

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E
PETROLOGIA

**PESQUISA GEOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE RIODACITO
PARA USO EM ROCHA ORNAMENTAL E DE REVESTIMENTO - GARIBALDI- RS**

ÉRIKA PIACHESKI DE ABREU

PORTO ALEGRE

2019

ÉRIKA PIACHESKI DE ABREU

PESQUISA GEOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE RIODACITO
PARA USO EM ROCHA ORNAMENTAL E DE REVESTIMENTO - GARIBALDI- RS

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

Orientadores: Prof. Dr. Clóvis Gonzatti

Prof. Dr. Antonio Pedro Viero

PORTO ALEGRE

2019

CIP - Catalogação na Publicação

de Abreu, Érika Piacheski
PESQUISA GEOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA
JAZIDA DE RIODACITO PARA USO EM ROCHA ORNAMENTAL E DE
REVESTIMENTO EM GARIBALDI- RS / Érika Piacheski de
Abreu. -- 2019.
97 f.
Orientador: Clóvis Gonzatti.

Coorientador: Antonio Pedro Viero.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2019.

1. Formação Serra Geral. 2. Rocha ornamental. 3.
Caracterização tecnológica. 4. VANT. I. Gonzatti,
Clóvis, orient. II. Viero, Antonio Pedro, coorient.
III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E
PETROLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “PESQUISA GEOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE RIODACITO PARA USO EM ROCHA ORNAMENTAL E DE REVESTIMENTO - GARIBALDI- RS”, elaborado por “ÉRIKA PIACHESKI DE ABREU”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Prof. Dr. Laercio Dal Olmo Barbosa

Profa. Dra. Lauren da Cunha Duarte

PORTO ALEGRE, DEZEMBRO DE 2019.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por me proporcionar gratuitamente educação de excelência.

Ao curso de graduação em geologia, por me proporcionar a aprendizagem dos conteúdos mais fantásticos sobre a Terra e pelas diversas saídas de campo que foram inesquecíveis e imprescindíveis para boa qualidade de minha formação. Foi uma exímia escolha.

Aos meus pais, Estela e Paulino, e aos meus irmãos, Marcelo e Kelly, cujo amor, amizade e compreensão permitiram que eu chegasse e concluísse essa etapa.

Aos amigos que fiz no curso e que ajudaram a tornar esse período memorável.

Aos professores e professoras que me proporcionaram diversas experiências e colaboraram com seu conhecimento para meu desenvolvimento..

À empresa Basalto São Cristovão pela disposição.

Así es.

RESUMO

A atual situação do mercado de rochas ornamentais e de revestimento demonstra que o mercado brasileiro está exercendo um papel muito importante no comércio mundial. As rochas ácidas da Formação Serra Geral extraídas no estado do Rio Grande do Sul contribuem para o crescente número de exportações e, mesmo sendo de grande importância para a economia do estado, o conhecimento tecnológico sobre elas ainda é escasso. De acordo com esse panorama, este trabalho tem como objetivo a caracterização geológica e tecnológica para uso em rocha ornamental e de revestimento do riodacito proveniente de jazida localizada em Garibaldi, RS. Para a caracterização geológica da jazida foram realizadas inspeções em campo a fim de descrever as características da rocha, como texturas, estruturas e descontinuidades. Além disso, também foi realizada a descrição petrográfica do material, com o objetivo de classificar petrograficamente e realizar o detalhamento de quaisquer feições que pudessem causar a desqualificação da rocha. Para a caracterização tecnológica do riodacito, foram realizados ensaios para determinação de índices físicos, resistência a compressão uniaxial, flexão três pontos, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais e congelamento e degelo. Para complementar a caracterização da jazida, efetuou-se também o levantamento topográfico em duas diferentes metodologias: através do uso de GPS absoluto e posterior interpolação dos dados e através do levantamento aerofotogramétrico com uso de VANT. Segundo os resultados dos ensaios realizados para caracterização tecnológica, a rocha em estudo atende as especificações da ABNT 15844 e pode ser utilizada com finalidade de revestimento e ornamental.

Palavras-chave: Formação Serra Geral. Rocha ornamental. Caracterização tecnológica. VANT.

RESUMEN

La actual situación del mercado de rocas ornamentales y de revestimiento demuestra que el mercado brasileño está desempeñando un papel muy importante en el comercio mundial. Las rocas ácidas de la Formación Serra Geral extraídas en el estado de Rio Grande do Sul contribuyen al creciente número de exportaciones y, aun siendo de gran importancia para la economía del estado, el conocimiento tecnológico sobre ellas sigue siendo escaso. Según este panorama, este trabajo tiene como objetivo la caracterización geológica y tecnológica para uso en roca ornamental y de revestimiento del riódacito proveniente de yacimiento ubicado en Garibaldi,RS. Para la caracterización geológica del yacimiento se realizaron inspecciones en campo con el fin de describir las características de la roca, como texturas, estructuras y discontinuidades. Además, también se realizó la descripción Petrográfica del material, con el objetivo de clasificar petrográficamente y realizar el detalle de cualquier facción que pudieran causar la descalificación de la roca. Para la caracterización tecnológica del riódacito, se realizaron ensayos para la determinación de índices físicos, resistencia a compresión uniaxial, flexión de tres puntos, velocidad de propagación de ondas ultrasónicas longitudinales y congelación y deshielo. Para complementar la caracterización del yacimiento, se realizó también el levantamiento topográfico en dos metodologías diferentes: mediante el uso de GPS absoluto y posterior interpolación de los datos y el levantamiento aerofotogramétrico con el uso de VANT. Según los resultados de los ensayos realizados para caracterización tecnológica, la roca en estudio cumple las especificaciones de la ABNT 15844 y puede ser utilizada con finalidad de revestimiento y ornamental.

Palabras clave: Formación Serra Geral. Roca Ornamental. Caracterización tecnológica. VANT

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Jazida Paludo.	17
Figura 2: Localização das supersequências que compõem a Bacia do Paraná.....	19
Figura 3: Mapa da Província Magmática Paraná-Etendeka, anterior à abertura do oceano Atlântico.....	22
Figura 4: Mapa geológico da área de estudo.	27
Figura 5: Perfil típico da fácies Caxias	28
Figura 6: Modelo de ficha de apoio para descrição de afloramento.	31
Figura 7: Fluxograma da metodologia utilizada.....	37
Figura 8: Ambiente de trabalho no software ArcGis 10.5. As linhas amarelas são os lineamentos traçados e o ponto verde a localização da Jazida Paludo.	39
Figura 9: Campanha de campo I: A) Descontinuidade presente no maciço rochoso, que impossibilitou a retirada de blocos. B) Carregamento dos blocos de rocha para venda. C) Trabalho dos marmoeiros, que aperfeiçoam blocos que não possuem as características necessárias para serem vendidos como blocos. D) Utilização como revestimento do material preparado pelos marmoeiros.	40
Figura 10: Croqui esquemático da área da jazida.	41
Figura 11: Croqui realizado como etapa do mapeamento geotécnico. Erro! Indicador não definido.	
Figura 12: Campanha de campo III. A) Drone utilizado para o levantamento aerotogramétrico. B) Estação base coletando informações de coordenadas. C) Receptor móvel coletando informações de pontos de interesse. D) Posicionamento do GCP.....	43
Figura 13: Balança e estufa utilizadas na realização do ensaio de índices físicos....	46
Figura 14: Corpos de prova com os esforços paralelos e perpendiculares a estruturação da rocha.....	47
Figura 15: Ensaio uniaxial. A) Corpo de prova no centro da prensa. B) Corpo de prova depois da ruptura.....	47
Figura 16: Equação utilizada no ensaio de resistência a compressão uniaxial.	47
Figura 18: Ensaio de flexão três pontos. A) Imagem ilustrativa do ensaio de flexão 3 pontos. B) Corpo de prova após a ruptura.	49
Figura 17: Equação utilizada para o ensaio de flexão três pontos.	49

Figura 19: Ilustração do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, paralelamente e perpendicularmente a estratificação da rocha.	50
Figura 20: Realização do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais.....	50
Figura 21: Software Inkscape, no qual foi realizado a digitalização dos croquis.	52
Figura 22: Ambiente de trabalho no software Surfer 15. Cada ponto foi interpolado de acordo com o método estatístico Vizinho mais Próximo.	53
Figura 23: Etapas da metodologia <i>Structure from Motion</i>	54
Figura 24: Pontos homólogos marcados manualmente nas fotografias.	55
Figura 25: A) Processamento na etapa de geração de nuvem densa. B) Processamento na etapa de aplicação de textura.....	56
Figura 26: Ilustração do arquivo raster contendo a interpolação dos dados sobre fraturamento/metro. A área abrangida pelo raster está localizada onde se encontram as paredes das bancadas. (o índice aumenta da cor verde à cor vermelha).	57
Figura 27: A) Amostra com textura esferulítica (carijó). B) Detalhe na textura.....	58
Figura 28: Bandamento subhorizontal presente nas rochas da jazida.	59
Figura 29: A)Descontinuidades irregulares na rocha. B) Detalhe para a descontinuidade.	60
Figura 30: A) Solo residual proveniente do riodacito. B) Detalhe para alteração esferoidal.....	60
Figura 31: Mapa contendo o relevo sombreado da área. Linhas amarelas são os lineamentos traçados e o ponto amarelo é a localização da jazida Paludo.....	61
Figura 32: Croqui digitalizado de parede localizada na bancada 2, no extremo sul da jazida.	63
Figura 33: Estereograma contendo a orientação das descontinuidades presentes na jazida Paludo.....	64
Figura 34: Setorização da jazida de acordo com o índice de fraturamento.....	67
Figura 35: A) Sanidina e plagioclásio ocorrendo de forma aleatória e euédrica. B)Textura microgáfica e Augita com incipiente fraturamento sendo preenchido por óxido. C)Textura esferulítica. D)Detalhe na textura esferulítica, onde minerais opacos preenchem fraturas causadas pela desvitrificação.....	69
Figura 36: Bloco retirado para ser cortado conforme as dimensões dos corpos de prova.	71

Figura 37: Formas de ruptura no ensaio uniaxial. A) Ensaio realizado a estratificação paralela à direção da aplicação do carregamento. B) Ensaio realizado com a estratificação perpendicular à direção da aplicação do carregamento.	73
Figura 38: Danos estruturais e estéticos nas chapas exportadas para o Estados Unidos.	80
Figura 39: Comparação visual do ensaio de congelamento e degelo. A) Corpo de prova FL05, apresentando alterações visuais no 25º ciclo. B) Corpo de prova FL07, apresentando alterações visuais no 25º ciclo.....	81
Figura 40: Modelo digital de elevação da jazida Paludo, com base no levantamento com GPS absoluto.	83
Figura 41: Modelo tridimensional da jazida Paludo, com base no levantamento com GPS absoluto. A) Vista frontal. B)Vista lateral.....	84
Figura 42: Modelo digital de superfície da jazida Paludo, com base no levantamento aerofotogramétrico.	86
Figura 43: Ortomosaico da Jazida Paludo.....	87
Figura 44: Modelo tridimensional da Jazida Paludo, com base no levantamento aerofotogramétrico.	88
Figura 45: Perfis de elevação: A) Com base no levantamento por GPS absoluto. B) Com base no levantamento aerofotogramétrico. C)Comparação entre os dois perfis:linha laranja representa o perfil com base no levantamento com GPS absoluto e linha preta com base no levantamento aerofotogramétrico.....	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Compilação dos dados de orientação dos lineamentos.....	62
Gráfico 2: Comparação entre os resultados obtidos no ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, conforme avanço do ensaio de congelamento e degelo. Os valores apresentados representam a média dos resultados.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais rochas ornamentais produzidas no ano de 2017.	15
Tabela 2: Ensaio e suas respectivas normas segundo ABNT.	32
Tabela 3: Ensaio recomendado para verificar a alterabilidade da rocha.	34
Tabela 4: Características das descontinuidades mapeadas.	62
Tabela 5: Resultados obtidos no ensaio de índices físicos.	72
Tabela 6: Resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial.	74
Tabela 7: Resultados encontrados através do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais.	77
Tabela 8: Resultados encontrados através do ensaio de flexão três pontos.	79
Tabela 9: Comparação entre os comprimentos das bancadas com base nos dois levantamentos.	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Compilação de informações sobre as supersequências da Bacia do Paraná.....	20
Quadro 2: Características geoquímicas dos grupos da Formação Serra Geral.	23
Quadro 3: Classificação textural e estratigráfica das fácies da Formação Serra Geral.	25
Quadro 4: Equações utilizadas para o Ensaio de índices físicos.	45
Quadro 5: Características quantitativas das discontinuidades encontradas na jazida Paludo.	65
Quadro 6: Compilação dos resultados da caracterização tecnológica. Em vermelho resultados que estão fora dos padrões estabelecidos pela ABNT NBR 15844.	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	16
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	18
2.1 BACIA DO PARANÁ.....	18
2.2 FORMAÇÃO SERRA GERAL	21
2.2.1 Composição química	23
2.3 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	26
3 ROCHAS ORNAMENTAIS	29
3.1 PESQUISA GEOLÓGICA PARA ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO.	30
3.2 UTILIZAÇÃO DE VANT COMO INSTRUMENTO DE MAPEAMENTO	34
4 METODOLOGIA	36
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	38
4.2 ANÁLISE AEROFOTOGEOLÓGICA.....	38
4.3 TRABALHO DE CAMPO	39
4.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	43
4.4 ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	44
4.4.1 Determinação dos índices físicos	45
4.4.1 Resistência a compressão uniaxial	46
4.4.2 Ensaio de Flexão três pontos	48
4.4.3 Ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais	49
4.4.4 Congelamento e degelo.	51
4.5 TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO...51	
4.5 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E MODELAMENTO TRIDIMENSIONAL DA JAZIDA COM GPS ABSOLUTO.....	52
4.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFÉTRICO ATRAVÉS DE VANT.....	53
4.7 ZONEAMENTO DA JAZIDA COM BASE NO PADRÃO DE FRATURAMENTO .57	
5 RESULTADOS	58
5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA JAZIDA.....	58

5.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DA ÁREA.....	61
5.3 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA	68
5.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	70
5.4.1 Ensaio de Índices físicos.....	71
5.4.2 Ensaio de Resistência a compressão uniaxial	73
5.4.3 Ensaio de Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais.....	75
5.4.4 Ensaio de Flexão três pontos.....	78
5.4.5 Ensaio de congelamento e degelo.....	79
5.5 ANÁLISE DA TOPOGRAFIA E MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DA JAZIDA PALUDO.....	82
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91

1 INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais são materiais que, quando extraídos e beneficiados, exercem funções de revestimento, estrutural e decorativa. Podem ser de diferentes naturezas geológicas, tais como ígnea, metamórfica ou sedimentar, as quais apresentam diferentes características físicas e, devido aos diversos ambientes de formação, garantem uma infinidade de texturas, estruturas e cores. Por essas razões, esses materiais são utilizados pelos humanos desde a pré-história e a construção mais antiga, feita em rocha, é o Templo de Gobekli, datado em 12.000 anos atrás. No Brasil, o uso de rochas na construção de edificações iniciou com a chegada dos colonizadores portugueses. (VIDAL; AZEVEDO;CASTRO, 2013).

No Brasil, a comercialização de rochas ornamentais se caracterizou como importante atividade econômica a partir do ano de 2007, onde chapas polidas e blocos começaram a ser exportados para países como Estados Unidos e China. Entre os anos de 2013-2016, o país esteve na quarta posição como produtor mundial e sétima posição como exportador, aonde em 2016, as exportações chegaram a 2,46 Milhões de toneladas. As principais rochas produzidas no ano de 2017 podem ser visualizadas na Tabela 1. (VIDAL; AZEVEDO;CASTRO, 2013; CHIODI, 2018)

Tabela 1: Principais rochas ornamentais produzidas no ano de 2017.

Tipo de Rocha	Produção (Mt)	Participação (%)
Granitos e similares	5,0	54
Mármore e Travertino	2,0	22
Ardósea	0,4	4,5
Quartzito (Foliado e maciço)	1,2	13
Outros (Basalto, Pedra Sabão, etc...)	0,6	6,5

Fonte: Modificado de Chiodi (2018).

É possível notar que as rochas ornamentais do tipo “outros”, dentre as quais estão incluídas as rochas do tipo basalto, perfazem somente 4,5% da produção brasileira. Porém, no estado no Rio Grande do Sul, onde grande parte de sua área é

coberta por rochas vulcânicas da formação Serra Geral, esse número é diferente. Segundo o Anuário Mineral Estadual do Rio Grande do Sul (DNPM, 2017), as rochas ornamentais do tipo basalto, pedra de talhe, etc. somam um total de 468.852 toneladas comercializadas, enquanto que as rochas ornamentais do tipo granitóides e gnaisse totalizam somente 6.825 toneladas (CHIODI, 2018). As rochas do tipo “Basalto”, extraídas no estado do Rio Grande do Sul, contribuem para o crescente número de exportações e são de grande importância para a economia do estado. Porém o conhecimento tecnológico sobre essas rochas ainda é escasso e, de acordo com esse panorama, é de fundamental importância que haja pesquisa geológica e caracterização tecnológica dessas rochas, a fim de garantir um produto de qualidade para o mercado interno e externo.

1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

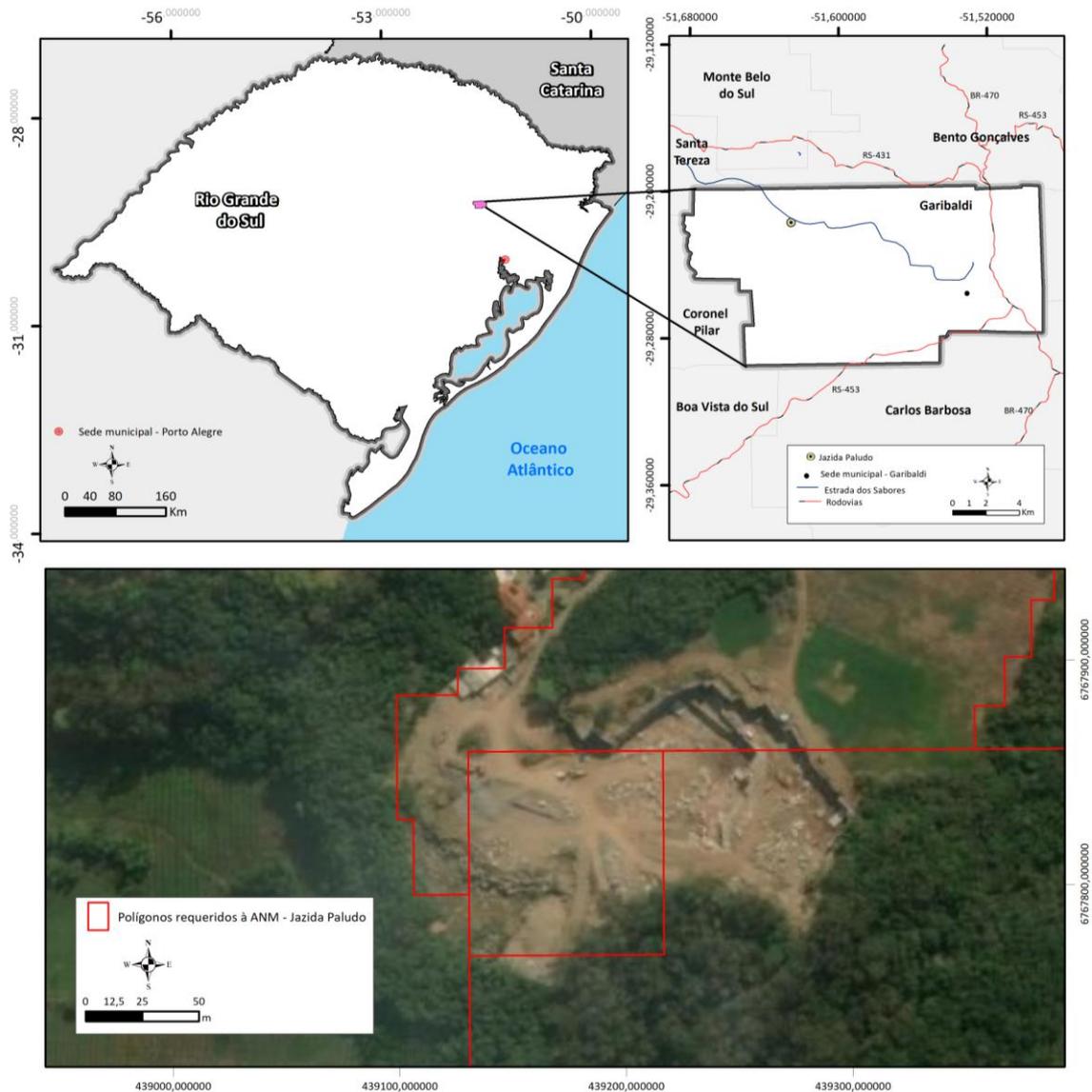
A proposta deste trabalho é a caracterização geológica e geotécnica para uso em rocha ornamental e de revestimento do riodacito, pertencente à Formação Serra Geral, localizado na Jazida Paludo, Garibaldi/RS. Para isso, será necessário:

- (1) Verificar na jazida as feições e texturas da rocha.
- (2) Descrever a rocha petrograficamente.
- (3) Avaliar a qualidade da rocha através de ensaios geotécnicos.
- (4) Zonear a jazida de acordo com suas características estruturais.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Jazida Paludo, pertencente à Empresa Basalto São Cristovão. A área da jazida está localizada no município de Garibaldi, nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, aproximadamente a 110 km de Porto Alegre (Figura 1). A partir do município de Garibaldi, deve-se seguir 12 km pela Estrada dos Sabores para chegar à jazida

Figura 1: Mapa de localização da Jazida Paludo.



Fonte: Elaborado pela autora.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

Este trabalho possui como objeto de estudo rochas da Formação Serra Geral, pertencentes à Bacia do Paraná. Nos próximos itens serão abordadas as características desta bacia, como sua abrangência, estratigrafia e o ambiente geotectônico em que foi formada, além de sua relação com a formação da província magmática Paraná-Etendeka. Também serão discutidos aspectos gerais sobre as Grandes Províncias Ígneas e características petrológicas e geoquímicas da Formação Serra Geral.

2.1 BACIA DO PARANÁ

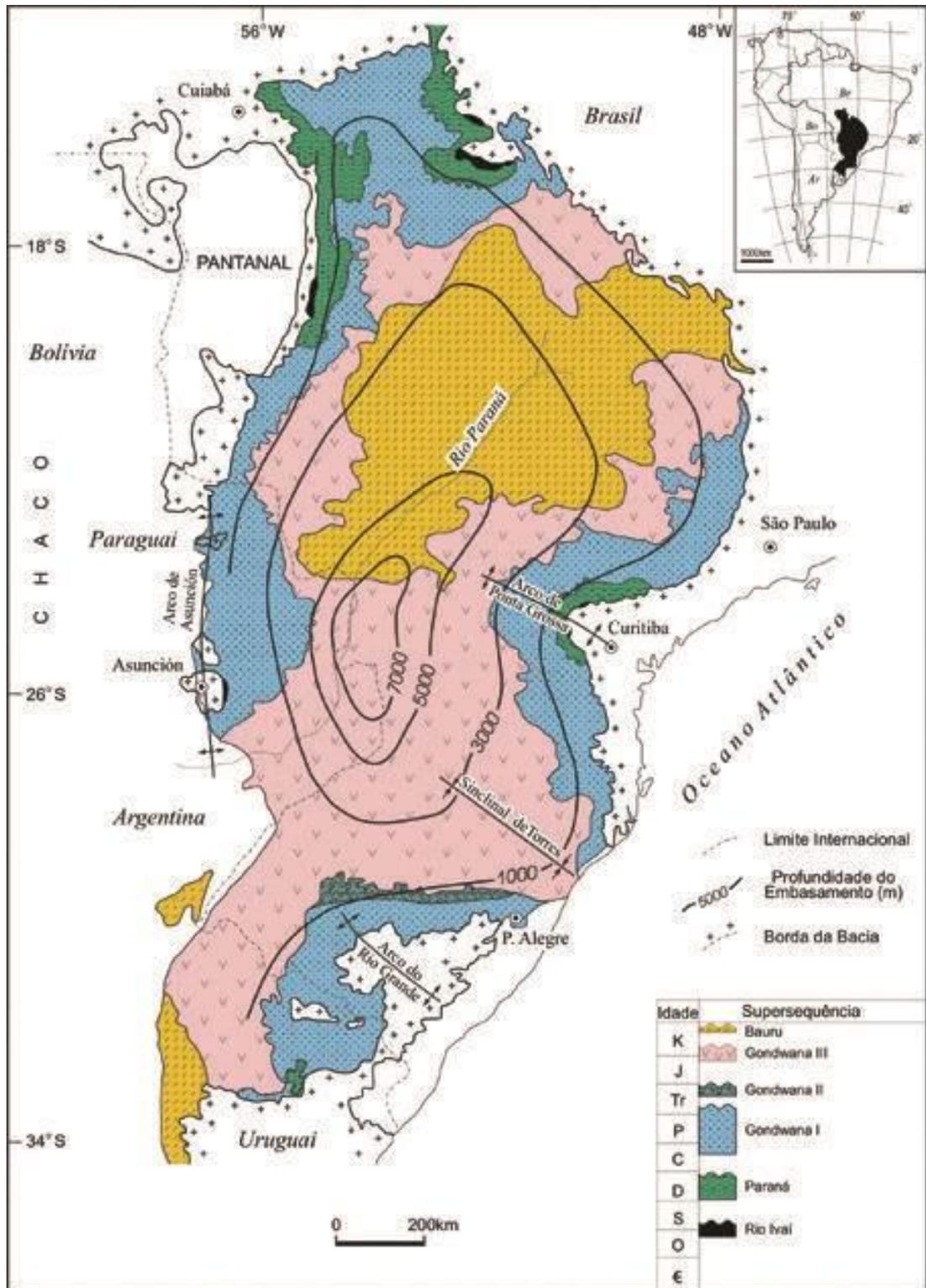
A Bacia do Paraná é uma bacia vulcano-sedimentar intracratônica, preenchida por pacotes sedimentares e magmáticos. Está localizada na Plataforma Sul-Americana, e engloba regiões do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai. A área total da bacia recobre cerca de 1,5 milhões de quilômetros quadrados, sendo que 80% dessa área está localizada no Brasil. A espessura do pacote sedimentar-magmático atinge, em alguns locais, sete mil metros. As idades das rochas que preenchem a bacia variam entre o Siluriano e o Cretáceo (MILANI et al., 2007).

As rochas sedimentares da Bacia do Paraná foram depositadas sobre o recém formado continente Gondwana. As rochas do embasamento são resultado de vários cinturões orogênicos, juntamente com diversos núcleos cratônicos. Os cinturões orogênicos são decorrentes de colisões do importante evento tectonomagmático ciclo Brasileiro, ocorrido entre 750 e 450 Ma, e que levou a formação do continente Gondwana. ZALÁN et al. (1987) relaciona a origem da Bacia do Paraná com uma possível subsidência devido ao relaxamento e resfriamento da crosta após o final do ciclo Brasileiro. A reativação de lineamentos herdados do embasamento, com orientação preferencial NW e NE, são responsáveis, em partes, pela sedimentação da bacia e por sua distribuição faciológica. (MILANI et al., 2007).

