



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



LUCAS LUIZ RODRIGUES DE ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS JAZIDAS 1 E
2 DA BRITAGEM TIO HUGO - TIO HUGO, RS**

Porto Alegre, 2023

Lucas Luiz Rodrigues de Andrade

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS JAZIDAS 1 E 2 DA
BRITAGEM TIO HUGO - TIO HUGO, RS**

Trabalho de Conclusão de curso de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apresentado na forma de monografia como requisito para obtenção do título de bacharelado em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Pedro Viero

Prof. Dr. Clovis Gonzatti

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Andrade, Lucas Luiz Rodrigues
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS JAZIDAS 1 E
2 DA BRITAGEM TIO HUGO - TIO HUGO, RS / Lucas Luiz
Rodrigues Andrade. -- 2023.
76 f.
Orientadores: Clovis Gonzatti, Antônio Pedro Viero.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2023.

1. Geologia de engenharia. 2. Rochas vulcânicas
ácidas. 3. Grupo Serra Geral. 4. Agregados . I.
Gonzatti, Clovis, orient. II. Viero, Antônio Pedro,
orient. III. Título.

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “Caracterização geológico-geotécnica das jazidas 1 e 2 da britagem Tio Hugo - Tio Hugo, RS”, elaborado por Lucas Luiz Rodrigues de Andrade, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Msc. Guilherme Nunes de Oliveira Borsa

Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrade Filho

Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginatto

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Gelson e Maria, e a minha avó, Norina, por sempre me apoiarem, incentivarem e serem a base que estrutura a minha vida. Seu amor incondicional, dedicação e sacrifícios fizeram de mim a pessoa que sou hoje. Tenho orgulho de tudo que fazem por mim. Amo vocês!

À minha namorada, Ana, que esteve junto comigo desde o pré-vestibular, sendo minha parceira e amiga, teve um papel fundamental mesmo em um relacionamento à distância, sendo o meu porto seguro nos momentos ruins, me dando suporte emocional e me ajudando a enfrentar os desafios que surgiram ao longo do caminho. Eu sou muito sortudo por ter encontrado alguém tão incrível como você, e sei que juntos podemos enfrentar qualquer desafio. Te amo!

À família da Ana: Luiz Antônio, Maria Doraci, Luiz Gustavo, Laura, Sabrina e Henrique, por todo o apoio e incentivo, além dos diversos momentos de alegria juntos.

Agradeço aos meus professores orientadores Clóvis e Viero, pela dedicação e disposição que foram essenciais para a realização deste trabalho. Mais ainda pelos diversos conhecimentos transmitidos.

A todos os colegas que fiz durante a graduação, especialmente ao grupo “geobbks”: Gabizão, Ismael, Jean, João Vitor, João Miguel, João Pedro, Julia, Lucca, Ronaldo, Thiago Mohr, Tiago Saldanha e Will. Com vocês a árdua jornada foi mais divertida, ainda mais durante os trabalhos de campo.

Aos meus ex-colegas de apartamento, Luciano e Japa, pelas inúmeras risadas e compartilhamento tanto de ideias quanto de conhecimentos. Foi bom dividir a casa com vocês.

Ao Carlos e ao Juliano da britagem Gayger & Cia de Tio Hugo, pela oportunidade, apoio financeiro e espaço cedido para a realização deste trabalho em parceria aplicando os conhecimentos teóricos em situações práticas, foram muito atenciosos e solícitos.

À equipe do LAPAV, pela disponibilidade e pelo espaço para realização dos ensaios essenciais para o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Frank, que além dos conhecimentos passados em sala de aula, se disponibilizou a confeccionar as lâminas petrográficas.

*"What we know is a drop, what we don't
know is an ocean."*

-Isaac Newton

RESUMO

O Grupo Serra Geral (GSG) abriga as rochas vulcânicas da Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE) no território brasileiro. Nas sucessões superiores da estratigrafia e nas cotas mais altas do Grupo Serra Geral estão presentes as rochas vulcânicas ácidas, como os riolitos e os dacitos, também chamados de Riodacitos, que localmente pertencem à Formação Palmas. O presente trabalho utiliza os conceitos e ferramentas da geologia de engenharia para realizar uma análise qualitativa das jazidas 1 e 2 presentes na Britagem Tio Hugo, localizada no município de Tio Hugo, RS. Esse estudo busca empregar o material tido como de menor qualidade e inutilizado (estéril) na primeira jazida como material de sub-base, bem como a classificação do material da nova jazida. O trabalho consistiu em uma análise da literatura existente acerca da área de interesse, mapeamento geológico-geotécnico em campo e coleta de amostras para elaboração de lâminas delgadas e para ensaios de laboratório. Para caracterização do maciço rochoso, foram realizados ensaios de determinação de índices físicos (absorção de água, porosidade, densidade real e aparente), resistência mecânica (resistência a compressão uniaxial, carga pontual, desgaste por abrasão Los Angeles) e ensaios de alterabilidade (sanidade ao sulfato de sódio e resistência ao atrito e impacto a úmido - *slake-durability*). A mineralogia foi caracterizada através da análise petrográfica de lâmina delgada. Foi possível identificar que se trata de duas unidades vulcânicas distintas sendo a Unidade Vulcânica 1 de composição básica e com material classificado de qualidade marginal a boa e a Unidade Vulcânica 2 de caráter ácido com qualidade boa a excelente. Com base nas características geotécnicas da rocha estudada (*Rubbly*), sugere-se que o material é adequado para ser utilizado como agregado de qualidade inferior. Ele atende às especificações técnicas de pavimentos rodoviários para camadas de sub-base e, com alguns cuidados, pode ser utilizado como camada de sub-base. Além disso, foi possível verificar a qualidade excelente do agregado produzido pela nova jazida e verificar o enquadramento aceitável segundo as normas.

Palavras-Chave: Serra Geral; geologia de engenharia; sub-base; agregado.

ABSTRACT

The Serra Geral Group (GSG) hosts the volcanic rocks of the Paraná-Etendeka Magmatic Province (PMPE) in Brazilian territory. In the upper successions of the stratigraphy and in the highest levels of the Serra Geral Group, acidic volcanic rocks such as rhyolites and dacites, also known as Riodacite, are present, locally belonging to the Palmas Formation. This study employs concepts and tools of engineering geology to perform a qualitative analysis of deposits 1 and 2 present in the Tio Hugo Crushing Plant, located in the municipality of Tio Hugo, RS. This study aims to use the material considered of lower quality and unused (sterile) in the first deposit as sub-base material, as well as to classify the material from the new deposit. The study consisted of an analysis of existing literature on the area of interest, geological-geotechnical mapping in the field, and collection of samples for preparation of thin sections and laboratory tests. To characterize the rock mass, tests were performed to determine physical indices (water absorption, porosity, real and apparent density), mechanical strength (uniaxial compression strength, point load strength, Los Angeles abrasion test), and alterability tests (sodium sulfate soundness and wet attrition and impact resistance - slake-durability). Mineralogy was characterized through petrographic analysis of thin sections. It was possible to identify two distinct volcanic units, with Unit 1 being of basic composition and material classified as of marginal to good quality and Unit 2 being of acidic character with good to excellent quality. Based on the geotechnical characteristics of the rock studied (Rubby), it is suggested that the material is suitable for use as lower quality aggregate. It meets the technical specifications for road pavements for sub-base layers and, with some care, can be used as a sub-base layer. In addition, it was possible to verify the excellent quality of the aggregate produced by the new deposit and its acceptable conformity to the norms.

Keywords: Serra Geral; engineering geology; sub-base; aggregate.

Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa geológico simplificado demonstrando a distribuição da Província Magmática Paraná-Etendeka. Retirado de Sowinski (2016).	15
Figura 2 - (A) Localização da área de estudo na América do Sul. (B) Distribuição regional das formações de lava da PMPE. Modificado de Rossetti et al. 2018.....	16
Figura 3 - Localização das jazidas no município de Tio Hugo/RS. A jazida 1 é a mina abandonadae onde fica a planta de britagem, a jazida 2 é a nova jazida em atividade.	17
Figura 4 - Contexto regional da Bacia do Paraná e distribuição cronoestratigráfico. Fonte: Milani et al. 1998.	21
Figura 5 - Perfil esquemático da Formação Vale do sol. Lava tipo rubbly pahoehoe com crosta inferior fina e vesicular, núcleo de fluxo maciço, crosta superior grosseiramente vesicular e superfície de detritos. Modificado de Rossetti et al. (2018).	25
Figura 6 - Perfil esquemático da Formação Palmas. Riodacitos tabulares com crosta inferior pobre em vesículas com foliação de fluxo, núcleo de fluxo granofírico maciço, crosta superior vesicular e autobrechada, coberta por fluxo de obsidiana. Modificado de Rossetti et al. (2018).	25
Figura 7 - Estratificação da pavimentação de cimento Portland. Retirado de Bernucci et al. 2008.....	27
Figura 8 - (A) Pavimentação asfáltica sendo executada. (B) Estratificação da pavimentação asfáltica. Retirado de Bernucci et al., 2008.....	28
Figura 9 - Exemplificação da montagem de uma lâmina delgada. Modificado de Nardy e Machado (2017).	31
Figura 10 - Balança BEL 2kg (à esquerda) e estufa pequena modelo S250SD (à direita).	32
Figura 11 - Balança com pesagem por baixo, cesto cilíndrico e tanque com água utilizada para determinação dos índices físicos.	34
Figura 12 - Tambor utilizado para o ensaio de abrasão “Los Angeles”.....	36
Figura 13 - Preparação das amostras para a realização do ensaio, antes de colocar dentro do frasco de vidro com água destilada e ir a estufa.	39
Figura 14 - Esquema representativo do equipamento utilizado no ensaio. Modificado de Elmashad (2009).	40
Figura 15 - Equipamento utilizado para o ensaio de alterabilidade a úmido.	41

Figura 16 - Equipamento utilizado para o ensaio de carga pontual.....	43
Figura 17 - Bloco diagrama com as unidades presentes na área de mineração da jazida 1.....	44
Figura 18 - Detalhe do contato entre o paleorelevo da UV1 com a UV2, destacado pela linha em vermelho.	46
Figura 19 - Contato entre a UV1 e a UV2 evidenciando o paleorelevo formado pela UV1, sendo esse o topo de um pequeno morro.....	47
Figura 20 - Contato entre a UV1 e a UV2 evidenciando o paleorelevo formado pela UV1, sendo esse uma feição do tipo vale.	48
Figura 21 - Bloco com uma brechação característica de lavas Rubbly pahoehoe. ...	49
Figura 22 - Amígdalas achatadas e alinhadas.	50
Figura 23 - Lentes de vidro vulcânico de cor preta e brilho resinoso (pitchstones).	50
Figura 24 - Frente de lavra atual do Riodacito na jazida 2.	52
Figura 25 - Fragmento “bomba” encontrado na jazida 1.	53
Figura 26 - Calcita preenchendo as estruturas resultante do bandamento ígneo. Nicóis descruzados a esquerda e nicóis cruzados a direita.	56
Figura 27 - A-Textura gráfica característica da rocha. B- Macla Carlsbad. C- Plagioclásio sofrendo substituição por calcita.	57
Figura 28 - Nicóis descruzados a esquerda mostrando a matriz vítrea com alguns microfenocristais. A direita imagem com nicóis cruzados.	59
Figura 29 - Amígdalas com a presença de zeólitas e calcedônia. Nicóis descruzados a esquerda e nicóis cruzados a direita.	60
Figura 30 - Riodacito antes do ensaio de carga pontual (esquerda) e após o rompimento (direita).	62
Figura 31 - Rubbly antes do ensaio de carga pontual (esquerda) e após o rompimento (direita).	63
Figura 32 - Rubbly antes do ensaio de durabilidade a úmido (esquerda) e após a realização do 5º ciclo (direita).	63
Figura 33 - Riodacito após o ensaio de sanidade com sulfato de sódio, mostrando baixíssima degradação.	64

Lista de tabelas

Tabela 1 - Normas para caracterização tecnológica nos principais usos. Fonte: Luz e Almeida 2012	29
Tabela 2 - Normas para caracterização tecnológica nos principais usos. Fonte: Luz e Almeida 2012	29
Tabela 3 - Graduação para ensaio – Norma DNER – ME 035/98	35
Tabela 4 - Carga Abrasiva – Norma DNER – ME 035/98.....	35
Tabela 5 - Contagem modal dos minerais constituintes da amostra UVA-0001	54
Tabela 6 - Contagem modal dos minerais constituintes da amostra UVB-0001	58
Tabela 7 - Contagem modal dos minerais constituintes da amostra UVB-0002	59
Tabela 8 - Resultados dos ensaios geotécnicos para os materiais rochosos que ocorrem na britagem Tio Hugo	61
Tabela 9 - Comparação dos resultados dos ensaios com os valores exigidos por algumas especificações técnicas.	65
Tabela 10 - Critérios para a definição das 4 classes de rocha em termos de qualidade para o Riodacito. Modificado de Lienhart (2003).....	66
Tabela 11 - Critérios para a definição das 4 classes de rocha em termos de qualidade para a Rubbly. Modificado de Lienhart (2003).	67

