de U-Pb por zircão detrítico (Lopes *et al.*, 2015). O complexo é composto por ardósias, filitos, xistos

pelíticos, grafita xisto, mármore, quartzito, metaconglomerado, rochas cálcio-silicáticas, anfibolito, com metabasaltos e xistos magnesianos subordinadamente (Ribeiro *et al.*, 1966; Bitencourt, 1983).

O metamorfismo regional varia entre a zona da clorita, xisto verde e zona da estauroлита na fácies anfibolito, sendo que o Complexo Passo Feio foi submetida dois eventos metamórficos principais, M1 e M2, que foram localmente reequilibrados na fácies anfibolito (Hartmann *et al.*, 1990). Os efeitos termais da intrusão do Complexo Granítico Caçapava do Sul dentro do Complexo Passo Feio são restritos a recristalização ao longo do contato com as apófises (Remus *et al.*, 2000a).

3.1.3 Complexo Granítico Caçapava do Sul

O Complexo Granítico Caçapava do Sul (Bitencourt, 1983), também chamado de Granito Caçapava (Ribeiro *et al.*, 1966), possui forma alongada segundo eixo N-S e é considerado um batólito, com idade pelo método de U-Pb de 562 ± 8 Ma (Remus *et al.*, 2000a). Segundo Nardi e Bitencourt, (1989), o Complexo Granítico Caçapava do Sul pode ser dividido entre as fácies biotita granitóides, com rochas variando entre granodioritos, tonalitos, quartzo monzonitos e quartzo dioritos; leucogranitóides, com rochas entre sienogranitos a granodioritos; e granitóides transicionais, com rochas entre monzogranitos e granodioritos. Na porção leste do batólito foram encontrados pegmatitos, aplitos e veios de quartzo contendo pirita e/ou hematita, indicando alta quantidade de fluidos durante as fases finais de cristalização do granito (Reis *et al.*, 2018).

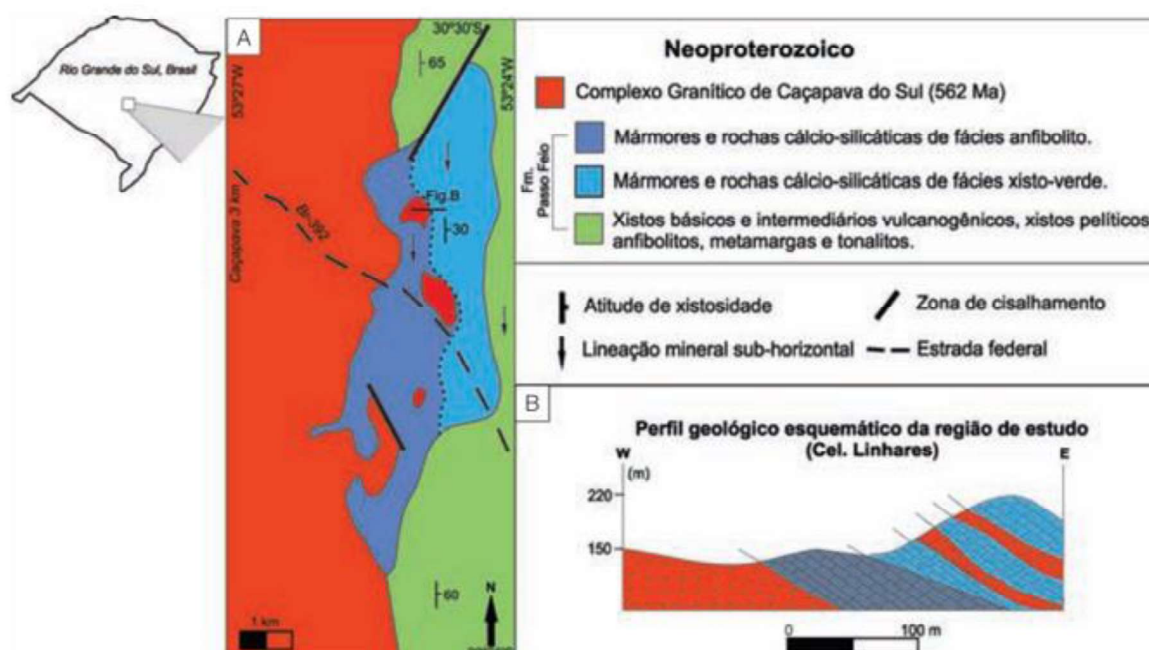
Os granitos do Complexo Granítico Caçapava do Sul intrudem o Complexo Passo Feio, na forma de intrusões com mergulho sub-horizontal (Ribeiro *et al.*, 1966; Bitencourt, 1983; Sartori e Kawashita, 1985; Nardi e Bitencourt, 1989; Reis *et al.*, 2018). Possui foliação de baixo ângulo que provavelmente está associada a zona de cisalhamento transcorrente que afetou o granito (Costa *et al.*, 1995).

3.1.4 Mineralizações

As mineralizações ocorrem pontualmente associadas à estruturas ao longo de todo o contato do Complexo Granítico Caçapava do Sul com as rochas encaixantes do Complexo Passo Feio (Toniolo; Kirchner, 2000; Remus *et al.*, 2000a). Segundo Remus *et al.* (2000a), as ocorrências minerais podem estar alinhadas tanto nas direções NW quanto NE, e sua provável origem é a interação de fluidos finais da cristalização do granito com as rochas encaixantes da Complexo Passo Feio, por vezes ilustrado na relação de contato entre as apófises do Complexo Granítico Caçapava do Sul com as rochas encaixantes e suas respectivas ocorrências minerais.

No contato leste do Complexo Granítico Caçapava do Sul, destaca-se a ocorrência das mineralizações Coronel Linhares e Ciocari no contato com as porções carbonáticas do Complexo Passo Feio (Figura 4). Segundo Reis *et al.* as mineralizações ocorrem associadas a *sills* e apófises do Complexo Granítico Caçapava do Sul que intrudem os mármorees dolomíticos do Complexo Passo Feio, controlados por um lineação sub-horizontal segundo direção NE ou por fraturas extensionais segundo direção NW (Figura 5).

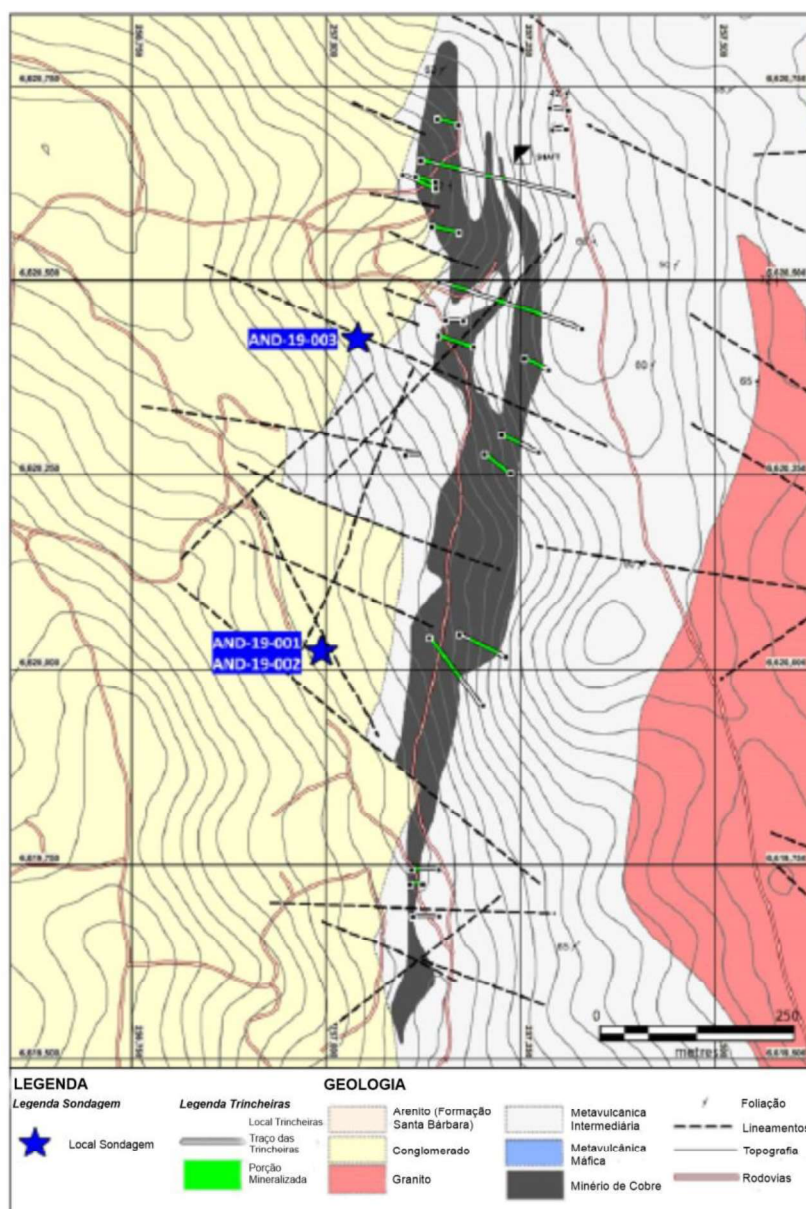
Figura 5 — (A) Mapa geológico da região. (B) Perfil Geológico referente a ocorrência Coronel Linhares.



Fonte: Retirado de Reis *et al.* (2017)

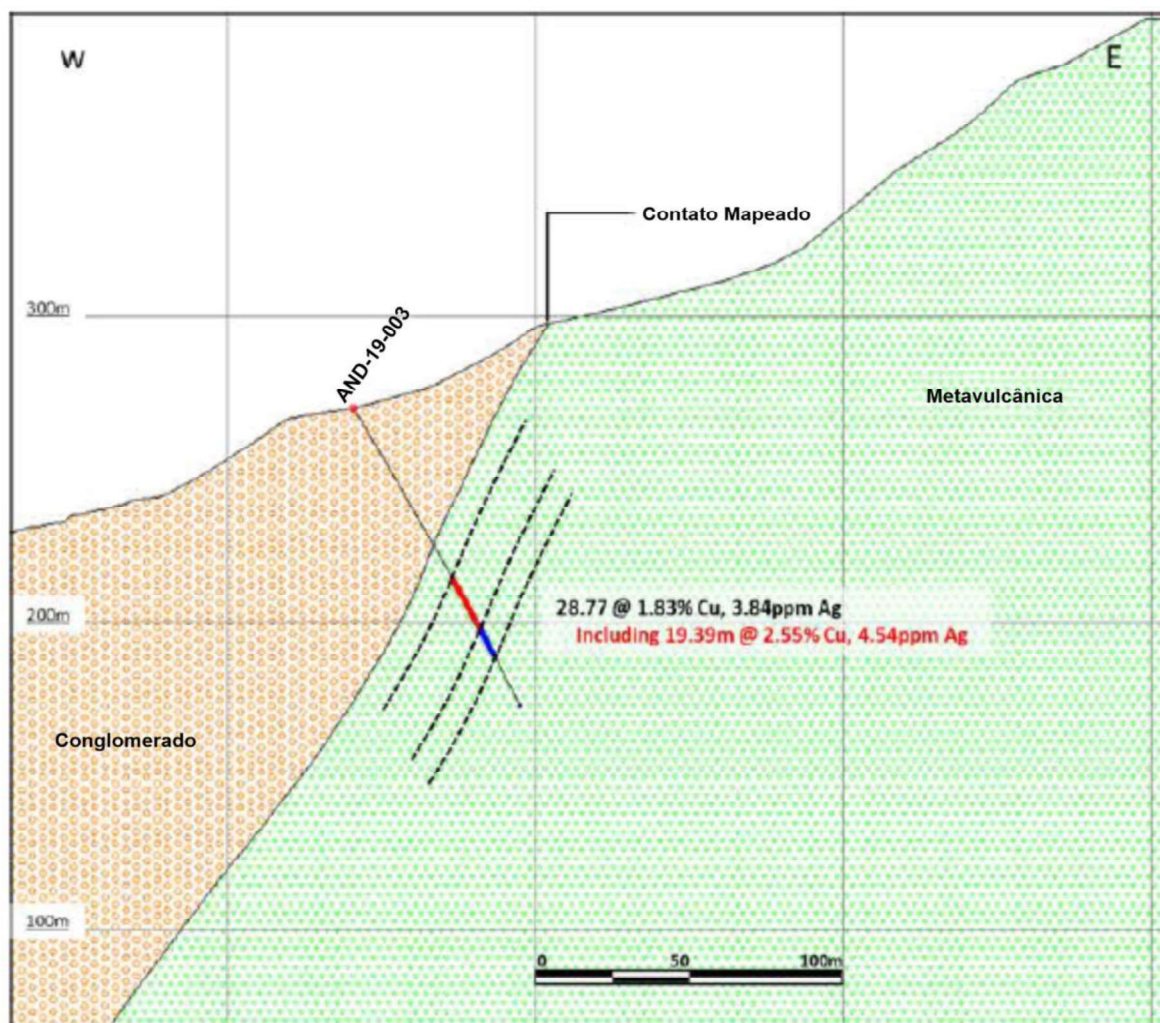
No contato Oeste do Complexo Granítico Caçapava do Sul destaca-se as mineralizações de Cu provenientes do depósito Andradas, hospedadas nas rochas metavulcanosedimentares do Complexo Passo Feio (Figura 6), com estruturação segundo eixo N-S e caimento com alto ângulo para Oeste (Remus *et al.*, 2000a). Segundo Água Resources (2019) foram encontrados teores consideráveis de Cu e Ag contidos nas estruturas ao longo do corpo (Figura 7).

Figura 6 — Mapa geológico da mineralização Andradas



Fonte: Modificado de Água Resources (2019)

Figura 7 — Seção geológica do corpo de minério de Andradás



Fonte: Modificado de Águia Resources (2019)

3.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL

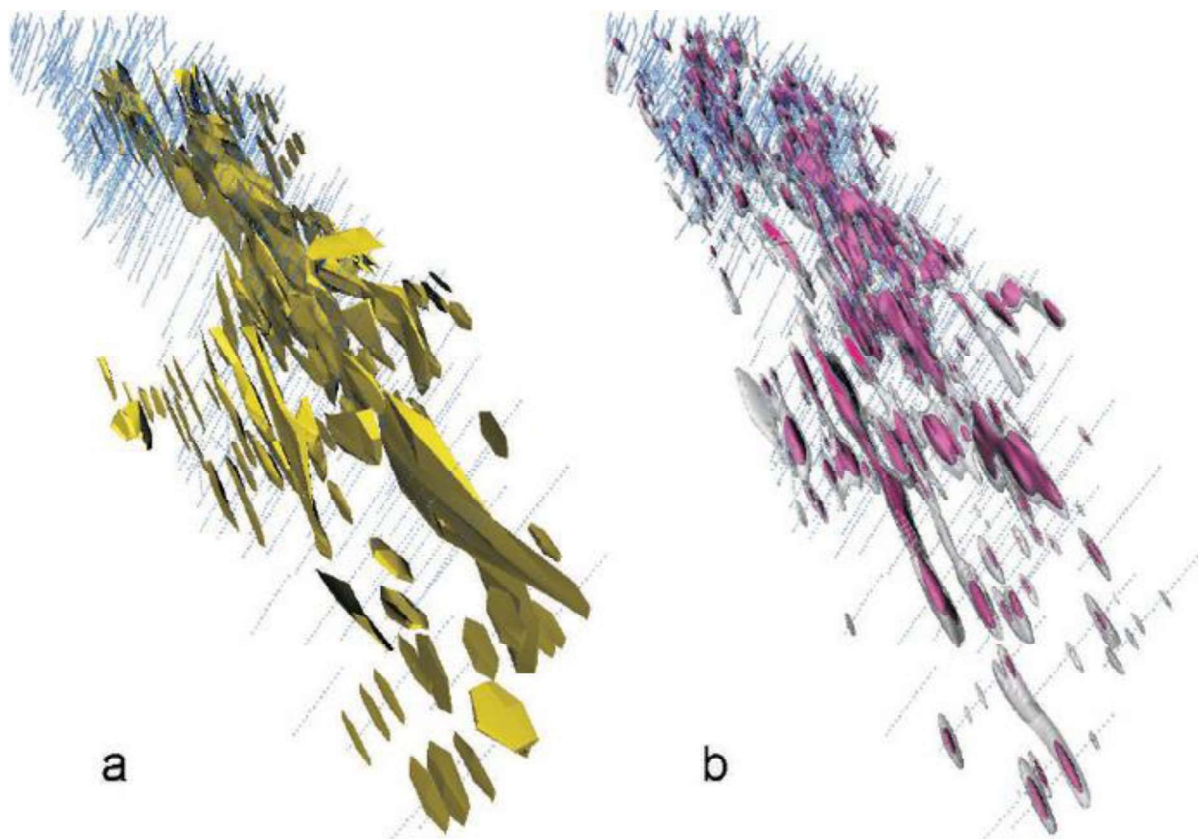
A construção de modelos tridimensionais computacional apresenta de forma aproximada (dada a quantidade de dados disponível) a forma das feições geológicas, sua localização espacial e todas as características que possuam descrição (como, geotécnicas, geoquímica, tipológica, etc). O processo começa com a coleta, compreensão e interpretação de todas as informações necessárias para a construção de seu modelo geológico.

