UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

Curso de Graduação em Engenharia Civil

ENEIAS OLANDIR DA ROS

ESTUDO DE BASALTOS ALTERADOS PARA USO NA ESTRUTURA DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO DE BAIXO TRÁFEGO

Ijuí – RS

2014

ENEIAS OLANDIR DA ROS

ESTUDO DE BASALTOS ALTERADOS PARA USO NA ESTRUTURA DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO DE BAIXO TRÁFEGO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Ijuí – RS

2014

ENEIAS OLANDIR DA ROS

ESTUDO DE BASALTOS ALTERADOS PARA USO NA ESTRUTURA DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO DE BAIXO TRÁFEGO

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs – Orientador

Profª Cristina Eliza Pozzobon

Coordenadora do DCEEng – UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Mestre em Engenharia Civil (UFRGS)

Prof. Jose Antonio Santana Echeverria

Mestre em Engenharia Civil (UFRGS)

Ijuí – RS, 17 de dezembro de 2014

A minha esposa Viviane,
pela compreensão neste período.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Vivi, juntamente com os meus pais, Olandir e Erica por estarem todo tempo junto comigo, me motivando, apoiando, auxiliando em outras atividades de minha responsabilidade, em até muitas vezes, a de pai.

Ao Bilo e a Elenita, o Ico e a Leandra e meu pai e minha mãe, que foram as pessoas que me ajudaram com a parte financeira do Curso, sem eles, tenho certeza que ficaria mais difícil.

Ao Amilton Dalsasso e o meu pai, que, em um momento delicado, fizeram a gentileza de transportar o material da pesquisa até a cidade de Santa Maria para realização dos ensaios.

Ao aluno de Engenharia Roger Bandeira, o laboratorista Tulio, pelo auxílio na realização de alguns ensaios.

Ao amigo Eze, que dedicou de sua profissão (como dizíamos: na parceria) para a confecção da ferramenta utilizada nos ensaios de compressão puntiforme.

A pesquisadora Roberta Centofante pela realização dos ensaios na UFSM.

Ao professor Carlos Alberto Simões Pires Wayhs, pela aceitação do tema propostos, pelo tempo dedicado para a conclusão deste trabalho, mas principalmente pela cordialidade em que me atendeu.

Obrigado a todos que, mesmo não estando citados aqui, contribuíram para a conclusão desta etapa.

O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.

Albert Einsten

DA ROS, E.O. **Estudo de Basaltos Alterados Para Uso na Estrutura de Pavimento Rodoviário de Baixo Tráfego**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, DCEEng, UNIJUÍ, Ijui, 2014.

RESUMO

A busca de materiais alternativos para a construção de rodovias vem ganhando espaço no meio acadêmico. Alguns materiais possuem restrições quanto ao seu uso em rodovias de maior tráfego, contudo, podem atender às solicitações de vias com fluxo reduzido de veículos. Esses materiais apresentam características muito importantes: custo baixo, pequenas distâncias de transporte. É estudo desta monografia o comportamento mecânico para emprego em pavimentação de basaltos alterados usados para a pavimentação primária de estradas do município de Nova Ramada/RS. Foi recolhido amostras de materiais de três jazidas, sendo denominadas de Formigueiro, Madeireira e Dois Portões, o desmonte ocorreu através de trator de esteiras e retroescavadeira. No estudo, analisaram-se a durabilidade e a deformabilidade. Foram realizados ensaios de abrasão Los Angeles e sanidade a sulfatos no Laboratório de Engenharia Civil da UFSM, para estes, foi necessária a britagem do material. Também foi realizado ensaios de compressão puntiforme no Laboratório de Engenharia Civil da Unijui, para este, manteve-se a granulometria da jazida. Aparentemente, as rochas coletadas de Formigueiro, apresentavam uma maior dureza, com grau de alteração menor, já as originadas da jazida de Dois portões apresentavam um grau de decomposição maior. O ensaio de abrasão Los Angeles identificou uma boa resistência mecânica dos três materiais, ao contrario da durabilidade do basalto na presença de sulfatos, que não atendeu as exigências, porém, segundo a bibliografia, este ensaio é considerado extremamente agressivo, reprovando em alguns casos, materiais bons, que poderiam ser usados no pavimento de rodovias com tráfego leve. Quanto ao ensaio de compressão puntiforme, o material estudado apresentou valores abaixo do esperado, podendo não ser valores que expressam a realidade da resistência do mesmo, em virtude de ter sido usado rochas com diâmetro maior que a bibliografia, sendo recomendado um novo estudo depois da britagem do basalto alterado.

Palavras-chave: Material Alternativo. Pavimentação. Basalto Alterado.

DA ROS, E.O. **Study basalts Changed To Use in Road Pavement Structure of Low Traffic**. 2014. Work Course Conclusion - Department of Physical Sciences and Engineering, DCEEng, UNIJUÍ, Ijui, 2014.

ABSTRACT

The search for alternative materials for road construction has been gaining ground in academia. Some materials have restrictions as to its use on roads with heavier traffic, however, can accommodate requests for roads with low traffic flow. These materials have very important characteristics: low cost, small transport distances. The mechanical behavior for use in pavement altered basalt used for the primary paving of road in the city of New Ramada / RS is the study of this monograph. Samples from three deposits, being called Formigueiro, Madeireira and Dois Portões, was collected. The disassemble of the material occurred through bulldozer and backhoe. In the study, we analyzed the durability and deformability. Los Angeles abrasion tests and sanity to sulfates in the Laboratory of Civil Engineering UFSM, for these were made, it was necessary to crush the material was also performed compression tests pitting the Civil Engineering Laboratory of UNIJUÍ, for this has remained the grain size of the deposit. Apparently, the rocks collected from Formigueiro, showed greater hardness, with lesser degree of change as arising from the deposit of Dois Portões showed a greater degree of decomposition. The Los Angeles abrasion test identified a good mechanical strength of the three materials, unlike the durability of basalt in the presence of sulfates, which did not meet the requirements, however, according to the literature, this test is considered extremely aggressive, reproving in some cases, good materials that could be used in paving roads with light traffic. As for the punctiform compression test, the material studied showed values below the expected values podenso not be expressing the reality of the same strength because of rocks having been used in the literature greater than diameter, recommended a new study after crushing of the altered basalt.

Keywords: Alternative Material. Paving. Altered Basalt.

LISTA DE SIGLAS

BGS	Brita Graduada Simples
CBR	California Bearing Ratio
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
CNT	Confederação Nacional de Transportes
DAER/RS	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DW	Degradação do estado de Washington
ERS	Rodovia Estadual do Rio Grande do Sul
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de camadas de um pavimento flexível 20
Figura 2: Esquema da seção transversal do pavimento.....22
Figura 3: Corpo de prova.....32
Figura 4: Jazida de Madeireira 37
Figura 5: Jazida de Dois Portões 37
Figura 6: Jazida de Formigueiro.....38
Figura 7: Material para o ensaio de sanidade 39
Figura 8: Material para o ensaio de sanidade 39
Figura 9: Material para o ensaio de sanidade 40
Figura 10: Material para o ensaio de sanidade 40
Figura 11: Material para o ensaio de sanidade 41
Figura 12: Material para o ensaio de sanidade 41
Figura 13: Material para o ensaio de sanidade 42
Figura 14: Cone utilizado para o ensaio.....43
Figura 15: Dimensões dos cones.....43
Figura 16: Rochas imersas.....44
Figura 17: Peneiras usadas.....44
Figura 18: Curva granulométrica de Madeireira 45
Figura 19: Peneiras usadas.....46
Figura 20: Curva granulométrica de Formigueiro 47
Figura 21: Peneiras usadas.....47
Figura 22: Curva granulométrica de Dois Portões.....48
Figura 23: Material seco antes de ser rompido 49
Figura 24: Cones adaptados à prensa 49
Figura 25: Máquina de Los Angeles.....50
Figura 26: Máquina de abrasão Los Angeles da UFSM.....51
Figura 27: Material depois do processo ainda no interior do equipamento 52
Figura 28: Perda por abrasão nas jazidas estudadas 54

Figura 29: Perda por ataque a sulfatos 55
Figura 30: Resistência média para cada jazida.....58
Figura 31: Resistência média para cada jazida.....58
Figura 32: Campo de aceitação de rochas basálticas alteradas segundo Arnold (1993).....60
Figura 33: Material de menor diâmetro.....60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais para as sub-bases de classes 1, 2 e 3 29
Tabela 2: Sanidade e expansão 29
Tabela 3: Material de enchimento 30
Tabela 4: Quantidade de material utilizado para o ensaio de sanidade 39
Tabela 5: Granulometria Madeireira 45
Tabela 6: Formigueiro 46
Tabela 7: Dois Portões 48
Tabela 8: Resultados do ensaio de Los Angeles 53
Tabela 9: Resultado dos ensaios de caracterização tecnológica 54
Tabela 10: Características basalto são estudadas por Casagrande (2003) 55
Tabela 11: Madeireira 56
Tabela 12: Formigueiro 56
Tabela 13: Dois Portões 57
Tabela 14: Resistência de compressão puntiforme 57
Tabela 15: Resultado dos ensaios de compressão puntiforme, Arnold (1993) 59
Tabela 16: Rochas com diâmetros menores 61
Tabela 17: Resultados dos ensaios de compressão puntiforme de rochas com diâmetro menores 61

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Índice de suporte 31
Equação 2: Diâmetro equivalente 31
Equação 3: Índice de suporte para diâmetro médio de 50 mm 32
Equação 4: Equação da perda por abrasão 51

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 14

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
1.1 Materiais e Estrutura do Pavimento Rodoviário Flexível 17
1.1.1 Agregados usados no pavimento 17
1.1.2 Estrutura do pavimento 19
1.2 Considerações sobre o Uso de Materiais Alternativos 22
1.3 Rochas Vulcânicas no Sul do Brasil 24
1.4 Generalidades sobre Basalto Alterado 25
1.5 Método Adotado Usualmente para Seleção dos Agregados 27
1.6 Especificações dos Agregados 28
1.7 Ensaio de Compressão Puntiforme 30
1.8 Critérios de Aceitação Proposto por Arnold (1993) 33
1.9 Abrasão Los Angeles 34
1.10 Sanidade a Sulfatos 34

2 METODOLOGIA DA PESQUISA 36
2.1 Classificação da Pesquisa.....36
2.2 Identificação das Jazidas de Basalto Alterado já Utilizadas pela Prefeitura para Pavimentação Primária nas Estradas Vicinais do Município de Nova Ramada 36
2.3 Realização dos Ensaios Tradicionais na Engenharia de Pavimento a fim de Avaliar a Resistência Mecânica dos Materiais 38
2.3.1 Ensaio de sanidade ao sulfato de sódio 38
2.3.2 Ensaio de compressão puntiforme 42
2.3.3 Ensaio de abrasão Los Angeles.....50

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 53

CONSIDERAÇÕES FINAIS 62

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64

ANEXOS 67

INTRODUÇÃO

Asfalto é sinônimo de progresso e desenvolvimento socioeconômico para as localidades onde são implantadas as obras, para os usuários, asfalto significa o fim da convivência diária com os adventos dos efeitos climáticos, onde ora os mesmos convivem com a poeira, ora com a lama. O pó, além do incômodo da sujeira, pode intensificar problemas respiratórios, já que no período de chuvas o pavimento sofre com o tráfego e possíveis erosões, o que pode resultar até mesmo em trechos intransitáveis, comprometendo a locomoção dos moradores das pequenas comunidades e do escoamento da produção, além de dificultar enormemente o acesso dos alunos às escolas.

Ao observar o atual sistema rodoviário nacional, torna-se visível a necessidade por mais rodovias pavimentadas. A razão para tal fato está relacionada com a reduzida dotação de recursos públicos e com os altos custos dos materiais empregados na pavimentação de estradas.

Diante disso, a administração pública se depara com o desafio de planejar o seu orçamento, onde normalmente a disponibilidade de recurso para a pavimentação não é suficiente. Portanto, é interessante direcionar ao uso de materiais alternativos que possibilitem a redução dos custos da pavimentação, principalmente em rodovias de baixo tráfego.

Existe uma relação direta entre transporte rodoviário e desenvolvimento econômico, uma vez que sem transportes não há qualquer possibilidade de pleno aproveitamento do potencial de uma região ou país, sendo elemento indispensável os deslocamentos de cargas e de passageiros. Existe forte demanda ao uso do modal rodoviário. Esta característica faz com que a infraestrutura rodoviária assuma papel fundamental na mobilidade em nosso país, onde o transporte de

aproximadamente 60% das cargas e 90% dos passageiros ocorre por via rodoviária, segundo pesquisa da CNT (2013).

Por ser uma modalidade flexível, tanto em relação à qualidade das vias quanto ao tamanho e valor das cargas, além de ser o único que permite operações de transportes desde a origem até o destino final ganha destaque o transporte rodoviário, se tornando uma atividade que liga mercados consumidores a mercados fornecedores. Deste modo os sistemas de transportes têm que se adequar às necessidades dos produtores e dos consumidores.

Felizmente há uma ampla gama de possibilidades no transporte tanto de pessoas quanto de mercadorias, o que permite escolhas racionais em função de cada situação.

As deliberações para a realização de uma obra rodoviária devem ser tomadas em função do objetivo da rodovia e de sua influência na economia da região a ser atendida.

Por isso, os investimentos em projetos rodoviários devem ajustar-se às peculiaridades das regiões beneficiadas, levando em conta o seu atual estágio de desenvolvimento e a rentabilidade dos investimentos, medida em termos de contribuição à economia.