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3 JUSTIFICATIVA.....	19
4 ESTADO DA ARTE.....	20
4.1 Contexto geológico regional	20
4.1.1 GRUPO SERRA GERAL	21
4.2 Geologia local.....	26
4.3 Geotecnia	26
4.3.1 PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA	26
4.3.2 MATERIAIS DE BASE E SUB-BASE.....	28
4.3.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	28
5 METODOLOGIA	30
5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
5.2 TRABALHO DE CAMPO.....	30
5.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	30
5.3.1 MINERALOGIA.....	31
5.3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA E TECNOLÓGICA DO AGREGADO	31
6 RESULTADOS.....	44
6.1 Geologia da jazida.....	44
6.1.1 UNIDADE VULCÂNICA 1 (UV1)	44
6.1.2 UNIDADE VULCÂNICA 2 (UV2)	51
6.2 Caracterização mineralógica	53
6.2.1 PETROGRAFIA	53
6.3 Caracterização tecnológica	60
7 DISCUSSÕES	65
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A geologia de engenharia é o campo da geologia que aplica os conceitos geológicos à investigação, estudo e resolução dos problemas resultantes da interação entre as obras de engenharia com o meio ambiente e com o ser humano. Além disso sugere as possíveis ferramentas de prevenções e intervenções minimizadoras de danos, visto que a urbanização crescente faz com que cada vez mais novas residências encontrem-se em locais de risco e nesse cenário a geologia de engenharia tem papel fundamental.

A extrusão fissural de lavas em grande escala proporciona a formação das Províncias Basálticas Continentais (Coffin e Eldholm, 1994). A Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE) representa um evento magmático de grande magnitude do Cretáceo inferior que ocorreu no início da separação do Gondwana Sul e abertura do oceano Atlântico Sul (Hawkesworth et al. 1992; Peate, 1997; Marsh et al. 2001) e se encontra dentro do contexto da Bacia do Paraná. A PMPE cobre cerca de 1.200.000 m² dos territórios brasileiro, argentino, paraguaio, uruguaio e uma pequena porção dos seus análogos no continente Africano (Cordani e Vandomos, 1967; Peate, 1997) (Figura 1). Litoestratigraficamente no sul do Brasil, a Província Ígnea Paraná- Etendeka é reconhecida como Grupo Serra Geral (Rosseti et al. 2018), e é constituída na grande maioria por rochas basálticas andesíticas e uma menor parte subordinada de rochas vulcânicas ácidas. As lavas ácidas e intermediárias encontram-se nas porções superiores e nas cotas mais altas da estratigrafia, podendo estar recobrando ou intercalando com as lavas básicas.

Segundo dados levantados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), os agregados utilizados pela indústria da construção civil estão entre os insumos de maior demanda no mundo. A partir disso, surge uma necessidade do aumento da produção da matéria prima. O conhecimento da geologia local juntamente com as aplicações da geologia de engenharia são as soluções para essa questão.

A Britagem Tio Hugo é a empresa que opera a mina na cidade de Tio Hugo no estado do Rio Grande do Sul (Figura 3). Município que conta com posição geográfica estratégica visto que, a rodovia federal (BR-386) que atravessa o município, tem projeto de duplicação para ser executada com prazo para o ano de 2030. A rocha predominante na mina é uma vulcânica ácida (Riodacito cinza claro) pertencente à Formação Palmas (FP), como visto na Figura 2, do Grupo Serra Geral. A mina é composta pela jazida 1, que está em fase final de exploração devido a um limite físico, onde abaixo da cota 500 metros, o material encontrado possui uma

coloração mais avermelhada e de menor qualidade, que provavelmente se trata do topo de uma unidade básica característico de uma *rubbly pahoehoe*. E por uma segunda jazida em uma tentativa de expansão que se encontra a aproximadamente 600 metros a sudeste da primeira jazida e está em uma fase inicial de exploração.

Este trabalho busca caracterizar o material definido como *rubbly* da Jazida 1, a fim de o designar uma utilidade, tendo em vista que o material é considerado como resíduo. Além disso, há interesse também no material da Jazida 2, tendo em conta que ainda não se conhece as suas propriedades para que se possa expandir o projeto de mineração, baseado em diferentes especificações técnicas para uso em diversos setores da construção civil: como nos cimentos, pavimentação asfáltica como base e sub-base e utilizado em lastro padrão de ferrovias.



Figura 1 - Mapa geológico simplificado demonstrando a distribuição da Província Magmática Paraná-Etendeka. Retirado de Sowinski (2016).

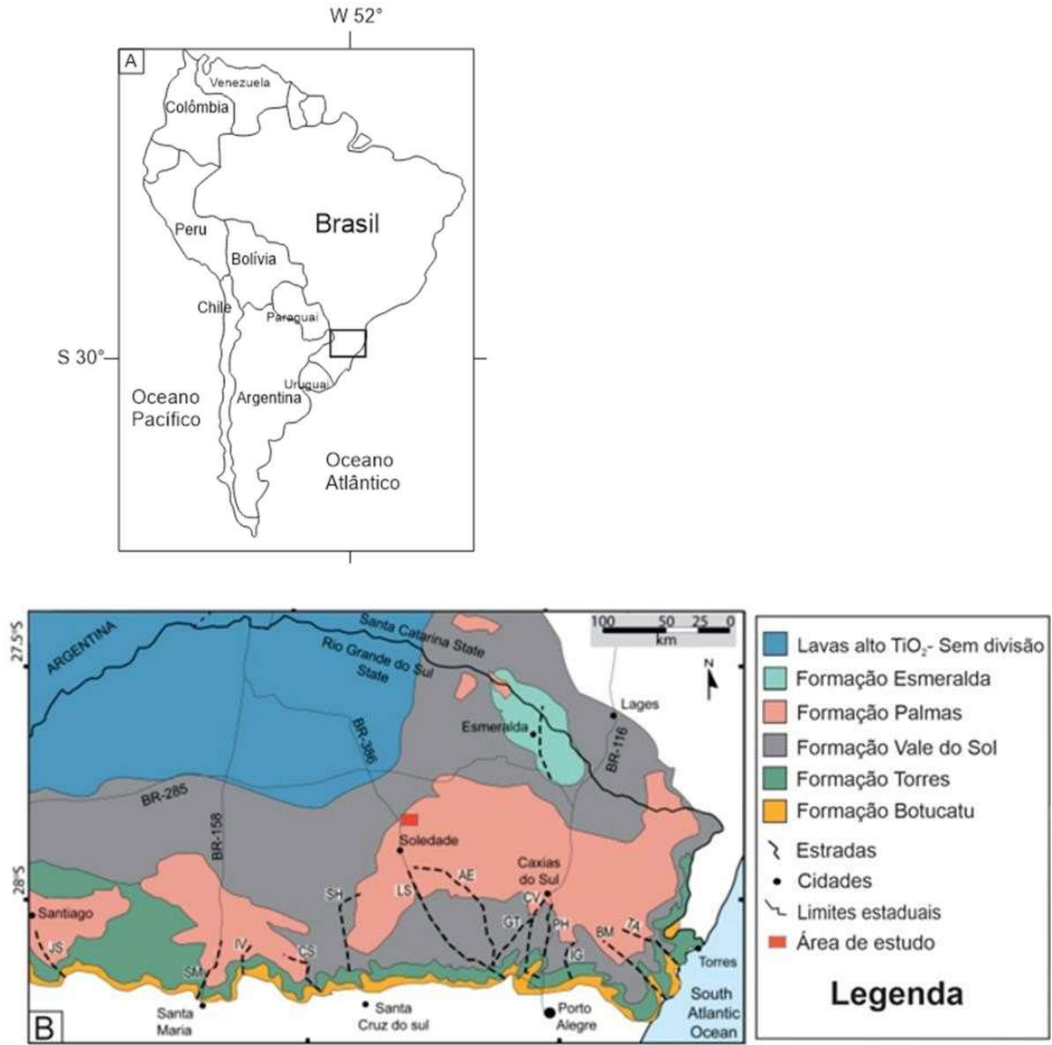


Figura 2 - (A) Localização da área de estudo na América do Sul. (B) Distribuição regional das formações de lava da PMPE. Modificado de Rossetti et al. 2018.

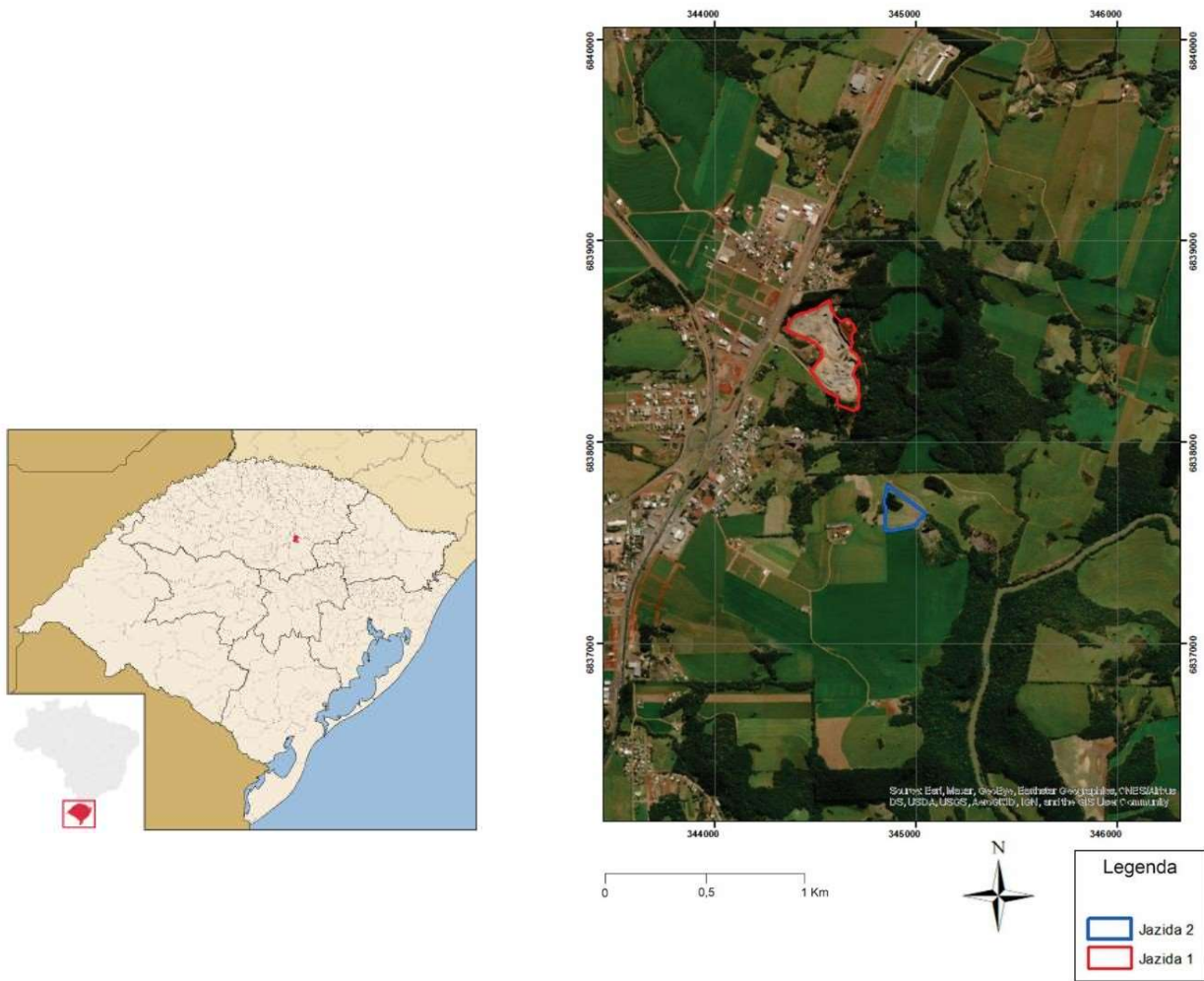


Figura 3 - Localização das jazidas no município de Tio Hugo/RS. A jazida 1 é a mina abandonadae onde fica a planta de britagem, a jazida 2 é a nova jazida em atividade.

