



**PESQUISA GEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DE JAZIDA DE RIODACITO PARA
EXPLOTAÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL EM NOVA PÁDUA / RS**

Porto Alegre, 2016

TAMIRES VALENÇOELLA GARCIA

**PESQUISA GEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DE JAZIDA DE RIODACITO PARA
EXPLOTAÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL EM NOVA PÁDUA / 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.

Orientador: Prof. Dr. Clovis Gonzatti
Supervisor: Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Porto Alegre, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Garcia, Tamires Valençoeira

Pesquisa geológica e avaliação de jazida de riodacito para exploração de rocha ornamental em Nova Pádua / RS. / Tamires Valençoeira Garcia. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
[80f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es): Clovis Gonzatti

Coorientador(es): Ruy Paulo Philipp

1. Rocha Ornamental. 2. Pesquisa Geológica. 3. Riodacito.
4. Avaliação de Jazida. I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira CRB 10/2310

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprovou o Trabalho de Conclusão de Curso “PESQUISA GEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DE JAZIDA DE RIODACITO PARA EXPLOTAÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL EM NOVA PÁDUA / RS”, elaborado por Tamires Valençoella Garcia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dra. Carla Cristine Porcher

Prof. Dr. Luis Antônio Bressani

Prof. Dr. Norberto Dani

AGRADECIMENTOS

Ao concluir uma etapa grandiosa como esta, é impossível olhar para trás e não agradecer as muitas pessoas que estiveram ao meu lado nesta jornada. Agradeço aos meus pais, por toda educação e incentivo, principalmente nos momentos difíceis. Aos meus avós, sem dúvidas as pessoas com o coração maior que o mundo, vó onde estiver sei que tu está comigo. Ao meu amado irmão Raphael, obrigada por toda paciência carinho e amor, tenho orgulho de ti. Com todo carinho agradeço ao Eduardo, obrigada querido por me fazer sorrir nos momentos difíceis, ser compreensivo e estar sempre ao meu lado. A UFRGS me deu uma amiga para a vida toda, Manoela, sem você a vida seria muito chata, obrigada por estar em todos os momentos comigo e por me dar força para seguir em frente quando eu pensei em desistir. Agradeço de todo coração a todos familiares que estiveram próximos e sempre torceram por mim, em especial meus padrinhos, Sônia e Jorge, minha tia Ione, e meus queridos e tão doidos primos Ju, Paulinha e Eleandro, família é tudo. Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul por me permitir realizar estudos de nível superior em uma das melhores universidades do Brasil, ao Instituto de Geociências e a seus professores por proporcionarem um ensino de qualidade. Aos meus orientadores do projeto temático, profs. Clovis Gonzatti e Ruy Paulo Philipp, pela dedicação, paciência e empenho. Todas as oportunidades de estágio e bolsas de iniciação científica, em especial aos colegas do grupo de pesquisa GRID, trabalhar com vocês foi especial. Agradeço ao CNPQ, por me dar a oportunidade de participar do programa Ciências sem Fronteiras, poder pesquisar, estudar e morar em Portugal mudou toda minha visão de mundo. Aos meus queridos e não menos importantes amigos, que fiz durante o intercâmbio, Fábio, Amanda, Juliana, Maria Emília, Júnior e tantos outros, o intercâmbio não seria o mesmo sem vocês.

RESUMO

As rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral encontradas no Rio Grande do Sul têm suas propriedades físicas e físico-mecânicas pouco conhecidas para utilização como rochas ornamentais no restante Brasil, no entanto são amplamente comercializadas no sul do país nas indústrias de construção civil, para a confecção de pisos e paredes. O vulcanismo ácido da região de Nova Pádua corresponde a um espesso empilhamento de derrames lobados, onde foi possível observar lóbulos de diversas dimensões que migram para um bandamento de disposição subhorizontal. Os lobos se caracterizam para uma base e superfície vítrea, alternando vitrófiros gradando para porções centrais granofíricas ricas em fenocristais. Na área da jazida de riodacito a ser explorada para fins de produção de rocha ornamental foi possível observar a camada superior composta por vitrófiro e a porção inferior constituída por granófiro imerso em uma matriz granofírica. Na fase de pesquisa geológica da jazida foram realizados três furos de sondagens rotativas, a sondagem realizada a leste da área obteve material de má qualidade, intercalação de solo e rocha. Durante a fase de análise estrutural realizada nesta pesquisa através de fotografias aéreas e imagens de satélite pode-se observar dois lineamentos regionais inseridos na área da jazida, o que explica o material de má qualidade da sondagem. Para a avaliação da jazida, além da análise estrutural e mapeamento geológico, foi realizada cubagem que utilizou a poligonal total da área com um valor de espessura de rocha estimado em 30 metros, o volume calculado foi de 1.120,128 m³. Por fim, para determinar se a rocha tinha as características físicas e mecânicas dentro de normas e especificações técnicas para sua utilização e comercialização como rocha ornamental, foram realizados ensaios tecnológicos determinados como básicos (índices físicos, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, congelamento e degelo, flexão três pontos, resistência de compressão uniaxial e resistência ao impacto de corpo duro) e resultaram como favorável a utilização do riodacito para rocha ornamental, como revestimento interno ou em ambientes de clima seco.

Palavras-Chave: Rocha Ornamental. Pesquisa Geológica. Riodacito. Avaliação de Jazida.

ABSTRACT

The acid volcanic rocks of the Serra Geral Formation found in Rio Grande do Sul state don't have their physical and mechanical properties well known for use as ornamental rocks in other cities of Brazil, however, in the south of the country they are widely marketed to the civil construction industries and for the production of coating floors and walls. The acidic volcanism of the Nova Pádua region refers to a thick stacking of lobed flow, where it was possible to check lobes of various dimensions migrating to a subhorizontal banding layers. The lobes are characterized by a glassy basal surface, alternating vitrophyre rocks to granophyre rocks in the central portions enriched in phenocrysts. It was possible to observe in the area of the rhyodacite deposits, in the portion aimed to ornamental rock production, that the upper layer is composed of a vitrophyre and the lower portion is constituted by granophyre immersed in a granophyre groundmass. In the geological research phase of the deposit three boreholes of rotary drilling were done, the survey was made in the east of the area, obtaining poor quality material, soil and rock intercalation. During the structural analysis phase carried out in this research by aerial photographs and satellite images it was possible to view two regional lineaments placed in the area of the deposit, which explains the material of poor quality of the survey. For the evaluation of the deposit in addition to the structural analysis and geological mapping it was carried out a cubage that used the whole polygonal of the area with an estimated thickness of rock in 30 meters, the total calculated volume was of 1.120,128 m³. Finally, to determine if the rock had the physical and mechanical characteristics within norms and technical specifications for its use and commercialization to ornamental rock, certain technological tests judged essential were performed (physical indexes, ultrasonic wave propagation velocity, freezing and thawing test, three-point bending, uniaxial compression strength and hard body impact strength) and it had resulted in the use of rhyodacite as ornamental rock, as an inner liner, or in dry climates.

Keywords: Ornamental Rock. Geological Survey. Rhyodacite. Deposit Evaluation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1:Localização da área de estudo. Fonte: Imagem Google Earth..... | 3 |
| Figura 2: Mapa das formações da Bacia do Paraná com localização geral da área de estudo. Fonte: Modificado de Renner (2010)..... | 5 |
| Figura 3:Mapa com a geologia geral e a localização da área de estudos. Fonte: Modificado de CPRM (2006). | 8 |
| Figura 4: Modelo de plano de trabalho para pesquisa de rochas ornamentais. Fonte: Sales e Morais (2013). | 12 |
| Figura 5: Fluxograma síntese da metodologia. | 13 |
| Figura 6: Localização dos pontos descritos e área da jazida. Fonte: Imagem Google Earth,2016. | 15 |
| Figura 7: Agregados durante processos do ensaio de sanidade..... | 19 |
| Figura 8: A) agregado para ensaio de adesividade. B) ensaio em andamento, agregado sendo recoberto com película betuminosa. C) agregado durante o ensaio coberto com película betuminosa e imerso em água destilada..... | 20 |
| Figura 9: Processo de ensaio para índices físicos: A) saturação 48h. B) estufa até obter massa constante. C) pesagem de massa seca..... | 21 |
| Figura 10: Direção de comprimento das medidas realizadas do ensaio de velocidade de ondas ultrassônicas, horizontais ou paralelas a estrutura da rocha. Fonte: Frásca,2003..... | 22 |
| Figura 11: Ensaio de congelamento/degelo. A) amostras saturando B) amostras no freezer para congelamento a -15°C C) amostras após 2º ciclo de congelamento. | 23 |
| Figura 12: Ensaio de flexão três pontos. | 24 |
| Figura 13: Ensaio de resistência a compressão uniaxial. | 25 |
| Figura 14: lineamentos traçados observando fotos aéreas e imagens do Google Earth, em vermelho localização geral da área da jazida. | 28 |
| Figura 15: Perfil geológico da área de estudo, com indicação por números dos pontos levantados em campo, o ponto 2 | 29 |
| Figura 16: A) campo de cordas de basalto no ponto 17. B) detalhe da estrutura em cordas no ponto 17. | 29 |
| Figura 17: Estrutura em lobo no ponto 1..... | 30 |
| Figura 18: Ilustração esquemática para derrames lobados compostos. Fonte: Polo,2014. | 30 |
| Figura 19: Estrutura em lobo com marcada estrutura de bandamento subhorizontal no ponto 3. | 31 |
| Figura 20: Estrutura em lobo no ponto 7..... | 31 |
| Figura 21: Aspectos macroscópicos do vitrófiro riódacítico..... | 32 |
| Figura 22: A) amígdalas arredondadas preenchidas por quartzo no granófiro. B) amígdalas e feldspatos estirados. C) amígdalas arredondadas. | 33 |

| | |
|--|----|
| Figura 23: Ponto 3 do mapeamento da área, pedreira ao lado da área de estudo. A) aspecto geral da rocha, estrutura em lobo migrando para estrutura subhorizontal. B) detalhe do lobo no granófiro. C) detalhe do bandamento subhorizontal. | 33 |
| Figura 24: Mapa geológico de detalhe com os lineamentos observados em fotos aéreas e imagens de satélite..... | 34 |
| Figura 25: A) aspecto geral da jazida. B) detalhe da espessura de solo aproximadamente 6 metros e rocha. C) corpo rochoso, com desenho esquemático indicando o bandamento presente na rocha. | 36 |
| Figura 26: Aspecto geral do bandamento de fluxo magmático em bloco de riodacito. | 37 |
| Figura 27: Estrutura da jazida com camada superior com vitrófiro e camada inferior com granófiro. | 37 |
| Figura 28: A) Fotomicrografia da textura glomeroporfiritica no basalto, definida pelo agrupamento dos cristais de plagioclásio e de amígdalas preenchidas por quartzo e borda de calcedônia envoltos em uma matriz vítrea. B) Fotomicrografia de detalhe dos cristais de plagioclásio com terminação em ‘cauda de andorinha’ e clinopiroxênio com formato esqueletal e textura perlítica. Nicóis paralelos e nicóis cruzados. | 38 |
| Figura 29: A) Fotomicrografia da matriz microgranular nos granófiros. B) Fotomicrografia da matriz do granófiro com fenocristais e cristais esqueletais de plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos de forma quadrática. C) Fotografia da matriz vítrea nos granófiros. D) Fotomicrografia de detalhe dos fenocristais prismáticos de plagioclásio e clinopiroxênio no granófiro. Nicóis paralelos e nicóis cruzados. | 40 |
| Figura 30: A) / B) Fotomicrografia do riodacito vitrófiro indicando aspectos gerais da lâmina. A matriz vítrea dominante sobre a matriz microgranular e cristais muito alongados de plagioclásio. C) Fotomicrografia de detalhe dos cristais de plagioclásio com “cauda de andorinha” imersos na matriz vítrea..... | 41 |
| Figura 31: Agregados para ensaio abrasão Los Angeles. A) agregados antes do ensaio. B) agregados após ensaio. C) agregado após ensaio e peneirados. | 44 |
| Figura 32: Distribuição granulométrica da especificação de serviço do DNER 141/2010-ES- FAIXA B, curva granulométrica do passante mínimo, máximo e média. | 46 |
| Figura 33: Amostras do riodacito após ensaio de adesividade..... | 46 |
| Figura 34: Síntese dos ensaios realizados comparados com especificações e basalto CINZA PAMPAS. | 49 |
| Figura 35: Ensaio de ondas ultrassônicas no riodacito Nova Pádua. | 50 |
| Figura 36: A) Riodacito antes do ensaio de compressão uniaxial. B) Riodacito após ensaio de compressão. | 53 |
| Figura 37: Área da jazida com a localização dos furos de sondagens. Fonte: Modificado de Relatório de controle ambiental e plano de controle ambiental- RCA/PCA unificados,2015. | 55 |
| Figura 38: Perfil da sondagem 1 com descrição e fotos..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Figura 39: Perfil da sondagem 2 com descrição e fotos..... | 57 |
| Figura 40: Comparação das amostras ensaiadas por esta pesquisa e das amostras ensaiadas na fase de pesquisa da jazida, relatório BSC01/2015, é possível notar as diferenças de cor entre as amostras dos dois ensaios e o grau de fraturamento não orientado presente apenas nas amostras do relatório BSC01/2015. A/C/E: Amostras do relatório BSC01/2015. B/D/F: amostras ensaiadas por essa pesquisa. | 60 |
| Figura 41: Localização das sondagens em comparação com lineamentos traçados em imagens aéreas e Google Earth..... | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Conjunto básico de ensaios tecnológicos e a respectivas normas. Adaptado de Frásca (2002). | 10 |
| Tabela 2: Ensaios sugeridos conforme emprego. Adaptado de Frásca (2002)..... | 10 |
| Tabela 3: Comparação dos resultados com as classes qualidade de Lienhart. | 42 |
| Tabela 4: Compração dos resultados para agregados com especificações. | 43 |
| Tabela 5: Resultado do ensaio de índices físicos para agregados. | 43 |
| Tabela 6: Tabela de resultados do ensaio de sanidade. | 45 |
| Tabela 7: Comparação entre os resultados dos ensaios tecnológicos da pesquisa, especificações, relatório BSC01/2015 e basalto CINZA PAMPAS..... | 47 |
| Tabela 8: Resultados obtidos do ensaio de índices físicos para o riódacito Nova Pádua..... | 50 |
| Tabela 9: Resultados do ensaio de velocidade de ondas ultrassônicas. | 51 |
| Tabela 10: Resultados do ensaio de resistência a flexão em amostras após 25 ciclos de congelamento e degelo e após 48h | 52 |
| Tabela 11: Resultados de todas as amostras do ensaio de compressão uniaxial | 53 |
| Tabela 12: Resultados do ensaio de impacto de corpo duro. | 54 |
| Tabela 13: Classes de RQD. Fonte: adaptado de DNER PRO 102/97..... | 58 |
| Tabela 14: Comparação entre os dois conjuntos de ensaios realizados na jazida | 59 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. | JUSTIFICATIVA | 1 |
| 1.2. | CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA | 1 |
| 1.3. | PREMISSA E HIPÓTESE | 2 |
| 1.4. | OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS | 2 |
| 2. | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 2 |
| 3. | CONTEXTO GEOLÓGICO | 4 |
| 3.1. | BACIA DO PARANÁ | 4 |
| 3.2. | FORMAÇÃO SERRA GERAL | 5 |
| 3.3. | GEOLOGIA REGIONAL | 7 |
| 4. | CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA..... | 9 |
| 4.1. | NORMATIZAÇÃO E ESPECIFICAÇÕES..... | 9 |
| 4.2. | CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES | 10 |
| 4.3. | ROTEIROS DE PESQUISA DE ROCHAS ORNAMENTAIS | 11 |
| 5. | METODOLOGIA..... | 13 |
| 5.1. | REVISÃO DE INFORMAÇÕES | 14 |
| 5.2. | TRABALHO DE CAMPO..... | 14 |
| 5.3. | ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E TECNOLÓGICA | 16 |
| 5.3.1 | ENSAIOS PARA AGREGADOS | 16 |
| 5.3.2 | ENSAIO PARA ROCHA ORNAMENTAL..... | 20 |

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 5.4. | CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA..... | 26 |
| 5.5. | SONDAGEM ROTATIVA | 27 |
| 5.6. | TÉCNICA DE CUBAGEM | 27 |
| 6. | RESULTADOS | 27 |
| 6.1. | ANÁLISE ESTRUTURAL..... | 27 |
| 6.2. | GEOLOGIA DA ÁREA..... | 29 |
| 6.3. | PETROGRAFIA MICROSCÓPICA..... | 38 |
| 6.4. | CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA | 41 |
| 6.4.1 | ENSAIOS PARA AGREGADOS..... | 42 |
| 6.4.2 | ENSAIOS PARA ROCHA ORNAMENTAL..... | 47 |
| 6.5. | AVALIAÇÃO DA JAZIDA..... | 54 |
| 6.6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 58 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |

1. INTRODUÇÃO

Este item abordará a caracterização do projeto descrevendo a justificativa, problemática, premissa, hipótese e objetivos a serem traçados.

1.1. JUSTIFICATIVA

Devido ao significativo crescimento na última década no mercado nacional e internacional, as rochas ornamentais são um setor bastante promissor, o que gerou um maior investimento e a possibilidade de exploração de novas jazidas, Departamento Nacional de Produção Mineral [DNPM] (2014). O Brasil encontra-se entre os maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo, o que interferiu diretamente na forma como estas rochas passaram a ser exploradas em um processo que envolve meio ambiente e sociedade. Entre os estados do Brasil destacam-se, o Espírito Santo, como grande polo produtor e exportador de rochas ornamentais e o Rio Grande do Sul, por encontrar-se entre os dez maiores produtores do País, Secretaria de Comércio Exterior [SECEX](2013).

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral encontradas na Serra Geral, no RS, comercialmente denominadas basaltos, são amplamente utilizadas nas indústrias de construção civil para confecção de pisos e paredes com enfoque no uso ornamental. Entretanto, essas rochas ainda são pouco conhecidas como rochas ornamentais no restante do País (Motoki, 2004).

Dentre o exposto, a realização da pesquisa geológica em conjunto com a caracterização tecnológica é de extrema importância para a pesquisa de rochas vulcânicas para uso ornamental. Este estudo contribuirá com proposições que estimulem à realização da fase de pesquisa mineral, demonstrando que os fatores geológicos e estruturais de um maciço rochoso podem inviabilizar um projeto de lavra se não forem bem avaliados. Da mesma maneira, é fundamental a análise de ensaios tecnológicos para a caracterização do grau de resistência e alterabilidade, que são alguns dos critérios necessários para o emprego das rochas para uso ornamental.

1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A avaliação da jazida de riocacito foi realizada com base nos trabalhos de campo e no relatório de pesquisa disponibilizados pela empresa Basalto São Cristóvão [BSC]. Durante a fase de pesquisa geológica da jazida, foram realizados três furos de sondagem rotativa totalizando 42 metros de testemunho de rocha. A sondagem realizada a leste da área, com profundidade de 21 metros, apresentou em toda sua extensão material de má qualidade,

intercalação de rocha e solo, as demais sondagens apresentaram camadas homogêneas de rocha, mas com planos de fraturas de orientações distintas. Para avaliar a viabilidade desta jazida para a exploração de rocha para uso ornamental foi realizado uma avaliação dos lineamentos por fotografias aéreas, com mapeamento geológico de detalhe da área da jazida associado a ensaios de caracterização tecnológica do maciço.

1.3. PREMISSE E HIPÓTESE

A estrutura presente nas rochas indica que a área da jazida está localizada na parte mais central do derrame vulcânico, o que influencia diretamente na expectativa de produção e vida útil da jazida, com base nessa premissa a hipótese é que as condições econômicas associadas à qualidade do material são ideais para exploração da jazida para uso ornamental.

1.4. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente estudo realizou a cubagem da jazida e avaliou a qualidade das rochas vulcânicas ácidas através de ensaios de caracterização tecnológica para a obtenção de parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos da rocha. A pesquisa geológica teve como objetivo o modelamento estrutural do corpo mineral para subsidiar o planejamento da lavra definindo as áreas de rocha sã, rocha alterada e a sua distribuição espacial em função das variações litológicas oferecendo embasamento para subsidiar as fases de lavra e de prospecção da jazida.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A jazida de estudo localiza-se na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, no município de Nova Pádua. A área requerida pela empresa de mineração Basalto São Cristóvão [BSC] ao Departamento Nacional de Produção Mineral [DNPM] possui 4,66 hectares e está situada a cerca de 2 km a oeste da região central de Nova Pádua (Figura 1). O acesso à localidade pode ser realizado por Nova Roma do Sul pela VRS-314 ou de Porto Alegre pela BR-116.