Esses modelos tem alguns critérios e objetivos específicos:

- Identificar os principais atributos para modelagem 3D (podem ser classes, tipo de rocha, mineralogia);
- Definir o que os domínios são projetados para representar em subsuperfície;
- Investigar a “estrutura interna” da variável a ser modelada (mosaico, difusiva);
- Definir critérios de domínio (pode ser alguma propriedade específica ou por uma combinação de dados como químicos, estruturais ou litológicos);

A modelagem geológica tem como objetivo a representação de corpos geológicos dentro do ambiente tridimensional, sendo amplamente utilizado em áreas de mineração, geotecnia, geologia estrutural, entre outros, devido a versatilidade de representação do pensamento e interpretação do geólogo que o modelo geológico proporcional (Oliveira, 2017). De maneira geral, a modelagem geológica tridimensional pode ser designada em dois segmentos: a modelagem explícita e a modelagem implícita (Figura 8).

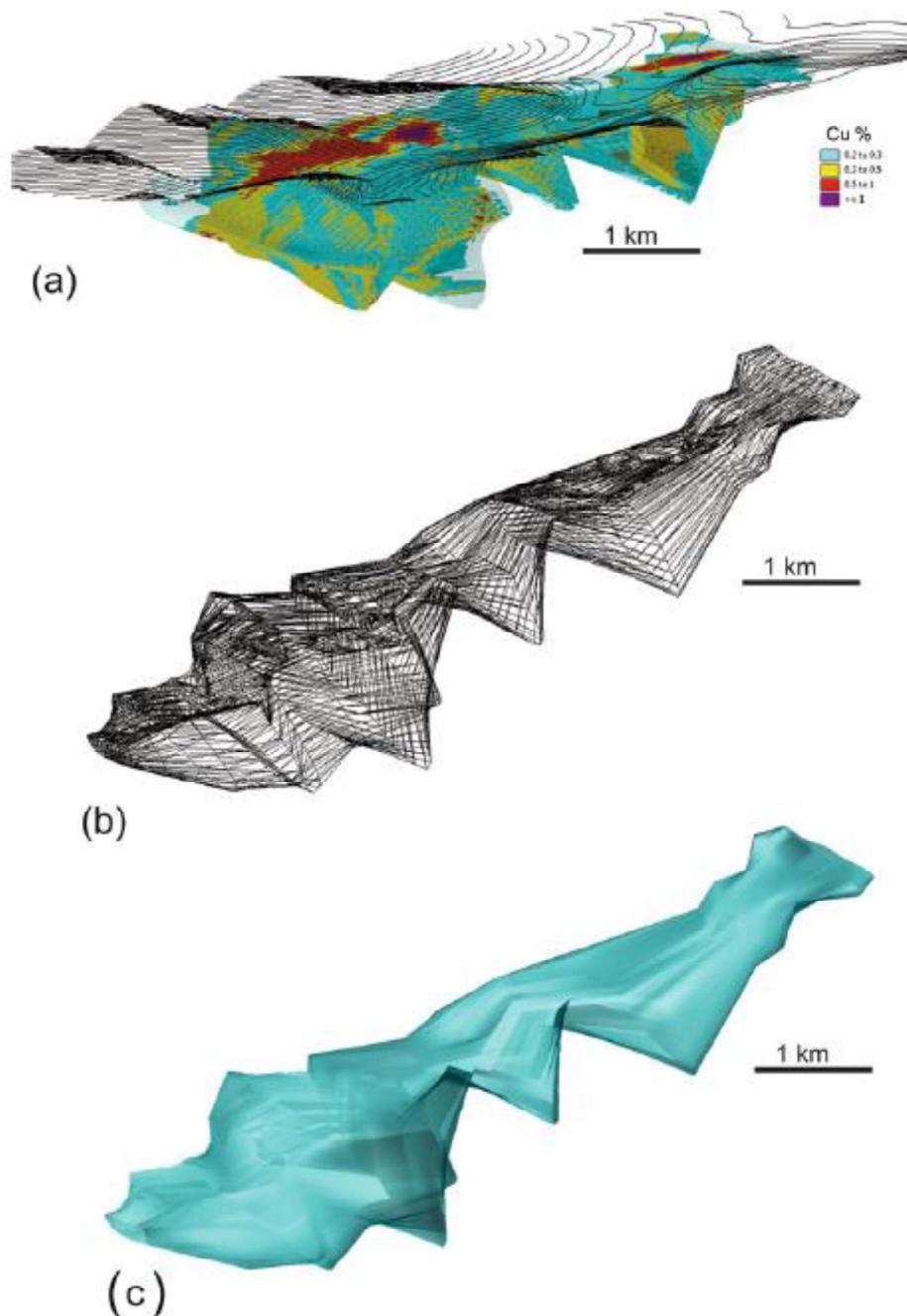
Figura 8 — Ilustração comparativa entre modelagem explícita (A) e modelagem implícita (B)



Fonte: Retirado de Cowan *et al.* (2003)

A modelagem explícita (Figura 9) pode ser expressa como o método clássico de modelagem, onde o modelador constrói seções geológicas que posteriormente são unidas na construção de um modelo tridimensional (Kavouras, 1992). Apesar de ser um método de modelagem onde o geomodelador possui maior controle sobre o produto final devido a construção manual do modelo através das seções, é uma técnica consideravelmente laboriosa e bastante suscetível a inferências na interpretação do profissional que está realizando a modelagem.

Figura 9 — Depósito Peschanka, Cobre Pórfiro, Rússia: (A) Modelo 3D do depósito construído através da técnica de modelagem explícita com teor da mineralização restrito a 0,4% de Cu; (B) Modelo representado pelas linhas em 3D; (C) Modelo representado pelo sólido.

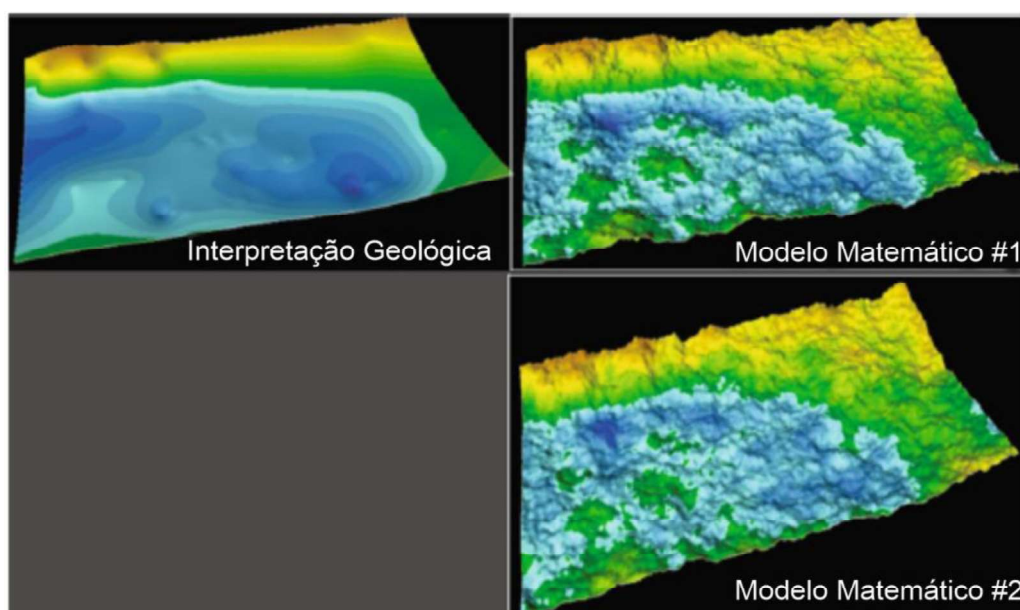


Fonte: Retirado de Abzalov (2016)

A modelagem implícita por sua vez trabalha com a interpolação de informações através de uma função implícita para a geração de um modelo de forma semiautomática, baseado em parâmetros geológicos e matemáticos definidos pelo modelador (Cowan *et al.*, 2002).

O método de modelagem de objetos através da interpolação de uma função implícita foi demonstrado de forma mais generalista por Savchenko *et al.* (1995) e posteriormente introduzido no campo da geologia por Cowan *et al.* (2002) e Cowan *et al.* (2003). Onde com este método o geomodelador, através de algoritmos de modelagem, pode representar o corpo geológico de forma mais flexível e objetiva, integrando dados de diversas fontes, aplicando tendências estruturais e de continuidade no corpo, além da possibilidade de construir de forma prática diversos modelos sob múltiplas circunstâncias de modelagem (Sequeent, 2014). A modelagem depende de função matemáticas de interpolação e uma série de parâmetros de ajuste para permitir uma melhor aderência com a realidade, onde a escolha incorreta pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 — Contato de base de um arenito tabular que hospeda um depósito de Urânio, Cazaquistão. Interpretação Geológica e modelos equipotenciais gerados matematicamente.



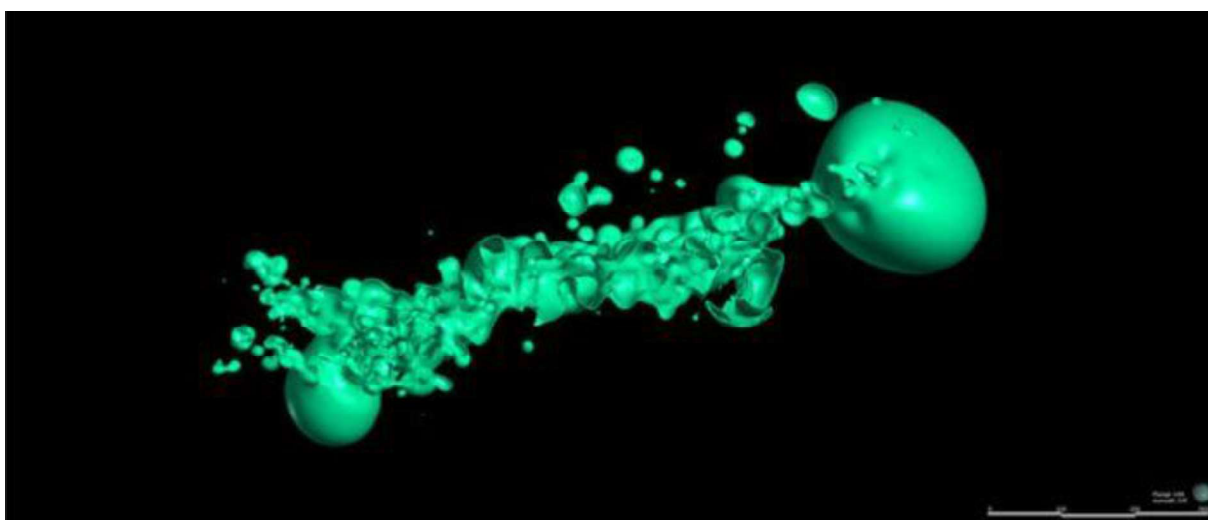
Fonte: Retirado de Abzalov (2016)

O Algoritmo mais utilizado na modelagem implícita é o RBF (função de base Radial ou Radius Basis Function) para a geração das superfícies e Distancias Assinaladas para a quantificação dos volumes. Em ambos os casos, um ajuste de anisotropia (direção preferencial de continuidade do sólido gerado) e quantificação das distancias entre as feições geológicas (alcances) se faz necessária (assim como em algoritmos de krigagem). Essas anisotropias e alcances pode ser quantificado

numericamente através de variogramas dos indicadores ou associada de forma empírica ao conhecimento do fenômeno dado a experiência do modelador.

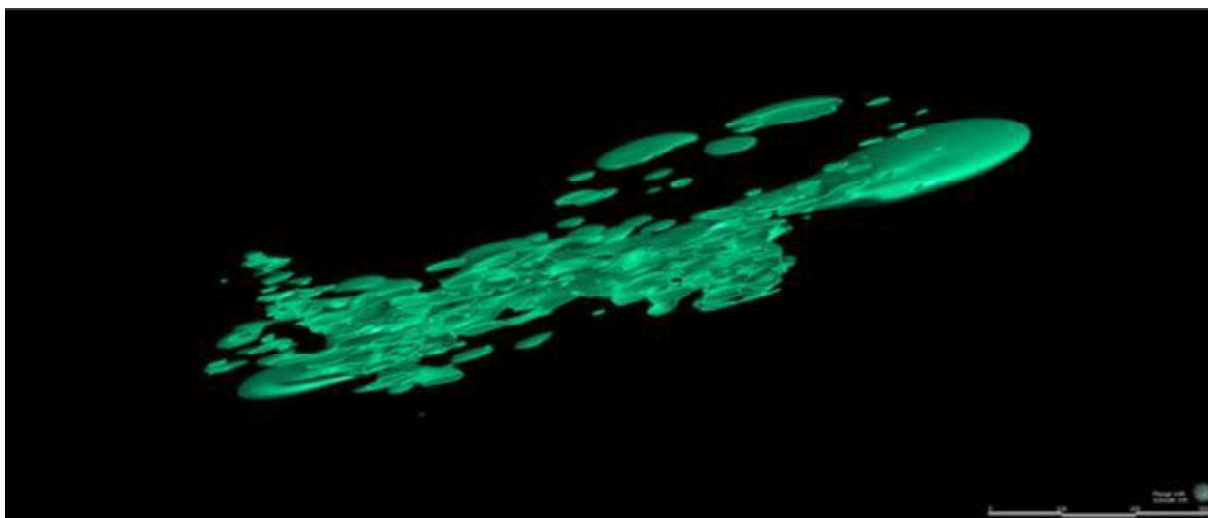
Como exemplo, pode-se perceber que na construção do modelo, pode ser atribuído um interpolante isotrópico (Figura 11), que não leva em consideração uma direção preferencial de continuidade espacial para o sólido modelado. Já no caso de uma tendência global (Figura 12) e/ou uma tendência estrutural (Figura 13), podem ser aplicadas no interpolante afim de representar o comportamento do sólido geológico com maior fidelidade.