Pode-se atestar que a maioria dos investimentos em rodovias tende a ser realizados nas regiões mais desenvolvidas. Em razão da necessidade de corrigir o desequilíbrio na malha rodoviária nacional, os órgãos rodoviários nacionais e estaduais desde as últimas décadas vêm procurando promover a interligação da rede rodoviária existente, através da pavimentação de rodovias secundárias.

Uma vez que se tenham estabelecidos estes canais de escoamento e integração, os benefícios serão evidentes, já que se estará propiciando a conquista e ocupação de regiões isoladas, promovendo a ligação entre os centros produtores e os centros de consumo, ou ainda a aproximação e desenvolvimento de várias comunidades que passarão a contar com transporte mais barato e seguro.

Ficando evidente a importância do estudo de novos materiais e/ou novas combinações para que seja possível o desenvolvimento de novos materiais que possam apresentar bom desempenho e custo atrativo, no caso, para a pavimentação da ERS 539, principal acesso ao município de Nova Ramada/RS, à rodovia pavimentada ERS 155.

Existe pouco conhecimento sobre o comportamento de basaltos alterados, justificando a necessidade de pesquisa neste meio a fim de conduzir novos métodos de utilização do material e identificar possíveis jazidas.

Em vários locais próximos a ERS 539 são encontrados pontos onde existe extração deste material pela municipalidade, sendo usado para a pavimentação primaria das estradas vicinais. Por outro lado, este material apresenta grande heterogeneidade, tornando desinteressante a utilização em camadas do pavimento.

Sendo assim, prevalece a incerteza da durabilidade do basalto alterado quando exposto às condições ambientais ao longo da vida útil do pavimento, portanto, se constatado que o material atinge os níveis satisfatórios de resistência, poderá ser identificado os locais chamados de jazidas, tornando possível no futuro seu uso.

No Rio Grande do Sul, o uso de basalto alterado foi rejeitado por décadas pelos órgãos de pavimentação, pois realmente possui uma qualidade inferior aos materiais usados que são a brita graduada e rocha sã. Porém existem algumas características que podem viabilizar o uso do material na pavimentação de rodovias de baixo volume de tráfego.

A característica principal que pode contribuir para a viabilização do uso deste material é a presença em grande quantidade nas localidades próximas do leito da ERS 539. Este material aparenta ser viável em virtude de apresentar facilidade na extração, pois dispensa o desmonte a fogo, devido ao seu alto grau de fraturação e também é dispensado o uso de britadores, pois o próprio equipamento de desmonte aumenta o nível de fraturamento da rocha.

O objetivo geral desta pesquisa foi estudar o basalto alterado encontrado em alguns pontos do município de Nova Ramada/RS para utilização em camada de pavimento. Este material ocorre em grande quantidade na região, apresentando-se de fácil exploração e transporte em pequenas distâncias.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- avaliar os resultados do ensaio de compressão puntiforme;
- avaliar os resultados do ensaio de abrasão Los Angeles;
- avaliar os resultados do ensaio de sanidade a sulfatos;
- verificar o critério de aceitação proposto por Arnold (1993).

Verificando assim a possibilidade da substituição da rocha sã de basalto por basalto alterado na estrutura do pavimento da ERS 539.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo está apresentado o embasamento teórico dessa pesquisa, abordando assuntos como: Materiais e Estrutura do Pavimento Rodoviário Flexível, considerações sobre o uso de materiais alternativos, especificações sobre os agregados, generalidades sobre alteração de basalto, método adotado usualmente para seleção dos agregados, entre outros.

1.1 Materiais e Estrutura do Pavimento Rodoviário Flexível

1.1.1 Agregados usados no pavimento

Conforme Senço (1997), agregados são materiais inertes, granulares, sem forma e dimensões definidas, com propriedades adequadas a compor camadas ou misturas para utilização nos mais diversos tipos de obra. Seu emprego no ponto de vista da engenharia, em especial, os serviços de pavimentação, o uso dos agregados são destinados a misturas betuminosas, concreto de cimento, bases de calçamento, lastros de obras e outros.

Specht (2004) relata que os defeitos dos pavimentos, como desagregação e deformação permanente, podem estar diretamente relacionados à escolha inadequada dos agregados. Desse modo, é fundamental que os agregados possuam propriedades geométricas, físico-químicas e mecânicas adequadas e que garantam o bom desempenho do pavimento.

Os agregados representam a maior parcela constituinte de um pavimento, chegando a valores superiores a 90% em peso do conjunto asfalto agregado. Logo, as propriedades dos agregados utilizados nas misturas asfálticas preparadas a quente são muito importantes para o desempenho dos pavimentos (WESSELING, 2002).

Conforme Pinto (1998), os materiais pétreos usados em pavimentação normalmente conhecidos sob a denominação genérica de agregados, podem ser naturais ou artificiais. Os primeiros são aqueles utilizados como se encontram na natureza, como o pedregulho e os seixos rolados, ao passo que os seguintes

compreendem os que necessitam de uma transformação física e química do material natural para sua utilização, como a escória e a argila expandida.

O manual do DNER (1996) classifica os agregados usados em pavimentação, segundo a sua natureza, tamanho e distribuição dos grãos (graduação), apresentado no diagrama a seguir.

Esquema da classificação dos agregados para pavimentação quanto à natureza das partículas

- Agregados
  - Quanto à natureza
    - agregado natural
    - agregado artificial
  - Quanto ao tamanho
    - agregado graúdo
    - agregado miúdo
    - agregado de enchimento
  - Quanto à graduação
    - denso
    - aberto
    - tipo macadame

Fonte: DNIT (2006).

a) Agregados naturais: São constituídos de grãos oriundos da alteração das rochas pelos processos de intemperismo ou produzidos por processos de britagem: pedregulhos, seixos rolados, britas, areias, etc.

b) Agregados artificiais: São aqueles em que os grãos são os produtos ou subprodutos de processo industrial por transformação física e química do material: escória de alto foro, argila calcinada, argila expandida. Quanto ao tamanho individual dos grãos:

c) Agregado graúdo: É o material retido na peneira n° 10 (2,0 mm): britas, cascalhos, seixos, etc.

d) Agregado miúdo: É o material que passa na peneira n° 10 (2,0 mm) e fica retido na peneira n° 200 (0,075 mm): pó de pedra, areia, etc.

e) Agregado de enchimento ou material de enchimento: É o que passa pelo menos 65% na peneira n° 200 (0,075 mm): cal extinta, cimento portland, pó de chaminé, etc.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7207 (1982), trata o pavimento como uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, a:

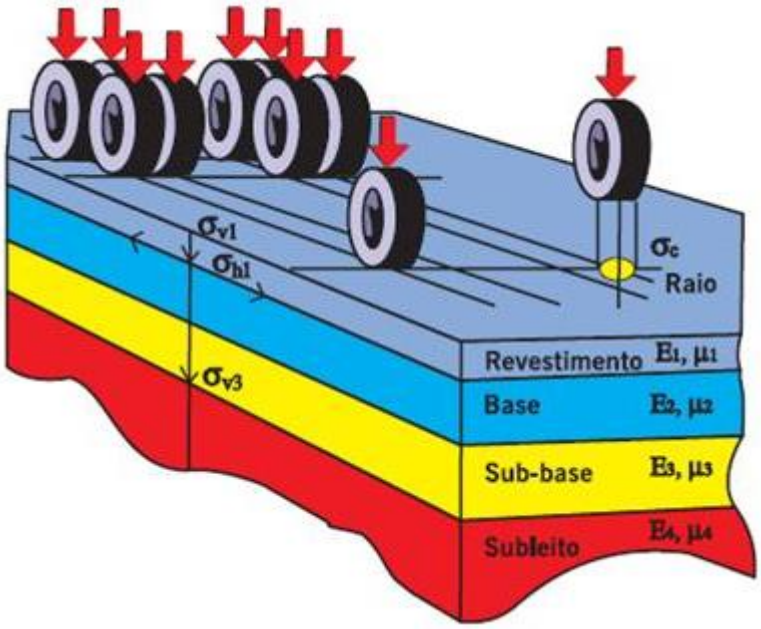
a) resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
b) melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
c) resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

De acordo com o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes DNIT (2006), pavimento de uma rodovia é uma estrutura de camadas finitas assentadas em uma fundação denominada subleito. O pavimento contempla camadas com materiais de diferentes resistências a deformabilidade, trabalhando em conjunto exigindo um grau de complexibilidade de dimensionamento.

1.1.2 Estrutura do pavimento

Pavimento é a estrutura de camadas diferentes construídas sobre uma superfície de terraplenagem, com objetivo de resistir os esforços originados do tráfego e do clima, proporcionando aos usuários economia, conforto, segurança ao transitarem (BERNUCCI et al., 2008, p. 9). Na figura 1 apresenta-se o sistema de camadas do pavimento flexível.

Figura 1: Sistema de camadas de um pavimento flexível



Fonte: Bernucci et al. (2008).

Considera Medina (1997) como pavimento flexível, a composição de revestimento betuminoso sobre uma base granular ou de um solo estabilizado granulometricamente.

De acordo com o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes DNIT (2006), pavimento flexível é aquele que tem todas as camadas sujeitas a deformações elásticas sob a ação de carregamento, distribuindo as ações gradativamente em cada camada.

Cada camada do pavimento rodoviário possuem suas funções específicas, e o conjunto das mesmas deve proporcionar aos veículos as condições necessárias de suporte e rolamento em qualquer condição climática. As camadas de um pavimento rodoviário com seus respectivos materiais de construção (SENÇO, 1997; BALBO, 2007; BERNUCCI et al, 2008) são:

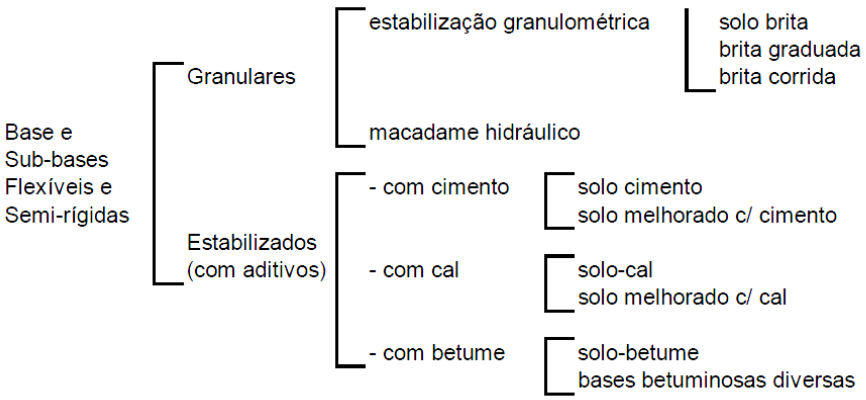
Revestimento: É a camada mais superficial, desejavelmente impermeável, recebe diretamente as ações de rolamento dos veículos, destinada econômica e simultaneamente a melhorar as condições do rolamento quanto ao conforto e segurança, e também a resistir aos esforços horizontais que nele agem, tornando mais durável a superfície de rolamento, sendo resistente ao desgaste.

Também chamada de capa de rolamento ou camada de desgaste. Dentre as misturas que podem compor a camada de revestimento, destacam-se o concreto asfáltico usinado a quente (CBUQ), lama asfáltica, micro-revestimento asfáltico, pré-misturado a frio, pré-misturado a quente e tratamentos superficiais simples, duplos e triplos;

Base: Camada que tem a função de resistir e distribuir ao subleito, as ações originadas do tráfego, é a camada quem vem logo abaixo do revestimento. Podem ser divididas em dois grupos: bases granulares (não tem coesão, não resistem à tração, distribuem as tensões de compressão principalmente devido a sua espessura) e bases coesivas (distribuem as tensões de compressão também devido a sua rigidez, provocando tensões de tração em sua face inferior). As bases podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, concreto compactado com rolo, solo estabilizado quimicamente com cimento ou betume, etc.;

Sub-base: Camada que completa a base. Usada quando não existir a possibilidade de executar a base diretamente sobre o subleito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas, também prevenindo o bombeamento do solo do subleito para a camada de base. Os materiais típicos de construção são os mesmos usados na base.

Esquema da classificação das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas



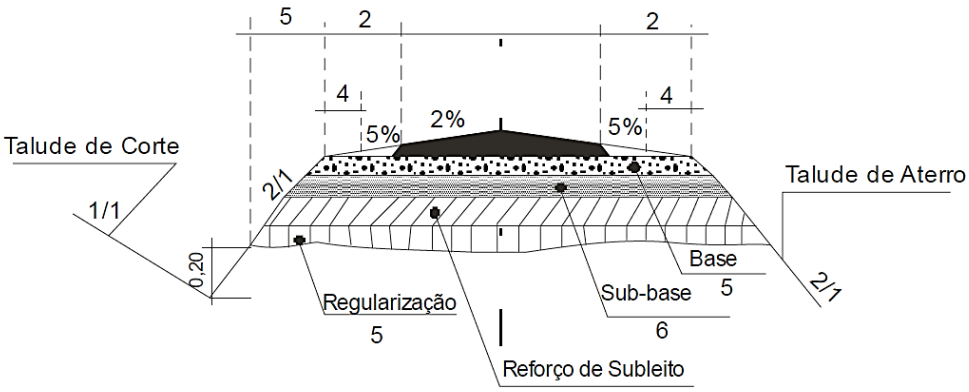
Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006).