A estratigrafia da Bacia do Paraná foi organizada em supersequências, cada uma representativa de um ambiente tectônico e sedimentar. Seis supersequências foram identificadas, sobre as quais foram analisadas e compiladas informações que estão descritas no Quadro 1 (FRANÇA; POTTER, 1988; MILANI, 2004; MILANI et al.,

2007). O mapa com a localização da Bacia do Paraná, assim com a localização das superseqüências pode ser analisado na Figura 2.

Figura 2: Localização das superseqüências que compõem a Bacia do Paraná.



Fonte: Extraído de Milani (2004)

Quadro 1: Compilação de informações sobre as supersequências da Bacia do Paraná.

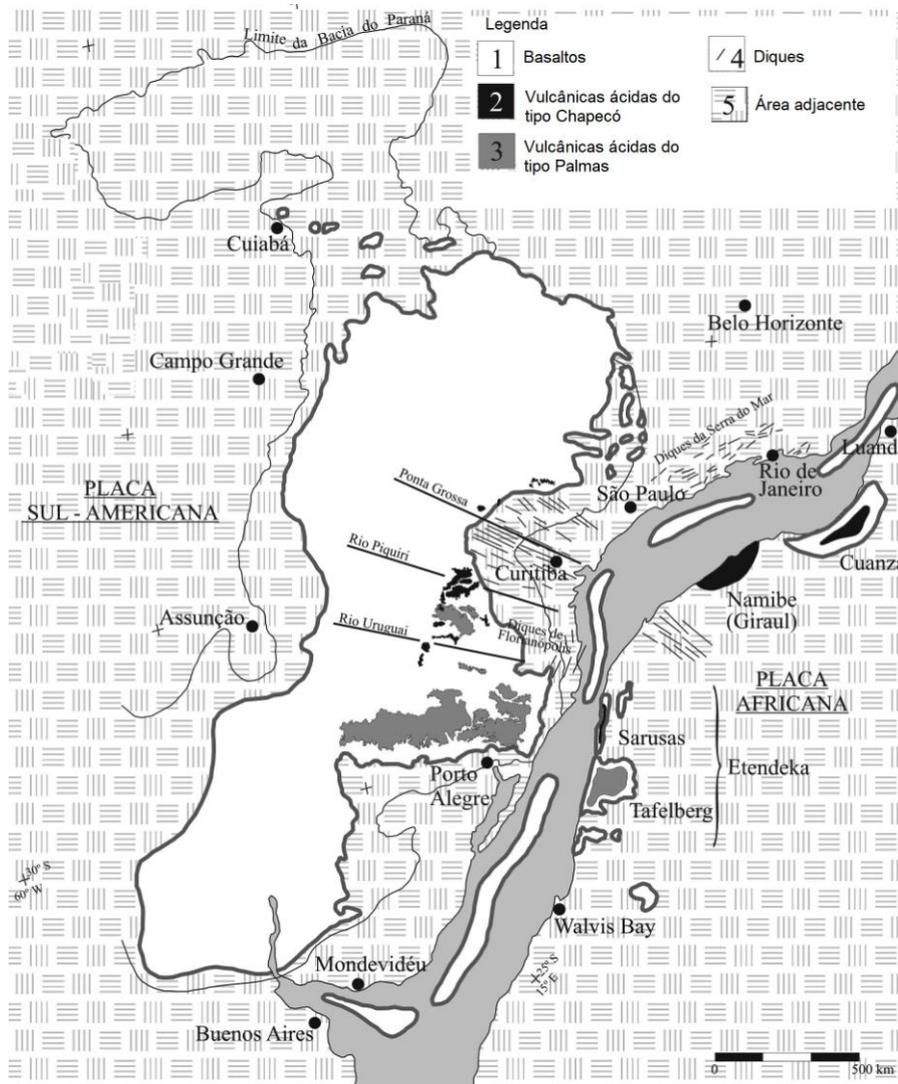
Supersequência	Idade	Grupo	Formação	Tipos de rocha	Características
Gondwana III	Cretáceo		Serra Geral	Rochas vulcânicas básicas e ácidas	
			Botucatu	Arenitos	Ambiente continental eólico
Gondwana II	Triássico		Santa Maria	Lamitos e arenitos	Ambiente fluvial e lacustre. Importante conteúdo fóssilífero.
Gondwana I	Carbonífero	Passa Dois	Rio do Rastro	Argilitos, siltitos e arenitos.	Ambiente deposicional marinho raso, transicionando para ambiente flúvio deltaico em direção ao topo
			Teresina	folhelhos e argilitos intercalados com arenitos finos.	Ambiente marinho de águas rasas
			Serra Alta	Siltitos e folhelhos	Ambiente marinho plataformal
			Irati	Siltitos e folhelhos	Ambiente marinho plataformal
		Guatá	Palermo	Siltitos e argilitos	Ambiente deposicional marinho plataformal
			Rio Bonito	Arenitos, siltitos	Ambiente deposicional costeiro. Presença de carvão mineral
		Itararé	Taciba	Siltitos e lamitos	Ambiente periglacial
			Campo Mourão	Majoritariamente composta por arenitos	
			Lagoa Azul	Arenitos médios a conglomerados, siltitos e lamitos	
Paraná	Eodevoniana	Paraná	Ponta grossa	Siltitos com bioturbação	Ambiente deposicional marinho profundo.
			Furnas	Arenitos conglomeráticos na base e, conforme avança para o topo, presença de siltito e arenito fino.	Base da formação indica ambiente fluvial, enquanto o topo indica ambiente costeiro a marinho.
Rio Ivai	Ordoviciano	Rio Ivai	Vila Maria	Folhelhos marinhos	Importante conteúdo fóssilífero. Ambiente deposicional marinho profundo.
			Iapó	Diamiditos	
			Alto Garças	Folhelhos marinhos	Importante conteúdo fóssilífero. Ambiente deposicional marinho profundo.

Fonte: Elaborado pela autora com base em França e Potter (1988), Milani (2004), Milani et al.(2007)

2.2 FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral é pertencente à província magmática Paraná-Etendeka, composta por derrames e rochas intrusivas que totalizam um volume com cerca de 800.000 Km³. É encontrada na região Sul do Brasil, assim como em porções do Centro-Oeste e Sudeste, onde cobre cerca de 1.200.000 Km² da área. Também há ocorrências no Uruguai, Paraguai e Argentina. A área de ocorrência nos países da América do Sul totaliza 90% do total, sendo que os restantes 10% das ocorrências estão localizadas no continente Africano, na Bacia de Etendeka (Figura 3). A sucessão dos derrames alcança cerca de 1700m de espessura no centro da bacia, recobrando as rochas sedimentares da Formação Botucatu. O vulcanismo foi acompanhado de atividade intrusiva, com a formação de diques e sills que se colocaram em descontinuidades estruturais já existentes na bacia, de orientação preferencial NW. Esses derrames configuram um dos maiores eventos de extravasamento intracontinental de lavas, sendo considerado uma Grande Província Ígnea (Large Igneous Province – LIP). (TURNER et al, 1994; HASUI et al, 2012)

Figura 3: Mapa da Província Magmática Paraná-Etendeka, anterior à abetura do oceano Atlântico.



Fonte: Extraído de Nardy, Machado e Oliveira (2008).

As Grandes Províncias Ígneas (LIP) são eventos onde há a geração de volumes expressivos de rochas ígneas, podendo ser extrusivas ou intrusivas, em geral de composição máfica. As LIPs geralmente estão relacionadas com eventos com atuação de plumas mantélicas, onde predomina o padrão distensivo de forças tectônicas. O ambiente tectônico de ocorrência de uma LIP não está restrito à dorsais mesoceânicas, ocorrendo também em ambientes intracontinentais, como é o caso da Formação Serra Geral (COFFIN; ELDFOLM, 1994; HASUI et al., 2012)

A geração das rochas da Formação Serra Geral está relacionada com a atividade da pluma mantélica Tristão da Cunha, responsável por esforços extensionais e consequente ruptura do Gondwana (HAWKESWORTH et al, 1992)

apud WILDNER, 2004) Essas rochas foram datadas por diversos autores através do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, resultando no intervalo de idades entre 137Ma a 127 Ma. Essas idades permitem concluir que o magmatismo relativo à Formação Serra Geral perdurou por cerca de 10Ma e que sua taxa de erupção chega a 0.08-0.12 km³/ano. Os resultados geocronológicos permitem correlacionar os eventos magmáticos com a abertura do Atlântico Sul durante o Cretácio Inferior (RENNE et al., 1992; TURNER et al., 1994)

2.2.1 Composição química

Composicionalmente, o vulcanismo possui características bimodais, com predomínio de 90% de basaltos e basaltos andesíticos e os restantes 10% de rochas de composição ácida, como riolitos e riodacitos. (WILDNER, 2004; NARDY; MACHADO; OLIVEIRA, 2008). Estudos geoquímicos permitiram a identificação de dois grandes grupos com base no teor e distribuição de TiO_2 e P_2O_5 : um grupo que possui alto titânio e outro com baixo titânio. Dentro destes dois grandes grupos separou-se, com base nas razões entre elementos-traço incompatíveis, seis diferentes fácies, descritas no

Quadro 2 (BELLIENI et al., 1984; ROISENBERG; VIERO, 2000):

Quadro 2: Características geoquímicas dos grupos da Formação Serra Geral.

Grupo	Características	Fácies	Características geoquímicas
Alto Ti	<ul style="list-style-type: none"> - Possui $\text{TiO}_2 > 2\%$. - Composto por 99% de rochas básicas, e 1% de rochas ácidas do tipo Chapecó. - É caracterizado por conter altos teores de P_2O_5 e também de elementos incompatíveis como Sr, Zr, Ba, Hf, Ta e Y 	Pitanga	<ul style="list-style-type: none"> - $\text{TiO}_2 > 3\%$ - Sr > 350 ppm - Ti/Y > 350
		Urubici	<ul style="list-style-type: none"> - $\text{TiO}_2 > 3\%$ - Sr > 550 ppm - Ti/Y > 500
		Paranapanema	<ul style="list-style-type: none"> - $2 < \text{TiO}_2 < 3$ - $200 < \text{Sr} < 450$ ppm - Ti/Y > 330
Baixo Ti	<ul style="list-style-type: none"> - Possui $\text{TiO}_2 \leq 2\%$. - Composto por rochas com baixa sílica, que incluem basaltos picríticos, basaltos e basaltos andesitos, todos com características toleíticas. Também há rochas alta sílica, que incluem dacitos e riodacitos. 	Ribeira	<ul style="list-style-type: none"> - $\text{TiO}_2 < 2\%$ - $200 < \text{Sr} < 375$ ppm - Ti/Y > 300
		Gramado	<ul style="list-style-type: none"> - $\text{TiO}_2 < 2\%$ - $140 < \text{Sr} < 400$ ppm - Ti/Y < 300
		Esmeralda	<ul style="list-style-type: none"> - $\text{TiO}_2 < 2\%$ - $120 < \text{Sr} < 250$ ppm - Ti/Y < 330

Fonte: Elaborado pela autora com base em Bellieni et al.(1984), Roisenberg e Viero(2000)

Com base nas características texturais, geoquímicas e geocronológicas, Wildner (2004) propõe uma classificação faciológica e estratigráfica para os derrames da Formação Serra Geral, onde define oito diferentes fácies. Uma síntese das características destas fácies pode ser visualizada no Quadro 3, no qual também consta informações compiladas de outros autores (WILDNER, 2004; MARQUES; ERNESTO, 2004; NARDY;MACHADO;OLIVEIRA, 2008; ROISENBERG; VIERO, 2000).

Quadro 3: Classificação textural e estratigráfica das fácies da Formação Serra Geral.

Fácies	Localização	Características
<u>FÁCIE Gramado</u>	Borda Sul da Bacia do Paraná, no estado do Rio Grande do Sul. Aflora em regiões entre Novo Hamburgo e Nova Petrópolis, Estrela e São José do Herval, Igreja e arredores de Gramado.	Predominam rochas afaníticas, mineralogicamente composta por plagioclásio euédrico, augita, pigeonita e subordinadamente olivina.
<u>FÁCIE Parapanema</u>	Ocorre entre as cidades de Soledade e Ametista do Sul, no Rio Grande do Sul.	Predominam derrames máficos que variam entre 15 e 65m de espessura. Predominam rochas porfíricas finas a médias, de coloração aczentada e mineralogicamente composta por plagioclásio, augita, pigeonita, quartzo, apatita e óxidos. Essa fácies abriga uma das maiores mineralizações de ametista do Brasil. Essas mineralizações ocorrem na zona vesicular superior dos derrames e abrigam minerais como ágata, ametista, jaspe e opala.
<u>FÁCIE Esmeralda</u>	Ocorre na região centro-nordeste do Rio Grande do Sul e leste de Santa Catarina.	Rocha de coloração preta, porfírica fina, apresentando desenvolvimento de vesículas milimétricas preenchidas por vidro e celadonita. Mineralogicamente é composta por plagioclásio, augita, pigeonita.
<u>FÁCIE Pitanga</u>	Extremo nordeste da bacia, aflorando em regiões do leste dos estados de São Paulo e Minas Gerais	Predominam basaltos de coloração preta, microfaneríticos com plagioclásio ripiforme com dois clinopiroxênios: pigeonita e titanaugita.
<u>FÁCIE Palmas (Caxias)</u>	Foram diagnosticados onze plátos, distribuídos em porções dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Sua área tipo está entre as cidades de Garibaldi e Guaporé, no estado do Rio Grande do Sul.	Predominam riolitos, com coloração cinza, textura hipo a holohialina e textura esferulítica comum (tipo Carijó). Mineralogicamente é composta por microfenocristais de plagioclásio, augita, pigeonita e magnetita. Englobando os microfenocristais está uma matriz semi-vítrea. Baixo conteúdo de elementos incompatíveis.
<u>FÁCIE Chapecó</u>	Ocorrem no estado de Santa Catarina, nos arredores das cidades de Xanxerê, Chapecó e Guarapuava	São caracterizadas pelo predomínio de dacitos e recobrem as rochas do tipo Palmas e as rochas basálticas da fácies Parapanema. Possuem textura porfírica com a presença de fenocristais de Plagioclásio, somados subordinadamente com pigeonita, augita, magnetita e apatita. Os fenocristais estão imersos em matriz de quartzo e feldspato potássico. Alto conteúdo de elementos incompatíveis.
<u>FÁCIE Várzea do Cedro</u>	Ocorre no estado do Rio Grande do Sul, ao redor da localidade de Várzea do Cedro	Derrames vitrófiros pretos tipo pichstone contendo texturas de fluxo
<u>FÁCIES Alegrete</u>	Ocorre no extremo oeste do Rio Grande do Sul, entre as regiões de Alegrete, Uruguaiana e Santana do Livramento	Derrames de composição intermediária a ácida, variando entre andesitos e riodacitos, microgranulares melanocráticos.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Wildner(2004), Marques e ERNESTO(2004), Nardy, Machado e Oliveira(2008), Roisenberg e Viero (2000).

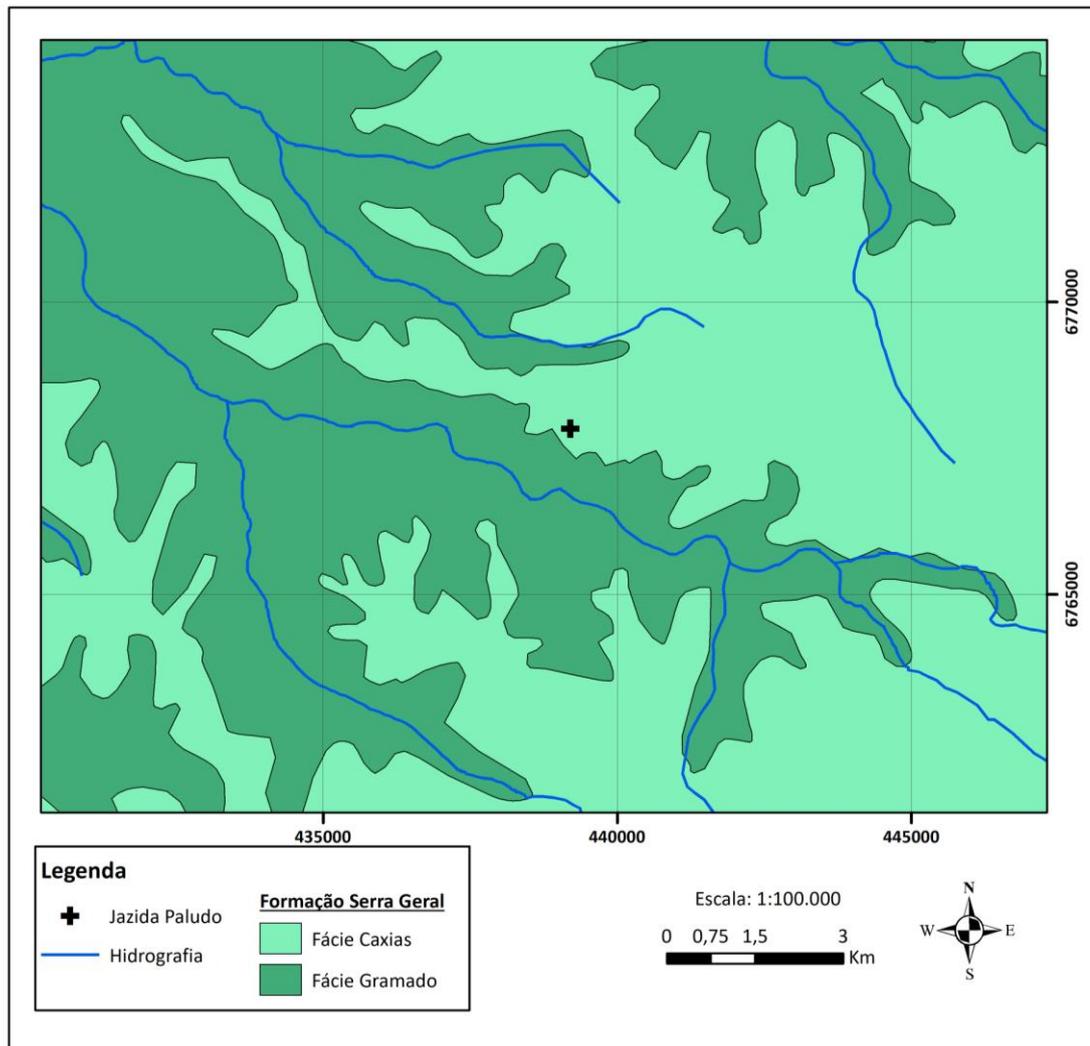
2.3 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo o mapeamento realizado pela CPRM (2004), na escala de 1:750.000, a cidade de Garibaldi é composta por rochas da fácies Caxias (tipo Palmas) e fácies Gramado, ambas pertencentes à Formação Serra Geral (

Quadro 2 e Quadro 3). É possível afirmar, através da análise do mapa, que na área do município de Garibaldi as rochas da fácies Gramado afloram em locais mais baixos, onde ocorrem drenagens, enquanto as rochas da fácies Caxias afloram em locais mais altos (acima de 500m), na forma de platôs.

A área onde está localizada a jazida Paludo é composta pela fácies Caxias (tipo Palmas), a qual é caracterizada por sua composição ácida. A fácies Caxias foi reconhecida em onze platôs, distribuídos em porções dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo os mais espessos pacotes de rocha da Formação Serra Geral, podendo alcançar até 80m de espessura e 30km de extensão lateral. Possui coloração cinza, com textura hipo a holohialina e mineralogicamente é composta por microfenocristais de plagioclásio, augita, pigeonita e magnetita. Englobando os microfenocristais está uma matriz semi-vítrea, que compõe em média 63% do volume total da rocha (WILDNER, 2004; NARDY; MACHADO; OLIVEIRA, 2008; ROISENBERG; VIERO, 2000). O mapa contendo informações sobre a geologia da área pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4: Mapa geológico da área de estudo.

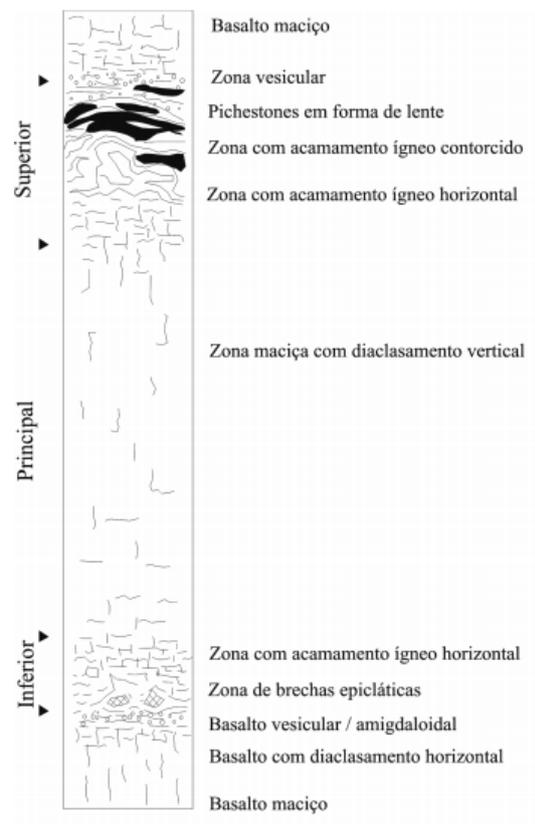


Fonte: Desenvolvido pela autora a partir de CPRM (2004).

Nardy, Machado e Oliveira(2008) afirmam que o perfil típico da fácies Caxias pode ser separado em três grandes setores: inferior, intermediário e superior (Figura 5). O setor inferior apresenta de 1 até 5m de espessura e é caracterizado pela zona de interface entre o substrato basáltico e o fluxo de lava ácida. Neste domínio ocorrem brechas constituídas por fragmentos angulosos de até 20cm de composição basáltica e matriz vítrea, com grande abundância de minerais secundários. O setor intermediário é caracterizado rochas de natureza maciça, com raras ocorrências de vesículas e amígdalas e sem evidências de fluxo, evidenciando ser uma região de resfriamento e compactação. Estruturas do tipo diaclasamento são muito comuns neste domínio, ocorrendo na forma de juntas de atitude vertical, com espaçamento horizontal entre 1 e 2m. Outra feição importante deste setor é um bandamento ígneo de atitude horizontal, sendo caracterizado pela intercalação de bandas de coloração clara, de composição quartzo-feldspática e maior cristalinidade, e bandas de

coloração escura, de natureza hipohialina. O setor superior é caracterizado pela grande quantidade de feições relacionadas aos processos de fluxo. Em sua parte mais inferior ocorre acamamento ígneo, onde o processo de diaclasamento plano-paralelo resultou na formação de lajes com espessuras entre 10 a 20 cm. Conforme o topo do setor se aproxima, as feições de fluxo assumem um padrão ondulado, onde ocorrem sinclinais e anticlinais. Já no topo do domínio, ocorre uma zona de brechas autoclásticas, caracterizadas pelas estruturas de fluxo que evidenciam o movimento de uma massa magmática ainda não solidificada, que engloba parte do material já solidificado. O domínio superior acaba com a presença de corpos lenticulares de rochas holohialinas, de coloração preta e fratura conchoidal.

Figura 5: Perfil típico da fácies Caxias



Fonte: Extraído de Nardy, Machado e Oliveira(2008).

3 ROCHAS ORNAMENTAIS

Rochas ornamentais são aqueles materiais rochosos que, após algum tipo de beneficiamento, são utilizados como revestimento, na forma de chapas, ladrilhos e lajes, e como decoração, na forma de esculturas, balcões de mesa e lápides. Segundo ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), rocha ornamental é definida como: “material pétrico natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturais, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária.” (NBR 15012:2013)

Diante da enorme variação das rochas ornamentais existentes e a fim de facilitar a comercialização das mesmas, os comerciantes utilizam a seguinte designação (VARGAS; MOTOKI; NEVES, 2015):

- “Granitos”: Termo que engloba rochas siliciclásticas, de origem metamórfica ou ígnea.
- “Mármore”: Termo que engloba rochas carbonáticas, de origem metamórfica ou sedimentar.
- “Ardósea”: Termo que engloba rochas pelíticas, de origem metamórfica ou sedimentar, que apresentam clivagem muito bem desenvolvida.
- “Basalto”: Termo utilizado para rochas de composição riolítica e dacítica, encontradas na região Sul do Brasil.

A característica estética da rocha ornamental é o fator que mais influência em como será a recepção da mesma pelo mercado. Esse fator está intimamente relacionado com características petrográficas da rocha, como cor, textura e granulometria. Além das características estéticas, as características tecnológicas são de suma importância, pois rochas ornamentais são submetidas à diversas demandas físicas, químicas e mecânicas. A pesquisa geológica da área de interesse é de fundamental importância para que esses fatores sejam averiguados e para que se obtenha uma enquadramento da rocha em diferentes tipos de uso.

3.1 PESQUISA GEOLÓGICA PARA ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO.

Segundo o roteiro básico para pesquisa de rocha ornamental, proposto pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral, 2007), a pesquisa geológica e tecnológica deve seguir algumas etapas, afim de que se obtenha um resultado satisfatório para a pesquisa e também para prever problemas que possam vir a acontecer com o projeto de mineração. As etapas são compostas por estudos bibliográficos, reconhecimento da área e caracterização tecnológica. Estes itens são abordados nos itens a seguir:

- **Estudos bibliográficos**

Deve-se realizar uma pesquisa bibliográfica da área de interesse, utilizando periódicos, trabalhos acadêmicos e mapas geológicos, a fim de selecionar as melhores áreas para extração de acordo com o interesse. Além das características geológicas, também deve ser observado questões como disponibilidade de acesso, energia elétrica e mão de obra. Nessa etapa também deve ser feito análise fotoaérea, com o intuito de identificar drenagens, vegetação e lineamentos.

- **Reconhecimento da área**

Após o recolhimento das informações, deve-se ir ao campo com o objetivo de constatar-las. Afloramentos encontrados devem ser descritos, avaliados e amostrados. Sales e Morais (2003) desenvolveram uma ficha de apoio para ser utilizada no campo, contendo aspectos importantes para uma avaliação preliminar (Figura 6). Como resultado será obtido um mapa geológico e estrutural de detalhe, o qual auxiliará na seleção de possíveis alvos potenciais e também na orientação de um futuro método de lavra.

Figura 6: Modelo de ficha de apoio para descrição de afloramento.