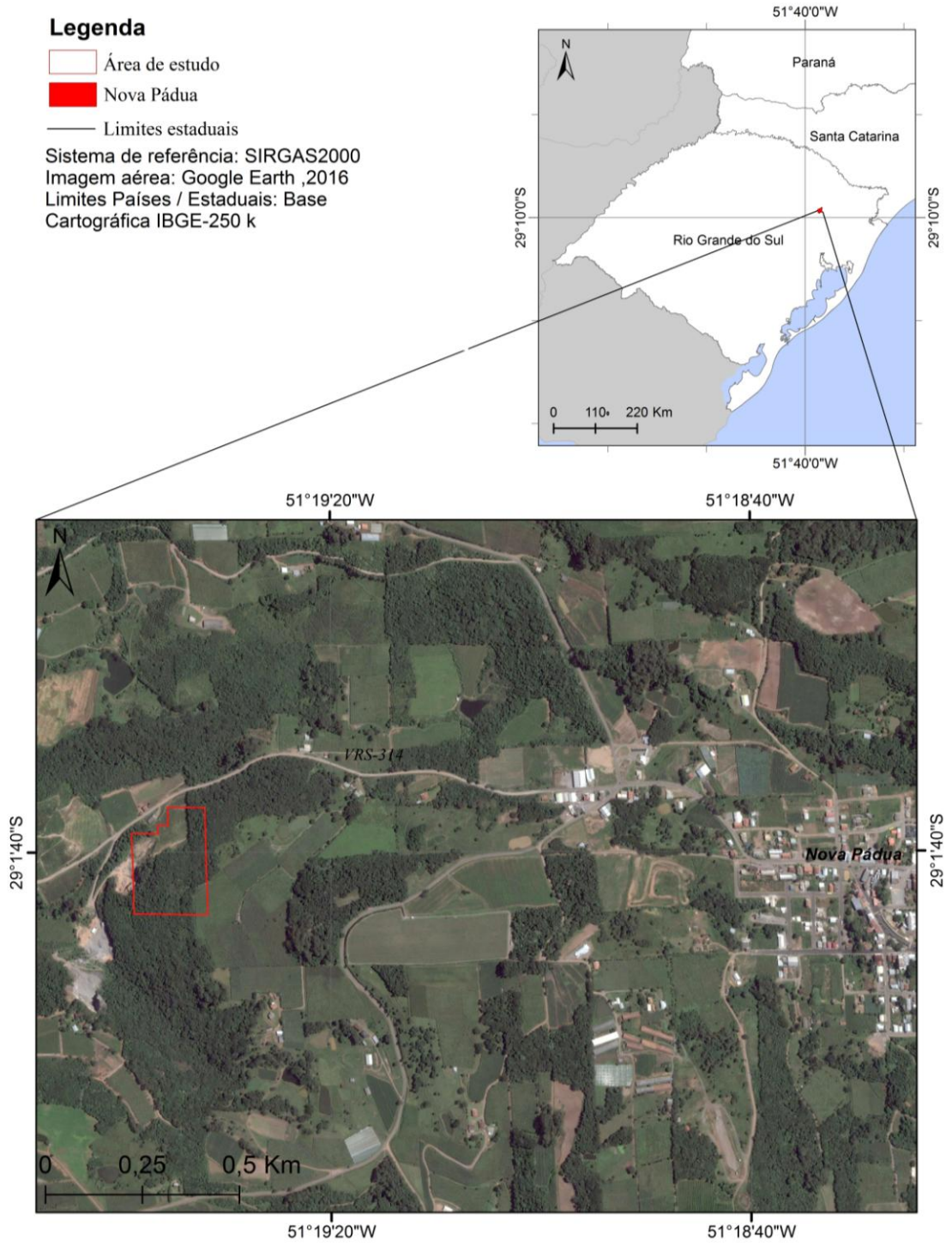


Figura 1:Localização da área de estudo. Fonte: Imagem Google Earth.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

Neste tópico serão apresentados aspectos importantes referentes ao ambiente geológico correspondente à área de estudo, a qual está inserida na Formação Serra Geral, porção superior da Bacia do Paraná.

3.1. BACIA DO PARANÁ

As Províncias Basálticas Continentais (PBC) em sua maioria foram geradas durante o Mesozoico e Cenozoico, estão relacionadas com a fragmentação de supercontinentes, conforme Coffin e Eldholm (1994) resultam da extrusão de grandes volumes de lavas geradas em fissuras na crosta continental.

A Bacia do Paraná abriga a PBC Paraná-Etendeka que é uma das maiores Províncias Basálticas do planeta, se estende pela América do Sul e África com uma área próxima de $1.3 \times 10^6 \text{ Km}^2$ e volume estimado em 800.000 Km^3 (Melfi *et al.*, 1988). Aproximadamente 90% dessa província está localizada na América do Sul no Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (Figura 2) e tem sua origem associada a fragmentação do Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico Sul durante o Cretáceo Inferior.

A Bacia do Paraná apresenta forma alongada na direção NNE-SSW com aproximadamente 1.700 Km de comprimento e 900 Km de largura, que recobre uma área de $1.600.000 \text{ Km}^2$ dos quais 80% em território brasileiro (Zalán *et al.*, 1987). Na porção brasileira, o pacote vulcânico recobre dois terços da área da bacia, que pode atingir aproximadamente 1.300m de espessura, na porção central da bacia. A disposição alongada de direção N20°E da estrutura principal da Bacia do Paraná e os arqueamentos e flexuras entre N40°W e N80°W estão relacionados com as principais estruturas do embasamento, que é dominado por estruturas de zona de cisalhamento de NE-SW e intenso padrão de fraturas e falhas extensionais segundo NW-SE (Holzet *et al.*, 2006).

O registro estratigráfico da Bacia consiste basicamente das Supersequências Depositionais (Vail *et al.*, 1977), o reconhecimento se deu a partir de descrições de superfícies de discordâncias e correlações estratigráficas em escala regional que possibilitou a subdivisão em seis unidades principais: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo) (Milani *et al.*, 1997). A Supersequência Gondwana III corresponde à Bacia Serra Geral, que são as formações Botucatu e Serra Geral, reunidas no Grupo São Bento.

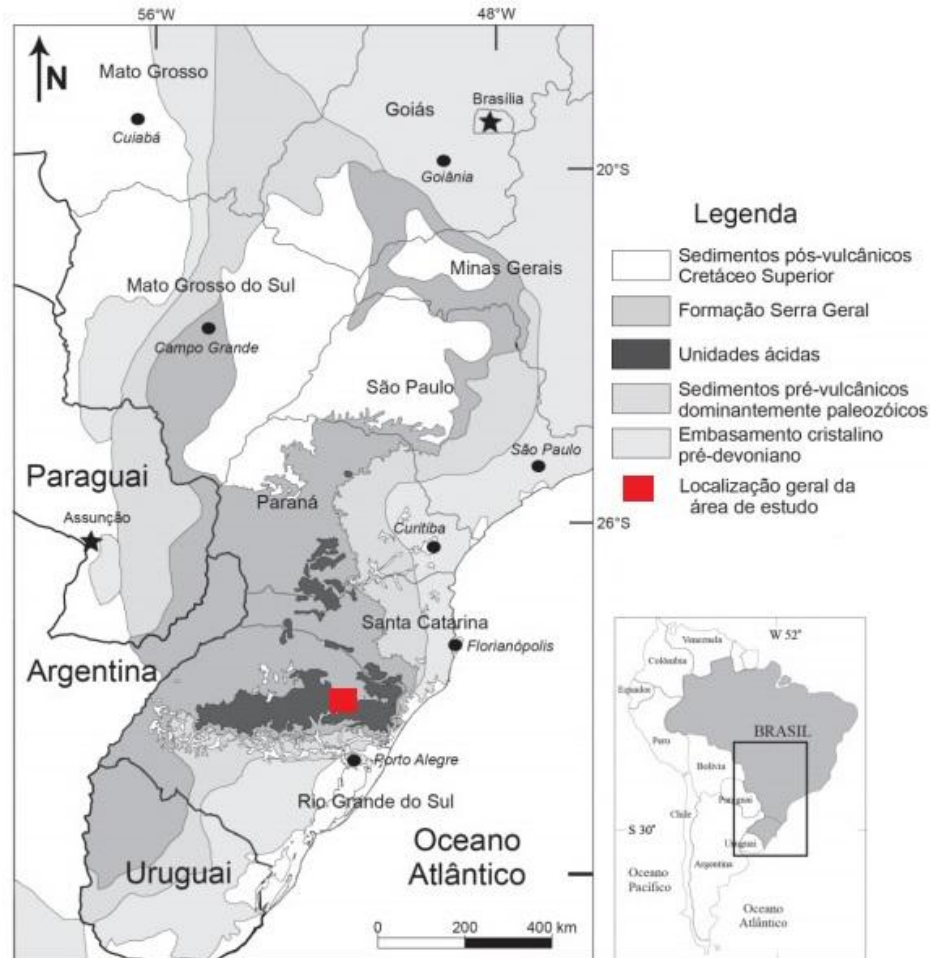


Figura 2: Mapa das formações da Bacia do Paraná com localização geral da área de estudo. Fonte: Modificado de Renner (2010).

3.2. FORMAÇÃO SERRA GERAL

A parte superior da Bacia do Paraná abriga um extenso magmatismo efusivo do Cretáceo Inferior (Hauteriviano-Valenginiano/Barremiano Inferior), com predomínio de 97,5% de rochas básicas em relação a 2,5% de rochas ácidas com litotipos intermediários pouco abundantes segundo, Harland *et al.* (1989). As unidades vulcânicas foram inseridas na Formação Serra Geral (FSG) por White (1908).

A FSG é composta por essa série de derrames que têm espessura total máxima de aproximadamente 1.700 m no centro da bacia. Segundo dados geocronológicos obtidos pelo método Ar-Ar, Renne *et al.*, (1992), Turner *et al.*, (1994), Milner *et al.*, (1995) e Mincato (2000), identificam idades entre 138 e 125 Ma, com o grande clímax vulcânico entre 133 e 129 Ma. Esses estudos permitiram identificar um intervalo de 10 Ma de anos para o magmatismo da Bacia do Paraná.

As rochas ácidas estão confinadas a margem continental (Bellieni *et al.*, 1989) e segundo Nardy (1995) podem formar sequências de até 400 metros, com espessuras individuais variando entre 20 e 80 metros. Bellieni *et al.* (1984, 1986) denominou rochas

ácidas do tipo Palmas aquelas com teores de SiO₂ entre 64 e 72% e de TiO₂ entre 0,57 e 1,23%. Este magmatismo também se caracteriza por anomalias positivas de K e enriquecimento em elementos LILE (*Large Ion Lithophile Elements*) e empobrecimento em elementos incompatíveis como Ba, Nb, Sr e Ti. As rochas ácidas do tipo Chapecó são enriquecidas em elementos incompatíveis e em terras raras leves como La, Nd e Ce (Mantovani *et al.*, 1985; Peate *et al.*, 1992; Garland *et al.*, 1995 e Nardy *et al.*, 2008) e conforme Bellieni *et al.* (1984, 1986) apresentam teores de SiO₂ entre 64 e 68% e de TiO₂ entre 0,95 e 1,59%.

As rochas ácidas estão intercaladas com as rochas de composição básica e predominam na porção superior da pilha vulcânica. As rochas básicas têm afinidade toleítica e são divididas em dois grupos com base nos conteúdos de TiO₂. Os basaltos alto Ti têm teores de TiO₂ > 2% possuem elevados teores de elementos incompatíveis como Ba, La, Ce, Zr e Y predominam nas porções centro e norte diferentemente os basaltos com baixo Ti que têm teores de TiO₂ < 2% e possuem baixos teores para estes elementos, estes prevalecem na região sul da Bacia do Paraná (Bellieni *et al.*, 1984; Mantovani *et al.*, 1985).

A FSG caracteriza-se por três litotipos conforme Bellieni *et al.* (1986b), Piccirillo *et al.* (1988), Nardy (1995) e Nardy *et al.* (2002), a porção básica é uma sequência petrograficamente homogênea, composta por rochas basálticas e andesi-basálticas toleítica, ocorrem em praticamente toda extensão da Bacia do Paraná. Os dacitos, riodacitos, quartzo latitos e riolitos, que são rochas ácidas do tipo Chapecó, têm como características ser porfiríticas a fortemente porfiríticas, com fenocristais de plagioclásio com até 2 cm de comprimento, por último as rochas ácidas do tipo Palmas, que são riolitos e riodacitos são tipicamente hipohialinas a hemihialinas, afíricas com textura 'sal-e-pimenta'.

A estratigrafia das rochas vulcânicas, segundo Waichel *et al.* (2012) pode ser caracterizada por cinco episódios, sendo eles: Episódio básico I de 0 a 70 metros, que é caracterizado por fluxos *pahoehoe* compostos, depositados sobre a Formação Botucatu. Episódio básico II com espessura total de 490 metros, que são fluxos de lavas de estrutura *pahoehoe* simples. Episódio ácido I de 155 metros, estruturas de domos de lavas. Episódio básico III de 165 metros, fluxos de lavas tabulares / lobados e estruturas de lavas a 'a'. Episódio ácido II de 880 a 1000 metros, estrutura de fluxo tabular com disjunções subhorizontais.

3.3. GEOLOGIA REGIONAL

Área abordada neste projeto está composta por rochas pertencentes ao Grupo São Bento da Formação Serra Geral, que apresenta datações radiométricas indicando idades do Cretáceo Inferior (130 – 135 Ma). As características faciológicas diferem os estágios do vulcanismo da FSG, portanto, as variadas composições desses derrames constituem o principal critério para a delimitação das fácies, que dividem, destacadamente, em rochas de composição básica (basaltos) e de composição intermediária a ácidas (dacitos, riódacitos e riolitos).

Conforme definido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais [CPRM] (2006) as fácies que pertencem à área de estudo são denominadas Fácies Caxias e Fácies Gramado, a jazida estaria inserida na Fácies Gramado como mostra a figura 3. A Fácies Gramado corresponde a um conjunto composto por cerca de 16 derrames basálticos de espessura máxima de 350 metros, aflorantes principalmente, nas bordas sul e sudeste da escarpa Serra Geral. Representa uma das primeiras manifestações vulcânicas sobre os sedimentos areníticos do Botucatu, esta fácies é composta predominantemente por rochas vulcânicas máficas que variam em níveis entre 12 e 40 metros de espessura, têm geometria tabular e níveis vesiculares desenvolvidos no topo e incipientes na base, geralmente preenchidos por zeólitas (carbonatos e saponitas), as rochas são tipicamente de grãos finos, afíricas e constituem um arranjo de cristais de plagioclásio euédrico (Wildner *et al.*, 2004). A porção central que ocupa 60-70% da espessura do pacote, se caracteriza por rochas com granulação fina a média, cinza-escuro a cinza esverdeado onde o padrão colunado é predominante (Wildner *et al.*, 2004). Frequentemente o espaço entre cristais encontra-se preenchido por vidro intersticial, podendo por vezes estar rearranjado para um mosaico decristais de plagioclásio e quartzo, estruturas de fluxo *pahoehoe* além de intercalações com o Arenito Botucatu que são comuns. Dados isotópicos de Ar- Ar indicam idades de $132,4 \pm 1,4$ Ma para esta Fácies (CPRM, 2006).

A Fácies Caxias é caracterizada por derrames de composição intermediária a ácida (riódacítica a riolítica) mesocráticos, cinza claro a esbranquiçados microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum, com disjunção tabular bem desenvolvida no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas são frequentes, as vesículas são preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata. Uma característica da Fácies Caxias é a presença dominante de vitrofiros no topo e eventualmente na base dos derrames, e a presença de fraturas perlíticas em conjunto com o desenvolvimento de níveis esferulíticos incipientes são comuns nos vitrofiros (Wildner *et al.*, 2004). As zonas esferulíticas dos vitrofiros são localizadas e caracterizam-se por cristais de quartzo e K-

feldspato extremamente finos, alongados e arranjados radialmente a partir de um núcleo comum, atingindo no máximo 1mm de diâmetro. Um dos fatores distintivos desta unidade é a presença de pequenos aglomerados de cristais, que tipicamente variam entre 0,2 e 0,5mm, imersos em uma matriz vítrea composta predominantemente de vidro e cristais de plagioclásio (Wildner *et al.*, 2004). Os dados isotópicos do tipo Ar-Ar para o Fácies Caxias indicam idades de $132,3 \pm 0,5$ Ma (CPRM, 2006).

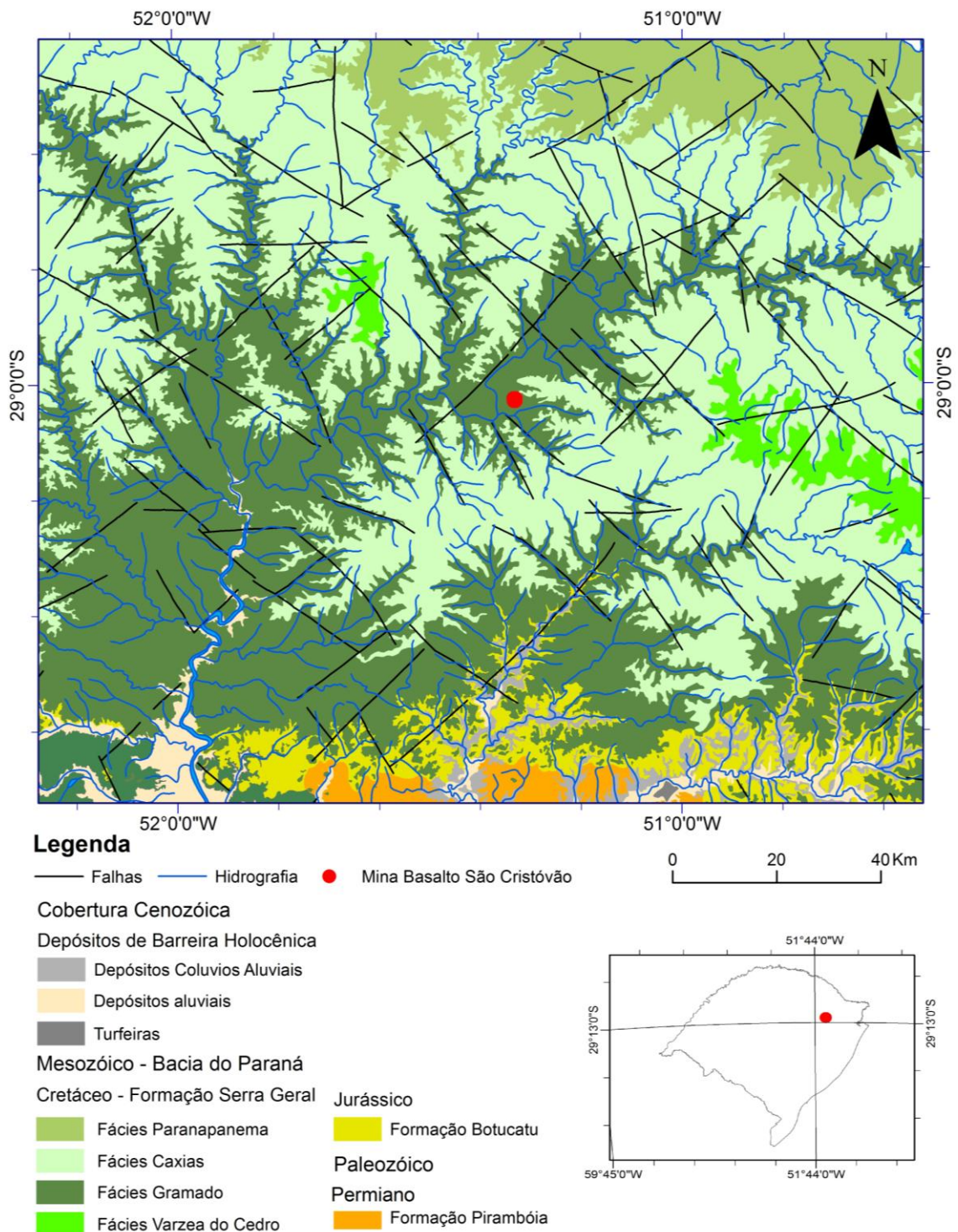


Figura 3: Mapa com a geologia geral e a localização da área de estudos. Fonte: Modificado de CPRM (2006).

4. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

Este item irá apresentar uma breve revisão a respeito dos principais conceitos que fundamentam o estudo e a pesquisa de rochas ornamentais.

4.1. NORMATIZAÇÃO E ESPECIFICAÇÕES

As normas técnicas visam à padronização dos ensaios tecnológicos que permitem a qualificação das rochas para diversos usos, possibilitando a caracterização dos mais diversos materiais de acordo com procedimentos pré-estabelecidos, propiciando a efetiva comparação entre produtos semelhantes e sua adequada comercialização. Diferentes instituições no mundo trabalham na padronização de procedimentos de ensaio, entre elas: *Comissão Europeia de Normalização-CEN*, *British Standard Institution-BSI*, *Deutsches Institut Fur Normung-DIN*, *American Society for Testing and Materials-ASTM*, Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT (Frascá, 2002). No Brasil os ensaios são normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e no Rio Grande do Sul pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagens (DAER) as especificações utilizadas são da própria ABNT (NBR-15844), ASTM (C 615), DNIT e DAER os resultados dos ensaios realizados devem ser comparados com os valores fixados nas especificaçõesafim de validar a qualidade da rocha.

O conhecimento das propriedades intrínsecas, do meio físico, e as solicitações de uso ao qual a rocha ficará submetida definem suas qualificações, e a viabilidade de uso ornamental ou para revestimento, o uso indevido dos materiais pétreos pode comprometer a resistência e a estética, conseqüentemente, implicações econômicas e de segurança (Menezes&Larizzatti,2005).Frascá (2002) propôs ensaios fundamentais para a caracterização tecnológica de rochas ornamentais, esse conjunto básico de ensaios (tabela 1) que simulam as solicitações as quais a maioria das rochas de revestimento estará submetida, desde a extração até a aplicação de cargas que poderá vir a suportar em determinado uso. As técnicas permitem conhecer as propriedades das rochas isoladamente ou em conjunto e de forma direta ou indireta, Frásca (2002) também menciona às propriedades que devem ter preferência perante as várias situações de uso das rochas ornamentais, a escolha e utilização de rochas em revestimento conforme o emprego, a tabela 2 apresenta os ensaios mais importantes de acordo com o uso final dado a rocha.