Figura 11 — Interpolante Isotrópico



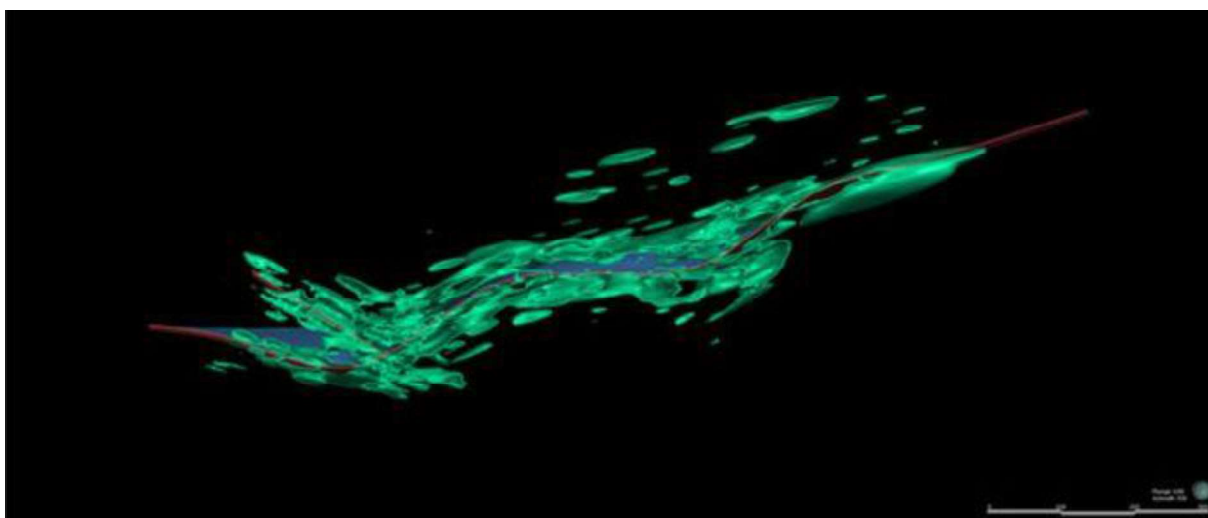
Fonte: Retirado de Sequeant (2014)

Figura 12 — Tendência global aplicada ao interpolante



Fonte: Retirado de Sequeent (2014)

Figura 13 — Tendência estrutural aplicada ao interpolante



Fonte: Retirado de Sequeent (2014)

A modelagem implícita permite que os geólogos utilizem seus conhecimentos e interpretações de forma a integrar informações interpretativas nos modelos gerados e representem a realidade com a maior precisão possível (dado que a realidade como um todo é desconhecida).

4 METODOLOGIA

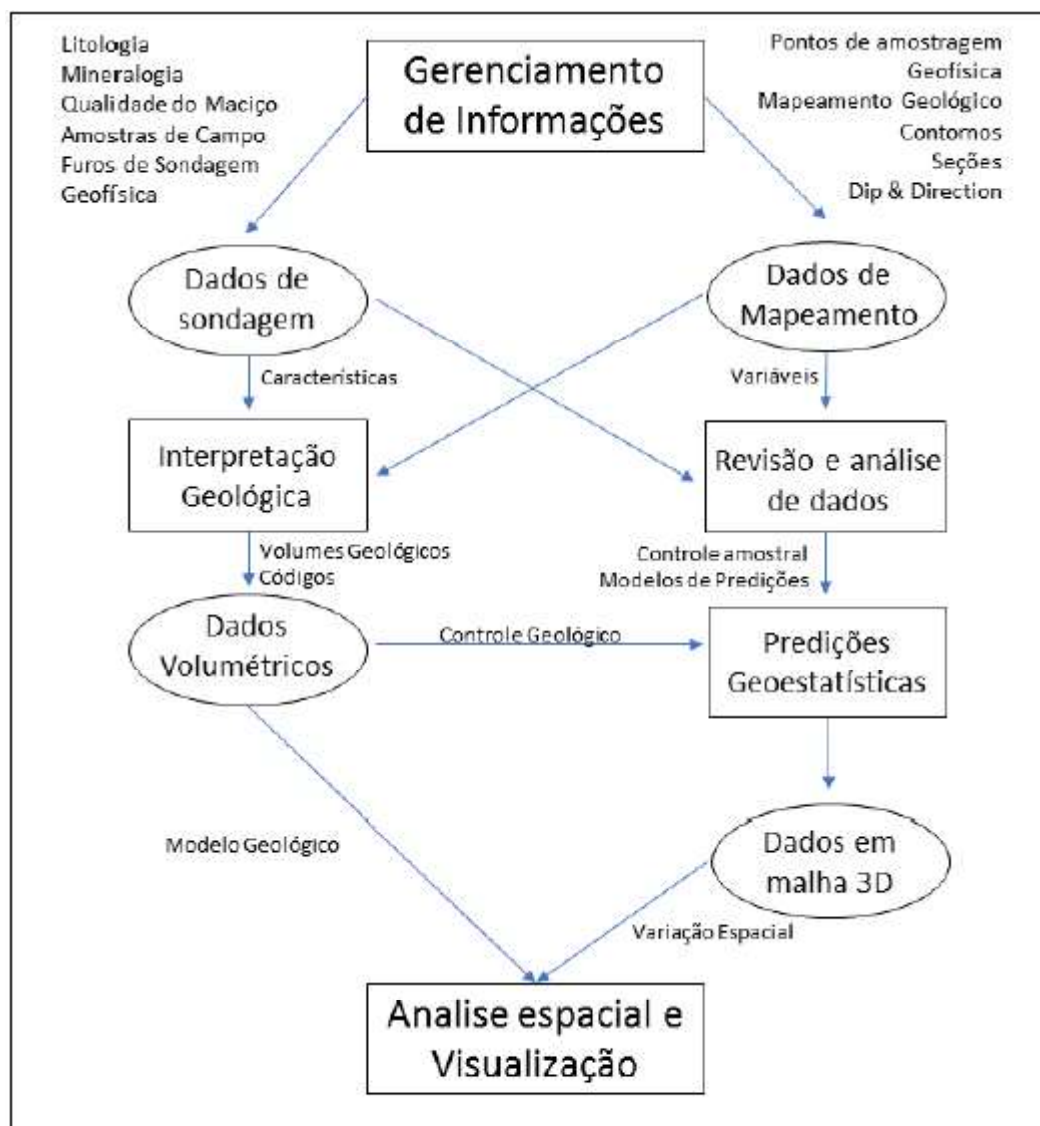
Este capítulo aborda a descrição da metodologia utilizada na elaboração do projeto. As técnicas foram escolhidas com base a avaliar a melhor aderência na construção de um modelo geológico tridimensional da região. A base de dados utilizada foi restrita somente a informações de domínio público.

4.1 ETAPA DE PLANEJAMENTO

Para construção do modelo é necessário um planejamento completo da rotina de trabalho que será utilizada, para que se possa realizar o melhor uso da base de dados adquiridas. Sendo assim, foram definidas as etapas de trabalho, junto com a seleção da base de dados e seleção dos métodos que serão utilizados ao longo do projeto.

Como o projeto aborda a construção de um modelo geológico de menor escala, as etapas de trabalho foram simplificadas de acordo com a base de dados já publicados na região, não sendo trabalhado com dados de sondagem nem predições geoestatísticas nesta fase do trabalho. Em etapas avançadas de um projeto, onde a base de dados é mais robusta e diversificada, o planejamento se faz de forma pormenorizada, como exemplificado na Figura 14.

Figura 14 — Fluxograma com rotina de aquisição, tratamento e interpretação dos dados.



Fonte: Houlding (2012)

4.2 SELEÇÃO E FILTRAGEM DOS DADOS

4.2.1 Levantamento bibliográfico

As principais fontes de pesquisa empregadas foram a biblioteca do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o portal de periódicos da CAPES, Elsevier, Repositório Digital da Unipampa, o Repositório Institucional de Geociências da CPRM, bem como o Geobank, além de publicações técnicas de empresas durante realização de campanhas de prospecção na região. O levantamento bibliográfico foi realizado e revisado ao longo de todo o projeto, afim

de detalhar ao máximo as regiões de interesse dentro da escala e proposição do trabalho.

Inicialmente foram adquiridos dados em escala regional que possuem abrangência em todo o polígono de estudo, para posterior aquisição de dados com maior detalhe em regiões que foram consideradas promissoras como possíveis hospedeiras de depósitos minerais de natureza econômica.

4.2.2 Dados litológicos

Para elaboração do modelo, foram selecionados dados de diversas fontes, sejam elas de trabalhos já publicados ou de informações de acesso livre. Para definição dos contornos litológicos foram utilizados cartas geológicas (UFRGS, 1998; Toniolo; Kirchner, 2000), junto com mapeamento de detalhe de outros trabalhos acadêmicos já publicados (Machado *et al.*, 2016; Reis *et al.*, 2017), além de projetos de prospecção em andamento cujos dados já estão disponíveis de forma pública (Águia Resources, 2019). A nomenclatura das litologias seguiu o padrão adotado em UFRGS (1998) pois foi o mapa regional utilizado com maior detalhe, possuindo maior subdivisão de litologias.

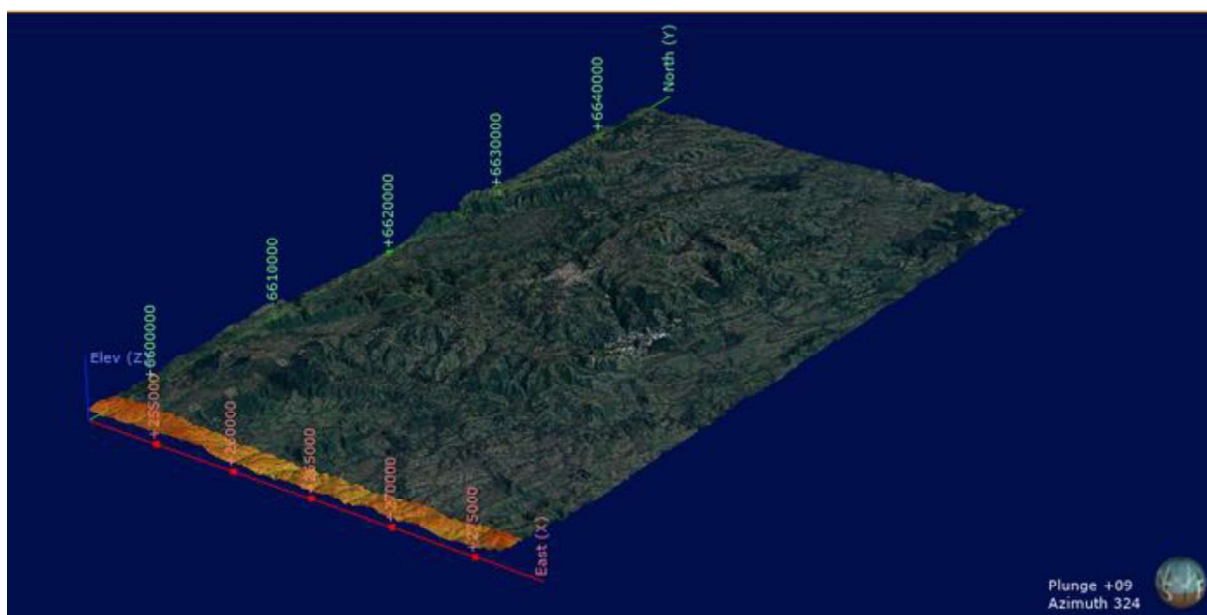
Como a proposta do trabalho é realizar um modelo integrador da região, foram selecionados mapas de diversas escalas, afim de que os dados possam ser, quando necessário, comparados e ajustados entre si, segundo a escala de informação e interpretações mais recentes sobre as áreas de interesse.

4.2.3 Dados Topográficos

Para que se possa obter o modelo digital de elevação do terreno na região, foi utilizada a base de dados da plataforma *Earth Explorer*, onde foram adquiridas imagens Raster (.geotiff) contendo os dados de *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Estes dados foram cortados segundo o perímetro de estudo no software *Qgis*® e posteriormente processados no software *Leapfrog Geo*®, onde cada *pixel* da imagem foi lido segundo sua altitude para que o modelo digital de elevação possa ser gerado no ambiente tridimensional (Figura 15).

Para auxiliar na interpretação dos dados também foram utilizadas imagens de satélite da plataforma *Google Earth*, que foram adquiridas da plataforma do software, cortadas e georeferenciadas dentro do *Leapfrog Geo*®.

Figura 15 — Relevo e imagem de satélite já processados no ambiente tridimensional. Exagero vertical de três vezes.



Fonte: O autor (2021)

A base topográfica nesse estudo é de uma importância sem par, pois a partir dela serão obtidas as elevações de feições geológicas de base GIS e dados estruturais a partir do rebatimento de informação bidimensionais e verificação de contornos estruturais para determinação do sentido do mergulho e mergulho em contatos apresentados no mapeamento geológico.

4.2.4 Dados Estruturais

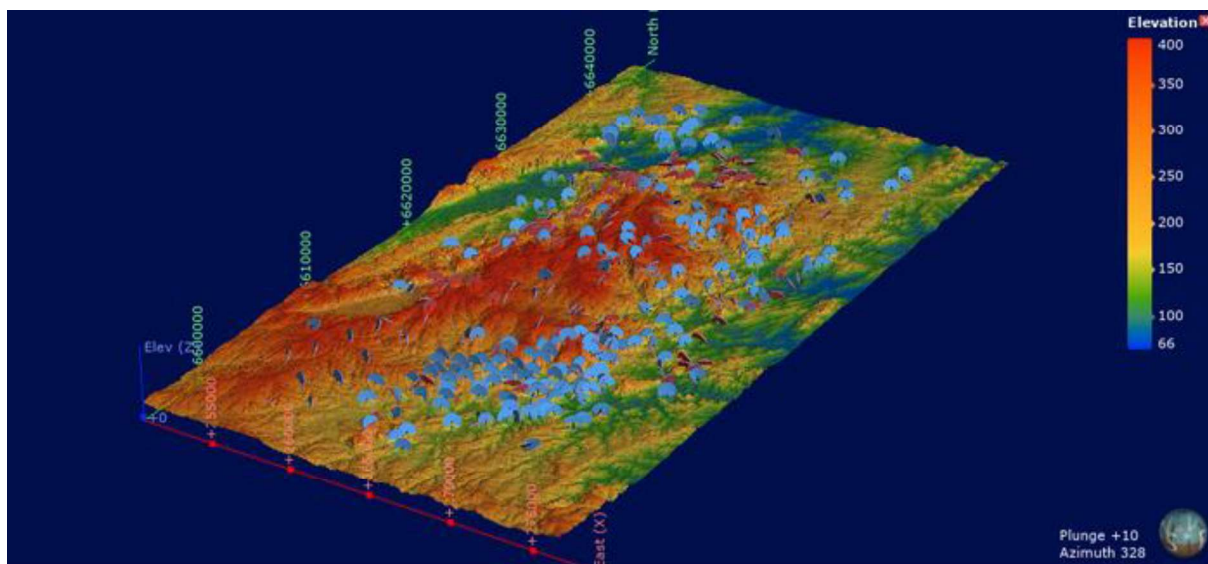
Os dados estruturais foram obtidos a partir de cartas geológicas (UFRGS, 1998). além de trabalhos já publicados (Reis *et al.*, 2017). As principais medidas utilizadas foram estruturas planares de foliações magmáticas e metamórficas.