	Indício nº		
	Amostra fresca	superficial	
Localização			
Folha:			
Fotografias:			
Topografia:	Acidentada	<i>Moderada</i>	Plana
Acesso:	Difícil	Moderado	Fácil
Afloramento			
Ocorrência	Maciço	Matacão	
Extensão	Grande	Média	Pequena
Volume	Grande	Médio	Pequeno
Cobertura de solo	Grande	Média	Pequena
Cobertura vegetal	Grande	Média	Pequena
Grau de alteração	Grande	Média	Pequena
Infra-estrutura	Boa	Média	Ruim
Vulnerabilidade amb.	Alta	Média	Baixa
Ocor. de pedreira próx.			
Rocha			
Denominação			
Cor			
Tamanho dos grãos			
Textura			
Composição			
Descontinuidades	Xenólitos	Veios	Fraturas
Oxidação			

Fonte: Extraído de Sales e Morais (2003)

- **Caracterização tecnológica**

Após a seleção de possíveis alvos para a extração da rocha ornamental, deve ser iniciado o processo de caracterização tecnológica. Para a realização dos ensaios deve-se seguir a especificação da norma vigente, a qual padroniza os ensaios tecnológicos. No Brasil os ensaios para caracterização de rochas ornamentais e de revestimento são padronizados de acordo com a ABNT (Tabela 2). A partir dos resultados dos ensaios é possível determinar o uso que a rocha pode ser submetida.

Tabela 2: Ensaio e suas respectivas normas segundo ABNT.

Ensaio	Norma ABNT
<u>Análise petrográfica</u>	NBR 12.768
<u>Índices físicos</u>	NBR 12.766
<u>Compressão uniaxial</u>	NBR 12.767
<u>Congelamento e degelo</u>	NBR 12.769
<u>Tração na flexão</u>	NBR 12.763
<u>Dilatação térmica linear</u>	NBR 12.765
<u>Desgaste abrasivo</u>	NBR 12.042
<u>Impacto de corpo duro</u>	NBR 12.764

Fonte: Modificado de Frascá (2002)

Para seleção dos ensaios tecnológicos que serão realizados na rocha, deve-se ter a compreensão dos diferentes empregos que a rocha ornamental poderá ser submetida. A seguir encontra-se uma breve apresentação das características dos ensaios tecnológicos (DNPM, 2017; SALES; MORAIS, 2003; VIDAL; AZEVEDO;CASTRO, 2013):

- ❖ Ensaio para determinação de índices físicos: Determinam a densidade, porosidade e absorção d'água. Quanto mais porosa for a rocha, mais susceptível os minerais estão em relação ao ataque de água ou outros agentes químicos.
- ❖ Descrição petrográfica: Analisa-se a rocha microscopicamente e também macroscopicamente. São descritos aspectos como cor, alteração, estruturas, mineralogia, textura, e granulação. As características como alteração, microfissuramento e estruturas de deformação devem ser muito bem detalhadas, pois influenciam no comportamento mecânico do material sob as condições de utilização.
- ❖ Ensaio de resistência a compressão uniaxial: Neste ensaio a rocha é submetida a esforços compressivos até que não suporte a tensão e ocorra o rompimento. Características como porosidade, estruturas e granulometria exercem grande influência na resistência. Trata-se de um ensaio muito importante para rochas que irão ser utilizadas como colunas e pilares.

- ❖ Ensaio de Flexão: Neste ensaio a rocha é submetida, simultaneamente, a compressão e tração até que não suporte a tensão e ocorra o rompimento. Trata-se de um ensaio muito importante para rochas que irão ser utilizadas em revestimentos externos.

- ❖ Ensaio de resistência ao impacto: Neste ensaio a rocha é submetida a uma ação mecânica instantânea, como um golpe ou impacto. A resistência que a rocha demonstra está relacionada com a sua coesão.

- ❖ Ensaio de resistência à abrasão (Desgaste Amsler): Neste ensaio é simulado a resistência da rocha em relação a desgastes abrasivos. Rochas com baixa resistência não devem ser utilizadas em locais onde há tráfego intenso, como pisos e escadas.

- ❖ Ensaio de alterabilidade: As rochas, quando retiradas de seu ambiente natural para serem utilizadas como revestimento, estão expostas a condições ambientais diferentes daquelas em que se encontravam. Esse desequilíbrio de condições leva à deterioração da rocha, podendo causar mudanças na resistência e na estética da rocha, tais como: perda de brilho, alteração de cor, manchamentos, esfoliações e até mesmo quebra. Para que se tenha o conhecimento do comportamento da rocha sob certos fenômenos, é recomendada a realização de diversos ensaios, que são apresentados na Tabela 3: (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2013)

Tabela 3: Ensaio recomendados para verificar a alterabilidade da rocha.

Ensaio	Objetivo
Interpéries	
Congelamento e degelo (ABNT NBR 15845 – Anexo C / EN 12371)	Verificação da eventual queda de resistência da rocha (por ensaios mecânicos) após 25 ciclos de congelamento e de degelo.
Choque térmico (EN 14066)	Verificação da eventual queda de resistência da rocha (por ensaios mecânicos) após simulação de variações térmicas bruscas que propiciem dilatação e contração constantes (Frascá; Yamamoto 2010)
Exposição a atmosferas salinas (EN 14147)	Simulação, em câmaras climáticas, de ambientes marítimos ricos em sais e potencialmente degradadores e verificação visual das modificações decorrentes.
Ação de Poluentes	
Exposição a atmosferas de dióxido de enxofre (FRASCÁ, 2003)	Simulação, em câmaras climáticas, de ambientes urbanos poluídos (umidade e H ₂ SO ₄), potencialmente degradadores de materiais rochosos, e verificação visual das modificações decorrentes.
Cristalização de Sais	
Imersão parcial (EN 13919 / FRASCÁ, 2003)	Imersão parcial de corpos de prova em soluções de natureza ácida (ácido sulfúrico) para simulação da cristalização de sais (eflorescências e subeflorescências) na face polida dos ladrilhos.
Saturação e secagem (EN 12370)	Consiste em número determinado de ciclos de imersão de corpos de prova em solução salina e secagem em estufa. Rochas porosas (arenitos, por exemplo) podem se desintegrar antes do final do ensaio. Pouco apropriado para granitos.
Resistência ao ataque de produtos químicos	
Resistência ao ataque químico (ABNT NBR 13.819, Anexo H, modificado)	Consiste na exposição, por tempos predeterminados, da superfície polida da rocha a alguns reagentes comumente utilizados em produtos de limpeza, para verificar-se a susceptibilidade da rocha ao seu uso.
Resistência ao manchamento (ABNT NBR 13.819, Anexo G, modificado)	Verificação da ação deletéria de agentes manchantes selecionados, de uso cotidiano doméstico e/ou comercial, quando acidentalmente em contato com a rocha. Objetiva à orientação do uso da rocha como tampos de pias de cozinha ou de mesas residenciais ou de escritórios.

Fonte: Extraído de Vidal, Azevedo e Castro (2013)

3.2 UTILIZAÇÃO DE VANT COMO INSTRUMENTO DE MAPEAMENTO

Os VANTS (Veículo Aéreo Não Tripulado) são aeronaves que podem sobrevoar regiões sem que contenham tripulação, apenas com comandos remotos de pilotagem. A tecnologia drone é um tipo de VANT, o qual apresenta diversas vantagens quando comparado a outros equipamentos de imageamento aéreo, podendo citar: baixo custo, facilidade e rapidez para coleta de dados. Devido a esses fatores, essa tecnologia vem se tornando uma ferramenta muito utilizada em muitas áreas do conhecimento, como na agricultura, meio ambiente, obras civis e na mineração. Estes aparelhos possuem uma câmera acoplada responsável pela coleta das fotografias georreferenciadas, que possibilitam o processamento posterior.

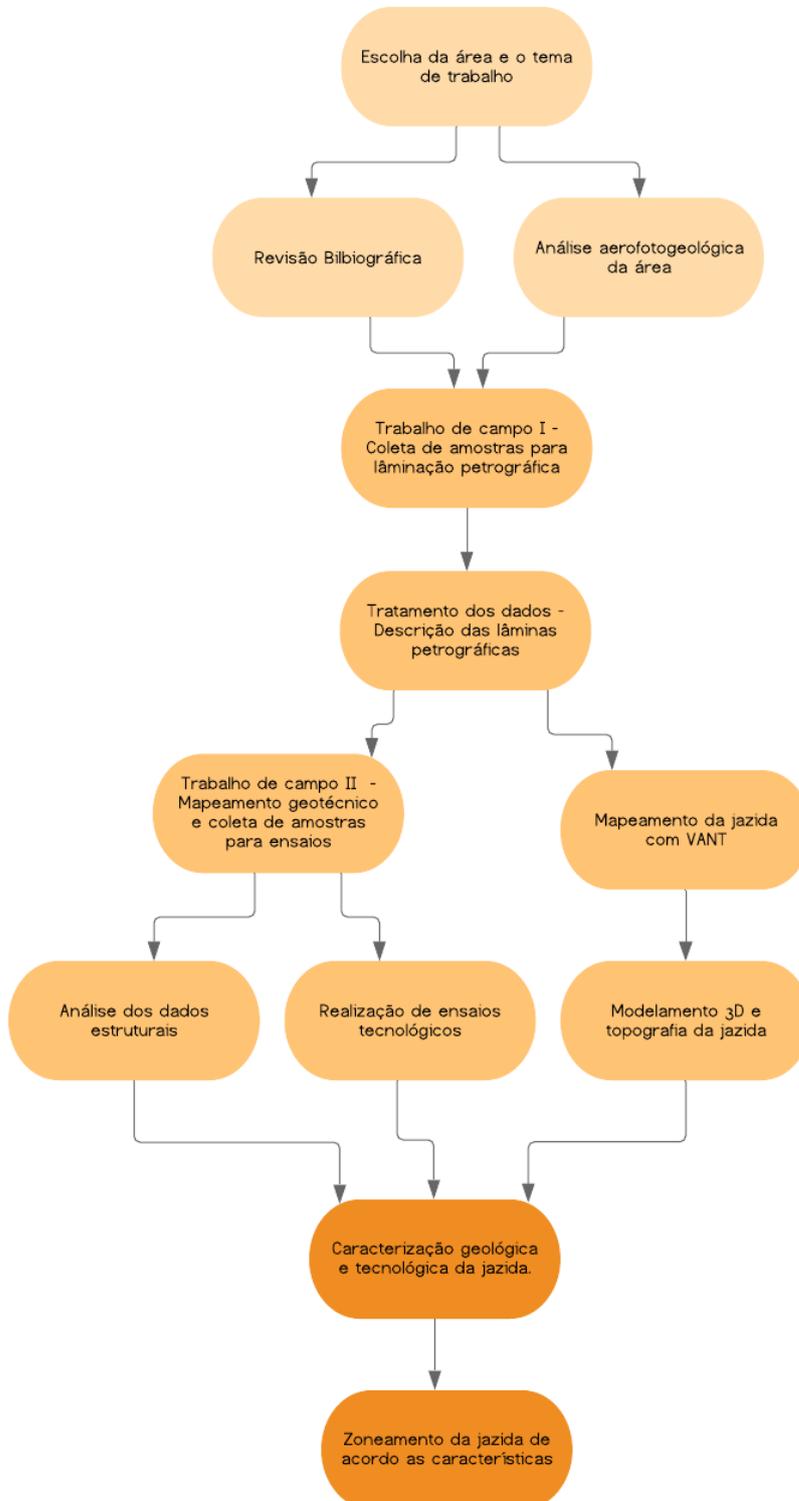
Segundo Deus et al. (2018), o levantamento das fotografias realizado através do VANT é tratado através de softwares específicos que transformam dados que estão em duas dimensões (fotografias) para dados tridimensionais. Estas informações, depois de processadas, podem ser utilizadas em diferentes tipos de análises, como cartográficas, uso para medições de terreno (cálculo de volume), criação de modelos digitais de superfície e terreno além da criação de modelagem tridimensional da área em estudo. A utilização desta tecnologia na área da geotecnia está se intensificando, trazendo facilidades para o desenvolvimento das técnicas. Santos (2017) utilizou o levantamento aerofotogramétrico para extração automática de descontinuidades em um maciço rochoso, facilitando e permitindo coleta das informações que muitas vezes são inacessíveis devido à topografia local. Além disso, também é utilizado para a análise cinemática de taludes e simulação do avanço da obra.

No caso deste trabalho, o levantamento aerofotogramétrico através de VANT está relacionada com o objetivo de obtenção de uma topografia de alta resolução, além do modelamento 3D da jazida.

4 METODOLOGIA

Neste item será abordada a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Um fluxograma com todos os passos realizados pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7: Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

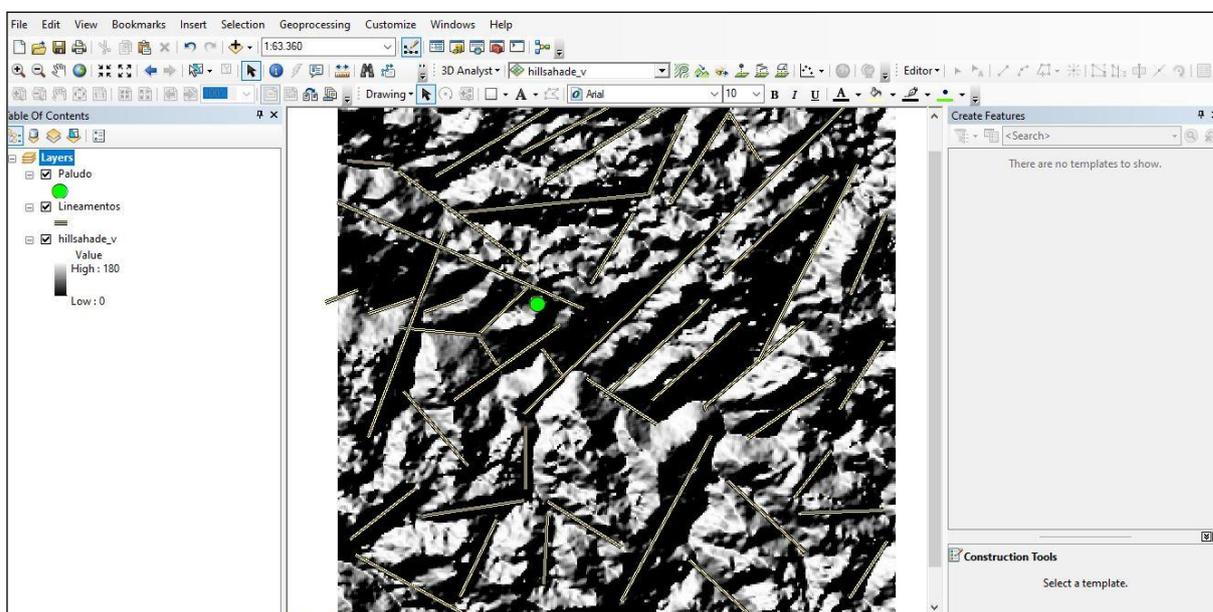
A primeira etapa do trabalho consistiu na realização de um levantamento de informações bibliográficas sobre a área onde está localizada a jazida. Este item foi desenvolvido com a utilização de dados sobre a área de estudo que estão disponíveis em Trabalhos de Conclusão de Curso, artigos científicos, dissertações e livros. Além disso, também foi feita uma pesquisa das normas e especificações técnicas vigentes no país, para subsidiar a execução dos ensaios tecnológicos.

4.2 ANÁLISE AEROFOTOGEOLOGICA

Para complementar as informações levantadas precedentes à ida ao campo, realizou-se a interpretação aerofotogeológica da área de interesse, com o intuito de identificar os principais lineamentos e consequente orientação preferencial do fraturamento. Para a realização dessa atividade, foram utilizadas imagens de satélite do software *GoogleEarthPRO*, juntamente com imagens de modelo digital de terreno (MDT) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução de 30m. Para processamento dessas imagens utilizou-se o software de geoprocessamento *ArcGis 10.5*, no qual foi criado um relevo sombreado (*Hill Shade Relief*) a partir do MDT para melhor precisão no traçado dos lineamentos (Figura 8).

A partir dos lineamentos traçados, utilizou-se a ferramenta *AzimuthFinder*, que pode ser instalada como complemento no *ArcGis*. Esse complemento permite a extração das orientações dos lineamentos, processando os dados vetoriais do *shapefile* para o formato *.txt*, que pode ser lido em softwares de tratamento de dados estruturais. Neste trabalho, para a criação do diagrama de roseta e análise dos dados direcionais dos lineamentos, utilizou-se o software *Grapher 12*.

Figura 8: Ambiente de trabalho no software ArcGis 10.5. As linhas amarelas são os lineamentos traçados e o ponto verde a localização da Jazida Paludo.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 TRABALHO DE CAMPO

Após a etapa de levantamento bibliográfico, iniciou-se o trabalho de campo. Para melhor organização e aproveitamento, optou-se por separar essa etapa em três campanhas, realizadas de acordo com o objetivo de cada uma.

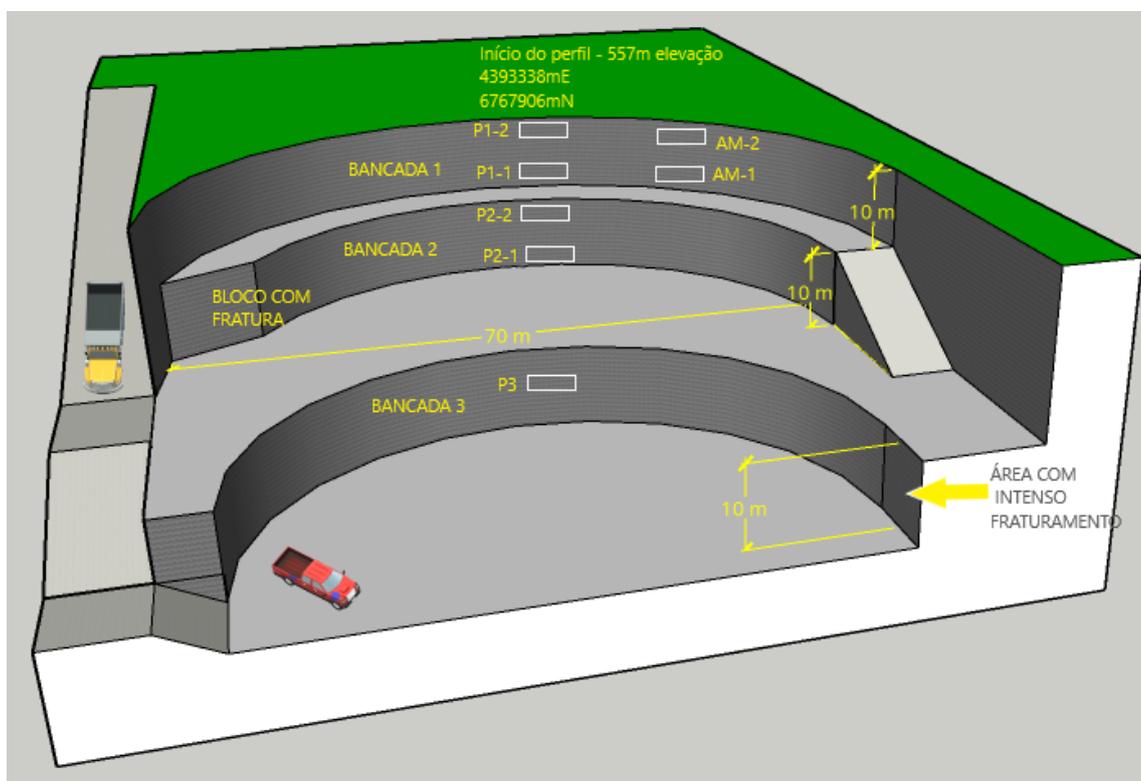
A primeira etapa de campo foi realizada no dia 09 de Outubro de 2018, com o objetivo de reconhecer a área e as principais feições presentes na rocha. Toda a área da jazida foi averiguada, com a execução de um perfil vertical para detalhamento e amostragem. Foi efetuada amostragem de rocha para laminação, além da documentação descritiva e fotográfica da área (Figura 9). Os dados foram tratados posteriormente, onde foi elaborado, através do software online *SketchUp*, um croqui esquemático da área, sendo representadas as principais feições e os locais onde ocorreram as amostragens (Figura 10).

Figura 9: Campanha de campo I: A) Descontinuidade presente no maciço rochoso, que impossibilitou a retirada de blocos do local. B) Carregamento dos blocos de rocha para venda. C) Trabalho dos marmoeiros, que aperfeiçoam blocos que não possuem as características necessárias para serem vendidos como blocos. D) Utilização como revestimento do material preparado pelos marmoeiros.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10: Croqui esquemático da área da jazida.



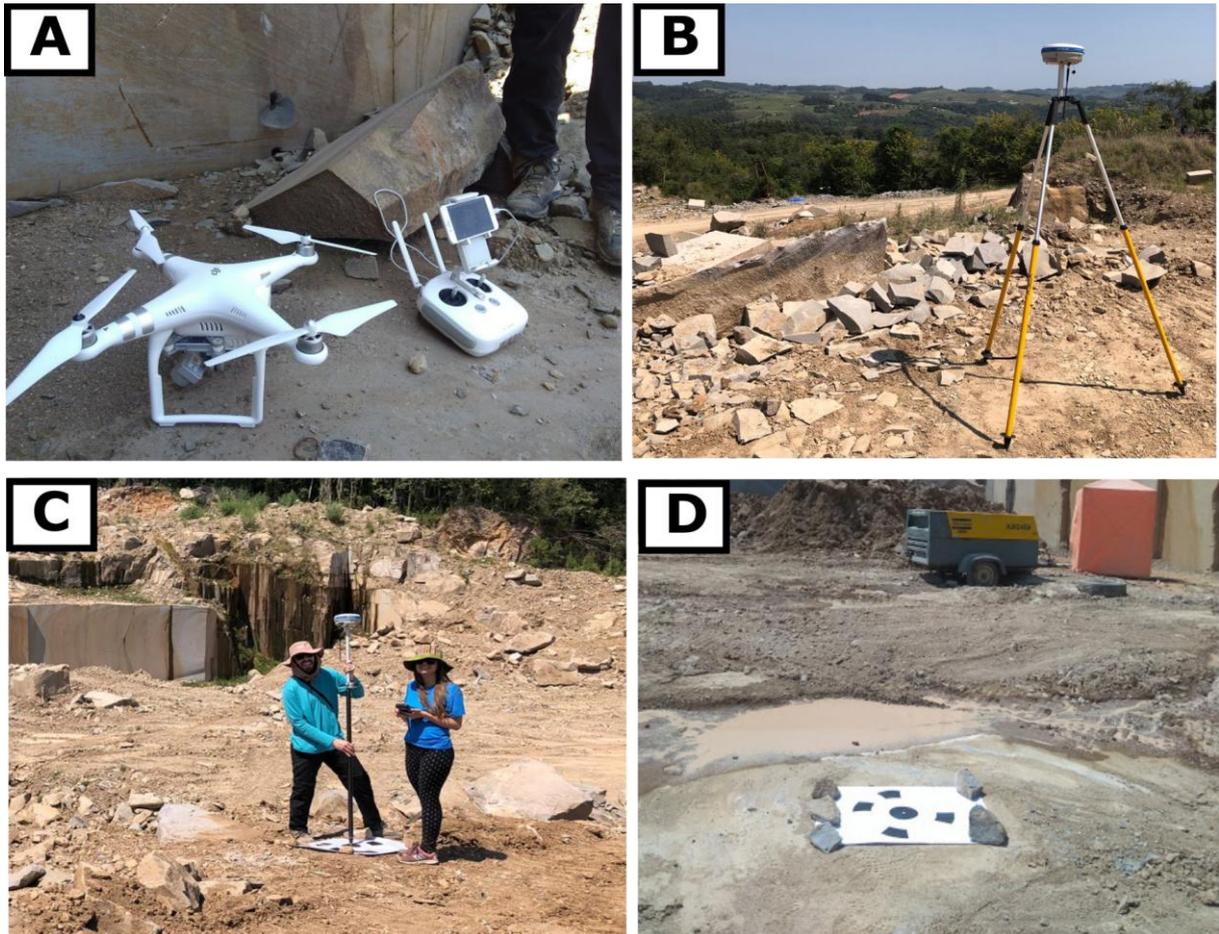
Fonte: Elaborado pela autora.

Nos dias 11 e 12 de fevereiro de 2019 realizou-se uma segunda ida à jazida, com o intuito de retirar as amostras para realização dos ensaios geotécnicos, assim como a realização de mapeamento geotécnico. A análise das lâminas petrográficas, provenientes das amostras retiradas do primeiro trabalho de campo, possibilitou que a localização das amostras para realização dos ensaios tecnológicos, retiradas no segundo trabalho de campo, fosse pré-determinada, possibilitando uma correta amostragem. Toda a área da jazida, assim como o local de cada amostragem, foi mapeada através da utilização de um GPS (Sistema de posicionamento global) absoluto, modelo Garmin eTrex. O mapeamento geotécnico consistiu no mapeamento das principais discontinuidades presentes no maciço, sendo descritas informações como orientação, persistência e preenchimento. As paredes mapeadas foram representadas em croquis, como pode ser visualizado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Nesta etapa foi solicitado à empresa Basalto São Cristovão que retirasse amostras de locais específicos para a realização dos ensaios

geotécnicos. Também foi solicitado que as amostras fossem serradas em tamanhos compatíveis para a realização dos ensaios.

A terceira campanha foi realizada no dia 01 de Outubro de 2019, na qual o objetivo foi o levantamento aerofotogramétrico através de um veículo aéreo não tripulado (VANT). O plano de voo foi determinado no local, depois de analisar a situação atual das bancadas, através da utilização do aplicativo para celular *Pix4Dmapper*. A altura média do voo foi de 35 metros a partir da bancada dois, cerca de 575 metros de altitude, e a taxa de 60% para recobrimento das fotos. O modelo de drone utilizado para a realização do trabalho foi o *DJI Phantom 3* (Figura 12-A). Para o georreferenciamento das imagens, foi utilizado o método de posicionamento diferencial em tempo real (DGPS). Neste método, são utilizados dois receptores GPS: um instalado em um local com coordenadas definidas, denominado estação base (Figura 12-B), e outro receptor móvel, denominado coletora, o qual coleta as informações de pontos de interesse (Figura 12-C) Este método é amplamente utilizado em diversas áreas do conhecimento, pois resulta em coordenadas com precisão centimétrica em tempo real (SEJAS; SAATKAMP; JÚNIOR, 2013). Através deste método determinou-se o posicionamento dos GCP (*Ground Control Points*), que são pontos de controle colocados no chão que auxiliam no posterior processo de processamento das imagens e obtenção dos ortomosaicos e modelos tridimensionais (Figura 12-D). O modelo do aparelho utilizado para coletar os dados da base e do receptor móvel foi *Stonex S8 PWS*. Os equipamentos utilizados nesta etapa do trabalho foram disponibilizadas pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO), do Instituto de Geociências da UFRGS.

Figura 11: Campanha de campo III. A) Drone utilizado para o levantamento aerotogramétrico. B) Estação base coletando informações de coordenadas. C) Receptor móvel coletando informações de pontos de interesse. D) Posicionamento do GCP.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A caracterização mineralógica da rocha em estudo é de fundamental importância, pois essas características estão totalmente relacionadas ao rendimento da rocha em relação ao seu uso como ornamental ou revestimento. Aspectos relacionados com a degradação da rocha, como manchamentos, inchamento e escamação, estão intimamente relacionados com suas propriedades químicas e físicas, sendo que a água, variação de temperatura e ação de sais são os principais

agentes degradadores. Características da rocha como porosidade, estado microfissural, e grau de alteração intempérica são fatores condicionantes para que ocorra a degradação da rocha, pois é por esses caminhos que os agentes degradantes conseguem percolar (FRASCÁ, 2002).