Tabela 1: Conjunto básico de ensaios tecnológicos e a respectivas normas. Adaptado de Frásca (2002).

| Ensaio | Norma ABNT | Norma Internacional |
|--|------------|----------------------|
| Análise Petrográfica | NBR 12.768 | BS EN 12407 |
| Índices Físicos | NBR 12.766 | ASTM C97 |
| | | BS EN 1936 |
| | | ASTM C121 (ardósias) |
| Compressão uniaxial | NBR 12.767 | ASTM C170 |
| | | BS EN 1926 |
| Congelamento e Degelo | NBR 12.769 | BS EN 12372 |
| Tração na flexão | NBR 12.763 | ASTM C99 |
| | | BS EN 12372 |
| Dilatação térmica linear | NBR 12.765 | - |
| Desgaste abrasivo | NBR 12.042 | ASTM C241 |
| | | ASTM C1352 |
| Flexão | - | ASTM C880 |
| | | ASTM C120 (ardósias) |
| Impacto de corpo duro | NBR 12.764 | - |
| Velocidade de propagação de ondas | - | ASTM D2845 |

Tabela 2: Ensaios sugeridos conforme emprego. Adaptado de Frásca (2002).

| Função de Revestimento | Pisos | | Paredes | | Fachadas | Tampos |
|-------------------------------|-------|------|---------|------|----------|--------|
| | Ext. | Int. | Ext. | Int. | | |
| Tipo de rocha | X | X | X | X | X | X |
| Absorção d'água | X | X | X | X | X | X |
| Desgaste Abrasivo | X | X | | | | |
| Flexão | X | X | | | X | X |
| Compressão | | | X | X | X | |
| Dilatação Térmica | X | X | X | X | X | |
| Acabamento Superficial | X | X | | | X | |
| Alterabilidade | X | X | | | X | X |

4.2. CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES

As rochas ornamentais têm as mais variadas definições, a ABNT (2003) define rocha ornamental como material rochoso natural submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética. Para a ASTM esse termo corresponde a *monumental stone* e são definidas como rochas de qualidade adequada para serem lavradas e cortadas, são usadas pela indústria de monumentos e memoriais. As rochas para revestimento, segundo a ABNT (2003), são materiais rochosos naturais selecionados, beneficiados, com acabamento em formato e tamanho adequado para atender os requisitos exigidos para fins estruturais ou arquitetônicos e para a ASTM o termo corresponde a *building stone* definidas como rochas naturais, com qualidades necessárias para serem lavradas e cortadas como rocha dimensionada como existe na natureza e utilizada

na construção civil. Com base nos conceitos da ABNT e ASTM Frascá (2002) conceitua rocha para revestimento como um produto de desmonte de materiais rochosos e de seu subsequente desenvolvimento em chapas, posteriormente polidas e cortadas em placas.

Deste modo, entende-se que o conceito de rocha ornamental e de revestimento está fundamentado em algum método de extração e possibilidade de aplicação, sendo assim qualquer material pétreo natural, passível de extração e com possibilidade de desdobramentos em chapas tem potencial para ser usada como rocha ornamental ou de revestimento (Menezes & Larizzatti, 2005).

Em termos comerciais as rochas designadas à ornamentação são classificadas genericamente como granitos e mármore, essas são as duas principais categorias que correspondem amplamente pelas variedades de rochas ornamentais e de revestimento comercializadas, distinguidas com base na sua composição mineralógica. A norma ABNT NBR 15844 (2010) considera granitos, tanto para efeito desta norma como para a norma ABNT NBR 15845 (2010), que normatiza os métodos de ensaios, o *granito stricto sensu*, que são rochas magmáticas de granulação média a grossa, constituídas por quartzo e feldspato (feldspato potássico e plagioclásio) com minerais acessórios como biotita, muscovita, anfibólio e piroxênio, e também os gnaisses, sienitos, charnockitos, dioritos, gabros, diabásios, basaltos e outras rochas assemelhadas.

4.3. ROTEIROS DE PESQUISA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A carência de estudos no sentido de identificar e qualificar os materiais a serem explorados para fins ornamentais juntamente com o desconhecimento de métodos e tecnologias adequadas ao tipo de jazida por vezes contribui de forma negativa para insucessos em projetos de mineração. Quando comparada a pesquisa de outros bens minerais, a pesquisa de rocha ornamental apresenta características próprias e quase sempre, a valorização do bem mineral está atrelada a aparências visuais como cor, tamanho, forma dos grãos e as propriedades físicas da rocha (Valadão *et al.*, 2010).

Sales e Morais (2003) indicam as principais diretrizes a serem adotadas em uma pesquisa de rochas ornamentais, a figura 4 apresenta o esquema geral do plano de trabalho para investigação de rochas ornamentais proposto por esses autores. O modelo se baseia em seis etapas que contemplam desde a revisão de informações da área de pesquisa até o planejamento da lavra. Os autores atentam que a queima de etapas visando erroneamente diminuir custos pode impactar de forma negativa o empreendimento, muitas vezes gerando perda de lucratividade e competitividade, podendo chegar ao abandono da extração.

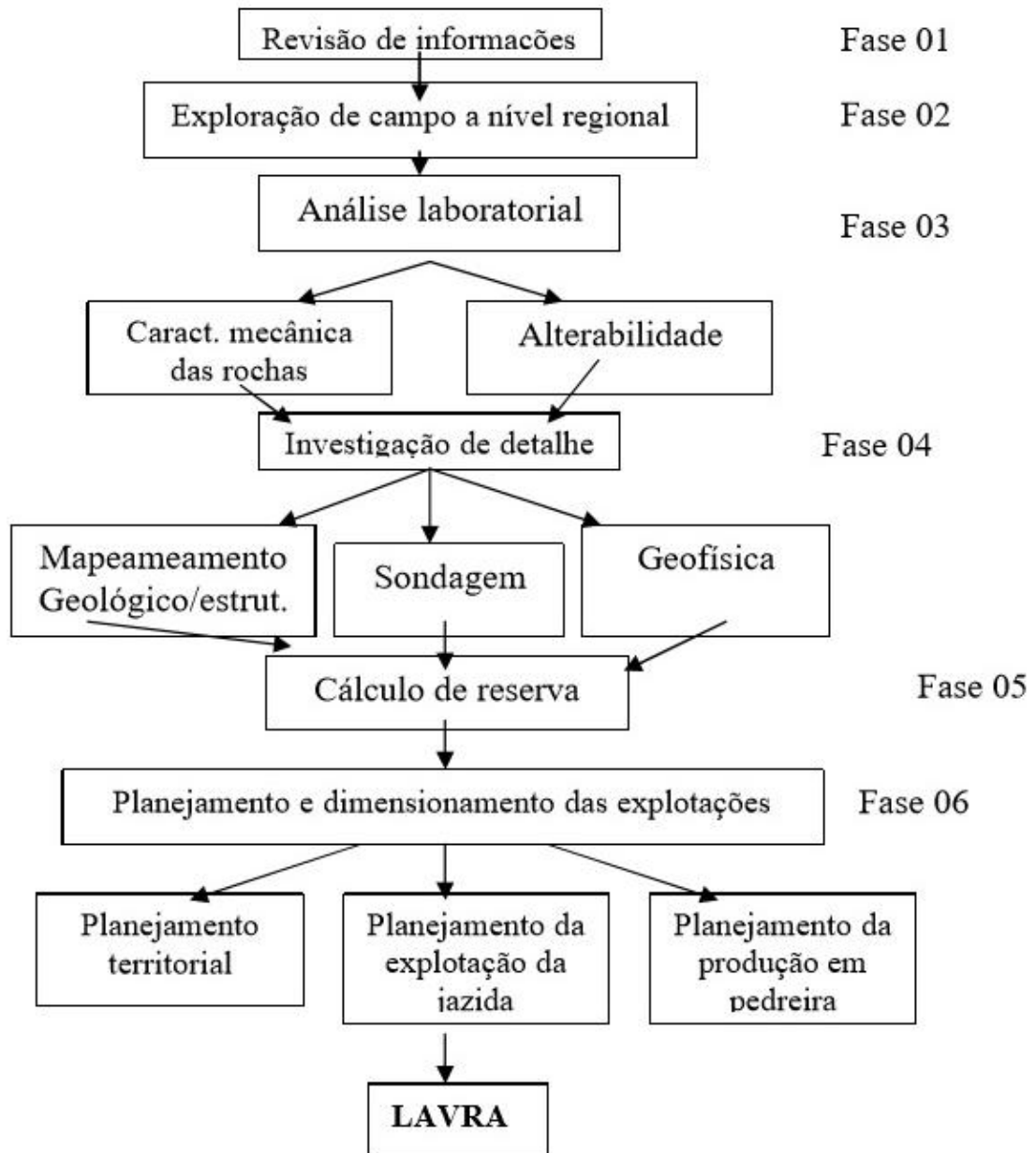


Figura 4: Modelo de plano de trabalho para pesquisa de rochas ornamentais. Fonte: Sales e Morais (2013).

Segundo Matta, Veras e Correia (2006) é imprescindível adotar alguns elementos fundamentais para o sucesso e aprovação do relatório de pesquisa geológica junto ao DNPM, dentre esses elementos estão: relatório e reconhecimento preliminar de campo, levantamento topográfico de detalhe, mapeamento geológico de detalhe com representação das principais feições geológicas de campo, sondagens rotativas, avaliação da espessura visando à cubagem do corpo, caracterização tecnológica das rochas e a cubagem da jazida.

Os modelos indicam a importância do conhecimento prévio das áreas para exploração de rochas ornamentais, de tal maneira a evitar imprevistos durante a fase de lavra como para a melhor qualidade do produto final com menor geração de resíduo. Evidenciam o conhecimento do profissional geólogo, durante toda a fase de pesquisa, o que por diversas vezes não é dada devida importância por empresas de mineração de rochas ornamentais.

5. METODOLOGIA

Este item abordará a metodologia utilizada e a estratégia de ação desenvolvida neste projeto. A síntese da metodologia utilizada no projeto está simplificada na figura 5.

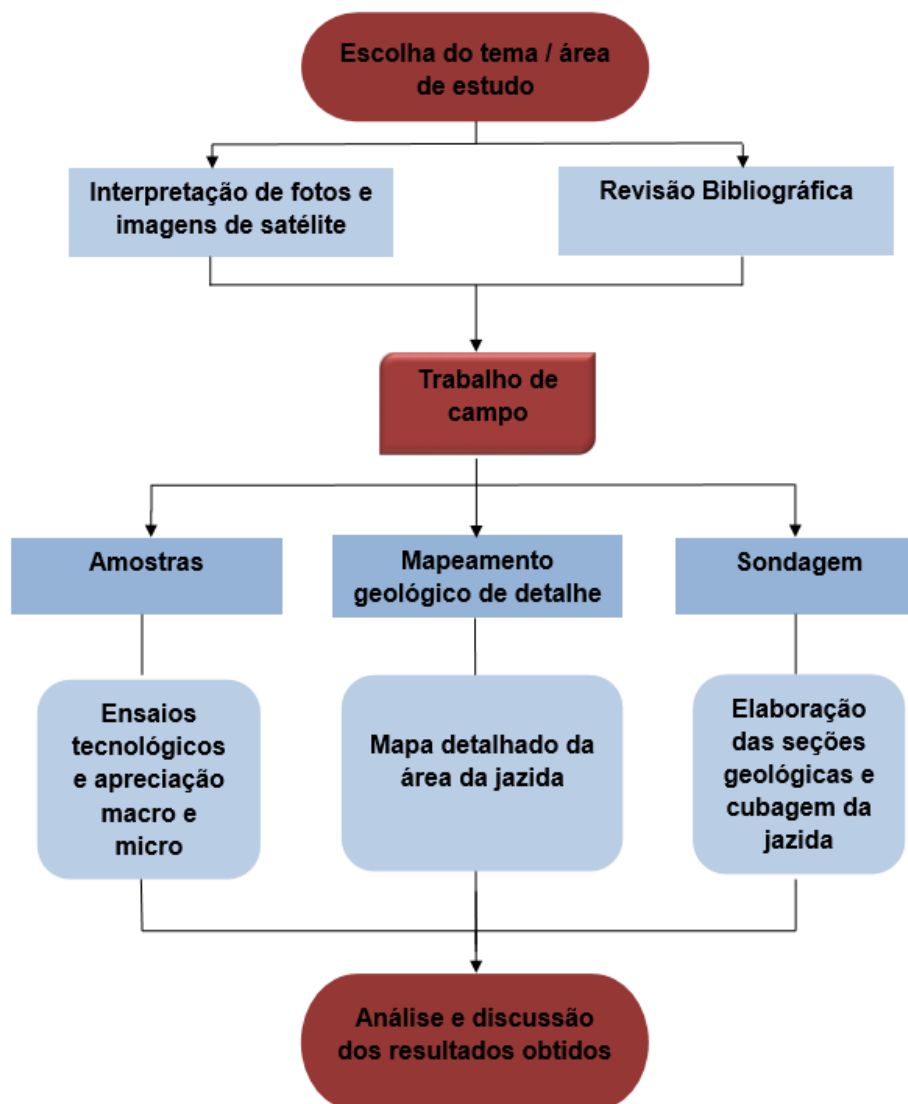


Figura 5: Fluxograma síntese da metodologia.

5.1. REVISÃO DE INFORMAÇÕES

A etapa inicial do projeto consistiu na revisão bibliográfica pertinentes à área de estudo, como artigos científicos, dissertações, livros, anais de congresso, mapas geológicos e estruturais. Além disso, métodos e roteiros para pesquisa de rochas ornamentais e pesquisa das normas e especificações técnicas ABNT, ASTM, DAER, DNIT referentes ao conjunto de ensaios a serem realizados. Simultaneamente a pesquisa bibliográfica realizou-se a interpretação de fotos aéreas, em escala 1:60.000 e imagens de satélite, utilizando o programa *Google Earth Pro*. A interpretação das fotos e das imagens do *Google Earth* foi imprescindível para identificação dos principais lineamentos da região e para etapa de campo.

5.2. TRABALHO DE CAMPO

A etapa de campo consistiu no mapeamento geológico de detalhe, caracterizando os aspectos estruturais, texturais e mineralógicos da área. Esta atividade foi realizada em duas etapas, a primeira ocorreu no dia 26 de janeiro de 2016 para reconhecimento do local de estudo e coleta de amostras para os primeiros ensaios. A segunda atividade de campo ocorreu nos dias 01 e 02 de junho de 2016 e teve por finalidade a realização do mapeamento de detalhe da área, com o levantamento de um perfil geológico para identificar os eventos vulcânicos que ocorreram na região localizando a jazida no corpo mineral, identificando estruturas de fluxo e de alinhamento mineral. Foram descritos 22 pontos com afloramentos de rocha (Figura 6). Durante os trabalhos de campo foram coletadas amostras das litologias para confecção de laminas petrográficas, descrição macroscópica, e ensaios tecnológicos. Nesta etapa foram descritos os três furos de sondagens realizados pela BSC, com a finalidade de realizar as seções geológicas.

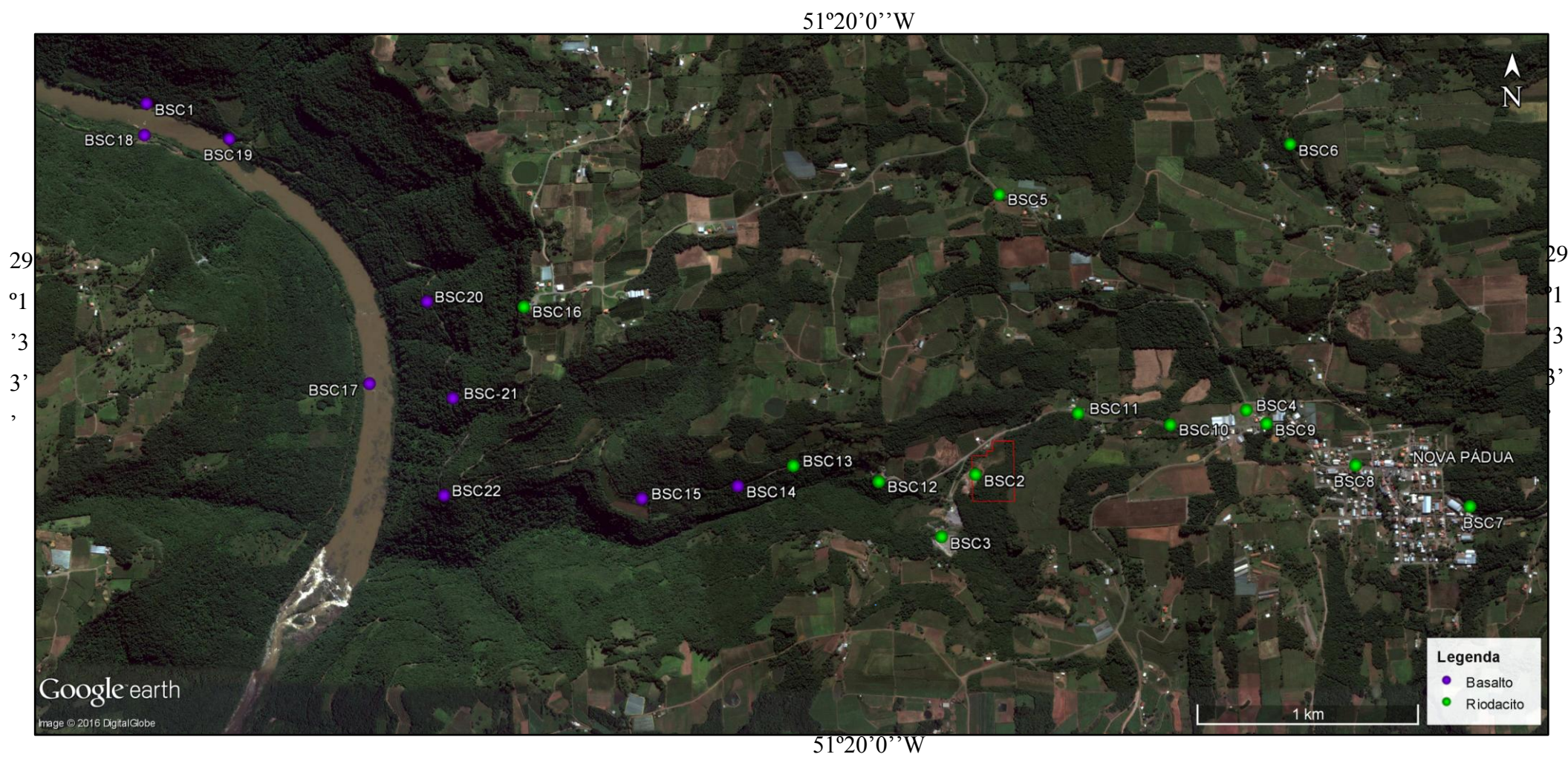


Figura 6: Localização dos pontos descritos e área da jazida. Fonte: Imagem *Google Earth*, 2016.

5.3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E TECNOLÓGICA

O conjunto de ensaios realizados neste projeto considerou recomendações de autores que avaliaram como básicos para caracterização mecânica e tecnológica da rocha para uso ornamental. Conforme Frascá (2002) esses ensaios visam simular as solicitações que a maioria das rochas ornamentais será submetida durante todo processo até seu uso final, seja extração, esquadreamento, serragem dos blocos em chapas, polimento das placas, exposição às intempéries climáticas, assim como determinar as propriedades físicas e físico-mecânicas das rochas, como exemplo, densidade, porosidade, dureza.

Em conjunto aos ensaios destinados a rocha ornamental, este projeto de pesquisa realizou ensaios em agregado. Os ensaios em agregado oferecem suporte para a avaliação econômica da jazida mineral, têm por finalidade avaliar se o rejeito da exploração ou beneficiamento tem propriedades para utilização da rocha como material de base e sub-base de pavimentação de rodovias, ou para concreto. A utilização do rejeito como produto acarreta para a jazida mais economia através da diminuição de custos no acondicionamento desse material juntamente com a diminuição dos riscos de problemas ambientais que podem ser gerados.

Os ensaios foram realizados nos laboratórios de Mecânica de Rochas do Departamento de Geotécnica da Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - CIENTEC, nos laboratórios do Instituto de Geociências – IGEO e no Laboratório de Pavimentação – LAPAV da UFRGS, foram utilizados os procedimentos de caracterização e padronização dos métodos de ensaio das normas e especificações da ASTM, ABNT, DAER e DNIT.

5.3.1 ENSAIOS PARA AGREGADOS

Determinação de índices físicos

O objetivo do ensaio é avaliar, indiretamente, o estado de alteração e de coesão das rochas através das propriedades de massa específica aparente seca/saturada (g/cm^3) e absorção d'água (%) (Frascá, 2002).

Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia [ABGE] (2013) a massa específica da rocha constitui num importante diagnóstico para caracterização tecnológica, indicando o estado de sanidade do material pétreo, pois rochas alteradas apresentam massas específicas menores que rochas no estado são.

A porosidade da rocha também é fator determinante no grau de absorção, influenciando a resistência do agregado. Pode-se dizer que para um mesmo tipo petrográfico os

valores de resistência mecânica decrescem a medida que a absorção de água aumenta, estes parâmetros são determináveis pela pesagem de corpos de prova nos estados seco, saturado e saturado em condição submersa ABGE (2013).