Subleito: É o próprio terreno de fundação do pavimento rodoviário, é a superfície do solo após os serviços de terraplenagem, devido às pressões de contato ser decrescentes com o aumento da profundidade. O subleito é composto de material natural consolidado, nos caso dos cortes do corpo estradal, ou por um material transportado e compactado em aterros;

Regularização do subleito: Este serviço não possui espessura constante, é executado acima do subleito no desejo de conformá-lo transversal e longitudinalmente, normalmente tem a função de regularizar a plataforma de estradas de terra que serão pavimentadas;

Reforço do Subleito: É uma camada de espessura constante, construída com materiais de maior nobreza comparando-se a regularização do subleito, tendo função de camada suplementar do subleito, contribuindo também na absorção e distribuição das tensões oriundas das camadas superiores. Tipicamente um solo argiloso de qualidades superiores a do subleito e da regularização;

Figura 2: Esquema da seção transversal do pavimento



Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006).

1.2 Considerações sobre o Uso de Materiais Alternativos

Conforme Wayhs (2004) apud Oliveira (2001), as formas de economizar na pavimentação usando materiais alternativos seria empregando plintossolo, saibros de granitos/gnaisse, basaltos alterados, lateritas e solos arenosos finos lateríticos.

A rodovia estadual ERS 539, possui baixo volume de tráfego. Pois se trata do acesso de um pequeno município, favorecendo o uso de material alternativo que não segue especificações tradicionais e que são concebidas a pavimentos com maior volume de trafego. Na década de 80, o Rio Grande do Sul possuía 120.000 km de estradas não pavimentadas em regiões de ocorrência de basalto alterado, ou basalto decomposto, também conhecido como saprólito de basalto, essas regiões caracterizam 40% do território do Estado Gaúcho, tornando do ponto de vista econômico, vantagem o emprego desse material alternativo (NÚÑEZ et AL, 2006).

Tecnicamente, o basalto alterado possui valores médios de resistência e comportamento resiliente, sendo viável o seu uso em pavimentos de baixo tráfego. No fim dos anos 80, o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, DAER/RS, liberou a utilização de 12 trechos, com camadas executadas com basalto alterado, onde foram constatados diferentes comportamentos quanto à durabilidade das estradas, algumas com patologias precoces, outras em ótimas condições (NÚÑEZ et al, 2006).

No início da década de 90, o DAER/RS e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), celebraram um protocolo com a finalidade de estudar alternativas econômicas para a pavimentação asfáltica do Estado do Rio Grande do Sul. Foi escolhido basalto alterado como o primeiro material da pesquisa.

A partir de 1992 o engenheiro Gilnei Pestano Arnold inicia sua dissertação de mestrado estudando a alteração dos basaltos e paralelamente, no município de Guaíba, iniciou-se a construção de um simulador de tráfego.

O simulador de tráfego foi projetado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, coordenada por funcionários do DAER/RS.

Foram estudados por Arnold (1993), amostras de sete jazidas de basalto alterado, sendo que o material trouxe dúvidas quanto à durabilidade no pavimento. A fim de verificar os critérios de aceitação do material quanto à sanidade a sulfatos, degradação do Estado de Washington e Abrasão Los Angeles, verificou-se que não atendia aos requisitos mínimos cofiáveis.

Arnold (1993) propõe a queda de resistência provocada por imersão em água, avaliada através do ensaio de compressão puntiforme como um novo critério de aceitação. Neste trabalho, Arnold diz que se a razão entre a resistência de corpos de prova imerso, e seco, for maior que 0,7, o material tem seu esqueleto pétreo resistente aos esforços internos originados pelas argilas expansivas.

1.3 Rochas Vulcânicas no Sul do Brasil

Será apresentado uma descrição sucinta dos aspectos geológicos das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e da Bacia do Paraná que afetam as características tecnológicas e mecânicas das rochas estudadas.

O vulcanismo do tipo fissural que cobre o sul do Brasil se prolonga ocupando também partes do Paraguai, Argentina e Uruguai totalizando aproximadamente 1.400.000 km^2, sendo 1.100.000 km^2 no Brasil. Estes derrames datam de 120 a 130 milhões de anos, (Arnold 1993).

O nome Formação Serra Geral foi usado pela primeira vez por White (1908) apud Arnold (1993) para referir-se aos derrames de lava basáltica que formam o planalto da Serra Geral.

Esses derrames tem espessura individual entre 1 e 50 m e o número é variável de um local para outro, existindo regiões onde foi possível diferenciar até 20 derrames empilhados.

A variação total da espessura é de 350 m até 2000 m no centro da Bacia do Paraná. Baseado em características físicas, texturais e estruturais Leinz (1949) apud Arnold (1993), considerou que um mesmo derrame era formado por várias zonas, denominando-as de zona vítrea, amigdalóide ou vesicular, de fraturamento horizontal e de fraturamento vertical.

Em seguida, Sartori et al (1976) apud Fiorentini (2002), verificaram que a zona de basalto vítreo constituía isoladamente um derrame, sendo as divisões das demais zonas válidas para efeitos de mapeamento.

Os maciços basálticos cobrem cerca de 40 % da superfície do Estado do Rio Grande do Sul e são constituídos pela superposição de vários derrames de espessuras entre 20 e 60 metros. Parte dessa extensão está coberta por depósitos de composição ácida (teores de sílica superiores a 66%), característicos do final do ciclo de manifestação vulcânica.

Fiorentini (2002) cita que as rochas da Formação Serra Geral foram consideradas por muito tempo como homogêneas sob o ponto de vista petrográfico e geoquímico. A partir das décadas de 70 e 80, com a obtenção de grande quantidade de dados de campo e de laboratório, chegou-se à divisão dos derrames em três grandes grupos de rocha, Piccirillo e Melfi (1988) apud Juchem (1999),

denominados de basaltos toleíticos, representado 90% do volume total de rochas; andesitos toleíticos (7% do total); e riodacito-riolitos (3% do total).

Os dois primeiros grupos só são diferenciados em laboratório devido a grande semelhança macroscópica entre eles.

As rochas ácidas que compõe o grupo dos riodacitos-riolitos são, em geral, facilmente distinguíveis das rochas básicas. Apresentam cores cinza em tons claros, estruturas de fluxo e diaclasamento horizontal e sub-horizontal, quase sempre marcantes. Por serem mais resistentes ao intemperismo do que as rochas básicas elas tendem a apresentar encostas abruptas e sem cobertura vegetal. Segundo Bellieni et al (1986) apud Palma (2003), essas rochas podem ser divididas em dois grupos: Palma e Chapecó. O primeiro está presente principalmente no RS e subordinadamente em SC e PR. Já as rochas do tipo Chapecó são constituídas principalmente por riodacitos e ocorre em pequenas quantidades no RS, sendo maior sua área de afloramento no norte da Bacia do Paraná.

1.4 Generalidades sobre Basalto Alterado

Os basaltos alterados são agregados resultantes da alteração de rochas vulcânicas, com grande fendilhamento. Normalmente, a alteração ocorre na forma da desintegração da rocha, ocorrendo em praticamente metade do estado do Rio Grande do Sul. O esqueleto pétreo do basalto alterado é constituído por minerais parcialmente decompostos e entrelaçados, e por nódulos de argilo minerais oriundo de minerais mais instáveis e de óxido de ferro. Ocorre, segundo Núñez et al (1998), a degradação do basalto, quando o esqueleto pétreo não resistir aos esforços internos de expansão dos argilo-minerais, decorrentes do umedecimento e secagem.

Alteração é definida por Frazão e Caruzo (1983) apud Arnold (1993) como o conjunto das transformações que as rochas sofrem por fatores intrínsecos e extrínsecos.

Segundo Oliveira (2012), os fatores que influenciam a alteração do material rochoso podem ser representados em diferentes escalas:

- micro escala: fatores relacionados à composição, estabilidade química e presença de minerais expansíveis;

- meso escala: cristalização de sais, ação do gelo e degelo, crescimento de raízes, percolação de água;
- macro escala: interferência das condições do clima, interferência do ambiente, relevo.

Fatores intrínsecos dependem das características químicas e minerais da rocha, Oliveira (2012) cita ainda que o estado microfissural, estrutura, textura e grau de cimentação também influenciam no processo de alteração.

Aponta Retore (2005) que os fatores intrínsecos estão relacionados com a natureza da rocha. A composição mineralógica define as características químicas e o estado microfissural, ou seja, quantidade e dimensão das fissuras que define a porosidade e a permeabilidade.

Defende Arnold (1993) que a composição mineralógica do material não é a principal responsável pelo comportamento da rocha durante sua vida no pavimento rodoviário, e sim, o estado que se encontra a alteração dos minerais, e ainda a natureza de minerais secundários por serem responsáveis da velocidade de alteração da rocha.

A presença de fissuras na rocha influencia na alteração aumentando a superfície especifica do agregado, tornando maior a área de contato com os agentes do intemperismo, também provoca acúmulo de água no interior do agregado, facilitando as reações de alterações. Outra consequência das fissuras, dependendo da permeabilidade, pode levar água até os argilo-minerais expansivos, que através do aumento de volume, podem ocasionar a desagregação da rocha.

Alterações por fatores extrínsecos ocorrem quando exposto a uma nova condição da natureza, atmosfera, hidrosfera ou principalmente a biosfera, esse processo é conhecido como intemperismo.

A alteração em basaltos ocorre do tipo hidrotermal ou intempérica. A alteração hidrotermal ocorre quando um fluido quente percola na rocha podendo formar uma jazida mineral ou reagir com as rochas encaixantes, modificando a textura e constituintes minerais (PALMA, 2003).

1.5 Método Adotado Usualmente para Seleção dos Agregados

Para escolha dos materiais usados no emprego da base, sub-base e reforço do subleito é levado em consideração à resistência e granulometria, durabilidade e forma do grão.

> Para os materiais granulares com presença de frações mais finas, passantes na peneira nº 200, costuma-se tradicionalmente limitar a porcentagem e a atividade dessas frações de solo para uso como materiais de construção de pavimentos. A limitação dos finos, feita em geral pela plasticidade, advém do fato que, na tradição rodoviária europeia e norte-americana, na maior parte das vezes esses finos reduzem a permeabilidade dos materiais e sua rigidez, aumentam sua deformabilidade e, principalmente, aumentam a expansão volumétrica em presença de água, o que causa também uma redução da sua resistência. Mas, essas características indesejadas dos finos podem não ser observadas em solos tropicais, cuja natureza, estrutura e propriedades mecânicas podem diferir substancialmente dos solos finos que ocorrem nas regiões de clima frio e temperado, locais onde a maior parte da tecnologia de pavimentação foi concebida e desenvolvida. Com o desenvolvimento dos países de clima tropical, notoriamente com a construção de obras geotécnicas de vulto, como estradas, barragens, aterros etc., observou-se uma incongruência entre as propriedades esperadas dos solos finos e as que realmente eles exibiam. Conceitos de geologia e pedologia passaram a ser importantes para a geotecnia no sentido de se compreender o mecanismo diferenciador na formação dos solos existentes nas regiões tropicais e sua influência no comportamento geotécnico. Já em 1947, o professor Milton Vargas, grande geotécnico brasileiro, alertou o professor Casagrande, engenheiro de renome internacional da Mecânica dos Solos e responsável pela concepção da Classificação Unificada de Solos, do problema da classificação em relação aos solos tropicais lateríticos; propôs uma classe exclusiva de argilas K para as caulínicas, importante argilo-mineral presente nos solos lateríticos, por estas exibirem comportamento diferenciado dos demais solos (BERNUCCI, 2006, p. 339).

Nos países de clima frio, nas obras expostas a condições climáticas ocorre o congelamento da água presente no interior dos vazios dos agregados, gerando uma pressão da ordem de 260 Mpa. Ensaios de congelamento e degelo e imersão em sulfatos foram desenvolvidos naqueles países onde ocorre a situação de congelamento simulando o fenômeno acima citado a fim de conhecer a resistência dos materiais (ARNOLD, 1999).

No Brasil também é usado o ensaio de durabilidade ao sulfato (Soudness Test), da mesma forma como se procede nos países do Norte, é de fácil execução e requer simples equipamentos, sendo adotados também os mesmos parâmetros para escolha do material, não ocorrendo em nenhuma situação à diferenciação para regiões de clima diferente ou de tipos litológicos.

Segundo Arnold et al (1999), o ensaio de durabilidade a sulfatos é considerado por muitos pesquisadores como altamente rigoroso, pois este estudo de laboratório é capas de produzir pressões, no interior do agregado, dez vezes maiores que a gerada pelo congelamento e chega ainda a ser quarenta vezes superior que as pressões devidas à expansão das argilas.

O uso deste ensaio no Brasil leva a rejeição de materiais capazes de ter um bom comportamento em obras de pavimentação sujeitas a trafego leve (ARNOLD, 1999).

Apresenta Bernucci (2006) alguns materiais de uso no país em base, sub-base e reforço do subleito, esses materiais são classificados como granulares, ou seja, são materiais que não possuem coesão, apresentando resistência somente à tração.

Os materiais mais empregados em pavimentação da classe dos granulares e solos são: brita graduada simples (BGS) e bica ou brita corrida; macadame hidráulico; macadame a seco; misturas estabilizadas granulometricamente (estabilizadas por combinação de materiais para atender certos requisitos ou mecanicamente); solo-agregado; solo natural; solo melhorado com cimento ou cal. Deve-se ressaltar ainda a existência de outros materiais de uso crescente em pavimentação, decorrentes de reutilização e reciclagem: escória de alto-forno; agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil e demolições; rejeitos de extração de rochas ornamentais; mistura asfáltica fresada etc.