Primeiramente foi realizada a caracterização macroscópica, em que as amostras foram analisadas em laboratório, com o auxílio de lupa binocular. Foram descritos itens como coloração, texturas, mineralogia e alterações, com o intuito de selecionar as feições mais importantes presentes na amostra, para então enviá-la para realização da laminação. Foram confeccionadas 7 lâminas petrográficas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da UFRGS.

A análise microscópica foi realizada no Departamento de Petrologia do Instituto de Geociências da UFRGS, com a utilização de microscópio binocular. Para descrição, utilizou-se variados aumentos das lentes com as técnicas de luz natural (LN) e de luz polarizada (LP).

As lâminas foram descritas com base na norma ABNT NBR 15845 – Anexo A, com detalhamento das microestruturas, minerais secundários e quaisquer feições que possam causar a desqualificação da rocha. Para uma melhor documentação, foram realizadas fotomicrografias das principais feições descritas nas lâminas.

4.4 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Para verificar a qualidade da rocha física e mecanicamente, para uso ornamental e de revestimento, foram realizados os seguintes ensaios tecnológicos: determinação dos índices físicos, resistência a compressão uniaxial, ensaio de flexão, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais e congelamento e degelo. Todos os ensaios foram realizados sob a padronização da norma ABNT NBR-15845 (anexo B, D, E, G) e a escolha por esses ensaios foi feita devido à boa relação com os índices de qualidade da rocha e também pela possibilidade de realização em laboratórios dentro da UFRGS.

4.4.1 Determinação dos índices físicos

Este ensaio é baseado na Norma ABNT NBR-15845 – Anexo B. Através da realização desde ensaio foram determinadas as propriedades físicas da rocha como: densidade, porosidade e absorção de água. Primeiramente devem ser preparados 10 corpos de prova, com dimensões entre 5 e 7cm, com relação base: altura 1:1. Com esta etapa concluída, iniciou-se o ensaio, seguindo os seguintes passos:

- a) Deve-se colocar os corpos de prova para secar na estufa, na temperatura de 70°C, podendo ter 5°C de variação. Somente retirar após a massa dos corpos de prova estar constante.
- b) Pesar os corpos de prova (Figura 12). Esta massa será chamada de M_{sec} .
- c) Colocar os corpos de prova em uma bandeja, e então adicionar água até 1/3 de sua altura. Após 4h adicionar água até 2/3 da altura dos corpos de prova. Após mais 4h deve-se completar a submersão. Deixar submerso por 40h.
- d) Pesar os corpos na condição submersa. Essa massa é chamada de M_{sub}
- e) Pesar os corpos de prova na condição saturada. Essa massa é chamada de M_{sat}

Os dados são tratados conforme as seguintes equações, apresentadas no Quadro 4:

Quadro 4: Equações utilizadas para o Ensaio de índices físicos.

Densidade Aparente	$\rho_a = \frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 100$	<p>Onde:</p> <p>ρ_a – Densidade aparente do corpo de prova (g/cm³);</p> <p>M_{sec} = Massa da amostra na</p>
---------------------------	---	--

Porosidade Aparente	$n_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 100$	condição seca (g); <u>n_a</u> – Porosidade Aparente (%). <u>M_{sat}</u> = Massa do corpo de prova saturado(g);
Absorção de água	$\alpha_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100$	<u>M_{sub}</u> = Massa do corpo de prova submerso em água (g); <u>α_a</u> - Absorção de água (%);

Fonte: Elaborado pela autora com base em ABNT NBR-15845 – Anexo B

Figura 12: Balança e estufa utilizadas para realização do ensaio de índices físicos.



Fonte:
pela autora.

Elaborado

4.4.1 Resistência a compressão uniaxial

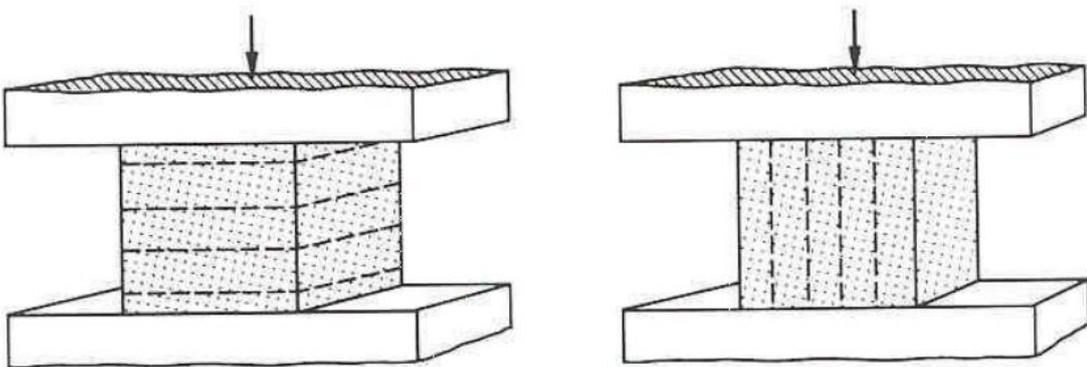
Este ensaio foi realizado no laboratório de ensaios e modelos estruturais (LEME) da UFRGS, com base na Norma ABNT NBR-15845 – Anexo E. Este ensaio determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Características como porosidade, estruturas e granulometria exercem grande influência na resistência, e por este motivo, neste trabalho, optou-se por realizar o ensaio na forma paralelamente e perpendicularmente à estratificação da rocha (Figura 14). Para o início do ensaio, devem ser preparados corpos de prova na forma de cilindro ou cubos. No caso deste trabalho, optou-se por corpos de

prova cubicos, com diâmetro entre 73 e 77 mm. Com os corpos de prova com as dimensões requeridas, deve ser iniciado o ensaio seguindo os seguintes passos:

- a) Deve-se colocar os corpos de prova para secar na estufa, durante 48h, na temperatura de 70°C, podendo ter 5°C de variação.
- b) Colocar o corpo de prova no centro do prato da prensa (Figura 15-A).
- c) Aplicar força a uma taxa menor que 0,7MPa/s até que ocorra a ruptura do corpo de prova Figura 15-B).

Figura 13: Corpos de prova com os esforços paralelos e perpendiculares a estruturação da rocha.

Fonte: Frascá (2003, apud Winkler, 1997)



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados foram tratados segundo a equação (Figura 15):

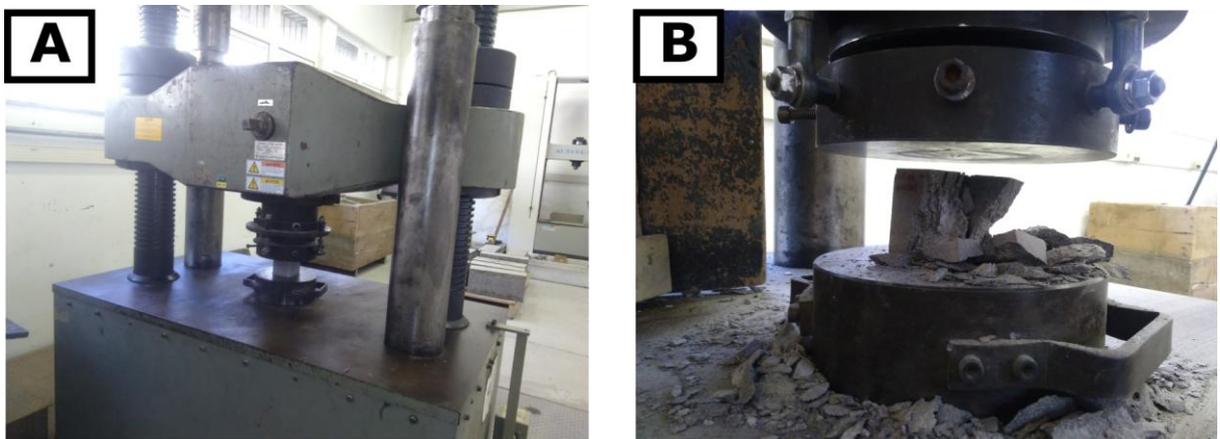


Figura 15: Equação utilizada no ensaio de resistência a compressão uniaxial.

$$C = \frac{P}{A}$$

C - Resistência a compressão (Mpa);
 P - Carga total de ruptura (N);
 A - Área de aplicação do corpo-de-prova (mm^2);

Fonte: Elaborado pela autora com base na ABNT NBR-15845 – Anexo E

4.4.2 Ensaio de Flexão três pontos

Este ensaio foi realizado no laboratório de pavimentação (LAPAV) da UFRGS, com base na Norma ABNT NBR-15845 – Anexo G. Este ensaio determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços simultâneos de compressão e tração. Com este ensaio é possível determinar a ruptura a flexão dos corpos de prova. Primeiramente devem ser preparados corpos de prova na forma de paralelepípedos, com dimensões de 3x10x38 cm. O procedimento é descrito a seguir:

- Deve-se colocar os corpos de prova sobre os roletes inferiores, nas posições antecipadamente demarcadas.
- Deve-se ajustar os corpos de prova sobre o rolete superior e começar a aplicar carga inicial. (Figura 17-A)
- Aplicar força a uma taxa menor que 4MPa/s até que ocorra a ruptura do corpo de prova (Figura 17-B).

Os dados foram tratados segundo a equação (Figura 17):

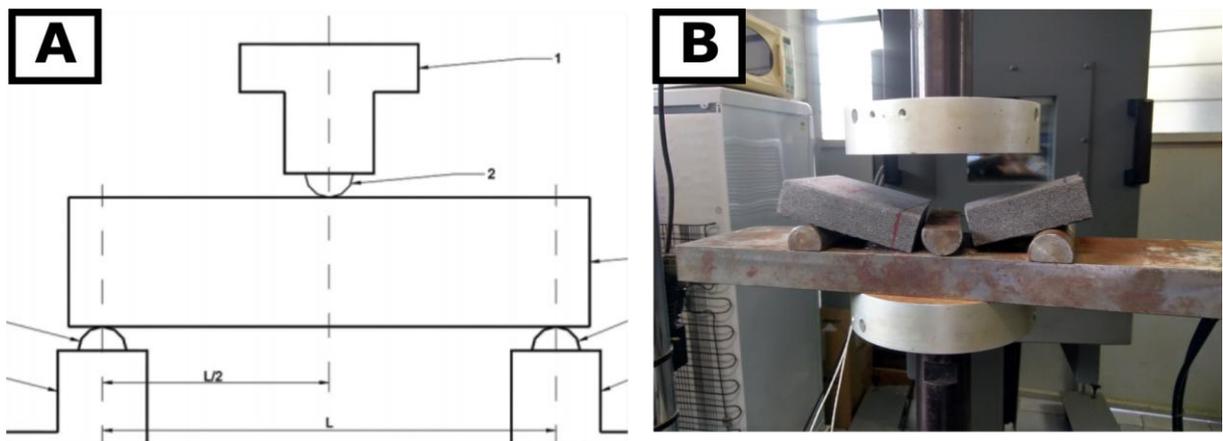
Figura 16: Equação utilizada para o ensaio de flexão três pontos.

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2}$$

módulo de ruptura (MPa);
 força de ruptura (KN);
 distância entre os roletes inferiores
 espessura do corpo de prova (m).
 largura do corpo de prova (m);

Fonte: Elaborado pela autora com base na ABNT NBR-15845 – Anexo G

Figura 17: Ensaio de flexão três pontos. A) Imagem ilustrativa do ensaio de flexão 3 pontos, corte lateral. B) Corpo de prova após a ruptura.



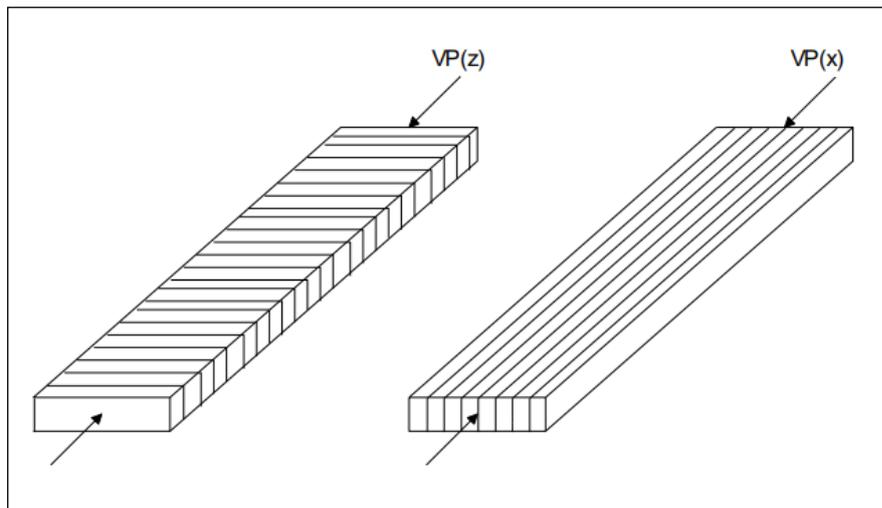
Fonte: A) Modificado de ABNT NBR 15845 (2010). B) Elaborado pela autora.

4.4.3 Ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais

O ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas consiste em medir quanto tempo uma onda ultrasônica leva para percorrer o corpo de prova. Permite avaliar o grau de alteração e coesão das rochas. A velocidade varia de acordo com as propriedades litológicas e com as texturas (Figura 18). Para a medição é utilizado o equipamento *Portable Ultrasonic Non Destructive Digital Indicating Teste* (PUNDIT), o qual é caracterizado por ter a vantagem de não ser destrutivo. O ensaio é realizado conforme a Figura 19, sendo que o valor do tempo da onda é anotado no momento de realização do ensaio. Esse valor, posteriormente,

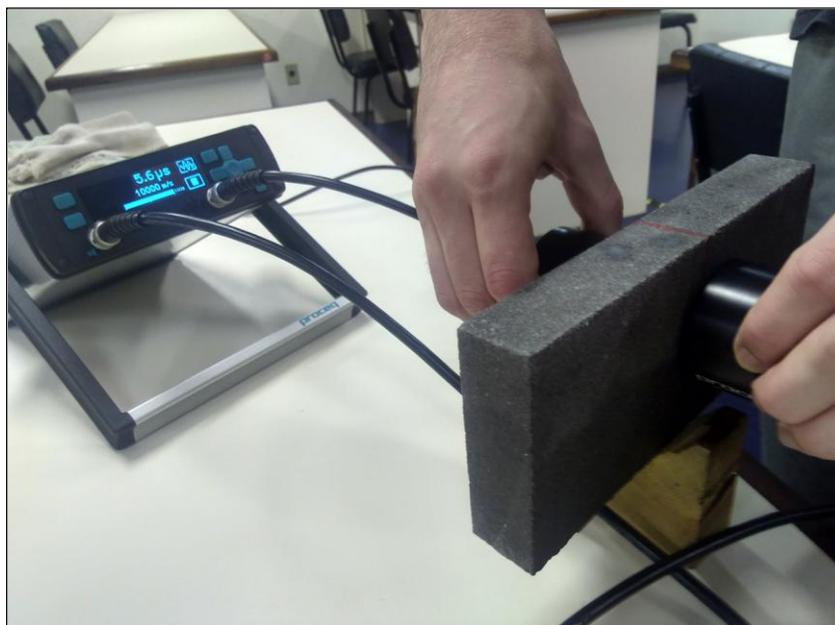
é tratado e obtêm-se a velocidade da onda ultrassônica. Importante salientar que o ensaio foi realizado na direção perpendicular e também paralelamente à estratificação da rocha, para que seja analisada a diferença de alteração que essa feição possa vir a causar para a rocha.

Figura 18: Ilustração do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, paralelamente e perpendicularmente a estratificação da rocha.



Fonte: Frascá (2003).

Figura 19: Realização do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.4 Congelamento e degelo.

Este ensaio é baseado na Norma ABNT NBR-15845 – Anexo D e permite a verificação de possível alterabilidade da rocha quando submetida a climas extremos. Primeiramente devem ser preparados corpos de prova na forma de paralelepípedos, com dimensões de 3x10x38 cm. O procedimento para a realização do ensaio é descrita a seguir:

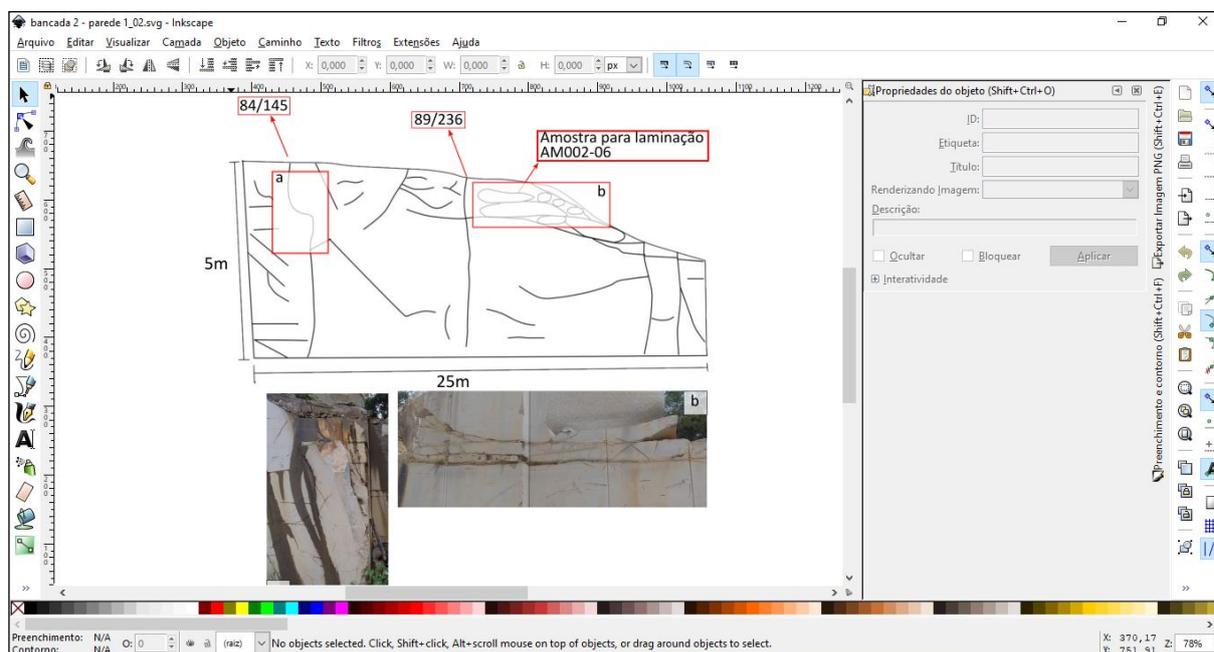
- a) Deve-se colocar os corpos de prova em uma bandeja, colocar água até a metade da altura do corpo de prova. Após 4h deve-se completar a submersão. Deixar submerso por 24h.
- b) Levar os corpos de prova ainda imersos para o congelador, durante 16h.
- c) Retirar os corpos de prova e deixar em temperatura ambiente por 8h.
- d) Os passos b e c devem ser repetidos durante 25 vezes (ou ciclos)
- e) A cada 5 ciclos deve ser realizada uma análise visual dos corpos de prova, para verificar se houve eventuais danos.

4.5 TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Os dados estruturais, coletados na forma de croquis durante a segunda campanha de campo, foram analisados e então digitalizados através do software *Inkscape* (Figura 20) A digitalização dos croquis permite que se estabeleça uma relação entre as paredes, e a identificação dos locais onde há uma maior ocorrência de fraturas. Concomitantemente à digitalização dos croquis, também foi organizada uma planilha com todas as informações do mapeamento geotécnico, como a localização UTM, extensão das paredes, quantidade e orientação das fraturas e observações gerais. Foi criado o parâmetro índice de fraturamento, onde a quantidade de fraturas de cada parede foi dividida pela extensão de cada parede (fraturas/metro). Este parâmetro permite uma avaliação quantitativa da situação do fraturamento da jazida.

Para a plotagem dos dados de orientação das fraturas em um estereograma foi utilizado o software *OpenStereo*, através do qual foi possível identificar e delimitar famílias de fraturas.

Figura 20: Software Inkscape, no qual foi realizado a digitalização dos croquis.



Fonte: Elaborado pela autora.

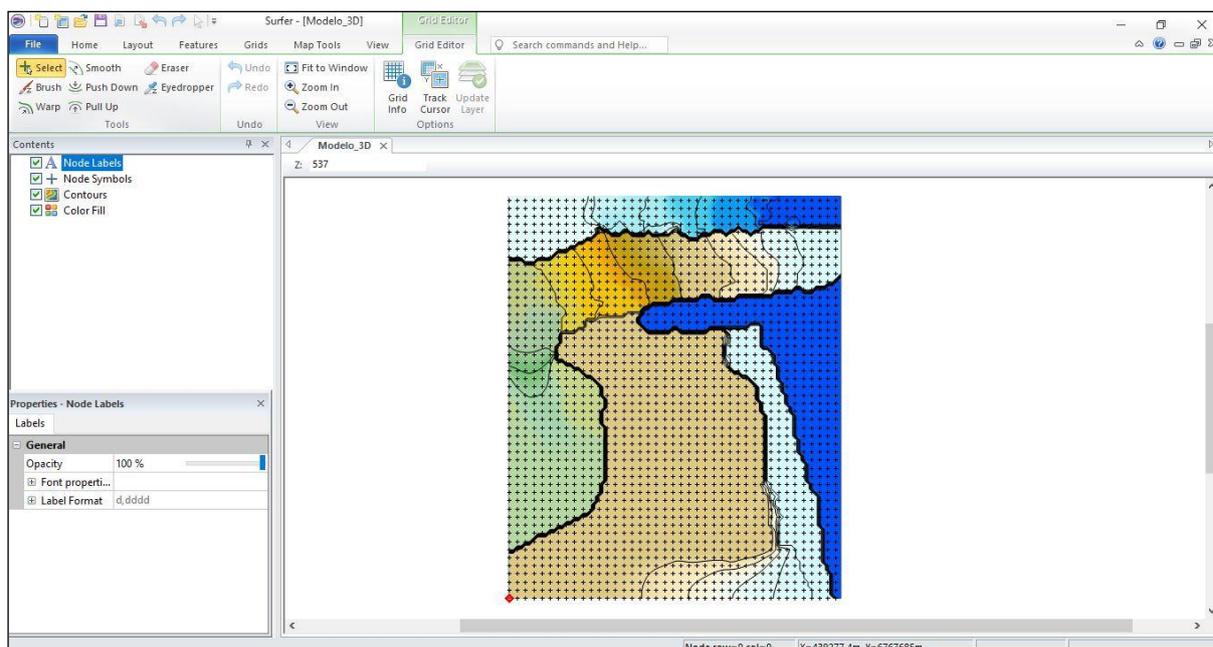
4.5 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E MODELAMENTO TRIDIMENSIONAL DA JAZIDA COM GPS ABSOLUTO

Para a modelagem da topografia da jazida foram efetuadas duas metodologias: a primeira utilizando os dados obtidos através de GPS absoluto e outra utilizando levantamento aerofotogramétrico através de VANT. Neste item será abordada a metodologia utilizada para processamento dos dados do levantamento topográfico com base no GPS absoluto, o qual possui como finalidade a obtenção de um Modelo Digital de Terreno (MDT) que permite a visualização da topografia da jazida.

Na segunda etapa do trabalho de campo foram coletados 48 pontos com valores de coordenadas e cotas, sendo importante salientar que os valores possuem um erro de precisão que varia entre 2 a 3m na horizontal. Para a execução da modelagem do terreno através dos dados coletados do GPS foi utilizado o software *Surfer 15*, no qual os dados de coordenadas e cotas foram inseridos no programa e então interpolados através de variados métodos. O melhor resultado, o qual apresentou maior semelhança com a realidade da jazida, foi o método estatístico Vizinho mais Próximo e por isso foi utilizado para a continuação do trabalho. Após a interpolação, foi possível identificar valores com ruídos provenientes do GPS, que

foram então arrumados manualmente (Figura 21). Através dessa metodologia se obtêm um modelo tridimensional da área, com o qual é possível visualizar as características da jazida, orientar as futuras lavras e diagnosticar a quantidade de rocha retirada e por retirar.

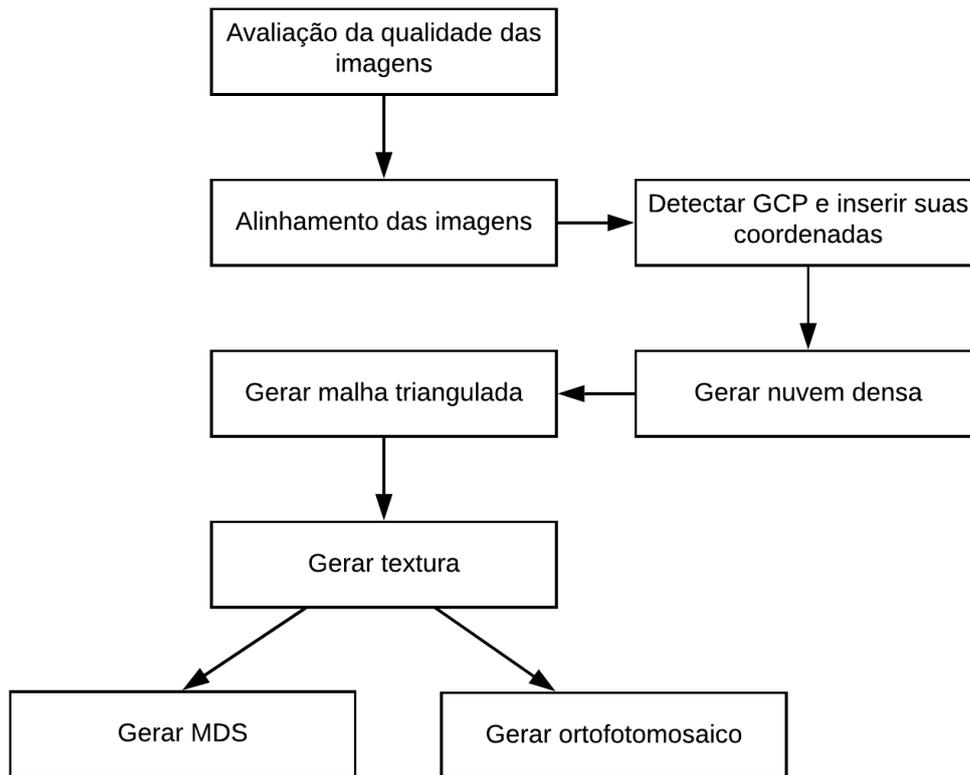
Figura 21: Ambiente de trabalho no software Surfer 15. Cada ponto foi interpolado de acordo com o método estatístico Vizinheiro mais Próximo.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO ATRAVÉS DE VANT.