A partir das medidas encontradas nas bibliografias, foram extraídas as informações de coordenadas, valor do mergulho, direção do mergulho, tipo de

estrutura e litologia à qual a estrutura pertence. Os dados foram agrupados em um tabela única (Anexo I) para serem tratados e evitar discrepância entre a forma de entrada dos dados no projeto. Posteriormente as medidas foram separadas em tabelas segundo sua referida litologia, para que possam dar entrada de forma separada no software *Leapfrog Geo*®.

Esses dados não apresentavam leituras de elevação, sendo assim foi necessário um rebatimento na topografia obtida na etapa anterior. Note que a Figura 16 apresenta os dados estruturais com a identificação as quais litologias elas pertencem.

Figura 16 — Dados estruturais planares, representados por discos, onde a cor de cada disco representa a litologia a qual pertence. Exagero vertical de três vezes.



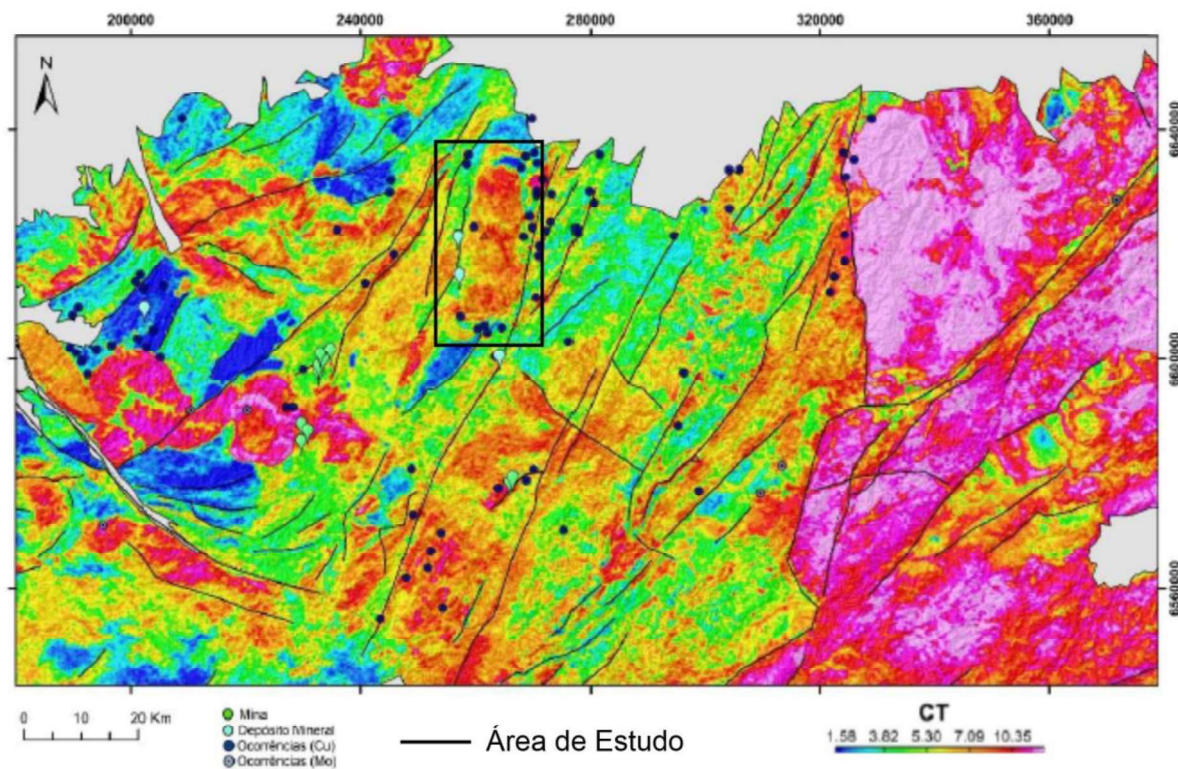
Fonte: O autor (2021)

4.2.5 Dados Geofísicos

Para auxiliar na análise das informações geológicas, foram selecionados dados geofísicos de gamaespectrometria (Figura 17) e aeromagnetometria (Figura 18) da região. As informações da geofísica foram utilizadas de forma interpretativa, auxiliando no entendimento da geologia na área e buscando compreender melhor o controle das mineralizações. Os sólidos do modelo não foram construídos utilizando diretamente estes dados, pois para fazer isso seria necessário uma série de tratamentos e pré-processamentos dos dados que não foi cabível ao trabalho nesta

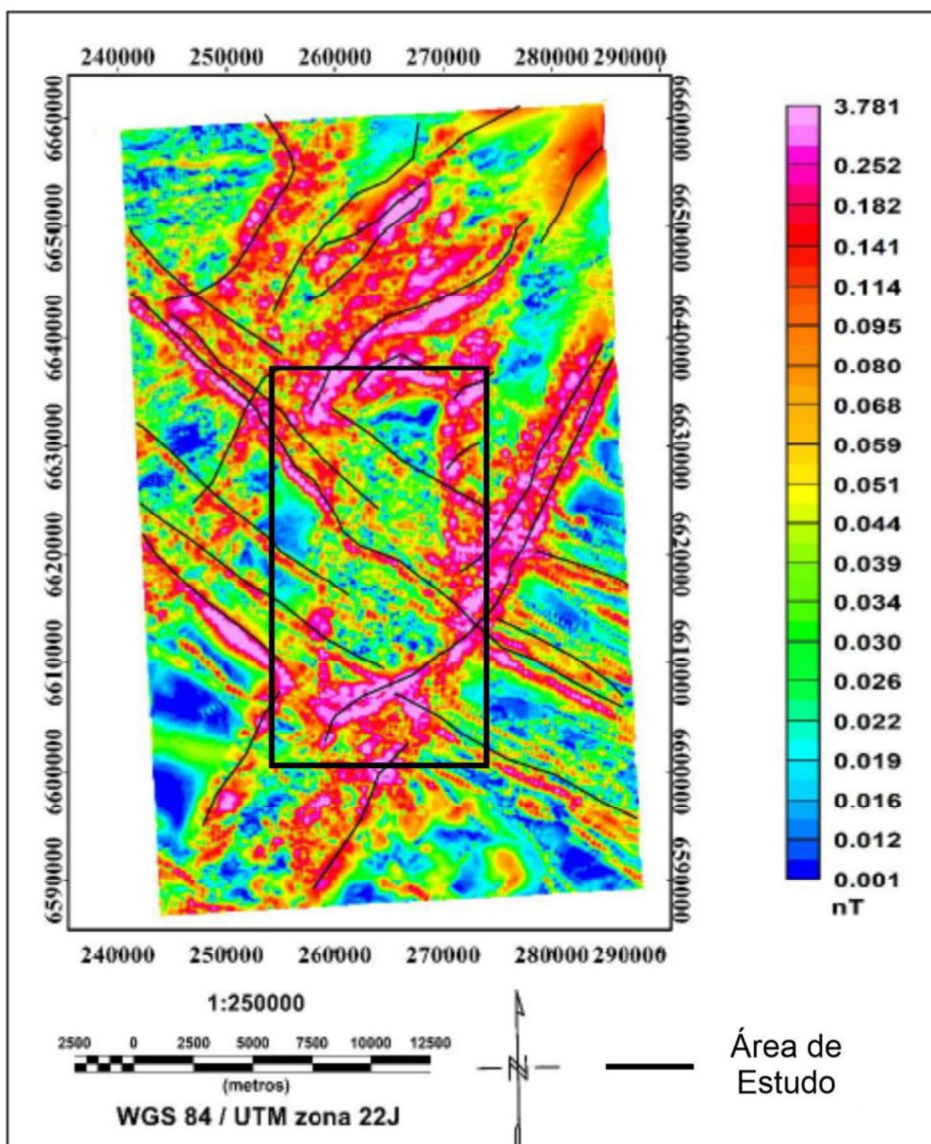
fase de desenvolvimento, porém não há restrições que impeça a aplicação do método no refino do modelo em trabalhos posteriores.

Figura 17 — Mapa radiométrico de contagem total dos elementos K, U e Th, com lineamentos traçados.



Fonte: Retirado de Tavares (2019)

Figura 18 — Amplitude do sinal analítico, com lineamentos magnéticos.



Fonte: Retirado de Ferreira (2016)

4.2.6 Tratamento dos dados

Para que os dados possam ser correlacionados entre si, é imprescindível que os mesmos estejam segundo o mesmo *datum* de referência. Como os dados utilizados são de diversos formatos diferentes, tais como Raster, GeoTIFF, DXF, CSV, todos foram convertidos, quando necessário, para o sistema de coordenadas UTM Zona 22S - *datum* WGS 84, como forma de padronização dos dados, para facilitar a integração. As conversões dos dados foram feitas utilizando recursos e ferramentas dos softwares *Leapfrog Geo*®, *Qgis*® e *AutoCad*®.

Alguns dados, por uma questão de incompatibilidade entre softwares e/ou formato muito antigo, foram transformados manualmente em um formato que possa ser integrado com os demais. Os arquivos de estruturas foram retirados manualmente de arquivos DXF e Raster georreferenciados, onde foram compilados e transcritos para um arquivo no formato CSV. As linhas de contorno litológicos em DXF adquiridas a partir do trabalho de UFRGS (1998), não puderam ser diretamente utilizadas no Leapfrog Geo® devido a erros de compatibilidade, sendo então redesenhadas no próprio *software*.

4.2.7 Parâmetros da Modelagem

Para elaboração deste trabalho foi utilizado o método de modelagem implícita, pois a mesma permite a incorporação de diferentes fontes de informação de forma prática e rápida, permitindo que diferentes cenários geológicos possam ser testados durante o processo de modelagem, visto que o sólido geológico se constrói de forma automatizada conforme os dados e parâmetros de modelagem são inseridos. Este método de modelagem também foi escolhido por possuir uma boa aderência na modelagem de dados em grande escala (Rolo, 2017).

Para interpolação dos dados foi utilizado o software *Leapfrog Geo®*, que permite a modelagem de corpos geológicos com base na construção de superfícies cronológicas entre as litologias, definindo as superfícies a partir de contatos litológicos e tendências estruturais (Sequeent, 2014). O modelo foi construído com abrangência segundo limites de UFRGS (1998) e com dimensão máxima de 1000 metros para projeção dos corpos em subsuperfície, evitando assim uma projeção demasiadamente longa dos corpos em profundidade.

As superfícies foram construídas a partir dos contatos litológicos e modeladas segundo a tipologia de cada corpo, podendo ser depósito, intrusão ou veio. Após definidas a respectiva superfície para cada litologia, elas foram ordenadas cronologicamente segundo a estratigrafia da região para que o software possa interpolar a relação temporal entre cada corpo na estruturação do modelo geológico.

Para que se possa ter um melhor controle da forma do corpo geológico dentro do ambiente tridimensional o *Leapfrog Geo®* possui a opção de se atribuir uma direção preferencial de construção do sólido modelado (anisotropia). Neste trabalho

foi utilizado a anisotropia a partir de uma tendência estrutural (Figura 13), onde o programa modela uma tendência de comportamento do corpo através dos dados estruturais adicionados ao modelo (Sequeent, 2014).

5 RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo descrever os resultados da caracterização e modelagem dos corpos geológicos na região de Caçapava do Sul, com ênfase nas porções mineralizadas em Cu, obtidos através da interpretação e correlação dos dados citados nos capítulos anteriores para construção dos contornos litológicos em superfície e projeção dos corpos geológicos em subsuperfície.

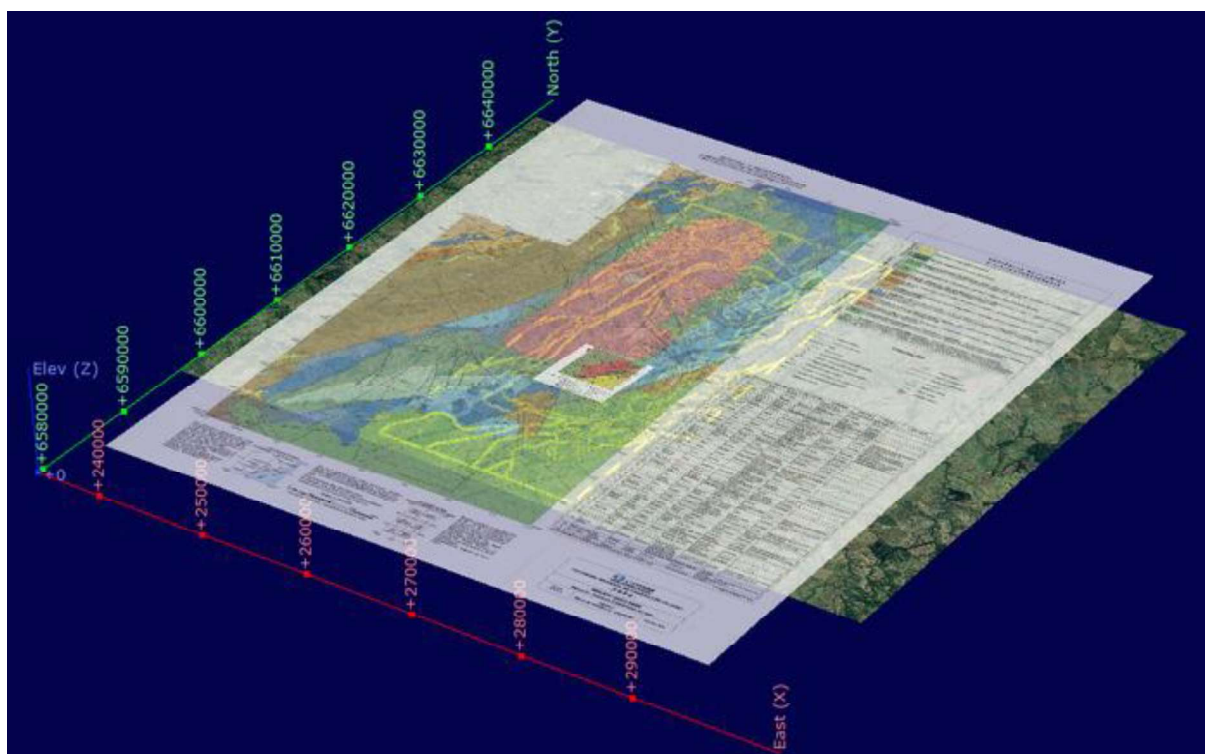
A construção dos sólidos geológicos que compõem o modelo foi essencialmente dividida em duas etapas, a primeira foi a construção do modelo geológico de menor escala, em todo o polígono de estudo, e a segunda etapa foi a delimitação de áreas de interesse dentro do modelo geral para detalhamento do modelo nestas regiões.

As mineralizações contidas na região se localizam essencialmente no contato entre o Complexo Granítico Caçapava do Sul e o Complexo Passo Feio (Remus *et al.*, 2000a), sendo nestas áreas onde ocorrem estes contatos as áreas com maior enfoque no detalhamento deste trabalho.

5.1 MODELO GEOLÓGICO

Para construção do modelo geológico geral foi utilizado como base inicial o mapa geológico produzido por UFRGS (1998), pois o mesmo era a fonte de dados regional com escala de maior detalhe encontrada em publicações (1:50000). Após a delimitação dos contornos litológicos de base, os referidos dados foram comparados com a imagem de satélite, o mapeamento na escala 1:250000 realizado por Toniolo & Kirchner (2000), o mapa, publicado por Machado *et al.*, (2016) do Granito Santos Ferreira e rochas adjacentes, além de mapeamentos específicos (; Reis *et al.*, 2017; Águia Resources, 2019) com escala de maior detalhe.(Figura 16).