1.6 Especificações dos Agregados

A ERS 539 (acesso ao município de Nova Ramada/RS) é de responsabilidade do DAER/RS, com base nisso, os agregados usados como base e sub-base devem atender suas especificações.

De acordo com a especificação para sub-base granular DAER/RS-ES-P 04/91, o agregado não poderá ter perda superior a 12% no ensaio de Sanidade (Soundness Test), deve apresentar expansão máxima de 1% e ser isento de matéria vegetal e outras substâncias deletérias.

O material retido na peneira n°10 deverá ser constituído de partículas duras ou duráveis, isento de fragmentos moles, alongados ou achatados.

As sub-bases são classificadas em quatro classes de acordo com a granulometria. A Classe 4 tem a granulometria especificada pelo projeto, ISC no mínimo igual a 30% na energia modificada. As exigências para as demais classes estão na tabela 1.

Tradicionalmente na nossa região, a sub-base é construída com macadame - camada de agregados graúdos naturais ou britados, onde são preenchidos os vazios com agregado miúdo, estabilizado pela ação mecânica de equipamentos compactadores. “Os agregados graúdos devem ser duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, sem outras contaminações prejudiciais (BERNUCCI, 2006 p.357)”.

Tabela 1: Materiais para as sub-bases de classes 1, 2 e 3

PENEIRAS	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
2"	100	-	-
1"	75 - 95	-	-
3/8"	-	100	-
nº 4	30 - 60	50 - 100	100
nº 30	12 - 024	20 - 40	25 - 55
nº 200	0 - 15	0 - 20	0 - 25

Fonte: DAER/RS-ES-P 04/91.

Tabela 2: Sanidade e expansão

ENSAIO	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
ISC	≥30	≥20	≥20
EA	≥25	≥25	≥20

Fonte: DAER/RS-ES-P 04/91.

Principais critérios das Especificações aprovadas pelo DAER/RS-RS.

a) Agregado graúdo

O agregado graúdo deverá ser constituído por agregados britados. O produto de britagem deverá ter diâmetro máximo compatível com a espessura da camada e deverá ser constituído pelo produto de britador primário ou de materiais naturais que atendam as exigências seguintes:

- o agregado graúdo deverá ter diâmetro máximo que não exceda a 2/3 (dois terços) da espessura final da camada executada, nem ao limite de 5 polegadas e um mínimo de 2 polegadas, devendo ser constituído de fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração e de outras

substâncias prejudiciais. Quando submetido a 5 ciclos no ensaio de sanidade deve apresentar uma perda máxima de 12% com sulfato de sódio;

- a porcentagem de perda no ensaio de Abrasão Los Angeles deve ser inferior a 50%.

b) Material de enchimento

O material de enchimento deve ser constituído pelos finos resultantes de britagem que satisfaçam as faixas granulométricas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Material de enchimento

PENEIRAS		FAIXAS PORCENTAGEM EM PESO PASSANDO				
POLEGADAS	mm	I	II	III	IV	V
1	2,5	100	100	100	100	100
3/4	19	100	-	-	-	-
3/8	9,5	30-100	50-85	60-100	-	-
nº 4	4,75	25-55	35-65	50-85	55-100	70-100
nº 10	2,00	15-40	25-50	40-70	40-100	55-100
nº 100	0,125	8-20	15-30	25-45	20-50	30-70
nº 200	0,075	2-8	5-15	5-20	6-20	8-25

Fonte: DAER/RS-ES-P 07/91.

Em 1998, NÚÑEZ segue a Especificação de Serviço DAER/RS-ES-P 07/91e executa trechos experimentais com basalto alterado como macadame seco na base e sub-base. Nesse procedimento, os espaços vazios da camada formada por agregados graúdos, são preenchidos com agregados miúdos e pó.

1.7 Ensaio de Compressão Puntiforme

Este ensaio, segundo Retore (2005) é regulamentado pela *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM), através do *"Suggested Method for Determining Point Load Strength"* (1985). Segundo Palma (2003) e Fiorentini (2002) o ensaio tem certas limitações referente ao resultado da resistência de rochas, porém é recomendado quando não se tem corpos de prova do tamanho adequado para realizar o ensaio de compressão uniaxial. O ensaio de carga pontual é adequado

para obter a resistência à compressão de pequenos fragmentos, britados ou não, que é o caso do basalto alterado em estudo.

Arnold (1993) relata que o ensaio consiste em aplicar uma carga puntiforme em um corpo de prova, com uma prensa hidráulica, até a ruptura. Os corpos de prova são colocados entre duas ponteiras de forma que a força seja aplicada paralela à altura e perpendicular à largura. As amostras devem ser ensaiadas nas condições seca ao ar e imersão em água, à pressão constante por sete dias. É recomendado o uso de 10 corpos de prova para cada condição.

Deve ser calculado o índice de resistência à carga pontual não corrigido antes de calcular o índice de resistência pela expressão (RETORE, 2005):

Equação 1: Índice de suporte

$$I_S = \left(\frac{P}{D_e^2} \right) * 10$$

Onde:

P = carga de ruptura em KN.

De = Diâmetro equivalente em cm².

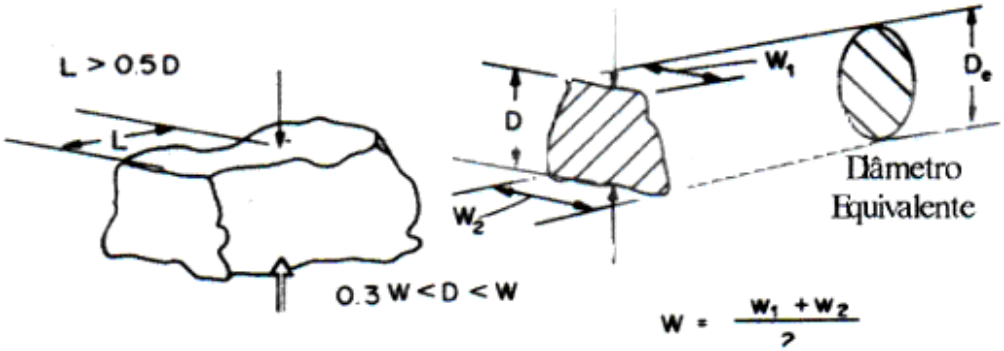
Para fragmentos irregulares, De é dado por:

Equação 2: Diâmetro equivalente

$$D_e = \frac{4 * W * D}{\pi}$$

onde “W” e “D” são as dimensões medidas segundo as direções mostradas na figura 3.

Figura 3: Corpo de prova



Fonte: Fiorentini (2002).

Legenda:

L = metade do comprimento do corpo de prova

W = largura do corpo de prova

D = altura do corpo de prova

D_e = diâmetro equivalente

Como o I_S varia em função do diâmetro equivalente (D_e) deve-se fazer a correção do efeito de escala (*size correction*). A fim de se obter um índice de resistência consistente é proposto uma forma e um tamanho padrão, este procedimento visa uniformizar todos os índices de resistência para um único diâmetro de corpo de prova, estabelecido pelo método como sendo 50 mm. O método prevê três maneiras para se obter o índice de resistência à carga pontual não corrigido, ($I_{S(50)}$), neste estudo a correção foi realizada segundo:

Equação 3: Índice de suporte para diâmetro médio de 50 mm

$$I_{S(50)} = F * I_S$$

onde:

F = fator de correção do efeito de escala, *(De/50)^0,45.*

I_S = Índice de resistência à carga pontual não corrigido.

O índice de resistência à carga pontual para cada amostra é obtido calculando-se a média aritmética dos dez índices corrigidos, desconsiderando-se os dois maiores e os dois menores valores.

1.8 Critérios de Aceitação Proposto por Arnold (1993)

Através da experiência adquirida, Arnold estabelece seu critério de seleção de rochas vulcânicas. O objetivo do método é especificar os materiais pétreos com base na sua resistência mecânica, quanto à capacidade de suporte de forças externas e internas, quando combinado com os ensaios correntes e ensaios petrográficos, permitirá trazer os resultados mais próximos das situações da pavimentação.

A proposta do método de Arnold é criar um índice para perda de resistência da rocha e quantificar através do ensaio de compressão puntiforme. O contato aresta-aresta, ou aresta-face do agregado do pavimento provoca forças internas de tração, semelhante à força de expansão de argilo-minerais.

O autor acredita que esse método é potencialmente eficiente a fim de trazer para uma situação semelhante da realidade da vida de um agregado encontrado na estrutura de um pavimento rodoviário. O índice de resistência à compressão puntiforme tem o objetivo de representar a resistência do esqueleto mineral da rocha, sendo o responsável a responder pelas ações internas e externas.

A escolha do ensaio de compressão puntiforme se dá pelos seguintes motivos: rápida e fácil preparação das amostras, exigindo equipamentos simples; ferramenta de fácil confecção para ser usado na prensa hidráulica, ou seja, uso de dois pequenos cones de aço usinado; o ensaio requer pouco tempo de realização, e permite aplicação em corpos de prova de geometria irregular, assim como encontrado em campo, o mecanismo de solicitação é semelhante com a situação do pavimento, tratando se de um corpo conífero, semelhante do contato aresta-aresta; o ensaio é consagrado internacionalmente.

Resumidamente o ensaio consiste em aprovar para uso em pavimento rodoviário, basaltos alterados que possuírem valor mínimo igual 0,7 para a razão entre o IS(50) determinado em corpos de prova previamente imersos em água por 7 dias e o IS(50) na condição seca. Abaixo desse valor o esqueleto mineral da rocha não é capaz de suportar as forças internas devidas à expansão dos argilo-minerais. O campo de aceitação de rochas basálticas limitado pela linha que corresponde à razão de 0,7 entre os índices de resistência.

1.9 Abrasão Los Angeles

Em relação à degradação, o ensaio realizado no equipamento de abrasão Los Angeles é o mais conhecido e o mais utilizado nos laboratórios ao redor do mundo. Esse ensaio é utilizado para medir a resistência do agregado à abrasão e à dureza (Bessa et al apud Kandhal e Parker, 1998). A amostra de agregado é colocada juntamente com esferas de aço dentro de um tambor, que gira numa frequência específica, promovendo uma interação das partículas de agregados e entre os agregados e as esferas. Esse movimento submete o material a diferentes processos: abrasão, impacto e trituração. Como o ensaio é bastante severo, acaba sendo mais um teste para avaliação da resistência ao impacto ao invés da resistência à abrasão, por isso o ensaio atualmente vem sendo chamado de ensaio Los Angeles de Abrasão e Impacto (Rogers, 1998).

Bessa et al apud Rogers (1998) ressalta que a avaliação realizada através da utilização do ensaio de abrasão Los Angeles quantifica, na realidade, a resistência dos agregados em relação à quebra e não à abrasão. Isso se deve ao fato de que o ensaio resulta em um valor de porcentagem de massa perdida da amostra de agregado, desconsiderando a forma dos mesmos após as rotações do tambor e o contato com as esferas de aço. Sendo assim, um baixo valor do parâmetro Los Angeles, ou seja, pouca perda de massa no ensaio, não necessariamente indica agregados resistentes à abrasão, por exemplo.

De acordo com Bessa et al apud Lane et al. (2000), o ensaio de abrasão Los Angeles avalia a resistência dos agregados ao impacto, ao invés de medir a resistência à abrasão. Existem outros ensaios para avaliação da resistência à abrasão usados na Europa, como o Aggregate Abrasion Test e o Nordic Ball Mill Test.

1.10 Sanidade a Sulfatos

O ensaio de sanidade (Soundness Test) é o ensaio mais usado para avaliar a durabilidade de materiais de construção de rodovias (rochas). Ele busca qualificar e quantificar o estado de integridade que se encontra a rocha no momento em que está sendo ensaiada, indicando o comportamento que este material apresentará no pavimento, Fiorentini (2002).

O ensaio consiste na imersão repetida do agregado em solução saturada de sulfato de sódio, seguida por secagem em estufa, onde ocorre a desidratação total ou parcial do sal nos poros e fissuras.

A solução penetra nos interstícios das rochas, precipitando íons que se cristalizam e exercem pressões nas paredes dos poros e nas microfissuras. Essas pressões, de acordo com Retore (2005) apud Fiorentini (2002) são 10 vezes menores que as geradas pelo congelamento e desgelo e 40 vezes maiores que as pressões geradas pela expansão da argila.

O ensaio de sanidade tem sido questionado por Núñez (1997), quanto à sua rigidez para avaliar a durabilidade das rochas perante as condições climáticas (clima subtropical e temperado) onde que as rochas estão em regiões como o estado do Rio Grande do Sul. Ao se adotar um ensaio concebido para simular ações do tipo gelo-degelo e cristalização de sais, exige-se da rocha resistência muito acima da necessária no seu futuro ambiente de uso, rejeitando-se materiais que suportariam as pressões das argilas expansivas e teriam um bom comportamento durante a vida útil do pavimento.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo será explicada toda a metodologia que foi usada para fazer o trabalho.

2.1 Classificação da Pesquisa

Esta pesquisa é classificada como quantitativa e laboratorial, pois amostras de material foram coletadas a campo, preparadas e ensaiadas em laboratório e os resultados pertinentes analisados graficamente.