2 OBJETIVOS

Nesta seção estarão descritos os objetivos gerais e os específicos do trabalho, bem como as metas a serem atingidas.

2.1 Objetivo Geral

- Definir os parâmetros físicos e mecânicos do material tido como estéril da Jazida 1.
- Avaliar os parâmetros físicos e mecânicos do material da Jazida 2 para produção de agregados de base

2.2 Objetivos específicos

- Estudar a variação da geologia local do corpo vulcânico.
- Definir se as unidades vulcânicas 1 e 2 são de fato unidades distintas.
- Verificar a aplicabilidade do material estéril da jazida 1.

3 JUSTIFICATIVA

O grande evento vulcânico do Grupo Serra Geral da Província Basáltica Continental Paraná-Etendeka, vinculado à bacia do Paraná é tido como o último evento vulcânico da bacia, sendo localmente o topo da sequência estratigráfica formado por rochas efusivas ácidas.

A Britagem Tio Hugo é a responsável por operar a mina no município. O material extraído como agregado é composto de rochas vulcânicas ácidas (Riodacito) pertencente à Formação Palmas dentro do contexto do Grupo Serra Geral. A jazida 1 com limites urbanos impedindo a expansão da mina lateralmente, teve sua sequência em profundidade até a cota 500 metros, onde foi encontrada uma nova unidade vulcânica (*rubbly*) bastante alterada, sendo definido pela empresa como um material estéril, porém sem a realização de nenhum ensaio de caracterização geológico-geotécnico. Entretanto, não se tem informação a respeito da espessura e volume dessa nova unidade. Além disso, como alternativa de expansão foi aberto uma nova jazida (jazida 2) cerca de 600 metros a sudeste do primeiro local explorado, mas não foram realizados trabalhos de pesquisa nessa nova área.

Os métodos e técnicas da geologia de engenharia surgem como ferramentas necessárias para a realização da aquisição de todos esses parâmetros, bem como tornar possível a interpretação dos dados adquiridos e poder sugerir alternativas. Sendo assim, é possível enquadrar o riodacito da mina com as normas do ABNT/DNIT e indicar o melhor uso para esse agregado com base nas especificações técnicas existentes, por mais que as especificações técnicas brasileiras estejam baseadas em normas internacionais com clima e geologia diferentes, ainda existem essas normas para serem seguidas. Fazendo com que seja possível a expansão, tanto em profundidade (jazida 1) quanto lateralmente (jazida 2), do empreendimento, trazendo mais empregos e mais investimentos para o município, além de que traz um grande aumento da produção do agregado que é utilizado em larga escala nas construções civis.

4 ESTADO DA ARTE

Esta parte do projeto aborda uma revisão bibliográfica acerca da geologia regional e das rochas ácidas da província vulcânica da Bacia do Paraná, região onde o local de estudo se encontra.

4.1 Contexto geológico regional

A área de estudo está inserida dentro da região da Bacia do Paraná (Figura 3), uma unidade vulcano-sedimentar presente no continente sul-americano, incluindo o território de diversos países (Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai) e totalizando um total de 1,5 milhão de quilômetros quadrados de extensão.

Milani (1998) classificou seis unidades estratigráficas de ampla escala ou supersequências que compreende um pacote sedimentar-magmático com espessura total de aproximadamente 7 mil metros, materializados em um período de tempo definido e limitados por discordâncias: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico- Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As três Superquesências mais antigas abrigam as rochas sedimentares que registram as oscilações do nível do mar durante o período Paleozóico. Enquanto as demais unidades representam sedimentos continentais associados a corpos ígneos.

Conforme definido por Coffin e Eldholm, 1994 as províncias basálticas continentais são formadas por extrusão fissural de lavas em grande escala. A Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE) representa um evento magmático de grande magnitude do cretáceo inferior que ocorreu no início da separação do Gondwana Sul e abertura do oceano Atlântico Sul (Hawkesworth et al., 1992; Peate, 1997; Marsh et al., 2001), estando presente nos continentes africano e sul-americano. No Brasil, os litotipos que englobam a Província basáltica continental são classificados de forma litoestratigráfica como Grupo Serra Geral (GSG) por Rossetti et al., 2018.

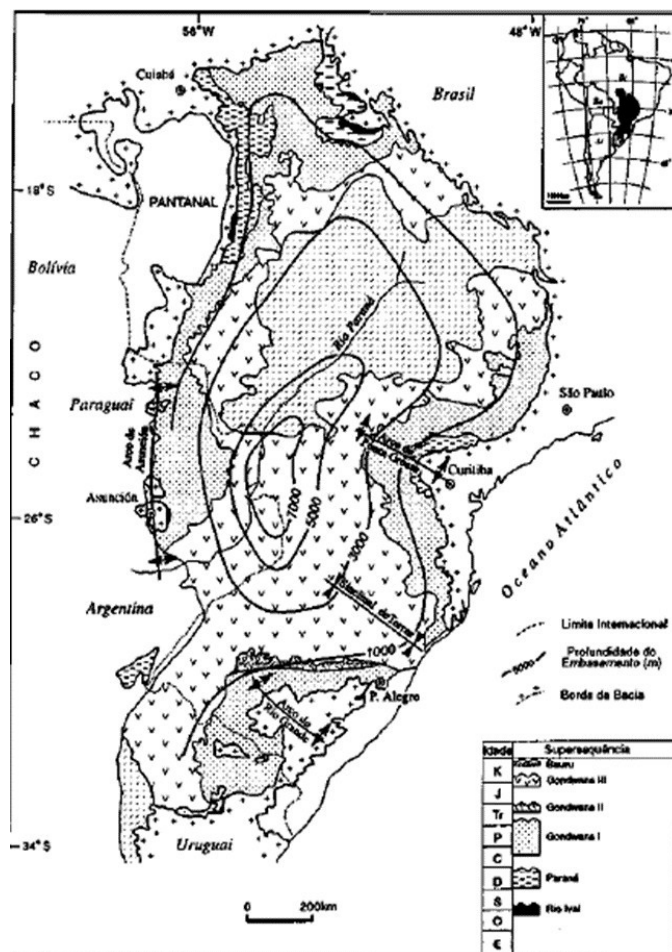


Figura 4 - Contexto regional da Bacia do Paraná e distribuição cronoestratigráfica. Retirado de Milani et al. 1998.

4.1.1 GRUPO SERRA GERAL

O evento magmático que deu origem ao GSG põe fim a deposição sedimentar eólica da Formação Botucatu no interior do continente, evidenciado pela preservação de dunas e feições sedimentares (Scherer, 2002; Waichel et al. 2008; Holz et al. 2008). A forma inicial da erupção ficou registrada devido a intercalação de sedimentos, sendo possível preservar nas unidades basais basálticas, morfologias de derrames do tipo pahoehoe (Jerram et al. 2000a, b; Jerram e Stollhofen, 2002; Scherer, 2002).

As rochas basálticas e andesíticas de afinidade toleítica representam a maioria do volume da pilha de lava básica. Enquanto as efusivas ácidas ocorrem com menos frequência e no topo da sequência estratigráfica, se restringindo aos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Piccirillo et al. 1988). Quando o magma chega próximo a superfície, ele torna-se saturado em fases voláteis (Sparks, 1978; Burnhan, 1983). Nos sistemas fechados, o tamponamento dos condutos e a rápida devolatilização

geram grande acúmulo de energia em magmas de composição ácida, resultando em erupções explosivas (Simões, 2018). Enquanto nos sistemas abertos, a fuga da fase gasosa permite a dissipação de grande parte da energia e a colocação passiva de fluxos e domos de lava (Cashman, 2004).

O mecanismo de *emplacement* das unidades ácidas ainda não é um consenso. Alguns autores (Harris et al. 1990; Roisenberg e Viero, 2000; Milner et al. 1992, 1995; Bryan et al. 2010) sugerem a classificação dessas rochas vulcânicas félsicas como sendo reognimbritos, mesmo que as texturas que corroborem para essa hipótese sejam raras e localizadas às ocorrências de fragmentos púmice. Outros (Comin- Chiaramonti et al. 1988; Bellieni et al. 1986; Umann et al. 2001; Lima et al. 2012; Rossetti et al., 2018) chamam a atenção para as ocorrências típicas de rochas ácidas do tipo efusivas, como micrólitos de feldspatos orientados segundo o fluxo, terminações lobadas, autobrechas e a ausência de litoclastos vulcânicos. Além disso, as camadas tabulares não demonstram fortes variações de espessura e padrões texturais (Lima et al. 2018). Em razão disso, critérios tradicionais usados para distinguir ignimbritos de lavas em condições de alta temperatura geralmente são falhos (Henry e Wolff, 1992).

No trabalho de Henry e Wolf (1992), abordam os critérios diagnósticos e não diagnósticos para depósitos de alta temperatura. Dentre eles, para derrames de lavaos autores propõem que:

- É comum a presença de brechas basais com diferentes tipos texturais do próprio fluxo em uma matriz clástica;
- Bases maciças ou com bandamento de fluxo são mais comuns para as ocorrências efusivas;
- Lavas ocorrem de maneira mais espessa nas margens e possuem a frente abrupta;
- Lavas entram em erupção majoritariamente por fissuras e mantêm espessuras uniformes ao longo da sua extensão.

As principais características atribuídas a depósitos de ignimbritos de alta temperatura são:

- Ignimbritos afinam poucos metros das suas bordas, onde geralmente não apresentam feições de fluxo secundárias;
- Em velocidades mais baixas, os fluxos piroclásticos podem superar obstáculos muito maiores que o depósito resultante;
- Ignimbritos geralmente entram em erupção a partir de caldeiras e podem acumular espessuras muito maiores do que as do depósito vulcânico relacionado ao colapso de erupções.

No trabalho de Bellieni et al. (1984), os autores classificaram as rochas básicas por geoquímica separando em dois grupos principais baseados nos teores de TiO_2 : basaltos de alto TiO_2 ($TiO_2 > 2\%$) e basaltos baixo TiO_2 ($TiO_2 < 2\%$). Mantovani et al. (1985) e Nardy et al. (2008) sugerem a separação de dois subgrupos dentro das rochas ácidas: Chapecó (alta porcentagem de elementos incompatíveis) e Palmas (baixo teor de elementos incompatíveis e com uma quantidade de sílica maior quando comparado ao do tipo Chapecó). Uma subdivisão do tipo Palmas em Santa Maria, Caxias do Sul, Anita Garibaldi, Clevelândia e Jacuí; e o do tipo Chapecó em Guarapuava, Ourinhos e Tamarana foram propostas por Peate et al. (1992) e Nardy et al. (2008) utilizando métodos geoquímicos e correlações estratigráficas.

Nardy et al. (2008) classificaram as rochas vulcânicas ácidas do subgrupo Palmas como possuindo uma coloração predominante de cinza claro, com alguns tons de vermelho mais localizadamente, de natureza afírica com textura hipohialina a holohialina. A assembléia mineralógica é composta majoritariamente por microfenocristais de plagioclásio do tipo labradorita (16% do volume total), augita (11%), magnetita (5%), Pigeonita (3%) e 1% de apatita. O volume restante de 64% é constituído por uma matriz semi vítrea, castanha escura, tendo tipicamente o intercrescimento de microlitos de quartzo e feldspato alcalino (textura granofírica). Ainda segundo os autores, quando forem holohialinas na forma de pichestones a coloração é negra com fratura conchoidal. Porém, devido a sua natureza, apresenta uma alteração intempérica muito presente, fazendo com que as partes aflorantes estejam em estado avançado de intemperismo. As rochas ácidas do tipo Chapecó, são porfíricas com 24% de fenocristais de Plagioclásio, envolvidos em uma matriz

afanítica de cor cinza claro. Os fenocristais são euédricos de andesina, com uma matriz formada por augita (4,5%), pigeonita (2,2%), magnetita (3,7%) e 1,7% de apatita, envolvidos por uma trama quartzofeldspática com arranjo felsítico, sendo granofírico em algumas pequenas porções, dando a rocha uma textura vitrofírica (Nardy et al., 2008). Posteriormente, Rossetti et al. (2018) passaram a denominar de Formação Palmas e Formação Chapecó.

Foi identificado que normalmente, as unidades ácidas encontram-se sobrepostas aos basaltos do GSG (Nardy et al. 2008; Rossetti et al. 2018), sendo Ourinhos a única exceção, onde o tipo Chapecó encontra-se diretamente acima dos arenitos eólicos da Formação Botucatu. O contato entre as diferentes unidades acontece de forma acentuada com uma orientação sub-horizontal, contatos erosivos não são encontrados (Lima et al. 2018).