Figura 19 — Dados utilizados para definição das litologias do modelo geral agrupados na interface do software Leapfrog Geo, linhas em amarelo representam os contornos litológicos retirados de UFRGS (1998).



Fonte: O autor (2021)

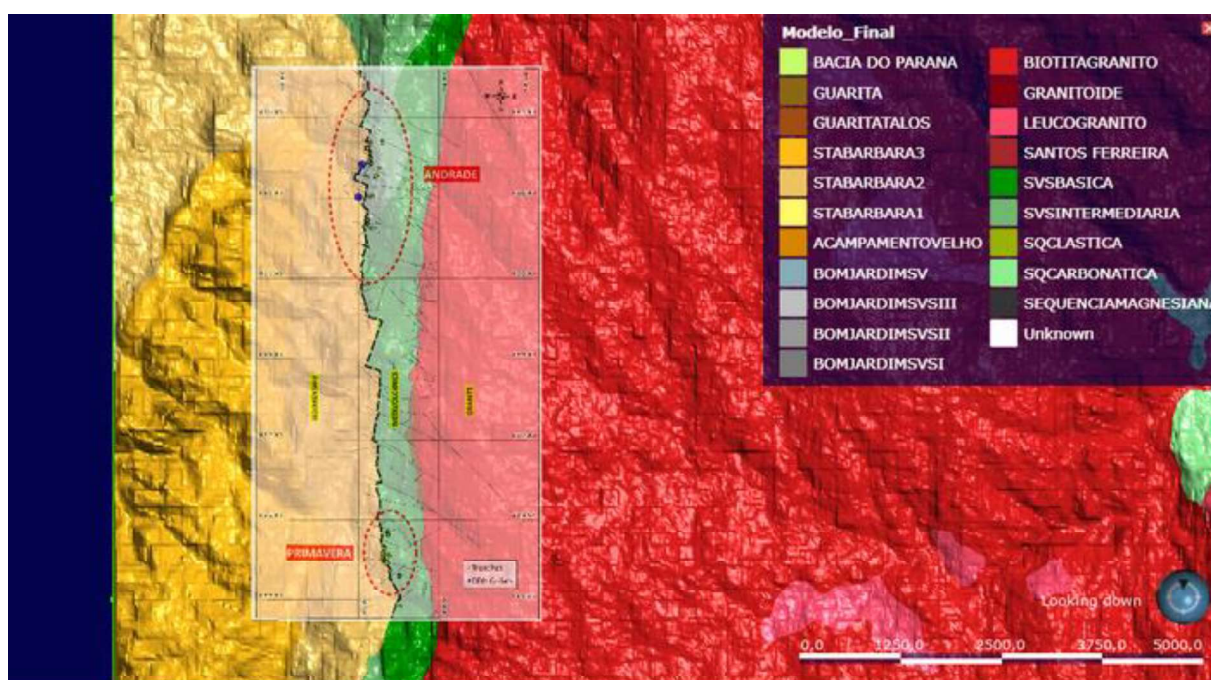
Comparando os trabalhos publicados por UFRGS (1998) e Toniolo & Kirchner (2000), ambos apresentam boa correlação quanto a interpretação e classificação da estratigrafia da região, diante disso a relação temporal entre os corpos foi mantida segundo as bibliografias de base. Entretanto, devido a questões de disposição espacial dos corpos, foi preferível trabalhar com uma relação temporal onde os corpos do Complexo Passo Feio e o Complexo Granítico Caçapava do Sul sejam atribuídos como os corpos mais jovens na cronologia do software, pois como ambos os litotipos possuem forte relação de contato devido a influência da intrusão do granito na forma dos corpos, coloca-los associados um ao outro facilita na geração de sólidos mais aderentes no modelo.

Considerando os contatos litológicos, UFRGS (1998), Toniolo & Kirchner (2000) possuem certas discrepâncias, porém dentro do que foi observado, as possíveis diferenças se devem à escala de mapeamento dos diferentes dos mapas. O mapa apresentado em Machado *et al.*, (2016) possui sutis diferenças com os demais mapas, sendo que de maneira geral, os contornos permaneceram intactos

na referida área. Tendo em vista que o foco do trabalho envolve as regiões que envolvem o contato entre o Complexo Granítico Caçapava do Sul e o Complexo Passo Feio, algumas regiões foram alvo de maior detalhamento, levando em conta a quantidade de informações disponíveis dentro da escala do trabalho.

A região que hospeda as mineralizações Andradas e Primavera foi maior detalhada a partir de um mapa retirado de Águia Resources, (2019). Como é possível observar na (Figura 20), o detalhamento proposto pelos novos contornos litológicos mapeados foi coerente com os já mapeados e compilados dos trabalhos anteriores.

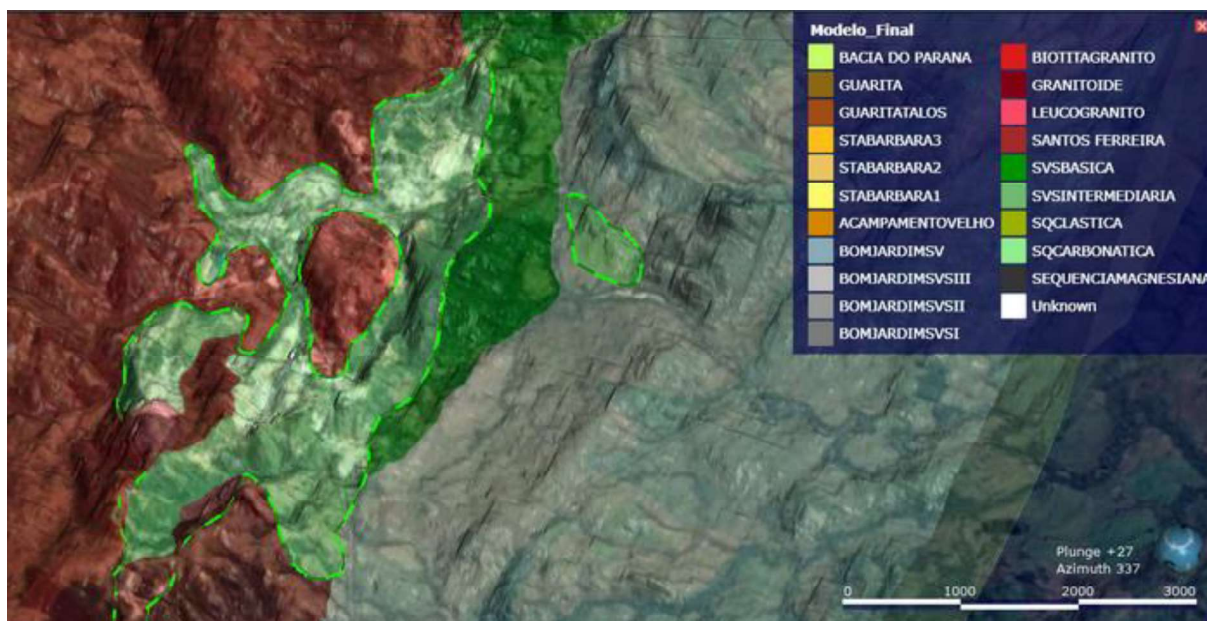
Figura 20 — Contornos litológicos definidos a partir da junção e reinterpretação de trabalhos nas regiões que hospedam as mineralizações Andradas e Primavera. Elipses em vermelho representam as mineralizações contidas na área.



Fonte: O autor (2021)

A região que contém as mineralizações Coronel Linhares e Ciocari, hospedadas na porção carbonática do Complexo Passo Feio foram detalhadas utilizando informações de mapeamento de detalhe retirados de Reis *et al.*, (2017) junto com o uso de imagens de satélite atualizadas, pois com o avanço da mineralização de calcário na região fica evidente de forma detalhada o contorno da porção carbonática do Complexo Passo Feio (Figura 21).

Figura 21 — Contorno da porção carbonática do Complexo Passo Feio (linha tracejada em verde)

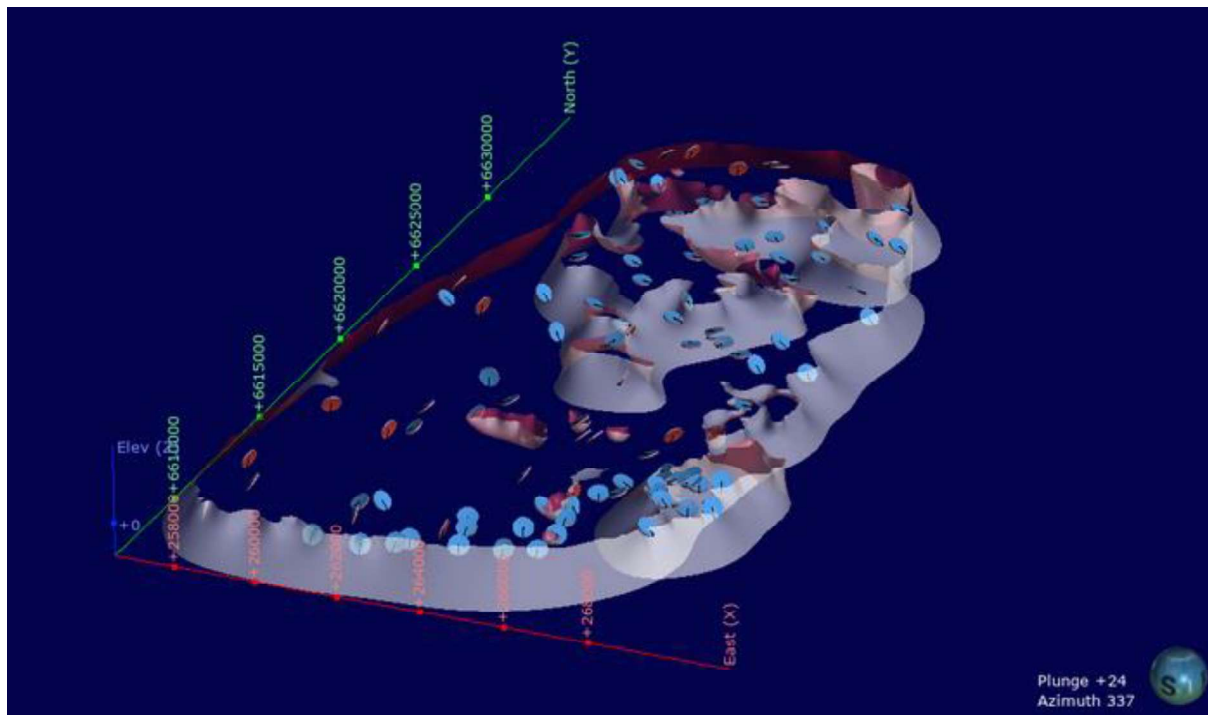


Fonte: O autor (2021)

Para realização da modelagem dos dados em subsuperfície foram utilizados os dados estruturais planares de UFRGS (1998), Remus *et al.* (2000a) como base para interpolação dos corpos em profundidade (Figura 22). No Complexo Granítico Caçapava do Sul foram utilizadas as foliações magmáticas, no Complexo Metamórfico Passo Feio foram utilizadas as foliações metamórficas, sendo que nas formações sedimentares adjacentes foram utilizados os dados de estruturas primárias da rocha.

Com a utilização dos dados estruturais planares é possível indicar uma tendência de projeção do corpo em subsuperfície, visto que em sua maior parte as estruturas citadas são representativas dos eventos deposicionais ou deformacionais que indicam a forma do corpo geológico.

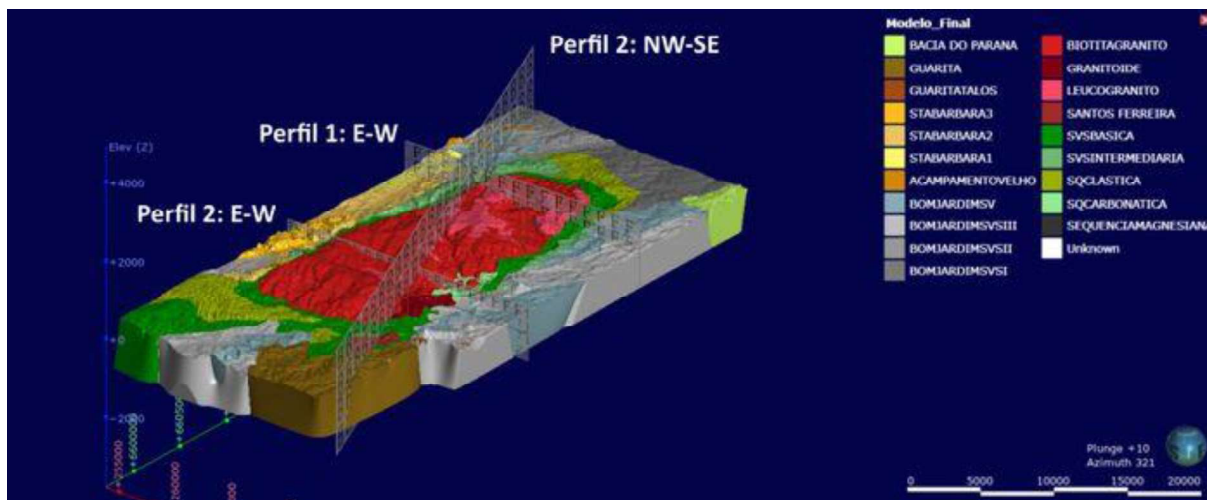
Figura 22 — Superfície de contato do Complexo Granítico Caçapava do Sul junto com dados estruturais utilizados para interpolar os dados em subsuperfície do corpo



Fonte: O autor (2021)

Com a junção dos contornos litológicos reinterpretados e os dados estruturais filtrados, junto com a criação de superfícies cronológicas que indiquem a relação espacial entre os corpos, foi possível construir um modelo regional conceitual da região de Caçapava do Sul (Figura 23). Sua forma e aderência dos dados pode ser observada nas Figuras 24, 25 e 26.

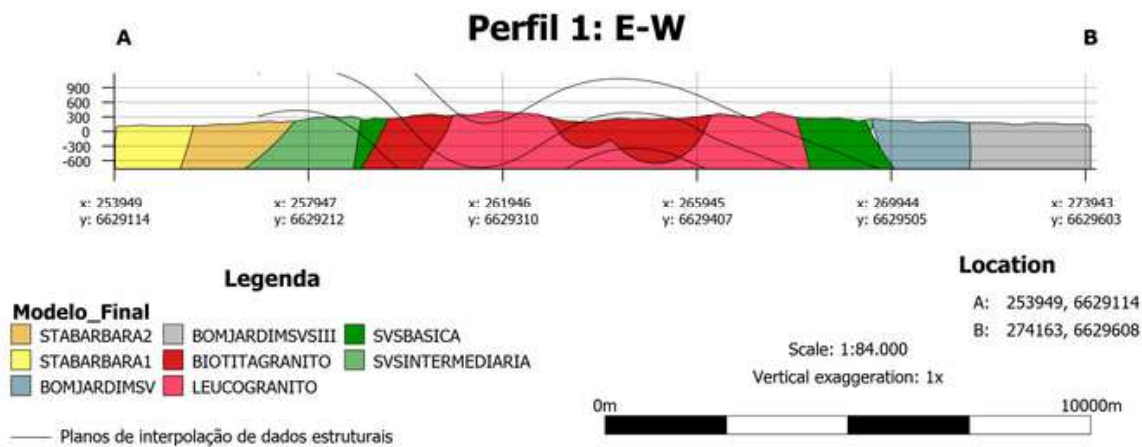
Figura 23 — Modelo geológico tridimensional da região de Caçapava do Sul. Seções em cinza indicando perfis de corte das Figuras 23, 24 e 25.



