

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

CAMILA ALVES VIANA

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS
PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS
E TECNOLÓGICAS DAS ROCHAS DE
UMA PEDREIRA EM ITAARA/RS**

**Caçapava do Sul
2019**

CAMILA ALVES VIANA

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS
PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS
E TECNOLÓGICAS DAS ROCHAS DE
UMA PEDREIRA EM ITAARA/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Geologia como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Régis Paranhos
Co-orientador: Andrea Nummer

**Caçapava do Sul
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

V614a Viana, Camila Alves

Análise comparativa das propriedades físicas, mecânicas e
tecnológicas das rochas de uma pedreira em Itaara/RS / Camila
Alves Viana.

76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.

"Orientação: Regis Sebben Paranhos".

1. Geologia. 2. Geotecnia. 3. Petrografia. 4. Formação
Serra Geral. 5. Basaltos. I. Título.

CAMILA ALVES VIANA

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS
PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS
E TECNOLÓGICAS DAS ROCHAS DE
UMA PEDREIRA EM ITAARA/RS**

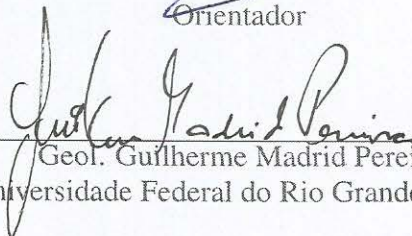
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Geologia como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 10 de Julho de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Régis Paranhos
Orientador



Geol. Guilherme Madrid Pereira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Prof. Eng. Civil. Renan Rauber
Universidade Federal do Pampa

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a minha Mãe e a minha avó por serem mulheres tão fortes e batalhadoras, principalmente agradeço a minha mãe por ela ter sido a pessoa que mais me apoiou em tudo o que eu queria fazer, por ter me ensinado que eu podia sonhar com algo novo e mudar minha própria realidade. Agradeço as minhas irmãs por sempre me apoiarem, em especial a Catia que praticamente me sustentou aqui no RS e sempre se preocupou comigo.

Agradeço a professora Andrea Nummer que me ajudou imensamente a elaborar este trabalho e me serviu de grande exemplo como profissional das Geociências e, agradeço ao meu orientador Régis Paranhos por ter me aturado por tanto tempo e sempre me ajudado quando eu precisava. E também agradeço ao professor Rui Sérgio por ter sido de grande ajuda nesta etapa final e ao Guilherme Madrid por ter me auxiliado neste final e contribuído de forma significativa para que eu conclua este curso. Ao Lenon Melo por toda a ajuda e por ter confeccionado as minhas lâminas e a Victoria Silveira pelo auxílio na descrição destas lâminas.

Aos meus amigos de casa em Caçapava do Sul, Natacha Evaldt, Giulia Herdies, Matheus Rodrigues e Felipe Batistelli por terem me dado abrigo e terem tido paciência comigo enquanto eu fazia este trabalho. A minha amiga de casa em Santa Maria, Haline Ceccato também pelo abrigo e paciência. Agradeço as minhas bests da bad news, Juliana Gimenes, Ísis Moreira, Fernanda Prestes e Ana Artine, pela amizade dès do começo do curso e por sempre jogarem a verdade na minha cara.

Agradeço a todos os meus amigos, a galera da zuera mas que também é séria, pois me mandavam fazer o TCC de 5 em 5 minutos, e contribuíram para a conclusão deste trabalho: Rael Wojahh, Jonas Henrique, Issacar Barroso, Saulo Lopes, Ingrid Teixeira, Ana Mathias, Aline Barbosa, Ronisson Miotto e Samara Capitol.

Muito Obrigada todos vocês!

“São as nossas escolhas, mais do que as
nossas capacidades, que mostram quem
realmente somos.”

— Alvo Dumbledore (J. K. Rowling)

RESUMO

Usar rochas como materiais de construção é uma prática antiga da humanidade. O seu uso é abrangente até nos dias atuais, em função de diversos fatores: elevadas durabilidade e resistência, além de, geralmente, baixo custo. Para usos na construção civil, que não exigem qualidades estéticas (por exemplo, rochas que não vão ser usadas para acabamentos e revestimentos) e usam grandes volumes de rocha, geralmente, são buscadas rochas em locais próximos à obra. Por isso, são importantes os estudos e análises das propriedades das rochas à disposição no entorno do empreendimento. Isto se dá para que seja feito o melhor uso possível, diminuindo custos da obra e, possivelmente, dirimindo erros. O presente trabalho busca fazer uma análise comparativa das propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas das rochas da cidade de Itaara/RS, que atendem ao mercado da construção civil da região central do estado do Rio Grande do Sul. Foram estudadas as rochas provenientes da Pedreira Brita Pinhal. Parte do município apresenta predominância de rochas efusivas básicas e ácidas da formação Serra Geral: basaltos e riolitos. A Pedreira Brita Pinhal encontra-se na borda dos derrames que compõem as ocorrências dessas rochas efusivas. Neste contexto, um dos objetivos, além da análise das rochas para uso como materiais de construção, é identificar o(s) motivo(s) para que as rochas da Pedreira Brita Pinhal tenham alta absorção (quando comparadas com as rochas de outras pedreiras da mesma região). Para isso, foram realizadas visitas técnicas, ensaios geotécnicos, além de confecção de lâminas e análises petrográficas. Quanto aos resultados, obteve-se valores de massa específica real e aparente, absorção, porosidade aparente e grau de compactação para os tamanhos de brita de 3/8" (9,5 mm). Através dos gráficos respectivos a esses ensaios observou-se que, para a bancada 2, são verificados pontos de inflexão, indicando variabilidade contraintuitiva nos resultados, sendo verificados valores maiores no âmbito do grau de compactação, e menores valores para absorção e porosidade aparente. Este comportamento pode ser explicado pelos tipos de rochas que compõem essa bancada, sendo estas as rochas menos alteradas da frente de lavra. Outra possibilidade é que estas rochas tenham uma menor quantidade de vidro. Ao integrar a análise petrográfica, o estudo da geologia regional com ensaios tecnológicos para a caracterização do maciço rochoso, foi possível reconhecer que as rochas mais próximas do topo da frente de lavra possuem uma maior absorção, possuindo estas, também, mais vidro e maior alterabilidade. Conseqüentemente, estas absorvem mais água. Como conclusão secundária, foi verificado que as rochas superiores tratam-se de

basaltos e as inferiores de um dacito.

Palavras-chave: Propriedades petrográficas. Itaara/RS. Caracterização de Basaltos e Dacitos. Sanidade de Agregados. Formação Serra Geral.

ABSTRACT

Using rocks as building materials is an ancient practice of mankind. Its use is comprehensive even today, due to several factors: high qualities of durability, strength and generally low cost. For building uses that do not require aesthetic qualities (for example, rocks that are not going to be used for finishing and coatings) and use large volumes of rock, these rocks are usually sought close to the work. Therefore, it is important to study and analyze the properties of the rocks available around the project. This is done to make the best use possible, reducing costs of the work and possible errors. The present work seeks to make a comparative analysis of the physical, mechanical and technological properties of the rocks of the city of Itaara / RS, which serve the construction market of the central region of the state of Rio Grande do Sul. The rocks of the Brita Pinhal quarry were studied. Part of the city of Itaara / RS presents predominance of basic and acidic effusive rocks of the Serra Geral formation: basalts and rhyolites. The Brita Pinhal Quarry is on the edge of the flows that make up the occurrences of these effusive rocks. In this context, one of the objectives, besides the analysis of the rocks for use as building materials is to identify the reasons why the Brita Pinhal quarry rocks have high absorption (when compared to rocks from other quarries in the same region). For this, technical visits, geotechnical tests, as well as preparation of thin sections and petrographic analyzes were carried out. As for the results, values of actual and apparent specific mass, absorption, apparent porosity and degree of compactness for 3/8 "(9.5 mm) gravel sizes were obtained. By the graphs corresponding to these tests, it was observed that, for bench 2, inflection points are verified, indicating counterintuitive variability in the results, being verified higher values in the scope of the degree of compactness, and lower values for absorption and apparent porosity. This behavior can be explained by the types of rocks that make up this bench, these being the least altered rocks of the mining front. Another possibility is that these rocks have a smaller amount of glass. When integrating the petrographic analysis, the study of the regional geology with technological tests for the characterization of the rock mass, it was possible to recognize that the rocks closer to the top of the mining front have a greater absorption, these also possessing more glass and greater alterability. As a result, they absorb more water. As a secondary conclusion, it was verified that the upper rocks are basalts and the lower rocks of a dacite.

Keywords: petrographic properties. Itaara/RS. Characterization of Basalts and Dacites. Sanity of Aggregates. Serra Geral Formation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização do município de Itaara-RS e pedreira Brita Pinhal.	20
Figura 2	Mapa geológico da Bacia do Paraná.	23
Figura 3	Mapa esquemático mostrando os locais de ocorrência de diferentes tipos geoquímicos de magmas básicos (I a IV) da Província Magmática do Paraná. Legenda: 1 – Derrames de lava; 2 –Diques; I – Paranapanema e Pitanga; II – Urubici (denominado Khumib no Etendeka); III – Esmeralda; IV – Gramado (denominado Tafelberg no Etendeka); V – Ribeira.	26
Figura 4	Mapa de detalhe da pedreira Brita Pinhal. Parte Marrom escuro - área já explorada na mina, Parte em cinza - área ainda não explorada. Linha tracejada - bancadas.	27
Figura 5	Gráfico da Dureza absoluta versus dureza na escala de Mohs.	30
Figura 6	Sugestão de roteiro de seleção de rochas basálticas para uso rodoviário.	46
Figura 7	Foto das amostras coletadas em cada uma das quatro bancadas em estudo da Pedreira Brita Pinhal.	49
Figura 8	Foto do britador do LMCC da UFSM.	50
Figura 9	Foto do agitador usado para a separação granulométrica após as amostras passarem pelo processo de britagem.	51
Figura 10	Foto das amostras separadas após processo de britagem e separação granulométrica. Estão separadas de acordo com a bancada em que foram coletadas e de acordo com seu tamanho de brita.	52
Figura 11	Foto exemplificando o ensaio de absorção, os quais as amostras são deixadas de molho em baldes.	53
Figura 12	Foto exemplificando o ensaio de sanidade, os quais as amostras são separadas de acordo com seu tamanho de brita e colocadas de molho em uma mistura de água e sulfato, completando 5 ciclos entre molho e secagem.	55
Figura 13	Valores de Massa Específica Real encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).	60
Figura 14	Valores de Massa Específica Aparente encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).	61
Figura 15	Valores de Absorção encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).	62
Figura 16	Valores de Porosidade Aparente encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).	63
Figura 17	Grau de Compacidade encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).	64
Figura 18	Fotos das amostras de mão coletadas nas bancadas 1 e 2.	65
Figura 19	Fotos das amostras de mão coletadas nas bancadas 2 e 3, e foto da amostra de mão do dique encontrado na bancada 1.	67
Figura 20	Fotos das Lâminas obtidas com as amostras das bancadas 1 e 2, em luz natural e polarizada, com aumento de 5 vezes.	68

Figura 21 Fotos das Lâminas obtidas com as amostras das bancadas 3 e 4, em luz natural e polarizada, com aumento de 5 vezes.....	69
Figura 22 Foto da Lâmina obtida com a amostra do dique encontrando na bancada 1, em luz natural e polarizada, com aumento de 5 vezes.	69
Figura 23 Foto da Lâmina obtida com a amostra do dique encontrando na bancada 1, em luz natural, com aumento de 10 vezes.	70
Figura 24 Foto da Lâmina obtida com a amostra do dique encontrando na bancada 1, em luz polarizada, com aumento de 10 vezes.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Escala de dureza de Mohs.....	30
Tabela 2	Descrição da Tenacidade dos Minerais.....	31
Tabela 3	Características das rochas mais usadas na construção civil e rodoviária e principais usos	36
Tabela 4	Principais qualidades desejáveis das rochas para uso na construção civil	37
Tabela 5	Principais características das rochas que influenciam nos ensaios laboratoriais das rochas	38
Tabela 6	Resumo das características analisadas e observadas através de ensaios tecnológicos e seu significado	41
Tabela 7	Valores médios resultantes de testes feitos nos diferentes tipos de rochas usadas para produção de agregados	42
Tabela 8	Classificação da porosidade e índice de vazios das rochas.....	43
Tabela 9	Grau de Cristalização das rochas ígneas.....	55
Tabela 10	Forma dos minerais das rochas ígneas	56
Tabela 11	Cristalinidade dos minerais das rochas ígneas	56
Tabela 12	Textura das rochas ígneas	57
Tabela 13	Classes granulométricas - rochas ígneas	57
Tabela 14	Roteiro para avaliação preliminar do estado de alteração e do grau de coerência de rochas	58
Tabela 15	Dados do ensaio de sanidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4) para as bancadas 1, 2, 3 e 4.....	61
Tabela 16	Registro dos ciclos das amostras coletadas nas bancadas 1, 2, 3 e 4	65
Tabela 17	Resultados do ensaio de sanidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4)	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
LAGEOLAM	Laboratório de Geologia Ambiental
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
LN	Luz Natural
LP	Luz Polarizada
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNIPAMPA	Fundação Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivos Gerais.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 JUSTIFICATIVA	17
4 ÁREA DE ESTUDO	19
4.1 Itaara/RS.....	19
4.2 Pedreira Brita Pinhal.....	21
5 GEOLOGIA REGIONAL	22
6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
6.1 Constituinte das Rochas: Minerais	28
6.1.1 Forma Externa.....	28
6.1.2 Propriedades Mecânicas.....	29
6.2 Rochas	31
6.2.1 Rochas Ígneas	31
6.2.2 Derrames	33
6.2.3 Rochas como Material de Construção	34
6.2.4 Seleção de Materiais Rochosos.....	37
6.2.5 Análise Petrográfica	39
6.2.5.1 Feições macroscópicas.....	39
6.2.5.2 Feições microscópicas	40
6.2.6 Ensaios e Análises.....	40
6.2.6.1 Granulometria	42
6.2.6.2 Porosidade e Absorção.....	43
6.2.6.3 Massa Específica Real e Massa Específica Aparente	43
6.2.6.4 Adesividade.....	44
6.2.6.5 Tenacidade	44
6.2.6.6 Alterabilidade.....	44
6.2.7 Lavra de rochas como agregado.....	45
6.2.7.1 Lavra de Minas a céu aberto	45
6.2.8 Trabalhos Anteriores.....	47
7 MATERIAIS E MÉTODOS	48
7.1 Materiais	48
7.2 Métodos	48
7.2.1 Pré-Campo: Revisão Bibliográfica	48
7.2.2 Coleta de Amostras	49
7.2.3 Análise de massa específica, absorção de água e sanidade por sulfato de sódio...50	
7.2.4 Descrição Petrográfica de amostras de mão.....	54
7.2.5 Descrição de lâminas	56
7.2.6 Correlação dos resultados com trabalhos anteriores.....	57
8 RESULTADOS	59
8.1 Massa Específica, Absorção e Porosidade	59
8.2 Sanidade por Sulfato de Sódio (Na_2SO_4)	61
8.3 Análise Petrográfica	63
8.3.0.1 Amostras de mão.....	64
8.3.0.2 Lâminas.....	66
9 CONCLUSÕES PRELIMINARES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Rochas são amplamente usadas como materiais de construção devido a características como, por exemplo, sua elevada durabilidade e resistência, além do seu baixo custo de aquisição e aplicação (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011). Segundo Back (2018), geralmente, materiais rochosos são selecionados de acordo com sua disponibilidade, isto é, distância de transporte entre o local de extração (pedreira) e o local da obra, além de facilidade de extração. Conseqüentemente, recorrentemente é necessário que novas jazidas de agregados minerais sejam exploradas, visando encontrar ocorrências minerais próximas ao empreendimento, as quais precisam apresentar características tecnológicas adequadas à sua aplicação. O reconhecimento destas características tecnológicas é feito através da verificação de características petrográficas, propriedades físicas e físico-mecânicas. Segundo Frazão (2002) o conhecimento destas propriedades auxilia na previsão do comportamento deste material quando empregado em construção civil.

Do ponto de vista da aplicabilidade destes materiais rochosos, o conhecimento de suas propriedades físico-mecânicas-tecnológicas é importante para evitar problemas relacionados a comportamentos indesejados destes materiais após eles terem sido empregados na construção civil. Esta caracterização pode consistir no mapeamento geológico de detalhe da área de estudo, descrição petrográfica e ensaios laboratoriais. Portanto, a verificação das propriedades do material pode ajudar na determinação do melhor uso para cada tipo de rocha disponível próximo a uma obra.

Em uma obra de engenharia, os materiais rochosos são empregados nas mais diversas formas (rocha bruta, rocha polida, rocha britada ou moída) (CARUSO, 1990). Estes materiais têm sido usados com ligantes em pavimentos, obras rodoviárias, ou barragens de concreto; sem ligantes em lastro de ferrovias, enrocamentos ou filtros; e como revestimento (FRAZÃO; PARAGUASSU, 1998). Atualmente, os diferentes usos das rochas na construção civil são regulamentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No passado, por serem amplamente usadas sem que suas características fossem estudadas, a aplicação de materiais rochosos resultou em diversos problemas (como, por exemplo, degradação de concretos em função da reação do cimento com os agregados, desagregação de enrocamentos basálticos devido à expansão de alguns argilominerais, ocorrência de alto desgaste quando as rochas tinham baixa dureza e foram utilizadas para revestimento de pisos, surgimento de manchas no caso de rochas com alta

absorção usadas em revestimentos de exteriores) (FRAZÃO e PARAGUASSU, 1998). Todos estes acontecimentos serviram como aprendizado e lembrete do que fazer (ou não fazer) ao trabalhar com materiais rochosos. Por conta disso, houve forte um avanço do conhecimento sobre as rochas, o que propiciou a criação das normas da ABNT sobre o tema (FRAZÃO, 2002).