O topo dos derrames basálticos é composto por morfologias do tipo *Rubbly* com fragmentos basálticos vesiculares (escala centimétrica a decimétrica), exemplificado na figura 5. A parte basal do fluxo ácido (Figura 6) é formado por foliação horizontal do fluxo, representados por vitrófiros com micrólitos de plagioclásios esqueletais e aciculares, piroxênios e minerais opacos imersos em uma matriz vítrea, gradaciona em direção ao núcleo maciço, que se trata de um granófiro com fenocristais de plagioclásio, piroxênios e os opacos são envoltos por uma matriz holocristalina (Lima et al. 2018).

Utilizando as técnicas de datação por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Nardy et al. (2008) propuseram uma idade entre 133 e 130 Ma para o ápice da atividade ígnea do Grupo Serra Geral.

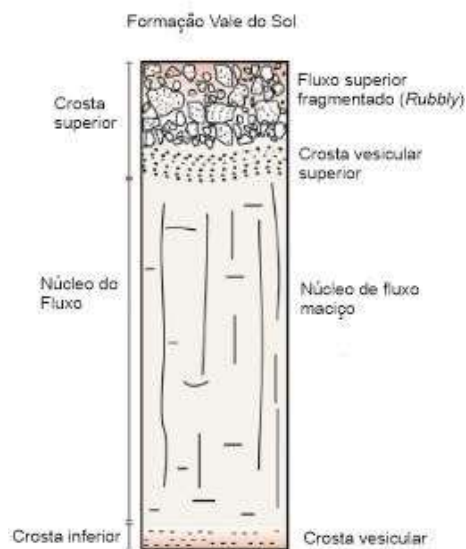


Figura 5 - Perfil esquemático da Formação Vale do sol. Lava tipo rubbly pahoehoe com crosta inferior fina e vesicular, núcleo de fluxo maciço, crosta superior grosseiramente vesicular e superfície de detritos. Modificado de Rossetti et al. (2018).

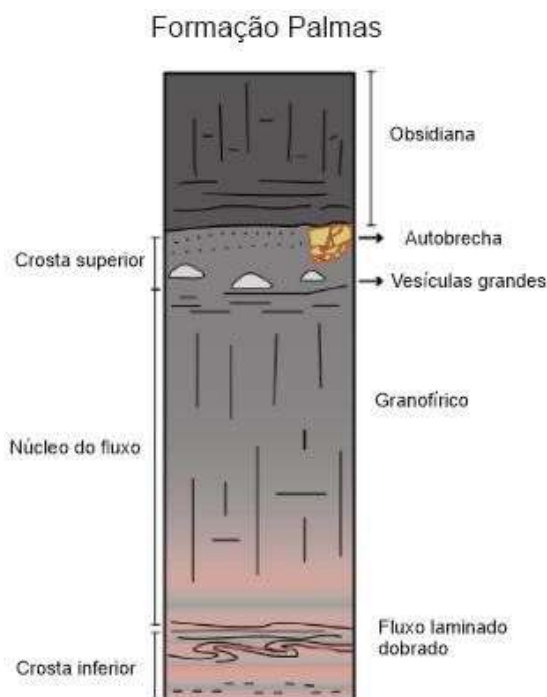


Figura 6 - Perfil esquemático da Formação Palmas. Riodacitos tabulares com crosta inferior pobre em vesículas com foliação de fluxo, núcleo de fluxo granofírico maciço, crosta superior vesicular e autobrechada, coberta por fluxo de obsidiana. Modificado de Rossetti et al. (2018).

4.2 Geologia local

O município de Tio Hugo fica localizado no norte do estado do Rio Grande do Sul no domínio do planalto Rio-grandense, com uma área de aproximadamente 133.944 quilômetros quadrados (IBGE, 2020). Limita-se ao norte com Ernestina e Santo Antônio do Planalto; ao Sul com Soledade e Mormaço; ao oeste com Victor Graeff; e no Leste com Ibirapuitã. Tio Hugo encontra-se a 240 quilômetros de Porto Alegre (capital do estado) via BR 386 e BR 153.

A litologia predominante na região são as vulcânicas ácidas da Formação Palmas, reconhecidas primeiramente por Peate et al. (1992) e estão localizadas na parte superior da estratigrafia do Grupo Serra Geral na cota 518 metros.

4.3 Geotecnia

A utilização dos agregados para a construção civil é definida através da caracterização tecnológica seguindo as normas técnicas (mostradas nas tabelas 1 e 2) e visando as aplicações: pavimentação asfáltica, concretos, lastro de ferrovias, enrocamento, drenagem, controle de erosão etc. (Smith e Collis, 2001; Loemco, 2003)

4.3.1 PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Segundo Bernucci et al. (2008), os pavimentos são estruturados em camadas, sendo que o revestimento é a camada superior que tem por objetivo receber os esforços oriundos dos veículos e resistir às interações climáticas. Normalmente, a pavimentação rodoviária se dá por dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Pavimentos rígidos são feitos de cimento Portland, sendo estruturados no topo pelo cimento Portland, apoiado sob um material de sub-base (material granular), seguido por uma camada de subleito ou quando necessitar um reforço de subleito (Figura 7).

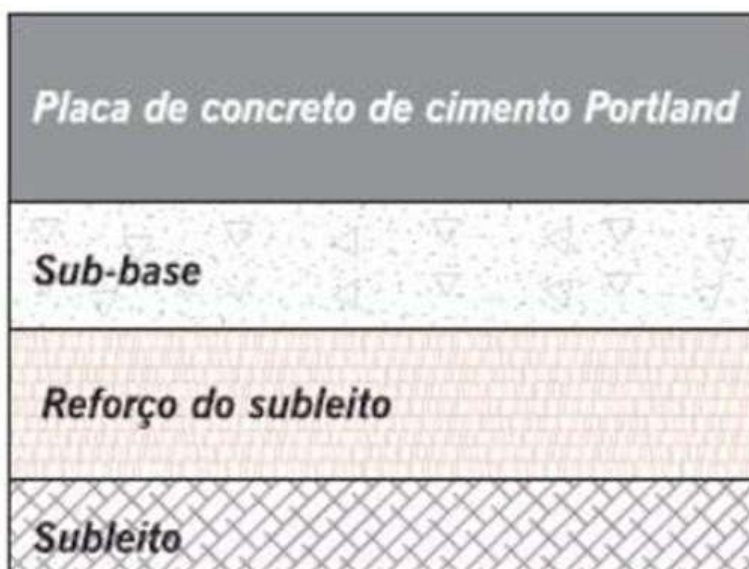


Figura 7 - Estratificação da pavimentação de cimento Portland. Retirado de Bernucci et al. 2008.

Já os pavimentos do tipo flexíveis estão associados aos asfaltos, são estruturados no topo por uma camada asfáltica, apoiada por uma camada de base, sub-base e reforço de subleito, feitos de materiais granulares (Figura 8b).

O material que compõe a pavimentação asfáltica moderna é constituído por agregados de tamanhos variados e um ligante asfáltico. São diversos os fatores que interferem na qualidade do material, como a formação natural até o modo de extração. Os principais parâmetros que determinam a adequação para o uso em misturas asfálticas são: parâmetros físicos e mecânicos (resistência, porosidade e densidade), físico-químicos (umidade, adesividade e descolamento da película de asfalto) e propriedades químicas (quando afetarem a adesividade ao ligante asfáltico) que possuem menos efeito no desempenho (Bernucci et al. 2008).



Figura 8 - (A) Pavimentação asfáltica sendo executada. (B) Estratificação da pavimentação asfáltica. Retirado de Bernucci et al., 2008.

4.3.2 MATERIAIS DE BASE E SUB-BASE

Segundo a norma do DNIT (DNIT – ES 141/2010), a base é uma camada de pavimentação com o intuito de resistir aos esforços verticais vindos dos veículos, distribuindo-os para a próxima camada, executada sob a camada de sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado. Já a camada de sub-base é classificada segundo a norma DNIT – ES 139/2010, a considera uma camada de pavimentação, que complementa a camada de base com as mesmas funções desta, executada sobre o subleito ou reforço do subleito, devidamente compactado e regularizado.

4.3.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

As características e o comportamento dos materiais utilizados como mistura com agregados, dependem do processo de lavra, do processamento do material e principalmente da natureza geológica. Sendo, portanto, uma etapa de extrema importância que quantifica as propriedades físicas, mecânicas e químicas e prevê seu comportamento futuro (Loemco, 2003; Frazão, 2007). A tabela 1, traz as normas técnicas para os principais usos na indústria.

Tabela 1 - Normas para caracterização tecnológica nos principais usos. Retirado de Luz e Almeida 2012.

Propriedades	Usos		
	Concreto hidráulico	Concreto betuminoso	Lastro
Amostragem	NBR NM 26	nn	NBR 11541
Terminologia	NBR 7225/9935/9942	NBR 6502	nn
Petrografia de materiais naturais	NBR 7389	NBR 7389	nn
Granulometria	NBR 7217	NBR 7217	nn
Materiais Pulverulentos	NBR 7219	np	NBR 7219
Impurezas orgânicas	NBR NM 49/7221	np	NBR 7220
Argilas e torrões e materiais friáveis	NBR 7218	np	NBR 7218
Massa específica, porosidade e absorção d'água	NBR 6458	NBR 6458	NBR 6458

Tabela 2 - Normas para caracterização tecnológica nos principais usos. Retirado de Luz e Almeida 2012.

Propriedades	Usos		
	Concreto hidráulico	Concreto betuminoso	Lastro
Forma	NBR 7809	ME 86	NBR 6954
Massa unitária	NBR 7251/7810	np	nn
Adesividade	np	NBR 12583/12584	np
Reatividade	NBR 9773/9771/10340	np	np
Sais solúveis	NBR 9917	np	np
Alterabilidade	NBR 12696/12697	ME 89	NBR 7702
Abrasão	NBR 6465	NBR 6465	NBR 6465
Impacto	nn	nn	NBR 8938
Esmagamento	NBR 9938	ME 42	nn
Compressão	nn	nn	NBR 6953
Polimento			BS.812 Parte 114

5 METODOLOGIA

Este tópico irá trazer de forma detalhada e objetiva os métodos utilizados neste trabalho.

5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fase inicial do trabalho se deu através de uma revisão bibliográfica acerca de trabalhos publicados relacionados à área de estudo como artigos, dissertações, capítulos de livros e relatórios geológico-geotécnico já elaborados no início do empreendimento, normas técnicas ABNT/DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes para embasamento dos ensaios a serem realizados, bem como cartas topográficas e mapas geológicos da região.

5.2 TRABALHO DE CAMPO

É a etapa do trabalho que consistiu em observações de afloramentos em campo, relações de contato, coleta de amostras do material sotoposto (tido como material de qualidade inferior) ao já extraído da Jazida 1 e do material que está sendo extraído da Jazida 2, para análises laboratoriais e comparações entre as unidades geológicas das duas jazidas. A coleta das amostras seguiu a normatização ABNT NBR NM 26/2001.

5.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Para a caracterização tecnológica do material, foram realizados uma série de ensaios físico-químicos e mecânicos, tanto no material tido como de menor qualidade encontrado em profundidade da Jazida 1, quanto o material de qualidade superior que está em exploração na Jazida 2. Para que se possa ter o conhecimento do melhor aproveitamento na construção civil, utilizando de equipamentos restritos ao dia a dia, encontrados apenas em laboratórios especializados.

5.3.1 MINERALOGIA

5.3.1.1 Petrografia Microscópica

A análise e descrição de rochas em microscópio petrográfico é uma etapa de extrema importância para a maioria dos trabalhos realizados pela geologia. Essa etapa complementa a descrição macroscópica onde diversos aspectos não são capazes de serem distinguidos devido a escala de trabalho ser muito pequena.

Para a análise de minerais transparentes é utilizada a microscopia de luz transmitida, onde a luz atravessa o mineral e atinge a objetiva. A objetiva, é uma lente com função de trazer uma imagem real e aumentada do objeto (Nardy e Machado 2017).

Para serem analisadas em microscópios petrográficos, as amostras de mão são transformadas em lâminas delgadas, conforme a figura 9, que nada mais são que, porções extremamente finas de rocha (em torno de 0,03 mm), onde todos os minerais presentes na lâmina terão a mesma espessura (que é conhecida), sendo possível determinar algumas propriedades ópticas e distinguí-los. O processo de laminação foi feito com o apoio do Prof. Dr. Heinrich Theodor Frank, enquanto a descrição petrográfica se deu no Departamento de Mineralogia e Petrologia (DEMIPE) da UFRGS.



Figura 9 - Exemplificação da montagem de uma lâmina delgada. Modificado de Nardy e Machado (2017).