Fonte: O autor (2021)

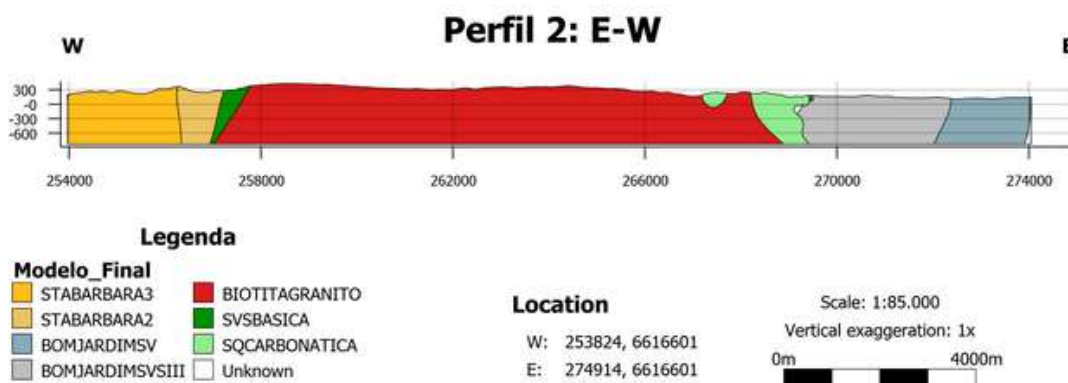
Dados redundantes (muito próximos dada a escala) e informações que representaram deformações locais foram eliminados do banco de dados para não prejudicar a interpolação dos comportamentos dos corpos em subsuperfície. A Figura 24 mostra um superfície interpolada que ilustra a relação dos dados estruturais do Complexo Granítico Caçapava do Sul, exemplificando a abrangência local que certos dados podem possuir, pois representam deformações internas do maciço que não estão na ordem de grandeza de representar o corpo geológico como um todo.

Figura 24 — Perfil Leste-Oeste do modelo mostrando os planos interpolados que representam o conjunto da deformação, o que indica a presença de estruturas de menor escala nos dados.



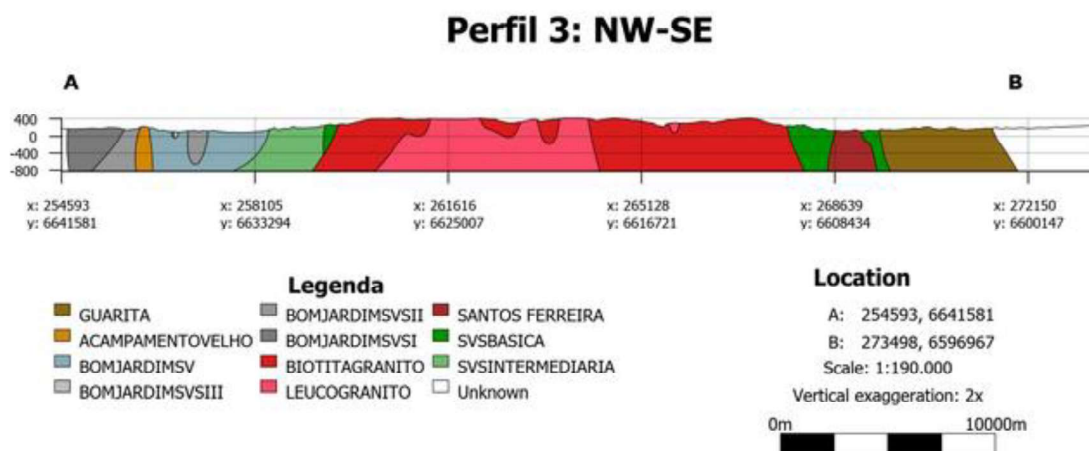
Fonte: O autor (2021)

Figura 25 — Perfil Leste-Oeste da região gerado através do modelo geológico.



Fonte: O autor (2021)

Figura 26 — Perfil Geológico NW-SE da região gerado através do modelo geológico.

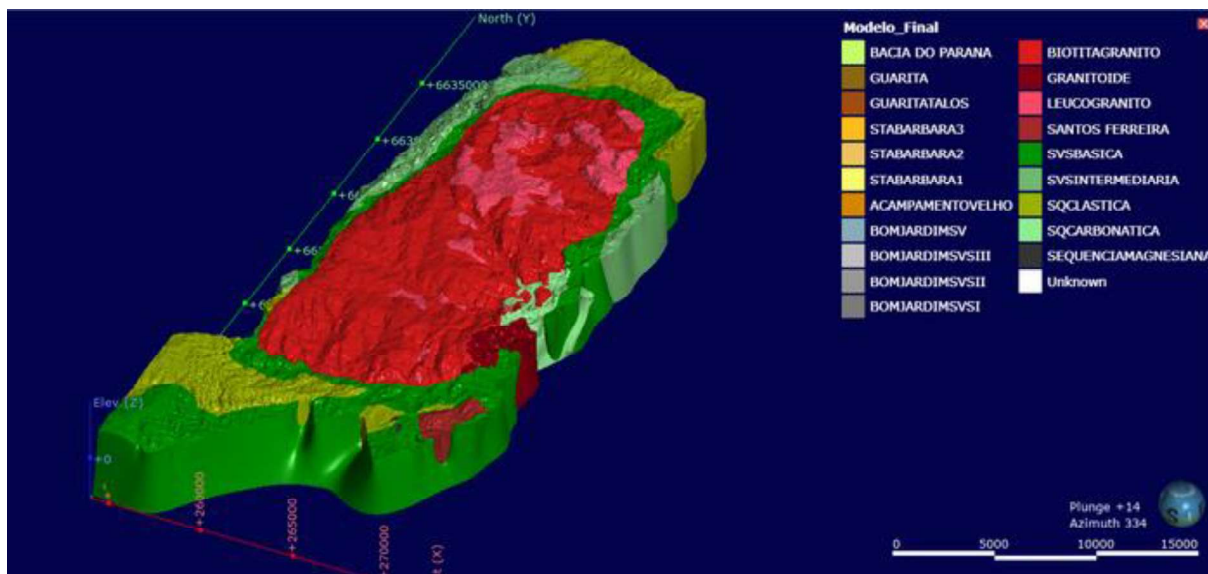


Fonte: O autor (2021)

5.2 DISCUSSÕES

O interpolante utilizado durante a modelagem gerou sólidos concisos com a geologia local, ainda que um ajuste fino e maior detalhamento com uma maior quantidade de dados possa ser feito. Na Figura 27 é possível observar os corpos no ambiente tridimensional, que mesmo com uma quantidade relativamente pequena de dados gerou um modelo representativo das litologias de interesse.

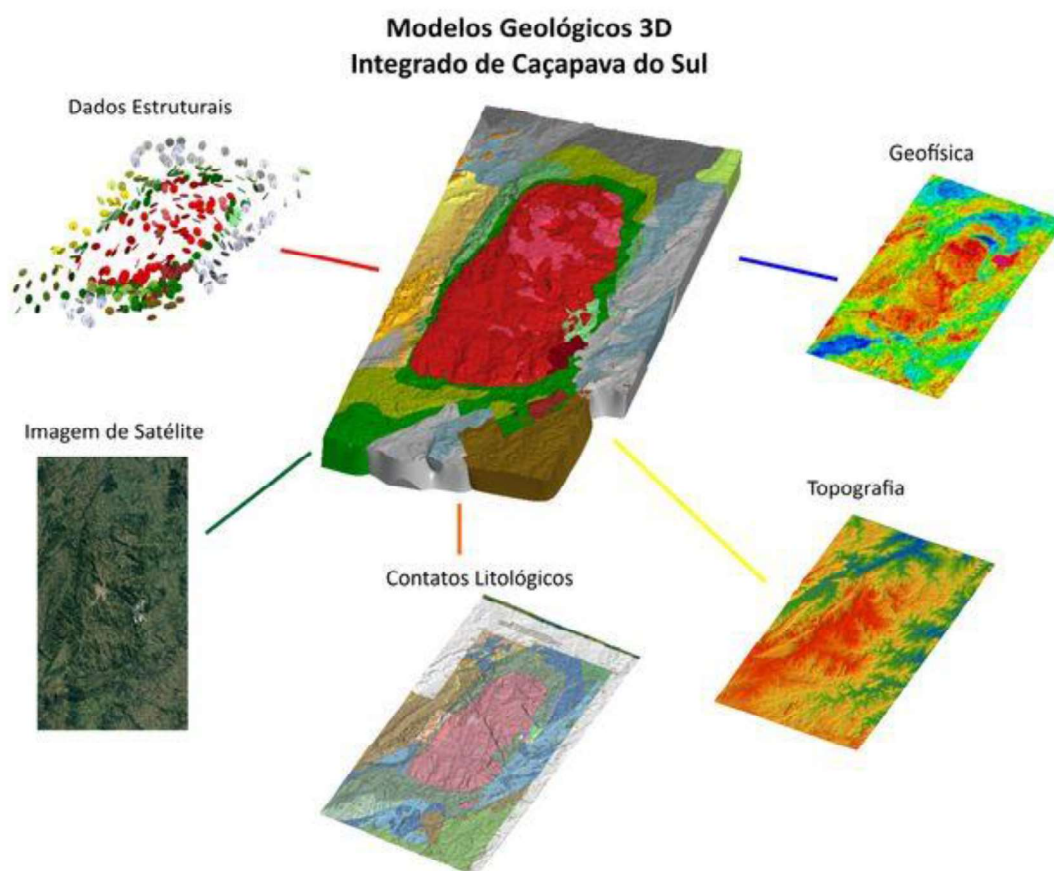
Figura 27 — Complexo Granítico Caçapava do Sul e Complexo Passo Feio modelados no ambiente tridimensional. Exagero vertical de três vezes.



Fonte: O autor (2021)

Mesmo considerando que se trata de um modelo de menor escala, a construção pode dar uma ideia da continuidade dos corpos, em superfície e subsuperfície, assim como mostrar uma ideia do volume dos corpos geológicos. O modelo se mostrou uma ferramenta satisfatória para interpolação e compilação dos dados de litológicos, estruturais, topográficos, imageamento aéreo e geofísicos (Figura 28).

Figura 28 — Ilustração da função compiladora do modelo geológico realizado, através das diferentes fontes de dados utilizados.

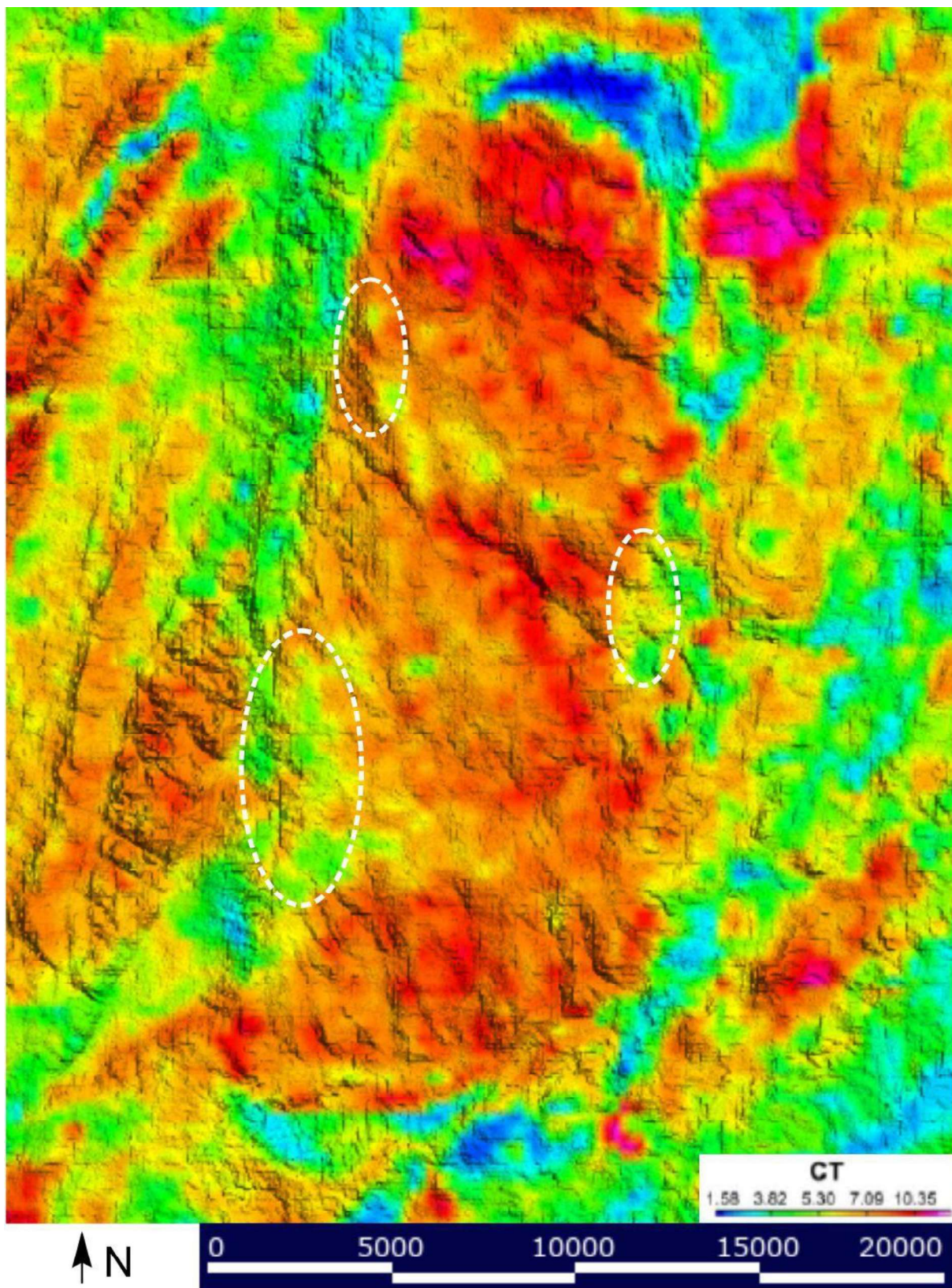


Fonte: O autor (2021)

Apesar de não terem sido usados diretamente na construção do modelo, os dados geofísicos que foram retirados de trabalhos publicados na região podem oferecer um maior esclarecimento quanto à natureza e controle das mineralizações. Na Figura 18 é possível observar as estruturas NW que podem alojar mineralizações (Remus *et al.*, 2000a), estão cortando as áreas com mineralizações através de grandes estruturas.

Na Figura 29 é possível observar, principalmente na porção leste do granitos, uma redução significativa na quantidade dos elementos Urânio (U), Tório (Th) e Potásio (K) no Complexo Granítico Caçapava do Sul, sendo que essa redução parece estar ligada com áreas onde foram relatadas ocorrências minerais de Cu (Remus *et al.*, 2000a), tais como os prospectos Andradas e Primavera.

Figura 29 — Contagem total dos elementos U-Th-K com linhas pontilhadas em branco destacando regiões da borda do Complexo Granítico Caçapava do Sul com baixos valores na contagem total.