Apesar deste avanço, nos atuais estudos sobre rochas, devido a heterogeneidade do material extraído a partir dos mais variados perfis geotécnicos com diferentes características, as informações ainda não são suficientes e, conseqüentemente, o conhecimento sobre tais características das jazidas de agregados minerais torna-se cada vez mais necessário, conforme aumenta o consumo de agregados (PAIVA, 2017). A pedreira Brita Pinhal, é um exemplo de jazida de agregados minerais na região central do Rio Grande do Sul, a qual, geralmente, atende a pedidos de construção civil comercial e rodoviária da região. Esta se localiza no município de Itaara-RS, o qual apresenta predominância de rochas efusivas básicas e ácidas da Formação Serra Geral: basaltos e riolitos (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011).

De acordo com a CPRM (2015), a Formação Serra Geral refere-se à província magmática relacionada aos derrames e intrusivas que recobrem $1,2 \times 10^6 \text{km}^2$ da Bacia do Paraná (MELFI; PICCIRILLO; NARDY, 1988) abrangendo toda a região centro-sul do Brasil e estendendo-se ao longo das fronteiras do Paraguai, Uruguai e Argentina. Assim, a Formação Serra Geral é composta por diversos eventos de derrames, um destes aflorante na área de estudos. Intuitivamente, verifica-se que dentro da elevada abrangência da Formação Serra Geral há espaço para uma também elevada variabilidade composicional que, localmente, pode atribuir características distintas para porções relativamente próximas. Visando esta elevada variabilidade geológica que implica em um não total conhecimento das características mineralógicas da área de estudos e, sabendo que certa composição mineralógica possui impacto sobre as características físico-mecânico-tecnológicas do material, verifica-se que há uma necessidade maior de conhecimento acerca das propriedades geológicas da jazida Brita Pinhal. Com base nisso que esse trabalho é proposto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Estudar as propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas das rochas da pedreira Brita Pinhal (município de Itaara - RS), analisando os materiais e relacionando-os com sua origem e formação geológica.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever as características petrográficas e mineralógicas das amostras coletadas na pedreira, através de descrição macro e micro;
- Realizar ensaios tecnológicos no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) na UFSM, das amostras coletadas na pedreira Brita Pinhal;
- Analisar e comparar as características físicas, mecânicas, tecnológicas e petrográficas da pedreira com trabalhos anteriores feitos na área;

3 JUSTIFICATIVA

Estudar as características e comportamento dos materiais rochosos é importante, pois é um material amplamente usado no mundo inteiro. Em 2014, a produção mineral global foi de 65 bilhões de toneladas, nos quais 45 bilhões de toneladas correspondem a agregados (ANEPAC, 2016). Nota-se que quanto mais desenvolvido um país é, maior é o seu consumo de agregados, pois segundo o Instituto Brasileiro de Mineração, o consumo brasileiro per capita foi de 3,5 toneladas por habitante em 2011, enquanto o valor médio dos países mais desenvolvidos foi de 7 toneladas por habitante (PAIVA, 2017).

As rochas para uso na construção civil são os materiais mais lavrados no mundo, por ser tão amplamente usado é necessário o estudo de técnicas para sua melhor caracterização. É o maior constituinte de qualquer obra, e mesmo assim seu comportamento não é totalmente entendido, causando falhas inúmeras vezes.

Na região da cidade de Itaara/RS é comum o uso de basaltos e riodacitos na construção civil, por ser uma rocha com alta resistência mecânica, abundante e que aflora próxima a superfície, facilitando a lavra.

A pedreira estudada acredita-se ser composta pela rocha riodacito, proveniente de um dos derrames que compõe a formação Serra Geral. Foi observado que as rochas da pedreira Brita Pinhal apresentam maiores valores de absorção dos que as rochas encontradas em outros locais do mesmo derrame.

A absorção de água é uma forma de avaliar a porosidade do agregado e indica a quantidade de água que o agregado é capaz de absorver (PAIVA, 2017). Segundo Frazão (2002), as propriedades das rochas são muito influenciadas pela absorção d'água. Rochas com alta absorção d'água apresentam aumento na massa específica aparente saturada e na condutividade térmica, dentre outras, enquanto que a resistência mecânica diminui, por enfraquecimento das ligações intergranulares (BERNUCCI et al., 2010).

Conhecer as propriedades tecnológicas, físicas e petrográficas das rochas serve para separá-las ao seu melhor uso. É comum o uso de grande volume de rochas nas construções, assim como a prática de usar as rochas mais próximas à obra para diminuir os custos com transporte. Sabendo disso, percebe-se que nem sempre são usadas as rochas mais adequadas para determinada finalidade, pois são usadas as que estão disponíveis. Com isso, é importante conhecer as características básicas sobre as propriedades das rochas que vão ser usadas para evitar futuros problemas nas obras.

Para conhecer estas características básicas das rochas se faz necessário a

caracterização do maciço rochoso da pedreira, o acompanhamento da lavra no controle tecnológico da pedra britada e a associação destas informações com a geologia local.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Itaara/RS

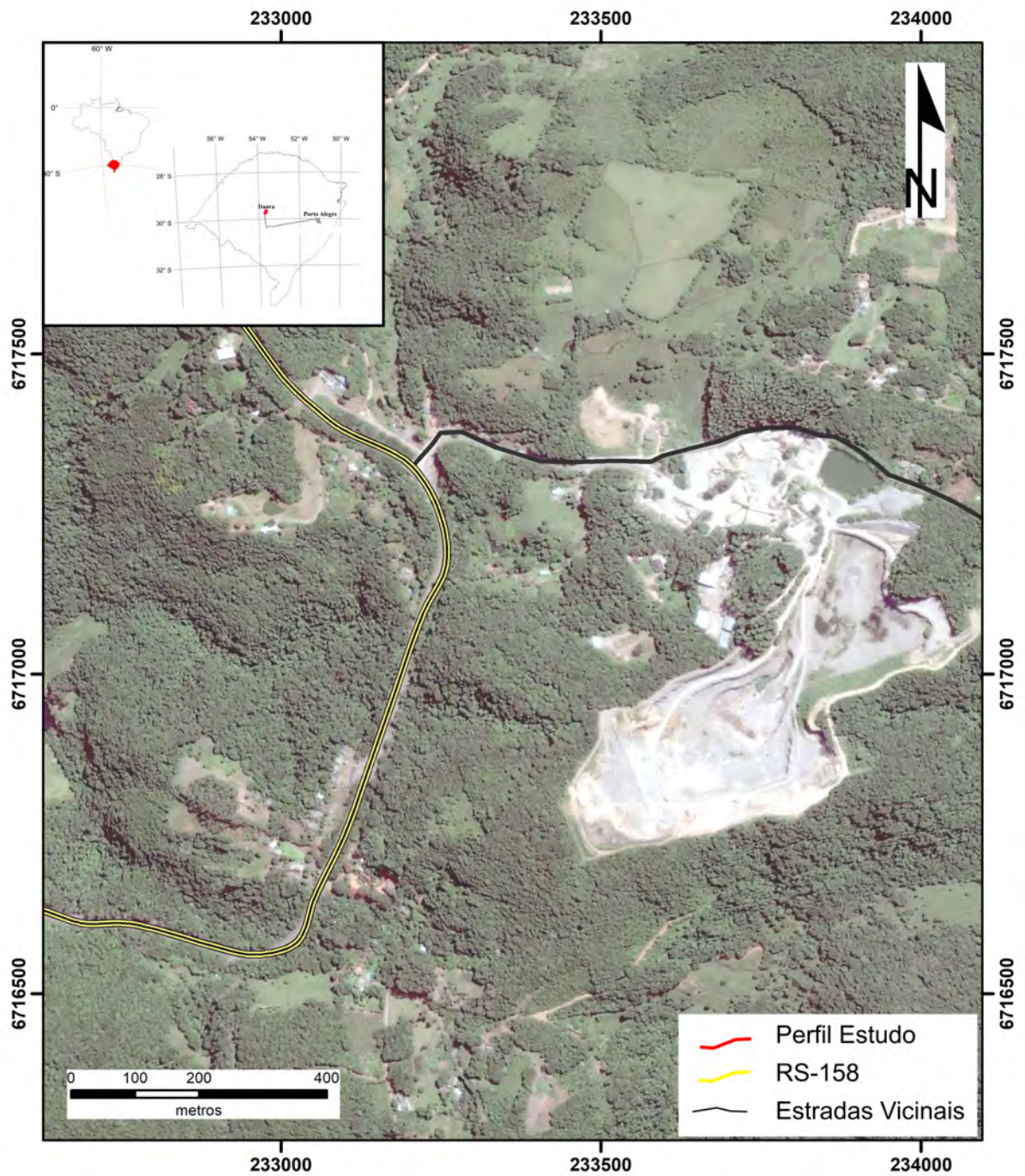
A pedra estudada neste trabalho localiza-se no município de Itaara, ao norte do município de Santa Maria, RS.

O município de Itaara (Figura 1) encontra-se a 295 km de distância de Porto Alegre e é limitada ao Norte por Júlio de Castilhos (49 km de distância), ao Sul por Santa Maria (14 km de distância), ao Leste pelo Distrito de Arroio Grande/Santa Maria (15 km de distância) e a Oeste por São Martinho da Serra (17 km de distância). Possui uma área territorial de 172,4 km^2 e altitude média de 425 metros, com população de 5.010 habitantes (IBGE, 2010) e representa os Biomas Mata Atlântica e Pampa (PREFEITURA DE ITAARA, 2017).

Itaara-RS, localiza-se em um divisor de águas, compreendendo três microbacias hidrográficas (Ibicuí-Mirim, Vacacaí-Mirim e Arroio Grande). A cidade ainda conta com duas barragens: a Saturninho de Brito e a Val de Serra, os quais abastecem a cidade de Santa Maria (JAIR DANIEL et al., 2013).

A economia da cidade baseia-se no turismo (balneários), indústria (extração de pedra e britagem) e agropecuária (JAIR DANIEL et al., 2013). O município está situado na Mesorregião Centro Ocidental Rio-Grandense, na Microrregião de Santa Maria. É considerada a "Cidade dos Balneários" pela riqueza em recursos hídricos e número de turistas no verão (UFSM/CCR/DER, 2009).

Figura 1 – Mapa de localização do município de Itaara-RS e pedreira Brita Pinhal.



Fonte: Autor, feito através do Google Earth em 12/06/2019

4.2 Pedreira Brita Pinhal

As atividades na Pedreira Brita Pinhal (cota 412m) (Figura 1), localizada na Estrada do Morro do Baú, BR 158 - KM 313 - Itaara/RS, iniciaram em 05 de setembro de 1973. Esta pedreira comporta uma praça de lavra oval com eixo maior N30E de aproximadamente 660 m de comprimento apresenta três bancadas com taludes, em torno de 12 m de altura. Produz um volume de 18.000 m^3 de material britado por mês, comercializado na região de Santa Maria."(GRECCO et al., 2012). A empresa que a opera atua nas áreas Rural (preparação de terrenos para construção de silos, engenhos, galpões), Industrial (serviços de terraplanagem, infraestrutura e pavimentação) e Urbano (escavação e preparação do terreno para execução de projetos) (BRITA PINHAL, 2008), sendo destinada, principalmente, à produção de brita e finos de britagem (filler asfáltico).

De acordo com seu site "Brita Pinhal (2008)" a principal litologia explotada pela pedreira é a Formação Mina Morro do Baú. A extração mineral se dá pelo método de lavra a céu aberto, e nesta formação, ocupa uma área escavada de 170.000 m^2 com um desnível atual de 60 metros. O desnível projetado é de até 80 metros para os próximos anos.

5 GEOLOGIA REGIONAL

O território brasileiro é formado por rochas de diferentes idades, como por exemplo as rochas do Pré-Cambriano que formam os escudos cristalinos do Brasil, representados pelo Planalto das Guianas, Planalto da Borborema, Serra Geral, Serra do Mar e Planalto Sul-Rio-Grandense, enquanto que as bacias sedimentares apresentam idades mais diversas ainda, do Paleozóico ao Cenozóico (BECKER, 2012).

Segundo Toledo (2003): "Grande parte das rochas e estruturas que sustentam as formas do relevo brasileiro são anteriores à atual configuração do continente sul-americano, que passou a ter o seu formato depois da Orogênese Andina e da abertura do Oceano Atlântico, a partir do Mesozóico".

Apesar de a maioria das estruturas e formações litológicas do Brasil serem antigas, as formas do relevo são recentes, isto porque a forma do relevo está relacionado com o desgaste erosivo das rochas pelos agentes externos (BECKER, 2012).

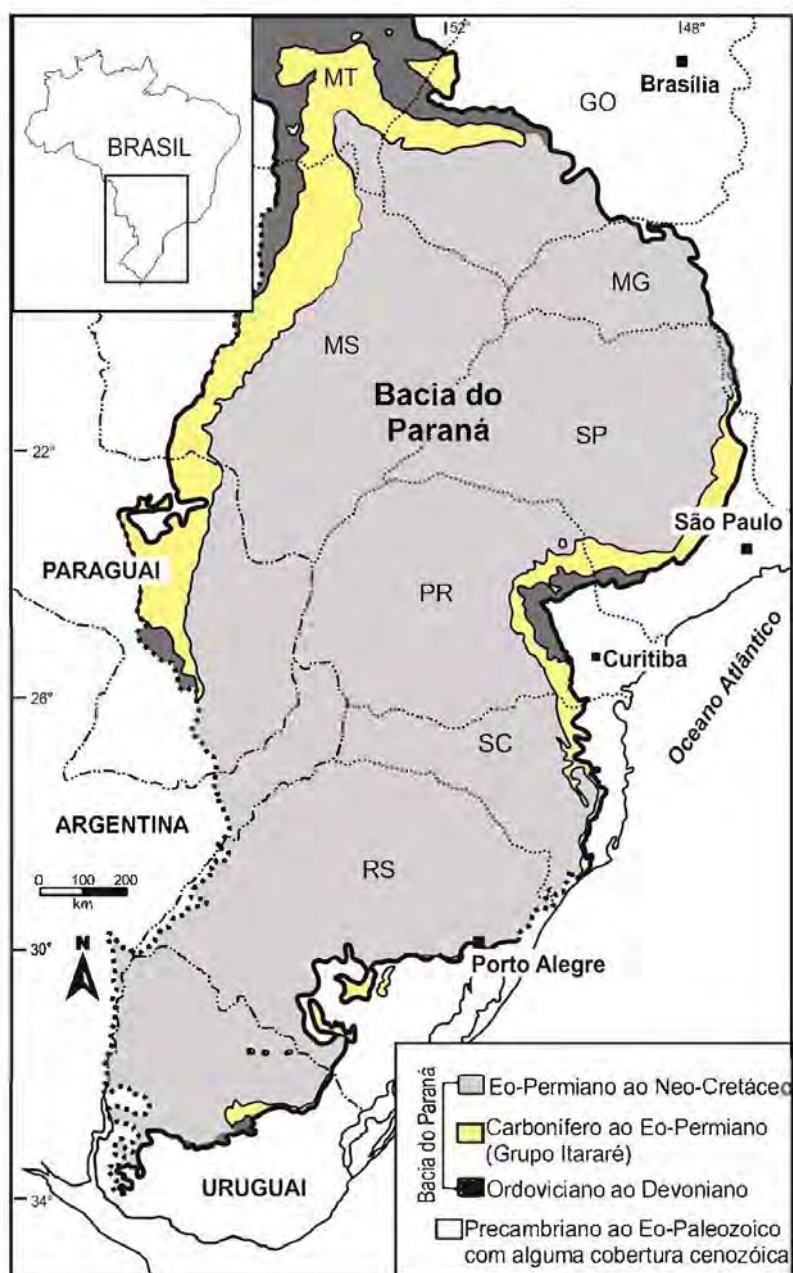
O relevo do estado do Rio Grande do Sul não é muito diferente ao do resto do Brasil, pois ambas tem substrato rochoso muito antigo, que há milhões de anos não sofre alterações tectônicas expressivas (BECKER, 2012). As rochas mais antigas do estado são da era paleoproterozóica (2,5 BA a 1,6 BA) associadas com rochas do Neoproterozóico (1BA a 0,5BA), distribuídas por toda a região central e oriental do Rio Grande do Sul (VIERO; SILVA, 2010). Durante o Cambriano (0,54BA a 0,48BA) predominaram grandes regimes vulcânicos associados a extensas bacias sedimentares. Seguindo desses episódios vulcânicos, houve um período de intensa calma e sedimentação, a qual durou até o Cretáceo Inferior (0,14BA), quando ocorreu a divisão do continente gondwânico e o recobrimento de toda a porção sul do Brasil por extensos derrames de basaltos (VIERO; SILVA, 2010).

O presente trabalho está localizado na Formação Serra Geral, sobre um substrato rochoso de ígneas e metamórficas das províncias Tocantins e Mantiqueira, e sedimentares e vulcânicas das bacias Camaquã, Itajaí, Castro e Piranhas (WILDNER, 2004). Seu embasamento é da Plataforma Sul-Americana, composta essencialmente por rochas com mais de 570 milhões de anos (MINEROPAR, 2001). Este embasamento (nas áreas onde está exposto) apresenta as porções mais antigas e elevadas do estado, e a sua maior parte está recoberta por uma cobertura vulcânica e sedimentar (Bacia do Paraná) (MINEROPAR, 2001).

A Bacia do Paraná é uma bacia sedimentar, intracratônica, que evoluiu sobre a

Plataforma Sul-Americana. O início de sua formação começou no Período Devoniano (cerca de 400 milhões de anos atrás) e terminou no Cretáceo (MINEROPAR, 2001). Abrangendo parte do território do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, a bacia encontra-se em uma área de aproximadamente 1.600.000 km² (SUSS et al., 2014) (figura 3). Segundo Mineropar (2001) "A persistente subsidência na área de formação da bacia, embora de caráter oscilatório, possibilitou a acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e sills de diabásio, ultrapassando 5.000 metros na porção mais profunda".