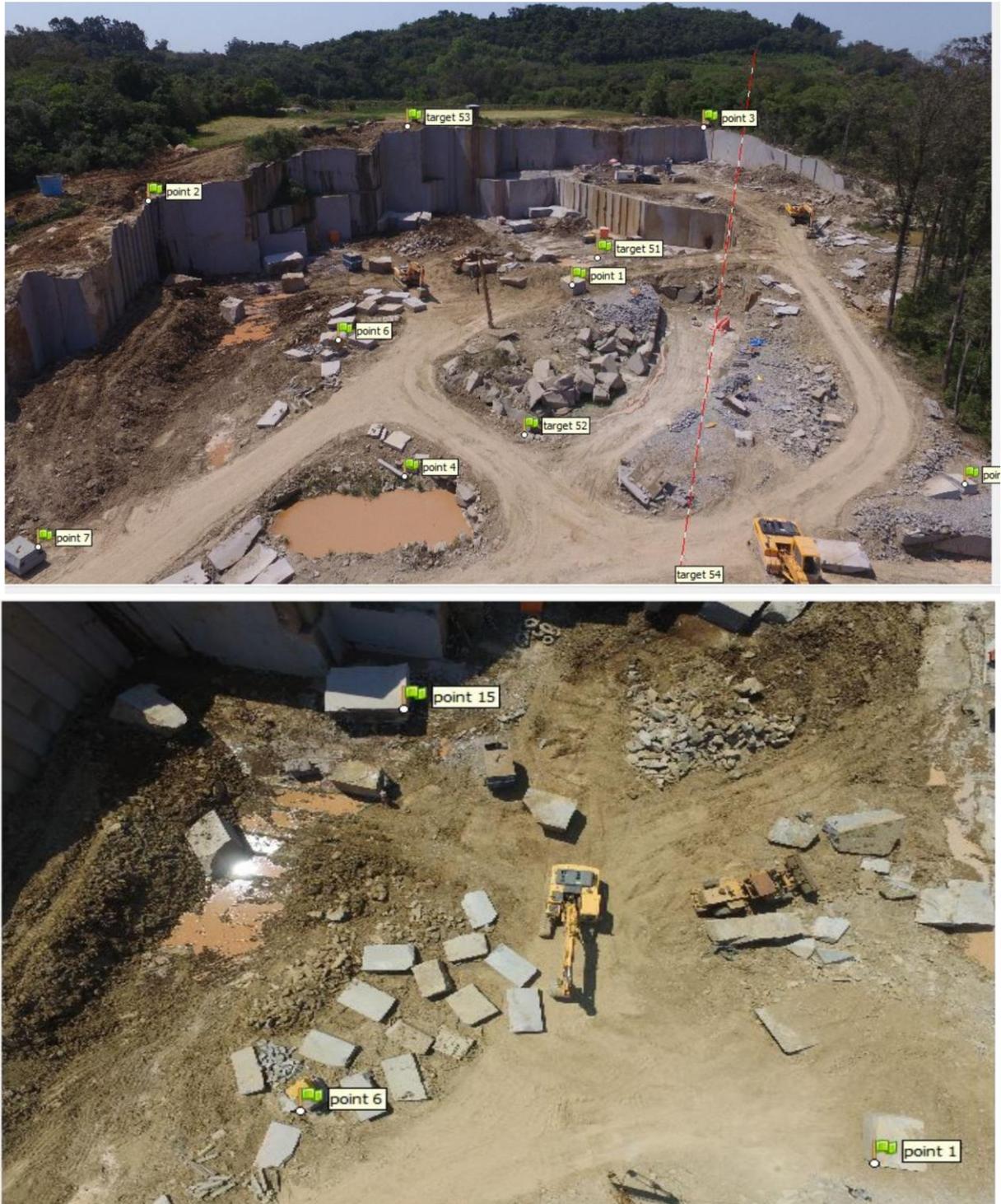
Foram obtidas 394 fotografias através do levantamento aerofotogramétrico, as quais foram processadas através do software *Agisoft PhotoScan*. A metodologia utilizada para o procedimento de alinhamento das imagens e geração do ortofotomosaico e MDS (Modelo Digital de Superfície) foi *Structure from Motion* (SfM). Segundo Paoli e Trindade (2015), esta metodologia é responsável pela geração de informações tridimensionais a partir de informações em duas dimensões – as fotografias. A sequência das etapas utilizadas para o processamento das imagens deste trabalho pode ser visualizada na Figura 23.



Fonte: Elaborado pela autora.

O primeiro processo realizado foi a avaliação da qualidade das imagens, onde as fotografias com baixa nitidez foram retiradas do processo. Após essa avaliação, carregou-se as imagens no software de processamento, para que o mesmo realize o alinhamento das imagens, processo no qual pontos homólogos nas imagens são identificados e então interligadas entre si. Após esse processo, os GCP (pontos de controle) são então identificados automaticamente e são inseridas as coordenadas referentes a cada ponto. É importante salientar que as altitudes adquiridas no campo são dados geométricos referente ao elipsóide. Para uma melhor representação da realidade, os dados de altitude foram tratados através do software do IBGE *MapGeo* 2015, no qual as cotas foram transformadas em altitudes ortométricas, referentes ao geóide. As coordenadas finais estão em sistema de referência SIRGAS 2000 e sistema de coordenadas UTM, zona 22S. Nesta etapa, para um melhor resultado, pontos homólogos nas fotografias podem ser inseridos manualmente a fim de aperfeiçoar o resultado final (Figura 24).

Figura 23: Pontos homólogos marcados manualmente nas fotografias.

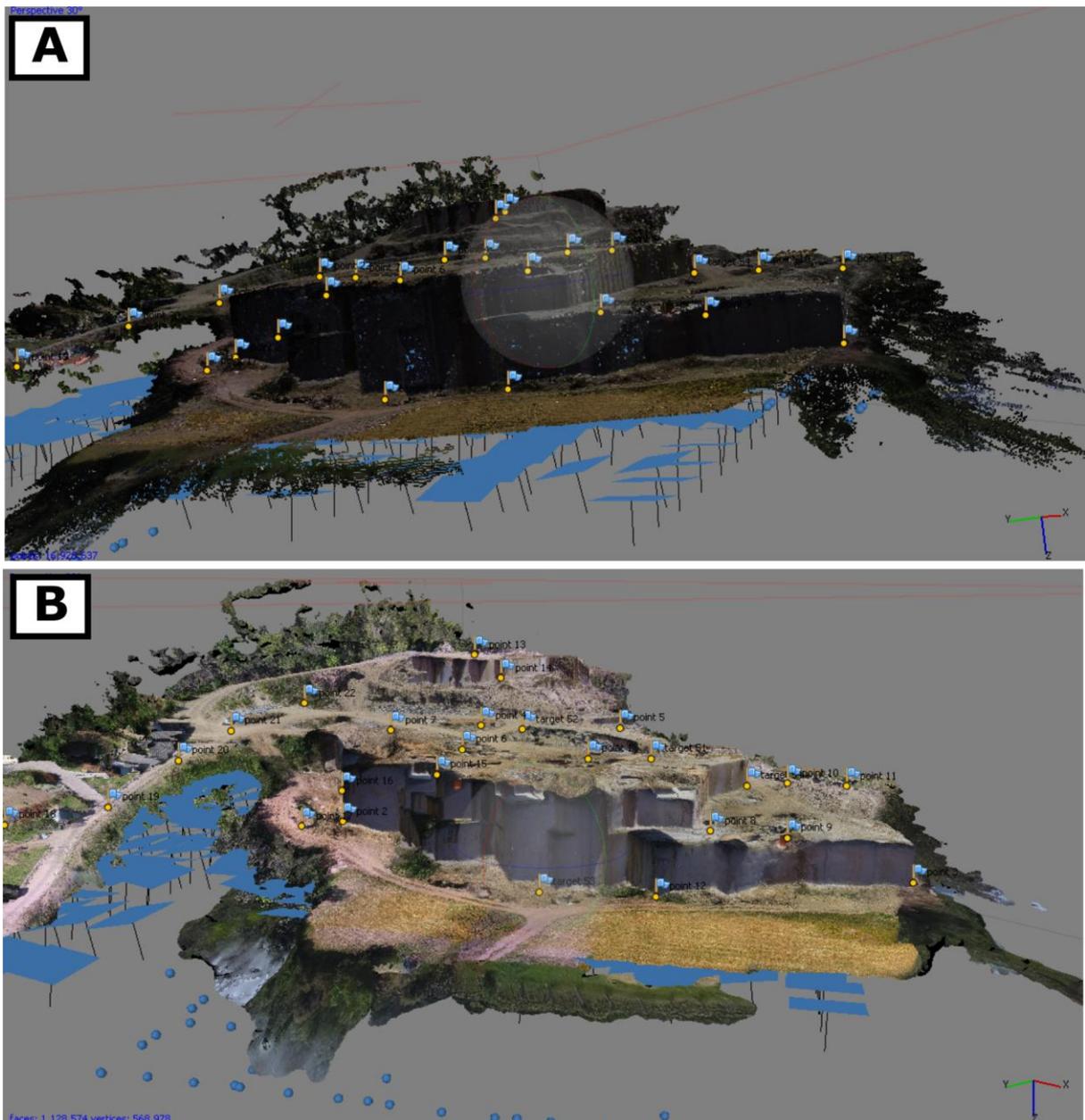


Fonte: Elaborado pela autora.

Na sequência, realizou-se o procedimento de geração de nuvem densa, onde uma nuvem de pontos é gerada a partir da correspondência entre os pontos homólogos e é realizado o ajustamento das fotografias de acordo com as coordenadas de pontos conhecidos que foram inseridas. (Figura 25-A). O próximo passo do *workflow* é a realização da malha triangulada, etapa esta que possui como objetivo a representação da superfície através de um agrupamento de triângulos

interligados. Com a superfície da área concluída, efetua-se a integração das fotografias com a superfície, etapa denominada “geração de textura” (Figura 25-B). O processamento das imagens foi então finalizado com a extração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e geração do ortofotomosaico.

Figura 24: A) Processamento na etapa de geração de nuvem densa. B) Processamento na etapa de aplicação de textura.

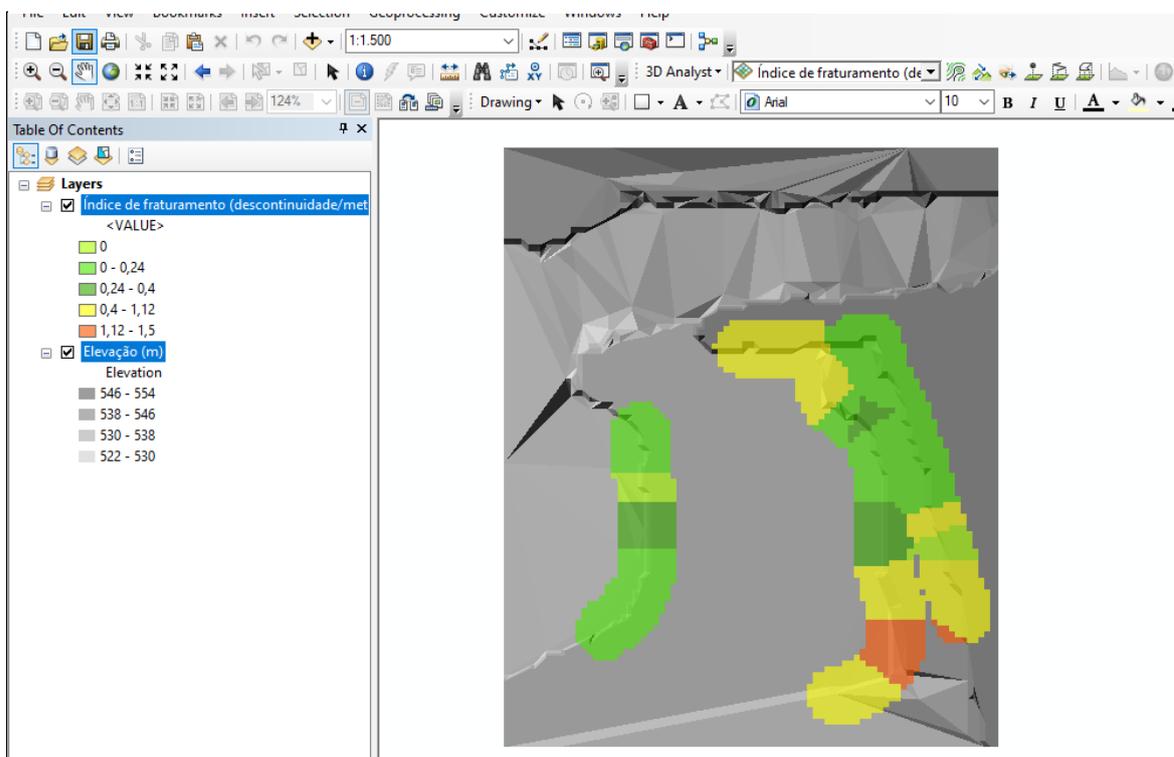


Fonte: Elaborado pela autora.

4.7 ZONEAMENTO DA JAZIDA COM BASE NO PADRÃO DE FRATURAMENTO

A área da jazida foi zoneada de acordo com suas características de fraturamento. Cada parede mapeada possui uma coordenada e um resultado para o parâmetro “índice de fraturamento”, o qual já foi calculado em etapas anteriores deste trabalho. Com base nesses dados foi criado um arquivo vetorial do tipo *shapefile* contendo os pontos mapeados de cada parede da jazida, possuindo como atributo o valor do parâmetro fraturamento/metro. Utilizando o software de geoprocessamento Qgis 3, estes pontos foram interpolados através metodologia geoestatística vizinho mais próximo, gerando um arquivo matricial do tipo raster (Figura 26). Com a interpolação completa, utilizou-se o software *ArcScene* para a junção do MDT já desenvolvido e os dados de fraturamento interpolados. Através deste procedimento é possível visualizar tridimensionalmente o índice de fraturamento, zoneando assim a jazida de acordo com suas características estruturais e podendo então servir como parâmetro para a desenvolvimento da lavra.

Figura 25: Ilustração do arquivo raster contendo a interpolação dos dados sobre fraturamento/metro. A área abrangida pelo raster está localizada onde se encontram as paredes das bancadas. (o índice aumenta da cor verde à cor vermelha).



Fonte: Elaborado pela autora.

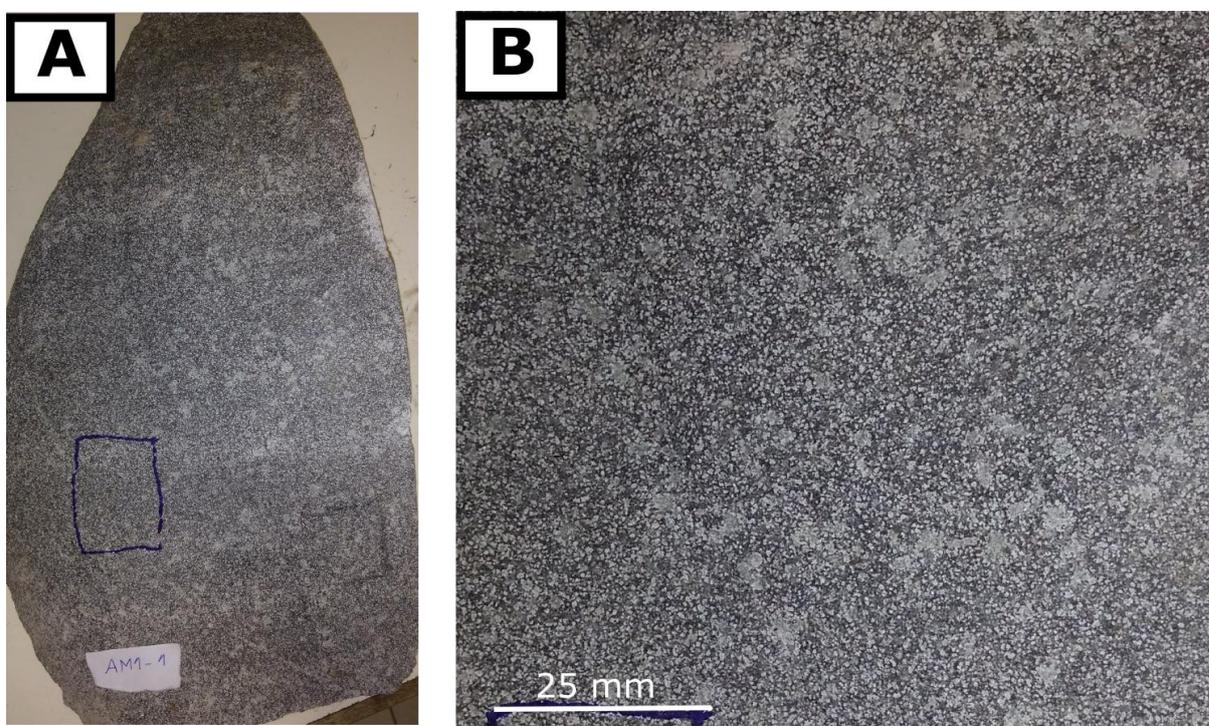
5 RESULTADOS

Este tópico abordará os resultados obtidos na caracterização geológica e estrutural da jazida, nos ensaios de caracterização tecnológica e na caracterização mineralógica. Além disso, também serão abordados os resultados dos levantamentos topográficos executados através de duas metodologias: por meio de levantamento utilizando GPS absoluto e o levantamento aerofotogramétrico por meio de VANT.

5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA JAZIDA

A jazida é composta por um corpo tabular, constituído por rocha vulcânica afanítica de coloração acizentada com feições esferulíticas esbranquiçadas, as quais são circulares e milimétricas, relacionadas ao processo de desvitrificação e denominadas popularmente de textura “carijó” (Figura 26).

Figura 26: A) Amostra com textura esferulítica (carijó). B) Detalhe na textura.



Fonte: Elaborado pela autora.

A rocha apresenta, em variados locais, bandamento por diferença de coloração na rocha. Este bandamento é subhorizontal, centimétrico, muito regular e contínuo, sendo marcado pela intercalação de coloração esbranquiçada e escura, possivelmente relacionada com horizontes com diferentes teores de vidro vulcânico e conseqüente devitrificação diferencial (Figura 27). Foi realizada análise petrográfica com o intuito de diagnosticar a feição responsável pelo bandamento, porém não foi identificado nenhum aspecto que pudesse estar relacionado com essa diferença de coloração.

Figura 27: Bandamento subhorizontal presente nas rochas da jazida.



Fonte: Elaborado pela autora.

Não foram diagnosticados limites para diferentes unidades eruptivas, sendo assim, é possível afirmar que o corpo que constitui a jazida Paludo pertence a uma única grande unidade eruptiva. Em variados locais da jazida, observou-se a ocorrência de marcações na rocha, as quais se desenvolvem em diferentes

direções, muito irregulares e não contínuas, contendo desde centímetros até metros. Foram classificadas como descontinuidades que, nos períodos em que ocorre maior volume de precipitação, adquirem mais destaque, estando relacionadas com a infiltração de água (Figura 29).

Figura 28: A) Descontinuidades irregulares na rocha. B) Detalhe para a descontinuidade.



Fonte: Elaborado pela autora.

A camada de solo que está sobre o riocacito possui desenvolvimento de até um metro, sendo que na interface do horizonte C com a rocha mãe há a ocorrência de alteração esferoidal, evidenciando o caráter isótopo da rocha. (Figura 30).

Figura 29: A) Solo residual proveniente do riocacito. B) Detalhe para alteração esferoidal.

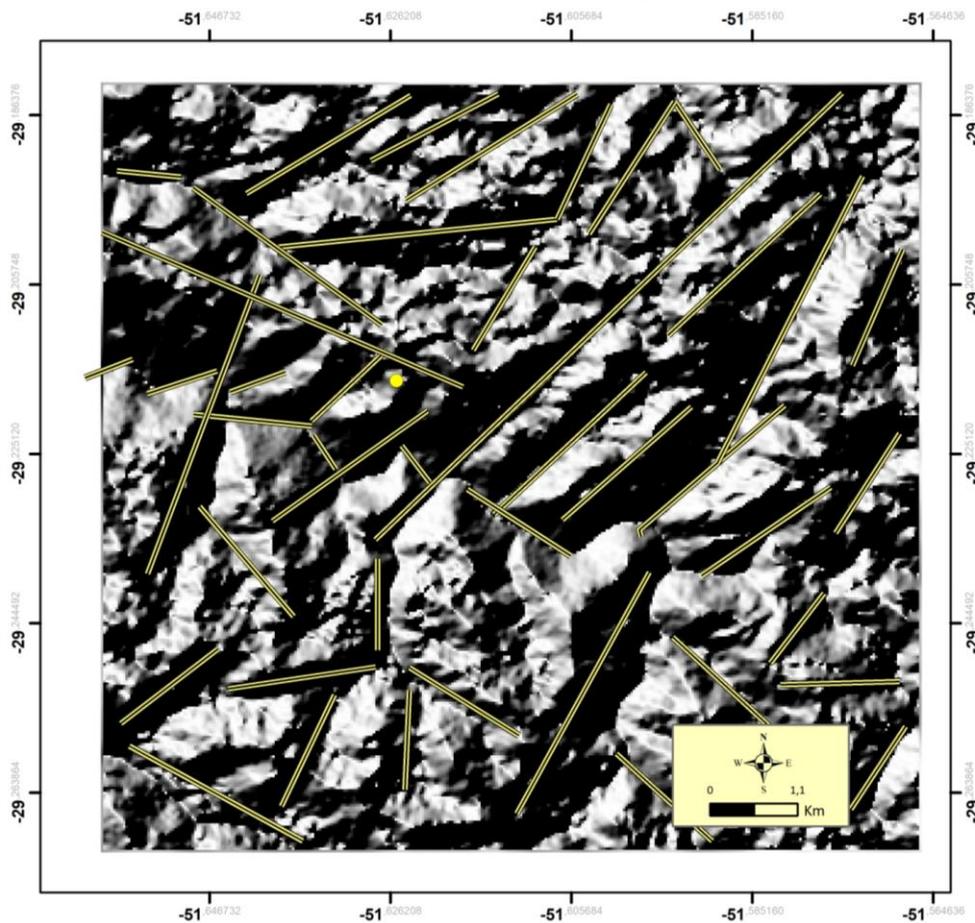


Fonte: Elaborado pela autora

5.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DA ÁREA

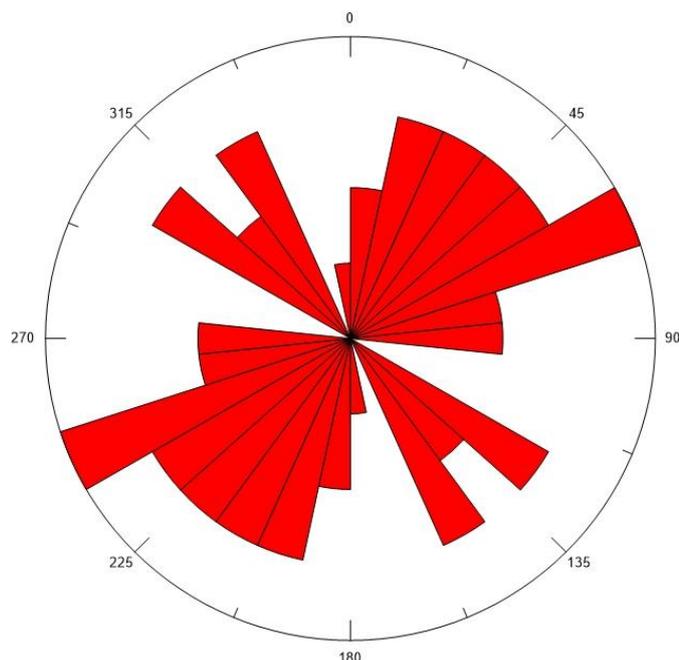
Através da análise aertofotogeológica em escala 1:72.000, foram identificados 31 lineamentos na área próxima à jazida Paludo (Figura 30). Por meio da observação destas estruturas, verifica-se uma predominância de lineamentos de direção NE-SW e, subordinadamente, lineamentos de direção NW-SE. Os dados de orientação dos lineamentos foram compilados e podem ser visualizados no gráfico do tipo rosa dos ventos (Gráfico 1).

Figura 30: Mapa contendo o relevo sombreado da área. Linhas amarelas são os lineamentos traçados e o ponto amarelo é a localização da jazida Paludo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 1: Compilação dos dados de orientação dos lineamentos.



Fonte: Elaborado pela autora

Através do mapeamento geotécnico do maciço rochoso, foram diagnosticadas 92 descontinuidades. Destas 92, somente em 12 foi possível realizar a descrição completa, contendo características como orientação, persistência, rugosidade, umidade, preenchimento e material do preenchimento. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4: Características das descontinuidades mapeadas.

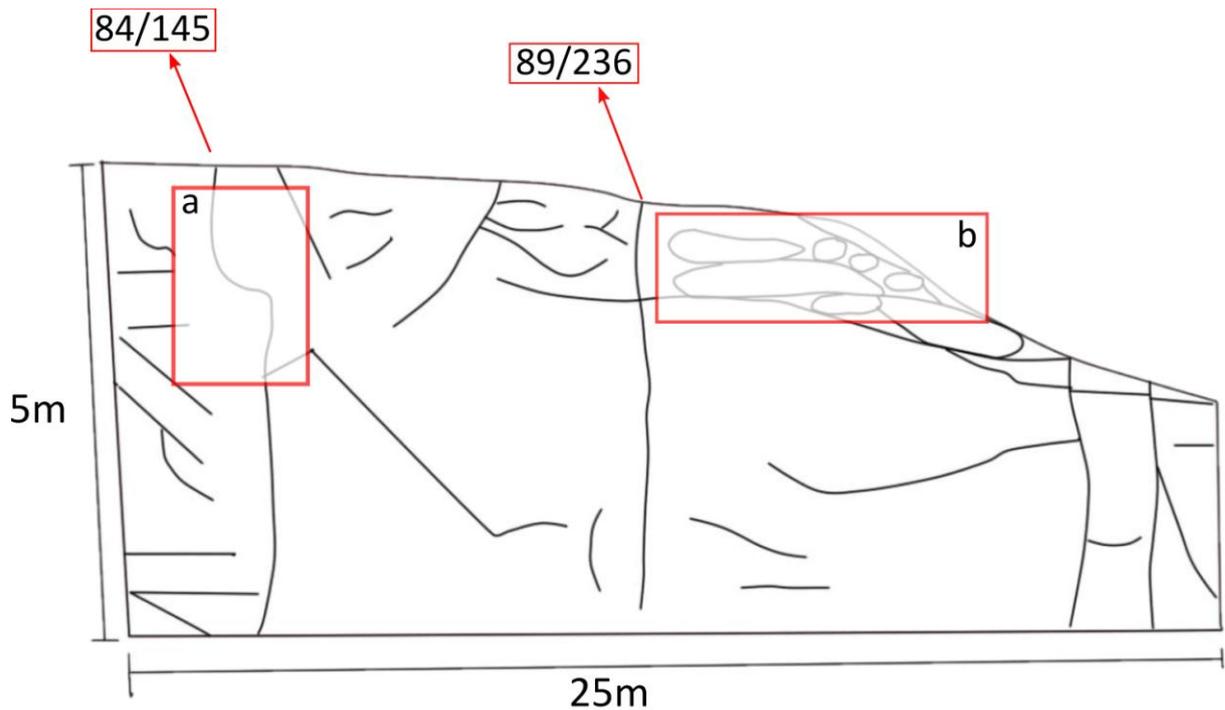
Bancada	2
<u>Persistência</u>	2 a 13m
<u>Rugosidade</u>	Planar rugosa
<u>Umidade</u>	Sem umidade
<u>Preenchimento</u>	Grande parte sem preenchimento.
<u>Material do preenchimento</u>	Quando encontrado, é composto por calcita.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os croquis provenientes do mapeamento geotécnico, que foram digitalizados, permitiram uma melhor avaliação das condições estruturais de cada parede e de cada bancada. Observou-se uma maior quantidade de descontinuidades na bancada 2, próximo ao extremo sul da jazida, local onde a rocha que está sendo lavrada se

aproxima, em cota, do horizonte de solo e se apresenta, conseqüentemente, mais alterada. O croqui digitalizado desta área da jazida pode ser visualizado na Figura 32.