5.3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA E TECNOLÓGICA DO AGREGADO

Esta etapa do trabalho tem como finalidade identificar as propriedades físicas e definir a resistência mecânica e durabilidade dos materiais em estudo. Os índices e parâmetros definidos impactam diretamente na qualidade do agregado, no grau

de alteração e conseqüentemente na aplicação do material na indústria. Para a realização dos ensaios foram utilizados os laboratórios de geologia de engenharia do DEMIPE/UFRGS, com os equipamentos Balança BEL 2kg e estufa pequena, modelo S250SD ambos na figura 10, e o Laboratório de Pavimentação (LAPAV) da UFRGS. Devido à grande importância dos resultados dos ensaios, torna-se necessário uma metodologia bem definida e normatizada. A pesquisa utilizou-se das normas do DNRE da ASTM para os ensaios a seguir:



Figura 10 - Balança BEL 2kg (à esquerda) e estufa pequena modelo S250SD (à direita).

5.3.2.1 Determinação da absorção e densidade do agregado – Norma ABNT-NBR NM 53:2003

A absorção de água pelo agregado pode ser considerada como uma medida de sua porosidade. Através do grau de saturação, que é atingido por 24 horas de imersão em água, que será diferente para cada tipo de agregado.

O ensaio consiste em primeiramente separar o material a ser ensaiado em uma peneira, a seguir o agregado deve ser submergido em água a temperatura ambiente

por um período de 24 horas. Após esse procedimento, a amostra deve ter sua superfície seca e ser pesada. Para somente após essa etapa, ser realizada a pesagem do agregado submerso em água, no recipiente da figura 11. E por fim, secagem da amostra até a constância de massa e pesagem final do agregado seco. Para determinar a massa do agregado seco é utilizada a seguinte fórmula:

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

Onde:

d_s = Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

m_s = Massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m_a = Massa em água da amostra, em gramas.

Fórmula para determinação da massa específica aparente:

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

Onde:

d_a = Massa específica do agregado, em gramas por centímetro cúbico;

m = Massa ao ar da amostra seca em estufa, em gramas;

m_a = Massa em água da amostra saturada, em gramas.

Para estimar a absorção de água é utilizada a fórmula:

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

Onde:

A= Absorção de água, em porcentagem;

m= Massa ao ar da amostra seca, em gramas;

m_s = Massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas.



Figura 11 - Balança com pesagem por baixo, cesto cilíndrico e tanque com água utilizada para determinação dos índices físicos.

5.3.2.2 Abrasão “Los Angeles” - Norma DNER – ME 035/98

Este ensaio busca caracterizar de forma quantitativa a resistência à degradação do material sob a ação de esforço mecânico. Para a realização do ensaio determina-se a massa do agregado segundo a Tabela 1. A massa das esferas, bem como a quantidade de esferas encontram-se descritas na Tabela 2. Calcula-se o desgaste sofrido pelo agregado, quando colocado dentro do tambor (Figura 12) do ensaio juntamente com a carga abrasiva (esfera de aço) e submetido a 500 rotações com velocidade de 30 a 33 rpm. Após o ensaio o material é passado na peneira de 1,7 mm. O material retido é descartado, enquanto o passante tem sua massa medida.

Neste ensaio, para as amostras do Riodacito cinza claro foi utilizada a Graduação B.

Tabela 3 - Graduação para ensaio – Norma DNER – ME 035/98.

Peneiras Abertura em mm		Amostra - massa parcial em gramas						
Passando em	Retido em	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad. G
76	63	—	—	—	—	2500 ± 50	—	—
63	50	—	—	—	—	2500 ± 50	—	—
50	38	—	—	—	—	5000 ± 50	5000 ± 50	—
38	25	1250 ± 25	—	—	—	—	5000 ± 25	5000 ± 25
25	19	1250 ± 25	—	—	—	—	—	5000 ± 25
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10	—	—	—	—	—
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10	—	—	—	—	—
9,5	6,3	—	—	2500 ± 10	—	—	—	—
6,3	4,8	—	—	2500 ± 10	—	—	—	—
4,8	2,4	—	—	—	5000 ± 10	—	—	—
Massas totais em gramas		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
Nº de rotações do tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

Tabela 4 - Carga Abrasiva – Norma DNER – ME 035/98.

Graduação	Número de esferas	Massa de carga (g)
A	12	5.000 ± 25
B	11	4.584 ± 25
C	8	3.330 ± 20
D	6	2.500 ± 15
E	12	5.000 ± 25
F	12	5.000 ± 25
G	12	5.000 ± 25



Figura 12 - Tambor utilizado para o ensaio de abrasão “Los Angeles”.

O cálculo da abrasão é feito através da fórmula:

$$A_n = \frac{m_n - m'_n}{m_n} \times 100$$

Onde:

A_n = Abrasão “Los Angeles” da graduação n, com aproximação de 1%;

n = Graduação (A, B, C, D, E, F ou G) definida para o ensaio;

m_n = Massa total da amostra seca colocada na máquina;

m'_n = Massa da amostra lavada e seca após o ensaio e após passar na peneira de 1,7 mm.

5.3.2.3 Sanidade com sulfato de sódio - Norma DNER – ME 089/94

A avaliação da durabilidade pelo emprego de sulfato de sódio consiste em verificar a resistência à desintegração dos agregados sujeitos a ações climáticas, pelo ataque de soluções saturadas de sulfato de sódio ou magnésio. Neste ensaio foi utilizada a solução com sulfato de sódio.

A amostra a ser ensaiada deve ficar imersa na solução preparada por um período de 16 a 18 horas, de modo que o nível da solução fique 1 cm acima da amostra. O recipiente que contém a amostra deve ser coberto para reduzir a evaporação e também evitar a contaminação. A temperatura da solução durante todo o ensaio deve ser mantida em 21°C. Após a imersão, a amostra deve ser drenada por 15 minutos e colocada para secar na estufa em temperatura de 105°C a 110°C até a constância de peso. Após a secagem, a amostra deve resfriar a temperatura ambiente. Cada processo de imersão e secagem alternadas constitui um ciclo.

A análise quantitativa da amostra é feita após o resfriamento da amostra e lavagem com solução de cloreto de bário 10% para que elimine os excessos de sulfato de sódio ou magnésio. Após a lavagem com a solução é feita a lavagem com água corrente. A partir disso, a amostra é colocada novamente em estufa para secagem e depois peneirada por peneira específica para cada dimensão de partícula. Desta forma são calculadas as perdas e as perdas ponderadas através dos tamanhos de partículas antes e após o ensaio.

Já a análise qualitativa é realizada através da observação do efeito da ação do sulfato de sódio e a natureza dessa ação, e da contagem do número de partículas afetadas pelo ensaio.

5.3.2.4 Adesividade ao ligante asfáltico - Norma DNER – ME 078/94

A adesividade pode ser definida como a quantidade de energia necessária para romper uma ligação entre o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) e o agregado mineral. Devido a suas propriedades intrínsecas alguns agregados naturalmente possuem

maior facilidade para se ligar ao CAP, enquanto outros possuem uma maior dificuldade.

O ensaio, segundo a Norma DNER - ME 078/94, consiste em verificar o não descolamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura é submetida a uma temperatura de 40°C com água destilada, por um período de 72 horas. A amostra previamente separada/preparada e o ligante betuminoso são aquecidos a 100 e 120°C respectivamente, e após esse procedimento, o agregado é envolvido por uma película do ligante asfáltico, para então ser colocada em um frasco com água destilada e ir a estufa em 40°C. A partir disso, o resultado é considerado satisfatório quando não houver nenhum descolamento da película betuminosa ao fim das 72 horas, e não satisfatório quando houver descolamento parcial ou total da película nesse mesmo período.



Figura 13 - Preparação das amostras para a realização do ensaio, antes de colocar dentro do frasco de vidro com água destilada e ir a estufa.

5.3.2.5 Resistência ao atrito e impacto a úmido (Slake-Durability – Norma ISRM 1979)

As rochas estão sujeitas a processos de intemperismo de curto prazo, como ciclos de molhagem e secagem, e a partir disso podem sofrer expansão, enfraquecimento ou até mesmo desintegração. Então, surge a necessidade de avaliar o comportamento mecânico dos materiais quando submetidos a essas condições. Este ensaio, tem como finalidade verificar a resistência do material ao

enfraquecimento e à desintegração quando submetido a cinco ciclos de umidificação e secagem.

Para a realização do ensaio são selecionadas 10 amostras de fragmentos de rocha com cada uma pesando entre 40 e 60 gramas, para fornecer uma massa inicial entre 400 e 600 gramas, e colocá-los dentro de um tambor metálico com uma malha quadrada (com 2 mm de abertura) dentro de um tanque e acoplá-lo ao equipamento de rotação, ilustrado na figura 14. O tanque deve ser preenchido com água até 20 mm abaixo do eixo de rotação. Liga-se o aparelho com uma rotação de 20 rpm por cerca de 10 minutos. Ao final do tempo a amostra é colocada para secar em estufa até atingir a massa constante em temperatura de 105°C, anotando-se a massa após a secagem. Ensaiar a amostra e pesar após a secagem constitui um ciclo, para esta pesquisa foram realizados cinco ciclos.

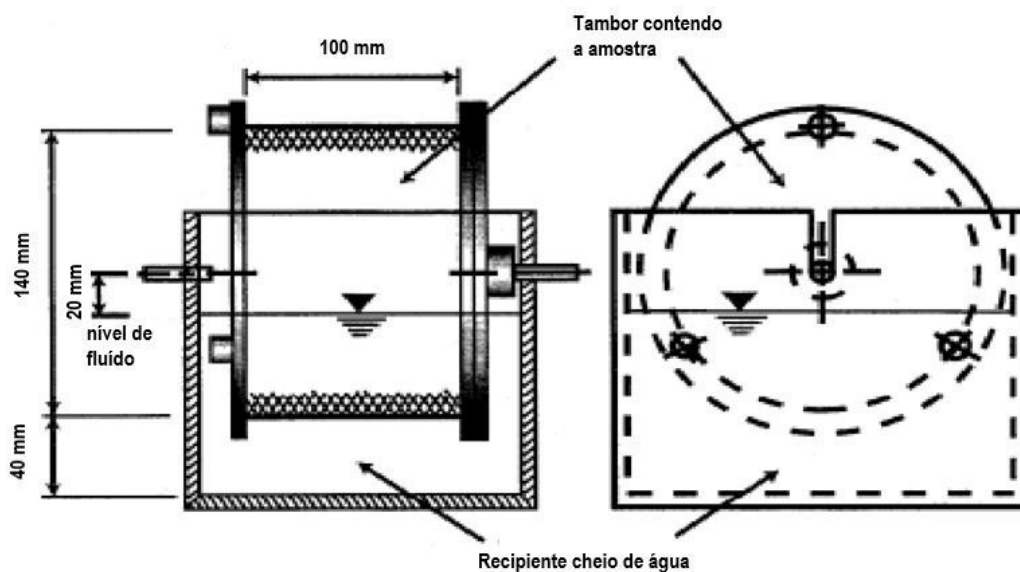


Figura 14 - Esquema representativo do equipamento utilizado no ensaio. Modificado de Elmashad (2009).

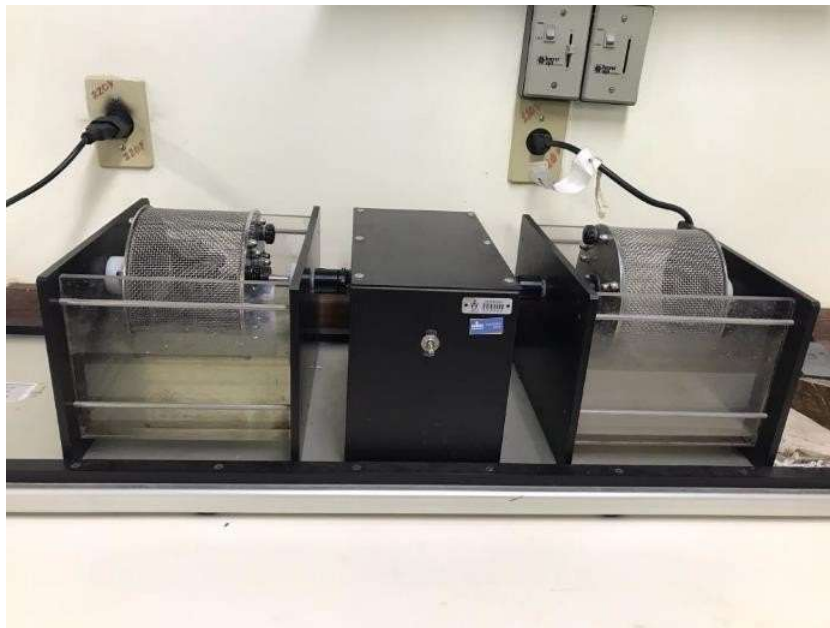


Figura 15 - Equipamento utilizado para o ensaio de alterabilidade a úmido.