Figura 2 – Mapa geológico da Bacia do Paraná.



Fonte: Extraído e modificado de (SUSS *et al.*, 2014)

Durante o cretáceo, ocorreu intenso vulcanismo sobre a bacia do Paraná, as rochas provenientes deste fenômeno fazem parte da Formação Serra Geral, a qual estão inseridas na sequência Gondwana III. (MACHADO et al., 2009). No local de estudo estas rochas da Formação Serra Geral estão sobrepostas aos arenitos eólicos da Formação Botucatu. Este vulcanismo que deu origem a Formação Serra Geral é tão extenso que extrapola os limites da Bacia do Paraná sob a forma de extensos enxames de diques. Segundo Machado et al. (2009):

"As rochas vulcânicas observadas parecem estar vinculadas a um processo de extravasamento fissural caracterizado por uma série de episódios magmáticos, fortemente vinculados aos campos tensoriais, e fenômenos endógenos que culminaram na desagregação do Gondwana. Essas características estão baseadas no grande volume de rocha gerado, pela ocorrência de intertraps, onde diferentes pulsos vulcânicos estão separados por camadas de arenito da Formação Botucatu."

As diferentes direções dos enxames de diques associados ao evento vulcânico indicam um expressivo vínculo entre a ascensão magmática e o tectonismo atuante na época. A Formação Serra Geral é composta em sua maior parte por rochas básicas-intermediárias: basaltos e andesitos (MACHADO *et al.*, 2009) (figura 3), e todo o seu magmatismo ocorreu no período entre 138 e 125 Ma (WILDNER, 2004).

O local de estudo encontra-se na divisão Fácies Gramado da Formação Serra Geral, a qual refere-se a um conjunto composto por cerca de 16 derrames com espessura máxima de 350m, aflorantes principalmente nas bordas sul e sudeste da Bacia do Paraná (WILDNER, 2004).

Segundo Wildner (2004), as rochas dessa fácies são tipicamente de grão fino e afíricas, constituem-se de um arranjo de cristais de plagioclásio euédricos, clinopiroxênios e quantidades esporádicas de olivinas. Como minerais acessórios tem magnetita-ilmenita, apatita e quartzo. O espaço intersticial entre cristais encontra-se preenchido por vidro intersertal, podendo ocasionalmente estar rearranjado para um mosaico de cristálitos de plagioclásio e quartzo."

Entre os derrames da Formação Serra Geral, ocorre uma camada do Arenito Botucatu (GRECCO *et al.*, 2012). Este conjunto vulcano-sedimentar (Botucatu-Serra Geral), segundo (MILANI, 1997) representa a supersequência Gondwana III. A Formação Botucatu é constituída por arenito eólico essencialmente composto por quartzo, contendo feldspatos alterados, apresentando estratificação cruzada (GRECCO *et al.*, 2012). Já a

formação Santa Maria é composta por arenito grosseiro, de origem fluvial, feldspático e poroso.

Na pedreira Brita Pinhal, segundo (GRECCO *et al.*, 2012) "o material lavrado corresponde à um derrame dacítico com espessura mínima aflorante de 36 metros. O derrame apresenta na zona central disjunção colunar e sub-horizontal métrica a dessimétrica".

A Geologia da área de estudo é complexa (figura 4), pois por se tratar de um final de derrame (a pedreira Brita Pinhal está localizada na borda de um dos derrames da formação Serra Geral), sua composição não é homogênea, ou seja, vários tipos de rocha se formaram simultaneamente em um mesmo local. Logo, nesta pedreira podem ter diversas rochas, com composição química, textura, e minerais formadores semelhantes, diferindo uma das outras em apenas alguns aspectos.

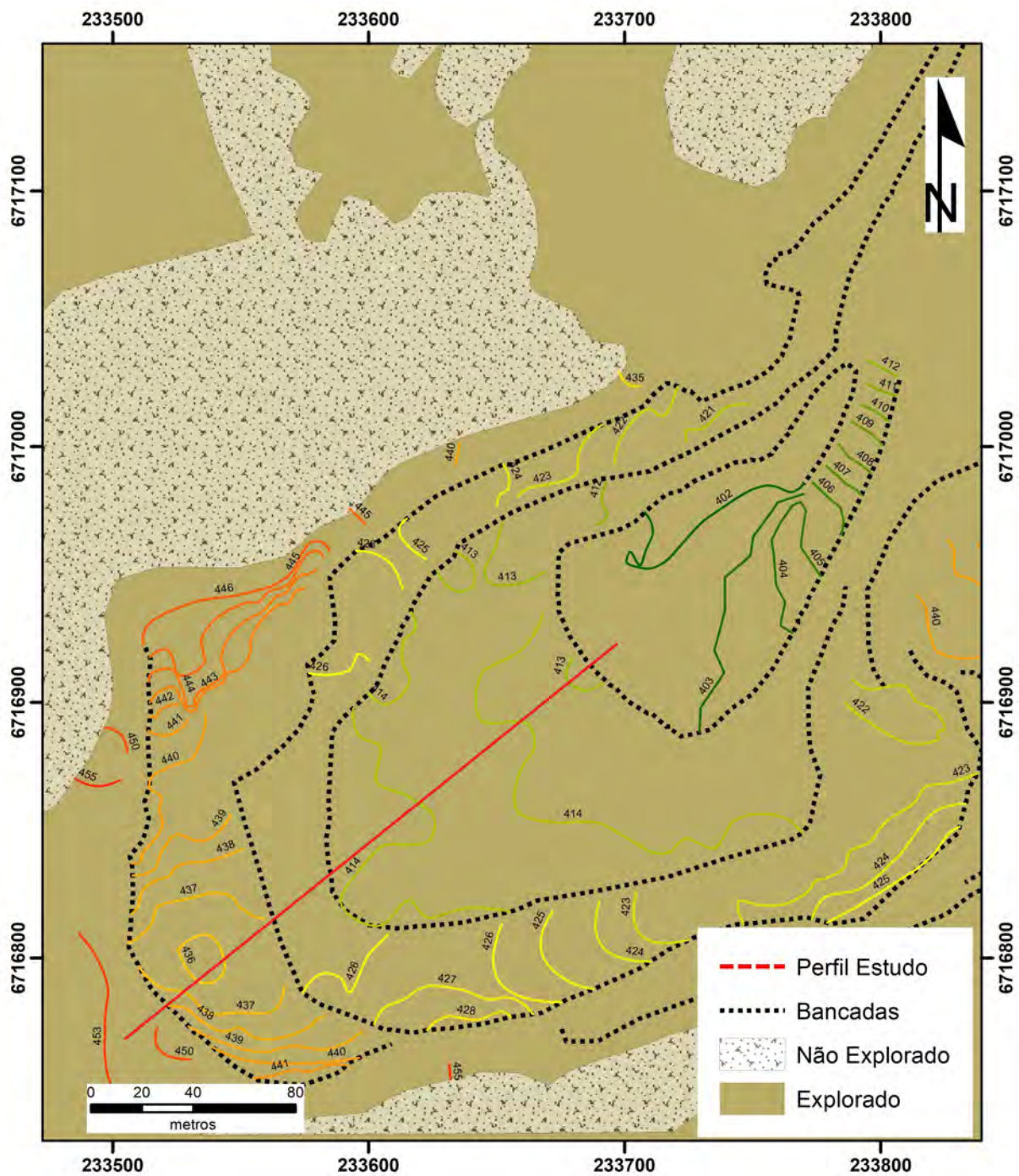
Por conta disto, existem diferentes tipos de mapeamentos para poder delimitar a ocorrência dos diferentes tipos de rocha que pode-se encontrar numa mesma região. Um mapa geológico é obtido através da execução de pesquisas de campo e de laboratório em uma determinada região. Quanto menor a escala de um mapa geológico, maior é o seu nível de detalhe.

Figura 3 – Mapa esquemático mostrando os locais de ocorrência dos diferentes tipos geoquímicos de magmas básicos (I a IV) da Província Magmática do Paraná. Legenda: 1 – Derrames de lava; 2 – Diques; I – Paranapanema e Pitanga; II – Urubici (denominado Khumib no Etendeka); III – Esmeralda; IV – Gramado (denominado Tafelberg no Etendeka); V – Ribeira.



Fonte: Extraído de (MACHADO *et al.*, 2009)

Figura 4 – Mapa de detalhe da pedreira Brita Pinhal. Parte Marrom escuro - área já explorada na mina, Parte em cinza - área ainda não explorada. Linha tracejada - bancadas.



Fonte: Autor

6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

6.1 Constituinte das Rochas: Minerais

"Mineral é um sólido de ocorrência natural com um arranjo atômico altamente ordenado e uma composição química homogênea e definida (mas não necessariamente fixa). Minerais são frequentemente formados por processos inorgânicos"(KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012).

Os minerais constituem as rochas e estão presentes em todo o planeta Terra, assim como também estão presentes em outros planetas, luas e asteroides, por exemplo. De acordo com o Ministério de Minas dos Estados Unidos, "por ano, cada norte - americano precisa de 18.143,60 kg de novos minerais. Para esse nível de consumo, em média, estima-se que um recém nascido precisará, ao longo de sua vida, dentre outros minerais, de 561.553,08 kg de pedra, areia, cascalho e cimento (para construção civil)"(KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012).

Para identificar e reconhecer as rochas é necessário conhecer os minerais que as compõem (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011). As propriedades físicas das rochas estão relacionadas com as propriedades físicas dos minerais, que por sua vez são expressões de sua composição interna, especialmente de sua estrutura e composição química (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012).

O método essencial para estudar os minerais é através da observação de amostras de mão (análise macroscópica) e de lâminas (análise microscópica). Os minerais podem ser reconhecidos de diversas maneiras, dentre elas, pela sua forma externa, propriedades químicas e propriedades físicas (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011). Neste trabalho vão ser destacadas as propriedades mais importantes dos minerais que refletem no comportamento das rochas na construção civil.

6.1.1 Forma Externa

A forma externa é a expressão da organização interna do arranjo atômico ordenado (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012). São estudadas as seguintes características:

- Forma Cristalina: Um mineral pode ser identificado quando a sua forma externa assume uma forma geométrica regular. São usados os seguintes termos para

descrever a forma cristalina dos minerais: prismático, cúbico, romboédrico e octaédrico (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012);

- Hábito Mineral: Na prática é difícil um mineral desenvolver sua própria forma, devido ao confinamento (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011), por isso, os minerais também são estudados pela sua forma geral, que também inclui irregularidades devido ao crescimento (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012). Em relação a forma externa dos minerais, eles podem ser classificados conforme estão mais ou menos bem formados (mais ou menos próximos de sua forma cristalina): euédrico (bem formado), subédrico e anédrico (mal formado). A forma externa do mineral vai depender do espaço disponível para o cristal durante o tempo de seu crescimento. Segundo (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011), os hábitos mais comuns são o prismático (piroxênios e anfibólios), lamelar (micas) e fibroso (serpentina).

6.1.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas são clivagem, fratura, dureza e tenacidade. Estas propriedades refletem a força das ligações entre seus átomos (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012).

- Clivagem: É a tendência dos minerais romperem-se ao longo de planos paralelos (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012). A clivagem ocorre em certas direções na qual o mineral tem as ligações mais fracas entre os átomos, é uma direção natural de fraqueza, na qual o mineral tende a quebrar (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011). A clivagem pode ser classificada pela sua qualidade (excelente, boa e imperfeita) e número de direções de clivagem (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012). Esta qualidade de clivagem se refere a facilidade em ser rompida e o aspecto da superfície após a quebra;
- Fratura: Superfície irregular resultante da quebra de um mineral em uma direção diferente da clivagem, e é classificada em: fratura conchoidal ou irregular (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011);
- Dureza: Resistência que uma superfície lisa oferece ao ser riscado (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012). Está relacionada com a força das ligações e é a resposta de uma estrutura cristalina à tensão sem ruptura (KLEIN CORNELIS

E DUTROW, 2012). A dureza de um mineral pode ser classificada de maneira relativa (através da escala de dureza de Mohs - Tabela 1) ou por técnicas quantitativas e classificadas em uma escala de dureza absoluta (Figura 5);

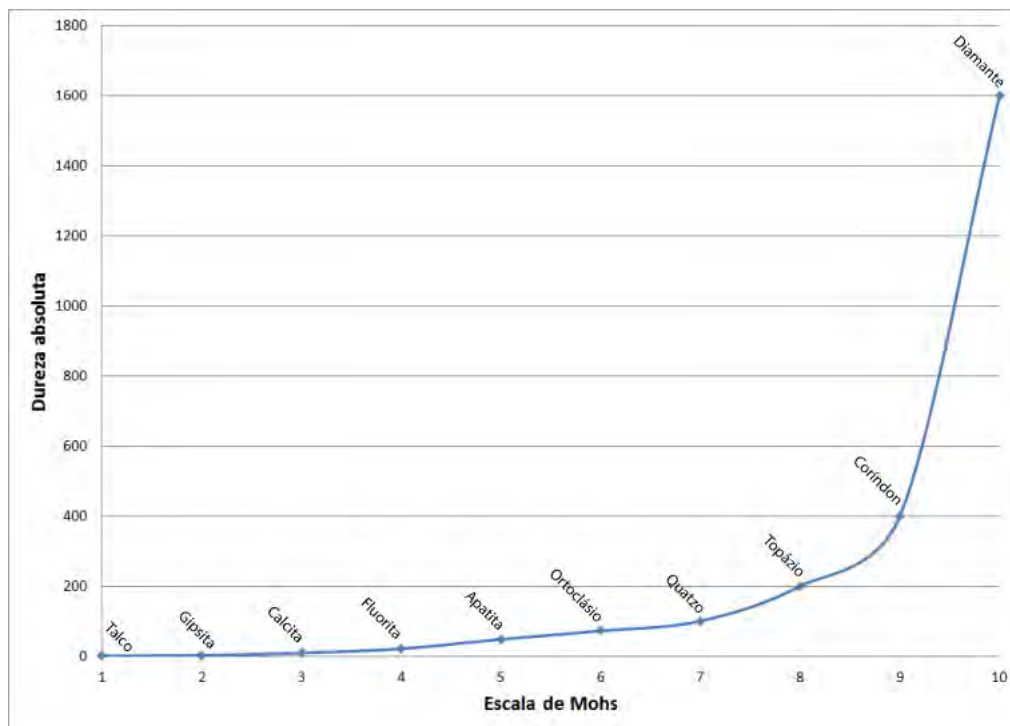
- Tenacidade: É a coesão de um mineral, sua resistência a romper-se ou deforma-se (KLEIN CORNELIS E DUTROW, 2012) (Tabela 2).

Tabela 1 – Escala de dureza de Mohs

Mineral	Dureza	Observações
Talco	1	Risca com a unha muito fácil
Gipsita	2	Pode ser riscado com a unha
Calcita	3	Fácil de riscar com canivete
Fluorita	4	Fácil de riscar com canivete porém mais resistente que a calcita
Apatita	5	Difícilmente riscada com canivete
Ortoclásio	6	Não riscado com canivete, porém risca vidro
Quartzo	7	Risca vidro facilmente
Topázio	8	Risca vidro muito facilmente
Coríndon	9	Corta o vidro
Diamante	10	Usado como cortador de vidro

Fonte: Extraído e adaptado de Klein Cornelis e Dutrow (2012)

Figura 5 – Gráfico da Dureza absoluta versus dureza na escala de Mohs



Fonte: Extraído e adaptado de Klein Cornelis e Dutrow (2012)

Tabela 2 – Descrição da Tenacidade dos Minerais

Descrição	Observação	Ex. Mineral
Quebradiço	Se rompe e se pulveriza facilmente	Halita
Maleável	Pode ser partido em estampas delgadas	Cobre
Séctil	Pode ser cortado com um canivete	Calcocita
Dúctil	Pode ser esturado, formando fios	Ouro
Flexível	Se encurva, mas não volta a forma original quando a pressão cessa	Clorita, Talco
Elástico	Se encurva e volta a forma original quando a pressão cessa	Micas

Fonte: Extraído e adaptado de Klein Cornelis e Dutrow (2012)

6.2 Rochas

As rochas são divididas em três categorias, conforme sua origem: rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. O enfoque deste trabalho são as rochas ígneas.

6.2.1 Rochas Ígneas

São rochas magmáticas, ou seja, são rochas derivadas da solidificação de um magma. O magma é uma mistura, em proporções variáveis, dependendo das condições de temperatura e pressão, de cristais e de uma fase fluida (POMEROL et al., 2013). As rochas ígneas são classificadas conforme o local de origem em:

- **Extrusiva:** Solidificação do magma na superfície da crosta, as rochas resultantes são denominadas rochas extrusivas/vulcânicas. Nesta forma, o magma solidifica rapidamente, fazendo com que os minerais das rochas resultantes não tenham tanto tempo para se formarem, assim, geram rochas de textura fina, granulação invisível a olho nu (afanítica) ou granulação visível muito fina (fanerítica) (FRAZÃO, 2002);
- **Intrusiva:** Solidificação do magma no interior da crosta, as rochas resultantes são denominadas rochas intrusivas/plutônicas. Nesta forma, o magma solidifica lentamente, fazendo com que os minerais das rochas resultantes tenham mais tempo para se formar, assim, geram rochas de textura grossa, granulação média (rochas hipoabissais) a granulação grossa (rochas plutônicas). As rochas Intrusivas são ainda divididas em intrusivas profundas/abissais/plutônicas (magma solidificou em grandes profundidades) e intrusivas rasas/subvulcânicas/hipoabissais (magma solidificou em profundidade intermediária, próxima a superfície terrestre) (TOLEDO, 2003).