O ensaio de índices físicos foi executado conforme a norma ABNT NBR NM 53 (Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água). Foram ensaiadas duas massas (g) de agregado graúdo com aproximadamente 4,500 gramas cada. Após a determinação de massas secas, massas saturadas e massas submersas utilizou-se os valores obtidos para realizar os cálculos, conforme as expressões que constam na norma.

Absorção de água aparente:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100$$

Massa específica aparente seca:

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \times 100$$

Massa específica saturada:

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a}$$

Massa específica:

$$d_a = \frac{m}{m - m_a}$$

Em que:

A - Absorção de água (%);

m_s - Massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

m - Massa da amostra após secagem em estufa (g);

d - Massa específica do agregado seco (g/cm^3);

m_a - Massa do corpo de prova submerso em água da amostra (g);

d_s - Massa específica do agregado na condição saturada superfície seca (g/cm^3);

d_a - Massa específica aparente (g/cm^3).

Abrasão Los Angeles

O ensaio de Abrasão Los Angeles tem por objetivo quantificar a resistência do agregado a degradação, medindo a capacidade do agregado em não se alterar quando sofrer algum tipo de basculamento, estocagem ou carregamento. A resistência a abrasão é uma característica que depende da porosidade, composição química e mineralógica da rocha, portanto, a interpretação dos resultados deve sempre levar em conta a composição mineralógica, estrutura e a aplicação do agregado.

O ensaio foi executado conforme a norma ABNT NBR NM 51 (Agregado graúdo-Ensaio de Abrasão Los Angeles), e consistiu em colocar o agregado na máquina Los Angeles junto com a carga abrasiva, dez esferas com peso e tamanho padronizados segundo a norma, e submeter à máquina a girar o tambor até completar 500 rotações.

A perda por abrasão sofrida pelo agregado é expressa pela porcentagem em peso, então quanto maior for o valor de porcentagem menor será a resistência do agregado. O resultado do ensaio é expresso através do cálculo:

Desgaste Los Angeles:

$$p = \frac{m - m_1}{m} \times 100$$

Onde:

p - Abrasão Los Angeles;

m - Massa total da amostra seca (g);

m_1 - massa total lavada e seca, após ensaio

Sanidade

Segundo ABGE (2013), os Ciclo de saturação em solução de sulfato de sódio visam constatar a resistência dos agregados à expansão, que ocorre por cristalização de sais nos poros, pois a solução penetra nos interstícios da rocha fazendo com que íons se cristalizem e exerçam pressões nas paredes dos poros e nas microfissuras. Quanto maior o estado de alteração do agregado, maior será sua porosidade e, portanto, maior será a possibilidade de desagregação. Deste modo, o ensaio de sanidade avalia a durabilidade do material, determinando a resistência do agregado ea desintegração química e ao intemperismo, qualificando o estado de integridade e o possível comportamento deste agregado no pavimento.

O ensaio (figura 7) foi executado segundo a norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [DNERME 089] é realizado em 12 frações distintas de agregado, com tamanho de partícula entre 0,30mm - 63,5mm e consiste na imersão do agregado em solução saturada de sulfato de sódio seguido por secagem em estufa repetidas vezes até o 5º ciclo. O resultado após o 5º ciclo é calculado em perda de peso do agregado.



Figura 7: Agregados durante processos do ensaio de sanidade.

Adesividade

O ensaio de adesividade tem por finalidade observar a resistência entre a ligação agregado - asfalto. A rocha poderá apresentar maior ou menor capacidade de fixação do betume na sua superfície e isso dependerá da natureza petrográfica e do seu estado de alteração (ABGE,2013).

O ensaio (figura 8) foi executado segundo a norma ABNT NBR 12583 (Agregado graúdo- Verificação da adesividade a ligante betuminoso), e consiste em recobrir totalmente o agregado com uma película betuminosa e o submeter durante 72 horas a imersão em água destilada a 40 °C. O resultado avaliado pelo não deslocamento da película betuminosa pode ser satisfatório, quando não ocorre descolamento, ou não satisfatório, quando existe descolamento parcial ou total da película.



Figura 8: A) agregado para ensaio de adesividade. B) ensaio em andamento, agregado sendo recoberto com película betuminosa. C) agregado durante o ensaio coberto com película betuminosa e imerso em água destilada.

5.3.2 ENSAIO PARA ROCHA ORNAMENTAL

Determinação de índices físicos

O ensaio tem por objetivo avaliar as propriedades de densidade, porosidade e absorção d'água através de massa específica aparente seca / saturada (Kg/cm^3) porosidade aparente (%) e absorção d'água (%) (Frasca, 2003).

O ensaio de índices físicos (figura 9) foi executado conforme a norma ABNT NBR NM 15845 (Rochas para revestimento – Densidade aparente, porosidade, absorção de água-anexo B). Foram ensaiados cinco corpos de prova (g), e após a determinação de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água utilizou-se os valores obtidos para realizar os cálculos, conforme as expressões que constam na norma.

Densidade aparente:

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 100$$

Porosidade aparente:

$$n_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 100$$

Absorção de água:

$$\alpha_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100$$

Em que:

α_a - Absorção de água (%);

M_{sec} - Massa da amostra na condição seca (g);

M_{sat} - Massa do corpo de prova saturado (g);

M_{sub} - Massa do corpo de prova submerso em água (g);

ρ_a - Densidade aparente do corpo de prova (Kg/cm^3);

n_a - Absorção de água (%).

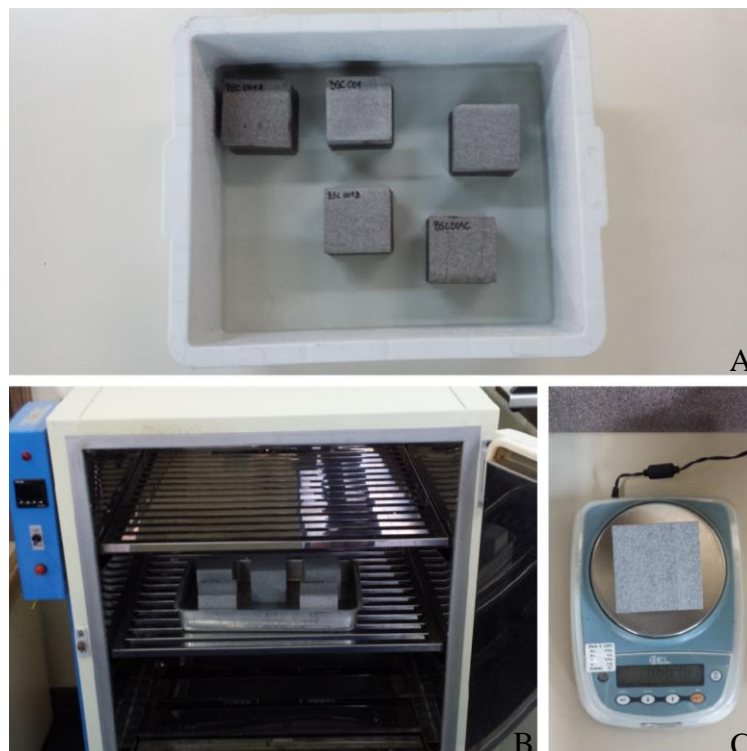


Figura 9: Processo de ensaio para índices físicos: A) saturação 48h. B) estufa até obter massa constante. C) pesagem de massa seca.

Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais

Conforme Frásca (2002) a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (m/s) permitem avaliar, indiretamente o grau de alteração e coesão das rochas, deste modo, detecta a presença de discontinuidades como fraturas, vesículas, etc. A utilização

do *Portable Ultrasonic Non Destructive Digital Indicating Teste (PUNDIT)*, equipado com transdutores de frequência de pulso de 54 KHz, tem como vantagem ser um dos poucos ensaios não destrutivos disponível para verificação de propriedades dos materiais pétreos.

Os ultra-sons são ondas elásticas da mesma natureza das ondas sonoras, porém com frequência que não estão ao alcance da percepção humana, a velocidade é medida com base no tempo de trânsito percorrido entre um emissor e um receptor por uma onda sonora numa distância conhecida.

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas foi efetuada em todos os corpos-de-prova após o primeiro, após o décimo quinto e após o último ciclo do ensaio de congelamento e degelo, e em rochas em estado de saturação durante 48h. A velocidade de ondas ultrassônicas foi determinada segundo o comprimento dos corpos-de-prova e paralelo a estrutura conforme ilustra a segunda imagem da figura 10. O emprego do *PUNDIT* durante o ensaio de congelamento e degelo evidencia as variações da propagação da onda durante o decorrer do ensaio.

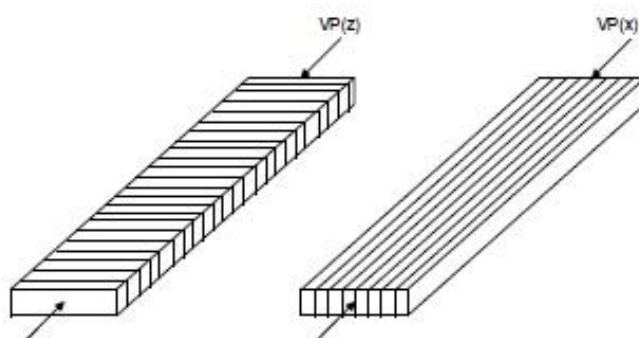


Figura 10: Direção de comprimento das medidas realizadas do ensaio de velocidade de ondas ultrassônicas, horizontais ou paralelas a estrutura da rocha. Fonte: Frásca, 2003.

Congelamento e degelo

Este método é recomendado para rochas ornamentais que serão submetidas a climas extremos, principalmente as que se destinam à exportação para países de clima temperado, porque é através deste ensaio que se verifica a eventual perda de resistência que a rocha sofre após um determinado número de ciclos de congelamento e descongelamento.

A norma utilizada para realizar o ensaio foi a ABNT NBR 15845 (Rochas para revestimento- Resistência ao congelamento e degelo - anexo D) que consiste em submeter os corpos-de-prova, submersos, ao congelamento durante (16 ± 1) h em temperatura de até -15 °C

repetindo este procedimento de congelamento e degelo por 25 ciclos (figura 11). Após os 25 ciclos submeteu-se os corpos-de-prova ao ensaio de flexão três pontos, para se verificar a eventual queda de resistência, que também pode ser apurada observando os resultados do ensaio de propagação de ondas ultrassônicas.

Com os valores do ensaio de flexão três pontos em amostras que não foram submetidas ao congelamento e degelo e nas que foram utilizadas neste ensaio pôde-se obter o coeficiente de enfraquecimento (K), calculado pela relação:

$$k = \frac{\sigma_{cd}}{\sigma_{nat}}$$

Onde:

σ_{cd} : É o valor médio da resistência mecânica dos corpos-de-prova após o ensaio de congelamento e degelo.

σ_{nat} : É o valor médio da resistência mecânica dos corpos-de-prova não submetidos ao ensaio de congelamento e degelo.



Figura 11: Ensaio de congelamento/degelo. A) amostras saturando B) amostras no freezer para congelamento a -15°C C) amostras após 2º ciclo de congelamento.

Flexão três pontos

O ensaio de flexão três pontos (figura 12) permitem obter as propriedades de módulo de elasticidade, resiliência, tenacidade e ruptura a flexão. Estas informações são subsídios para dimensionar tamanho e espessura das placas destinadas a revestimento de fachadas e em conjunto o sistema de ancoragem utilizado.

Segundo Frascá(2002) este ensaio simula esforços flexores (MPa) em placas com espessura pré-determinadas, deste modo, consiste na aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de uma barra, e como resultado mede-se o valor da carga versus a deformação máxima que a rocha suportou até sua ruptura.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 15845 (Rochas para revestimento-Módulo de ruptura, flexão por carregamento em três pontos- anexo F) e consistiu em submeter os corpos-de-prova de dimensões num sistema de carga MTS 810 servocontrolado, com capacidade de carga de 250kN a uma taxa de carregamento 4kN/minuto. O ensaio foi realizado nas amostras após o ensaio de congelamento e degelo e em amostras que não foram submetidas a nenhum outro tipo de ensaio, apenas saturadas durante 48h. A resistência a tração na flexão (σ_f) é dada pela seguinte equação:

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot p \cdot l}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

Em que:

P- Carga da ruptura em (N)

L-Distância entre os apoios (m)

b- Largura (m)

d- Altura (m)



Figura 12: Ensaio de flexão três pontos.

Resistência à compressão uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos (figura 13). Este ensaio se destina ao uso do material como elemento estrutural obtendo parâmetro de resistência para uso em revestimento de edificações Frascá (2002).

O teor de umidade influencia na resistência a compressão, uma rocha em estado saturado terá menor resistência que no estado seco, assim como as dimensões dos grãos, estrutura da rocha como estratificação ou bandamento (Paraguassú *et al.*, 2014).

O ensaio foi realizado conforme a norma ABNT NBR 15845 (Rochas para revestimento-Resistência a compressão uniaxial – anexo E) em corpos-de-prova com formatos regulares (relação base altura 1:1) com capacidade de carga de 2,0 MN, e carregados a uma taxa lenta (1mm/ minuto) e progressiva até sua ruptura. Todos os corpos de prova foram ensaiados na condição saturada por 48h.

A resistência a ruptura é calculada pela relação entre a carga de ruptura e a área do corpo-de-prova, conforme a fórmula:

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

Onde:

C - Resistência a compressão (Mpa);

P - Carga total de ruptura (N);

A - Área de aplicação do corpo-de-prova (mm²);

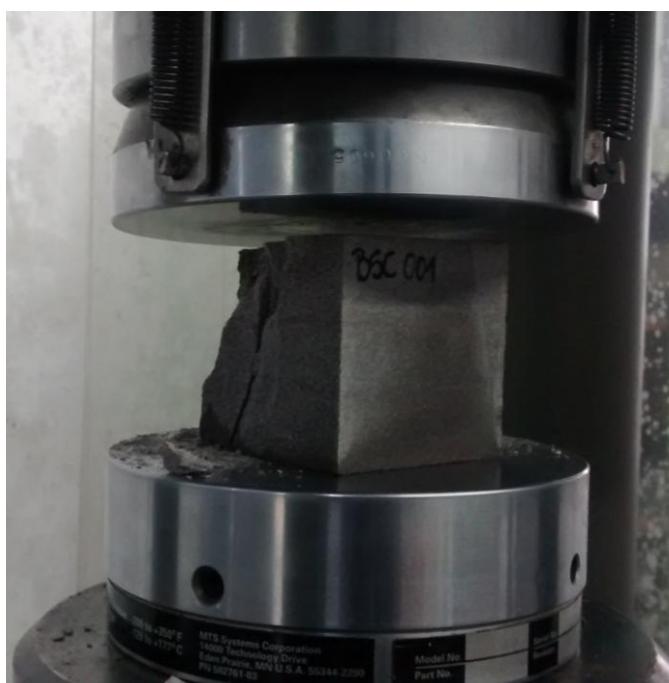


Figura 13: Ensaio de resistência a compressão uniaxial.

Resistência ao impacto de corpo duro

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro é um indicativo da tenacidade da rocha e fornece a resistência ao impacto e sua capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas, é uma característica importante na qualificação para o uso de rochas na construção civil, (pisos, balcões, pias, etc.), pois simula a queda de um objeto na placa de rocha.

O ensaio foi realizado conforme a norma ABNT NBR 15845 (Rochas para revestimento-Resistência ao impacto de corpo duro- anexo H) e consiste em alçar uma esfera de aço, com 1kg e 6 cm de diâmetro, a 20 cm iniciais, essa distância é a distância entre o corpo de prova e o centro da massa da esfera, e abandona-la em queda livre, repetindo o processo para intervalos crescentes de altura de 5 cm até provocar o fissuramento, fraturamento e quebra da placa de rocha.

5.4. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A análise petrográfica de uma rocha ornamental é essencial para evidenciar as características que podem influenciar no comportamento do material tanto na fase de beneficiamento quanto na sua utilização com o decorrer do tempo, Sales & Morais (2003). Realizada através de exames macroscópicos e microscópicos que permitem a identificação, quantificação e determinação das inter-relações dos minerais essenciais, como também, o seu grau de alteração, deformação, textura, granulação e estado microfissural. Frequentemente é através da análise petrográfica que se esclarecem as diferenças nas propriedades físicas e/ou mecânicas de rochas aparentemente semelhantes.

Neste projeto a caracterização petrográfica foi realizada com dois enfoques, o macroscópico e o microscópico. A descrição macroscópica foi realizada durante a etapa de campo e relatou feições, mineralogia, estrutura, alteração aparente e cor, essa descrição auxiliou na seleção das amostras representativas da área para a confecção das lâminas delgadas.

Foram confeccionadas 5 lâminas petrográficas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da UFRGS, e para a análise utilizou-se microscópio binocular do Departamento de Petrologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, utilizou-se lentes de aumento variáveis com as técnicas de luz natural (LN) e de luz polarizada (LP) para as descrições. Descreveu-se aspectos como composição mineralógica observando quantidade de minerais essenciais, acessórios e de alteração,

relações texturais, granulometria, microfraturamento, intercrescimentos, grau de vitrificação e de intemperismo.

Para registro das principais texturas e características da rocha, foram obtidas fotomicrografias de todas as lâminas petrográficas.

5.5. SONDAGEM ROTATIVA

As sondagens rotativas fornecem informações importantes sobre o perfil litológico a grandes profundidades. A descrição geotécnica dos testemunhos de sondagem busca caracterizar a litologia, estrutura, grau de sanidade do corpo rochoso e grau de alteração. É através dos testemunhos de sondagem que proveem as informações da recuperação, grau de fraturamento e índice de qualidade da rocha.

Foram realizados três furos de sondagem, pela BSC durante a fase de pesquisa da jazida, com diâmetro de furo NX (55mm) o primeiro com 5,80 m, o segundo com 15,84 m e o terceiro com 21 m que estão localizados na parte sul da área de estudos. Foi realizada a descrição e análise dos furos de sondagem e posteriormente realização de perfis geológicos.

5.6. TÉCNICA DE CUBAGEM

A cubagem da reserva foi realizada em toda área da jazida, 4,66 hectares. Como não foi possível obter curvas de nível de detalhe da área, estabeleceu-se uma espessura de rocha de 24 metros e espessura de solo de 6 metros, com base na sondagem 2 com 15,84 metros, na cota da base da jazida de 552 metros e na cota 583 metros do ponto 3, adjacente a área. Estipulou-se uma cota única para toda área da jazida, devido à falta de exatidão essa indicação volumétrica no trabalho é considerada como uma cubagem inferida.

6. RESULTADOS

Este tópico abordará os resultados obtidos da análise estrutural, mapeamento geológico de detalhe da área, ensaios de caracterização tecnológica, caracterização mineralógica e avaliação da jazida através da cubagem. Os resultados dos ensaios por vezes estão dispostos através de gráficos para comparações com as especificações nacionais e internacionais, bem como comparações de ensaios realizados em rochas semelhantes.

6.1. ANÁLISE ESTRUTURAL

Os lineamentos foram traçados em fotografias aéreas na escala de 1:60.000 e através de imagens de satélite do programa *Google Earth* (figura 14).

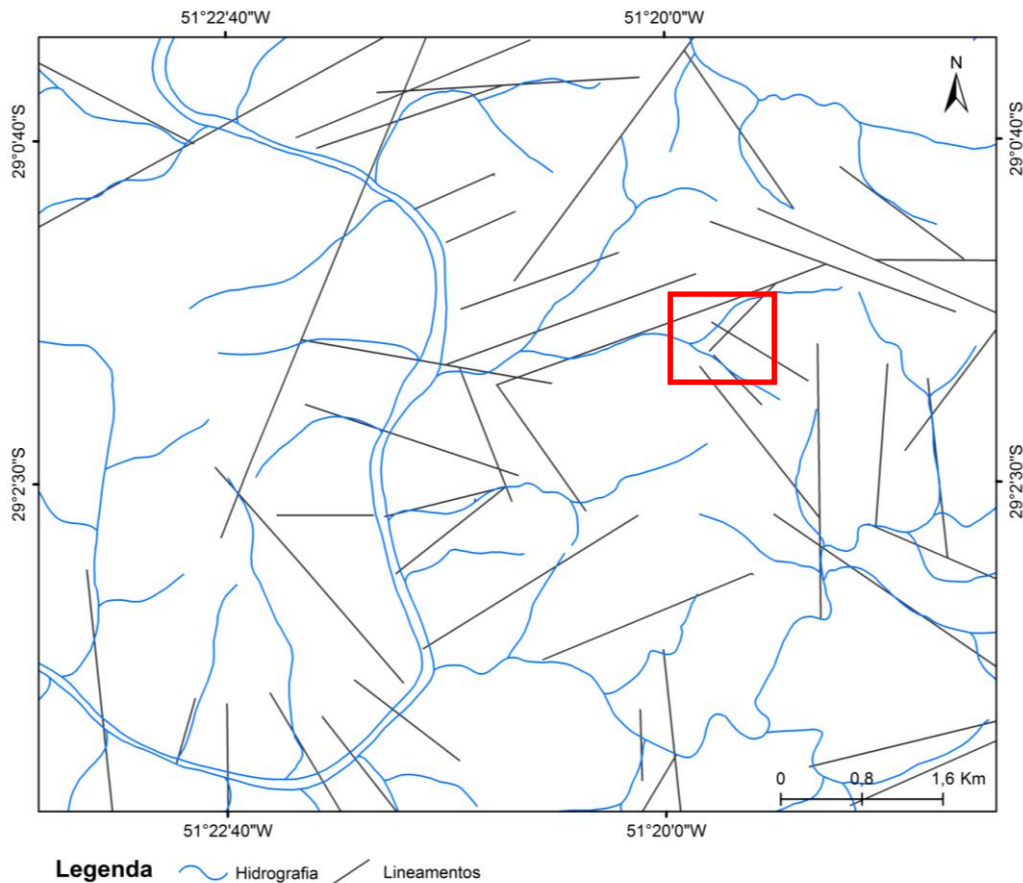


Figura 14: lineamentos traçados observando fotos aéreas e imagens do Google Earth, em vermelho localização geral da área da jazida.