O índice de durabilidade de cada ciclo é calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Índice de durabilidade (Id}_2\text{)} = \frac{B - C}{A - C} \times 100\%$$

Onde:

Id₂: Índice de durabilidade

A: Peso seco inicial das amostras mais tambor

B: Peso seco após o segundo ciclo da amostra mais tambor

C: Peso seco do tambor.

5.3.2.6 Carga Pontual – Norma americana ISRM (1985)

O ensaio de carga pontual é um método indireto e com um excelente custo-benefício para calcular a resistência à compressão uniaxial das rochas. Para o ensaio,

a ISRM (“International society for Rock Mechanics”) sugere um procedimento que consiste em causar a ruptura de amostras de rocha, com tamanhos variando de 25 e 100 mm, com a aplicação de uma força pontual crescente. A amostra de rocha é colocada entre duas ponteiras cônicas de metal, que aplicam uma força de compressão até a ruptura anotando-se a carga P que provocou a ruptura. A ruptura se dá pelo desenvolvimento de fissuras paralelas ao eixo da carga aplicada. Os cálculos levam em conta as medidas de altura e largura das amostras e o valor da carga P para determinar-se o índice $Is(50)$, que é multiplicado por uma constante que possui valor igual a 24, sendo então determinado o valor da resistência a compressão uniaxial. Conforme recomendado pela norma, o número de amostras para o ensaio foi de 10 corpos de prova para cada unidade vulcânica definida, sendo utilizados então 20 amostras ao total. A figura 16 ilustra o equipamento utilizado para realizar o ensaio.



Figura 16 - Equipamento utilizado para o ensaio de carga pontual.

6 RESULTADOS

Este item irá trazer os resultados obtidos através dos trabalhos de campo e de laboratório (análise petrográfica e ensaios tecnológicos).

6.1 Geologia da jazida

O trabalho de mapeamento de campo possibilitou a determinação de duas unidades vulcânicas distintas na Jazida 1, que serão apresentadas a seguir.

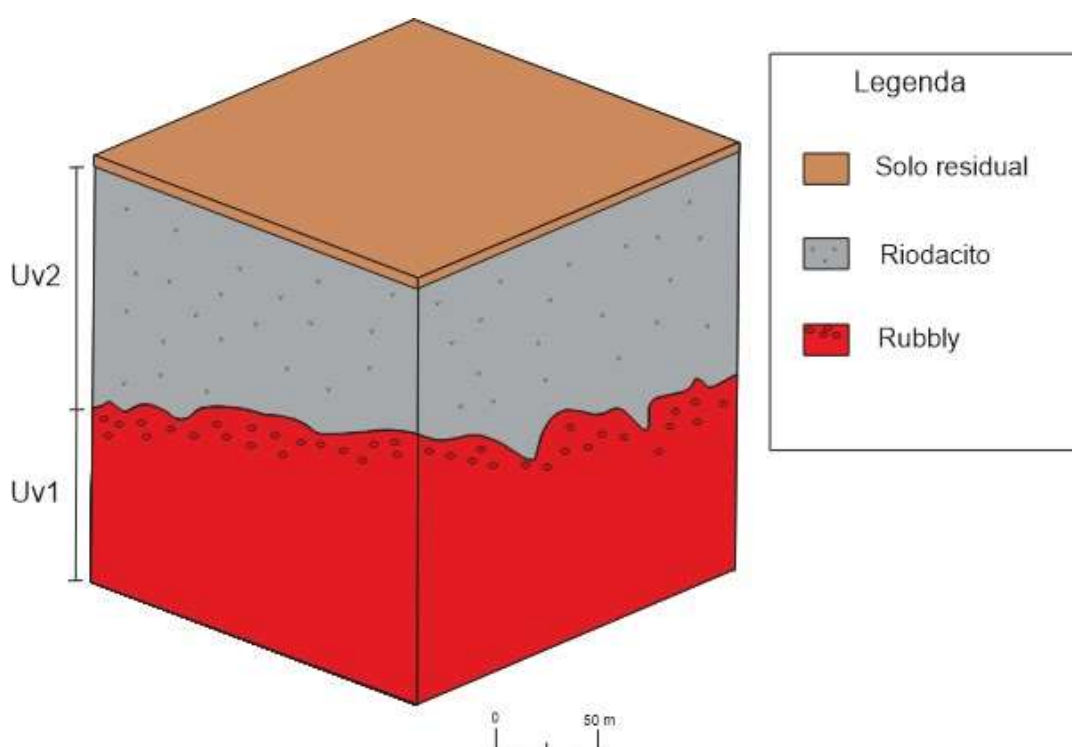


Figura 17 - Bloco diagrama com as unidades presentes na área de mineração da jazida 1.

6.1.1 UNIDADE VULCÂNICA 1 (UV1)

Identificou-se o afloramento dessa unidade nas cotas de fundo da frente de lavra (510 m) na jazida 1 e em apenas 2 pontos nas zonas mais altas (518 m) em áreas centrais da mina, além disso foi encontrada em zonas proximais da jazida 2, em cotas mais baixas (480 e 447 m). A unidade é bem heterogênea contendo zonas de

rocha consolidada e zonas com material inconsolidado (paleossolo). A rocha apresenta uma textura afanítica de cor vermelha, amigdaloidal, com amígdalas milimétricas a centimétricas preenchidas por quartzo, zeólitas e carbonatos, possui algumas zonas com autobrechação no topo da unidade associadas a lentes de vidro vulcânico. A presença de material vítreo e a grande heterogeneidade do corpo resultam em uma rocha muito suscetível à alteração intempérica.

A partir dos dados de campo, nas características tecnológicas do material e com base nas análises petrográficas, passou-se a classificar essa unidade como sendo uma unidade vulcânica básica, sendo os aspectos texturais característicos de lavas do tipo *rubblly pahoehoe*. Além disso, foi identificado em alguns locais estágios avançados de alteração da rocha que acabaram formando paleossolos, que deram origem aos paleorelevos nos quais a UV2 foi assentada.

Não foi possível identificar o afloramento dessa unidade vulcânica na jazida 2, principalmente pelo projeto estar em fases iniciais de exploração e essa unidade se encontrar em cotas ainda mais inferiores das atuais bancadas. Porém, espera-se que essa unidade irá aparecer sotoposta a UV2 na jazida 2.



Figura 18 - Detalhe do contato entre o paleorelevo da UV1 com a UV2, destacado pela linha em vermelho.



Figura 19 - Contato entre a UV1 e a UV2 evidenciando o paleorelievo formado pela UV1, sendo esse o topo de um pequeno morro.



Figura 20 - Contato entre a UV1 e a UV2 evidenciando o paleorelevo formado pela UV1, sendo esse uma feição do tipo vale.

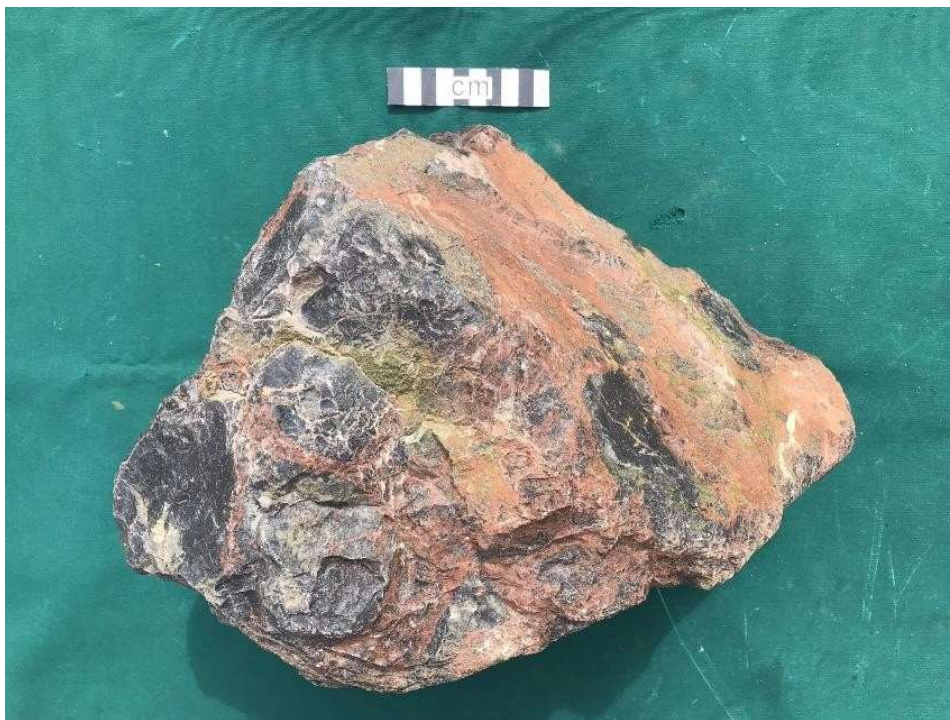


Figura 21 - Bloco com uma brechação característica de lavas Rubbly pahoehoe.



Figura 22 - Amígdalas achatadas e alinhadas.



Figura 23 - Lentes de vidro vulcânico de cor preta e brilho resinoso (pitchstones).

6.1.2 UNIDADE VULCÂNICA 2 (UV2)

Essa unidade aflora majoritariamente na jazida 1, a partir da cota 510 m, estendendo-se até a cota 532m. Já na jazida 2 essa unidade encontra-se com o topo em 480 metros, essa diferença de cota acredita-se que seja devido a erosão, porém o limite inferior não foi identificado na área da jazida, somente em áreas próximas sendo, portanto, a jazida 2 composta completamente pela UV2. A rocha possui uma textura fanerítica fina, de coloração cinza, com uma geometria tabular e de composição Riodacítica. A composição mineralógica é majoritariamente quartzo-feldspática. A matriz é afanítica, com coloração acinzentada e corresponde a cerca de 70% do volume da rocha.

Por vezes, a rocha apresenta um bandamento ígneo horizontal com cerca de 3 cm de espessura, possui uma abundante continuidade lateral e um contato de base gradacional. As bandas são marcadas pelas alternâncias de cores claras (cinza claro), com a presença de feldspatos com textura esferulítica e escuras (cinza escuro), que possuem textura afanítica e brilho vítreo, indicando a presença de material vítreo na composição. Ainda é possível observar a presença de fragmentos piroclásticos do tipo “bomba” (Figura 25), porém foi identificado apenas na jazida 1.



Figura 24 - Frente de lavra atual do Riodacito na jazida 2.



Figura 25 - Fragmento “bomba” encontrado na jazida 1.

6.2 Caracterização mineralógica

Este subitem tem como objetivo identificar as características mineralógicas das litologias coletadas durante a pesquisa de campo.

6.2.1 PETROGRAFIA

Nesta seção são apresentadas as descrições das três lâminas de análise petrográfica microscópica que foram realizadas conforme a norma NBR 7389/92.

Amostra UVA-0001. Coletada na jazida 2, na bancada atual com cota de 470 metros.

Composição mineralógica:

A mineralogia primária é caracterizada por minerais de origem ígnea, enquanto os minerais secundários são de natureza intempérica e hidrotermal. A contagem modal de cada fase mineral é apresentada na tabela 5.

Tabela 5 - Contagem modal dos minerais constituintes da amostra UVA-0001.

Fase mineral		Abundância	Característica
Minerais primários (magmáticos)	Feldspato Alcalino	40%	Presente na matriz (anédrico) e como microfenocristal (euédrico). Intercrescimento com quartzo. Sanidina
	Quartzo	32%	Presente na matriz de forma anédrica e apresenta intercrescimento com o feldspato alcalino
	Plagioclásio	21%	Raros microfenocristais, euédricos, com dimensões de até 0,5mm.
	Augita	3%	Cristais prismáticos e aciculares, com oxidação e substituição
	Minerais Opacos	3%	Anédricos, residuais, com dimensões menores que 0,1mm.

	Microfenocristais (feldspato alcalino e augita)	1%	
Minerais secundários (alteração)	Clorita e calcita	<1%	

Texturas:

A textura predominante é a gráfica, dada pelo intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino. Mas também possui outras texturas como porfírica e microporfírica.

Estruturas:

Bandamento milimétrico marcado por carbonato (calcita)

Classificação Petrográfica: Riodacito



Figura 26 - Calcita preenchendo as estruturas resultante do bandamento ígneo. Nicóis descruzados a esquerda e nicóis cruzados a direita.