As rochas ígneas intrusivas se formam a partir da solidificação do magma no

interior da litosfera. Estas rochas aparecem na superfície terrestre graças à erosão e aos reajustes isostáticos que soerguem as raízes das cadeias de montanhas (POMEROL et al., 2013).

Já as rochas ígneas extrusivas ocorrem na superfície por meio de episódios vulcânicos, gerando derrames de magma. A formação Serra Geral, por exemplo, é constituída por diversos episódios vulcânicos, que geraram diversos derrames. Um destes derrames é o que está sendo usado para extração de rochas na pedreira Brita Pinhal.

A textura está relacionada com a resistência das rochas. Quanto mais fina a textura, isto é, quanto menor a sua granulometria (tamanho dos minerais), maior o embricamento dos minerais e conseqüentemente, maior sua resistência (FRAZÃO, 2002).

Também são classificadas conforme o seu teor de sílica:

- Ácidas: > 65% - Exemplo de rocha plutônica ácida: Granito;
- Intermediárias: 65 a 52% - Exemplo de rocha intermediária hipoabissal: Sienito;
- Básicas: 52 a 45% - Exemplo de rocha básica extrusiva: Basalto; Exemplo de rocha básica hipoabissal: Diabásio;
- Ultrabásicas: <45% - Exemplo de rocha ultrabásica plutônica: Piroxenito.

As rochas ígneas, além de classificadas conforme o local de solidificação do magma e pelo seu teor de sílica, também são classificadas pelo modo de ocorrência em que são encontradas em superfície ou subsuperfície (ALMEIDA; LUZ, 2009):

- Batólitos: Grandes corpos de rochas plutônicas (formadas em grande profundidade);
- Lacólito: Intrusões de rochas ígneas, menores que os batólitos, lentiformes circulares ou subcirculares, concordantes com as rochas encaixantes;
- Dique: Intrusão de forma tabular discordante com as rochas encaixantes, é menor que o lacólito, preenche uma fenda aberta em uma outra rocha;
- Sill: Parecido com o dique, mas é uma intrusão de forma tabular concordante com as rochas encaixantes;
- Derrames (de lava): Subaquática ou área, atinge milhares de quilômetros em superfície. Este é o modo de ocorrência das rochas ígneas em estudo neste trabalho;
- Neck Vulcânico: Corpos intrusivos discordantes formados pela consolidação do magma dentro de chaminés vulcânicos que após erosão sobressaem na topografia.

Segundo Frazão (2002), a maioria das rochas ígneas são bons materiais de

construção por conta de sua alta resistência e durabilidade. Os granitos, dioritos e basaltos são as rochas mais utilizadas como agregados no Brasil (ALMEIDA; LUZ, 2009).

6.2.2 Derrames

Segundo Jerram Dougal e Petford (2014), "Os maiores fluxos de lava são de composição predominantemente basáltica e formam vastos derramamentos conhecidos como inundações de basaltos". Estes derrames deslocam-se por longas distâncias, sem esfriar rapidamente pois, formam uma crosta isolante. Derrames basálticos são mais comuns e atingem maiores áreas pois apresentam composição com pouca viscosidade.

Neste trabalho em questão, o derrame que originou as rochas aqui estudadas é um derrame do tipo basáltico, originado de um fluxo afítico, o qual sua granulação é tão fina que visto através do microscópio percebe-se que sua matriz trata-se em maior parte de um vidro resfriado bruscamente, sem cristais visíveis a olho nu.

No final de derrame que originou as rochas hoje existentes na pedreira Brita Pinhal, e considerando as observações feitas através do microscópio ótico em lâminas delgadas, supõe-se que, na parte superior do paredão de rocha estudado sua composição apresenta mais vidro e tem granulação mais fina quando comparada com as rochas da base do paredão. Isto pode se dar ao fato de que nas superfícies de fluxos de lava ao longo de zonas de bordas de soleiras ou diques básicos pode-se formar o vidro vulcânico (vidro natural/taquilito). Segundo Jerram Dougal e Petford (2014) "Tais vidros naturais são instáveis e começam a hidratar-se e cristalizar-se ou desvitrificar-se logo após sua formação."

Jerram Dougal e Petford (2014) ainda sugerem que, a cristalização de vidros vulcânicos ocorre pelo crescimento espontâneo de cristais minúsculos (quartzo e feldspato são os mais comuns), e que são identificados na rocha na forma de aglomerados com pequenas estruturas circulares (esferulitos), espalhados por toda a matriz da rocha desvitrificada.

Em geral, as lavas subaéreas têm uma estrutura interna que varia desde uma parte inferior até o núcleo central e uma região mais intermediária até uma crosta superior mais espessa. Essas zonas representam a região central desgaseificada e expandida e as unidades da crosta ricas em vesículas e fraturadas que se desenvolvem durante a colocação (JERRAM DOUGAL E PETFORD, 2014).

Outra estrutura interna de um derrame que é bem comum são as disjunções

colunares, as quais refletem a contração durante o resfriamento da lava solidificada. Disjunções colunares interferem no tamanho dos agregados, pois, de uma maneira simplificada, são planos de fraqueza, logo, os agregados advindos de derrames com este tipo de estrutura interna, tem a tendência de apresentarem formas alongadas.

E por fim, derrames de lava normalmente mostram evidências de vesiculação, as quais são evidências da direção do fluxo de lava (JERRAM DOUGAL E PETFORD, 2014). Após sua formação, os gases e as soluções quentes que circulam através da rocha podem depositar minerais dentro das vesículas (amígdalas).

Resumidamente, as estruturas internas formadas durante o fluxo e a solidificação de lavas básicas podem ser utilizadas para determinar o topo estratigráfico e a forma e a direção gerais do movimento dentro de um derrame, dependendo das suas características, podem também ser usadas para rastrear as unidades e os contatos em um mapeamento (JERRAM DOUGAL E PETFORD, 2014).

6.2.3 Rochas como Material de Construção

Os materiais rochosos utilizados na construção civil na forma granular são denominados agregados e, em placas são denominados rochas ornamentais ou pedras de revestimento (ALMEIDA; LUZ, 2009). Os agregados podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza (areia, cascalho, pedregulho ou seixo rolado) e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas (LA SERNA; REZENDE, 2009). Podem ser divididos em agregado graúdo (diâmetro mínimo superior a 4,8 mm) e agregado miúdo (diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8 mm) (FRAZÃO; PARAGUASSU, 1998).

Neste trabalho estão sendo estudados os agregados artificiais, produzidos por meio da britagem na pedreira Brita Pinhal. Quando as rochas passam por processo de britagem para poderem ser usadas como agregados, são denominadas pedra britada ou brita (FRAZÃO, 2002).

Os agregados são utilizados na construção civil para diminuir os custos de produção (ANDRIOLO, 2015). Seus principais usos na construção civil são (FRAZÃO; PARAGUASSU, 1998):

- **Concreto Hidráulico:** Para uso em concretos em geral, os agregados são unidos por

ligantes. Concreto Hidráulico é a mistura de agregados (grãos e miúdos) com cimento e água. Neste uso o agregado atua contribuindo na resistência do concreto aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação das intempéries, reduz as variações de volume do concreto e diminui os custos de produção por conta da economia do uso de cimento na mistura;

- Concreto Betuminoso: É a mistura de agregados com betume. Seu principal uso é em pavimentos. Neste uso o agregado atua na resistência e distribuição para as fundações dos esforços verticais provenientes do tráfego e resistindo aos esforços horizontais (cisalhamento);
- Lastro de ferrovias: Para outros usos além de misturas de concreto, os agregados não são unidos por ligantes. Neste uso os agregados devem ter uma distribuição granulométrica conveniente (vários tamanhos de grãos) e deve suportar os trilhos, formando uma base sólida e distribuindo as cargas de maneira uniforme sobre toda a superfície da plataforma;
- Enrocamento: Neste uso os agregados são usados para compor muros de arrimo (justaposição de blocos para estabilização de taludes e aterros) ou formar gabiões (agregados arrumados em gaiolas metálicas);
- Filtro de Barragem: Neste uso a principal função dos agregados é criar meio poroso (agregados graúdos) para garantir a passagem de fluxos preferenciais de água, promovendo a drenagem da fundação;
- Revestimento: Neste uso a principal qualidade desejável dos agregados é a estética e durabilidade. É usado como decoração ou proteção de áreas exteriores de prédios.

Na utilização de agregados em concretos, os agregados ocupam cerca de 60% a 85% do volume de massa de concreto. Antes de utilizar um material para a produção de agregados, deve-se garantir que o material seja suficientemente resistente e não propenso à erosão ou deteriorização, de preferência não deve ser poroso, quebradiço ou mole (ANDRIOLO, 2015).

Os agregados grossos (grãos) são em geral, utilizados na mistura de concretos ou constituinte de estradas. Devem reagir favoravelmente com o cimento e betume, resistir a cargas pesadas, alto impacto e abrasão severa, além de ter alta durabilidade. Para separar agregados com estas características, são feitos os testes de resistência à compressão, à abrasão e ao intemperismo, absorção de água, abrasividade, comportamento ao polimento e forma dos constituintes (ALMEIDA; LUZ, 2009).

Os agregados finos (miúdos) são usados para preenchimento de vazios ou para proporcionar rigidez em uma mistura. As características mais importantes para este uso e que devem ser estudadas são a granulometria, densidade relativa, forma das partículas (arredondamento e esfericidade) e a composição mineralógica (ALMEIDA; LUZ, 2009).

O tipo de rocha usada vai depender da disponibilidade local da obra (ALMEIDA; LUZ, 2009), um resumo das rochas mais usadas na construção civil encontra-se a seguir (Tabela 3):

Tabela 3 – Características das rochas mais usadas na construção civil e rodoviária e principais usos

Rocha	Região	Características	Melhor uso
Granito	Todos os estados brasileiros	Rocha ígnea ácida, constituída por feldspatos potássicos, plagioclásio, quartzo e mica. Ampla variedade de cores e texturas, e geralmente apresenta estrutura compacta. Resistência mecânica relativamente alta e pouca alterabilidade.	Revestimento interno e externo de edificações (rocha ornamental) e pedra britada.
Gnaisse	Todos os estados brasileiros	Rocha metamórfica com estrutura orientada ou bandada. A sua composição mineralógica depende da composição da rocha original. Durabilidade parecida com a do granito. Sua resistência mecânica varia de acordo com a direção de aplicações dos esforços em relação à sua estrutura.	Revestimento. Não indicada como pedra britada pois apresenta alta frequência de fragmentos achatados e alongados.
Basalto	Regiões Sul e Sudeste	Rocha ígnea básica constituída essencialmente de plagioclásio e piroxênios, podendo conter olivina e anfibólio, com granulação fina. É mais alterável nas condições de clima tropical. É menos resistente ao desgaste do que o granito.	Revestimento, calçamento e pedra britada
Calcários e Dolomitos	Minas Gerais, Goiás e Bahia	Rochas de origem sedimentar ou metamórfica, com composição calcítica ou dolomítica. Se for de origem sedimentar possui baixa resistência mecânica e baixa dureza. Se for de origem metamórfica apresentam resistência mecânica maior.	Revestimento (rocha ornamental) e quando de origem metamórfica é usado como pedra britada.

Fonte: Extraído e adaptado de Frazão (2002)

6.2.4 Seleção de Materiais Rochosos

Em uma obra são usadas as rochas que estão disponíveis (menor distância de transporte), porém em uma mesma região podem existir uma variedade de rochas, e dentre estas, as que possuem as melhores qualidades para obras de construção civil vão ser escolhidas. As qualidades básicas das rochas estão descritas na tabela a seguir (tabela 4).

Tabela 4 – Principais qualidades desejáveis das rochas para uso na construção civil

Qualidade	Característica
Homogeneidade	Apresenta as mesmas propriedades em amostras diversas.
Resistência Mecânica	Capacidade de suportar a ação das cargas aplicadas
Durabilidade	Capacidade de manter suas propriedades físicas e mecânicas com o decorrer do tempo e sob ação de agentes agressivos (físicos, químicos ou mecânicos).
Trabalhabilidade	Capacidade de ser trabalhada, moldada ou afeiçãoada com o mínimo de esforço.
Estética	Aparência agradável da rocha para poder ser usada como revestimento e decoração.

Fonte: Extraído e adaptado de Frazão (2002)

Dentre as principais qualidades desejáveis das rochas para uso na construção civil e rodoviária descritas na tabela 4, uma das mais importantes aqui neste trabalho é a homogeneidade das rochas. Na pedreira Brita Pinhal, por exemplo, é feita a exploração do maciço rochoso de diversas bancadas ao mesmo tempo, todas estas rochas são britadas e vendidas juntas, logo, para fins de praticidade do trabalho, a homogeneidade destas rochas seria ideal.

As qualidades das rochas podem ser reconhecida de diversas formas, entre elas, a mais usual é submeter as rochas a ensaios para caracterização tecnológica. Estes ensaios consistem em simular todas as situações pela qual a rocha vai passar quando usada na construção civil. Os ensaios mostram como a rocha vai se comportar frente a diferentes situações (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011).

Outra forma de reconhecer as qualidades das rochas, é através da análise de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Novamente, esta análise pode ser feita por meio de testes e algumas das características das rochas também podem ser observadas por meio da análise petrográfica do material. Neste trabalho foram comparadas as análises petrográficas de amostras de mão, juntamente com análises de lâminas com os testes realizados em trabalhos anteriores na área, com o objetivo de relacionar

o comportamento das rochas nos ensaios de caracterização tecnológica com a suas características petrográficas.

A tabela abaixo (tabela 5) mostra quais características petrográficas influenciam nos ensaios laboratoriais das rochas:

Tabela 5 – Principais características das rochas que influenciam nos ensaios laboratoriais das rochas

Feições Petrográficas/ Ensaio	Absorção de água	Resistência à compressão	Resistência à tração	Sanidade com sulfato	Abrasão los Angeles	Índice de forma
Densidade					X	X
Mineralogia	X					X
Compacidade	X	X	X	X	X	
Porosidade	X			X		X
Dureza		X			X	X
Textura		X	X			X
Forma				X	X	
Umidade		X	X			
Anisotropia		X	X	X		
Minerais Secundários	X	X	X	X		X
Microfraturas	X	X	X	X	X	X
Clivagem		X	X			X
Granulometria					X	

Fonte: Extraído e adaptado de Back (2018)

De acordo com a tabela 5 e com os ensaios realizados nas rochas deste trabalho, as feições petrográficas que mais influenciam nos ensaios laboratoriais das rochas são a compacidade, porosidade, minerais secundários e microfaturas. Isto se dá ao fato de que neste trabalho foram realizados os ensaios de absorção e sanidade das amostras de rocha coletadas na pedreira Brita Pinhal. Na realização especificamente destes ensaios, as feições que estão relacionadas com a quantidade de vazios na rocha são as que mais vão influenciar nos resultados finais.

A feição petrográfica compacidade refere-se ao quanto a rocha está compactada, isto é, qual a quantidade de vazios têm nesta rocha. Quanto maior a compacidade, menor o volume de vazios e conseqüentemente menor sua absorção e porosidade. A porosidade, assim como a compacidade e microfaturas, vai influenciar diretamente nos ensaios de absorção e sanidade com sulfato das amostras de rocha coletadas. Quanto maior a porosidade da rocha, mais espaço entre os minerais vai existir para que tenha absorção. Nestes mesmos espaços vazios, quando feito o ensaio de sanidade, vão ser preenchidos por sulfatos, assim abrangendo uma maior área de contato entre a superfície da rocha e a solução de sulfato em água, dissolvendo mais rapidamente as amostras.

O fato mais interessante desta tabela 5 é o de que os minerais secundários influenciam mais nos ensaios aqui realizados do que a própria mineralogia básica das amostras de rocha. Isto ocorre pois os minerais secundários são, no geral, resultantes da intemperização (alteração) de um mineral primário. Os minerais primários (os quais compõem a mineralogia básica), são formados em temperaturas mais altas, por isto, tendem a se alterar muito depois do que os minerais secundários (POMEROL et al., 2013).

Quando estão presentes muitos minerais secundários, estes podem alterar-se com facilidade, assim influenciando diretamente nos ensaios de absorção e, principalmente no ensaio de sanidade com sulfato.

6.2.5 Análise Petrográfica

Um dos passos para a caracterização tecnológica das rochas é a análise Petrográfica e Mineralógica. Podem ser feita de maneira direta (descrição macroscópica a olho nu) ou através de microscópio ótico. Estas análises visam identificar segundo Frazão (2002) e Frascá and Sartori (1998):

6.2.5.1 Feições macroscópicas

- **Estrutura:** Arranjo macroscópico, orientação e as posições de massas rochosas em uma determinada área. Também compreende as feições resultantes de processos geológicos como falhamentos, dobramentos e intrusões ígneas. Exemplo de estrutura: estrutura maciça dos granitos, este tipo de estrutura confere ao granito características físico - mecânicas constantes em todas as direções (isotropia);
- **Descontinuidades:** Qualquer estrutura geológica que interrompa (ou possa interromper) quando submetida a certas cargas, a continuidade da rocha. Estão incluídas aqui as juntas, falhas, fraturas, fissuras e planos de fraqueza em acamamentos, bandamentos e foliações. A frequência e orientação dos sistemas de fraturas afeta a resistência das rochas, assim como são locais propícios à percolação de águas superficiais, favorecendo o intemperismo e formação de argilominerais;
- **Estado de alteração dos minerais:** Se os minerais estão sãos ou alterados, se alterados, qual o tipo e grau de alteração. Isto influi na durabilidade e nas propriedades físicas e mecânicas das rochas (TOLEDO, 2003).