2.2 Identificação das Jazidas de Basalto Alterado já Utilizadas Pela Prefeitura na Pavimentação Primária

Inicialmente foi procurada a administração pública municipal, a fim de buscar informações a respeito das eventuais obras de pavimentação no município, para então visitar as jazidas de basaltos alterados. Particularmente o Secretário Municipal de Obras fez algumas recomendações das cascalheiras que ele julgava ter melhor qualidade. Diante disso, foram identificadas algumas jazidas e então coletado material de três, sendo denominadas, para fins deste trabalho, de: Madeireira, Dois Portões e Formigueiro.

Os materiais estudados são originários de “cascalheiras”, desmontadas com trator de esteiras ou escavadeira hidráulica em três pontos do Município de Nova Ramada. Estes materiais que normalmente apresentam fraturamento natural acentuado, após o desmonte, se fragmentam em pedaços de aproximadamente cinco a dez centímetros de diâmetro.

Foi optado por extrair amostras com desmonte recente, visto que a rocha apresenta elevada alterabilidade se exposta a ciclos de molhagem e secagem. Porém o material coletado na jazida de Dois Portões, visivelmente apresentava um grau maior de alteração, devido ao maior tempo que se encontrava após desmonte. Coletei fragmentos de diferentes tamanhos de modo a obter amostras representativas.

Foram recolhidos aproximadamente 200 kg de material de cada jazida, sendo acondicionados em sacos e armazenados em local seco, identificados com o nome da “cascalheira”. Em seguida foi dividido em dois lotes. O primeiro teve por destino, os ensaios em Ijuí, o restante, foi conduzido à cidade de Santa Maria/RS.

Figura 4: Jazida de Madeireira

Fonte: Autor.

Figura 5: Jazida de Dois Portões

Fonte: Autor.

Figura 6: Jazida de Formigueiro

Fonte: Autor.

2.3 Realização dos Ensaios Tradicionais na Engenharia de Pavimento a fim de Avaliar a Resistência Mecânica dos Materiais

Foram realizados ensaios em laboratório para a determinação das características mecânicas do basalto alterado (cascalho). Os ensaios de compressão puntiforme foram executados no LEC (laboratório de engenharia civil) e os ensaios de abrasão Los Angeles e sanidade a sulfatos no Laboratório da UFSM.

2.3.1 Ensaio de sanidade ao sulfato de sódio

Este ensaio consiste em provocar ataques às rochas com sulfatos e assim determinar a perda sofrida.

Inicialmente o material foi britado, peneirado e separado uma porção de cada jazida, tomando cuidado de trazer uma amostra real. Foi preparado para cada amostra as seguintes quantidades apresentados na tabela 4:

Tabela 4: Quantidade de material utilizado para o ensaio de sanidade

Peneira	Peso (g)
1/2"	670
3/8"	330
#4	300

Fonte: Autor.

Cada porção foi colocada separadamente em um recipiente para imersão em sulfato de sódio. Após o período de imersão especificado, as amostras foram retiradas e deixadas drenar e submetidas para secagem em estufa. As figuras 7 a 13 mostram o material sendo preparado para o ensaio.

Figura 7: Material para o ensaio de sanidade

Fonte: UFSM.

Figura 8: Material para o ensaio de sanidade

Fonte: UFSM.

Figura 9: Material para o ensaio de sanidade

Fonte: UFSM.

Figura 10: Material para o ensaio de sanidade

Fonte: UFSM.

Figura 11: Material para o ensaio de sanidade

Fonte: UFSM

Figura 12: Material para o ensaio de sanidade

Fonte: UFSM.

Figura 13: Material para o ensaio de sanidade

Fonte: UFSM.

Para determinação das perdas, foi peneirado manualmente o material, com agitação suficiente para assegurar que todo material menor passasse pelas peneiras sem esmagamento. Foram anotados inicialmente os pesos de cada porção das amostras ensaiadas e após o ensaio, pesou-se o material retido em cada peneira para assim calcular o percentual de perda.

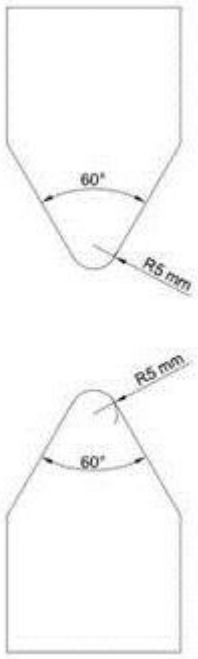
2.3.2 Ensaio de compressão puntiforme

Para realizar os ensaios, primeiramente foi necessária a confecção de dois cones metálicos que foram adaptados para poder ser utilizados na prensa do LEC da Unijui. A imagem a seguir é da ferramenta pronta:

Figura 14: Cone utilizado para o ensaio

Fonte: Autor.

Figura 15: Dimensões dos cones



Fonte: ISRM.

A figura 15 mostra as dimensões padronizadas dos cones para aplicação de carga no ensaio de compressão puntiforme.

Antes de serem rompidas, as amostras foram submetidas a dois tipos de condição:

- rochas secas ao ar por mais de sessenta dias, período em que ficaram armazenadas;
- rochas saturadas por imersão em água durante sete dias.

Na condição de rocha seca, foi armazenado em sacos de ráfia por um período maior que sessenta dias, em ambiente livre de umidade, poeira, choque físico.

Para a condição saturada, foram submetidas às amostras à imersão em baldes, contendo água limpa, no laboratório de engenharia civil da Unijui, por sete dias.

Figura 16: Rochas imersas

Fonte: Autor.

Figura 17: Peneiras usadas

Fonte: Autor.

Tabela 5: Granulometria Madeireira

UNIJUÍ UNIVERSIDADE REGIONAL CAMPUS SANTA ROSA	LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL	Material n°: Certificado n°:

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS GRAÚDOS

Material: Basalto alterado

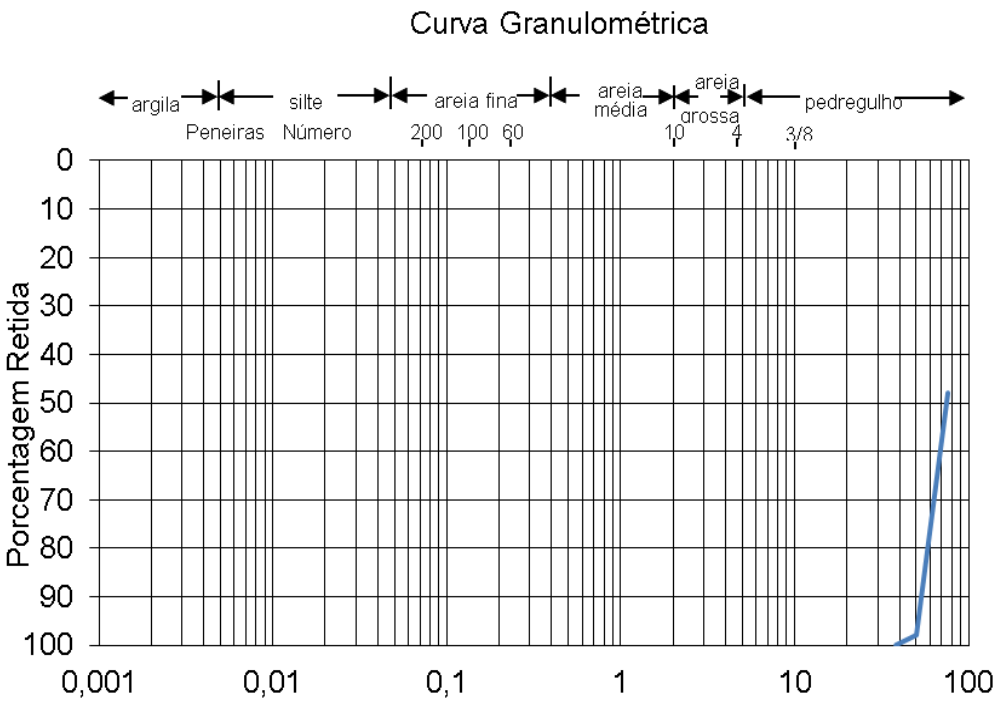
Procedência: Madeireira

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRCIA - NBR 7217

Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
n°	mm	Peso Retido	%	Peso Retido	%	Retida	Retida	
		g	Retida	g	Retida	Média	Acumulada	
3"	76	1623	32,46	3085	61,70	47,08	47,08	
21/2"	64		0,00		0,00	0,00		47,08
2"	50	3267	65,34	1805	36,10	50,72		97,80
11/2"	38	110	2,20	110	2,20	2,20	100,00	
11/4"	32		0,00		0,00	0,00		100,00
1"	25		0,00		0,00	0,00		100,00
3/4"	19		0,00		0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,5		0,00		0,00	0,00		100,00
3/8"	9,5		0,00		0,00	0,00	100,00	
1/4"	6,3		0,00		0,00	0,00		100,00
4	4,8		0,00		0,00	0,00	100,00	
8	2,4		0,00		0,00	0,00	100,00	
16	1,2		0,00		0,00	0,00	100,00	
30	0,6		0,00		0,00	0,00	100,00	
50	0,3		0,00		0,00	0,00	100,00	
100	0,15		0,00		0,00	0,00	100,00	
fundo	<0,15		0,00		0,00	0,00		
Total		5000,00	100,00	5000,00	100,00	100,00	947,08	
Diametro maximo:		#N/D mm ;		n° #N/D		Módulo de finura:	9,47	

Fonte: Autor.

Figura 18: Curva granulométrica de Madeireira



Fonte: Autor.

Figura 19: Peneiras usadas

Fonte: Autor.

Tabela 6: Formigueiro

UNIJAÍ UNIVERSIDADE REGIONAL CAMPUS SANTA ROSA	**LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL**	Material n°: Certificado n°:

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS GRAÚDOS

Material: Basalto alterado

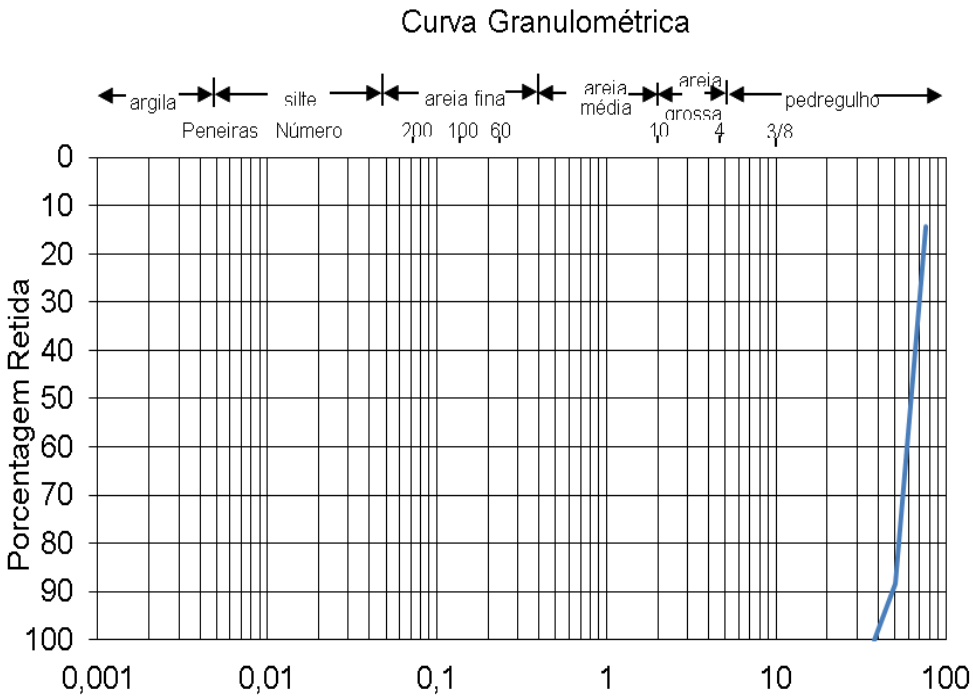
Procedência: Formigueiro

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRCIA - NBR 7217

Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
n°	mm	Peso Retido g	% Retida	Peso Retido g	% Retida	Retida Média	Retida Acumulada	
3"	76	704	14,08	736	14,72	14,40	14,40	
21/2"	64		0,00		0,00	0,00		14,40
2"	50	3956	79,12	3452	69,04	74,08		88,48
11/2"	38	340	6,80	812	16,24	11,52	100,00	
11/4"	32		0,00		0,00	0,00		100,00
1"	25		0,00		0,00	0,00		100,00
3/4"	19		0,00		0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,5		0,00		0,00	0,00		100,00
3/8"	9,5		0,00		0,00	0,00	100,00	
1/4"	6,3		0,00		0,00	0,00		100,00
4	4,8		0,00		0,00	0,00	100,00	
8	2,4		0,00		0,00	0,00	100,00	
16	1,2		0,00		0,00	0,00	100,00	
30	0,6		0,00		0,00	0,00	100,00	
50	0,3		0,00		0,00	0,00	100,00	
100	0,15		0,00		0,00	0,00	100,00	
fundo	<0,15		0,00		0,00	0,00		
Total		5000,00	100,00	5000,00	100,00	100,00	914,40	
Diametro maximo:		**#N/D mm ;**		**n° #N/D**	**Módulo de finura:**	**9,14**		

Fonte: Autor.

Figura 20: Curva granulométrica de Formigueiro



Fonte: Autor.

Figura 21: Peneiras usadas

Fonte: Autor.