Através da interpretação das imagens de terreno e das fotografias aéreas foram identificados 47 lineamentos na área estudada, é possível verificar a predominância de estruturas de direção N50°-70°E, representando falhas posteriores ao resfriamento das unidades vulcânicas, e lineamentos subordinados de direção N40° e NS.

Os dados de campo indicam a ocorrência de estruturas com predomínio de direção NW-SE, com paleocorrente de fluxo magmático, nos basaltos, para W. Essa direção NW-SE pode estar associada ao arcabouço estrutural da Bacia do Paraná, caracterizado por concentração de diques e falhas formando extensas zonas. Observou-se, em campo, intenso fraturamento com predomínio de direção NE, com fraturas lisas e retilíneas.

6.2. GEOLOGIA DA ÁREA

Durante o levantamento de campo foram descritos vinte e dois pontos no município de Nova Pádua, alguns destes pontos em cotas abaixo ou acima da área da pedreira. O estudo permitiu observar as estruturas e texturas, caracterizar as relações estratigráficas e espaciais entre as rochas vulcânicas ácidas intercaladas com as rochas básicas. O trabalho de campo priorizou o levantamento de perfil da estrada VRS-314 que liga Nova Pádua a Nova Roma do Sul, e onde está localizada a jazida (Figura 15).



Figura 15: Perfil geológico da área de estudo, com indicação por números dos pontos levantados em campo, o ponto 2 é onde está localizada a jazida.

Os derrames basálticos estão estratigraficamente abaixo da sequência de rochas ácidas, entre cotas de 200 e 500 metros. A porção basal da seção geológica é caracterizada por três derrames de lavas básicas do tipo *pahoehoe* da Fácies Gramado. Nas cotas baixas é comum feições de superfície do tipo corda, com cordas de dimensões que variam de 1-10 cm até 20-40 cm (Figura 16) de direção NW-SE.



Figura 16: A) campo de cordas de basalto no ponto 17. B) detalhe da estrutura em cordas no ponto 17.

A característica mais comum das lavas básicas situadas entre as cotas 250 e 300 metros é a formação de estruturas do tipo lobos *pahoehoe* com núcleo maciço com raras amígdalas preenchidas por quartzo e superfície maciça. Apresentam-se pouco alterados, com espessura de afloramentos 4 a 10 metros e indicativos de paleocorrente para leste (Figura 17). Na porção central do corpo predominam as disjunções colunares em cotas >300 até 500 m com espessura de afloramento variando de 2-5 metros aproximadamente. A rocha que compõe essa parte do derrame apresenta-se pouco alterada, com aspecto afírico, rico em amígdalas de formas arredondadas e com tamanhos que variam entre 2 e 4 cm, preenchidas por quartzo e calcedônia.



Figura 17: Estrutura em lobo no ponto 1.

A unidade ácida pertence a Fácies Caxias e corresponde a um espesso empilhamento de derrames lobados compostos, observados a partir da cota 520 metros, que correspondem a frentes de avanço de magma subdivididas em lobos menores, como ilustrado na figura 18. É possível observar em campo esses pequenos lobos (figura 19) migrando para um bandamento contínuo e bem marcado com disposição subhorizontal (Figura 20).

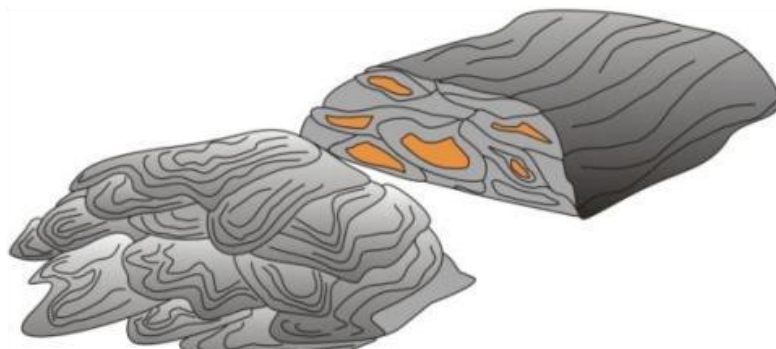


Figura 18: Ilustração esquemática para derrames lobados compostos. Fonte: Polo, 2014.



Figura 20: Estrutura em lobo no ponto 7.



Figura 19: Estrutura em lobo com marcada estrutura de bandamento subhorizontal no ponto 3.

Esses pequenos lobos se caracterizam por uma base e superfície vítrea, alternando vitrófiros, que gradam na porção central para um granófiro rico em fenocristais. O vitrófiro apresenta cor cinza escuro variando para cinza claro até marrom quando alterado, e textura equigranular fina (0,1-0,4 mm), com baixo teor de minerais máficos, e estrutura que varia de maciça até um bandamento de fluxo subhorizontal bem marcado. Por vezes é possível observar a presença incipiente de amigdalas ameboidais, que variam de 1 a 7 cm (Figura 21).



Figura 21: Aspectos macroscópicos do vitrófiro riódacítico.

O granófiro é caracterizado por apresentar entre 10 e 30% de fenocristais de feldspato branco, com forma alongada e dimensões que variam de 0,5 a 1,0 mm, com cristais de piroxênio intersticiais envolvidos por uma matriz cinza escura equigranular fina 0,3-0,5 mm. Apresenta, amigdalas de formas arredondadas a alongadas, com predominância da última, com dimensões que variam entre 10 e 20 cm x 1-5 cm preenchidas por quartzo e raramente por zeolita (Figura 22). Comumente a estrutura do lobo é bem marcada nos afloramentos dos granófiros por um bandamento subhorizontal bem definido (Figura 23).



Figura 22: A) amígdalas arredondadas preenchidas por quartzo no granófiro. B) amígdalas e feldspatos estirados. C) amígdalas arredondadas.



Figura 23: Ponto 3 do mapeamento da área, pedreira ao lado da área de estudo. A) aspecto geral da rocha, estrutura em lobo migrando para estrutura subhorizontal. B) detalhe do lobo no granófiro. C) detalhe do bandamento subhorizontal.

O mapeamento geológico no município de Nova Pádua permitiu caracterizar a geologia da região, e como resultado deste trabalho foi gerado um mapa detalhado. As exposições com contatos geológicos são restritas, entretanto, são reconhecíveis na geomorfologia pela quebra de relevo, com variações de intensidade de exposição ou de inclinação de taludes. Por estes motivos estão definidos por cota conforme a figura 24.

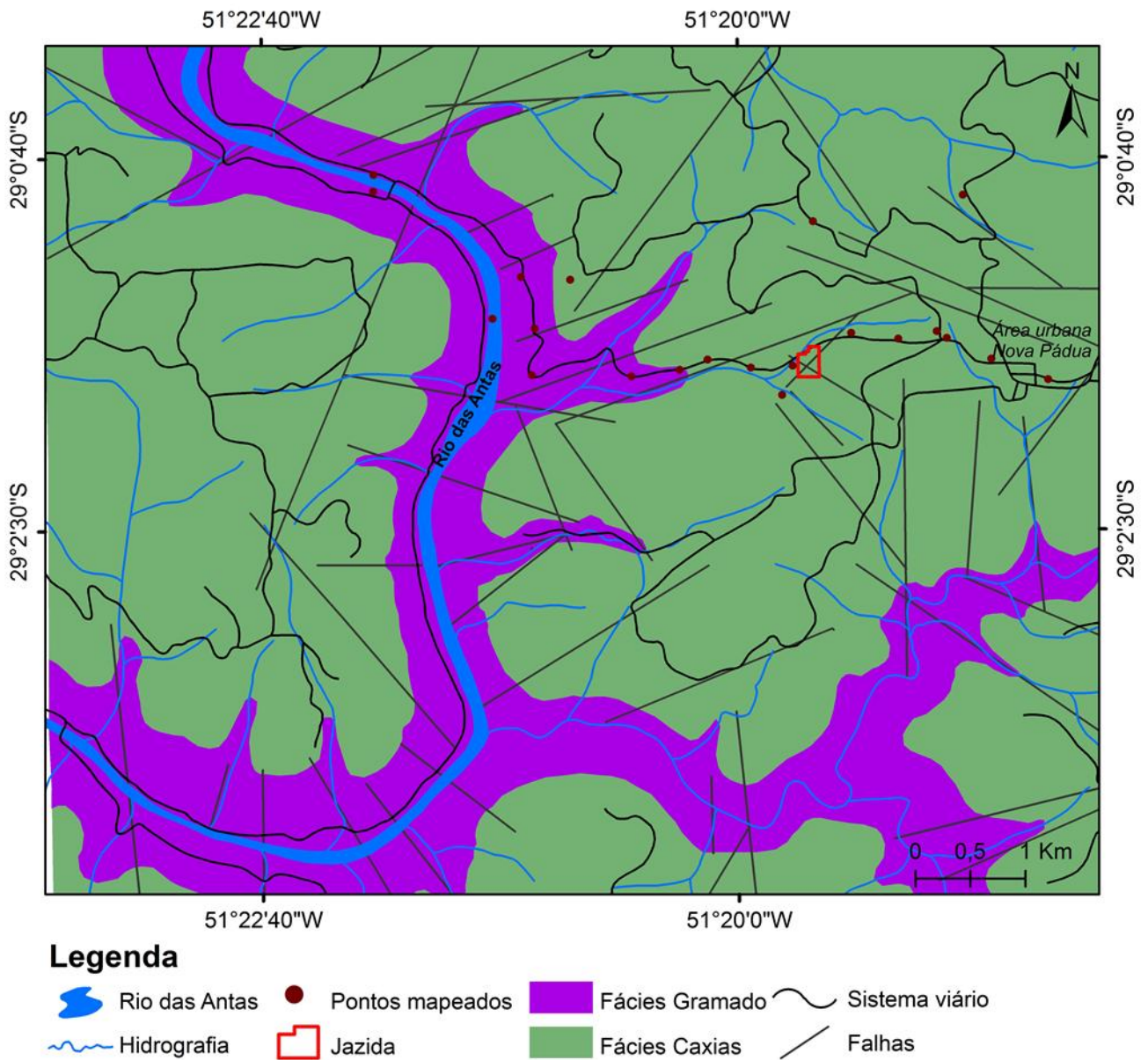


Figura 24: Mapa geológico de detalhe com os lineamentos observados em fotos aéreas e imagens de satélite.

A área requerida pela empresa BSC está localizada na Fácies Caxias, e engloba rochas classificadas como riódacitos. A jazida constitui um corpo com extensão lateral de aproximadamente 40 metros, com uma camada superficial de rocha alterada com espessura média entre 5 e 8 metros, seguida de 20 a 30 metros de rocha sã (figura 25). O riódacito apresenta um bandamento de fluxo com disposição subhorizontal contínua e regular. O bandamento apresenta níveis com 1 a 3 cm de espessura alternando níveis com 70 a 85% de cristais de feldspato que podem variar de 0,5 a 1,5 mm com níveis mais ricos em matriz e com fenocristais mais esparsos, entre 25 a 35%, as vezes alternando por níveis compostos por matriz, sem fenocristais (figura 26).



Figura 25: A) aspecto geral da jazida. B) detalhe da espessura de solo aproximadamente 6 metros e rocha. C) corpo rochoso, com desenho esquemático indicando o bandamento presente na rocha.



Figura 26: Aspecto geral do bandamento de fluxo magmático em bloco de riodacito.

A camada superior, que está bastante alterada é composta pelo vitrófiro, caracterizado por um bandamento de fluxo regular e contínuo com bandas ricas em fenocristais ($\leq 0,2-0,3$ mm) de feldspato branco imersos em uma matriz vítrea. A porção inferior é constituída pelo granófiro riodacítico, que apresenta cor cinza clara com fenocristais de feldspato (0,2-1,0 mm) subédricos, imersos em uma matriz equigranular granofírica com feldspato e quartzo intercrescidos ($\leq 0,1$ mm)(figura 27).



Figura 27: Estrutura da jazida com camada superior com vitrófiro e camada inferior com granófiro.

6.3. PETROGRAFIA MICROSCÓPICA

Foram confeccionadas 05 laminas delgadas, sendo 4 de riolacitos e 1 amostra de basalto (ponto BSC15). Para as amostras de rochas da jazida foram selecionadas 3 amostras do ponto BSC2, e 1 amostra do ponto BSC4.

Basalto

Os basaltos apresentam estrutura maciça ou bandamento de fluxo de espessura milimétrica. A textura principal é porfirítica com fenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio (augita) e magnetita imersos em uma matriz vítrea também composta por micro cristais de plagioclásio e clinopiroxênio. Os fenocristais de plagioclásio são euédricos com dimensões que variam entre 0,4-0,6 mm e ocupam um total de $\leq 10\%$ da amostra, por vezes estão dispersos na lâmina, mas frequentemente estão agrupados caracterizando a textura glomeroporfirítica. O clinopiroxênio é do tipo augita, com forma prismática pouco alongada com dimensão máxima de 1 mm e em média 0,5 mm, constituem entre 5 e 8% do volume total. As raras magnetitas são euédricas a subédricas com forma granular. A matriz vítrea a microgranular com cor que varia de cinza a castanho quando oxidada é composta também por cristais de plagioclásio com hábito ripiforme, aspecto fibro-radial de crescimento de micrólitos constituindo a textura perlítica (figura 28), e terminação em ‘cauda de andorinha’, essas feições são indicativas rápido resfriamento do magma.

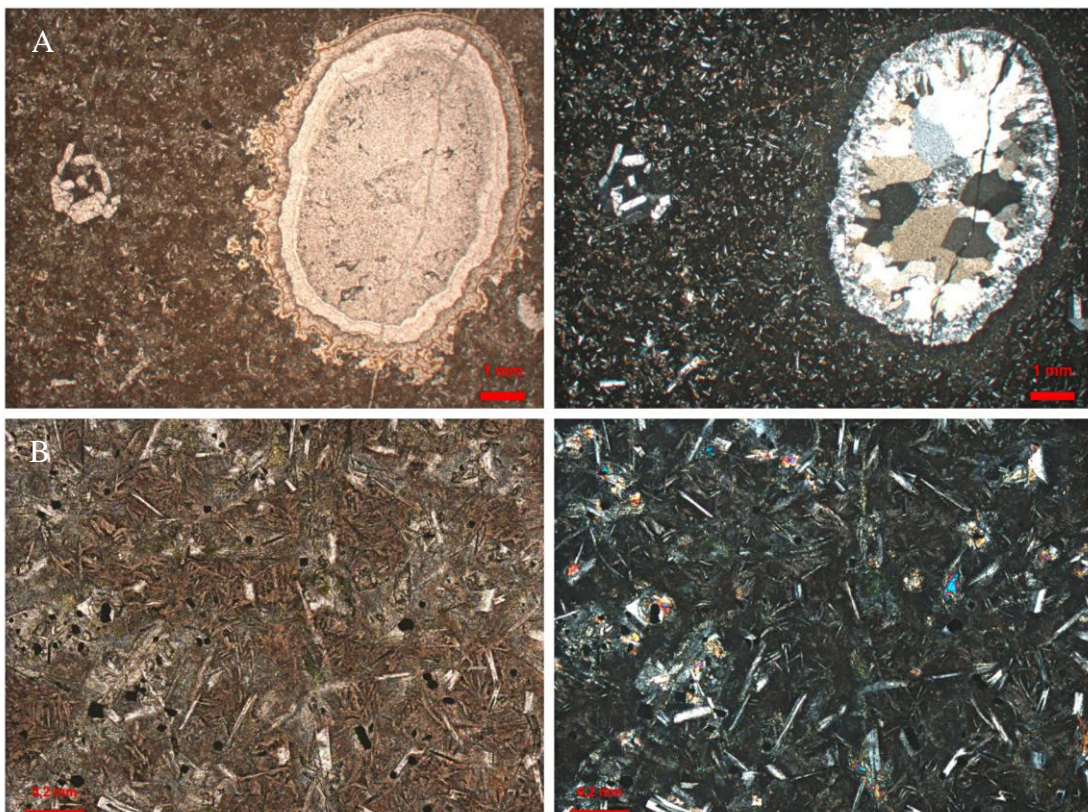


Figura 28: A) Fotomicrografia da textura glomeroporfirítica no basalto, definida pelo agrupamento dos cristais de plagioclásio e de amígdalas preenchidas por quartzo e borda de calcedônia envoltos em uma matriz vítrea. B) Fotomicrografia de detalhe dos cristais de plagioclásio com terminação em ‘cauda de andorinha’ e clinopiroxênio com formato esquelético e textura perlítica. Nicóis paralelos e nicóis cruzados.

As amígdalas constituem cerca de 2 % do volume total da rocha e apresentam formas arredondadas e comprimento entre 3 e 7 mm. Estão preenchidas por quartzo com bordas de calcidônia. A análise modal do basalto apresenta 10 a 15 % de plagioclásio, 5 a 10 % de piroxênio, 2 a 5 % amígdalas, 1% de magnetita e entre 70 a 80% de matriz vítrea microgranular.

Riodacito

As rochas vulcânicas ácidas encontradas na região de Nova Pádua apresentam composição riodacítica. Os riodacitos variam texturalmente entre termos com pouca ou sem matriz vítrea, denominados granófiros, que ocorrem nas porções centrais do corpo magmático e os vitrófiros que se caracterizam por elevado teor de matriz vítrea e que ocorrem nas porções de base ou de topo de camada. A mineralogia destas rochas é constituída por fenocristais e plagioclásio, piroxênio e minerais opacos em pouca porcentagem envolto em uma matriz vítrea a microgranular.

Os granófiros são maciços e apresentam textura porfirítica caracterizada por baixo teor de fenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio imersos em uma matriz fina de composição quartzo-feldspática composta ainda por teores variáveis de vidro vulcânico. Os fenocristais de plagioclásio têm forma prismática alongada, são euédricos, com tamanhos entre 0,2 e 0,5mm. Por vezes, apresentam-se incompletos, com terminações do tipo “cauda de andorinha”. Os fenocristais de clinopiroxênio são do tipo augita, com formas prismáticas alongadas e equidimensionais, tamanho que variam de 0,2 a 0,3 mm frequentemente oxidados. Os minerais opacos apresentam formas quadráticas de tamanhos entre 0,2 e 0,3 mm. A matriz é composta por duas porções distintas (i) matriz vítrea e (ii) matriz microgranular com agregados de cristais finos e quartzo ameboidal. Em volume o granófiro é composto de 5-7% fenocristais de plagioclásio, de 2% fenocristais de augita e 15 % de opacos, a matriz é composta entre 40-50% de agregados de cristais fino com quartzo ameboidal e de 25 a 30 % de vidro, a rocha pode ser classificada como riodacito granófiro (figura 29).

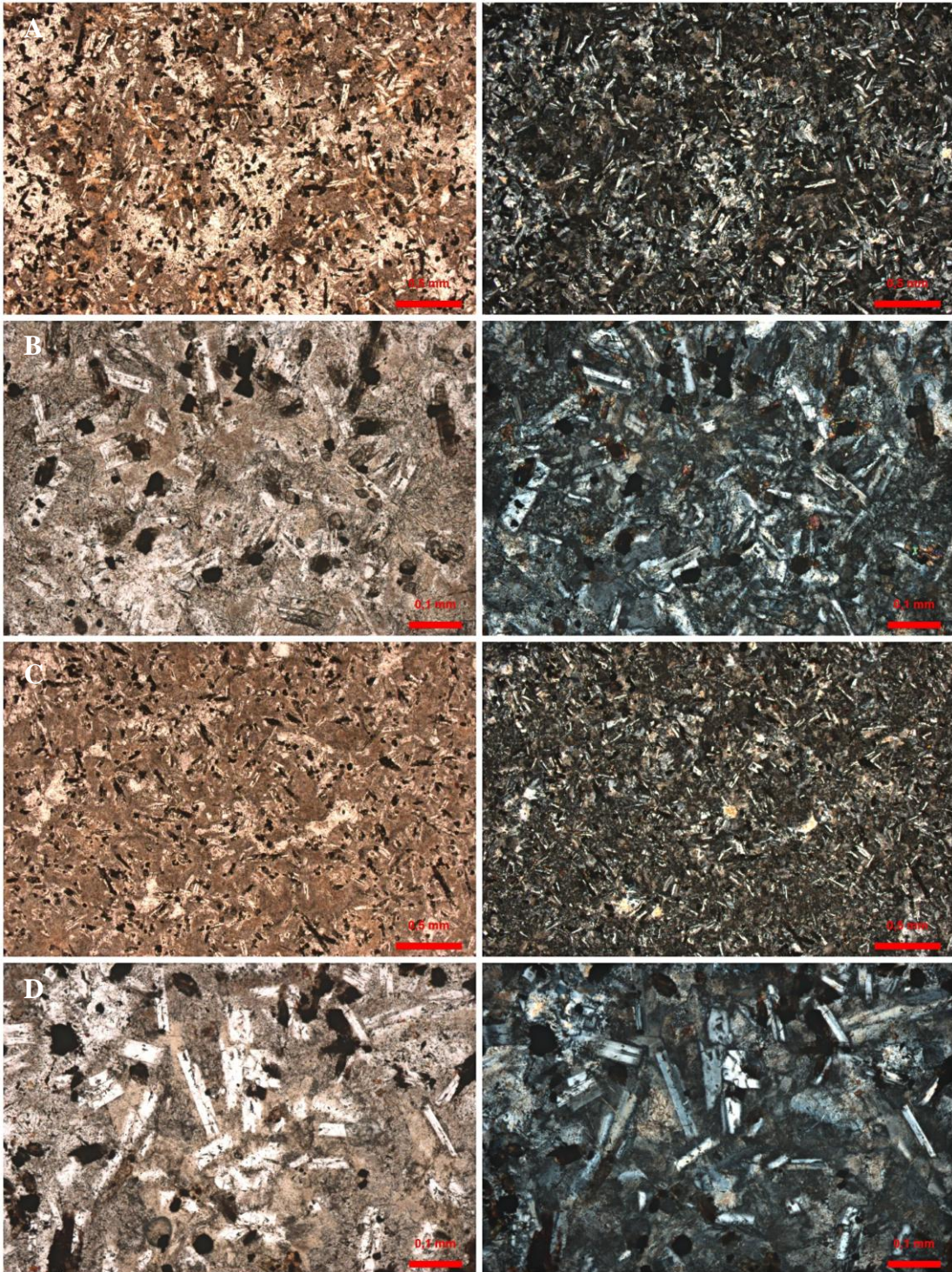


Figura 29: A) Fotomicrografia da matriz microgranular nos granófiros. B) Fotomicrografia da matriz do granófiro com fenocristais e cristais esqueléticos de plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos de forma quadrática. C) Fotografia da matriz vítrea nos granófiros. D) Fotomicrografia de detalhe dos fenocristais prismáticos de plagioclásio e clinopiroxênio no granófiro. Nicóis paralelos e nicóis cruzados.