Figura 31: Croqui digitalizado de parede localizada na bancada 2, no extremo sul da jazida.

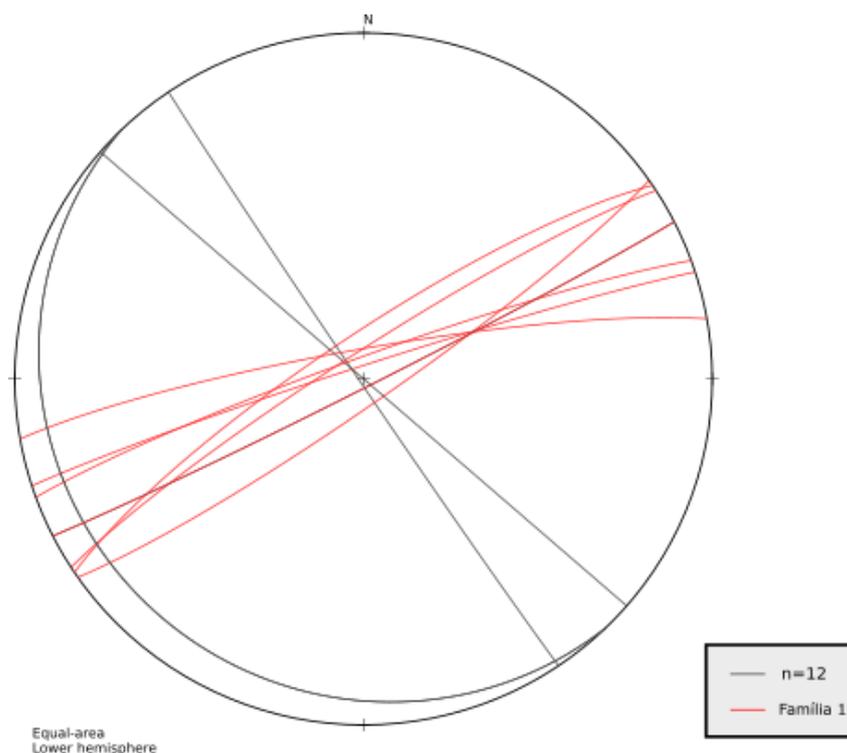


Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados de orientação adquiridos foram tratados através do software *OpenStereo*, onde foi possível diagnosticar somente uma família de fraturas, a qual ocorre sempre com alto valor de mergulho e direção NE-SW, apresentando concordância com a direção preferencial encontrada nos lineamentos,

demonstrando que o desenvolvimento dessas fraturas provavelmente está relacionado com os mesmos esforços que causaram a formação dos lineamentos. O estereograma contendo a orientação das discontinuidades e conseqüente elucidação da família estabelecida pode ser visualizado na Figura 32.

Figura 32: Estereograma contendo a orientação das discontinuidades presentes na jazida Paludo.



Fonte: Elaborado pela autora.

No restante das descontinuidades (80), não foi possível realizar o diagnóstico completo, pelo motivo de estarem fora do alcance para observação. Nesse caso foram apontadas somente informações como persistência e espaçamento. É importante salientar que as fraturas, em que não foi possível realizar a avaliação de todos os parâmetros elencados, também se constituem em condicionantes para a organização da lavra, pois acabam por interferir na qualidade do maciço rochoso para fins de rocha ornamental. Com o intuito de setorizar a jazida de acordo com a quantidade de fraturas, foi elaborado o parâmetro “índice de fraturamento”, o qual leva em consideração a quantidade de descontinuidades por metro analisado, para cada parede das bancadas avaliadas. As informações adquiridas nesta etapa estão reunidas no Quadro 5.

Quadro 5: Características quantitativas das descontinuidades encontradas na jazida Paludo.

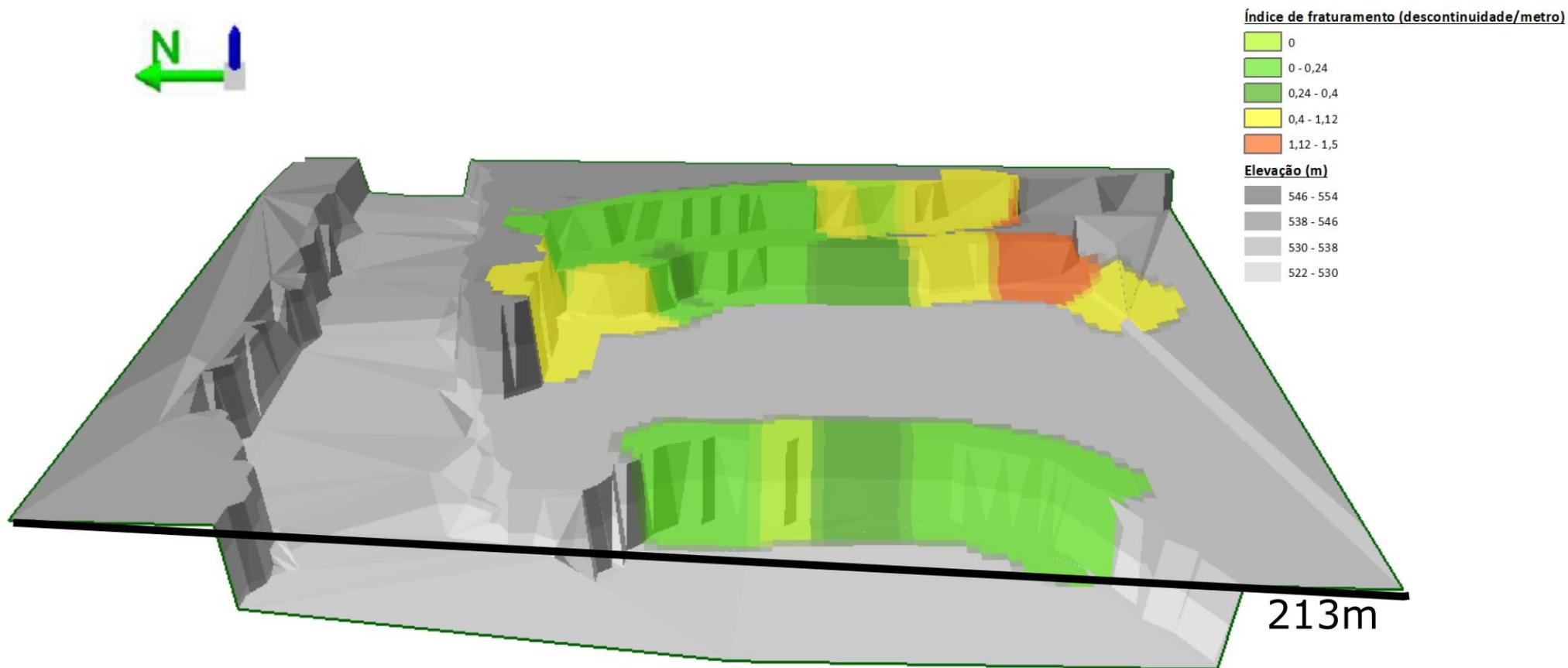
<u>Bancada</u>	<u>Parede</u>	<u>Extensão da parede (m)</u>	<u>Quantidade de descontinuidades</u>	<u>Descontinuidades/metro</u>
1	1	5	1	0,2
	2	50	6	0,12
	3	3	3	1
	4	4	3	0,75
	5	3	3	1
2	1	25	28	1,12
	2	10	15	1,5
	3	10	4	0,4
	4	18	6	0,33
	5	10	2	0,2
	6	7	1	0,14
	7	3	1	0,33
	8	15	3	0,2
	9	25	10	0,4
3	1	9	1	0,11
	2	6	1	0,16
	3	4	1	0,25
	4	3	1	0,33
	5	3	1	0
	6	6	1	0,16

Fonte: Elaborado pela autora.

O índice de fraturamento foi inserido no modelo tridimensional obtido através do levantamento topográfico com base no uso de GPS absoluto, com o objetivo de setorização da jazida de acordo com seu fraturamento (Figura 34). A região que apresentou maior problema em relação ao fraturamento é a que está localizada na parte sul da bancada 2, a mesma região já citada nos itens anteriores. Neste setor observou-se que o parâmetro descontinuidades/metro tem valores maiores que 1, ou

seja, mais que uma fratura por metro, ao passo que nas outras áreas esse valor possui, em média, resultado em torno de 0,25.

Figura 33: Setorização da jazida de acordo com o índice de fraturamento.



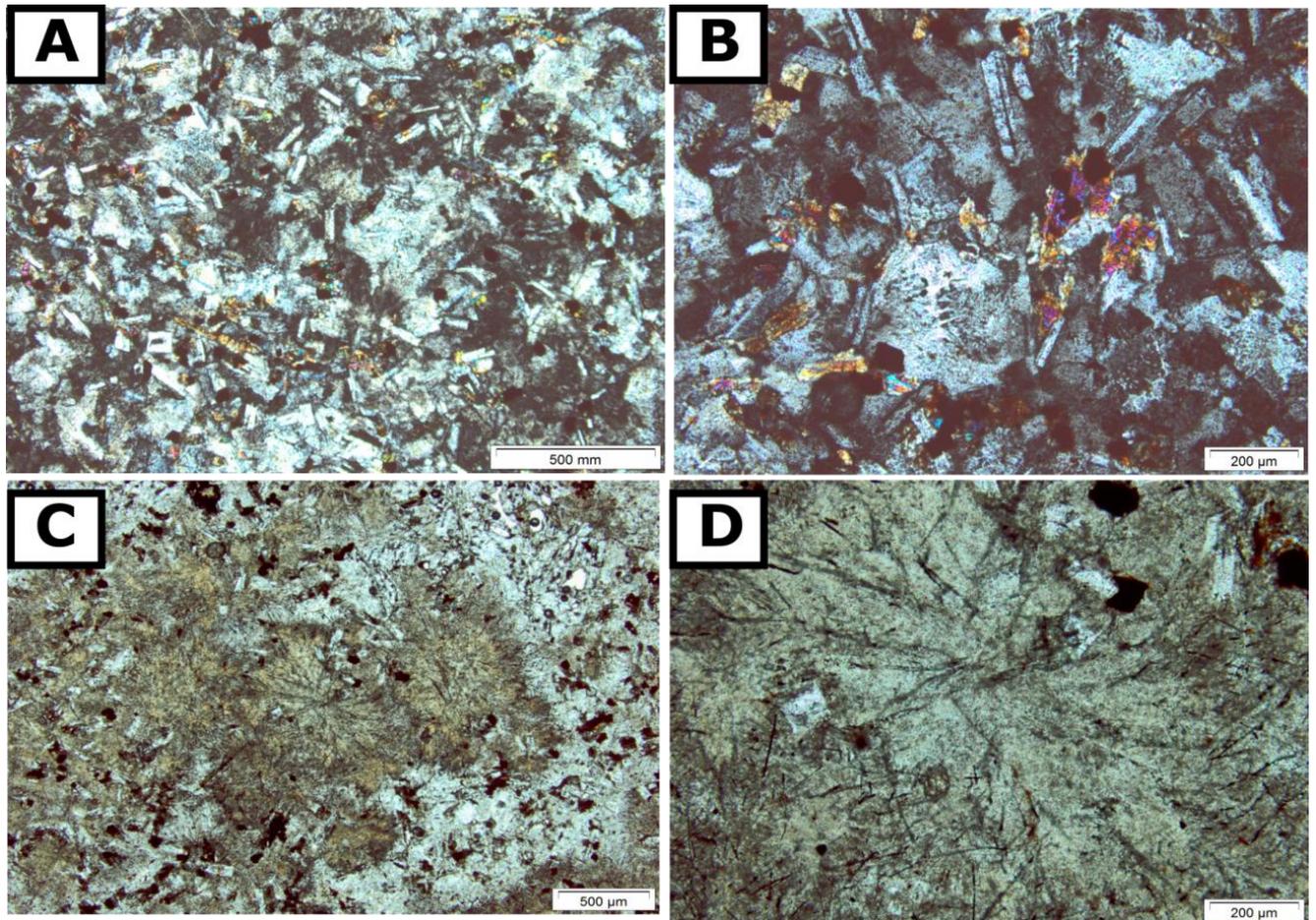
Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

Microscopicamente a rocha possui textura maciça, não sendo possível visualizar a estratificação que é visualizada em grande escala (Figura 27). Apresenta textura microporfírica, com microfenocristais de sanidina, plagioclásio e augita, envoltos em matriz microcristalina com teores variáveis de vidro vulcânico. A sanidina ocorre na forma de fenocristal, é euédrica e possui cerca de 0,2 e 0,5mm, perfazendo por volta de 9% do volume total da rocha. O plagioclásio é euédrico, ocorre na forma de fenocristal e é ligeiramente menor que a sanidina, possuindo entre 0,1 e 0,3mm. (Figura 35-A) Perfaz cerca de 6% da rocha. A augita também ocorre na forma de fenocristal, é subédrica e, em alguns cristais, ocorre incipiente fraturamento, o qual está preenchido por óxidos (Figura 35-B). Em alguns locais ocorre alteração para argilas. Possui tamanho entre 0,3 e 0,6mm e perfaz cerca de 4% do volume total da rocha. A matriz é microcristalina, de composição quartzo-feldspática (70-75%). Também é composta por vidro em processo de desvitrificação, o qual compõe cerca de 10-15% do volume total da rocha.

Na matriz é possível observar textura micrográfica (Figura 35-B), evidenciando o intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino, além de textura esferulítica (Figura 35-C), evidenciando o processo de desvitrificação do vidro vulcânico. Minerais opacos também estão presentes na composição mineralógica, compondo cerca de 5-8% do volume total da rocha. Possuem formas quadráticas e tamanho entre 0,1 e 0,2mm. Além de ocorrer na forma euédrica, ocorrem como preenchimento do microfraturamento causado pelo processo de desvitrificação. (Figura 35-D). Não foram encontradas feições que potencializem a desqualificação mecânica da rocha. As lâminas petrográficas são provenientes de um perfil vertical realizado na jazida, com o intuito de avaliar diferentes feições em diferentes cotas, porém, não foi observado nenhuma feição que evidenciasse alguma mudança entre cotas, corroborando para a idéia de que a jazida Paludo é formada por uma única erupção vulcânica.

Figura 34: A) Sanidina e plagioclásio ocorrendo de forma aleatória e euédrica. B) Textura microgáfica e Augita com incipiente fraturamento sendo preenchido por óxido. C) Textura esferulítica. D) Detalhe na textura esferulítica, onde minerais opacos preenchem fraturas causadas pela desvitrificação.



Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo o diagrama QAPF para rochas vulcânicas, a rocha que compõe a jazida Paludo é classificada como riodacito (LE MAITRE; STRECKEISEN, 2011).

5.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica foi realizada com corpos de prova retirados da base da bancada 2 (Figura 35), através dos ensaios de índices físicos, compressão uniaxial, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, flexão 3 pontos e congelamento e degelo.

Além dos resultados obtidos através deste trabalho, também foram utilizados, para fins de comparação:

- Resultados dos ensaios realizados na etapa de pesquisa mineral, efetuados pela CIENTEC no ano de 2011, necessários para abertura da jazida.
- Relatório dos ensaios de determinação dos índices físicos, determinação da velocidade ultrassônica e resistência à flexão - 3 Pontos da rocha presente na jazida Paludo, com objetivo de caracterização da rocha para uso ornamental, elaborados pelo Departamento de Mineralogia e Petrologia da UFRGS, em 2017 (BSC 01/2017)
- Relatório dos ensaios de determinação da velocidade ultrassônica, alterabilidade por congelamento e degelo e resistência à flexão - 3 Pontos, da rocha presente na jazida Paludo, com objetivo de caracterização da rocha para uso ornamental, elaborados pelo Departamento de Mineralogia e Petrologia da UFRGS, em 2017 (BSC 02/2017)
- Relatório de ensaios para caracterização tecnológica de uma rocha com características semelhantes à rocha ensaiada neste trabalho, no município de Nova Pádua, também elaborado pelo Departamento de Mineralogia e Petrologia da UFRGS, em 2015 (BSC 01/2015).
- Valores da Série Técnica da CIENTEC referente às características tecnológicas de rochas ornamentais do estado do Rio Grande do Sul (2009). Neste material, as rochas de composição riodacítica que se assemelham a rocha presente na pedreira Paludo são denominadas Basalto Cinza Pampas.

A norma ABNT NBR 15844 especifica as características físicas e mecânicas típicas de rochas do tipo silicáticas, comercialmente chamadas de granitos, para utilização como revestimento e ornamental. Os resultados deste trabalho também

serão comparados com os valores estipulados por esta norma, a fim de verificar o enquadramento ou não nos requisitos para utilização.

Figura 35: Bloco retirado para ser cortado conforme as dimensões dos corpos de prova.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.1 Ensaio de Índices físicos

O resultado médio da massa específica aparente seca para o riódacito foi de $2,57 \text{ g/cm}^3$ e está dentro dos valores recomendados pela ABNT que são valores $\geq 2,55 \text{ g/cm}^3$. O valor encontrado para massa específica aparente seca no relatório BSC 01/2017 (DEMIP, 2017) também está acima da especificação na norma, possuindo o valor de $2,56 \text{ g/cm}^3$.

O resultado referente ao relatório da etapa de pesquisa mineral CIENTEC(2011), ao relatório BCS01/2015 (DEMIP, 2015) e ao Basalto Cinza Pampas apresentaram valores de massa aparente seca ligeiramente inferiores aos recomendados pela ABNT 15844 (2,52, 2,49 e 2,53 respectivamente).

O valor médio de absorção d'água obtido foi de 0,61%, acima do valor recomendado pela ABNT 15844, que é de $\leq 0,4$. Os valores encontrados através do relatório da CIENTEC (2011), para o Basalto Cinza Pampas, dos relatórios BSC 01/2017 e BSC 01/2015 também estão acima da recomendação da norma (1,30, 0,90, 1 e 1,4 respectivamente). A rocha estudada neste trabalho possui porosidade

média de 1,55%, acima da recomendação da norma que limita os valores a ≤ 1 . Os resultados obtidos pela CIENTEC, do Basalto Cinza Pampas e dos relatórios relatório BSC 01/2017 e BSC 01/2015 também estão acima dos limites de recomendação da norma, com 3,30, 2,10, 2,6 e 3,5 respectivamente. Os valores referentes aos resultados obtidos do ensaio de índices físicos, assim como os valores encontrados no relatório da jazida realizado pela CIENTEC (2011), os resultados do Basalto Cinza Pampas, os resultados dos relatórios BSC 01/2017 e BSC 01/2015 e os valores estipulados pela norma podem ser visualizados na Tabela 5.

É importante notar que o relatório elaborado na etapa de pesquisa mineral provavelmente foi realizado com amostras provenientes de afloramentos provenientes da superfície, os quais estão sob ação direta do intemperismo e se encontram em condições de alteração mais altas do que as amostras ensaiadas neste trabalho, que foram retiradas na base da bancada 2, cerca de 20m abaixo da superfície do terreno.

Tabela 5: Resultados obtidos no ensaio de índices físicos.

Corpo de Prova	Massa seca do corpo de prova (g)	Massa específica aparente seca (g/cm ³)	Absorção de água aparente (%)	Porosidade aparente (%)
IF01	908,34	2,65	0,59	1,52
IF02	911,40	2,56	0,56	1,43
IF03	908,84	2,57	0,57	1,45
IF04	907,44	2,56	0,66	1,68
IF05	909,89	2,55	0,61	1,56
IF06	909,73	2,56	0,60	1,53
IF07	908,80	2,54	0,63	1,61
IF08	912,84	2,57	0,56	1,45
IF09	906,58	2,56	0,63	1,61
IF10	909,40	2,57	0,66	1,69
Média Aritmética		2,57	0,61	1,55
Relatório de ensaio BSC 01/2017		2,56	1,00	2,60
Relatório de ensaio BSC01/2015		2,49	1,4	3,50
Relatório CIENTEC(2011)		2,52	1,30	3,30
Basalto Cinza Pampas,CIENTEC (2009)		2,53	0,9	2,10
ABNT NBR 15844		$\geq 2,55$	$\leq 0,4$	≤ 1

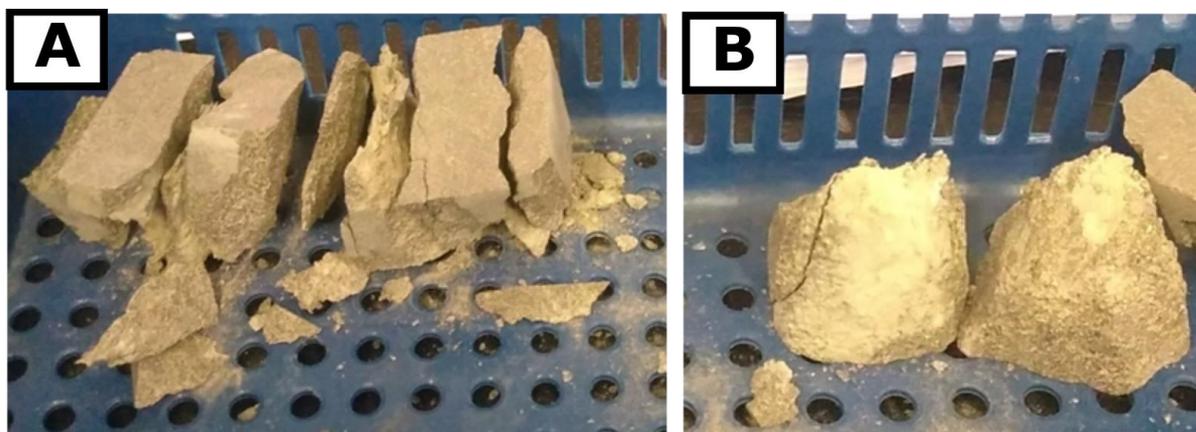
Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.2 Ensaio de Resistência a compressão uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado com os corpos de prova na forma seca. Para verificação da interferência da estratificação da rocha em sua resistência mecânica, cinco corpos de prova foram ensaiados com a estratificação perpendicularmente à direção de aplicação do carregamento, enquanto outros cinco foram ensaiados paralelamente. A resistência à compressão uniaxial com a estratificação orientada de forma perpendicular à direção da aplicação do carregamento foi cerca de 20% mais alta quando comparados com os resultados na orientação paralela (241,65 Mpa e 198,29 Mpa respectivamente). Este era um resultado esperado, pois a estratificação é naturalmente um plano de fraqueza, favorecendo a ruptura no sentido desta feição. Em ambas as formas os resultados foram satisfatórios, assim como os valores do relatório da CIENTEC(2011) e do Basalto Cinza Pampas, estando todos acima do valor de referência da NBR 15844, a qual determina valores acima de 100Mpa.

A estratificação da rocha, em alguns corpos de prova, determinou a forma como o mesmo se rompeu. Nas amostras colocadas com a estratificação paralela à ação da prensa, a ruptura se deu por lascamento, seguindo os planos de fraqueza da estratificação (Figura 37-A), enquanto aquelas colocadas com a estratificação perpendicular, a ruptura se deu por cisalhamento. (Figura 37-B).

Figura 36: Formas de ruptura no ensaio uniaxial. A) Ensaio realizado com a estratificação paralela à direção da aplicação do carregamento. B) Ensaio realizado com a estratificação perpendicular à direção da aplicação do carregamento.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos neste trabalho, assim como os valores utilizados para comparação podem ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados obtidos no ensaio de compressão uniaxial.

Corpo de Prova	Orientação do corpo de Prova em relação à prensa	Carga (N)	Resistência à compressão uniaxial (Mpa)
IF01	Perpendicular à estratificação	1156	235,81
IF02		1222	259,81
IF03		1192	243,24
IF04		1154	235,44
IF05		1146	233,96
Média Aritmética		1174	241,652
IF06	Paralelo à estratificação	796	162,42
IF07		1050	214,27
IF08		1002	204,49
IF09		942	192,25
IF10		1068	218,03
Média Aritmética		971,6	198,292
Relatório de ensaio BSC 01/2017		Sem registro	Sem registro
Relatório de ensaio BSC01/2015		Sem registro	Sem registro
Relatório CIENTEC(2011)			144,32
Basalto Cinza Pampas,CIENTEC (2009)			149,33
ABNT NBR 15844			>100

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.3 Ensaio de Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais

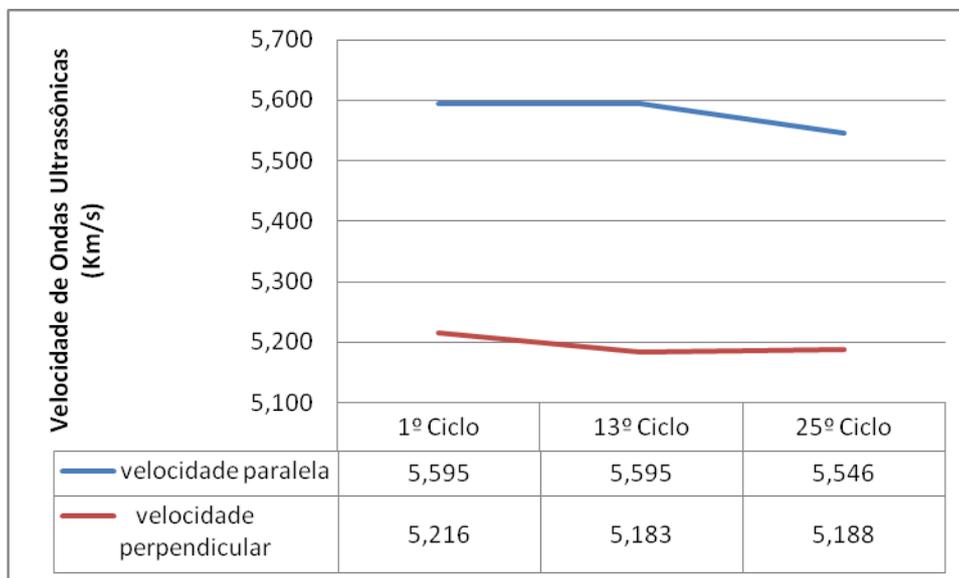
Este ensaio foi realizado com os mesmos corpos de prova que foram utilizados para a realização do ensaio de congelamento e degelo, com o intuito de observar possíveis mudanças causadas pelo processo. Para essa avaliação, realizaram-se três baterias de ensaios de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais. Além disso, as amostras foram ensaiadas na forma perpendicular e paralela a estratificação natural da rocha.