Tabela 7: Dois Portões

UNIJUÍ UNIVERSIDADE REGIONAL CAMPUS SANTA ROSA	LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL	Material n°: Certificado n°:

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS GRAÚDOS

Material: Basalto alterado

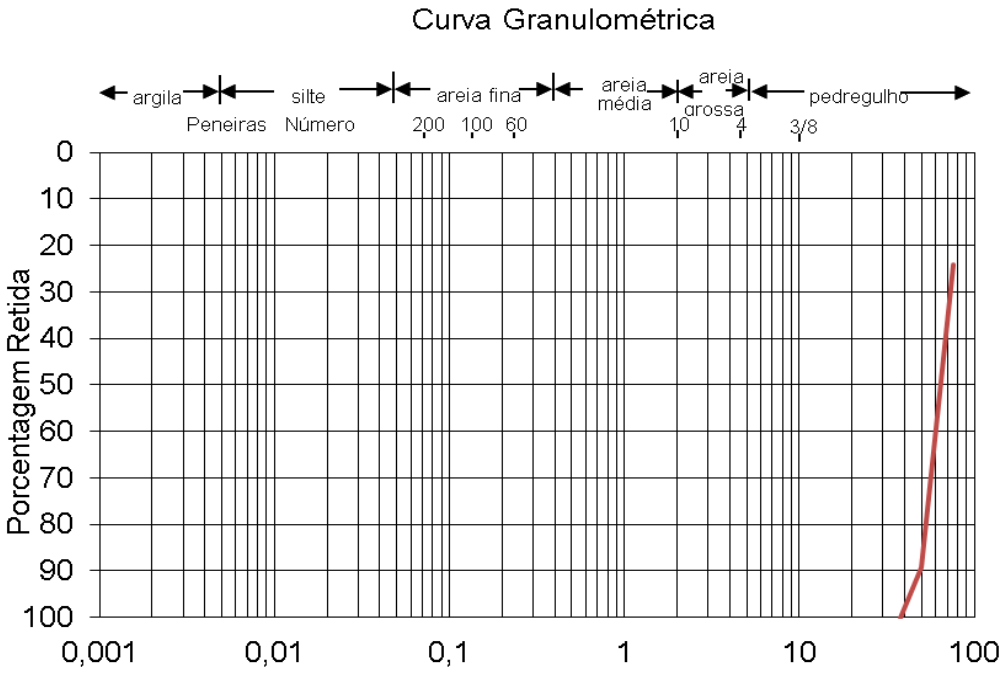
Procedência: 2 Portões

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRCIA - NBR 7217

Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
n°	mm	Peso Retido	%	Peso Retido	%	Retida	Retida	
		g	Retida	g	Retida	Média	Acumulada	
3"	76	1530	30,60	880	17,60	24,10	24,10	
21/2"	64		0,00		0,00	0,00		24,10
2"	50	2530	50,60	3980	79,60	65,10		89,20
11/2"	38	940	18,80	140	2,80	10,80	100,00	
11/4"	32		0,00		0,00	0,00		100,00
1"	25		0,00		0,00	0,00		100,00
3/4"	19		0,00		0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,5		0,00		0,00	0,00		100,00
3/8"	9,5		0,00		0,00	0,00	100,00	
1/4"	6,3		0,00		0,00	0,00		100,00
4	4,8		0,00		0,00	0,00	100,00	
8	2,4		0,00		0,00	0,00	100,00	
16	1,2		0,00		0,00	0,00	100,00	
30	0,6		0,00		0,00	0,00	100,00	
50	0,3		0,00		0,00	0,00	100,00	
100	0,15		0,00		0,00	0,00	100,00	
fundo	<0,15		0,00		0,00	0,00		
Total		5000,00	100,00	5000,00	100,00	100,00	924,10	
Diametro maximo:		#N/D mm ;		n° #N/D		Módulo de finura:	9,24	

Fonte: Autor.

Figura 22: Curva granulométrica de Dois Portões



Fonte: Autor.

Figura 23: Material seco antes de ser rompido

Fonte: Autor.

A carga de ruptura, utilizada nos cálculos, do corpo de prova foi àquela necessária para partir a rocha. Foram rompidos 10 corpos de prova de cada jazida para cada situação, totalizando 60 corpos.

Para conhecer o valor das dimensões de cada rocha, foi usado um paquímetro. O valor do Is(50) de cada jazida foi determinado através do cálculo da média aritmética.

A figura 24 apresenta o equipamento adaptado sendo usado para romper um corpo de prova na situação seca.

Figura 24: Cones adaptados à prensa

Fonte: Autor.

2.3.3 Ensaio de abrasão Los Angeles

Esse ensaio, conforme norma DAER/RS EL 103/01 – Determinação da Abrasão “Los Angeles” de Agregados, o procedimento consiste em obter certa quantidade de agregado, cinco ou dez quilos, satisfazendo a determinada granulometria, e submetê-la a choques e desgastes durante a rotação de um tambor metálico de 80 centímetros de diâmetro a uma velocidade de 30 a 33 RPM. O efeito é intensificado pela presença de onze esferas de aço que ao choque do material com as esferas provoca esmagamento das rochas. O ensaio é concluído após 500 ou 1000 rotações a depender da faixa granulométrica. Posteriormente, o material é peneirado e o desgaste aferido pela razão entre a quantidade de material que passou na peneira de 1,7mm após o ensaio e a quantidade total colocada inicialmente no tambor. A figura abaixo apresenta um exemplo de máquina Los Angeles.

Figura 25: Máquina de Los Angeles

Fonte: Google imagens.

Este ensaio foi realizado conforme o método descrito DAER/RS EL 103/01 - Determinação da Abrasão “Los Angeles” de Agregados. As amostras de agregado foram britadas, peneiradas e separadas as quantidades da faixa granulométrica “E”. A amostra a ser ensaiada foi colocada na máquina de Los Angeles juntamente com as cargas abrasivas (onze esferas de aço), o equipamento executou cerca de 500 voltas em uma velocidade de 30 a 33 rpm. Após isso, o material atritado foi despejado em uma bandeja e depois peneirado. Toda a quantidade que passou da peneira de 1,7 mm de espessura foi pesada e denominada como, de fato, abrasão. A quantidade que ficou retida na peneira foi lavada e em seguida pesada. A porcentagem, resultante do ensaio foi calculada pela equação 4:

Equação 4: Equação da perda por abrasão

$$LA\ (\%) = (Pa/Pr) * 100$$

onde:

LA (%) – Desgaste do agregado em porcentagem;

Pa – Peso da amostra seca, antes do ensaio;

Pr – Peso do material retido na peneira 1,7mm.

As figuras 26 e 27 mostram o equipamento de Abrasão Los Angeles e o basalto alterado no interior da máquina.

Figura 26: Máquina de abrasão Los Angeles da UFSM

Fonte: UFSM.

Figura 27: Material depois do processo ainda no interior do equipamento

Fonte: UFSM.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo é destinado à apresentação e análise dos resultados obtidos nos ensaios para cada jazida, descritos no capítulo anterior.

Para os ensaios de sanidade a sulfatos, foram obtidos os seguintes resultados:

MADEIREIRA:

peneira nominal 1/2" peso retido - % parcial = 37,42%

peneira nominal 3/8" peso retido - % parcial = 12,67%

peneira nominal #4 peso retido - % parcial = 15,08%

MÉDIA = 21,72%

FORMIGUEIRO:

peneira nominal 1/2" peso retido - % parcial = 31,91%

peneira nominal 3/8" peso retido - % parcial = 19,41%

peneira nominal #4 peso retido - % parcial = 11,21%

MÉDIA = 20,84%

DOIS PORTÕES:

peneira nominal 1/2" peso retido - % parcial = 34,27%

peneira nominal 3/8" peso retido - % parcial = 20,39%

peneira nominal #4 peso retido - % parcial = 19,03%

MÉDIA = 24,56%

Para os ensaios de Abrasão Los Angeles obteve-se os resultados da tabela 8:

Tabela 8: Resultados do ensaio de Los Angeles

ENSAIO	JAZIDA		
	MADEIREIRA	FORMIGUEIRO	DOIS PORTÕES
Abrasão Los Angeles	33,6	19,6	39,4

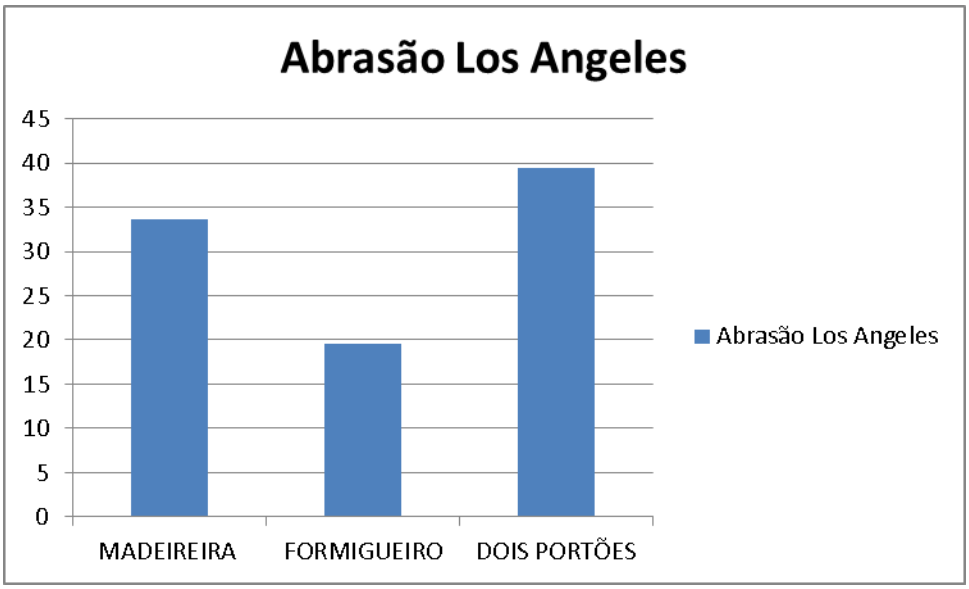
De acordo com os limites aceitáveis das especificações DAER-ES-P 04/91 Sub-base Granular e DAER-ES-P 04/91 – Base Granular, quanto à resistência por Abrasão Los Angeles, os materiais das três jazidas apresentaram valores satisfatórios para o uso nas camadas, ou seja, inferiores a 40%. Porém sofreram perdas significantes para os ensaios de sanidade a sulfatos, sendo acima de 12%, contudo, considerando o rigor do ensaio de sanidade a sulfatos como descrito anteriormente, vale a pena verificar com outros métodos a probabilidade em que o material originado da jazida de Formigueiro pode ser usado nas camadas de sub-base de pavimentos, desde que haja uma drenagem satisfatória de forma a evitar ciclos de molhagem e secagem.

A tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios de Abrasão Los Angeles e Sanidade a Sulfatos e limites aceitáveis elo DAER/S.

Tabela 9: Resultado dos ensaios de caracterização tecnológica

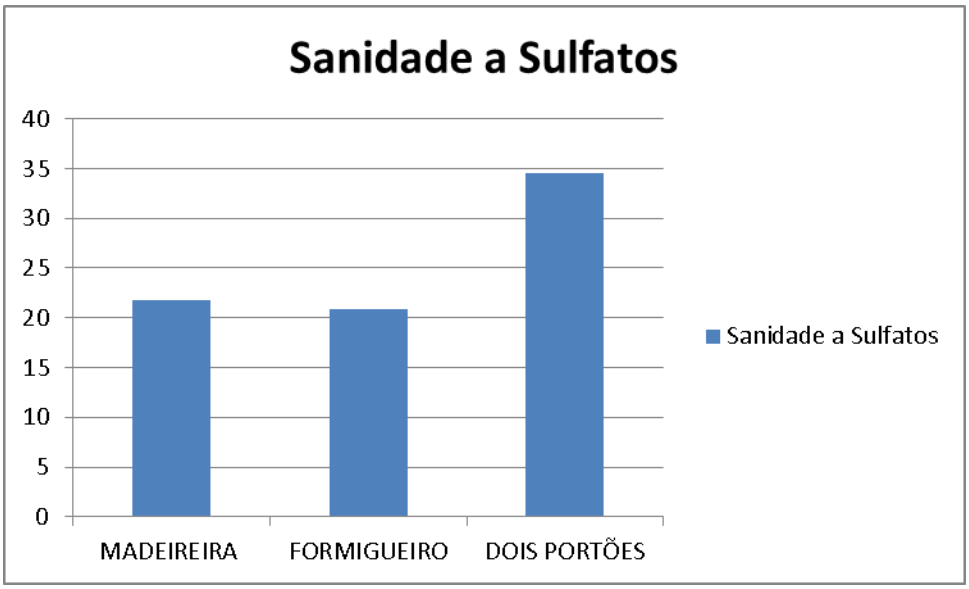
ENSAIO	JAZIDA			LIMITES ACEITÁVEIS MAX.	
	MADEIREIRA (%)	FORMIGUEIRO (%)	DOIS PORTÕES (%)	SUB-BASE (%)	BASE (%)
Abrasão Los Angeles	33,6	19,6	39,4	50	40
Sanidade a Sulfatos	21,72	20,84	24,56	12	10

Figura 28: Perda por abrasão nas jazidas estudadas



Fonte: Autor.

Figura 29: Perda por ataque a sulfatos



Fonte: Autor.