O vitrófiro apresenta textura porfirítica com fenocristais de plagioclásio, augita e magnetita. O plagioclásio tem forma prismática alongada com terminações tipo “cauda de andorinha” e /ou cristais muito alongados (20-40x1), com tamanhos entre 0,5 e 3 mm. A augita tem forma prismática alongada, euédrica com tamanhos entre 0,3 e 1mm. Os minerais

opacos constituem essencialmente de magnetita euédrica e representam de 2-3% do volume total. A matriz é vítrea (dominante) a microcristalina com cristais de quartzo. Em volume o vitrófiro é composto por $\leq 10\%$ de fenocristais de plagioclásio, $\leq 5\%$ de fenocristais de clinopiroxênio augita e $\leq 1\%$ de opacos, $\geq 30\%$ matriz microcristalina e $\geq 60\%$ de matriz vítrea, podendo ser classificada como riodacito vitrófiro (figura 30).

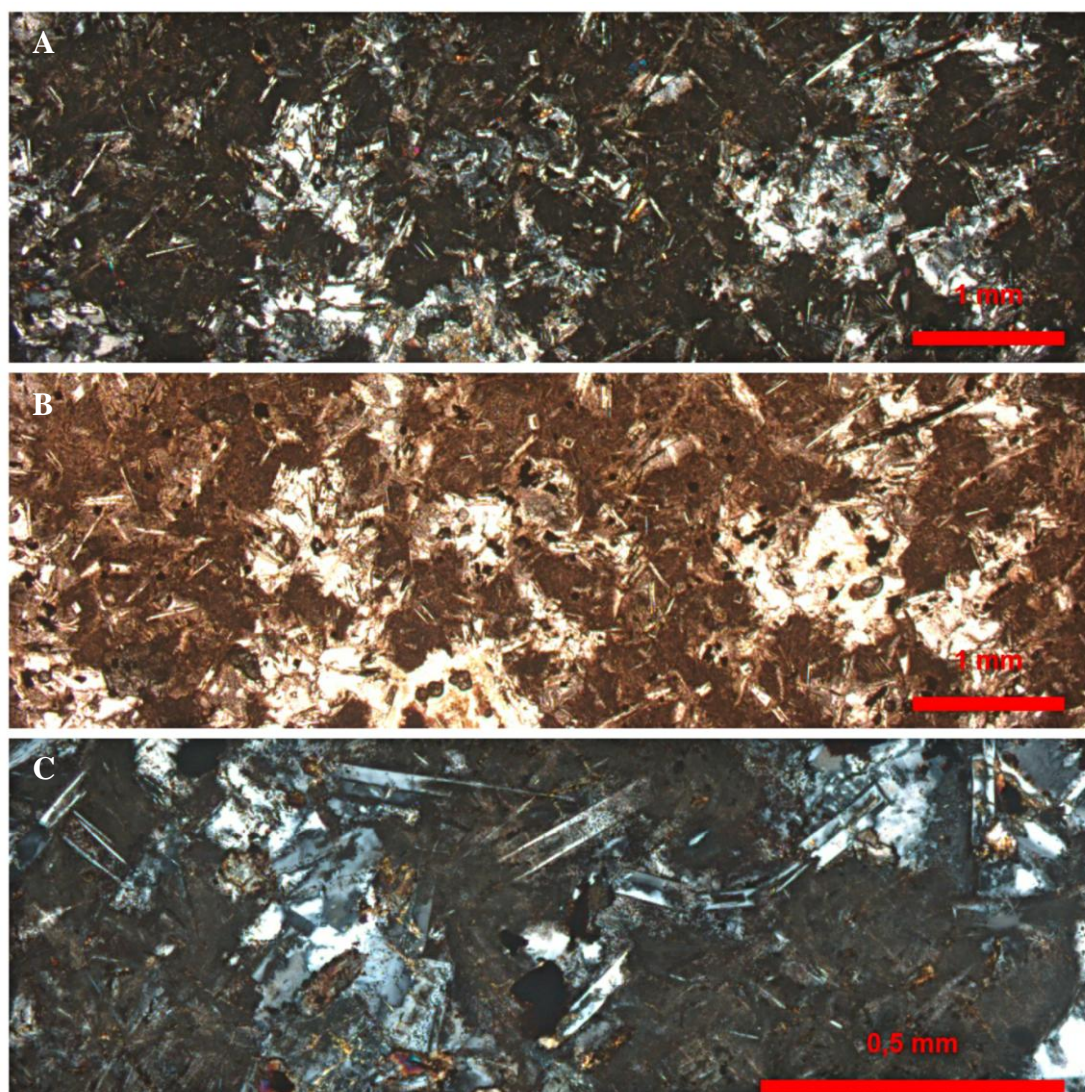


Figura 30: A) / B) Fotomicrografia do riodacito vitrófiro indicando aspectos gerais da lâmina. A matriz vítrea dominante sobre a matriz microgranular e cristais muito alongados de plagioclásio. C) Fotomicrografia de detalhe dos cristais de plagioclásio com “cauda de andorinha” imersos na matriz vítrea.

6.4. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Neste capítulo os resultados dos ensaios tecnológicos do riodacito são discutidos em comparação com as especificações ABNT, ASTM, DAER E DNIT. Os resultados estão separados conforme o uso final dado a rocha, agregado ou ornamental. Para os dois empregos foram analisadas amostras do riodacito granófito o qual será extraído da jazida. Os resultados

são apresentados na forma de gráficos e tabelas e em comparativo com outras rochas semelhantes ensaiadas.

6.4.1 ENSAIOS PARA AGREGADOS

Os agregados empregados como base e/ou sub-base de rodovias devem atender às especificações dos órgãos de fiscalização de estradas e rodagem, em nível estadual o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem-DAER/ RS presta este serviço em nível nacional o órgão fiscalizador é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-DNIT, além destes utilizou-se como referência a norma ABNT NBR 12264/91 que normatiza agregados para base e sub-base de rodovias.

Observa-se que as especificações dos órgãos mencionados anteriormente não contemplam todos os ensaios realizados por esta pesquisa, por esse motivo utilizou-se também como referência a classe de qualidade de agregados proposta por Lienhart (2003) e os resultados dos ensaios do trabalho de Turcati (2014), que foram realizados em uma jazida de riodacito na região de Caxias do Sul. Os resultados desta pesquisa e os valores aceitos para as especificações e a comparação com o riodacito que ocorre em Caxias do Sul estão expostos na tabela 3 e 4.

Tabela 3: Comparação dos resultados com as classes qualidade de Lienhart.

| Critério | Classes de Qualidade ¹ | | | | Riodacito Nova Pádua |
|--|-----------------------------------|-------------------|--------------------|------------------|----------------------------|
| | Excelente | Boa | Marginal | Pobre | |
| Massa Específica aparente seca (g/m ³) | 3,3-2,9 | 2,6-2,9 | 2,5-2,6 | <2,5 | 2,5 |
| Absorção de água (%) | <0,5 | 0,5-2,0 | 2,0-6,0 | >6,0 | 1,97 |
| Abrasão Los Angeles (%) | <15 | 15-25 | 25-35 | >35 | 20,2 |
| Sanidade com sulfato de sódio (%) | <2 ² | 2-10 ² | 10-30 ² | >30 ² | 1,54³ |

¹ Classificação referente a qualidade dos agregados proposta por Lienhart,2003

²Valores do ensaio de sanidade que utilizam sulfato de magnésio, mais agressivo, no lugar de sulfato de sódio.

³Perda ponderada calculada de acordo com a especificação DNIT- ES 141/2010-Faixa B.

Tabela 4: Comparação dos resultados para agregados com especificações.

| Critério | DAER-ES-P Base Granular (08/91) / Sub-base Granular (04/91) | Sub-base / Base -Brita graduada (ABNT NBR 12264/91) | DNIT Base estabilizada ES (141/2010) / Concreto asfáltico ES(031/2006) | Riodacito Caxias ¹ | Riodacito Nova Pádua |
|--|---|---|--|-------------------------------|-------------------------|
| Massa Específica aparente Seca (g/m ³) | - | - | - | 2,5 | 2,5 |
| Absorção de Água (%) | - | - | - | 2,6 | 1,97 |
| Abrasão Los Angeles (%) | 40 / - | < 50 | ≤55 / 50 | 13,6 | 20,2 |
| Sanidade com sulfato de Sódio (%) | ≤10 / ≤12 | < 20 | < 12 | 3 | 1,51² |

¹ Resultados dos ensaios realizados em uma jazida de riodacito em Caxias do Sul (Salmo,2014)

² Perda ponderada calculada de acordo com a especificação DNIT- ES 141/2010-Faixa B.

Índices Físicos

O valor de massa específica aparente seca foi de 2,51 g/m³ mesmo valor do trabalho de Turcati (2014) e conforme a classificação de Lienhart (2003) o riodacito tem uma qualidade marginal a pobre. O resultado de absorção de água foi 1,97% está superior ao ensaio de Turcati (2014), 2,6, e com classificação boa segundo a classificação de qualidade de Lienhart (2003). Os resultados de massa específica e massa específica aparente saturada podem ser visualizados na tabela 5.

Tabela 5: Resultado do ensaio de índices físicos para agregados.

| Massa Seca do Corpo de Prova (g) | Massa Específica Aparente Seca (g/m ³) | Massa Específica Aparente Saturada (g/m ³) | Absorção de Água (%) | Massa Específica (g/m ³) |
|---------------------------------------|--|--|----------------------|--------------------------------------|
| 4570,1 | 2,51 | 2,56 | 1,9 | 2,64 |
| 4554,6 | 2,50 | 2,55 | 2,03 | 2,63 |
| Média Aritmética | 2,51 | 2,56 | 1,97 | 2,64 |
| Desvio Padrão | 0,01 | 0,01 | 0,09 | 0,01 |
| Coefficiente de Variação ¹ | 0,28 | 0,28 | 4,68 | 0,27 |

¹Coefficiente de variação = (Desvio padrão / Média Aritmética) *100.

Abrasão Los Angeles

Para o ensaio de Abrasão Los Angeles (figura 31) utilizou-se a graduação A conforme a norma ABNT NBR NM 51. A perda de massa no ensaio foi 20,2%, este resultado está adequado com a norma estabelecida para o uso como material de base de rodovias (DAER-ES-P 08/91) que estabelece como máximo 40%. Para material de sub-base o DAER não define nenhum limite. Para o DNIT (141/2010) o limite para o material de base não pode ser superior a 55% e para materiais de sub-base o órgão, assim como, o DAER não define nenhum limite de perda por abrasão. A rocha está em uma classe de qualidade boa conforme Lienhart, que delimita esta classe de 15- 25%, e superior ao ensaio realizado por Selmo que obteve 13,6 para o riodacito.



Figura 31: Agregados para ensaio abrasão Los Angeles. A) agregados antes do ensaio. B) agregados após ensaio. C) agregado após ensaio e peneirados.

Sanidade

Segundo as Especificações Gerais do DAER (1998), os limites aceitáveis para material de sub-base (DAER-ES-P 04/91) não podem ser superiores a 12%, valor igualmente estabelecido para especificações de base estabilizadora e concreto asfáltico do DNIT. Para agregados de base (DAER-ES-P 08/91) o valor não pode ser superior a 10% para o ensaio de sanidade. O Riodacito obteve resultados satisfatórios, conforme a tabela 4, com perda mínima

de material durante o ensaio atendendo à exigência das especificações. A classificação de qualidade de Lienhart utiliza sulfato de magnésio no lugar do sulfato de sódio, pôr o magnésio ser mais agressivo que o sódio, provavelmente os valores de classe mudariam, mas mesmo utilizando esses valores o riodacito estána classe de qualidade excelente, e abaixo do valor encontrado por Selmo (2014).

A tabela 6 apresenta os parâmetros utilizados para o cálculo da perda ponderada do ensaio sanidade. A perda ponderada corresponde ao somatório da perda de cada fração multiplicado pelo fator de ponderação, o qual é obtido através da curva granulométrica de trabalho. Para a construção da curva granulométrica (figura 32) utilizou-se a especificação do DNIT-ES 141/2010- Faixa B, onde a curva foi extrapolada de maneira a definir as porcentagens passantes em cada fração do ensaio, a partir da média da curva calcula-se as porcentagens retidas individuais entre as aberturas de cada uma das frações do ensaio de sanidade.

Tabela 6: Tabela de resultados do ensaio de sanidade.

| Abertura das peneiras na preparação das frações | | Massa antes do ensaio (g) | Massa após ensaio (g) | Perda por fração | Perda por fração (%) | Distribuição granulométrica de trabalho (%) | Fator de ponderação | Perda ponderada por fração |
|---|-------------|---------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|---|---------------------|----------------------------|
| Passado (mm) | Retido (mm) | | | | | | | |
| 63,50 | 50,8 | 1414,27 | 1409,84 | 7,11 | 0,24 | 9 | 0,09 | 0,02 |
| 50,8 | 38,1 | 1508,60 | 1505,92 | | | | | |
| 38,10 | 25,4 | 1012,58 | 1009,84 | 7,75 | 0,51 | 16 | 0,16 | 0,08 |
| 25,4 | 19,1 | 498,02 | 493,01 | | | | | |
| 19,1 | 12,7 | 671,60 | 669,43 | 7,43 | 0,74 | 17,5 | 0,18 | 0,13 |
| 12,7 | 9,50 | 330,22 | 324,96 | | | | | |
| 9,5 | 4,8 | 300,50 | 292,93 | 7,57 | 2,52 | 12,5 | 0,13 | 0,31 |
| 9,5 | 4,8 | 110,58 | 108,03 | 2,55 | 2,31 | | | |
| 4,8 | 2,4 | 110,55 | 107,01 | 3,54 | 3,20 | 10 | 0,10 | 0,32 |
| 2,4 | 1,2 | 110,44 | 105,40 | 5,04 | 4,56 | 6,5 | 0,06 | 0,29 |
| 1,2 | 0,6 | 112,04 | 108,46 | 3,58 | 3,20 | 5,5 | 0,06 | 0,18 |
| 0,6 | 0,3 | 110,23 | 103,98 | 6,25 | 5,67 | 3,25 | 0,03 | 0,18 |
| Perda Ponderada Total | | | | | | | | 1,51 |

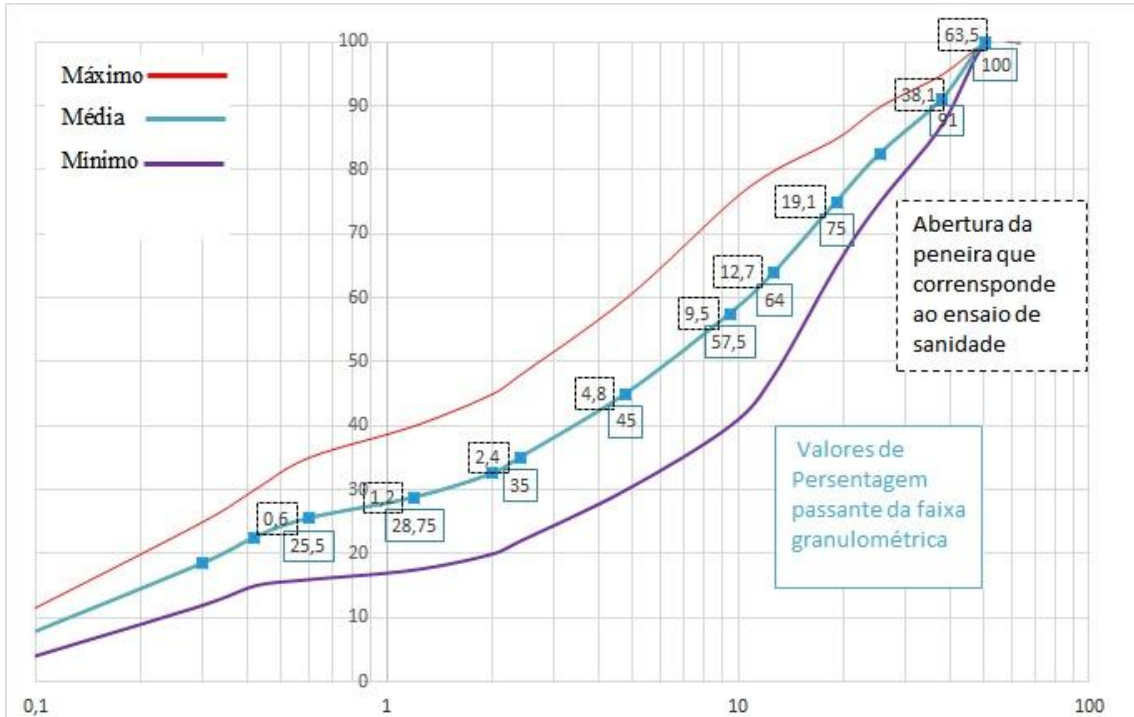


Figura 32: Distribuição granulométrica da especificação de serviço do DNER 141/2010-ES- FAIXA B, curva granulométrica do passante mínimo, máximo e média.

Adesividade

O ensaio de adesividade foi executado sem a utilização de aditivo ao ligante betuminoso, obtendo um resultado não satisfatório, no qual a capa betuminosa não ficou aderente ao agregado conforme afigura 33.



Figura 33: Amostras do riocacito após ensaio de adesividade.

6.4.2 ENSAIOS PARA ROCHA ORNAMENTAL

Os resultados dos ensaios realizados por esta pesquisa para rochas ornamentais podem ser observados na tabela 7 e nos gráficos da figura 34, onde são comparados com o Basalto Cinza Pampas (CIENTEC,2009), nome comercial dado a unidade ácida de composição riódacítica que ocorrem na região, com as especificações técnicas da ASTM (ASTM C 615), ABNT (NBR 15844) e com o relatório de ensaios da jazida de estudo, cedido pela BSC (BSC01/2015), cujos ensaios foram realizado durante a fase de pesquisa mineral da jazida, por meio do acordo entre a BSC e a UFRGS através da ação de extensão 28391-UFRGS.

Tabela 7: Comparação entre os resultados dos ensaios tecnológicos da pesquisa, especificações, relatório BSC01/2015 e basalto CINZA PAMPAS.