Todos os valores obtidos estão acima do valor especificado pela ABNT 15844, a qual indica valores de velocidade de ondas ≥ 4 . As velocidades obtidas perpendicularmente à estratificação da rocha são ligeiramente menores que as velocidades obtidas paralelamente à estratificação, fato relacionado com o plano de descontinuidade proveniente das feições de deposição da erupção vulcânica, as quais dificultam a passagem das ondas e constata uma heterogeneidade e consequente anisotropia da rocha.

Os valores encontrados no relatório desenvolvido pela CIENTEC, do Basalto Cinza Pampas e dos relatórios relatório BSC 01/2017, BSC 02/2017¹, BSC 02/2017² e BSC 01/2015 também estão acima dos limites de recomendação da norma. É importante observar que os resultados do relatório BSC 02/2017¹ e BSC 02/2017² apresentaram mudanças de velocidade ultrassônica significativas antes de depois do ensaio de congelamento e degelo, demonstrando o desenvolvimento de microfraturas na rocha.

Através do Gráfico 2 é possível observar que houve, nas amostras ensaiadas, uma diminuição muito baixa (cerca de 1%) da velocidade da onda longitudinal ultrassônica de acordo com o avanço do ensaio de congelamento e degelo. Essa diferença é muito baixa, não representado mudanças significativas de alteração na rocha.

Gráfico 2: Comparação entre os resultados obtidos no ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, conforme avanço do ensaio de congelamento e degelo. Os valores apresentados representam a média dos resultados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos por meio do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, assim como os resultados provenientes da literatura foram compilados e podem ser visualizados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados encontrados através do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais.

	Após o 1º ciclo de congelamento e degelo		Após o 13º ciclo de congelamento e degelo		Após o 25º ciclo de congelamento e degelo	
	Velocidade	Velocidade	Velocidade	Velocidade	Velocidade	Velocidade
	⊥	//	⊥	//	⊥	//
FL01	5,28	5,74	5,21	5,74	5,21	5,74
FL02	5,14	5,74	5,14	5,74	5,14	5,74
FL03	5,28	5,74	5,22	5,74	5,21	5,74
FL04	5,14	5,25	5,14	5,25	5,14	5,25
FL05	5,28	5,74	5,14	5,74	5,21	5,74
FL06	5,21	5,74	5,21	5,74	5,21	5,74
FL07	5,28	5,74	5,28	5,74	5,28	5,74
FL08	5,21	5,25	5,14	5,25	5,14	5,25
FL09	5,21	5,25	5,21	5,25	5,21	5,25
FL10	5,14	5,74	5,14	5,74	5,14	5,25
Média	5,22	5,59	5,18	5,59	5,19	5,55
Aritmética						
Relatório CIENTEC(2011)					4,95	
Relatório de ensaio BSC 01/2017. Condição de umidade natural.					5,21	
Relatório de ensaio BSC 02/2017¹			Antes do ensaio de Congelamento e degelo		Depois do ensaio de Congelamento e degelo	
			4,96		4,73	
Relatório de ensaio BSC 02/2017²			Antes do ensaio e Congelamento e degelo		Depois do ensaio de Congelamento e degelo	
			4,90		4,88	
Relatório de ensaio BSC01/2015. Condição de umidade natural.					5,17	
Basalto Cinza Pampas,CIENTEC (2009)					4,97	
ABNT NBR 15844					≥ 4	

⊥ = Ensaio realizado perpendicularmente à estratificação.

// = Ensaio realização paralelamente à estratificação.

¹=Corpos de prova com acabamento polido, não interfere no resultado final.

²=Corpos de prova com acabamento flameado, não interfere no resultado final.

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.4 Ensaio de Flexão três pontos

O ensaio de flexão três pontos foi realizado nas amostras submetidas aos 25 ciclos de congelamento e degelo, com a direção de aplicação do carregamento perpendicular à estratificação da rocha. As amostras apresentaram média de 25,68 Mpa para a resistência a flexão em três pontos, valor muito acima do mínimo exigido pela especificação da ABNT NBR 15844, a qual determina um valor de ≥ 10 . A Série Técnica da CIENTEC (2009) não apresenta resultados em relação à este ensaio e o relatório da CIENTEC (2011) apresenta resultados do ensaio de flexão executado em quatro pontos, os quais são 10% menores que o ensaio executado em três pontos. O ensaio de flexão três pontos executado e relatado nos relatórios BSC 02/2017¹, BSC 02/2017² e BSC 01/2015 foram feitos antes e após o ensaio de congelamento e degelo, para diagnosticar possíveis perdas mecânicas na rocha conforme a condição do corpo de prova. Nestes ensaios observou-se uma diferença que variou desde 25 até 42, indicando uma importante diminuição na qualidade mecânica da rocha. É importante destacar que, mesmo ocorrendo essa diminuição, o valor se encontra acima do recomendado pela norma, continuando um material de ótima qualidade mecânica.

Os resultados obtidos por meio do ensaio de flexão três pontos, assim como os resultados provenientes da literatura foram compilados e podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados encontrados através do ensaio de flexão três pontos.

Condição do Ensaio	Corpo de Prova	Carga de ruptura (N)	Resistência a flexão em três pontos(Mpa)
Após 25 ciclos de congelamento e degelo.	FL01	8300	27,67
	FL02	8190	27,30
	FL03	7970	26,57
	FL04	8178	27,26
	FL05	7670	25,57
	FL06	7419	24,73
	FL07	9221	30,74
	FL08	4540	15,13
	FL09	7635	25,45
	FL10	7902	26,34
	Média Aritmética	7702,5	25,68
Relatório de ensaio BSC 01/2017 ¹ . Condição de umidade natural.			24,32
Relatório de ensaio BSC 01/2017 ² . Condição de umidade natural.			23,00
Relatório de ensaio BSC 02/2017 ¹	Antes do ensaio de Congelamento e degelo	24,32	Depois do ensaio de Congelamento e degelo
			14,06
Relatório de ensaio BSC 02/2017 ²	Antes do ensaio de Congelamento e degelo	22,19	Depois do ensaio de Congelamento e degelo
			16,09
Relatório de ensaio BSC01/2015.	Antes do ensaio de Congelamento e degelo	28,85	Depois do ensaio de Congelamento e degelo
			14,34
Relatório CIENTEC(2011)	-	-	24,52
Basalto Cinza Pampas,CIENTEC (2009)	Sem registro	Sem registro	Sem registro
ABNT NBR 15844			≥ 10

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.5 Ensaio de congelamento e degelo

Neste ensaio analisou-se, visualmente, a cada cinco ciclos de congelamento e degelo, o comportamento dos corpos de prova. Somente no ciclo 25^o observou-se, em três corpos de prova (FL03; FL05 e FL07) pequenas mudanças visuais na rocha, que podem ser visualizadas na Figura 38. Os corpos de prova adquiriram uma espécie de marcação irregular, provavelmente relacionada com a água que ficou retida na porosidade da rocha, a qual está acima do limite estabelecido pela norma NBR 15844. Importante salientar que a mesma feição é visualizada em grande escala nas bancadas da jazida, após períodos chuvosos (Figura 29-A).

Destaca-se que, segundo a administração da Jazida Paludo, algumas chapas foram exportadas para Nova York, Estados Unidos, para serem utilizadas como revestimento externo em calçadas. Essas chapas, após períodos de nevascas e ciclos de congelamento e degelo, apresentaram danos estruturais e estéticos, conforme Figura 37.

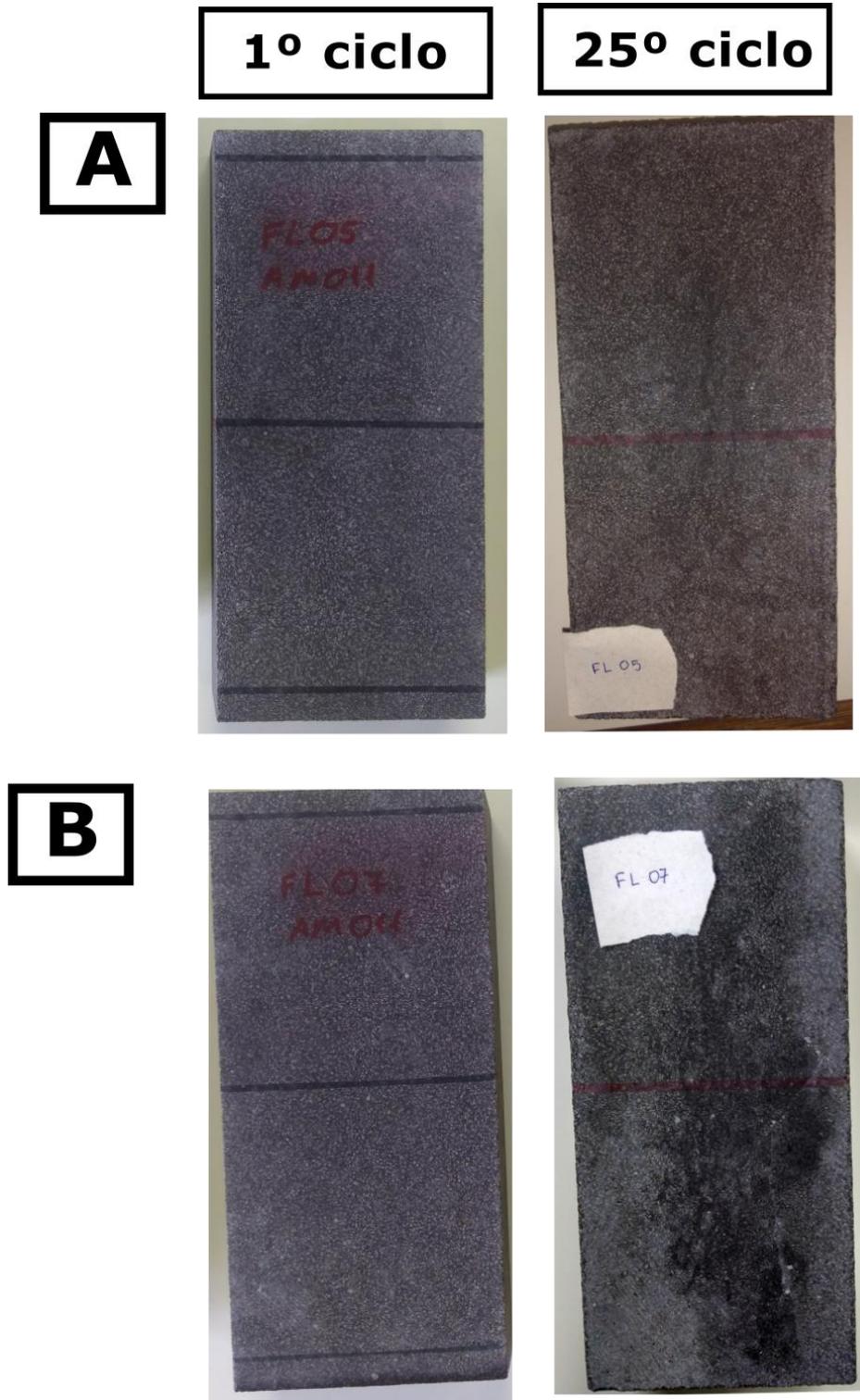
Figura 37: Danos estruturais e estéticos nas chapas exportadas para o Estados Unidos.



Fonte: Jazida Paludo.

Os resultados adquiridos neste trabalho também identificaram problemas relacionados à estética da rocha, porém sem interferências na sua qualidade mecânica. Este fato pode estar relacionado com a localização de onde foi retirada as duas amostras, sendo que as chapas enviadas para os Estados Unidos foram retiradas do topo da bancada 1, enquanto que as ensaiadas neste trabalho foram retiradas na base da bancada 2, podendo estar refletindo o grau de alteração dos materiais.

Figura 38: Comparação visual do ensaio de congelamento e degelo. A) Corpo de prova FL05, apresentando alterações visuais no 25º ciclo. B) Corpo de prova FL07, apresentando alterações visuais no 25º ciclo.



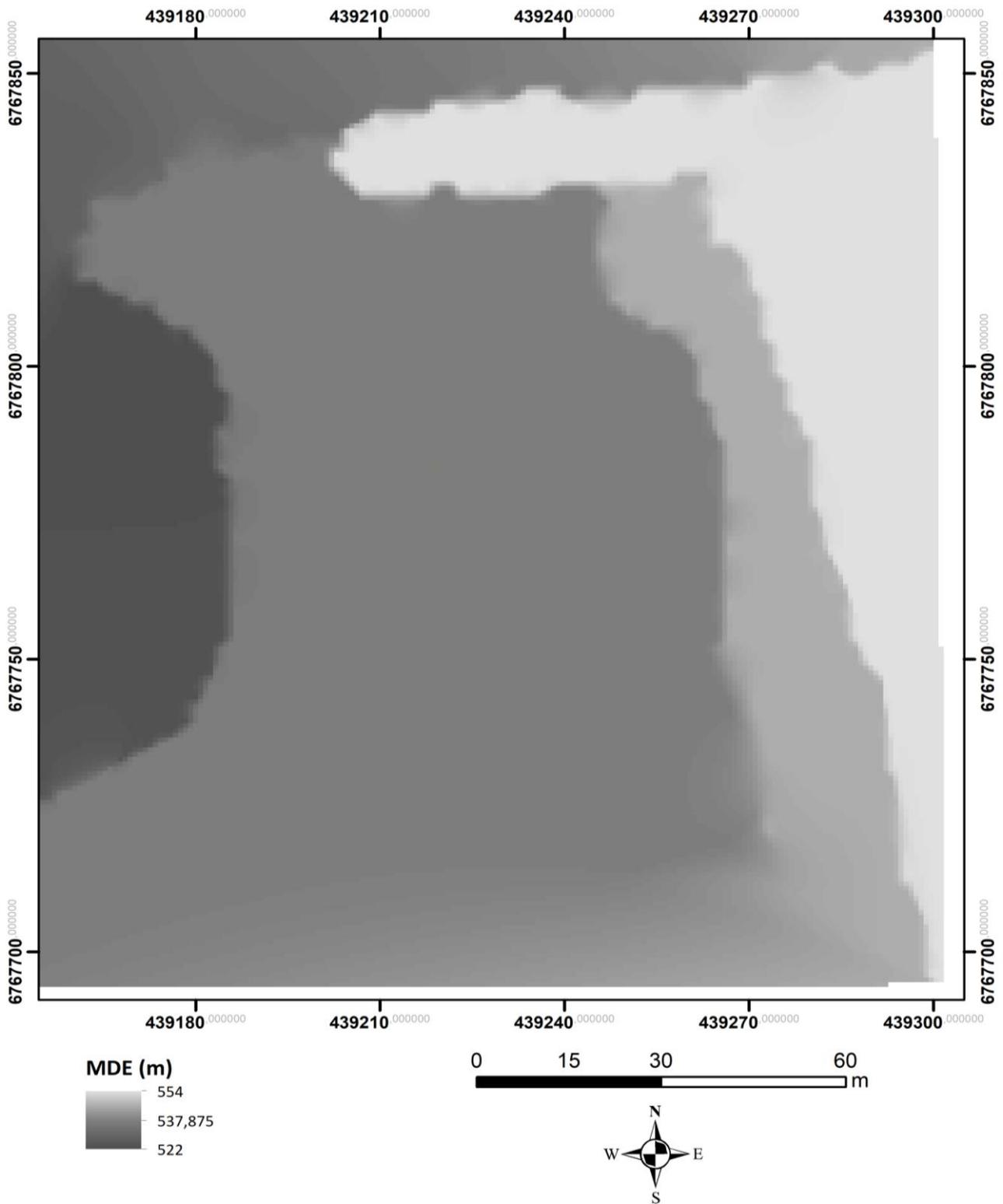
Fonte: Elaborado pela autora.

5.5 ANÁLISE DA TOPOGRAFIA E MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DA JAZIDA PALUDO.

- Levantamento topográfico com base na utilização de GPS absoluto.

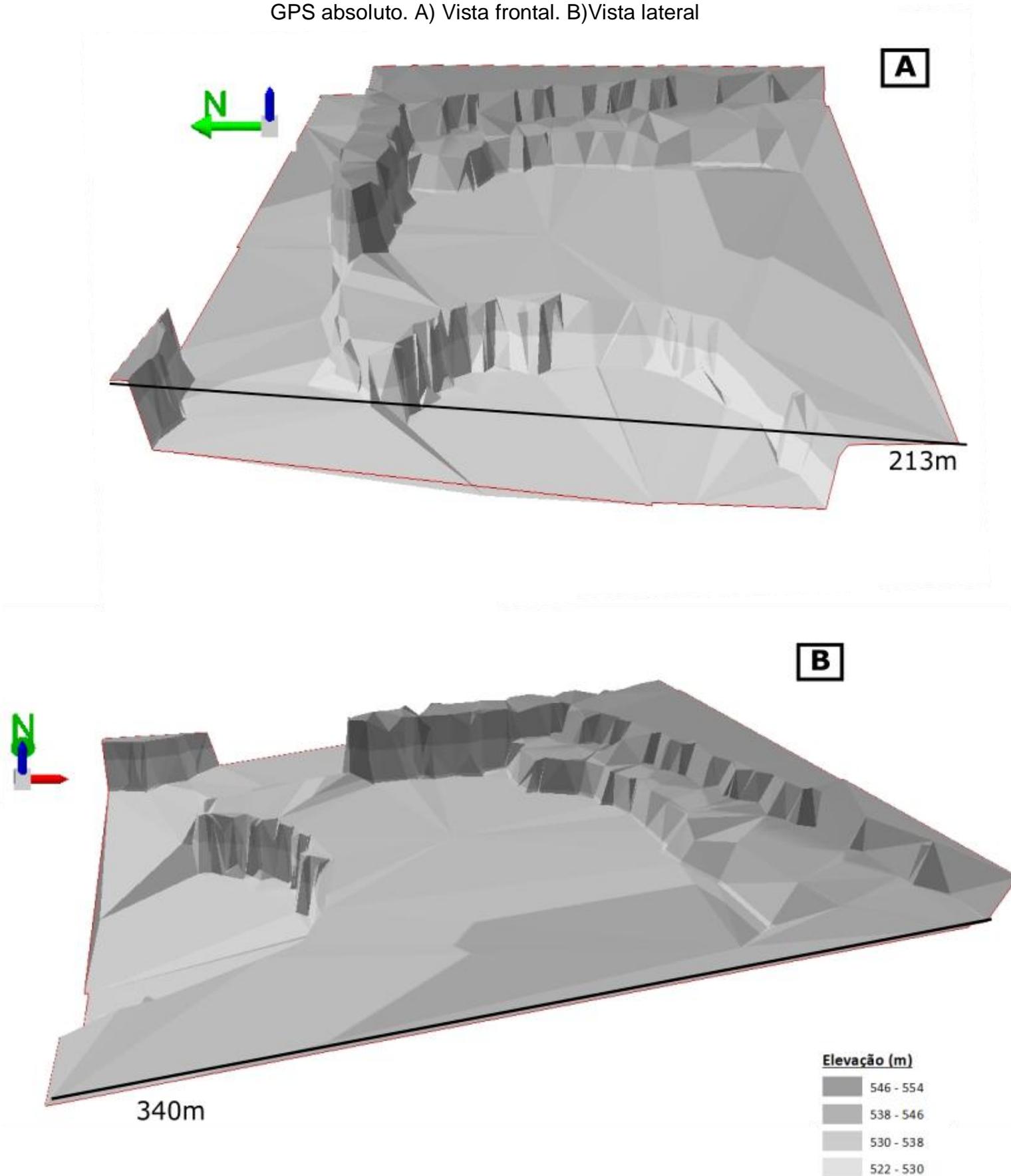
O levantamento topográfico com base na utilização de GPS absoluto teve como base 48 pontos adquiridos através de GPS, contendo valores de coordenadas e cota. Através do tratamento desses dados, obteve-se o levantamento topográfico da jazida, sendo representada através de um modelo digital de elevação (Figura 40), e também um modelo tridimensional (Figura 41). Através deste modelo é possível visualizar como a jazida está organizada, podendo servir de base para a organização de futuras lavras, setorização de acordo com determinadas características e também o reconhecimento da quantidade de rocha que já foi e que poderá ser lavrada.

Figura 39: Modelo digital de elevação da jazida Paludo, com base no levantamento com GPS absoluto.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 40: Modelo tridimensional da jazida Paludo, com base no levantamento com GPS absoluto. A) Vista frontal. B) Vista lateral

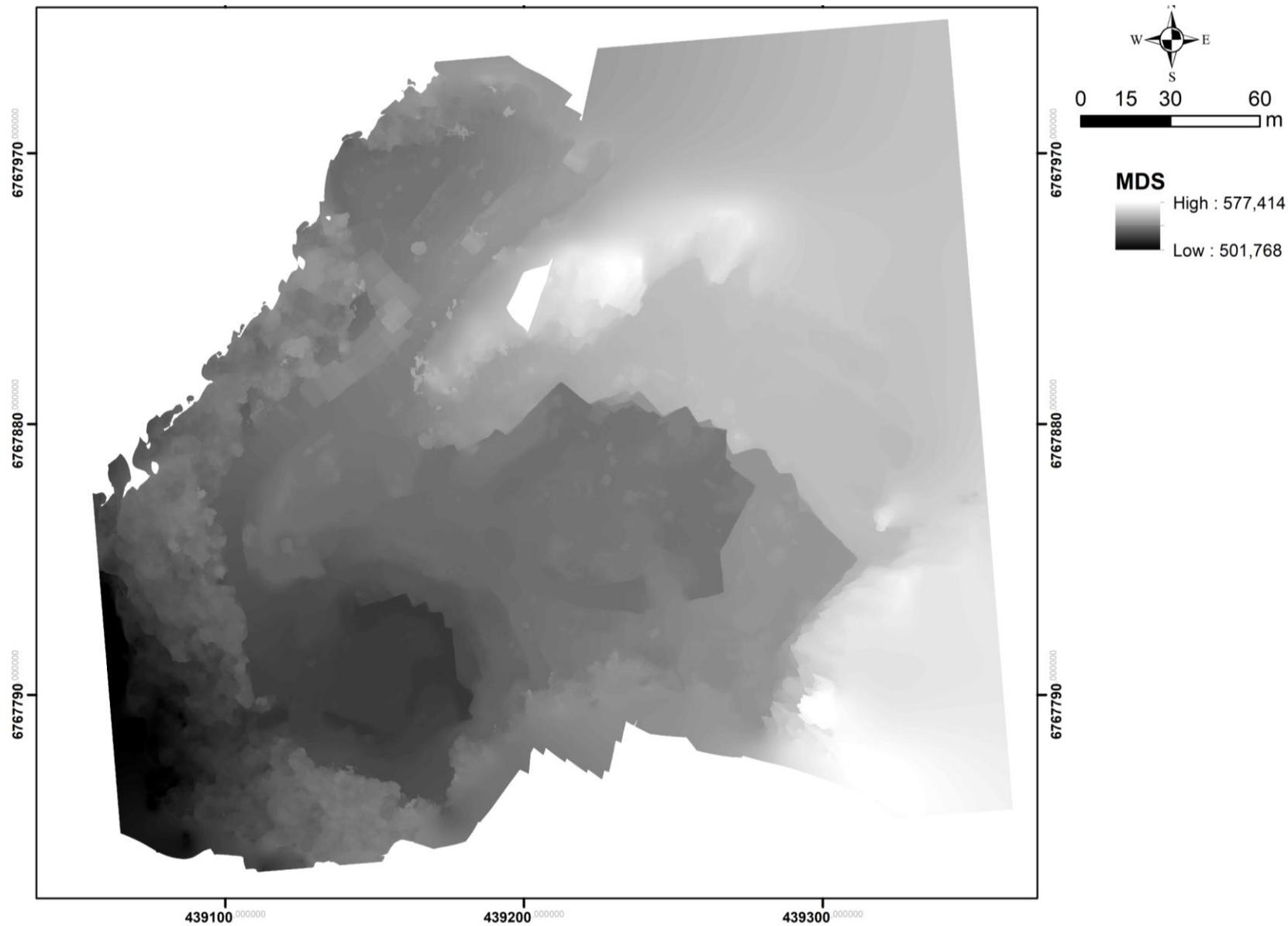


Fonte: Elaborado pela autora.

- Levantamento topográfico com base na aerofotogrametria.

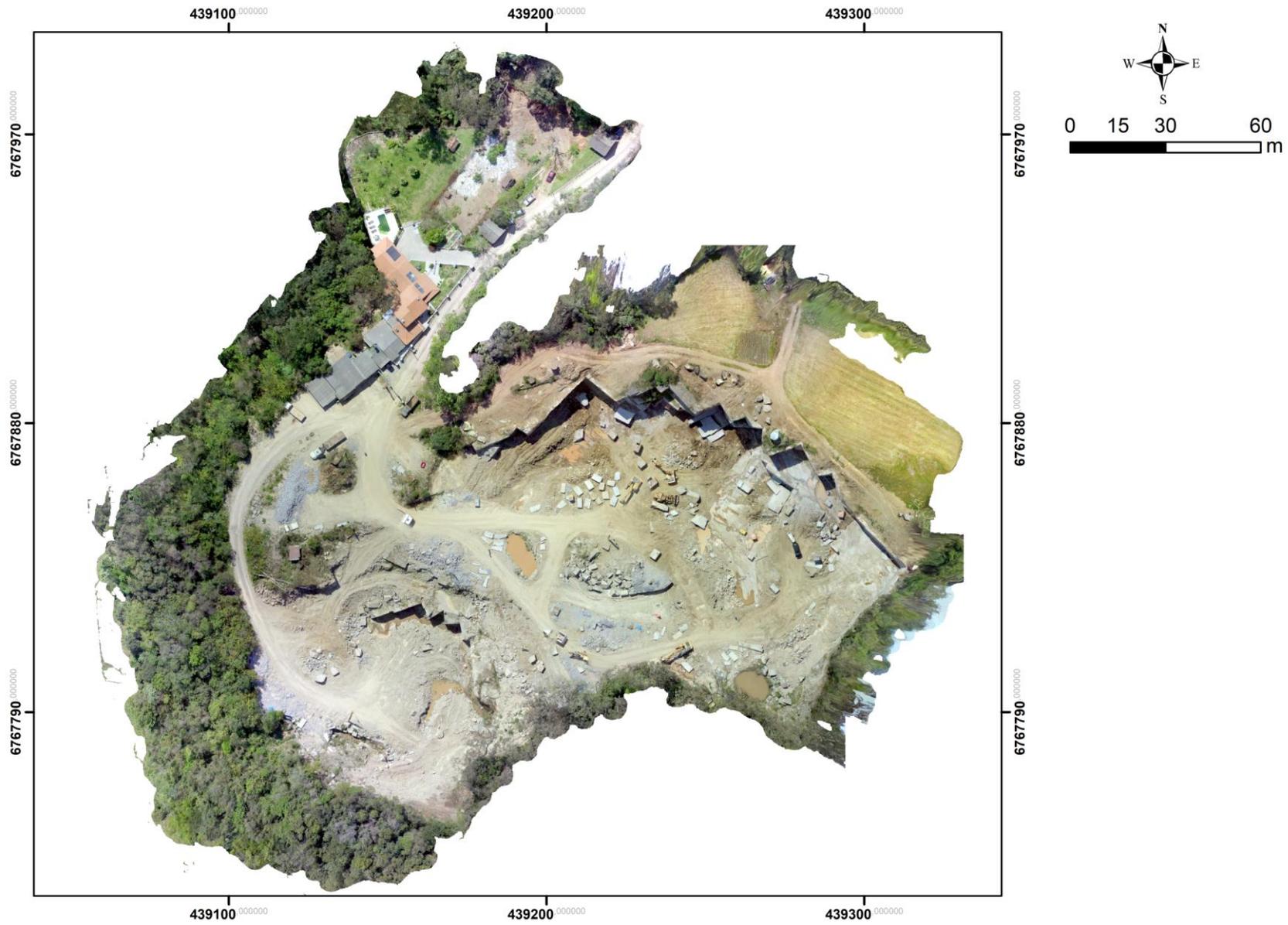
Através do processamento das fotografias obtidas através do levantamento com a utilização de VANT, obteve-se o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o ortofotomosaico da área, os quais podem ser visualizados na Figura 42 e Figura 43, respectivamente. Através da junção desses dois itens foi possível desenvolver o modelo tridimensional da área, que pode ser visualizado na Figura 44. Nesta etapa é possível diagnosticar todas as feições da jazida, com ampla visão da área de estudo. Através do MDS, obteve-se uma precisão centimétrica em relação às posições e cotas das bancadas, possibilitando a organização das futuras lavras, além do acompanhamento do volume da quantidade de rocha que está sendo extraída e que poderá ser extraída.