Casagrande (2003) estudou uma rocha sã, proveniente da pedreira localizada no km 30 da BR 290/RS. Na tabela 10 são mostradas as suas características de durabilidade. Como era de esperar-se a rocha sã apresentou melhores resultados do que o correspondentes ao basalto alterado em estudo.

Tabela 10: Características basalto são estudadas por Casagrande (2003)

ENSAIO	RESULTADO	LIMITES ACEITÁVEIS
Abrasão Los Angeles	16%	<=55%
Sanidade a Sulfatos	6,70%	<=12%

Para os ensaios de compressão puntiforme foram encontrados os seguintes resultados:

Tabela 11: Madeireira

Resultados dos ensaios de compressão puntiforme Madeireira

AMOSTRA	Is(50) SECO AO AR (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO / Is(50) SECO AO AR
1	0,24	0,05	0,2
2	0,08	0,33	4,2
3	0,43	0,09	0,2
4	0,04	0,18	5,0
5	0,02	0,02	1,3
6	0,11	0,14	1,3
7	0,32	0,00	0,0
8	0,32	0,07	0,2
9	0,02	0,00	0,2
10	1,30	0,00	0,0
MÉDIA	0,26	0,09	**0,3**
MEDIANA	-	-	**1,0**

Fonte: Autor.

Tabela 12: Formigueiro

Resultados dos ensaios de compressão puntiforme

AMOSTRA	Is(50) SECO AO AR (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO / Is(50) SECO AO AR
1	0,90	0,01	0,0
2	0,22	1,01	4,5
3	0,90	1,50	1,7
4	0,82	0,16	0,2
5	0,06	0,02	0,3
6	2,60	0,02	0,0
7	0,17	0,64	3,9
8	0,17	0,30	1,8
9	0,04	0,02	0,5
10	0,15	0,43	2,8
MÉDIA	1,07	0,41	**0,4**
MEDIANA	-	-	**1,4**

Fonte: Autor.

Tabela 13: Dois Portões

Resultados dos ensaios de compressão puntiforme

AMOSTRA	Is(50) SECO AO AR (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO / Is(50) SECO AO AR
1	0,13	0,00	0,0
2	0,17	0,21	1,2
3	0,52	0,00	0,0
4	0,32	0,25	0,8
5	0,03	0,01	0,4
6	0,00	0,00	1,3
7	0,11	0,00	0,0
8	0,11	0,02	0,2
9	0,01	0,01	1,0
10	0,02	0,00	0,1
MÉDIA	0,13	0,05	**0,4**
MEDIANA	-	-	**0,5**

Fonte: Autor.

A tabela 14 apresenta os valores médios de resistência à compressão puntiforme dos corpos de prova secos ao ar e dos corpos de prova imersos por sete dias de cada jazida, bem como o índice Is(50) após imersão/Is(50) secos ao ar.

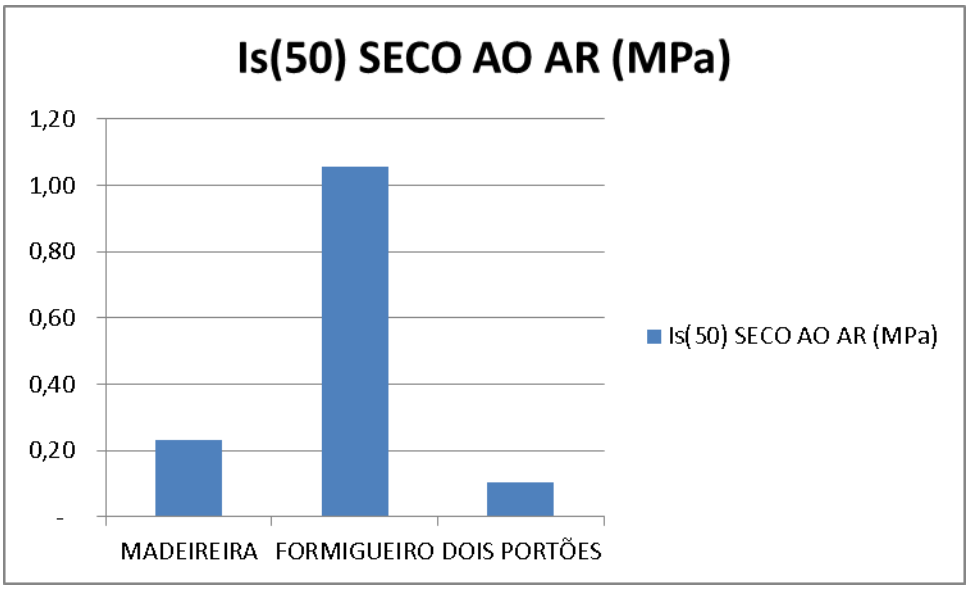
Tabela 14: Resistência de compressão puntiforme

Média dos resultados dos ensaios de compressão puntiforme

JAZIDA	Is(50) SECO AO AR (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO / Is(50) SECO AO AR
MADEIREIRA	0,26	0,09	**0,3**
FORMIGUEIRO	1,07	0,41	**0,4**
DOIS PORTÕES	0,13	0,05	**0,4**

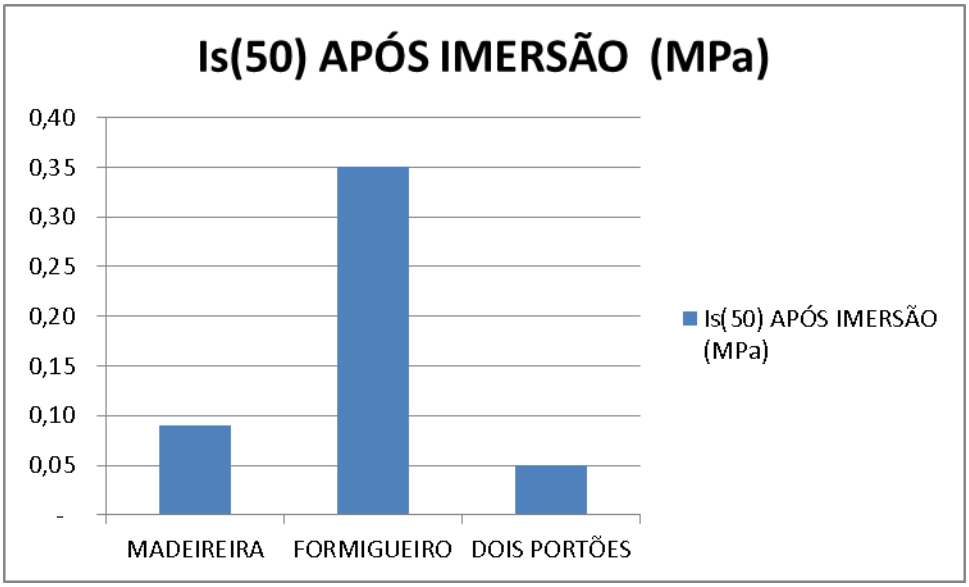
Fonte: Autor.

Figura 30: Resistência média para cada jazida



Fonte: Autor.

Figura 31: Resistência média para cada jazida



Fonte: Autor

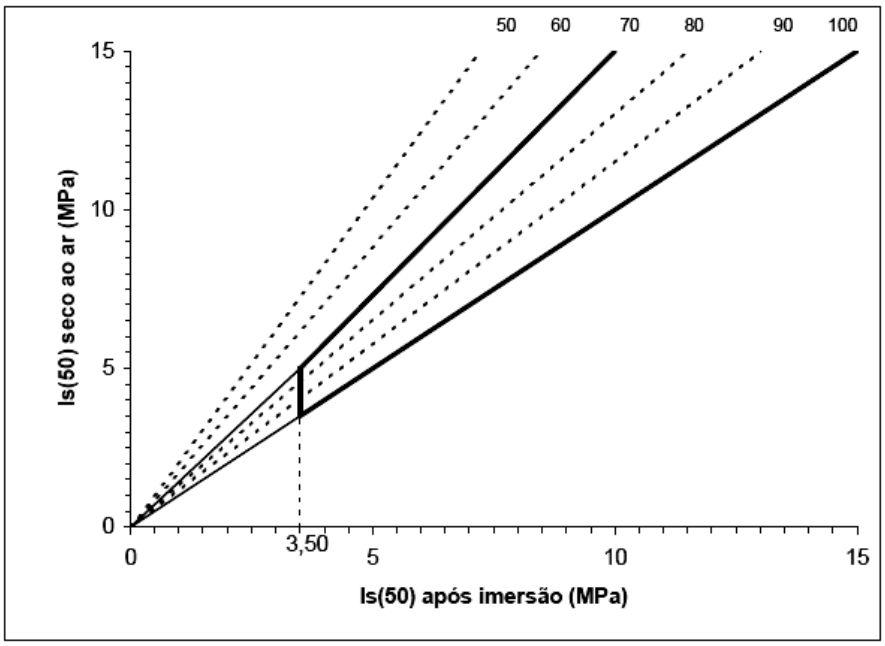
Tabela 15: Resultado dos ensaios de compressão puntiforme, Arnold (1993)

AMOSTRA	Is(50) SECO AO AR (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO (MPa)	Is(50) APÓS IMERSÃO / Is(50) SECO AO AR
A1	11,30	8,55	0,8
A2	0,32	0,07	0,2
B1	8,30	5,75	0,7
B2	9,95	9,60	1,0
C1	11,30	9,60	0,8
C2	7,50	5,95	0,8
D1	5,50	2,20	0,4
D2	5,75	4,10	0,7
E1	3,85	3,80	1,0
E2	1,70	1,20	0,7
F1	7,20	6,85	1,0
F2	4,90	3,65	0,7
G1	11,05	10,1	0,9
G2	12,10	8,70	0,7

O material ensaiado neste trabalho tinha um diâmetro médio maior do que os estudados por Arnold (1993), ou seja, valores acima de 5cm, fator que proporcionou resultados menores na resistência à compressão puntiforme, já que o cálculo leva em consideração a carga necessária para ruptura e o diâmetro médio, ficando possível perceber a diferença na resistência de ruptura dos corpos de prova, onde aparentemente o material estudado pelo autor apresenta valores menores.

De acordo com o campo de aceitação, rochas com resistência menor do que 3,5 Mpa e coeficiente de Is(50) após imersão/Is(50) seco ao ar menor que 0,7 serão desprezados, o material em estudo não se enquadraria no critério proposto.

Figura 32: Campo de aceitação de rochas basálticas alteradas segundo Arnold (1993)



Fonte: Arnold (1993).

A fim de investigar a resistência de rochas com diâmetro equivalente menor, foram ensaiados 3 amostras de rochas da jazida de Formigueiro. Para redução do tamanho do agregado, foi utilizada uma pequena marreta. Na figura 33 é possível perceber que o ensaio foi realizado com uma rocha menor.

Figura 33: Material de menor diâmetro

Fonte: Autor.

As tabelas 16 e 17 trazem os resultados dos ensaios que justificam a necessidade da redução do diâmetro do material como forma de enquadramento no critério proposto.

Tabela 16: Rochas com diâmetros menores

Amostra 1

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	3,55	cm
Largura do corpo de prova (W)	4,15	cm
Carga de ruptura	15,75	KN
De (Diâmetro equivalente)	3,74	cm²
F (fator de correção)	0,31	
Is	11,25	Mpa
Is(50)	3,50	Mpa

Amostra 2

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	2,85	cm
Largura do corpo de prova (W)	3,90	cm
Carga de ruptura	13,18	KN
De (Diâmetro equivalente)	3,37	cm²
F (fator de correção)	0,30	
Is	11,58	Mpa
Is(50)	3,44	Mpa

Amostra 3

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	3,80	cm
Largura do corpo de prova (W)	4,15	cm
Carga de ruptura	18,25	KN
De (Diâmetro equivalente)	3,46	cm²
F (fator de correção)	0,30	
Is	15,28	Mpa
Is(50)	4,59	Mpa

Fonte: Autor.

Tabela 17: Resultados dos ensaios de compressão puntiforme de rochas com diâmetro menores

AMOSTRA	Is(50) SECO AO AR (MPa)
1	3,50
2	3,44
3	4,59
MÉDIA	3,85

Fonte: Autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões do trabalho e algumas sugestões para novas pesquisas.

Os materiais coletados nas três jazidas apresentaram valores satisfatórios na perda de massa por abrasão, como já foi descrito nos capítulos anteriores. Visualmente o basalto Formigueiro possuía características de ser uma rocha mais dura, justamente a qual atingiu melhores resultados no ensaio.

Para a perda por ataques a sulfatos, a amostra Formigueiro também correspondeu com melhores resultados perante as demais, porém, segundo as especificações do DAER/RS, para este ensaio, nenhuma das jazidas apresentou material com desempenho satisfatório. Contudo, é cedo para descartar o uso do basalto alterado da jazida Formigueiro, levando em conta que a bibliografia, em outro capítulo deste material, considera os ensaios de sanidades a sulfatos extremamente agressivos, podendo levar ao descarte materiais, que com estudos mais aprofundados, pederiam ser utilizados na estrutura de pavimentos rodoviários, que possuam um tráfego, como alternativa econômica.

De posse dos resultados dos ensaios de compressão puntiforme, primeiramente é provável a interpretação de que a resistência ficou abaixo do desejado, no entanto as dimensões dos corpos de prova, acima de 5 cm, pressionaram, os valores da resistência, já que o cálculo basicamente é uma relação da força aplicada, pelo diâmetro médio do corpo de prova, tornando interessante em uma futura pesquisa, reduzir o diâmetro do material, usando a britagem. Na sequência da pesquisa, com os resultados dos ensaios de compressão puntiforme, é possível avaliar o material por um critério desenvolvido por Arnold (1993), que possui relação com os ensaios de sanidade a sulfatos, onde a razão da resistência à

compressão dos corpos de prova secos, pela resistência dos corpos de prova submersos em água por sete dias devem ser maiores que 0,7.