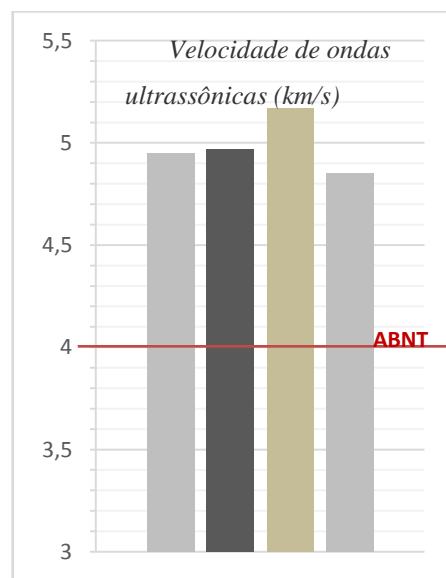
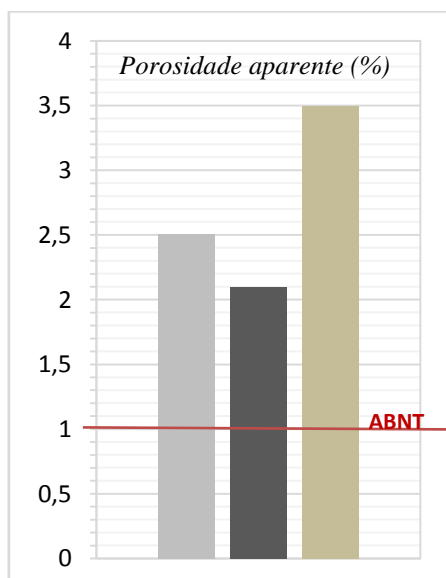
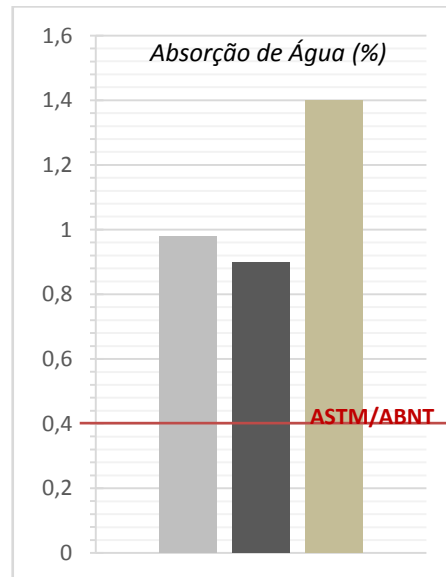
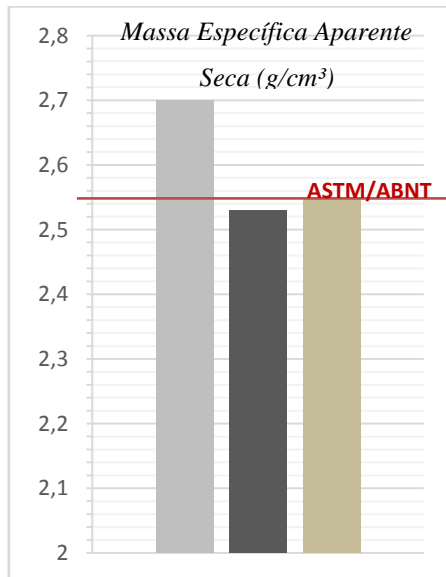
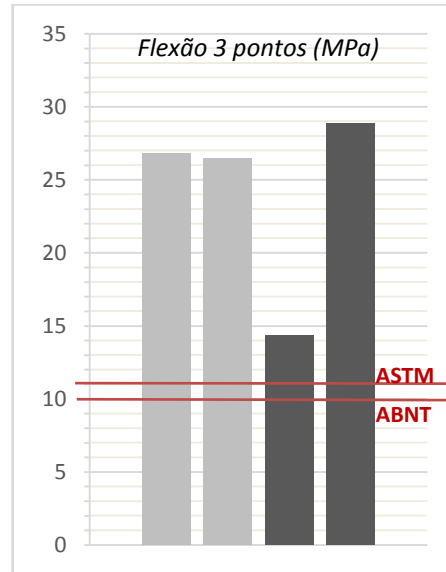
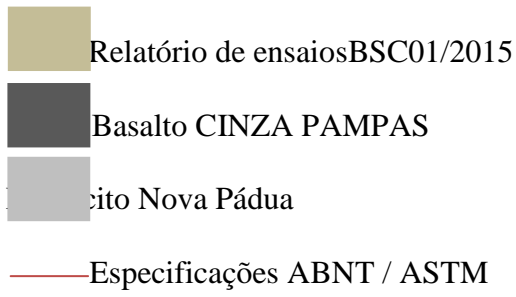
| Propriedades das Rochas | Referência Normativa para Especificação / Rochas e ensaios comparativos | | | | Riodacito Nova Pádua |
|--|---|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| | ASTM C 615 (Granito) | ABNT NBR 15844 (Rochas Silicáticas) | Relatório de ensaios BSC01/2015 ¹ | Basalto CINZA PAMPAS ² | |
| Massa Específica Aparente Seca (g/cm ³) | ≥ 2,55 | ≥ 2,55 | 2,55 | 2,53 | 2,57 |
| Absorção de Água (%) | ≤ 0,4 | ≤ 0,4 | 1,4 | 0,9 | 0,98 |
| Porosidade aparente (%) | Não específica | ≤ 1 | 3,5 | 2,1 | 2,51 |
| Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas (Km/s) | Não específica | ≥ 4 | 5,17 | 4,97 | 4,95³ / 4,85⁴ |
| Flexão Três Pontos (Mpa) | ≥ 10,34 | ≥ 10 | 28,85 ³ / 14,34 ⁴ | - | 26,45³ / 26,81⁴ |
| Resistência a Compressão Uniaxial (Mpa) | >131 | >100 | 224,19 | 149,33 | 143,27 |
| Resistência ao Impacto de Corpo Duro (cm) | - | > 30 | - | 50 | 26 |
| Resistência ao Desgaste Amsler (mm/100m) | - | < 1 | - | 0,7 | |

¹ Relatório de ensaios realizados através do acordo BSC e UFRGS em 02/05/2016 através da ação de extensão 28391-UFRGS.

² Características Tecnológicas de Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Sul (CIENTEC,2009).

³ Resultado do ensaio de ondas / flexão 3P em rochas na condição de saturação durante 48h.

⁴ Resultado do ensaio de ondas / flexão 3P em rochas após 25 ciclos de congelamento e degelo.



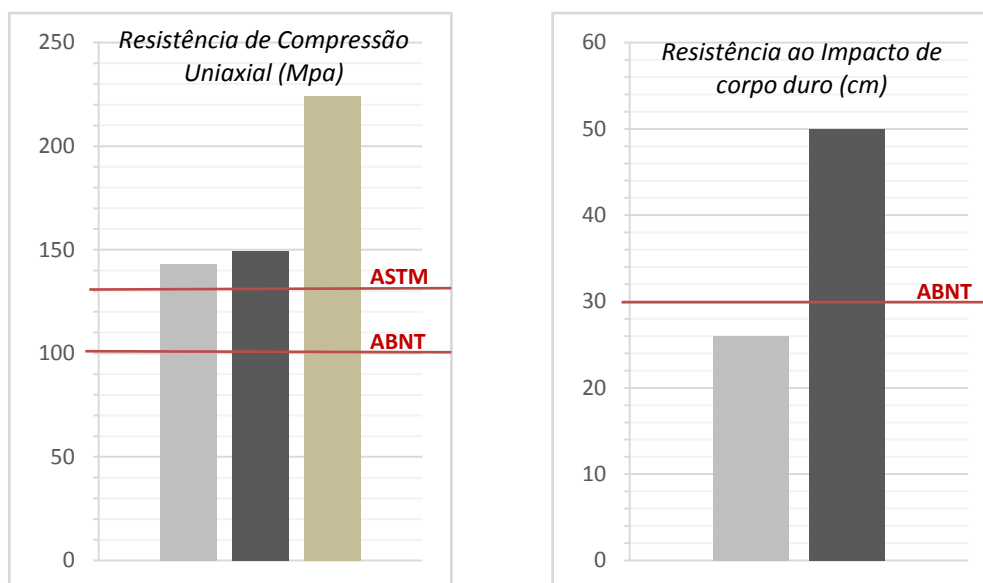


Figura 34: Síntese dos ensaios realizados comparados com especificações e basalto CINZA PAMPAS.

Índices Físicos

O resultado médioda massa específica aparente seca para o riodacito de Nova Pádua foi de $2,57 \text{ g/cm}^3$ e está dentro dos valores recomentados pela ASTM e ABNT que são valores $\geq 2,55 \text{ g/cm}^3$. O relatório de ensaios BSC01/2015 também obteve valores adequados com as especificações e apenas o Basalto Cinza Pampas apresentou valor de massa específica aparente seca ligeiramente inferior aos recomentados pelas normas.

O valor de absorção d'água, está acima do valor 0,4% indicado pelas normas ASTM e ABNT, sendo que o basalto Cinza Pampas que obteve o menor valor, 0,9%, seguido do Riodacito de Nova Pádua 0,98%, e por último o valor do relatório BSC01/2015 com 1,4%. Os valores de porosidade aparente obtidos para o riodacito Nova Pádua é de 2,51% acima do recomendado pela norma ABNT 15844 que limita a valores ≤ 1 , o Basalto Cinza Pampas e o relatório de ensaios BSC 01/2015 também estão acima dos valores admitidos pela norma, com respectivamente 2,10 % e 3,5%. Os Valores de massas especificas secas/saturadas, porosidade e absorção d'água obtidos para cada amostra ensaiada do riodacito Nova Pádua podem ser observados na tabela 8.

Tabela 8: Resultados obtidos do ensaio de índices físicos para o riodacito Nova Pádua.

| Massa Seca do corpo de prova (g) | Massa específica aparente seca (g/cm ³) | Massa específica aparente saturada (g/cm ³) | Absorção de água aparente (%) | Porosidade aparente (%) |
|---|---|---|-------------------------------|-------------------------|
| 627,17 | 2,54 | 2,56 | 0,97 | 2,46 |
| 636,96 | 2,53 | 2,56 | 0,99 | 2,48 |
| 634,13 | 2,54 | 2,56 | 0,96 | 2,44 |
| 622,37 | 2,53 | 2,56 | 1,05 | 2,67 |
| 632,92 | 2,70 | 2,73 | 0,92 | 2,48 |
| Média Aritmética | 2,57 | 2,59 | 0,98 | 2,51 |
| Desvio Padrão | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,09 |
| Coefficiente de Variação ¹ (%) | 2,9 | 2,9 | 5,0 | 3,73 |

¹Coefficiente de variação = (Desvio padrão / Média Aritmética) *100.

Velocidade de propagação de ondas Ultrassônicas longitudinais

O ensaio de velocidade de ondas ultrassônicas (figura 35) foi realizado em duas condições dos riodacitos da jazida Nova Pádua. Em amostras durante os ciclos de congelamento e degelo e em amostras em estado natural saturado durante 48h, como observado na tabela 9.

A especificação ABNT 15844 indica valores de velocidade de ondas ≥ 4 e os resultados obtidos por essa pesquisa, para riodacitos de Nova Pádua, tanto na condição saturada quando nas fases de congelamento e degelo, estão dentro dos valores aceitos pela ABNT com respectivamente 4,85 e 4,95 km/s.



Figura 35: Ensaio de ondas ultrassônicas no riodacito Nova Pádua.

Tabela 9: Resultados do ensaio de velocidade de ondas ultrassônicas.

| Condição de Ensaio | Comprimento do Corpo-de-Prova (mm) | Altura (mm) | Tempo de percurso (μ s) | Velocidade de Ondas Ultrassônicas (Km/s) |
|---|------------------------------------|-------------|------------------------------|--|
| Após o 1° ciclo de Congelamento e Degelo | 200,0 | 29,8 | 40,4 | 4,95 |
| | 200,0 | 30,2 | 40,4 | 4,95 |
| | 200,0 | 30,6 | 40,9 | 4,89 |
| | 200,0 | 30,1 | 39,9 | 5,01 |
| | 200,0 | 29,6 | 40,4 | 4,95 |
| Média Aritmética | | | | 4,95 |
| Desvio Padrão | | | | 0,04 |
| Coefficiente de Variação (%) | | | | 0,9¹ |
| Após o 15° ciclo de Congelamento e Degelo | 200,0 | 29,8 | 40,4 | 4,95 |
| | 200,0 | 30,2 | 40,4 | 4,95 |
| | 200,0 | 30,6 | 40,9 | 4,89 |
| | 200,0 | 30,1 | 39,9 | 5,01 |
| | 200,0 | 29,6 | 40,4 | 4,95 |
| Média Aritmética | | | | 4,95 |
| Desvio Padrão | | | | 0,04 |
| Coefficiente de Variação (%) | | | | 0,9¹ |
| Após o 25° ciclo de Congelamento e Degelo | 200,0 | 29,8 | 40,4 | 4,95 |
| | 200,0 | 30,2 | 40,4 | 4,95 |
| | 200,0 | 30,6 | 40,9 | 4,89 |
| | 200,0 | 30,1 | 39,9 | 5,01 |
| | 200,0 | 29,6 | 40,4 | 4,95 |
| Média Aritmética | | | | 4,95 |
| Desvio Padrão | | | | 0,04 |
| Coefficiente de Variação (%) | | | | 0,9¹ |
| Após 48h saturando | 200,0 | 30,49 | 41,4 | 4,83 |
| | 200,0 | 30,32 | 41,4 | 4,83 |
| | 200,0 | 30,29 | 40,9 | 4,89 |
| | 200,0 | 29,77 | 41,3 | 4,84 |
| | 200,0 | 30,42 | 41,0 | 4,88 |
| Média Aritmética | | | | 4,85 |
| Desvio Padrão | | | | 0,03 |
| Coefficiente de Variação | | | | 0,6¹ |

¹Coefficiente de variação = (Desvio padrão / Média Aritmética) *100.

Flexão três pontos

O ensaio de flexão foi realizado nas amostras submetidas aos 25 ciclos de congelamento e degelo e em amostras no estado natural saturado durante 48h. Os dois conjuntos de amostras apresentaram resistências a flexão acima do mínimo exigido pelas especificações ASTM e ABNT que é ≥ 10 e $\geq 10,34$. O resultado para as amostras do riodacito, ensaiada por esse projeto, submetidas a congelamento e degelo foi 26,45 e para as amostras submetidas a saturação por 48h foi 26,81 diferente dos resultados obtidos do relatório de ensaios BSC01/2015 que obteve 14,24 para amostras submetidas a congelamento e degelo e 28,85 para amostras em estado natural saturadas por 48h.

O resultado de resistência a flexão e a carga para cada amostra ensaiada podem ser observados na tabela 10.

Tabela 10: Resultados do ensaio de resistência a flexão em amostras após 25 ciclos de congelamento e degelo e após 48h

| Condição do ensaio | Dimensões do Corpo-de Prova | | | Carga (N) | Resistência a flexão |
|---|-----------------------------|--------------|----------------|-----------|----------------------|
| | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Espessura (mm) | | |
| Após 25 ciclos de Congelamento e Degelo | 200,0 | 90,7 | 29,8 | 7925,0 | 26,64 |
| | 200,0 | 89,9 | 30,2 | 8545,0 | 28,15 |
| | 200,0 | 90,8 | 30,6 | 8522,0 | 27,04 |
| | 200,0 | 90,3 | 30,1 | 8175,0 | 26,91 |
| | 200,0 | 90,7 | 29,6 | 7429,0 | 25,31 |
| Média | | | | | 26,81 |
| Desvio Padrão | | | | | 1,01 |
| Coefficiente de Variação | | | | | 3,78 |
| Após 48h saturando | 200 | 90,39 | 30,49 | 8800,0 | 28,28 |
| | 200 | 90,54 | 30,32 | 8758,0 | 28,41 |
| | 200 | 90,44 | 30,29 | 7983,0 | 25,98 |
| | 200 | 89,90 | 29,77 | 7409,0 | 25,11 |
| | 200 | 90,38 | 30,42 | 7579,0 | 24,47 |
| Média | | | | | 26,45 |
| Desvio Padrão | | | | | 1,81 |
| Coefficiente de Variação | | | | | 6,85 |

¹Coefficiente de variação = (Desvio padrão / Média Aritmética) *100.

Congelamento e degelo

Os resultados de resistência a flexão três pontos foram utilizados para o cálculo do coeficiente de enfraquecimento (k), calculado conforme a fórmula:

$$k = \frac{\sigma_{cd}}{\sigma_{nat}}$$

Onde:

σ_{cd} : É o valor médio da resistência mecânica dos corpos-de-prova após o ensaio de congelamento e degelo.

σ_{nat} : É o valor médio da resistência mecânica dos corpos-de-prova não submetidos ao ensaio de congelamento e degelo.

O resultado obtido foi de 0,99 e conforme a norma ABNT NBR 15845-anexo D, valores de k imediatamente superiores ou inferiores a 1 podem significar apenas dispersão de resultados do ensaio mecânico ou variação nas características dos corpos-de-prova.

Resistência à compressão uniaxial

O valor mínimo para tensão de ruptura na compressão para a ASTM é 131 Mpa e para ABNT 100 Mpa o riodacito Nova Pádua (figura 36) obteve valor de 143,27 Mpa acompanhado do Basalto Cinza Pampas com 149,33 Mpa e seguido do relatório BSC01/2015 que obteve valor de 224,19 Mpa, o que indica que todos os valores se encontram de acordo com as especificações recomendadas. Os valores de tensão de ruptura e a carga de máxima de ruptura (kN) para cada amostra podem ser observadas na tabela 11.

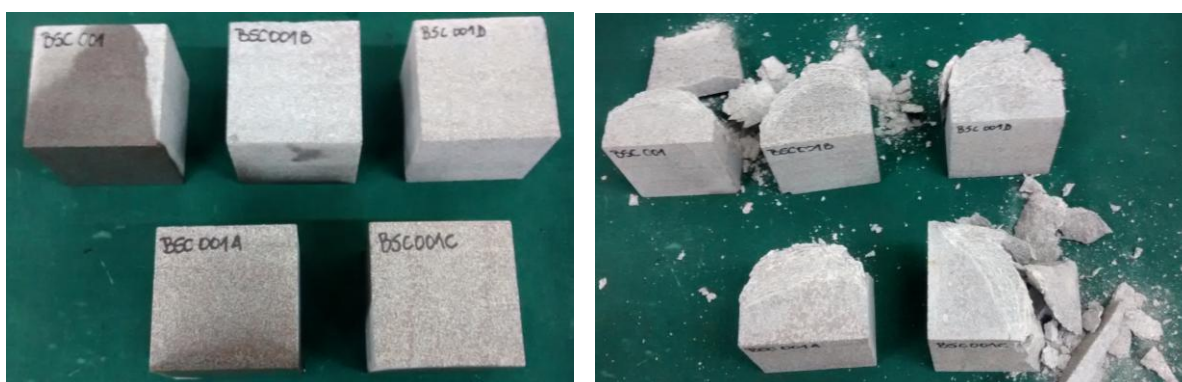


Figura 36: A) Riódacito antes do ensaio de compressão uniaxial. B) Riódacito após ensaio de compressão.

Tabela 11: Resultados de todas as amostras do ensaio de compressão uniaxial

| L (mm) | P (mm) | A (mm) | W (%) | Carga (kN) | σ_c saturada (MPa) | Observações |
|-------------------------------------|-----------|-----------|----------|---------------|---------------------------------|---|
| 71,00 | 69,85 | 67,70 | Saturado | 755,985 | 152,44 ¹ | ruptura em 8 min, lascamento e cisalhamento |
| 70,29 | 70,12 | 69,49 | Saturado | 706,237 | 143,29 ¹ | ruptura em 7 min, lascamento e cisalhamento |
| 69,74 | 70,14 | 69,83 | Saturado | 773,079 | 158,04 ¹ | ruptura em 7,5 min, lascamento e cisalhamento |
| 69,80 | 70,67 | 69,94 | Saturado | 606,508 | 122,95 ¹ | ruptura em 8 min, lascamento e cisalhamento |
| 70,44 | 70,78 | 69,45 | Saturado | 696,111 | 139,62 ¹ | ruptura em 7 min, lascamento e cisalhamento |
| Média Aritmética | | | | | 143,27 | |
| Desvio Padrão | | | | | 13,49 | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | | | 9,4 | |

¹ Tensão de ruptura na compressão, expressa em megapascals, em amostras saturadas durante 48h.

Resistência ao impacto de corpo duro

O valor encontrado para o ensaio de resistência ao impacto de corpo duro está diretamente relacionado com a espessura das placas de rocha. Os resultados obtidos para o riocacito Nova Pádua foram 26 cm e é inferior ao basalto Cinza Pampas, 50 cm, e ao valor mínimo estabelecido pela norma da ABNT NBR 15844/2010, >30 cm, conforme mostra a tabela 12 que indica os resultados juntamente com as dimensões de cada corpo de prova.

Tabela 12: Resultados do ensaio de impacto de corpo duro.

| Nº corpo de prova | Dimensões | | | Ruptura (cm) |
|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Espessura (mm) | |
| BSC05 | 200 | 200 | 16,25 | 25 |
| BSC05A | 200 | 200 | 16,85 | 25 |
| BSC05B | 200 | 200 | 16,51 | 25 |
| BSC05C | 200 | 200 | 15,86 | 25 |
| BSC05D | 200 | 200 | 16,6 | 30 |
| | Média | | | 26 |

6.5. AVALIAÇÃO DA JAZIDA

As sondagens realizadas durante a fase de pesquisa da mina estão localizadas na parte sudoeste da jazida, conforme a figura 37. Devido ao mau acondicionamento em que se encontravam os testemunhos, as descrições realizadas neste trabalho foram prejudicadas.

Conforme o relatório de pesquisa da jazida o furo 1 foi realizado onde a camada de cobertura já havia sido removida, não sabendo assim qual a espessura de solo no local, obteve profundidade total de 5,80 m a partir da superfície. A sondagem 2, cuja profundidade total foi de 15,84 m, é composta por uma camada de solo de espessura de 6 m e 9,84 m de rocha. Como indica o relatório de pesquisa da jazida o furo 3 com profundidade de 21 m, obteve testemunhos com material de má qualidade, caracterizados por pedaços de rocha intercalados com camadas de solo por toda sua extensão, por esse furo ter materiais de má qualidade e os tarolos estarem sem indicação de profundidade, foi realizada apenas uma descrição geral do material encontrado sem a realização do perfil deste furo. Os perfis com a descrição e fotos dos furos 1 e 2 são indicados nas figuras 38 e 39.