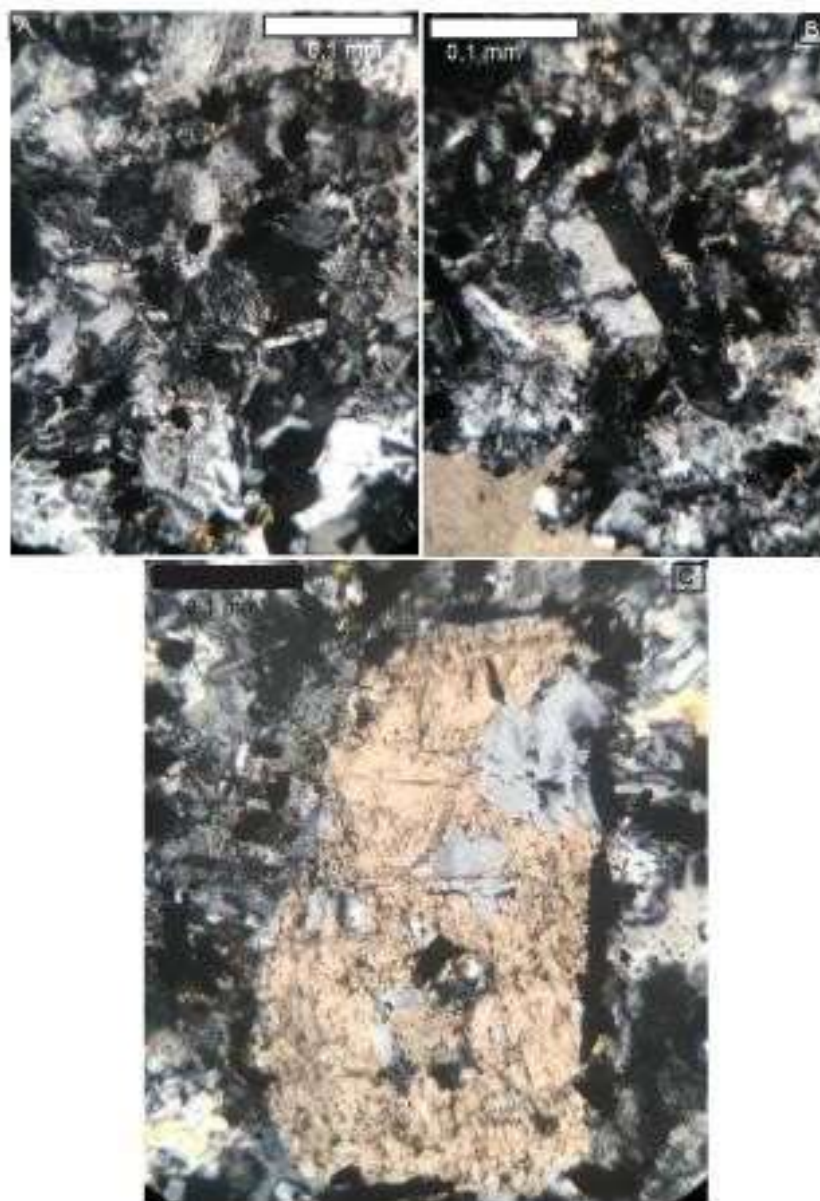


Figura 27 - A-Textura gráfica característica da rocha. B- Macla Carlsbad. C- Plagioclásio sofrendo substituição por calcita.

Amostra UVB-0001. Coletado em um afloramento lajeado de rio entre as duas jazidas, na cota 447 metros.

Composição mineralógica:

A amostra é constituída predominantemente de uma matriz holohialina com alguns poucos microfenocristais. A matriz encontra-se intensamente oxidada. Os

microfenocristais são compostos de Sanidina, plagioclásio e clinopiroxênio (augita). A sanidina apresenta hábito euédrico e suas dimensões variam de 0,2 a 1,2 mm, com macla Carlsbad. O plagioclásio, por sua vez, é subordinado e também euédrico, variando de 0,3 a 0,7 mm. Já o clinopiroxênio é subédrico a anédrico e tem dimensões da ordem de 0,5 mm.

Tabela 6 - Contagem modal dos minerais constituintes da amostra UVB-0001

Fase Mineral		Abundância
Minerais primários (magmáticos)	Microfenocristais (Feldspato alcalino, plagioclásio e clinopiroxênio)	1%
Minerais secundários	Quartzo e zeólitas	1%
Material vítreo		98%

Texturas:

A textura predominante é a microporfirítica.

Estruturas:

A rocha é maciça.

Classificação Petrográfica: Vidro Vulcânico

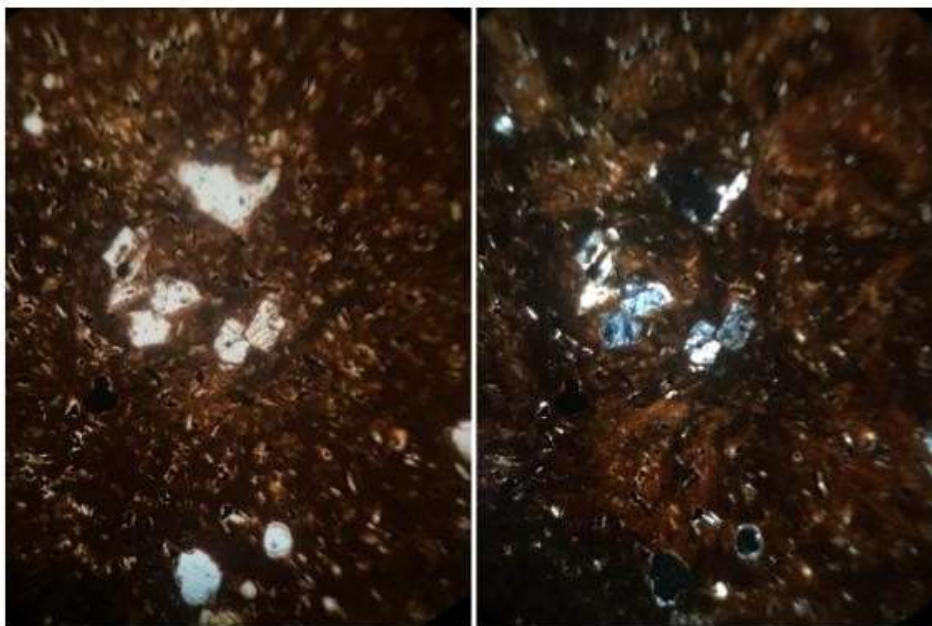


Figura 28 - Nicóis descruzados a esquerda mostrando a matriz vítrea com alguns microfenocristais. A direita imagem com nicóis cruzados.

Amostra UVB-0002. Coletada na jazida 1 na cota 520 metros.

Composição mineralógica:

A amostra é constituída predominantemente de uma matriz holohialina com o material vítreo intensamente oxidado e algumas amígdalas preenchidas por quartzo, zeólitas e calcedônia.

Tabela 7 - Contagem modal dos minerais constituintes da amostra UVB-0002.

Fase Mineral		Abundância
Minerais secundários	Quartzo, zeólitas e calcedônia	3%
Material vítreo		97%

Texturas:

A textura predominante é a amigdalal.

Estruturas:

A rocha é maciça.

Classificação Petrográfica: Vidro Vulcânico



Figura 29 - Amígdalas com a presença de zeólitas e calcedônia. Nícois descruzados a esquerda e nícois cruzados a direita.

6.3 Caracterização tecnológica

A tabela 8 mostra a comparação entre os resultados dos ensaios realizados para as diferentes unidades que ocorrem na mina. Porém, não foi realizado o ensaio de sanidade com sulfato de sódio da unidade *Rubbly* devido a pouca quantidade de material e dificuldade em coletá-lo, o que tornaria o ensaio inválido segundo a norma.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios geotécnicos para os materiais rochosos que ocorrem na britagem Tio Hugo.

Ensaio	Riodacito	Rubbly
Desgaste por abrasão Los Angeles (%)	19	23
Índice de durabilidade (%)	98,7	95,9
Absorção de água (%)	1,3	2,33
Massa específica aparente	2,58	2,59
Índice de carga pontual Is50 (MPa)	9,5	3,74
Sanidade com sulfato de sódio (%)	4,5	Não Realizado



Figura 30 - Riodacito antes do ensaio de carga pontual (esquerda) e após o rompimento (direita).



Figura 31 - Rubbly antes do ensaio de carga pontual (esquerda) e após o rompimento (direita).



Figura 32 - Rubbly antes do ensaio de durabilidade a úmido (esquerda) e após a realização do 5º ciclo (direita).



Figura 33 - Riodacito após o ensaio de sanidade com sulfato de sódio, mostrando baixíssima degradação.

7 DISCUSSÕES

A tabela 9 mostra a comparação entre os resultados obtidos do ensaio de abrasão Los Angeles e sanidade com sulfato de sódio do material identificado como Riodacito com as especificações técnicas.

Foram criadas tabelas de classificação de qualidade para cada amostra, que abrangem uma ampla variedade de ensaios tecnológicos (Tabelas 10 e 11), visto que as especificações não incluem todos os testes realizados.

Tabela 9 - Comparação dos resultados dos ensaios com os valores exigidos por algumas especificações técnicas.

Ensaio	sub-base ou base - brita graduada (ABNT NBR 12264/91)	Concreto asfáltico (DNIT - ES 031/2006)	Revestimento de macadame betuminoso (DNER - ES 311/97)	Riodacito
Abrasão Los Angeles	< 50%	< 50%	< 40%	19%
Sanidade com sulfato de sódio	< 20%	< 12%	< 12%	2,30%

Tabela 10 - Critérios para a definição das 4 classes de rocha em termos de qualidade para o Riodacito. Modificado de Lienhart (2003).

Critério	Classe de qualidade				Riodacito
	Excelente	Boa	Marginal	Pobre	
Massa específica aparente seca (g/cm ³)	>2,9	2,6 - 2,9	2,5-2,6	<2,5	2,58
Absorção de água (%)	<0,5	0,5 - 2	2,0- 6,0	>6,0	1,3
Resistência a carga pontual Is (MPa)	>8,0	4,0 - 8,0	1,5-4,0	<1,5	9,5
Desgaste por abrasão Los Angeles (%)	<15	15 - 25	25-35	>35	19
Slake-Durability, Id (%)	>80	65-80	52-65	<52	98,7
Sanidade com sulfato de sódio (Na ₂ SO ₄) (%)	<2	2,0 - 10,0	10,0-30,0	>30	4,5

Tabela 11 - Critérios para a definição das 4 classes de rocha em termos de qualidade para a Rubbly. Modificado de Lienhart (2003).

Critério	Classe de qualidade				Rubbly
	Excelente	Boa	Marginal	Pobre	
Massa específica aparente seca (g/cm ³)	>2,9	2,6 - 2,9	2,5-2,6	<2,5	2,59
Absorção de água (%)	<0,5	0,5 - 2	2,0- 6,0	>6,0	2,23
Resistência a carga pontual Is (MPa)	>8,0	4,0 - 8,0	1,5-4,0	<1,5	3,74
Desgaste por abrasão Los Angeles (%)	<15	15 - 25	25-35	>35	23
Slake-Durability	>80	65-80	52-65	<52	95,9
Sanidade com sulfato de sódio (Na ₂ SO ₄) (%)	<2	2,0 - 10,0	10,0-30,0	>30	

1- Caracterização da unidade vulcânica 1 encontrada na jazida 1

a) Com base na classificação de Lienhart (2003), tendo em vista a tabela 10, a rocha é classificada de marginal a pobre, sendo então um material de qualidade intermediária.

b) Levando em conta a petrografia, a composição majoritariamente vítrea da unidade apresenta problemas para a geologia de engenharia, devido à grande susceptibilidade a alteração intempérica do vidro. Porém, ocorre também algum processo de devitrificação e cristalização de quartzo a partir do vidro, fazendo com que isso melhore os aspectos geotécnicos.

c) A dificuldade encontrada em realizar furos nesta unidade pode ser relacionada a cristalização de quartzo a partir do material vítreo e a presença de calcedônia (preenchimento das amígdalas). A estrutura desses minerais aumenta consideravelmente a resistência e a abrasividade da rocha.

d) O material inconsolidado pode ser atribuído a processos pedogenéticos que ocorrem antes da formação da unidade superior, gerando assim um paleossolo como característica marcante do topo dessa unidade na jazida antiga.