Fonte: O autor (2021)

6 CONCLUSÃO

O projeto se mostrou promissor na sua proposta de gerar um modelo implícito da região, que a partir de dados litológicos e estruturais de superfície pode gerar um modelo preditivo do comportamento dos corpos em profundidade. Devido a técnica da modelagem implícita, novos dados podem ser retroalimentados no modelo para maior refinamento e geração de modelos de médio e curto prazo.

Cada vez mais se vê a necessidade de se compilar e registrar os dados geológicos dentro do ambiente tridimensional (BOYD, 2018), sendo essa uma forma prática e realista de transmitir o entendimento do geólogo de uma maneira inteligível e auditável. Sendo através deste método possível prever volumes de corpos geológicos, comportamento das litologias em subsuperfície, além de auxiliar no controle e planejamento de aquisição de novos dados, sendo possível de maneira rápida e prática, visualizar e trabalhar com todos os dados colocados no modelo. A geração desses modelos tridimensionais também abre uma série de opções na análise conceitual da gênese e alterações, buscando explicar o entendimento dos mesmos ou mesmo mostrando dados obtidos de forma indireto, os quais não seriam possíveis de outro jeito.

Este projeto realizou uma modelagem de caráter mais amplo, buscando a geração de um modelo conceitual. Recomenda-se que em projetos futuros mais dados possam ser agrupados no projeto, com até mesmo a geração de sub modelos de alto detalhamento em regiões de interesse. É recomendável o uso da geofísica na construção dos sólidos de modelo, pois técnicas geofísicas podem oferecer informações precisas sobre o comportamento dos corpos em profundidade.

Com esses modelos de detalhe, poderá ser possível mapear as mineralizações que estão hospedadas dentro do Complexo Metamórfico Passo Feio, essencialmente dentro das litologias que possuem contato direto com o Complexo Granítico Caçapava do Sul (Remus *et al.* 2000a; Reis *et al.*, 2017). As inclinações dos corpos mineralizados são semelhantes às inclinações das rochas encaixantes citadas (Remus *et al.*, 2000a; Reis *et al.* 2017) o que possivelmente indica que a intrusão do Complexo Granítico Caçapava do Sul influenciou as rochas nas adjacências e pode estar diretamente ligada com a ocorrência das mineralizações.

A geofísica também indica possíveis controles das mineralizações através de grandes estruturas com direção NW marcadas na magnetometria. A gamaespectrometria também pode indicar áreas associadas a anomalias negativas dos elementos U, Th e K. Ambos os pontos citados podem ser indicativos de regiões para maior detalhamento do modelo em projetos futuros.

REFERÊNCIAS

- Abzalov, M. Geological Constraints of Mineralisation. In: ABZALOV, Marat. Applied Mining Geology. Springer, v. 3, f. 224, 2016. 448 p, p. 193-205.
- Agua Resources Limited Operational Update, Sydney, Australia, 28 Junho 2019. 23 p.
- Almeida, F. F. M; Hasul, Y; Neves, B. B. B. The upper Precambrian of South American. Boletim IG, Universidade de São Paulo, p. 45-80, 1976.
- Bitencourt, M. F. Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 1983, Porto Alegre.
- Boyd, O. S. Geology in 3-D and the Evolving Future of Earth Science. Eos. 2018. Disponível em: <https://eos.org/meeting-reports/geology-in-3-d-and-the-evolving-future-of-earth-science>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- Cowan, J *et al.* Practical Implicit Geological Modelling. In: 5TH INTERNATIONAL MINING GEOLOGY CONFERENCE. 2003, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2003. 15-31 p.
- Cowan, J *et al.* Rapid geological modelling. In: APPLIED STRUCTURAL GEOLOGY FOR MINERAL EXPLORATION AND MINING, INTERNATIONAL SYMPOSIUM. 2002, Kalgoorlie, 2002. 23-25 p.
- Degrandi, S. M. Ecoturismo e Interpretação da Paisagem no Alto Camaquã/RS: uma alternativa para o (des)envolvimento local, f. 197. 2011. Dissertação (Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Erickson, J. A Novel Application of High-resolution Camcorders for the Marine Environment. 1992. 13 p. (U.S. Geological Survey open-file report).
- Ferreira, R. U. R. Contribuição De Dados Aeromagneticos Para O Estudo Do Complexo Granítico Caçapava Do Sul. Caçapava do Sul, 2016. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Geológica) - Fundação Universidade Federal do Pampa - Unipampa.
- Hartmann, L.A; Chemale Jr, F.; Philipp, R. P. In: Frantz, J.C; Ianuzzi, R. (Org). 50 anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuicoes. 1. ed. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, v. 1, 2007, p. 59-77.

Hartmann, L.A; Tindle, A; Bittencourt, M.F. O Metamorfismo de Fácies Anfibolito no Complexo Metamórfico Passo Feio, RS, Com Base em Química dos Minerais. *Pesquisas em Geociências*, v. 17, p. 62, 31, 1990.

Houlding, S. 3D Geoscience Modeling: Computer Techniques for Geological Characterization. Springer Science & Business Media, v. 3, f. 156, 2012. 311 p.

Kavouras, M. Three-Dimensional Modeling with Geoscientific Information Systems. *In: Turner, A. K. A spatial information system with advanced modeling capabilities*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1992. 433 p. cap. 7, p. 59-67.

Lopes, C.G *et al.* Provenance of the Passo Feio complex, São Gabriel terrane, Dom Feliciano belt, southern Brazil, implications for the tectonic setting of deposition, age of the São Gabriel Arc and origin of Paleoproterozoic detrital zircons (3.3-3.63 Ga). *Journal of South American Earth Sciences*, p. 9-17, 2015.

Machado, B *et al.* Geologia do Granito Santo Ferreira, sudeste de Caçapava do Sul/RS: Resultados preliminares de sensoriamento remoto e relações de campo. *In: 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*. 2016. Sociedade Brasileira de Geologia, 2016.

Mine Planning. *In: Hustrulid, W. A.; Kuchta, M; Martin, R. K. Open Pit Mine Planning and Design, Two Volume Set & CD-ROM Pack*. CRC Press, v. 1, f. 654, 2013. 1308 p, p. 01-43.

Nardi, L. V. S; Bitencourt, M. F. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, p. 153-169, 1989.

Nardi, L.V.S; Lima, E.F. A associação shoshonítica de Lavras do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, p. 139-146, 1985.

Oliveira, Herbert. A História Geológica e o Modelamento. Instituto Minere. 2017. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/a-historia-geologica-e-o-modelamento>. Acesso em: 28 abr. 2021.

Philipp, R; Pimentel, M; Chemale Jr, F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, p. 83-104, 2016a.

Raper, J; Kelk, B. *In: Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; RHIND, David W. Geographical Information Systems: Principles*. Vol. 1. 1991, p. 299-317.

Reis, R *et al.* Alteração clorítica no flanco leste do Granito Caçapava, Rio Grande do Sul: evolução do metassomatismo e sulfetos de Cu-Fe associados. *Revista do Instituto de Geociências - USP, São Paulo*, v. 17, n. 4, p. 61-79, Dez 2017.

Remus, M. V. D *et al.* Distal magmatic-hydrothermal origin for the Camaquã Cu (Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) deposits, southern Brazil. *Gondwana Research*, v. 3, p. 155-174, 2000b.

Remus, R. V. D *et al.* The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p. 191-216, 2000a.

RIBEIRO, M *et al.* Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, Caçapava do Sul, RS, Brasil*, p. 127-232, 1966.

Rolo, R. M. Modelagem geológica implícita com funções distância assinaladas. Porto Alegre, 2017. 104 p. Tese (Engenharia de Minas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Sartori, P. L. P; Kawashita, K. Petrologia e geocronologia do Batólito Granítico de Caçapava do Sul-RS. *In: II SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA*. 1985. *Anais [...]* Florianópolis: SBG. 102-105 p.

Savchenko, V *et al.* Function Representation of Solids Reconstructed from Scattered Surface Points and Contours. *In: COMPUTER GRAPHICS FORUM*, 4. 1995, Cambridge: Blackwell Publishers, 1995. 181-188 p.

Sequeent. Leapfrog's structural trend. 2014. Disponível em: <https://www.seequent.com/leapfrogs-structural-trend/>. Acesso em: 5 mai. 2021.

Tavares, A. P. Análise Da Distribuição De Recursos Minerais Metálicos No Cinturão Dom Feliciano, Através De Dados Geológicos, Aerogeofísicos e de Sensoriamento Remoto. Caçapava do Sul, 2019. 125 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Geológica) - Fundação Universidade Federal do Pampa - Unipampa.

Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, v. 3, 1990. cap. 3.7.

Toniolo, J. A; Kirchner, C. A. Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01, Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Sub Área Caçapava do Sul. CPRM, Porto Alegre, p. 15, 2000. (Informe de Recursos Minerais. Série Ouro. Informes Gerais, 09). Programa Nacional de Prospecção de Ouro, PNPO.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Projeto Caçapava do Sul: mapeamento geológico. 1998. 1:25.000.

ANEXO A — Tabela de Dados Estruturais

Tabela 1 — Dados Estruturais compilados de UFRGS (1998). Valor em Z foi extraído através das informações digitais de elevação. Nomenclatura das litologias foi retirado do padrão definido por UFRGS (1998).

X (m)	Y (m)	Z (m)	MERG.	DIR. MERG,	LITOLOGIA
257407	6641242	159	32	170	BOMJARDIMSVSI
256438	6640462	187	40	180	BOMJARDIMSVSI
255963	6638951	138	42	160	BOMJARDIMSVSII
254516	6638873	173	40	170	BOMJARDIMSVSII
254282	6637456	181	38	140	BOMJARDIMSVSII
257111	6637105	142	40	110	BOMJARDIMSVSII
257536	6636957	137	40	120	BOMJARDIMSVSII
257991	6636315	133	50	140	BOMJARDIMSVSII
259023	6637237	110	60	150	BOMJARDIMSVSII
257902	6638955	158	40	120	BOMJARDIMSVSII
259896	6638224	94	45	120	BOMJARDIMSVSII
259867	6638501	101	40	120	BOMJARDIMSVSII
259952	6641171	145	80	120	BOMJARDIMSVSII
255934	6638112	212	35	170	ACAMPAMENTOVELHO
254902	6634812	143	40	180	ACAMPAMENTOVELHO
254449	6632584	146	52	320	ACAMPAMENTOVELHO
258080	6638290	135	40	130	BOMJARDIMSV
257852	6639659	121	35	110	BOMJARDIMSV
257833	6640005	117	60	160	BOMJARDIMSVSII
262577	6641191	85	50	190	BOMJARDIMSVI
265078	6639200	162	60	340	BOMJARDIMSVI
265632	6639561	126	81	85	BOMJARDIMSVI
267538	6640199	104	45	145	BOMJARDIMSVI
260971	6638037	116	80	150	BOMJARDIMSVI
271927	6640391	133	26	120	BOMJARDIMSVI
272034	6638545	145	27	138	BOMJARDIMSVI
268210	6637531	121	85	180	BOMJARDIMSVI
267235	6636906	164	52	138	BOMJARDIMSVI
268149	6636553	144	70	250	BOMJARDIMSVI
269638	6637176	133	68	160	BOMJARDIMSVI
270446	6635952	151	45	125	BOMJARDIMSVI
269504	6634508	194	74	192	BOMJARDIMSVI

270693	6632919	203	44	274	BOMJARDIMSV
269830	6629507	239	38	122	BOMJARDIMSV
272728	6622631	140	50	74	BOMJARDIMSV
272179	6621334	166	47	175	BOMJARDIMSV
272233	6614530	159	56	15	BOMJARDIMSV
271296	6613975	183	60	126	BOMJARDIMSV
263444	6604487	165	77	165	BOMJARDIMSV
263686	6603619	147	38	154	BOMJARDIMSV
262219	6601409	161	19	215	BOMJARDIMSV
254161	6636387	132	40	180	BOMJARDIMSVSIII
254196	6636115	122	40	155	BOMJARDIMSVSIII
254396	6635716	100	48	140	BOMJARDIMSVSIII
254702	6635131	118	40	180	BOMJARDIMSVSIII
269544	6630974	238	60	70	BOMJARDIMSVSIII
273696	6634911	148	60	80	BOMJARDIMSVSIII
273155	6632424	193	80	70	BOMJARDIMSVSIII
273020	6629195	183	56	124	BOMJARDIMSVSIII
273147	6628121	150	49	126	BOMJARDIMSVSIII
272415	6627820	128	54	86	BOMJARDIMSVSIII
272789	6627165	120	61	102	BOMJARDIMSVSIII
272744	6626151	103	55	55	BOMJARDIMSVSIII
271690	6626010	105	75	289	BOMJARDIMSVSIII
272690	6625440	95	27	37	BOMJARDIMSVSIII
270956	6623998	149	75	110	BOMJARDIMSVSIII
272791	6623533	104	47	340	BOMJARDIMSVSIII
272162	6623250	110	35	70	BOMJARDIMSVSIII
271608	6623318	109	20	85	BOMJARDIMSVSIII
271545	6621128	183	60	40	BOMJARDIMSVSIII
272453	6621443	152	67	302	BOMJARDIMSVSIII
270693	6621167	196	60	44	BOMJARDIMSVSIII
270493	6620739	202	41	42	BOMJARDIMSVSIII
270830	6620613	198	46	45	BOMJARDIMSVSIII
271634	6619337	117	42	356	BOMJARDIMSVSIII
271675	6617058	133	43	9	BOMJARDIMSVSIII
270114	6617020	142	34	137	BOMJARDIMSVSIII
271232	6616275	142	28	103	BOMJARDIMSVSIII
269887	6615145	143	44	82	BOMJARDIMSVSIII
270090	6614684	139	38	44	BOMJARDIMSVSIII

273406	6614500	180	32	318	BOMJARDIMSVSIII
272733	6613865	179	32	354	BOMJARDIMSVSIII
273191	6613826	145	44	310	BOMJARDIMSVSIII
273601	6613561	123	19	185	BOMJARDIMSVSIII
273664	6613350	116	12	74	BOMJARDIMSVSIII
271465	6613116	138	52	229	BOMJARDIMSVSIII
272100	6612625	116	30	39	BOMJARDIMSVSIII
272562	6612216	125	48	296	BOMJARDIMSVSIII
273004	6611427	106	40	161	BOMJARDIMSVSIII
273128	6611113	105	42	155	BOMJARDIMSVSIII
261973	6604842	242	52	357	BOMJARDIMSVSIII
261595	6604327	219	33	273	BOMJARDIMSVSIII
262256	6603787	194	28	195	BOMJARDIMSVSIII
261400	6603112	202	17	66	BOMJARDIMSVSIII
260120	6601914	204	40	150	BOMJARDIMSVSIII
261518	6600362	183	62	276	BOMJARDIMSVSIII
261816	6599730	230	33	110	BOMJARDIMSVSIII
263855	6600148	220	30	120	BOMJARDIMSVSIII
263604	6599461	181	45	120	BOMJARDIMSVSIII
264385	6598986	155	62	163	BOMJARDIMSVSIII
272529	6639721	158	10	60	BACIAPARANA
261521	6636746	123	25	10	SSCLASTICA
261521	6636367	137	32	20	SSCLASTICA
263131	6636846	106	22	320	SSCLASTICA
262444	6636682	148	40	300	SSCLASTICA
263398	6636846	109	25	310	SSCLASTICA
263797	6635393	131	30	310	SSCLASTICA
263074	6634960	153	30	330	SSCLASTICA
266593	6635705	199	20	30	SSCLASTICA
267777	6635836	163	20	45	SSCLASTICA
269014	6634319	185	74	30	SSCLASTICA
267260	6609844	184	28	150	SSCLASTICA
267253	6609306	184	54	180	SSCLASTICA
266718	6607810	144	28	140	SSCLASTICA
265114	6607698	197	46	159	SSCLASTICA
266662	6607571	149	20	274	SSCLASTICA
266769	6607441	142	27	125	SSCLASTICA
266536	6607121	149	58	310	SSCLASTICA