Figura 37:Área da jazida com a localização dos furos de sondagens.Fonte: Modificado de Relatório de controle ambiental e plano de controle ambiental- RCA/PCA unificados,2015.

| PROFUNDIDADE | | | IDENTIFICAÇÃO: FURO 1 | COORDENADAS: 468111.43/ 6788852.3 |
|--------------|---|--|--|---|
| | | | LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM: JAZIDA BSC | |
| | | | DIÂMETRO DA SONDAGEM: 55 mm | PROFUNDIDADE DO FURO: 5.8 m |
| | | | DESCRIÇÃO | FOTOS |
| 0,0 |  | | |  |
| 1,5 | | Riodacito maciço de cor cinza avermelhado com fenocristais de feldspatos envolvidos em uma matriz vítrea, cinza escura; Em 1,5 m fratura subvertical de 85° dobrada, preenchida por quartzo. |  | |
| 2,74 |  | | Riodacito maciço cinza com maior proporção de fenocristais de feldspato do que matriz vítrea. |  |
| 3,65 |  | | Riodacito de cor cinza, é possível observar bandamento ocorrendo uma alternância de níveis com mais fenocristais de feldspatos e níveis com mais matriz. |  |
| 4,57 |  | | Riodacito de cor cinza com fenocristais mais esparsos e maior porcentagem de matriz. | |
| 5,5 |  | | Fragments de rocha de cor esbranquiçada, muito alterada. | |
| 5,8 | | | | |

Figura 38: Perfil da sondagem 1 com descrição e fotos.

| PROFUNDIDADE | | | IDENTIFICAÇÃO: FURO 2 | COORDENADAS: 468117.22/ 678811.8 |
|--------------|--|--|--|---|
| | | | LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM: JAZIDA BSC | |
| | | | DIÂMETRO DA SONDAGEM: 55 mm | PROFUNDIDADE DO FURO: 15,84 m |
| | | | DESCRIÇÃO | FOTOS |
| 0,0 |  | | Riodacito maciço de cor cinza avermelhado com fenocristais de feldspatos envolvidos em uma matriz vítrea, cinza escura. |  |
| 0,85 |  | | | |
| 3,21 |  | | Riodacito de cor cinza com fenocristais mais esparsos e maior porcentagem de matriz, fraturas milimétricas, fechadas, preenchidas por quartzo. |  |
| 7,74 |  | | Riodacito de cor cinza, é possível observar bandamento ocorrendo uma alternância de níveis com mais fenocristais de feldspatos e níveis com mais matriz. |  |
| 15,84 |  | | Riodacito maciço cinza com maior proporção de fenocristais de feldspato do que matriz vítrea. |  |

Figura 39: Perfil da sondagem 2 com descrição e fotos.

A partir dos furos de sondagens pôde-se realizar o cálculo do *RQD* (*Rock Quality Designation*), o qual é determinado através da fórmula:

$$RQD = \frac{\Sigma \text{ fragmentos } > 10\text{cm}}{\text{Espessura total do furo}} \times 100\%$$

Para o cálculo do *RQD* se excluem os tarolos menores que 10 cm e os que não estiverem duros ou sólidos, classificamos o resultado conforme a tabela 13. O *RQD* é um importante meio de classificação dos maciços rochosos, por ser um indicador de zonas onde as rochas podem ter alta ou baixa qualidade.

Tabela 13: Classes de RQD. Fonte: adaptado de DNER PRO 102/97.

| Qualidade da Rocha | RQD (%) |
|---------------------------|----------------|
| Muito pobre | 0 - 25 |
| Pobre | 25 - 50 |
| Regular | 50 - 75 |
| Boa | 75 - 90 |
| Excelente | 90 - 100 |

O *RQD* foi calculado para os furos 1 e 2, sendo que os dois obtiveram valores classificados como maciços excelentes, o Furo 1 com resultado de 94,82% e o furo 2 com valor de 92,87%.

Para o cálculo de minério da jazida utilizou-se a poligonal total da área, requerida ao DNPM, de 46.672,00 m² e as descrições dos furos de sondagens. Adotou-se como valor de segurança uma espessura de 30 metros, o volume calculado foi de 1.400,160 m³. Estimou-se através dos furos de sondagens uma superfície de solo de 6.0 metros para toda área, com esse valor foram retirados 280,032 m³ resultando um total de 1.120,128 m³ de volume estimado. Para o cálculo da tonelagem adotou-se o valor da massa específica de 2.57g /cm³ e multiplicando pelo volume resulta em 2.878.728 toneladas.

6.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A respeito da caracterização tecnológica do riodacito, os ensaios realizados por esta pesquisa foram comparados com os ensaios já realizados pela BSC(Relatório- BSC01/2015) para esta mesma jazida. (Tabela 14).

Tabela 14: Comparação entre os dois conjuntos de ensaios realizados na jazida

| Propriedades das Rochas | Relatório de ensaios BSC01/2015 | Riodacito Jazida Nova Pádua ensaiado neste projeto |
|---|---------------------------------|--|
| Massa Específica Aparente Seca (g/cm ³) | 2,55 | 2,57 |
| Absorção de Água (%) | 1,4 | 0,98 |
| Porosidade aparente (%) | 3,5 | 2,51 |
| Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas (Km/s) | 5,17 | 4,95 /4,85 ¹ |
| Flexão Três Pontos em rochas na condição saturada durante 48h (Mpa) | 28,85 | 26,45 |
| Resistência a Compressão Uniaxial (Mpa) | 224,19 | 143,27 |
| Flexão Três Pontos após 25 ciclos de congelamento e degelo (Mpa) | 14,34 | 26,81 |

¹ Resultado do ensaio de ondas ultrassônicas em rochas após 25 ciclos de congelamento e degelo.

Observando o conjunto de amostras dos dois ensaios é possível fazer algumas distinções entre os riodacitos ensaiados (figuras 39). As amostras ensaiadas neste trabalho têm cores mais acinzentadas, sem microdescontinuidades aparentes e sem indícios de alteração intempérica, enquanto as amostras, que constam no relatório BSC01/2015, têm tons mais avermelhados, é possível observar microdescontinuidades, principalmente após a saturação, durante o processo de secagem.

As diferenças entre as amostras são indicativas das discrepâncias entre os valores encontrados para absorção de água, porosidade aparente e flexão 3 pontos. A absorção de água fornece indicação do estado fissural e alteração da rocha, e a porosidade aparente é a relação entre o número de vazios e o volume total, que no caso está representado principalmente pelas microdescontinuidades presentes nas amostras do relatório BSC01/2015. Esse padrão de descontinuidade faz com que a diferença de porosidade entre os dois ensaios seja de até entre 1%, de absorção de água de 0,4%. Também é a explicação para a maior variação nos resultados obtidos no ensaio de flexão 3 pontos, nas amostras após 25 ciclos de congelamento e degelo, que foi de 14,34 MPa para a amostra do relatório de ensaios BSC01/2015 e de 26,45 Mpa para a amostra ensaiada neste projeto. Mas os altos valores de propagação de ondas ultrassônicas, superiores ao exigido pela norma ABNT, nas amostras do

relatório BSC01/2015, indicam que o grau de fraturamento presente nas amostras não é elevado e que as discontinuidades se apresentam bem seladas, não se constituindo em obstáculos a propagação das ondas elásticas. No entanto, as microdescontinuidades constituem-se claramente em planos de fraqueza da rocha, considerando-se o sensível decréscimo de resistência do material submetido após o processo de ciclagem de congelamento e degelo.



Figura 40: Comparação das amostras ensaiadas por esta pesquisa e das amostras ensaiadas na fase de pesquisa da jazida, relatório BSC01/2015, é possível notar as diferenças de cor entre as amostras dos dois ensaios e o grau de fraturamento não orientado presente apenas nas amostras do relatório BSC01/2015. A/C/E: Amostras do relatório BSC01/2015. B/D/F: amostras ensaiadas por essa pesquisa.

Quanto aos valores discrepantes e a princípio incoerentes da resistência a compressão uniaxial, não há explicação a não ser a heterogeneidade da amostra utilizada para preparação dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios BSC01/2015, na prática um material de qualidade inferior foi utilizado para preparar os corpos de prova de todas as modalidades de ensaio,

exceto, os de compressão uniaxial, não é possível saber isso, senão pelo resultado dos ensaios, com valores elevados para esse tipo litológico.

Como as amostras ensaiadas por essa pesquisa e as amostras do relatório BSC01/2015 foram fornecidas pela BSC não é possível saber a localização exata de onde as rochas foram retiradas, se foram de cotas mais superficiais ou mais de centro de derrame. No entanto, baseando-se nos resultados dos ensaios, análise dos testemunhos de sondagens e a caracterização geral do mapeamento da área, as rochas ensaiadas durante o relatório de pesquisa BSC01/2015 têm características de rochas mais superficiais que podem estar associadas com agentes de intempérie. No que diz respeito ao processo de amostragem, tanto para as amostras para ensaios tecnológicos como para as sondagens, é importante ressaltar a relevância desse processo para todo o empreendimento, visto que, partir dos ensaios ocorre toda caracterização do maciço, para tanto as amostras ensaiadas têm que caracterizar o material que será extraído da jazida. E os testemunhos das sondagens devem estar bem armazenadas e nomeadas, todos esses cuidados são necessários e podem influenciar nos resultados e na dinâmica do empreendimento.

Em comparação com as especificações técnicas o riódacito, ensaiado por essa pesquisa, apresentou valores de porosidade e absorção superiores às estabelecidas especificações, indicando ser uma rocha pouco fraturada, que absorve água por estas fraturas. Para o ensaio de resistência ao impacto de corpo duro o resultado obtido foiligeiramente abaixo do mínimo estabelecido pela norma ABNT NBR 15845. Essa especificação não menciona a espessura das placas de rocha ensaiadas, apenas recomenda comprimento e largura e indica que as rochas para ensaio tenham a espessura que será utilizada para uso final. A espessura das placas para este ensaio foi de 16 mm, aconselha-se o aumento da espessura das placas de rochas para uso em pisos, pias e para o atendimento a especificação NBR 15844.

Conclui-se que o riódacito tem as características necessárias sendo favorável à sua utilização como revestimento interno ou locais com pouco ou ausência de umidade, ambientes de clima seco como regra.

Ao confrontar os resultados obtidos nos ensaios para agregado com as especificações técnicas e a classificação de qualidade de Lienhart o agregado de riódacito atende todos requisitos, com qualidade para seu uso pleno na pavimentação rodoviária como material de base, sub-base e concreto asfáltico. Para o ensaio de adesividade, único que não foi satisfatório, sugere-se novo ensaio com a utilização de aditivo.

A análise estrutural da área mostrou que a região de Nova Pádua está afetada principalmente por lineamentos de direção N50-70°E, e subordinadamente por lineamentos de direção N40-60° e NS. A atuação destes lineamentos ficou em maior evidência se confrontarmos a localização dos furos de sondagens com os lineamentos (figura 41). Pode-se observar que exatamente onde foram realizados os três furos de sondagem, existem dois lineamentos com direções de NE-SW e NW-SE, esses lineamentos são a causa da grande quantidade de solo misturados com fragmentos de rocha encontrado durante todo perfil da sondagem 3.

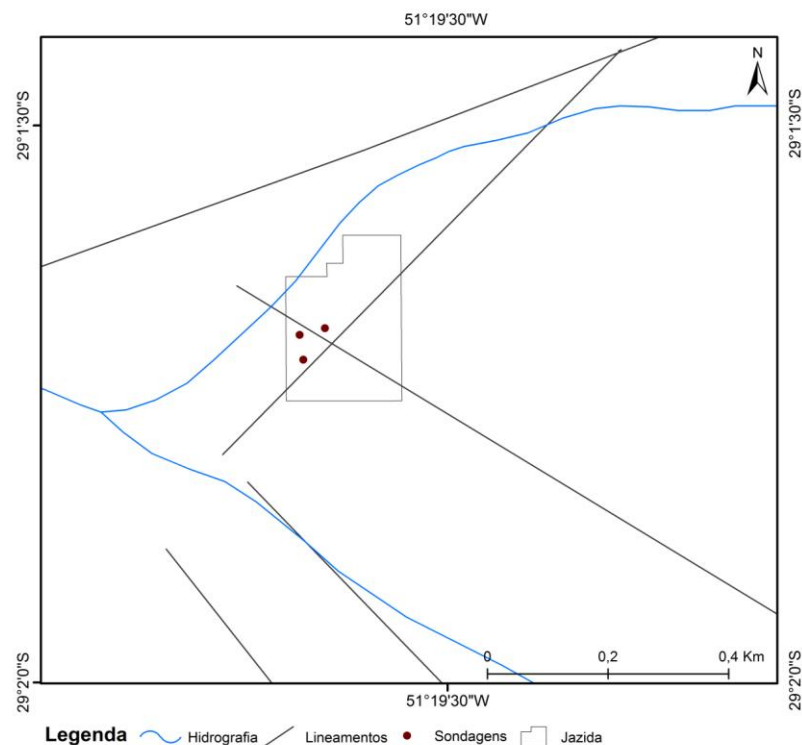


Figura 41: Localização das sondagens em comparação com lineamentos traçados em imagens aéreas e *Google Earth*.

Conforme a figura 37 da página 55 adaptada do relatório de pesquisa, a região onde se dará frente de lavra, indicada para o DNPM, não se realizou nenhum furo de sondagem. Para uma maior segurança visto a análise estrutural, sugere-se a realização de mais furos de sondagens, principalmente na região da frente de lavra. Esta providência é fundamental para realizar a cubagem em nível de reserva indicada e reserva medida, visto que os valores encontrados para a área podem ser considerados como valores de reserva inferida.

As variações de estruturas nos riodacitos, tanto em escala macro, como a zonação de níveis granofíricos e níveis vitrofíricos, como as variações em escala de afloramento, com bandamento marcado pela intercalação de níveis ricos em matriz vítrea, níveis ricos em fenocristais de feldspato e clinopiroxênio, são característicos do tipo de derrame lobado que ocorre nas rochas ácidas. O conhecimento da forma do corpo auxilia na separação dos níveis

internos mais cristalinos e de melhor qualidade, dos níveis mais externos onde o teor de matriz é maior e desta forma, diminui a qualidade do produto final.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (2013). Geologia de Engenharia, 9ª impressão, São Paulo, 538p.

ABNR-NBR-12264:1991. Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991). Sub-base ou Base de Brita Graduada- Procedimento, 3 p.

ABNT-NBR-12583:1992. Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). Agregado Graúdo- Verificação da Adesividade a ligante betuminoso- Método de Ensaio, 2 p.

ABNT NBR NM 51:2001. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). Agregado Graúdo- Ensaio de Abrasão Los Angeles- Método de Ensaio, 6 p.

ABNT NBR 15012: 2003. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). Rochas para Revestimento de edificações- Terminologia, 23p.

ABNT NBR 15845:2010. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). Rochas para revestimento - Métodos de ensaio, 32 p.

ABNT NBR 15844:2010. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). Rochas para revestimento – Requisitos para granitos, 2 p.

ASTM C 615- Standard Specification for Granite Dimension Stone, American Society for Testing and Materials- Interanational, Wes Conshohocken, PA, 2011.

Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P., Marques, L.S., Melfi, A.J. & Stolf, A. D. (1984). Low-pressure evolution of basalt sills from bore-holes in the Paraná Basin, Brazil. *TM PM*, 33: 25-47.

Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P., Marques, L. S., Melfi, A. J., Nardy, A.J.R., Papatrechas, C., Piccirilo, E. M., Roisenberg, A. (1986). Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from Paraná Basin (Brazil): geological, mineralogical, and petrochemical relationships. *Journal of Petrology*, v. 27, p. 915-944.

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

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

CPRM. Serviço Geológico do Brasil (2006). Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000. Superintendência Regional de Porto Alegre, CPRM.

DAER. Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1998). Especificações Gerais.

DAER-ES-P 04/1991- Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991). Sub-Base Granular, 4p.

DAER-ES-P 08/1991- Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991). Base Granular, 8p.

DNER-ME 089/1994- Agregados- Avaliação da durabilidade pelo emprego de solução de sulfato de sódio ou de magnésio.

DNIT- 031/2006-ES. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006). Pavimentos flexíveis- Concreto asfáltico- Especificação de serviço, 14p.

DNIT- 141/2010-ES. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2010). Pavimentação- Base estabilizada granulometricamente- Especificação de serviço, 9p.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. (2014). Sumário Mineral. Brasília, DNPM.

Frasca, M.H.B.O, (2002). 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.

Garland, F., Hawkesworth, C. J., Mantovani, M. S. M. (1995). Description and petrogenesis of the Paraná rhyolites (sic), Southern Brazil. *Journal of Petrology*, v. 36, p. 1193-1227.

Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox, A. L. V., Craig, L. E., Smith, A. L. G, (1989). A geologic time scale. Cambridge, Cambridge University Press, 1989. 263p.

Holz, M., Kuchle, J., Philipp, R.P., Bischoff, A.P., Arima, N. (2006). Hierarchy of tectonic control on stratigraphic signatures: Base-level changes during the Early Permian in the Paraná Basin, southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 22, p. 185-204, 2006.

Lienhart, D.A., (2003). A systems approach to evaluation of rip-rap and armor stone sources. *Envi. Engng. Geosci.* Vol. IX, Nº2, p.131-149

Mantovani, M.S.M.; Cordani, U. G., Roisenberg, A. (1985). Geoquímica isotópica em vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná e implicações genéticas associadas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 15, p. 61-65.

Matta, P.M., Veras, A.M., Correia, D.M. (2006) Roteiro Básico para Pesquisa de Rocha Ornamental: Modelo aceito pelo 7º DS/DNPM.

Melfi, A.J., Piccirillo, E.M & Nardy, A.J.R. (1988). Geological and magmatic of the Paraná Basin and Introduction. In: Piccirillo EM, Melfi AJ (Eds) *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects*. São Paulo, IAG-USP. P. 1-13.

Menezes, R.G., Larizzatti, J.H., (2005). Rochas Ornamentais e de Revestimento: conceitos, tipos e caracterização tecnológica - Curso de Especialização em Mármore e Granitos. 14 p.

Milani, E.J. (1997). Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 225p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Milner, S. C., Duncan, A.R., Whittingham, A.M., Ewar, A. (1995). Trans- Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silic volcanic units within Paraná- Etendeka Igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 69, p. 137-157.

Mincato, R.L. (2000). Metalogenia dos elementos do grupo da platina com base na estratigrafia e geoquímica da Província Ígnea Continental do Paraná. São Paulo. 172p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.

Motoki, A., Zucco, L.L., Vargas, T., Neves, J.L.P., (2004). Basalto da Serra Gaúcha e sua Relação com o Desenvolvimento Regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2004, Belo Horizonte. Anais.

Nardy, A.J.R. (1995). Geologia e petrologia do vulcanismo da região central da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. São Paulo.

Nardy, A.J.R., Oliveira, M.A.F., Betancourt, R.H.S., Verdugo, D. R.H. & Machado, F.B. (2002). Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. Revista Geociências, 21 (2): 15-32.

Nardy, A.J.R., Machado, F.B., Oliveira, M. A. F., (2008). As rochas vulcânicas mesozoicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímicas- estratigráficas. Revista Brasileira de Geociências, v. 38, n.1, p.178-195.

Paraguassú, A.B., Rodrigues, E.J., Ribeiro, R.P., Frazão, E.B (2014). Indústria da Pedra: Da Extração à Aplicação Final. São Carlos: EESC-USP. 130p.

Piccirillo, E.M. & Melfi A.J. (1988). The Mesozoic Flood volcanism of the Paraná Basin-Petrogenetic and geophysical aspects. USP. São Paulo.

Philipp, R.P., Vieiro, A.P., Neves, P.C.P., Robaina, L.E.S., Zanette, I.L. (1994). Caracterização geológica e petrológica preliminar do vulcanismo ácido da região de Campos Novos, Santa Catarina. *Bol. Ig- USP, Sér. Cient.*, 25:17-27.

Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J., Prevot, M., Perrin, M. (1992). The age of Parana Flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic- Cretaceous boundary. *Science*, v.258, p. 975-979.

Sales, F.A.C.B., Morais, J.O., (2003). Proposta Metodológica de Pesquisa para Rochas Ornamentais. IV SRONE- Fortaleza- CE. Anais... Sessões técnicas.

Turcati, L.S., (2014). Caracterização geológica-geotécnica da brecha vítrea ocorrente em uma jazida de riodacito- projeto de expansão da Mina Maestra- Caxias do Sul, RS. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS.RS.

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.

Vail, P.R., Mitchum, R.M. & Thompson, S. (1977). Seismic Stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: Payton, C.E. (ed.). Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration. American Association of Petroleum Geologists Memoir, Tulsa, v.26, p. 63-81.

Valadão, G.E.S., Dutra, J.L.G., Galéry, R., Morais, B.F., Braga, G.P., Oliveira, M.M, (2010). Quartzito no parque nacional da serra da canastra e seu entorno- relatório final. DEMIN (Departamento de Engenharia de Minas), UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais).

Waichel, B.L., Lima, E.F., Viana, A., Scherer, C.M.S., Bueno, G. & Dutra, G. (2012). Stratigraphy and Volcanic facies architecture of the torres syncline, Southern Brasil, and its role in understanding the Paraná-Etendeka Continental Flood Basalt Province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 215: 74-82.

Waichel, B. L., Lima, E. F., Lubachesky, R., Sommer, C.A., (2006). Pahoehoe flows from the central Paraná Continental Flood Basalts. *Bulletin of Volcanology*, v.68, p599-610,2006.

White, I. C. (1908). Relatório final da comissão das Minas de carvão de Pedra Brasil. Rio de Janeiro. *Imprensa Nacional*, 617p.

Wildner, W. (2004) 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.

Zalán, P.V., Wolff S., Conceição J.C.J., Altolfi M.A.M., Vieira I.S., Appi V.T., Zanotto O.A. (1987). 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.