6.2.5.2 Feições microscópicas

- Composição Mineralógica: Caracterização e quantificação dos minerais em:

Primários:

Essenciais - minerais característicos e necessários para a classificação petrográfica das rochas;

Acessórios - minerais que ocorrem em quantidades menores e não são determinantes para a classificação petrográfica das rochas;

Secundários: Também chamados de minerais de alteração. São minerais gerados a partir da modificação dos minerais primários, principalmente por processos intempéricos. São característicos os argilominerais e os hidróxidos de ferro e de alumínio. A presença de minerais secundários e o seu modo de ocorrência ajudam a determinar a estabilidade química e física da rocha. Sua quantificação também fornece o grau de alteração da rocha;

Presença de minerais deletérios - Se possui minerais que possam interagir com os fatores climáticos ou com substâncias presentes no meio onde a rocha será aplicada. Exemplo: Opala - pode reagir com os álcalis do concreto e causar danos as estruturas civis;

- Textura: Forma e arranjo dos minerais. Esta relacionada à mineralogia e às condições físicas atuantes durante a formação da rocha. Também influencia nas propriedades mecânicas das rochas, pois a textura reflete o grau de coesão das rochas;
- Granulometria: É o tamanho dos grãos minerais que compõem a rocha;
- Microestruturas: Se possui microfissuras, com o grau e tipo (intercristalina ou intracristalina, fissuras abertas ou preenchidas), microfraturas, microfalhas ou microdobras. As microestruturas também são importantes para a determinação da resistência mecânica das rochas (TOLEDO, 2003).

6.2.6 Ensaio e Análises

A seguir, um resumo das características analisadas e observadas através de ensaios tecnológicos (Tabela 6) e valores médios encontrados em testes feitos nos diferentes tipos de rochas usadas para produção de agregados (Tabela 7). Estes valores (Tabela 7) também vão ser usados para correlacionar com os resultados obtidos das análises petrográficas e

mineralógicas.

Tabela 6 – Resumo das características analisadas e observadas através de ensaios tecnológicos e seu significado

Característica	Significado
Resistência à abrasão ou degradação	Índice de qualidade do agregado, resistência ao desgaste de pisos e calçadas.
Resistência à desintegração por sulfatos	Sanidade contra a ação do intemperismo
Granulometria	Trabalhabilidade do concreto fresco, economia.
Massa unitária	Cálculo de dosagem, classificação
Absorção e umidade superficial	Cálculo de dosagem, controle de qualidade do concreto (relação água/cimento).
Constituintes	Determinação da quantidade de materiais deletérios e orgânicos.

Fonte: Extraído e adaptado de Andriolo (2015)

A tabela 6 mostra as principais características observadas através de ensaios tecnológicos e que estão relacionadas com os ensaios feitos neste presente estudo. Esta tabela, juntamente com a tabela 7 vão ser usadas como referência para a discussão dos resultados obtidos com os ensaios de absorção e sanidade por sulfetos aqui estudados. Estudar a os diferentes significados que as rochas apresentam nos ensaios tecnológicos auxilia na determinação de qual o seu melhor uso.

Cada característica observada revela um comportamento da rocha frente a diversos ambientes que poderá ser usado. Por exemplo, a característica absorção (principal característica estudada nas rochas da pedreira Brita Pinhal), está relacionada com o cálculo de dosagem e controle da qualidade do concreto. A característica observada constituintes está relacionada com a determinação dos componentes da amostra, como materiais deletérios e orgânicos, os quais podem prejudicar o uso da rocha em determinadas situações.

A tabela 7 mostra alguns valores médios resultantes de ensaios feitos em diversos tipos de rochas. Estes valores vão ser usados para fins de comparação e análise dos resultados finais. Com estes valores médios pode-se fazer uma comparação se os ensaios foram feitos corretamente (se os resultados estão próximos dos valores esperados).

Tabela 7 – Valores médios resultantes de testes feitos nos diferentes tipos de rochas usadas para produção de agregados

Classificação Classe	Tipo	Rocha	Absorção (%)	Massa Unitária	Massa Específica	Abrasão Los Angeles
Ígenas	Intrusiva (granulação grossa)	Diorito	0,30	-	2,92	18
		Gabro	0,16 - 0,30	-	2,95 - 3,08	19
		Granito	0,30 - 1,00	1,35 - 1,60	2,63 - 2,80	19 - 35
	Extrusiva (granulação fina)	Peridotito	0,30	-	3,01	-
		Andesito	0,30 - 4,00	-	2,50 - 2,81	-
		Basalto	0,10 - 2,00	1,38 - 1,62	2,63 - 2,98	10 - 20
		Diabásio	0,30	-	2,96	18
		Riolito	0,40 - 1,60	-	2,59 - 2,65	-
Sedimentar	Calcárias	Calcário	0,90	-	2,50 - 2,80	71 - 26
		Dolomita	0,30	1,45	2,84	18 - 30
	Silicosas	Chert	1,10 - 1,60	-	2,50 - 2,70	26
		Arenito	1,80	-	2,54 - 2,65	35
Metamórfica	Foliadas	Anfibolito	0,30 - 0,40	-	2,64 - 3,02	35
		Gnaisse	0,40	-	2,71 - 2,74	25 - 40
	Não Foliadas	Xisto	0,40 - 1,30	-	2,67 - 2,76	19 - 38
		Mármore	0,20	-	2,60 - 2,70	44
		Quartzito	0,10 - 0,30	-	2,62 - 2,69	19 - 28
		Serpentina	0,90	-	2,62	19

Fonte: Extraído e adaptado de Andriolo (2015)

6.2.6.1 Granulometria

Para cada finalidade necessita-se (ou procura-se) um determinado tamanho de agregado. Quando usados agregados naturais, as vezes seu tamanho precisa ser ajustada antes de sua utilização (por exemplo, na mistura com concretos). Os diversos tamanhos de agregados passam pelo processo de peneiramento e assim separadas de acordo com o tamanho de interesse (ANDRIOLO, 2015).

Agregados industriais são rochas que passam pelo processo de fragmentação (britagem) e já ficam no tamanho desejado. Porém, em alguns casos, a pedra britada resultante deste processo apresenta forma lamelar e alongada, o que pode ser bom ou ruim dependendo de sua finalidade (ANDRIOLO, 2015). O uso de agregados de maiores tamanhos na mistura de concretos, faz com que o teor de cimento e consumo de água da mistura diminuam.

A granulação dos fragmentos de rocha influenciará na compacidade (compactação) dos agregados, resultando em maior ou menor índice de vazios entre eles. Menor índice de vazios implica em economia de ligantes, menor permeabilidade e porosidade dos agregados e maior grau de embricamento dos fragmentos quando usados

em lastro de ferrovias ou enrocamentos (FRAZÃO, 2002).

6.2.6.2 Porosidade e Absorção

A porosidade é definida em porcentagem do volume de vazios em uma rocha e influência na resistência do agregado (FRAZÃO; PARAGUASSU, 1998). É dada pela equação:

$$Porosidade = \frac{volumedevazios}{volumetotal * 100} \quad (1)$$

Abaixo está a classificação da porosidade e índice de vazios das rochas (Tabela 8).

Tabela 6.8 – **Classificação da porosidade e índice de vazios das rochas**

Classe	Índice de Vazios	Porosidade	Termo
1	>0,43	>30	Muito alta
2	0,43 - 0,18	30 - 15	Alta
3	0,18 - 0,05	15 - 5	Média
4	0,05 - 0,01	5 - 1	Baixa
5	<0,01	<1	Muito baixa

Fonte: Extraído e modificado de Maciel Filho and Nummer (2011)

A absorção é a capacidade da rocha em absorver e reter água nos seus poros. É o processo pelo qual um líquido preenche os poros permeáveis de um corpo sólido poroso, e deste processo resulta o aumento de massa do material (ANDRIOLO, 2015). A absorção é dada pela equação (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011)

$$Abs = \frac{pesosaturado - pesoseco}{pesoseco} \quad (2)$$

6.2.6.3 Massa Específica Real e Massa Específica Aparente

Assim como a porosidade influencia na resistência do agregado, ela também influência na sua massa específica. A massa específica despreza o volume de vazios e por isso não é muito usada, pois são poucas as rochas com compacidade absoluta (sem volume de vazios). É dada pela equação (FRAZÃO, 2002):

$$MassaEspecificaReal = \frac{MassadosMinerais}{Volumerealdosminerais} \quad (3)$$

A Massa Específica Aparente é mais usada pois apresenta a relação entre a massa das partículas sólidas e o volume aparente de rocha (volume dos minerais somados com

o volume dos vazios da rocha). É dada pela equação (FRAZÃO, 2002):

$$MassaEspecificaAparente = \frac{MassadosMinerais}{VolumeAparentedasrochas} \quad (4)$$

6.2.6.4 Adesividade

É a propriedade das rochas de reter uma substância na sua superfície (FRAZÃO, 2002). Esta característica é mais observada quando usa-se agregados na mistura de concretos betuminosos e está relacionada a natureza da rocha e a composição química do ligante. Agregados sem quartzo (Ex: basalto) têm maior afinidade com o ligante betuminoso do que as rochas com quartzo (Ex: granito) (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011). Porém, segundo Frazão (2002), para qualquer tipo de rocha a adesividade vai ser insatisfatória se a sua superfície estiver coberto de pó (material pulverulento), apresentar alteração mineralógica na superfície, ou se a rocha estiver úmida.

6.2.6.5 Tenacidade

Propriedade da rocha de resistir ao impacto exercido sobre ela por um corpo sólido (FRAZÃO, 2002). Esta propriedade é importante quando os agregados em estudo vão ser usados em lastro ferroviário, pistas de pouso de aeronaves e revestimento de edificações (calçamento) (FRAZÃO, 2002).

6.2.6.6 Alterabilidade

Identificar o grau de alteração das rochas implica em quantificar a magnitude das modificações das características mecânicas das rochas (resistência e durabilidade) e a velocidade com a qual ocorrem. O grau de alteração da rocha depende da intensidade do intemperismo e do tipo de rocha (FRAZÃO, 2002). Os mecanismos de alteração das rochas por intemperismo podem ser (FRAZÃO, 2002):

- Desagregação: Leva à perda de coesão da rocha e individualização de seus constituintes, é um mecanismo físico. É comum em climas áridos. A desagregação ocorre por meio da dilatação e contração dos minerais (variação da temperatura), expansão de sais (cristalização) e absorção de água pelos argilominerais.
- Decomposição: Leva a modificações progressivas na natureza dos minerais, é um mecanismo físico-químico. É comum em climas tropicais. A decomposição ocorre

por meio da dissolução, hidratação, hidrólise, oxidação e redução.

A avaliação do estado de alteração das rochas pode ser feita através de análise petrográfica, na qual são identificadas os teores de minerais primários alterados, quantidades e tipos de minerais secundários e microestrutura. Esta análise petrográfica pode ser feita e comparada (como vai ser feito neste trabalho) com ensaios de alterabilidade das rochas, como por exemplo o ensaio de ciclos de saturação em solução de sulfato de sódio (Na_2SO_4) ou magnésio e secagem em estufa (MACIEL FILHO; NUMMER, 2011). Este ensaio pretende verificar a resistência dos agregados à expansão, decorrente da cristalização dos sais nos poros. Quanto mais alterado estiver o agregado maior será a sua porosidade e maior a possibilidade de desagregação.

6.2.7 Lavra de rochas como agregado

Brita é um produto de baixo valor agregado e por isso, o seu maior custo está envolvido com o transporte. A maioria das pedreiras localizam-se próximas a cidades as quais irão comprar seu produto (ALMEIDA; LUZ, 2009).

Segundo Frazão (2002), o uso de rochas e sua britagem para a construção civil envolve os fatores: Tipo de uso do agregado, características da jazida (maciço, matacão, fraturado, alterado), tipo de equipamento que vai ser usado e natureza da rocha. A instalação de uma pedreira pode apresentar finalidade comercial (atender as demandas de uma região) ou específica (suprimento de material para uma determinada obra) (CARUSO, 1990).

Nas pedreiras, a lavra de rochas é feita a céu aberto. Trata-se um método vantajoso pois é mais econômico, segura, rápida e eficiente do que os demais métodos de lavra. A lavra pode ser ainda do tipo desmonte em massa (produção de pedra britada) ou desmonte regular (produção de blocos para revestimento). Frazão (2002) sugere o seguinte roteiro para seleção de rochas para uso na construção civil:

6.2.7.1 Lavra de Minas a céu aberto

O processo de lavra de minas a céu aberto (que é o caso da pedreira estudada, Brita Pinhal), tem como objetivo, além de descobrir recursos existentes, extrair (por meio de operações de lavra) e transportar o material da jazida até pontos de descarga e colocar esse material em condições de ser utilizado pela indústria (CHAVES, 1996).

final dos equipamentos.

A pedreira Brita Pinhal não fornece maiores informações sobre como é o seu processo de lavra, porém, após visita técnica ao local, observa-se que as rochas são extraídas de várias frentes de lavras simultaneamente, e de várias bancadas. Estes bens minerais de diferentes partes da pedreira são todos juntos, britados e inevitavelmente misturados. Por conta disto, e por este trabalho se tratar de estudo de detalhe da pedreira, optou-se por fazer a coleta de materiais e brita-los separadamente em laboratório (de acordo com a bancada em que foram extraídos).

6.2.8 Trabalhos Anteriores

Como dito anteriormente, o estudo das rochas como material para construção civil é importante pois é a indústria de agregados minerais (rochas) que proporciona insumos para a infra-estrutura urbana, industrial e rodoviária. As rochas compõem o maior volume em obras e são materiais resistentes, abundantes e baratos (quando comparados com outros materiais também usados na construção civil). Segundo LA SERNA and REZENDE (2009), há uma interface estreita entre o consumo de minerais agregados na sociedade e o padrão de vida por uma população.

Merecem destaque os seguintes trabalhos sobre as propriedades das rochas para uso na construção civil: Trabalho de SanguBuché (2017). Neste trabalho foram correlacionadas as propriedades observadas através de análise petrográfica das rochas com as propriedades observadas pelos ensaios tecnológicos. Também foram usadas amostras de riocacito da pedreira Della Pasqua. Alguns dos resultados deste trabalho vão ser aqui usados para comparação com as análises petrográficas.

Trabalho de Back (2018). Estes trabalhos buscaram definir a influência do tipo de rocha nas propriedades físicas e químicas dos agregados. Diversas técnicas apresentadas nos trabalhos da Back (2018), também vão ser usados no presente trabalho.

E, por fim, o trabalho de Paiva (2017). Este trabalho, assim como os anteriores mencionados, também relaciona as propriedades mineralógicas das rochas com seu comportamento como agregado. O seu destaque é que a área de estudo compreende as pedreiras Della Pasqua e Brita Pinhal, na qual os resultados dos seus ensaios tecnológicos também vão ser usados para correlação com as análises petrográficas.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão descritas os materiais e métodos que vão ser utilizados neste trabalho.

7.1 Materiais

Os principais materiais que foram usados neste trabalho foram as amostras de mão coletadas na pedreira Brita Pinhal. Durante o mapeamento geológico das pedreiras, foram selecionadas amostras para a análise petrográfica e confecção de lâminas petrográficas. Também foram usados materiais de campo (martelo, bússula, gps), equipamentos de topografia (piquete, estação total) e microscópio ótico para análise de lâminas.

7.2 Métodos

Foram usados os seguintes métodos neste trabalho:

- Pré-campo (Revisão Bibliográfica da área de estudo);
- Coleta de amostras;
- Análise de Massa Específica e Absorção de água;
- Descrição Petrográfica de amostras de mão;
- Confecção e descrição de lâminas;
- Análise comparativa dos resultados com trabalhos anteriores.

7.2.1 Pré-Campo: Revisão Bibliográfica

Primeiramente foi realizado um estudo da área de interesse através do pré-campo. Nesta etapa foi realizado a seleção de mapas, análise de fotografias aéreas e imagens da área para identificar principais estruturas em grande escala em relação ao derrame em que a pedreira está localizada.

Foram feitas visitas técnicas na pedreira em estudo. Estas visitas tiveram como finalidade o estudo do comportamento das rochas em situ, além de descrever o afloramento.

7.2.2 Coleta de Amostras

Durante as visitas técnicas, foram feitas as coletas de amostras seguindo o procedimento recomendado pela norma (ABNT, 2016). Segundo esta norma, para coleta de amostras com fins de identificação da rocha, as dimensões da amostra coletada deve ser no mínimo de (3 x 7 x 10) cm. E para garantir a representatividade das amostras, elas foram retiradas do interior dos afloramentos em aproximadamente 20 cm abaixo da superfície exposta da rocha. Já para a coleta de amostras para ensaios tecnológicos foram retirados amostras com dimensões mínimas de (8 x 10 x 12), e apresentando bom estado aparente sem fissuras. Foram coletados cerca de 30 kilos de amostras em cada uma das quatro bancadas estudadas, totalizando 120 kilos de amostras de toda a frente de lavra (figura 07). A coleta de amostras foi feita em grande quantidade para que não faltasse material para os ensaios e análises.

A escolha de amostras para coleta foi baseada principalmente em critérios visuais, para que a amostra escolhida represente da melhor maneira possível a frente de lavra em estudo. Assim, as amostras escolhidas foram retiradas de cada parte que apresentou diferenças entre as rochas, ou seja, foram retiradas amostras do topo, meio e base da frente de lavra em uso na pedreira Brita Pinhal.

Figura 7 – Foto das amostras coletadas em cada uma das quatro bancadas em estudo da Pedreira Brita Pinhal.



Fonte: Autor

7.2.3 Análise de massa específica, absorção de água e sanidade por sulfato de sódio

Nesta etapa compõem a análise das propriedades de massa específica (densidade), absorção d'água e sanidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4). Estas análises foram feitas nas amostras de cada uma das quatro bancadas em estudo, seguindo as recomendações da MERCOSUR (2009).

Primeiramente, antes de realizar os ensaios tecnológicos nas amostras coletadas, foi feita uma britagem no LMCC da UFSM. Neste procedimento, foram colocadas todas as amostras coletadas (separadamente por bancada) para britar (figura 08). Após esta britagem foi feita a separação das britas por tamanho (separação granulométrica), foram separadas de acordo com o tamanho das peneiras 3/4" (19 mm), 1/2" (12,5 mm), 3/8" (9,5 mm), 1/4" (6,3 mm), 4 (4,8 mm) e fundo (< 0,15 mm) (figura 09).