265841	6607247	188	38	320	SSCLASTICA
264801	6606997	168	38	166	SSCLASTICA
267374	6607406	190	60	142	SSCLASTICA
266449	6605850	195	58	170	SSCLASTICA
264781	6605615	167	53	170	SSCLASTICA
263473	6606267	279	73	150	SSCLASTICA
262637	6606740	209	65	175	SSCLASTICA
261160	6606971	243	65	164	SSCLASTICA
261839	6606113	266	52	183	SSCLASTICA
261768	6605488	310	47	181	SSCLASTICA
256624	6607908	369	32	230	SSCLASTICA
256033	6606083	372	40	220	SSCLASTICA
253559	6606194	372	15	214	SSCLASTICA
258063	6604730	362	49	216	SSCLASTICA
257833	6602493	271	63	201	SSCLASTICA
255177	6604036	365	38	232	SSCLASTICA
254256	6602705	334	32	232	SSCLASTICA
269280	6628510	160	25	126	SVSINTERMEDIARIA
269725	6627390	137	24	42	SVSINTERMEDIARIA
269480	6626710	177	56	128	SVSINTERMEDIARIA
269920	6626130	166	40	136	SVSINTERMEDIARIA
269951	6623877	179	25	68	SVSINTERMEDIARIA
269483	6623234	194	33	57	SVSINTERMEDIARIA
262381	6635221	129	35	320	SVSINTERMEDIARIA
259056	6635406	87	60	270	SVSINTERMEDIARIA
261058	6634227	162	35	120	SVSINTERMEDIARIA
260176	6634258	215	40	320	SVSINTERMEDIARIA
259528	6634730	130	47	280	SVSINTERMEDIARIA
259076	6634289	127	25	260	SVSINTERMEDIARIA
260052	6633734	186	10	310	SVSINTERMEDIARIA
259538	6633484	229	25	320	SVSINTERMEDIARIA
258765	6631362	168	70	270	SVSINTERMEDIARIA
259084	6630891	192	70	310	SVSINTERMEDIARIA
258201	6630994	182	60	290	SVSINTERMEDIARIA
259289	6630379	236	40	280	SVSINTERMEDIARIA
258810	6630550	308	72	283	SVSINTERMEDIARIA
257864	6629564	214	80	272	SVSINTERMEDIARIA
257730	6628540	241	54	64	SVSINTERMEDIARIA

258210	6626210	169	70	290	SVSINTERMEDIARIA
258454	6624998	210	55	306	SVSINTERMEDIARIA
257582	6625039	170	42	250	SVSINTERMEDIARIA
257653	6622946	338	60	314	SVSINTERMEDIARIA
257883	6622942	281	58	302	SVSINTERMEDIARIA
257797	6622201	266	58	298	SVSINTERMEDIARIA
257417	6622326	293	55	300	SVSINTERMEDIARIA
257232	6622227	255	75	135	SVSINTERMEDIARIA
257327	6621838	300	53	280	SVSINTERMEDIARIA
257359	6620241	365	55	299	SVSINTERMEDIARIA
257386	6619952	352	45	110	SVSINTERMEDIARIA
257294	6618800	306	60	287	SVSINTERMEDIARIA
265579	6634664	183	20	340	SVSBASICA
264425	6634953	136	62	310	SVSBASICA
264051	6635115	145	55	350	SVSBASICA
264006	6634504	143	70	290	SVSBASICA
263222	6634362	188	40	320	SVSBASICA
263334	6633855	181	50	310	SVSBASICA
261142	6633522	145	65	300	SVSBASICA
259422	6630123	264	70	320	SVSBASICA
258980	6628580	284	60	293	SVSBASICA
259250	6627405	221	50	294	SVSBASICA
259515	6626610	239	86	116	SVSBASICA
258800	6625810	205	70	280	SVSBASICA
258218	6622833	222	70	306	SVSBASICA
257318	6614486	344	68	289	SVSBASICA
258657	6607678	289	52	228	SVSBASICA
262574	6607404	187	27	193	SVSBASICA
264001	6607893	167	42	160	SVSBASICA
265213	6608245	216	62	172	SVSBASICA
266089	6608192	204	52	175	SVSBASICA
267253	6609306	184	54	180	SVSBASICA
264575	6606020	185	32	140	SVSBASICA
262899	6605538	268	58	160	SVSBASICA
263168	6604949	194	26	160	SVSBASICA
261181	6604679	239	70	180	SVSBASICA
259652	6603396	262	56	170	SVSBASICA
256382	6601051	318	44	209	SVSBASICA

257923	6599781	192	52	224	SVSBASICA
256219	6598462	260	40	268	SVSBASICA
266583	6603471	155	47	118	SVSBASICA
266341	6603631	139	45	18	SVSBASICA
267264	6604453	132	25	132	SVSBASICA
267224	6604706	146	5	280	SVSBASICA
267770	6604562	131	46	211	SVSBASICA
267029	6605195	174	30	150	SVSBASICA
266835	6605562	204	24	210	SVSBASICA
268067	6605441	137	35	143	SVSBASICA
267374	6607804	194	16	290	SVSBASICA
267361	6608231	138	22	144	SVSBASICA
268165	6608543	129	43	150	SVSBASICA
268564	6608320	125	50	112	SVSBASICA
269845	6608062	158	15	80	SVSBASICA
269662	6609061	169	23	132	SVSBASICA
269827	6609397	145	7	20	SVSBASICA
268142	6609912	238	46	184	SVSBASICA
268044	6610025	243	18	10	SVSBASICA
268340	6610096	212	30	40	SVSBASICA
269509	6610116	152	19	227	SVSBASICA
269965	6610153	153	32	120	SVSBASICA
268975	6610336	175	25	133	SVSBASICA
269095	6610911	199	22	130	SVSBASICA
269061	6612256	186	30	236	SVSBASICA
267981	6614269	304	28	110	SVSBASICA
269203	6615506	208	72	107	SVSBASICA
269017	6617667	146	20	175	SVSBASICA
269187	6620374	121	62	170	SVSBASICA
269201	6620314	123	30	70	SVSBASICA
269328	6622162	204	30	80	SVSBASICA
268740	6626980	221	55	82	SVSBASICA
268505	6628521	189	24	90	SVSBASICA
269365	6630202	218	50	114	SVSBASICA
268060	6630120	246	72	107	SVSBASICA
267786	6633245	180	24	26	SVSBASICA
255168	6632291	98	65	320	STABARBARA1
257018	6631889	109	35	320	STABARBARA1

256313	6631733	133	40	310	STABARBARA1
256485	6631494	120	35	330	STABARBARA1
255430	6629433	131	39	196	STABARBARA1
254410	6629130	124	49	155	STABARBARA1
254642	6625546	133	30	90	STABARBARA1
257963	6630998	168	50	330	STABARBARA2
255760	6629240	124	64	70	STABARBARA2
256510	6627720	136	26	120	STABARBARA2
256446	6625953	146	45	86	STABARBARA2
255693	6625759	117	23	84	STABARBARA2
256277	6625184	124	10	325	STABARBARA2
257041	6624793	136	30	274	STABARBARA2
256218	6623015	142	12	115	STABARBARA2
256086	6622934	139	15	135	STABARBARA2
254139	6618970	163	20	148	STABARBARA2
256211	6617828	293	23	107	STABARBARA2
256591	6609008	358	12	10	STABARBARA2
255981	6614523	287	68	311	STABARBARA3
254286	6613372	213	14	308	STABARBARA3
255276	6612917	223	16	235	STABARBARA3
254729	6612870	225	50	126	STABARBARA3
267071	6629704	358	26	118	LEUCOGRANITO
267500	6628700	249	35	90	LEUCOGRANITO
268160	6628580	209	30	110	LEUCOGRANITO
264014	6629945	247	10	62	LEUCOGRANITO
262817	6629112	364	5	16	LEUCOGRANITO
260210	6629950	316	58	96	LEUCOGRANITO
262386	6628023	369	10	326	LEUCOGRANITO
266232	6624424	354	22	10	LEUCOGRANITO
260727	6625700	416	14	267	LEUCOGRANITO
261141	6624376	403	18	270	LEUCOGRANITO
262473	6624631	418	20	98	LEUCOGRANITO
263126	6623548	439	10	100	LEUCOGRANITO
262542	6621712	415	22	74	LEUCOGRANITO
263759	6619902	419	25	210	LEUCOGRANITO
264533	6615414	290	34	270	LEUCOGRANITO
265192	6633017	264	12	5	BIOTITAGRANITO
263542	6632950	179	20	330	BIOTITAGRANITO

263260	6633043	163	30	330	BIOTITAGRANITO
267304	6631380	218	20	95	BIOTITAGRANITO
262573	6632412	183	60	330	BIOTITAGRANITO
261089	6633055	161	60	300	BIOTITAGRANITO
260520	6632656	205	42	300	BIOTITAGRANITO
260037	6631687	227	20	60	BIOTITAGRANITO
259876	6630584	263	60	120	BIOTITAGRANITO
260994	6630633	227	60	120	BIOTITAGRANITO
265930	6629480	308	37	79	BIOTITAGRANITO
266060	6628680	275	14	180	BIOTITAGRANITO
264940	6628420	280	11	147	BIOTITAGRANITO
266440	6627580	207	15	113	BIOTITAGRANITO
264425	6627610	319	11	150	BIOTITAGRANITO
265480	6627230	252	16	107	BIOTITAGRANITO
263440	6626410	412	19	45	BIOTITAGRANITO
266150	6625940	210	10	66	BIOTITAGRANITO
267940	6625930	171	30	45	BIOTITAGRANITO
268729	6624424	174	40	128	BIOTITAGRANITO
264827	6624594	415	32	313	BIOTITAGRANITO
267179	6622232	302	35	110	BIOTITAGRANITO
264264	6623686	433	60	88	BIOTITAGRANITO
264303	6622583	377	19	100	BIOTITAGRANITO
263257	6621730	317	7	101	BIOTITAGRANITO
263623	6621210	308	60	280	BIOTITAGRANITO
265509	6622163	323	14	292	BIOTITAGRANITO
265711	6621717	267	20	12	BIOTITAGRANITO
265919	6621659	267	10	192	BIOTITAGRANITO
265244	6621229	349	6	330	BIOTITAGRANITO
266556	6621106	221	8	272	BIOTITAGRANITO
267094	6620670	194	48	116	BIOTITAGRANITO
268387	6620670	143	35	138	BIOTITAGRANITO
263402	6620496	385	36	310	BIOTITAGRANITO
261944	6620694	433	64	112	BIOTITAGRANITO
259710	6621480	318	68	290	BIOTITAGRANITO
258702	6621580	349	42	100	BIOTITAGRANITO
258652	6622598	275	52	276	BIOTITAGRANITO
260809	6622798	438	54	112	BIOTITAGRANITO
267551	6618310	171	10	79	BIOTITAGRANITO

266620	6616082	183	60	309	BIOTITAGRANITO
264422	6618712	357	60	270	BIOTITAGRANITO
262375	6616450	320	28	270	BIOTITAGRANITO
261424	6617545	373	90	178	BIOTITAGRANITO
257951	6619287	392	64	269	BIOTITAGRANITO
260674	6615362	390	40	266	BIOTITAGRANITO
261903	6615459	349	37	232	BIOTITAGRANITO
264674	6615241	275	44	280	BIOTITAGRANITO
264955	6615293	268	44	282	BIOTITAGRANITO
266458	6614841	270	24	287	BIOTITAGRANITO
258535	6614639	417	62	321	BIOTITAGRANITO
260830	6614169	350	38	244	BIOTITAGRANITO
260333	6613840	367	72	289	BIOTITAGRANITO
267166	6613858	354	26	242	BIOTITAGRANITO
266429	6613175	353	18	111	BIOTITAGRANITO
266504	6612580	377	24	266	BIOTITAGRANITO
266117	6612396	399	25	161	BIOTITAGRANITO
265569	6612200	388	77	286	BIOTITAGRANITO
264175	6612689	402	52	261	BIOTITAGRANITO
265793	6611552	327	65	101	BIOTITAGRANITO
265175	6611302	259	40	100	BIOTITAGRANITO
265880	6610887	301	38	180	BIOTITAGRANITO
265993	6609996	312	58	163	BIOTITAGRANITO
265883	6609097	174	30	170	BIOTITAGRANITO
265177	6610049	283	54	164	BIOTITAGRANITO
265168	6608823	266	60	190	BIOTITAGRANITO
264163	6608628	268	53	160	BIOTITAGRANITO
263987	6609569	347	39	176	BIOTITAGRANITO
263799	6610109	351	27	158	BIOTITAGRANITO
263550	6609266	296	73	268	BIOTITAGRANITO
263022	6608497	200	60	165	BIOTITAGRANITO
262800	6608206	173	52	187	BIOTITAGRANITO
262094	6607834	194	65	172	BIOTITAGRANITO
261676	6610142	345	50	110	BIOTITAGRANITO
260906	6607880	199	61	186	BIOTITAGRANITO
261383	6609211	274	70	250	BIOTITAGRANITO
261238	6609871	313	35	228	BIOTITAGRANITO
257960	6611061	421	70	283	BIOTITAGRANITO

258538	6609921	354	54	257	BIOTITAGRANITO
258160	6608104	297	78	254	BIOTITAGRANITO
269003	6614595	178	41	128	GRANITOIDE
268670	6613616	223	50	157	GRANITOIDE
267951	6613576	290	30	222	GRANITOIDE
268245	6613222	266	24	153	GRANITOIDE
268089	6613233	293	18	233	GRANITOIDE
267356	6613381	361	40	239	GRANITOIDE
267759	6613115	353	15	217	GRANITOIDE
267456	6612961	388	22	256	GRANITOIDE
267467	6612560	390	28	119	GRANITOIDE
267546	6612367	362	10	174	GRANITOIDE
267782	6612033	314	28	131	GRANITOIDE
268265	6612065	254	26	307	GRANITOIDE
268434	6611927	250	20	156	GRANITOIDE
268918	6612267	199	62	139	GRANITOIDE
267915	6610678	240	42	110	GRANITOIDE
269137	6608989	212	66	153	SANTOSFERREIRA
269300	6608738	202	44	105	SANTOSFERREIRA
268452	6607340	197	72	112	SANTOSFERREIRA
268357	6606436	131	30	155	SANTOSFERREIRA
267517	6606465	141	36	240	SANTOSFERREIRA
267723	6606296	132	16	286	SANTOSFERREIRA
266150	6603176	137	8	306	GUARITALOS
271227	6607596	178	4	174	GUARITA
270883	6606258	160	8	160	GUARITA
270609	6605846	157	4	155	GUARITA
269174	6606130	163	6	132	GUARITA
268855	6606022	144	19	116	GUARITA
268561	6605556	126	15	105	GUARITA
270084	6602459	221	5	230	GUARITA
265250	6602331	190	20	150	GUARITA
257242	6611622	362	25	319	SSCLASTICA
257634	6613163	408	52	271	SVSINTERMEDIARIA
256968	6613419	398	54	296	SVSINTERMEDIARIA

Fonte: O autor (2021)