Figura 41: Modelo digital de superfície da jazida Paludo, com base no levantamento aerofotogramétrico.



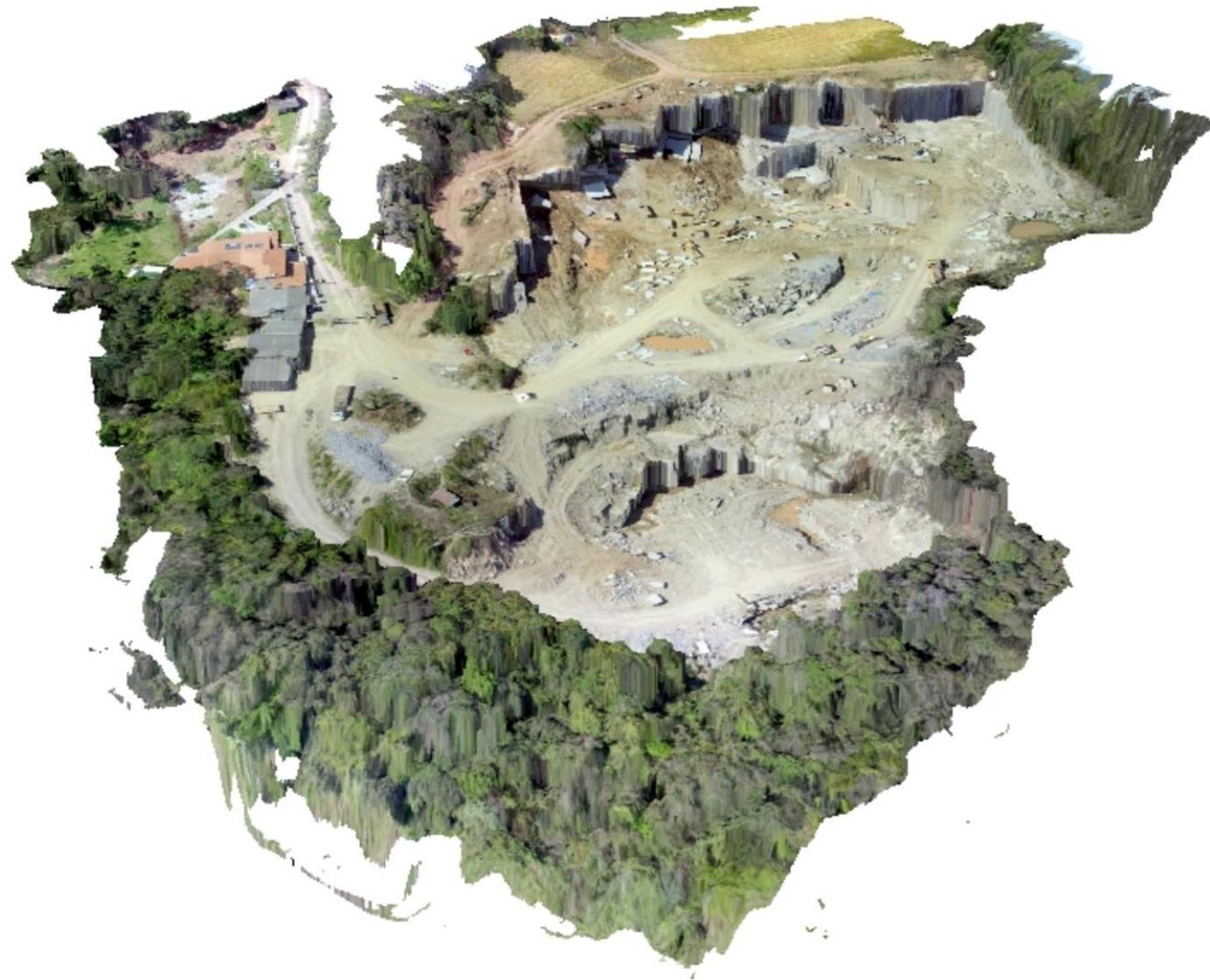
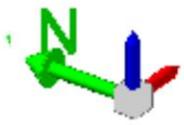
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42: Ortomosaico da Jazida Paludo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 43: Modelo tridimensional da Jazida Paludo, com base no levantamento aerofotogramétrico.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com o objetivo de comparação entre as duas metodologias, a extensão das bancadas foi medida nos resultados dos dois levantamentos, através do software Arcgis 10.5. Os valores de comprimento, assim como a porcentagem de diferença entre as duas metodologias podem ser visualizados na Tabela 9. É possível notar que houve uma diferença que variou entre 10% e 16% entre os dois levantamentos. Essa diferença está relacionada com a variação de precisão entre os dois métodos, levando em consideração que o erro do GPS absoluto pode chegar até 2m na horizontal. Outro fator que influenciou nos resultados diferentes foi a diferença temporal em cada levantamento foi realizado: o levantamento com GPS absoluto foi realizado no dia 12 de fevereiro e o levantamento aerofotogramétrico executado no dia 01 de outubro, resultando em uma diferença de oito meses, período suficiente para grandes mudanças nas frentes de lavra da jazida.

Tabela 9: Comparação entre os comprimentos das bancadas com base nos dois levantamentos.

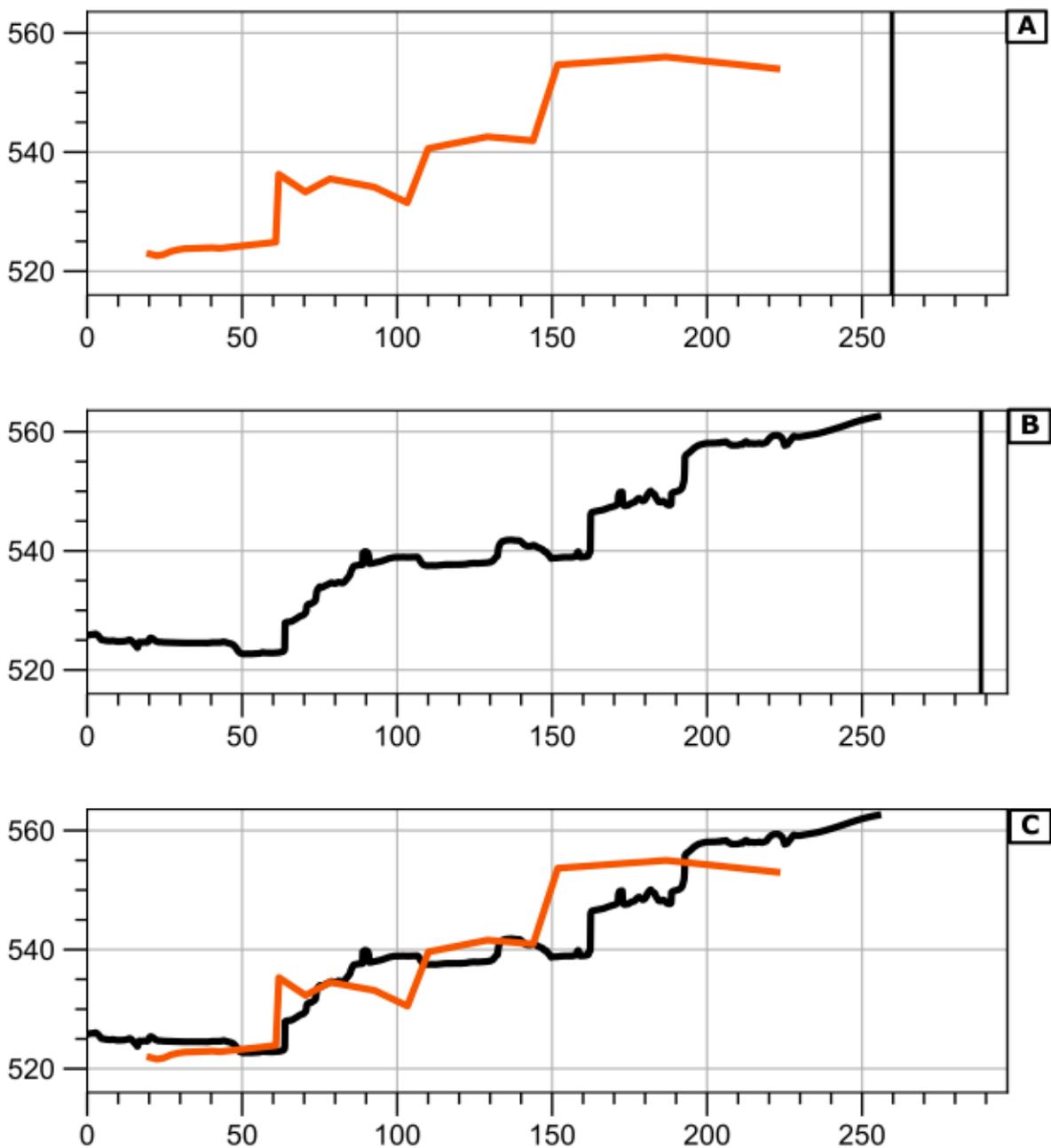
	Aerolevantamento (m)	GPS absoluto (m)	Diferença (%)
Bancada 1	88,46	104,16	15,07
Bancada 2	196,26	163,70	16,58
Bancada 3	65,06	72,82	10,65

Fonte: Elaborado pela autora

Com a finalidade de comparação da precisão das cotas obtidas nos dois levantamentos, foi traçado um perfil de elevação ao longo de toda a extensão da jazida. Na Figura 45 é apresentado o perfil de elevação contendo os resultados das duas metodologias utilizadas. É possível notar que o perfil referente ao mapeamento com GPS absoluto, em que os dados foram interpolados e então manipulados manualmente, ficou com linhas mais retilíneas, refletindo os resultados da escolha de utilizar o método de interpolação vizinho mais próximo e demonstrando menor precisão com a realidade. Já o perfil de elevação com base no levantamento aerofotogramétrico, é possível notar que é formado de linhas onde há várias saliências, demonstrando a alta precisão do modelo. Ressalta-se que essas saliências representam feições que não estão relacionadas com a cota do terreno, mas sim relacionadas com outras feições, como máquinas, caminhões e árvores. Por esse motivo o levantamento realizado por meio do GPS absoluto teve como resultado um modelo digital de elevação, o qual não tem interferências de outras cotas senão a do terreno, enquanto o levantamento aerofotogramétrico teve como

resultado um modelo digital de superfície, o qual tem interferências de vegetação e edificações.

Figura 44: Perfis de elevação: A) Com base no levantamento por GPS absoluto. B) Com base no levantamento aerofotogramétrico. C) Comparação entre os dois perfis: linha laranja representa o perfil com base no levantamento com GPS absoluto e linha preta com base no levantamento aerofotogramétrico



Fonte: Elaborado pela autora.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A jazida Paludo é constituída por rocha vulcânica de composição riodacítica, caracterizada por apresentar feições esferulíticas esbranquiçadas, denominadas popularmente por textura “carijó”. Em diversos locais da jazida, é possível observar um bandamento por coloração diferencial, subhorizontal centimétrico, muito regular e contínuo, possivelmente relacionado com horizontes contendo diferentes teores de vidro vulcânico. Não foram identificadas feições que elucidassem a diferença entre unidades eruptivas, permitindo concluir que o corpo que compõe a jazida Paludo é proveniente de uma única unidade eruptiva. As lâminas petrográficas tiveram como objetivo, além da caracterização petrográfica da rocha, descrever a feição responsável por causar a estratificação horizontal da rocha identificada em macro-escala e também identificar possíveis mudanças de textura e composição conforme perfil vertical realizado na jazida, com o intuito de identificar mudanças na fácies do derrame. Nesta análise, não foram identificadas mudanças que acompanhassem a diferença de cota e tampouco feições que pudessem esclarecer o bandamento subhorizontal.

A área onde está localizada a jazida Paludo é constituída segundo CPRM(2004), por rochas da fácies Palmas (Caxias). Além disso, através da revisão bibliográfica (WILDNER, 2004; MARQUES; ERNESTO, 2004; NARDY;MACHADO;OLIVEIRA, 2008; ROISENBERG; VIERO, 2000) é possível notar características em comum entre a rocha em estudo e as rochas da fácies Palmas(Caxias), podendo citar: localização da jazida, onde foi definida a área tipo da fácies Caxias, a textura esferulítica denominada “carijó” e a mineralogia composta por microfenocristais de plagioclásio, augita e magnetita sendo englobados por matriz semi-vítrea. Nardy, Machado e Oliveira(2008) definiram o perfil típico da face Caxias, separado em três grandes setores: inferior, intermediário e superior. As características encontradas na jazida Paludo se assemelham ao setor intermediário, o qual é caracterizado por rochas de natureza maciça, sem feições de fluxo e apresentando bandamento ígneo de atitude horizontal, sendo caracterizado pela intercalação de bandas de coloração clara e bandas de coloração escura.

A área da jazida Paludo não apresenta grandes problemas relacionados com descontinuidades. Foi diagnosticada somente uma família de fraturas possuindo alto valor de mergulho e direção preferencial NE-SW, apresentando concordância com a

direção preferencial encontrada nos lineamentos, demonstrando que o desenvolvimento dessas fraturas provavelmente está relacionado com os mesmos esforços que causaram formação dos lineamentos. O índice de fraturamento apontou somente uma região, localizada no extremo sul da jazida, com mais de uma fratura por metro (Figura 34). Mesmo que a quantidade de descontinuidades não seja muito significativa, elas podem vir a causar problemas na lavra, como pode ser visto na Figura 9-A, onde uma fratura impossibilitou a retirada de um bloco inteiro para utilização como chapa. Esse tipo de problema acarreta no menor rendimento da jazida, sendo que pode ser contornado através de um mapeamento das descontinuidades e posterior organização da lavra, tornando a atividade do geólogo de fundamental importância para um melhor aproveitamento da lavra.

Através dos ensaios para caracterização tecnológica é possível afirmar que a rocha proveniente da jazida Paludo possui excelente qualidade mecânica, contemplando as especificações necessárias para ser utilizada como revestimento e ornamental e, através da caracterização mineralógica, não foram encontradas feições que potencializem a desqualificação mecânica da mesma. No Quadro 6 é apresentada uma compilação dos resultados dos ensaios realizados neste trabalho, sendo que em vermelho estão os valores fora dos padrões estabelecidos pela ABNT NBR 15844.

Quadro 6: Compilação dos resultados da caracterização tecnológica. Em vermelho resultados que estão fora dos padrões estabelecidos pela ABNT NBR 15844.

Ensaio	Especificações	Resultado deste trabalho (média aritmética)	Valor estabelecido pela ABNT NBR 15844
Ensaio de índices físicos	Massa específica aparente seca (g/cm ³)	2,57	≥ 2,55
	Absorção de água aparente (%)	0,61	≤ 0,4
	Porosidade aparente (%)	1,55	≤ 1
Ensaio de Resistência a compressão uniaxial	Resistência à compressão uniaxial realizado perpendicular à estratificação.	241,652	>100
	Resistência à compressão uniaxial realizado paralelo à estratificação.	198,292	>100
Ensaio de Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais	Média aritmética considerando os valores paralelos, perpendiculares e após o 1º, 13º e 25º ciclos de congelamento e degelo.	5,38	≥ 4
Ensaio de Flexão três pontos	Após 25 ciclos de congelamento e degelo	25,68	≥ 10
Ensaio de congelamento e degelo	Modificação visual identificada no 25º ciclo.		

Fonte: Elaborado pela autora

O ensaio para determinação de índices físicos é um importante parâmetro para determinar a susceptibilidade da rocha em relação ao ataque de água e outros agentes químicos. Destaca-se que o valor médio de absorção d'água assim como o valor médio de porosidade obtidos está acima do valor recomendado pela ABNT 15844. Este fato pode estar relacionado com a existência de feições na rocha da Jazida Paludo, que se desenvolvem em diferentes direções e que, nos períodos em que ocorre maior volume de precipitação, adquirem mais destaque. Além disso, a variação visual observada no ensaio de congelamento e degelo, no 25º ciclo (Figura 38), também corrobora para a hipótese de que a rocha é suscetível ao ataque de água, podendo perder brilho e adquirir marcas conforme a utilização. Porém, esses fatores são estéticos, pois não interferiram nos resultados apresentados pelo material diante do ensaio de flexão três pontos, realizado após o congelamento e degelo. A rocha obteve grande desempenho neste ensaio, pois os valores obtidos estão acima do recomendado pela especificação, e são indicadas para utilização em revestimentos externos.

O ensaio de resistência a compressão uniaxial foi realizado neste trabalho com o objetivo de qualificar o material, além de avaliar a influência da estratificação da rocha nos resultados de resistência. Os resultados obtidos estão bem acima do especificado pela ABNT 15844, sendo um material de ótima qualidade para ser utilizado como colunas e pilares. Destaca-se que os resultados do ensaio realizado com a estratificação na orientação perpendicular à prensa foi cerca de 20% mais alta quando comparados com os resultados na orientação paralela (241,65 Mpa e 198,29 Mpa respectivamente). Este resultado sugere a influência da estratificação natural no desempenho mecânico da rocha, mesmo não sendo uma feição identificada microscopicamente.

O ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas teve como objetivo avaliar o grau de alteração, coesão e possíveis interferências das características texturais do material ensaiado. Importante destacar que o material utilizado para este ensaio foi utilizado, concomitantemente, para o ensaio de congelamento e degelo, a fim de identificar possíveis mudanças causadas pelo processo de alterabilidade. Todos os valores obtidos estão acima do valor especificado pela ABNT 15844, indicando uma boa coesão e pouca alteração da rocha. A estratificação influenciou nos resultados deste ensaio, sendo as

velocidades obtidas perpendicularmente à estratificação da rocha ligeiramente menores que as velocidades obtidas paralelamente à estratificação.

O modelo digital do terreno a partir do levantamento topográfico com base na utilização de GPS absoluto obteve um resultado satisfatório, apresentando erros referentes à baixa precisão do GPS utilizado. A interpolação poderia ter apresentado melhores resultados se a quantidade de pontos e coordenadas fosse maior, levando em consideração que somente 48 pontos foram coletados. O modelo digital de superfície, assim como o ortomosaico, obtidos a partir levantamento aerofotogramétrico com utilização de VANT apresentaram precisão centimétrica, tanto na horizontal quanto na vertical, contribuindo para o ótimo resultado. Quando comparadas as duas metodologias, o levantamento aerofotogramétrico apresentou resultados mais precisos e satisfatórios, porém necessita de ferramentas de alto custo para utilização em campo e posteriormente para o processamento em escritório. No caso de não haver a possibilidade de utilização de VANT, o levantamento topográfico com GPS absoluto atinge as expectativas, desde que realizado com uma grande quantidade de pontos coletados.

Os resultados obtidos através do levantamento topográfico são importantes para a visualização da jazida, podendo servir de base para a organização de futuras lavras, setorização de acordo com determinadas características e também o cálculo de volume da quantidade de rocha que já foi e que poderá ser lavrada, sendo uma ferramenta que, aliada à geologia, pode facilitar e aumentar o aproveitamento da lavra.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15844:2010**: Rochas para revestimento – Requisitos para granitos, 2 p. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 15845:2010**: Rochas para revestimento - Métodos de ensaio, 32 p. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 15012:2013**: Rochas para revestimentos de edificações — Terminologia. Rio de Janeiro, 2002.

BELLIENI, G., COMIN-CHIARAMONTI, P., MARQUES, L. S., MELFI, A. J., NARDY, A.J.R., PICCIRILO, E. M., ROISENBERG, A. **High and low TiO₂ flood basalts from the Parana plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin**. Neus Jahrbuch Miner.Stuttgart, p. 273-306, 1984.

CHIODI FILHO, C. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Brasília: ABIROCHAS. 34p, 2018.

CIENTEC, Fundação de Ciências e Tecnologia- Departamento de Geotecnia. **Características Tecnológicas de Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Sul**. 74p, 2009.

_____. Relatório de Ensaio nº30670/125796.16p, 2011.

COFFIN, M.F.; ELDHOLM, O. **Large Igneous Provinces: crustal structure, dimensions and external consequences**. Reviews of geophysics, v32, p. 1-36,1994

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. Superintendência Regional de Porto Alegre, CPRM, 2004.

DEUS, R.A.S.G; RAMOS, P,S; ALEXANDRE, F,S; GOMES, D,D,M. **O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) Para geração de dados geocartográficos na Universidade de Pernambuco - Campus Garanhuns**. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 2017 – Campinas-SP/Brasil

DEMIP-Departamento de Mineralogia e Petrologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Relatório de Ensaio - BSC 02/2017. Porto Alegre, 2017.

_____. Relatório de Ensaio - BSC 01/2017. Porto Alegre, 2017.

_____. Relatório de Ensaio - BSC 01/2015. Porto Alegre, 2015.

DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual-Rio Grande do Sul - ano base 2016** (2017). Disponível em:<
<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/rio-grande-do-sul/anuario-mineral-estadual-rio-grande-do-sul-2017-ano-base-2016/view> > Acesso em: 06 Outubro 2018

FRANÇA, A. B. ; POTTER, P. E. **Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permo-Carbonífero), Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, v.2, p. 147-191, 1988.

FRASCÁ, M.H.B.O. **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais e de Revestimentos: Estudo por Meio de Ensaio e Análises e das Patologias Associadas ao Uso**. III SRONE – 2002 – Recife-PE/Brasil.

_____. **Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento**. 2003. 282 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Recursos Minerais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

HASUI, Y., CARNEIRO, C.D.R., ALMEIDA, F.F.M., BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Ed. Beca. 900p, 2012.

LE MAITRE, R. W; STRECKEISEN, A. **Igneous rocks : a classification and glossary of terms : recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks**. 2nd. ed. Cambridge : Cambridge University Press. 236 p, 2004.

MARQUES, L. S.;ERNESTO, M. **O MAGMATISMO TOLEÍTICO DA BACIA DO PARANÁ**. In: MANTESSO NETO V, BARTORELLI A, CARNEIRO CDR AND BRITO NEVES BB (Orgs), **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, São Paulo, Beca, p. 265-279, 2004.

MILANI, E. J. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná**. In: MANTESSO NETO V, BARTORELLI A, CARNEIRO CDR AND BRITO NEVES BB (Orgs), **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, São Paulo, Beca, p. 265-279, 2004.

MILANI, E.J., MELO,G.H.J.,SOUZA, A. P., FERNANDES, A. L., FRANÇA, B. A. **Bacia do Paraná**. Boletim de geociências. Petrobrás, Rio de Janeiro,v. 15, n. 2, p 265-287, 2007.

NARDY, A.J.R., MACHADO, F.B., OLIVEIRA, M. A. F. **As rochas vulcânicas mesozoicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímicas- estratigráficas**. Revista Brasileira de Geociencias, v. 38, n.1, p.178-195, 2008.

PAOLI, B.L; TRINDADE, C. A. **Boas práticas do uso da técnica de Structure from Motion**. In: ANAIS XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... . João Pessoa: Sbsr, 2015. p. 6566 – 6571, 2015

RENNE, P., ERNESTO, M., PACCA, I., COE, R., GLEN, J., PREVOT, PERRIN, M. . **The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary**. Science 258: 975-979, 1992.

ROISENBERG, A.; VIERO, A. P. **O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul**. In: Holz, M.; De Ros, L. F. Geol. Do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, p. 355-374, 2000

SALES, F.A.C.B., MORAIS, J.O. **Proposta Metodológica de Pesquisa para Rochas Ornamentais**. IV SRONE- Fortaleza- CE. Anais... Sessões técnicas, 2003.

SANTOS, D,V. **Extração semiautomática da orientação de descontinuidades com modelo tridimensional de taludes obtido por fotogrametria digital**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, RS, BR, 2017.

SEJAS, M.I; SAATKAMP, E. D; FREIBERGER JÚNIOR, J. **Posicionamento por DGPS: experimentos para avaliação das técnicas RDS, NTRIP e DGPS**. Revista Brasileira de Geomática, [s.l.], v. 1, n. 1, p.8-17, 18 mar. 2013. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR), 2013.

TURNER, S., REGELOUS, M., KELLEY, S., HAWKESWORTH, C. J., MANTOVANI, M. S. M. (1994). **Magmatism and continental break- up in the South Atlantic: high precision geochronology**. Earth and Planetary Sciences Letters, v. 121, p.333-348.

United States Geological Survey (USGS). **SRTM: Shuttle Radar Topography Mission**. 2014. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/> > Acesso em: Julho 2019.

VARGAS, T., MOTOKI, A., NEVES, J. L. P. **Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção**. Revista de Geociências, v. 22, 2015.

VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A., CASTRO, N. F. (Eds). **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 700p.

WILDNER, W. **Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná- Conceitos Básicos e divisão faciológica**. In: Reunião aberta da comissão brasileira de estratigrafia. Porto Alegre. Anais.... Porto alegre SBG,2004. P 62-77, 2004.

ZALÁN, P.V., WOLFF S., CONCEIÇÃO J.C.J., ALTOLFI M.A.M., VIEIRA I.S., APPI V.T., ZANOTTO O.A.. **Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná**. In: Simpósio Sul Brasileiro de Geologia. Curitiba, PR. Anais. Curitiba, SBG- Núcleo PR,1987. V.1 P..441-477, 1987.