Figura 8 – Foto do britador do LMCC da UFSM.



Fonte: Autor

Após a separação granulométrica, as amostras foram colocadas em sacos plásticos

Figura 9 – Foto do agitador usado para a separação granulométrica após as amostras passarem pelo processo de britagem



Fonte: Autor

separadamente de acordo com seu tamanho de brita (FIGURA 10).

Após esta preparação prévia das amostras é que pode começar o ensaio de absorção e densidade. Para este ensaio foi escolhido o tamanho 3/8" (9,5 mm). Pois de acordo com informações obtidas durante uma das visitas técnicas a empresa Brita Pinhal, foi relatado que o tamanho 3/8" é um dos tamanhos de brita mais vendidos pela empresa para a construção civil e rodoviária.

Para o ensaio de absorção foram utilizadas as amostras do tamanho 3/8 (9,5 mm) de cada uma das bancadas separadamente. Foi utilizado um volume correspondente a metade de um balde (cerca de 3 quilos de cada bancada) (figura 11).

Segundo a norma MERCOSUR (2009) as amostras foram:

- Previamente preparadas, lavando-se o agregado para a retirada de pó de sua superfície;

Figura 10 – Foto das amostras separadas após processo de britagem e separação granulométrica. Estão separadas de acordo com a bancada em que foram coletadas e de acordo com seu tamanho de brita.



Fonte: Autor

- Secadas até massa constante (105°C) e deixadas em temperatura ambiente durante 1 a 3 horas;
- Pesadas;
- Submergidas em água à temperatura ambiente por 24 horas;
- Retiradas da água e secadas por pano absorvente até que toda a água visível seja eliminada;
- Pesadas (agregado saturado com superfície seca);
- Submergidas em água à temperatura de 23°C;
- Pesadas em água (massa em água);
- Retiradas da água, secadas até massa constante (105°C) e deixadas em temperatura ambiente durante 1 a 3 horas;
- Pesadas (agregado seco).

Após esta análise, foram feitos os cálculos para massa específica e absorção de água dos agregados. A massa específica do agregado seco é dada por:

$$D = \frac{M}{M - Ma} \quad (5)$$

Onde:

D = Massa específica do agregado seco (g/cm^3);

Figura 11 – Foto exemplificando o ensaio de absorção, os quais as amostras são deixadas de molho em baldes.



Fonte: Autor

M = Massa ao ar de amostra seca (g);

M_a = Massa em água da amostra (g).

A massa específica do agregado na condição saturado superfície seca é dado por:

$$D_s = \frac{M_s}{M_s - M_a} \quad (6)$$

Onde:

D_s = Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (g/cm^3);

M_s = Massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g);

M_a = Massa em água da amostra (g).

A massa específica aparente é dado por:

$$D_a = \frac{M}{M_s - M_a} \quad (7)$$

Onde:

D_a = Massa específica aparente do agregado seco (g/cm^3);

M = Massa ao ar da amostra seca (g);

M_s = Massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g);

M_a = Massa em água da amostra (g).

A absorção de água é dada por:

$$A = \frac{M_s - M}{M} * 100 \quad (8)$$

Onde:

A = Absorção de água em porcentagem;

Ms = Massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g);

M = Massa ao ar da amostra seca (g).

Alguns agregados que inicialmente apresentam boas características de resistência podem sofrer processos de desintegração química quando expostos às condições ambientais. A característica de resistência à desintegração química é quantificada através do ensaio que consiste em atacar o agregado com solução saturada de sulfato de sódio ou de magnésio aumentando a desintegração da amostra, simulando o efeito do tempo. Este ensaio (ensaio de sanidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4)) foi feito para o conjunto de amostras coletados em cada uma das bancadas, totalizando quatro ensaios deste tipo.

Para a realização do ensaio de Sanidade por Sulfato de Sódio (Na_2SO_4) foi seguida a norma do DNER-MI 089/94 (Avaliação da durabilidade de agregado pelo emprego de soluções de sulfato de sódio).

Foram feitos ensaios com as amostras de cada bancada para os tamanhos 3/4", 1/2", 3/8" e 4. Os quais foram coletados:

- 670 gramas do material que passou pela peneira 3/4" e ficou retido na peneira 1/2";
- 330 gramas do material que passou pela peneira 1/2" e ficou retido na peneira 3/8" e;
- 300 gramas do material que passou pela peneira 3/8" e ficou retido na peneira 4.

Este ensaio foi composto por 5 ciclos onde coloca-se as amostras na solução de sulfato de sódio por cerca de 18 horas e após isso coloca-se na estufa por 4 horas (Figura 12).

7.2.4 Descrição Petrográfica de amostras de mão

Nesta etapa do trabalho a análise petrográfica foi feita por via direta, com observações macroscópicas de amostras de mão a olho nu. O próximo passo foi realizar a análise petrográfica por meio da microscopia ótica em lâminas petrográficas (seções delgadas da rocha).

Figura 12 – Foto exemplificando o ensaio de sanidade, os quais as amostras são separadas de acordo com seu tamanho de brita e colocadas de molho em uma mistura de água e sulfato, completando 5 ciclos entre molho e secagem.



Fonte: Autor

A análise petrográfica foi feita de acordo com a norma da ABNT (1992). Esta análise possui o objetivo de fornecer informações sobre a mineralogia, aspectos texturais, estruturais, grau de alteração, microfissuramento e coesão (BACK, 2018).

Para a descrição das características recomendadas pela norma (ABNT, 1992), foram usadas as tabelas e figuras a baixo para a análise de grau de cristalização, forma, cristalinidade e textura das rochas ígneas (Tabela 9 a 12), classes granulométricas das rochas ígneas (Tabela 13) e avaliação da alteração e grau de coerência entre as rochas (tabela 14).

Tabela 9 – Grau de Cristalização das rochas ígneas

Grau de Cristalização	
Holocristalinas	Inteiramente constituídas por cristais (lentamente resfriadas)
Hipocristalinas (vitrofíricas)	Constituídas por vidro e cristais
Holohialina (vítreas)	Constituídas por vidro (rapidamente resfriada)

Fonte: Adaptado de Frascá and Sartori (1998)

Tabela 10 – **Forma dos minerais das rochas ígneas**

Forma	
Euédrico	Mineral completamente limitado por suas faces cristalinas
Subédrico	Mineral parcialmente limitado por suas faces cristalinas
Anédrico	Mineral que não apresenta faces cristalinas

Fonte: Adaptado de Frascá and Sartori (1998)

Tabela 11 – **Cristalinidade dos minerais das rochas ígneas**

Cristalinidade	
Fanerítica	Cristais individuais visíveis a olho nu; relativa às rochas plutônicas
Afanítica	Cristais com dimensões pequenas, invisíveis a olho nu; relativa às rochas vulcânicas
Microcristalina	Cristais reconhecidos ao microscópio
Criptocristalina	Cristais não reconhecidos nem com o uso do microscópio

Fonte: Adaptado de Frascá and Sartori (1998)

7.2.5 Descrição de lâminas

Usando as amostras coletadas em campo foram confeccionadas lâminas petrográficas no laboratório de Geologia da Unipampa, por técnico responsável. Após a confecção das lâminas elas foram descritas com o auxílio de um microscópio ótico em luz natural (LN) e luz polarizada (LP). Foram observadas e analisadas as características da rocha em lâmina já mencionadas aqui na revisão bibliográfica (análise petrográfica). Foram estudadas neste trabalho as 4 bancadas em atividade da frente de lavra da pedreira Brita Pinhal. Contudo, em uma das visitas técnicas foi observada uma estrutura diferente na bancada 1, o qual aparentava ser uma litologia diferente em forma de dique (estrutura discordante com as rochas encaixantes). Nesta estrutura foi coletada uma amostra a qual também foi usada para a confecção de lâminas petrográficas, perfazendo um total de cinco lâminas confeccionadas no laboratório de Geologia da Unipampa.

Tabela 12 – **Textura das rochas ígneas**

Textura	
Granular	Rocha holocristalina, com os minerais constituintes aproximadamente equidimensionais
Inequigranular	Rocha apresentando cristais de diferentes tamanhos
Porfírica	Rocha apresentando cristais maiores (fenocristais), dispersos em matriz uniformemente mais fina, que pode ser fanerítica (grossa, média ou fina) ou afanítica
Poiquilítica	Rocha apresentando cristais relativamente maiores de determinado mineral, que engloba numerosos cristais menores de um ou mais minerais diferentes

Fonte: Adaptado de Frascá and Sartori (1998)

Tabela 13 – **Classes granulométricas - rochas ígneas**

Granulação	Tamanho (mm)
Muito grossa	>60
Grossa	2 - 60
Média	0,06 - 2
Fina	0,002 - 0,06
Muito fina	<0,002

Fonte: Adaptado de Frascá and Sartori (1998)

7.2.6 Correlação dos resultados com trabalhos anteriores

Nesta última etapa foi feita uma análise comparativa entre os resultados dos ensaios tecnológicos já realizados na área de estudo com as análises aqui feitas. Foram usados os seguintes trabalhos como referência para comparação dos resultados: trabalhos de Paiva (2017) e Sanguebuche (2017).

Tabela 14 – Roteiro para avaliação preliminar do estado de alteração e do grau de coerência de rochas

Parâmetro	Rocha	Sigla	Características
Estado de alteração	Sã	A1	Macroscopicamente, não há indícios de alterações físicas ou químicas; minerais apresentam brilho
	Pouco alterada	A2	Alteração incipiente dos minerais; em geral, a rocha exibe pouca descoloração
	Moderadamente alterada	A3	Minerais medianamente alterados; geralmente, não apresentam brilho
	Muito alterada	A4	Minerais muito alterados, por vezes pulverulentos e friáveis; totalmente sem brilho; Quebra com dificuldade ao golpe do martelo e produz poucos fragmentos de bordas cortantes; superfície dificilmente riscável por lâmina de aço
Grau de coerência	Coerente	C1	Quebra com relativa dificuldade ao golpe do martelo e produz fragmentos com bordas quebradiças por pressão dos dedos; superfície riscável por lâmina de aço
	Medianamente coerente	C2	Quebra com muita facilidade ao golpe do martelo (esfarela) e produz fragmentos que podem ser partidos manualmente; superfície riscável por lâmina de aço, que deixa sulcos profundos
	Pouco coerente	C3	Quebra facilmente com a pressão dos dedos e desagrega; pode ser cortada por lâmina de aço
	Incoerente	C4	

Fonte: Retirado de Frazão (2002)

8 RESULTADOS

A seguir vão ser apresentados os resultados dos ensaios tecnológicos e análise petrográfica realizados nas amostras coletadas na pedreira Brita Pinhal. Foram feitos os ensaios de Granulometria, Massa Específica Absoluta, Absorção e Sanidade por sulfato de sódio. Estes ensaios foram feitos no total de quatro vezes. Foram realizados para cada conjunto de cada uma das quatro bancadas estudadas.

Com estes ensaios foi possível determinar a massa específica real e aparente, absorção, porosidade aparente e grau de compactidade do conjunto de amostras estudadas. Os ensaios foram feitos usando o tamanho de brita 3/8. Os resultados obtidos para este tamanho foram:

8.1 Massa Específica, Absorção e Porosidade

Conforme a figura 13 e 14, pode-se notar que o comportamento dos dois gráficos é parecido, tanto quando a massa específica real quanto a massa específica aparente apresentam maior massa na bancada 1 e decresce drasticamente seu valor até a bancada 2 e continua decrescendo (porém suavemente) até a bancada 3, que é quando começa a aumentar os valores novamente para chegar até a bancada 4.

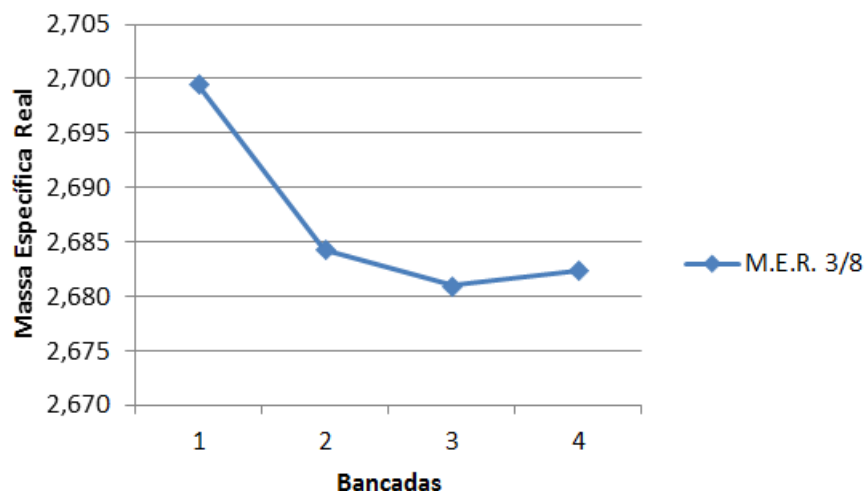
Resumidamente, com os gráficos de massa específica real e aparente de todas as bancadas estudadas para o tamanho de brita 3/8 (9,5mm) nota-se que a bancada com maior valor de massa é a bancada 1 e o com menor valor é a bancada 3.

Na figura 15 está representada os valores de absorção obtidas para o tamanho de brita 3/8 de todas as bancadas estudadas da pedreira Brita Pinhal. Na figura 16 estão os valores encontrados para a porosidade aparente, valores estes obtidos através do ensaio de absorção. Pode-se notar que os dois gráficos estão relacionados, com o comportamento quase idêntico da reta que liga seus pontos. Observa-se que estes dois gráficos apresentam um ponto de inflexão nos valores encontrados para a bancada 2.

O maior valor de absorção e porosidade encontrados estão na bancada 1, pois é a bancada superior da pedreira, a qual está exposta as diversas intempéries, assim alterando-se mais rapidamente, por conta disto, vai apresentar maiores valores de absorção e porosidade (o que já era esperado).

É também na parte superior de um derrame que formam-se bolhas de gases. O derrame que originou as rochas deste local de estudo, é um derrame com composição

Figura 13 – Valores de Massa Específica Real encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).



Fonte: Autor, feito através do Excel em 12/06/2019

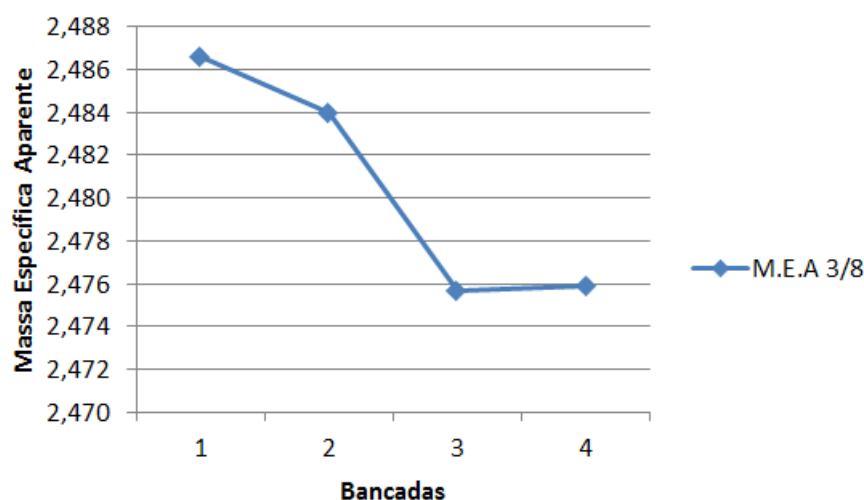
mais rica em sílica, por isto ele foi um derrame mais fluído, o qual esfria lentamente, e conforme esfria, seus gases se acumulam na parte superior (que esfriou primeiro).

O menor valor de absorção e porosidade encontrados foram na bancada 2. Após isto os valores aumentam até as bancadas 3 e 4. Apresentar o menor valor de porosidade aparente e absorção na bancada 2 significa que esta é a parte menos alterada e de maior qualidade (em termos de uso para construção civil e rodoviária) da pedreira Brita Pinhal.

De maneira oposta aos dois últimos gráficos comentados, o gráfico do grau de compactidade das amostras retiradas de todas as bancadas (figura 17), para o tamanho 3/8 mostra um ponto de inflexão na bancada 2, mas de maior valor. Neste aspecto, a bancada com menor valor de compactidade encontrado foi a bancada 1 e, o que obteve maior resultado foi a bancada 2. Estes dados estão inversamente relacionados com os 2 últimos gráficos, visto que conforme a bancada 2 obteve os menores valores para absorção e porosidade aparente, foi neste local que apresentou também o maior valor do grau de compactidade.

Apresentar alto valor no grau de compactidade significa que os componentes das amostras retiradas deste local estão mais embricados, melhor arranjados, de maneira mais apertada, fazendo assim que também apresentem menor porosidade e absorção (tem menos espaço vazio entre seus grãos minerais).

Figura 14 – Valores de Massa Específica Aparente encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).



Fonte: Autor, feito através do Excel em 12/06/2019

8.2 Sanidade por Sulfato de Sódio (Na_2SO_4)

Para a realização do ensaio de Sanidade por Sulfato foi seguida a norma do DNER-MI 089/94 (Avaliação da durabilidade de agregado pelo emprego de soluções de sulfato de sódio (Na_2SO_4)). Os dados do ensaio estão descritos na tabela 15.