2- Caracterização do agregado da unidade vulcânica 2 produzido pela jazida 2.

a) Comparando os dados obtidos através dos ensaios de laboratório com as especificações técnicas e a tabela de qualidade, é possível observar que o agregado atende a todos os requisitos, tendo uma qualidade de boa a excelente, possibilitando o uso para a pavimentação rodoviária.

b) Não foram identificados argilominerais nas amostras de petrografia, indicando uma boa qualidade do ponto de vista composicional.

c) Estruturas como vistas nas figuras 17 e 18, estão atribuídas ao paleorelevo originado pela unidade vulcânica mais antiga.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As especificações técnicas brasileiras foram baseadas em normas internacionais, onde alguns fatores determinantes como o clima e geologia são opostos aos encontrados em regiões tropicais como o Brasil (Arnold, 1993). A partir disso, materiais com qualidade inferior tem seu uso mais restrito com relação às normas.

Wayhs (2004) realizou um estudo sobre a utilização de materiais não convencionais na pavimentação de baixo custo, que revelou que os basaltos decompostos apresentaram resultados insatisfatórios nos testes de abrasão Los Angeles e sanidade com sulfato de sódio, mas tiveram bom desempenho nos ensaios complementares de compactação e determinação do módulo de resistência, indicando que podem ser utilizados como sub-base. Assim, é provável que o material produzido a partir da unidade vulcânica básica (*Rubbly*) também apresente bom desempenho nesses testes complementares.

Considerando a resistência mecânica observada e destinando o agregado exclusivamente para uso como sub-base, protegendo-o assim das intempéries, a brita produzida pela unidade básica poderia ser utilizada para pavimentar estradas secundárias de baixo tráfego, como as vicinais.

Existem especificações técnicas para o uso de materiais constituintes como solos, mistura de solos, materiais britados e escórias como base e sub-base, que levam em consideração outros ensaios além dos realizados neste projeto. Entre essas especificações, destacam-se a DNIT 139/2010-ES, que é aplicada para o uso como sub-base estabilizada granulometricamente, a DNIT 141/2010-ES, que é aplicada para o uso como base estabilizada granulometricamente, e a DNER-ES 316/97, que é aplicada para o uso como camada de base de macadame hidráulico.

Recomenda-se, portanto, que para obter uma caracterização mais completa da *rubbly pahoehoe*, sejam realizados os seguintes estudos complementares no produto resultante da britagem da rocha e do material inconsolidado (paleossolo):

1. Ensaio de compactação (DNER-ME 129/94);
2. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia e expansão (DNER-ME 049/94);
3. Análise Granulométrica (DNER-ME 080/94);

4. Equivalente de areia (DNER-ME 054/94);
5. Limites de Atterberg (Limite de liquidez (DNER-ME 122/94) e limite de plasticidade (DNER-ME 082/94)).

Os aspectos que o material estudado deve atender estão de acordo com as especificações técnicas mencionadas e incluem:

DNIT 139/2010-ES

1. Fração retida na peneira nº 10 no ensaio de granulometria
2. Índice de Suporte Califórnia $\geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$

DNIT 141/2010-ES

1. Distribuição granulométrica;
2. A fração que passa na peneira nº 40
3. A porcentagem do material passante na peneira nº 200 não deve ultrapassar $\frac{2}{3}$ da porcentagem passante na peneira nº 40;
4. Índice de Suporte Califórnia - ISC $\geq 60\%$ para número N $\leq X 106$, ISC $\geq 80\%$ para número N $> 5 X 106$, e expansão $\leq 0,5\%$.
5. O material retido na peneira nº 10 deve ser composto por partículas sólidas e resistentes, sem fragmentos que sejam moles, alongados ou achatados, e sem a presença de materiais vegetais ou outras substâncias prejudiciais. Ao ser submetido ao teste de abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/98), o desgaste não deve exceder 55%. No entanto, se as partículas tiverem demonstrado bom desempenho em uso anterior, podem ser aceitos valores de desgaste mais elevados.

DNER-ES 316/97

Desde que atendidos os requisitos de distribuição granulométrica, índice de plasticidade da fração abaixo da peneira nº 40 inferior a 6% e equivalente de areia mínimo de 55%, a faixa de tamanho de partícula acima de 19,5 mm é aceitável.

No entanto, devido à grande heterogeneidade e grau de alteração do material estudado, o controle de qualidade da matéria-prima deve ser realizado com maior frequência do que o habitualmente feito em unidades mais homogêneas.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR NM 26/2001 – Agregados – Amostragem.

BELLIENI, G. et al. Flood basalt to rhyolite suites in the southern Parana Plateau (Brazil): palaeomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. **Journal of Petrology**, v. 25, n. 3, p. 579-618, 1984.

BELLIENI, G. et al. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. **Journal of Petrology**, v. 27, n. 4, p. 915-944, 1986.

BERNUCCI, Liedi B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. **Rio de Janeiro**, v. 504, p. 27, 2008.

BRYAN, Scott E. et al. The largest volcanic eruptions on Earth. **Earth-Science Reviews**, v. 102, n. 3-4, p. 207-229, 2010.

COFFIN, Millard F.; ELDHOLM, Olav. Large igneous provinces: crustal structure, dimensions, and external consequences. **Reviews of Geophysics**, v. 32, n. 1, p. 1-36, 1994.

CORDANI, Umberto G.; VANDOROS, Paul. Basaltic rocks of the Paraná Basin. **Problems in brazilian gondwana geology.**, 1967.

DNIT – ES 141/2010 – Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente

DNIT – ES 139/2010 – Pavimentos flexíveis – Sub-base estabilizada granulometricamente.

DNER – ME 089/94 – Agregados – Avaliação de durabilidade pelo emprego de solução de sulfato de sódio ou de magnésio.

DNER – ME 035/98 – Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”.

DNER – ME 122/94 – Solos – Determinação do limite de plasticidade.

FRAZÃO, E. B. Tecnologia para a produção e utilização de agregados. In: **Agregados para a construção civil no Brasil**, Capítulo 1, p. 25-74. Marcos Bartasson Tannús e João César Cardoso do Carmo (organizadores), Secretaria de Geologia, Mineração e

Transformação Mineral – MME, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. 2007.

HARRIS, Chris et al. Oxygen isotope geochemistry of the silicic volcanic rocks of the Etendeka-Parana province: source constraints. **Geology**, v. 18, n. 11, p. 1119-1121, 1990.

HAWKESWORTH, Christopher J. et al. Paraná magmatism and the opening of the South Atlantic. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 68, n. 1, p. 221-240, 1992.

HENRY, Christopher D.; WOLFF, John A. Distinguishing strongly rheomorphic tuffs from extensive silicic lavas. **Bulletin of Volcanology**, v. 54, p. 171-186, 1992.

JERRAM, Dougal et al. Internal stratigraphic relationships in the Etendeka Group in the Huab Basin, NW Namibia: understanding the onset of flood volcanism. **Journal of Geodynamics**, v. 28, n. 4-5, p. 393-418, 1999.

JERRAM, Dougal A.; STOLLHOFEN, Harald. Lava–sediment interaction in desert settings; are all peperite-like textures the result of magma–water interaction?. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 114, n. 1-2, p. 231-249, 2002.

LIENHART, David A. A systems approach to evaluation of rip-rap and armor stone sources. **Environmental & Engineering Geoscience**. Vol. 9, nº 2, p. 131-149, 2003.

LIMA, Evandro Fernandes de et al. Sucessões vulcânicas, modelo de alimentação e geração de domos de lava ácidos da Formação Serra Geral na região de São Marcos-Antônio Prado (RS). **Geologia USP. Série científica, São Paulo, SP**. Vol. 12, n. 2 (ago. 2012), p. 49-64, 2012.

LIMA, Evandro F. et al. Feeder systems of acidic lava flows from the Paraná-Etendeka Igneous Province in southern Brazil and their implications for eruption style. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 81, p. 1-9, 2018.

LOEMCO - Laboratorio Oficial para Ensayos de Materiales de Construcción. Aridos: Manual de Prospección, Explotación y Aplicaciones; Capítulo 15 – Propiedades Básicas de Los Aridos, p. 343-357; Capítulo 17-Aridos para Drenaje, Filtración y Control de La Erosión, p. 393-404; Carlos López Jimeno (Editor), Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas da Universidad Politécnica de Madrid, 2003.

LUZ, Adão B.; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Manual de agregados para a construção civil**. CETEM/MCTI, 2012.

MACHADO, Fábio Braz; NARDY, Antônio José Ranalli. **Mineralogia óptica**. Oficina de Textos, 2017.

MANTOVANI, M. S. M.; CORDANI, U. G.; ROISENBERG, A. Geoquímica isotópica em vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná e implicações genéticas associadas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, n. 1, p. 61-65, 1985.

MARSH, Julian S. et al. The Etendeka Igneous Province: magma types and their stratigraphic distribution with implications for the evolution of the Paraná-Etendeka flood basalt province. **Bulletin of Volcanology**, v. 62, p. 464-486, 2001.

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. Geological and magmatic aspects of the Parana Basin: an introduction. **The Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: USP, p. 1-14, 1988.

MILANI, Edison J. et al. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.

MILNER, S. C.; DUNCAN, A. R.; EWART, A. Quartz latite rheognimbrite flows of the Etendeka Formation, north-western Namibia. **Bulletin of Volcanology**, v. 54, p. 200-219, 1992.

MILNER, S. C. et al. Trans-Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silicic volcanic units within the Paraná-Etendeka igneous province. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 69, n. 3-4, p. 137-157, 1995.

NARDY, Antonio J. R.; MACHADO, Fábio Braz; DE OLIVEIRA, Marcos Aurélio Farias. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Brazilian Journal of Geology**, v. 38, n. 1, p. 178-195, 2008.

PEATE, David W.; HAWKESWORTH, Chris J.; MANTOVANI, Marta SM. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, v. 55, n. 1, p. 119-139, 1992.

PEATE, David W. The Paraná-Etendeka Province. Large Igneous Prov. Cont. Ocean. Planet. Flood Volcanism, 100, pp. 217-245, 1997.

PICCIRILLO, E. M. et al. Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). **Continental flood basalts**, p. 195-238, 1988.

PICCIRILLO, E. M. et al. Petrogenetic aspects of continental flood basalt-rhyolite suites from the Paraná Basin (Brazil). In: **Abstracts**. p. 91-92, 1988.

POLO, Liza A. et al. Effusive silicic volcanism in the Paraná Magmatic Province, South Brazil: Evidence for locally-fed lava flows and domes from detailed field work. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 355, p. 204-218, 2018.

ROISENBERG, Ari; VIERO, Antônio P. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. **Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS**, p. 335-54, 2000.

ROSSETTI, Lucas et al. Stratigraphical framework of basaltic lavas in Torres syncline main valley, southern Parana-Etendeka Volcanic Province. *J. S. Am. Earth Sci.*, 56, pp. 409-421, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.09.025>

ROSSETTI, Lucas et al. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 355, p. 98-114, 2018.

SCHERER, Claiton M. S. Preservation of aeolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, southern Brazil. **Sedimentology**, v. 49, n. 1, p. 97-116, 2002.

SELMO, Liana T. Caracterização geológico-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 (monografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de conclusão de curso de geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2014.

SIMÕES, Matheus S. Litofácies, Fábrica magnética e geoquímica de condutos alimentadores e lavas ácidas do Grupo Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de doutorado. Programa de

Pós-Graduação em Geociências. Instituto de geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2018.

SIMÕES, Matheus S. et al. Structures and lithofacies of inferred silicic conduits in the Paraná-Etendeka LIP, southernmost Brazil. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 355, p. 319-336, 2018.

SMITH, M. R.; COLLIS, L.; FOOKES, P. G. Aggregates: Sand. **Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes**,, 2001.

SOARES, Ana P.; SOARES, Paulo C.; HOLZ, Michael. Correlações estratigráficas conflitantes no limite Permo-Triássico no Sul da bacia do Paraná: o contato entre duas seqüências e implicações na configuração espacial do aquífero Guarani. **Pesquisas em Geociências**, v. 35, n. 2, p. 115-133, 2008.

SOWINSKI, Ana C. B.; Estudo das paleotensões na região de Londrina, paraná. Trabalho de Conclusão de Curso (monografia). Universidade Federal do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso de geologia. Setor de ciências da terra. Curso de geologia. Curitiba, PR – BR, 2016.

WAICHEL, Breno L.; SCHERER, Claiton M. S; FRANK, Heinrich T. Basaltic lava flows covering active aeolian dunes in the Paraná Basin in southern Brazil: features and emplacement aspects. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 171, n. 1-2, p. 59-72, 2008.

WAYHS, C. A. S. P – Estudo de materiais alternativos utilizados em pavimentação de baixo custo na região noroeste do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 87 p, 2004.