Tabela 15 – Dados do ensaio de sanidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4) para as bancadas 1, 2, 3 e 4

DADOS DO ENSAIO	Bancada 1, 2, 3 e 4 - Sanidade
Solução Usada	(Na_2SO_4) Sulfato de Sódio
Densidade da Solução	1.151 a 1174
Temperatura do Ensaio	22 C
Número de Ciclos	5
Tempo de Imersão	16 a 18 horas

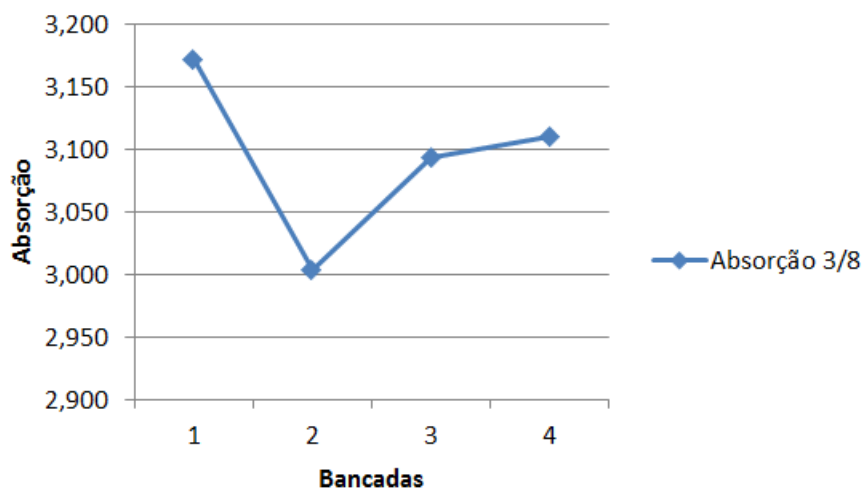
Fonte: Autor, feito através do Excel em 12/06/2019

O registro dos ciclos que compõem o ensaio de sanidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4) estão descritos na Tabela 16.

Os resultados obtidos com este ensaio estão descritos na tabela 17. Observa-se que os cálculos das perdas por sulfato foram feitos da seguinte maneira: Optou-se por somar juntos as 2 frações maiores de tamanhos de grão e deixou-se separada o tamanho entre a 3/8” e a peneira 4.

Nota-se que os valores de sanidade foram maiores (para quase todas as bancadas) para os menores tamanhos de grão. Isto ocorre pois, quanto menor o tamanho da amostra

Figura 15 – Valores de Absorção encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedra Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).



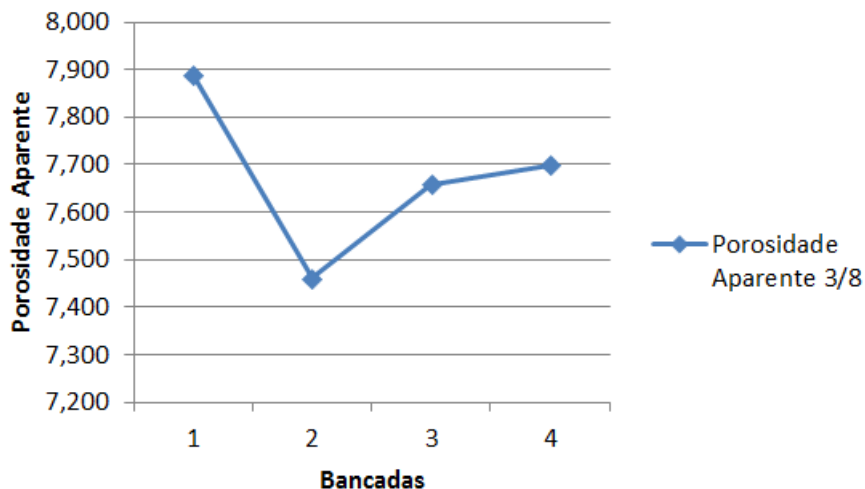
Fonte: Autor, feito através do Excel em 12/06/2019

que passa por este ensaio de sanidade, maior é a sua área de contato com a solução de sulfato e, assim, mais facilmente vai se alterar e perder massa neste ensaio.

Isto é o resultado esperado, que a fração que compreende as amostras de tamanho entre 3/8” e 4 percam mais material do que os outros tamanhos juntos, porém não ocorreu isto com as amostras da bancada 3, os quais perderam muito mais massa nos tamanhos de grão maiores.

Isto pode ter acontecido por diversos fatores, porém o mais possível foi o de que as amostras desta bancada poderiam estar mais alteradas (ou menos sã) do que as demais amostras das outras bancadas, e assim, como na primeira parte foram somados os dois maiores conjuntos de amostras, com mais massa teve maior perda.

Figura 16 – Valores de Porosidade Aparente encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).



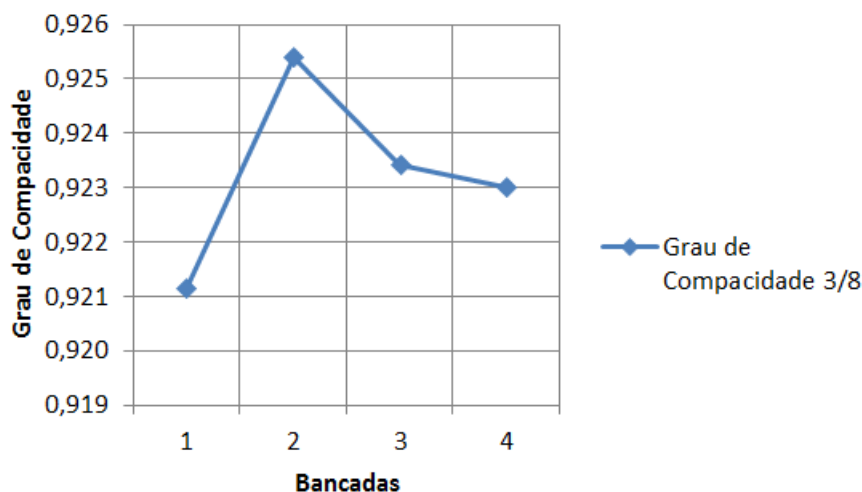
Fonte: Autor, feito através do Excel em 12/06/2019

8.3 Análise Petrográfica

As amostras foram coletadas todas no mesmo local, apenas diferindo na altitude (foram coletadas amostras seguindo uma linha reta para cima, ao longo de uma frente de lavra). As amostras foram coletadas a cada 10 metros de altura ao decorrer da frente de lavra. Por conta desta proximidade do local de coleta entre as amostras, sua mineralogia é muito parecida e então optou-se por fazer uma descrição geral das amostras de mão e das lâminas petrográficas, focando nas diferenças entre elas.

Foram coletadas 30 quilos de amostras em cada uma das quatro bancadas em estudo da frente de lavra atual da pedreira Brita Pinhal, totalizando 120 quilos de amostras coletadas, as quais em cada bancada foi escolhida uma amostra muito bem formada, fresca, com aparentemente pouca alteração, do tamanho de aproximadamente 15 cm de comprimento por 15 cm de largura. Também foi coletada uma amostra representativa de uma estrutura encontrada na bancada 1, nomeada aqui como tratando-se de um dique. Assim, foram coletadas ao total, cinco amostras de mão representativas das bancadas e do dique encontrados na área de estudo. Estas amostras representativas foram usadas para a descrição petrográfica de amostras de mão e, uma parte de cada uma delas também foi usada para a confecção das lâminas petrográficas.

Figura 17 – Grau de Compacidade encontrado nas amostras de cada uma das quatro bancadas da pedreira Brita Pinhal, no tamanho de brita 3/8” (9,5 mm).



Fonte: Autor, feito através do Excel em 12/06/2019

8.3.0.1 Amostras de mão

Nas figuras 18 e 19 pode-se ver as fotos das amostras de mão coletadas nas bancadas 1, 2, 3 e 4. Durante a visita técnica ao local notou-se que em uma pequena parte da bancada 1 havia uma estrutura diferente, que parecia ser um dique. Por isso, também foi coletado amostras deste lugar.

No geral as amostras apresentam uma coloração mesocrática, apresentando tons de cinza e verde em alguns pontos. Possui matriz afanítica com fenocristais maiores de plagioclásio (aproximadamente 2 mm de tamanho) e menores de quartzo.

As amostras coletadas mais ao topo da frente de lavra (bancada 1) apresentaram ter mais plagioclásios bem formados, quartzo e muito mais vidro (apresentou fratura conchoidal ao quebrar-se e também alterou-se com mais facilidade). Também por conta da quantidade de vidro nesta parte da pedreira, as amostras são de cor mais esverdeada (matriz com muito vidro).

No geral, as rochas que compõem esta pedreira são rochas com alta resistência mecânica e alta durabilidade, principalmente nas bancadas mais próximas da base da frente de lavra (bancadas 3 e 4), com maior resistência à quebra e a alteração.

Notou-se também que quanto mais próximas do topo da frente de lavra, menos minerais opacos as amostras apresentavam. Estes minerais opacos, por conta de seu formato podem tratar-se de ser granada ou magnetita.

E por fim, apenas com a análise petrográfica das amostras de mão, ficou a dúvida se as rochas possuem minerais de feldspato ou se tratam de ser plagioclásios que se

Tabela 16 – Registro dos ciclos das amostras coletadas nas bancadas 1, 2, 3 e 4
REGISTRO DOS CICLOS

		Amostra - Bancada 1				Amostra - Bancada 2			
		Colocada		Retirada		Colocada		Retirada	
		Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora
Primeiro	1	03/jun	13:20	04/jun	08:01	03/jun	13:20	04/jun	08:01
Segundo	2	04/jun	13:00	05/jun	09:30	04/jun	13:00	05/jun	09:30
Terceiro	3	05/jun	13:30	06/jun	08:30	05/jun	13:30	06/jun	08:30
Quarto	4	06/jun	13:40	07/jun	09:00	06/jun	13:40	07/jun	09:00
Quinto	5	07/jun	13:20	10/jun	09:25	07/jun	13:20	10/jun	09:25
		Amostra - Bancada 3				Amostra - Bancada 4			
		Colocada		Retirada		Colocada		Retirada	
		Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora
Primeiro	1	27/mar	13:27	28/mar	08:17	27/mar	13:27	28/mar	08:17
Segundo	2	28/mar	13:43	29/mar	08:49	28/mar	13:43	29/mar	08:49
Terceiro	3	01/abr	13:07	02/abr	08:15	01/abr	13:07	02/abr	08:15
Quarto	4	02/abr	13:18	03/abr	08:11	02/abr	13:18	03/abr	08:11
Quinto	5	03/abr	13:40	04/abr	09:30	03/abr	13:40	04/abr	09:30

Fonte: Autor, feito através do Excel em 12/06/2019

alteraram e estão sendo englobados por oxidação.

Na análise de amostras de mão não notou-se diferenças significativas entre as amostras coletadas em todas as bancadas e o dique encontrado na bancada 1 (além das diferenças já mencionadas aqui).

Figura 18 – Fotos das amostras de mão coletadas nas bancadas 1 e 2



Fonte: Autor

Tabela 17 – Resultados do ensaio de sanidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4)

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E CÁLCULO DAS PERDAS						
Bancadas	Peneiras Nominais Frações Ensaçadas	Gradação Normalizada	Peso da Amostra em gramas			Perda de cada Fração da Amostra
		% Retida	Inicial Po	Final Pn	Perdida Po - Pn	% Parcial $\frac{(Po - Pn)}{Po} \times 100$
1	3/4" - 1/2" + 1/2" - 3/8"	61,825	1000,260	971,610	28,650	2,864
	3/8" - n° 4	4,617	300,200	280,900	19,300	6,429
	Total:	66,442	1300,46			
2	3/4" - 1/2" + 1/2" - 3/8"	48,377	999,530	972,680	26,850	2,686
	3/8" - n° 4	5,113	300,050	291,040	9,010	3,003
	Total:	53,49	1299,58			
3	3/4" - 1/2" + 1/2" - 3/8"	46,286	1000,000	891,670	108,330	10,833
	3/8" - n° 4	17,238	300,000	286,790	13,210	4,403
	Total:	63,524	1300			
4	3/4" - 1/2" + 1/2" - 3/8"	39,240	1000,000	982,810	17,190	1,719
	3/8" - n° 4	13,540	300,000	285,920	14,080	4,693
	Total:	52,78	1300			

Fonte: Autor, feito através do Excel em 12/06/2019

8.3.0.2 Lâminas

Foram confeccionadas 5 lâminas petrográficas por técnico responsável no laboratório de Geologia da Universidade Federal do Pampa. Foram analisadas com ajuda do microscópio óptico com aumento de 5 e 10 vezes e vistas na Luz Natural (LN) e Luz Polarizada (LP).

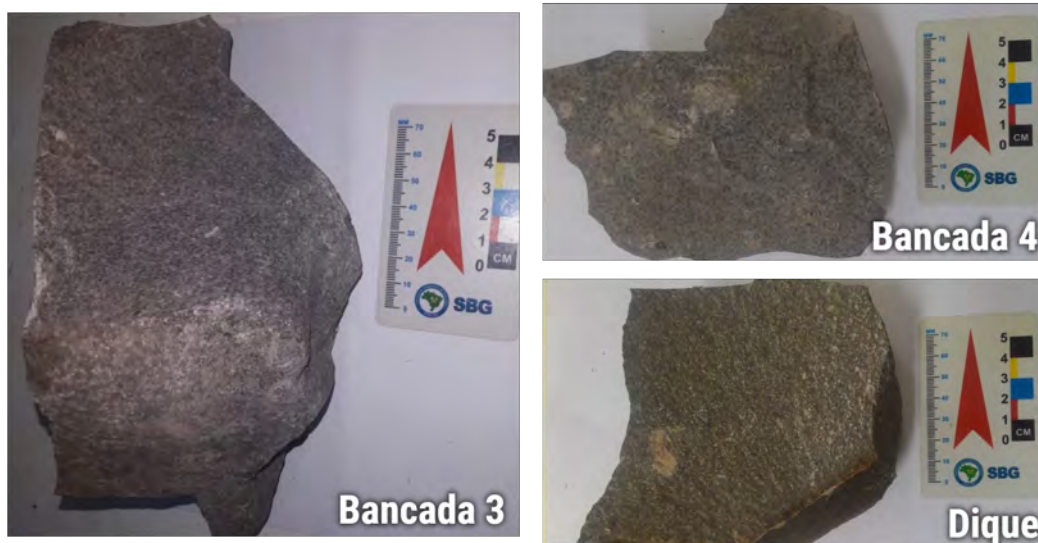
Na figura 20 e 21 estão as fotos tiradas das lâminas das bancadas 1, 2, 3 e 4, em luz natural e luz polarizada, com aumento de 5 vezes, através do programa ToupView. E na figura 22 estão as fotos de detalhe da lâmina confeccionada com amostra coletada do dique localizado na bancada 1, com aumento de 5 vezes na figura 22 e, aumento de 10 vezes nas figuras 23 (Luz natural) e 24 (Luz polarizada).

Foi feita uma descrição geral para todas as lâminas, pois, elas estão com mineralogia muito parecida. A diferença mais aparente entre essas lâminas e uma lâmina de basalto "clássica" é de que nesta os cristais estão menores, tiveram menos tempo para cristalizar, ou já se trata de uma rocha alterada.

No geral, apresentam fenocristais de plagioclásio, matriz muito fina (lembrando vidro). Por possuírem granulação não tão fina, se diferem do diabásio (pois este apresenta granulação ainda mais fina).

Apresentam minerais opacos e raramente apresentam fenocristais de plagioclásio bem desenvolvidos (1 por lâmina), com textura uniforme, granulação fina (não podendo ser reconhecida em amostra de mão). É uma rocha ígnea alotromórfica granular composta

Figura 19 – Fotos das amostras de mão coletadas nas bancadas 2 e 3, e foto da amostra de mão do dique encontrado na bancada 1

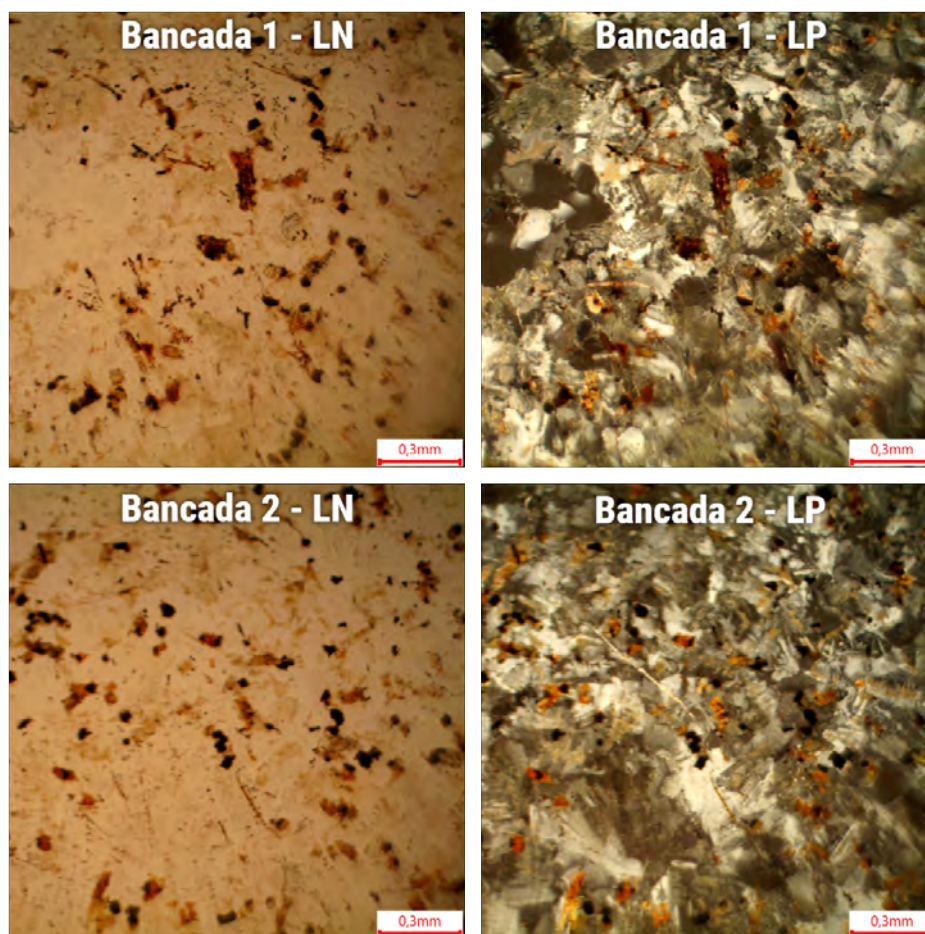


Fonte: Autor

por plagioclásio, quartzo, vidro, oxidações e opacos.

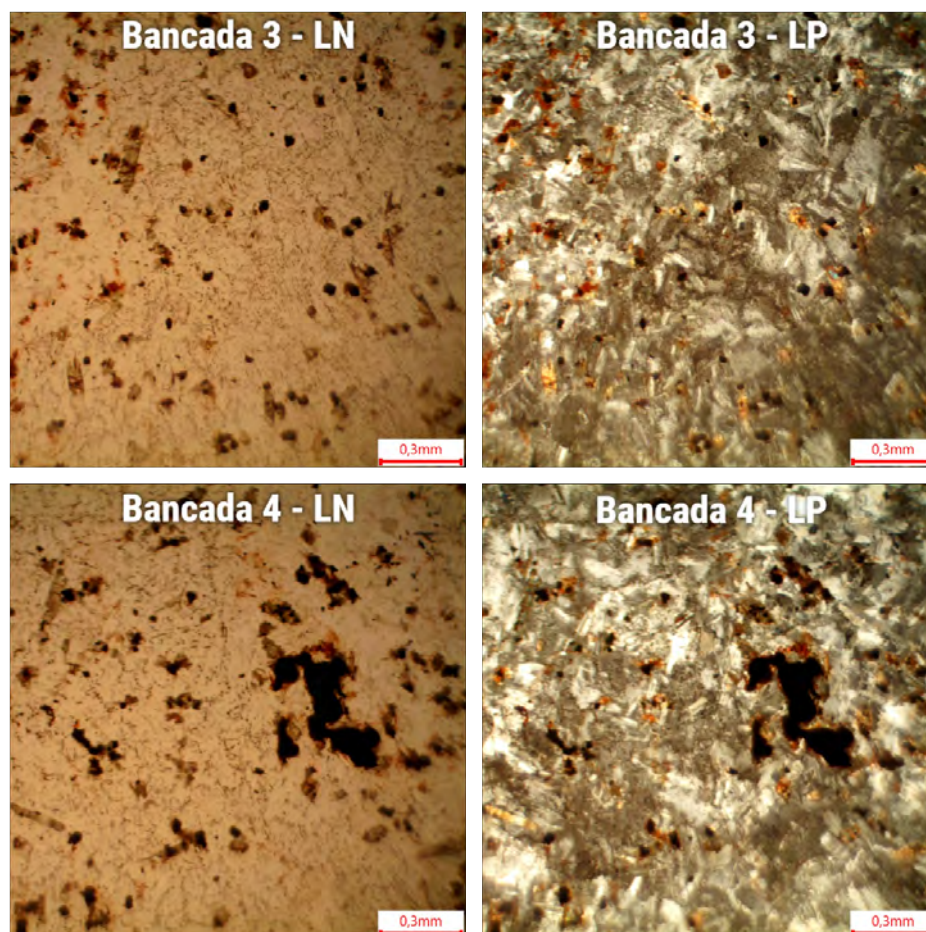
Com as amostras analisadas através de microscópio óptico, foi possível sanar a dúvida sobre os possíveis feldspatos, e na realidade, tratam-se de que são plagioclásios com oxidações contaminando-os, e deixando com coloração avermelhada e alaranjadas. A rocha possui quartzo com formato radial em quase toda sua matriz, indicando devitrificação (principalmente nas amostras da bancada 1 e do dique). Apresenta textura hialopilitica (interação entre plagioclásio e vidro nos interstícios).

Figura 20 – Fotos das Lâminas obtidas com as amostras das bancadas 1 e 2, em luz natural e polarizada, com aumento de 5 vezes.



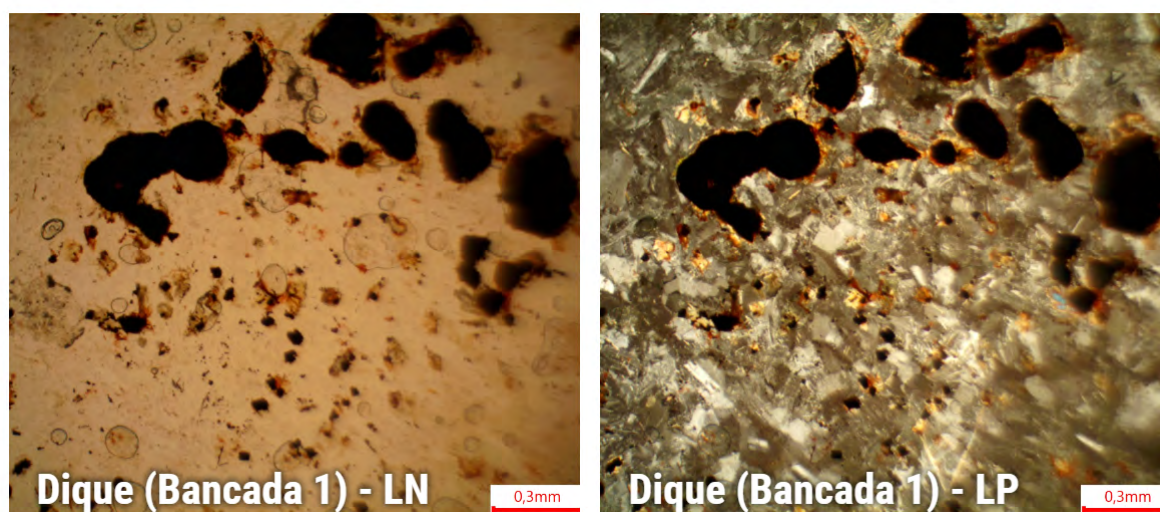
Fonte: Autor

Figura 21 – Fotos das Lâminas obtidas com as amostras das bancadas 3 e 4, em luz natural e polarizada, com aumento de 5 vezes.



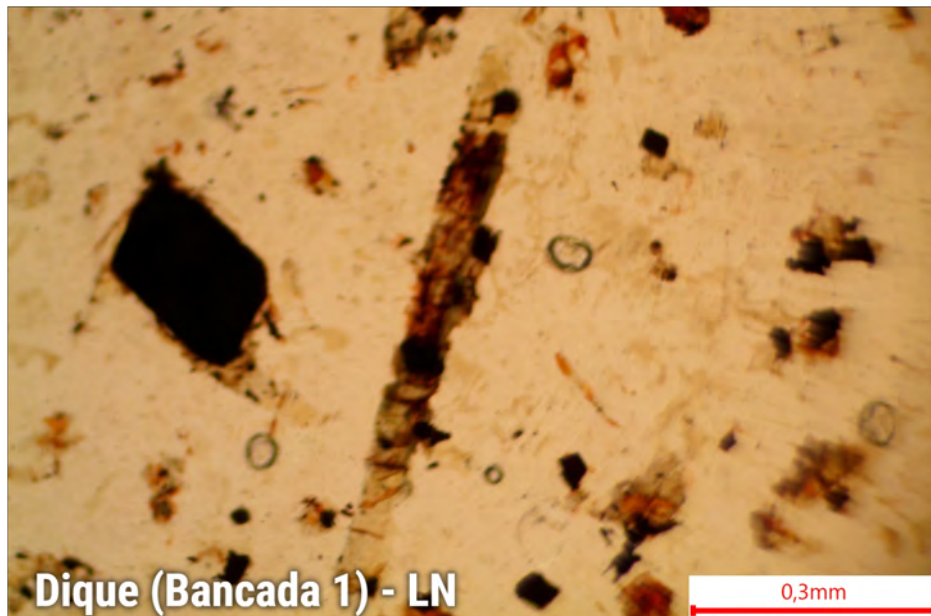
Fonte: Autor

Figura 22 – Foto da Lâmina obtida com a amostra do dique encontrando na bancada 1, em luz natural e polarizada, com aumento de 5 vezes.



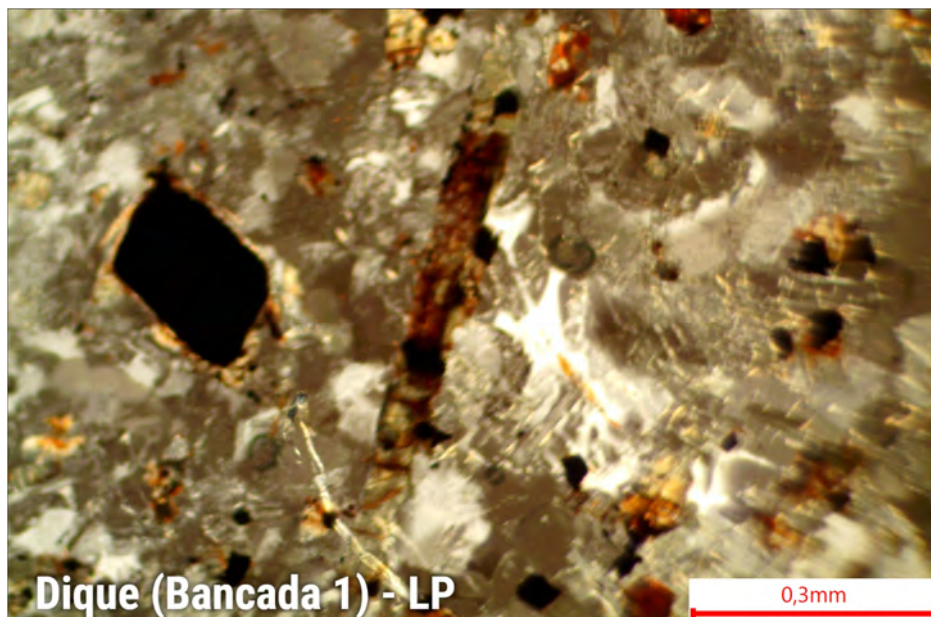
Fonte: Autor

Figura 23 – Foto da Lâmina obtida com a amostra do dique encontrando na bancada 1, em luz natural, com aumento de 10 vezes.



Fonte: Autor

Figura 24 – Foto da Lâmina obtida com a amostra do dique encontrando na bancada 1, em luz polarizada, com aumento de 10 vezes.



Fonte: Autor

9 CONCLUSÕES PRELIMINARES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da análise petrográfica e o estudo da geologia local mostraram ser mais uma ferramenta útil para a caracterização de um maciço rochoso. Trazem mais informações sobre as características físicas e comportamentos mecânicos das rochas locais e são mais uma opção para entender melhor seu comportamento *in situ*.

Um dos objetivos deste trabalho foi o de unir as análises petrográficas e geológicas com os ensaios tecnológicos, e assim, melhor entender o comportamento das rochas estudadas. Este objetivo foi atingido, uma vez que com a ajuda da petrografia, o conhecimento da gênese e da mineralogia destas rochas, foi possível descobrir o motivo pelo o qual estas apresentam alta absorção. É a composição mineralógica das rochas que, na maior parte das vezes é a responsável por suas características externas e comportamentos mecânicos (desempenho do agregado como um todo).

Para complementar outros estudos já feitos na área, optou-se por realizar ensaios de absorção no tamanho de brita 3/8". Pois, um trabalho mais recente Paiva (2017) foi feito no local usando o tamanho de brita 3/4".

Segundo Paiva (2017), de acordo com ensaios de absorção, as rochas da Pedreira Brita Pinhal apresentam para tamanho de brita 3/4" (Material com diâmetro de 11mm a 19mm) absorção de 2,683% enquanto as rochas de outra pedreira, localizada mais ao centro do mesmo derrame (pedreira Della Pasqua) apresentam absorção de 2,199%.

E dentro dos diferentes tamanhos de brita utilizados, o tamanho 3/8" apresenta maior absorção e porosidade ainda (em relação ao tamanho 3/4"). Estes valores mais altos de absorção dos riocacitos da Pedreira Brita Pinhal são referentes a presença de grande quantidade de amígdalas preenchidas e vesículas microscópicas, microfaturas muitas vezes preenchidas por quartzo e matriz com alta porcentagem de vidro, além de esta rocha ter uma granulação muito fina, na qual menores grãos apresentam maior área de contato, podendo ter embricamento menor entre os grãos e assim maior espaço de vazios (poros), apresentando maior absorção.

E como objetivo secundário, também foi possível delimitar quais rochas estão presentes na pedreira. Existia uma controvérsia sobre qual era a rocha local, pois as rochas desta pedreira apresentam granulometria muito fina para ser descrita a olho nu, gerando dúvidas.

Ao olho nu não se sabia se tratava-se de um basalto ou um riocacito, porém com a ajuda das lâminas petrográficas observou-se que tratam-se de duas litologias no local.

As rochas encontradas mais ao topo da frente de lavra estudada tratam-se de um dacito (apresentam mais quartzo) e as rochas mais próximas da base tratam-se de ser um basalto (menos quartzo). Apesar desta descrição petrográfica ter sido feita, apenas com uma análise geoquímica das rochas do local dá para se ter certeza do tipo de rocha, por isso, fica como sugestão para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. **Manual de Agregados para a construção civil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.
- ANDRIOLO, F. R. Capítulo 5 - Principais Ingredientes do Concreto. In: **Concreto: Uso de Maneira Sustentável**. [S.l.]: AE Andriolo Engenharia, 2015.
- ANEPAC. **MERCADO - Perspectivas para o Setor de Agregados**. 2016. Available from Internet: <<http://www.anepac.org.br/agregados/mercado>Acessadoem:13.06.2018>.
- ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 53**: Agregado graúdo — determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Montevideo - Uruguai, 2009. 14 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7389**: Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6490**: Rochas — caracterização de ocorrência — reconhecimento e amostragem. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.
- BACK, A. H. **Avaliação das Propriedades Químicas e Geomecânicas de Agregados Oriundos de Jazidas de Rochas de Diferentes Litologias do Estado do RS**. 2018.
- BECKER, E. L. S. Relevância do Rio Grande do Sul, Brasil, e sua representação em maquete. **Revista Percursos**, v. 4, n. 2, p. 113–132, 2012.
- BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. **Rio de Janeiro**, p. 504, 2010.
- BRITA PINHAL. **Áreas de Atuação**. 2008. Available from Internet: <<http://britapinhal.com.br/Acessadoem:14.06.2018>>.
- CARUSO, L. G. **Catálogo das rochas ornamentais do Estado de São Paulo**. [S.l.]: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1990.
- CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. [S.l.]: Signus, 1996.
- CPRM. **Excursão Virtual aos Aparados da Serra - RS**. 2015. Available from Internet: <https://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geoparques/Aparados/index.htmAcessadoem:04.06.2018>.
- FRASCÁ, M. H. B. D. O.; SARTORI, P. L. P. Minerais e rochas. In: **Geologia de Engenharia**. [S.l.]: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998.
- FRAZÃO, E.; PARAGUASSU, A. Materiais rochosos para construção. In: **Geologia de Engenharia**. [S.l.]: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998.
- FRAZÃO, E. B. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002.

GRECCO, M. et al. Potencial de uma rocha dacítica para remineralização de solos. In: **Embrapa Clima Temperado**. [S.l.: s.n.], 2012.

JAIR DANIEL et al. Análise das Potenciais Fragilidades do Lago da Socepe em Itaara - RS. **Seminário Internacional de Educação no Mercosul**, p. 15, 2013.

JERRAM DOUGAL E PETFORD, N. **Descrição de Rochas Ígneas-: Guia Geológico de Campo**. [S.l.]: Bookman Editora, 2014.

KLEIN CORNELIS E DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais - 23 edição**. [S.l.]: bookman, 2012.

LA SERNA, H. D.; REZENDE, M. M. Agregados para a construção civil. **DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral: acessível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp**, 2009.

MACHADO, F. B. et al. Geologia e litogeoquímica da formação serra geral nos estados de mato grosso e mato grosso do sul. **Geociências**, p. 523–540, 2009.

MACIEL FILHO, C.; NUMMER, A. **Introdução à Geologia de Engenharia**. 4^o. ed. Santa Maria: EditoraUFSM, 2011.

MELFI, A.; PICCIRILLO, E.; NARDY, A. 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, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. Thesis (PhD) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul., 1997.

MINEROPAR. Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do paraná. **Secretaria da Indústria, do Comércio e do Turismo/MINEROPAR, Curitiba**, 2001.

PAIVA, P. S. D. **Caracterização e Avaliação das Propriedades Geomecânicas para uso em Pavimentação de Agregados de Rochas Vulcânicas da Porção Central do Rio Grande do Sul**. 2017.

POMEROL, C. et al. **Princípios de Geologia**. 14^o. ed. Porto Alegre - RS: bookman, 2013.

PREFEITURA DE ITAARA. **História do Município**. 2017. Available from Internet: <<http://www.itaara.rs.gov.br/Acessadoem:16.06.2018>>.

SANGUEBUCHE, T. R. **Implementação do Equipamento Treton no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC/UFSM) para Caracterização de Agregados de Pedreiras do Estado do Rio Grande do Sul**. 2017.

SUSS, J. F. et al. O grupo itararé (neocarbonífero-eopermiano) entre porto Amazonas (pr) e mafra (sc): sedimentação gravitacional em contexto marinho deltaico com influência glacial. **Geosciences= Geociências**, v. 33, n. 4, p. 701–719, 2014.

TOLEDO, M. Teixeira e. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

UFSM/CCR/DER. **Diagnóstico Síntese do Município de Itaara**. [S.l.]: Rede de Educação Ambiental da bacia hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, 2009.

VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. D. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. [S.l.]: CPRM, 2010.

WILDNER, W. Estratigrafia do magmatismo serra geral na bacia do paraná-conceitos básicos e divisão faciológica. **Reunião Aberta da Comissão Brasileira de Estratigrafia**, p. 62-77, 2004.