Através deste estudo, é possível perceber a relação da resistência a sulfatos com a razão pela compressão puntiforme, e concluir que o material de estudo dessa pesquisa apresentou valores menores que o recomendado.

Sendo assim, é aconselhável usar apenas o material da jazida de formigueiro como sub-base, tomando o cuidado de executar uma boa drenagem, para que não ocorram ciclos de molhagem, que naturalmente pela fragilidade desta rocha provocaria maior alteração e defeitos prematuros no pavimento.

Sugestões para futuras pesquisas:

- estudar o comportamento mecânico destes materiais utilizando granulometrias mais uniformes e mais densas, usando material britado, a fim de reduzir o diâmetro máximo, visando encontrar possíveis resultados de resistência maior no ensaio de compressão puntiforme;
- caracterizar mais pontos de amostragem;
- realizar ensaios de deformações permanentes com maiores números de ciclos para diferentes granulometrias, variando o estado de tensões aplicado e o grau de compactação;
- construção e monitoração de trecho experimental;
- estudar o comportamento mecânico dos materiais depositados nas jazidas, avaliando a influência do tempo de exposição ao intemperismo;
- realizar estudos de viabilidade econômica das alternativas do uso deste material como sub-base de pavimentos flexíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, G. P.; NÚÑEZ, W.P.; CERATTI, J.P.; OLIVEIRA, J.A. de. **Basaltos Alterados: Protocolo DAER/RS/UFRGS Redescobre Agregado para Pavimentação no Rio Grande do Sul.** In: Boletim SUDAER/RS, Porto Alegre, p. 6-12, setem.,1999.

ARNOLD. G. P. **Estudo do Comportamento Mecânico de Basaltos Alterados do Rio Grande do Sul para Emprego em Pavimentos Rodoviários.** 1993. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7207/82 – **Definição de Pavimento** - Especificação. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 – **Agregados Para Concreto** – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 7389 – **Apreciação Petrográfica de Materiais Naturais, para Utilização como Agregado em Concreto.** São Paulo, 1992.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p., il. color.

BERNUCCI, L. B. [et al.]. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica Para Engenheiros:** PETROBRAS: ABEDA, 2008. 504 f.:il.

BESSA, I.S. et al (2010). **Avaliação Da Resistência Ao Polimento E À Degradação De Agregados Utilizando A Abrasão Los Angeles e o Processamento Digital De Imagens**. Universidade Federal do Ceará - Departamento de Engenharia de Transportes - Laboratório de Mecânica dos Pavimentos.

BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA MARIO OSORIO MARQUES (org.). **Trabalhos acadêmicos**: apresentação, referências e citações. 2. ed. Ijuí: Ed. UNIJUÍ, 2014. (Cadernos UNIJUÍ; Série Educação, 85).

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Institutos de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação.** 3.ed. Rio de Janeiro, 2006. 274 p. (IPR. Publ,. 719).

CASAGRANDE, L.P. **Estudo da Influência do Teor de Finos na Condutividade Hidráulica e Deformabilidade Elástica de Britas.** 2003. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

CNT (2013), pg. 13.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DAER/RS-ES-P 04/91: **Sub-base Granular.** Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DAER/RS-ES-P 08/91: **Base Granular.** Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DAER/RS-RS-EL 103/01: **Determinação da Abrasão "Los Angeles" de Agregados**. Porto Alegre, 2001.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DAER/RS-RS-EL 104/01: **Determinação da Sanidade de Agregados pelo Uso do Sulfato de Sódio. Porto Alegre,** 2001.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DAER/RS-RS-EL 111/01: **Determinação da Degradação Washington.** Porto Alegre, 2001.

FIORENTINI, J. A. **Avaliação da Durabilidade, Abrasividade e Dureza das Rochas Vulcânicas da Formação Serra Geral.** 2002. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

GOMES, R. L. **Características Tecnológicas e Alterabilidade dos Compartimentos Entablamento e Colunata de Derrames Basálticos da Porção Setentorial da Bacia do Paraná, SP,** 2001.385p. Tese "Doutorado em Engenharia – Área: Geotecnia" Universidade de São Paulo. São Carlos.

JUCHEM, P. L. 1999 **Mineralogia, geologia e gênese dos depósitos de ametista da região do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul. São Paulo**, 225 p. (Tese - Doutorado) Curso de Pós Graduação em Geociências, programa de mineralogia aplicada. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

LEINZ, V. **Contribuição à Geologia dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil.**1949. 61p. FFCL-USP. Boletim C IIII ,Geologia. São Paulo.

Manual do Asfalto, Instituto do Asfalto.599 p.

MEDINA, J. – **Mecânica dos Pavimentos**, Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997. 380p.

Núñez, W. P. et al. **Análise Experimental de Pavimento com Camadas Estruturais em Basalto alterado a Construção das Pistas Experimentais,** 1996. Salvador-BA. 30ª Reunião Anual de pavimentação.

Núñez, W. P. et al. **Um Método de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários Delgados com Basaltos Alterados,** 1998. São Paulo - SP. 31ª Reunião Anual de pavimentação.

PALMA, P. S. **Estudo dos Rejeitos de Garimpo de Ametista do Distrito Mineral do Alto Uruguai, RS.** 2003.65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária. Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis.** Rio de Janeiro: Copiarte, 2002

RETORE, T. S. **Comportamento Mecânico de Agregados de Basalto Alterados Para Pavimentação, Rejeitos de Ametista, RS**, 2005.127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

SENÇO, W.– **Manual de Técnicas de Pavimentação, volume I** – São Paulo: Pini, 1997. 746p.

SENÇO, W.– **Manual de Técnicas de Pavimentação, volume II** – São Paulo: Pini, 2001. 671p.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorparação de Borracha Reciclada de Pneus**, Porto Alegre, 2004. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil) – UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

WAYHS, C. A. S. P. **Estudo de Materiais Alternativos Utilizados em Pavimentação de Baixo Custo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul, RS**, 2003.87p.Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Oliveira Nunez 1997.

WESSELING, Diego Henrique. **Avaliação Laboratorial do Comportamento de Misturas em Concreto Asfáltico**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2002.

ANEXOS

ANEXO A – FOLHAS DE ENSAIOS

ENSAIOS DE COMPRESSÃO PUNTIFORME – MADEIREIRA

Amostra 1

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	8,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,00	cm
Carga de ruptura	12,95	KN
De(Diâmetro equivalente)	18,38	cm²
F(fator de correção)	0,64	
Is	0,38	Mpa
Is(50)	0,24	Mpa

Amostra 2

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	8,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	5,70	cm
Carga de ruptura	7,36	KN
De(Diâmetro equivalente)	26,33	cm²
F(fator de correção)	0,75	
Is	0,11	Mpa
Is(50)	0,08	Mpa

Amostra 3

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	9,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,00	cm
Carga de ruptura	17,27	KN
De(Diâmetro equivalente)	15,40	cm²
F(fator de correção)	0,59	
Is	0,73	Mpa
Is(50)	0,43	Mpa

Amostra 4

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	9,40	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,80	cm
Carga de ruptura	6,97	KN
De(Diâmetro equivalente)	42,08	cm²
F(fator de correção)	0,93	
Is	0,04	Mpa
Is(50)	0,04	Mpa

Amostra 5

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	10,00	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,50	cm
Carga de ruptura	5,50	KN
De(Diâmetro equivalente)	54,55	cm²
F(fator de correção)	1,04	
Is	0,02	Mpa
Is(50)	0,02	Mpa

Amostra 6

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	7,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,50	cm
Carga de ruptura	9,03	KN
De(Diâmetro equivalente)	24,92	cm²
F(fator de correção)	0,73	
Is	0,15	Mpa
Is(50)	0,11	Mpa

Amostra 7

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	7,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,00	cm
Carga de ruptura	13,34	KN
De(Diâmetro equivalente)	15,74	cm²
F(fator de correção)	0,59	
Is	0,54	Mpa
Is(50)	0,32	Mpa

Amostra 8

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	7,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	5,50	cm
Carga de ruptura	6,67	KN
De(Diâmetro equivalente)	24,74	cm²
F(fator de correção)	0,73	
Is	0,11	Mpa
Is(50)	0,08	Mpa

Amostra 9

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	8,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,80	cm
Carga de ruptura	4,90	KN
De(Diâmetro equivalente)	54,12	cm²
F(fator de correção)	1,04	
Is	0,02	Mpa
Is(50)	0,02	Mpa

Amostra 10

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	10,00	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,00	cm
Carga de ruptura	27,57	KN
De(Diâmetro equivalente)	10,16	cm²
F(fator de correção)	0,49	
Is	2,67	Mpa
Is(50)	1,30	Mpa

Amostra 1

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	12,20	cm
Largura do corpo de prova (W)	12,20	cm
Carga de ruptura	12,36	KN
De(Diâmetro equivalente)	48,17	cm²
F(fator de correção)	0,98	
Is	0,05	Mpa
Is(50)	0,05	Mpa

Amostra 2

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	8,97	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,29	cm
Carga de ruptura	19,07	KN
De(Diâmetro equivalente)	19,36	cm²
F(fator de correção)	0,65	
Is	0,51	Mpa
Is(50)	0,33	Mpa

Amostra 3

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	7,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,80	cm
Carga de ruptura	10,73	KN
De(Diâmetro equivalente)	30,20	cm²
F(fator de correção)	0,80	
Is	0,12	Mpa
Is(50)	0,09	Mpa

Amostra 4

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	7,53	cm
Largura do corpo de prova (W)	11,70	cm
Carga de ruptura	14,61	KN
De(Diâmetro equivalente)	24,12	cm²
F(fator de correção)	0,72	
Is	0,25	Mpa
Is(50)	0,18	Mpa

Amostra 5

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	6,58	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,68	cm
Carga de ruptura	5,81	KN
De(Diâmetro equivalente)	48,38	cm²
F(fator de correção)	0,99	
Is	0,02	Mpa
Is(50)	0,02	Mpa

Amostra 6

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	6,42	Cm
Largura do corpo de prova (W)	10,29	Cm
Carga de ruptura	11,18	KN
De(Diâmetro equivalente)	23,64	cm²
F(fator de correção)	0,71	
Is	0,20	Mpa
Is(50)	0,14	Mpa

Amostra 7

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	4,70	Cm
Largura do corpo de prova (W)	10,30	Cm
Carga de ruptura	10,34	KN
De(Diâmetro equivalente)	144,51	cm²
F(fator de correção)	1,61	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

Amostra 8

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	4,90	Cm
Largura do corpo de prova (W)	8,42	Cm
Carga de ruptura	6,18	KN
De(Diâmetro equivalente)	26,70	cm²
F(fator de correção)	0,75	
Is	0,09	Mpa
Is(50)	0,07	Mpa

Amostra 9

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	4,50	Cm
Largura do corpo de prova (W)	9,30	Cm
Carga de ruptura	2,05	KN
De(Diâmetro equivalente)	81,66	cm²
F(fator de correção)	1,25	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

Amostra 10

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	6,60	Cm
Largura do corpo de prova (W)	7,70	Cm
Carga de ruptura	2,35	KN
De(Diâmetro equivalente)	86,50	cm²
F(fator de correção)	1,28	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

ANEXO B – FOLHAS DE ENSAIOS

ENSAIOS DE COMPRESSÃO PUNTIFORME – FORMIGUEIRO

Amostra 1

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	7,00	cm
Largura do corpo de prova (W)	8,00	cm
Carga de ruptura	20,80	KN
De(Diâmetro equivalente)	10,77	cm²
F(fator de correção)	0,50	
Is	1,79	Mpa
Is(50)	0,90	Mpa

Amostra 2

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	4,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	5,50	cm
Carga de ruptura	7,35	KN
De(Diâmetro equivalente)	13,47	cm²
F(fator de correção)	0,55	
Is	0,41	Mpa
Is(50)	0,22	Mpa

Amostra 3

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	7,20	cm
Largura do corpo de prova (W)	8,00	cm
Carga de ruptura	21,15	KN
De(Diâmetro equivalente)	10,89	cm²
F(fator de correção)	0,50	
Is	1,78	Mpa
Is(50)	0,90	Mpa

Amostra 4

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,50	Cm
Largura do corpo de prova (W)	7,00	Cm
Carga de ruptura	17,67	KN
De(Diâmetro equivalente)	10,30	cm²
F(fator de correção)	0,49	
Is	1,67	Mpa
Is(50)	0,82	Mpa

Amostra 5

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,00	Cm
Largura do corpo de prova (W)	7,00	Cm
Carga de ruptura	6,20	KN
De(Diâmetro equivalente)	27,10	cm²
F(fator de correção)	0,76	
Is	0,08	Mpa
Is(50)	0,06	Mpa

Amostra 6

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	3,30	Cm
Largura do corpo de prova (W)	6,00	Cm
Carga de ruptura	16,77	KN
De(Diâmetro equivalente)	4,72	cm²
F(fator de correção)	0,35	
Is	7,52	Mpa
Is(50)	2,60	Mpa

Amostra 7

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	4,70	Cm
Largura do corpo de prova (W)	6,00	Cm
Carga de ruptura	7,06	KN
De(Diâmetro equivalente)	15,98	cm²
F(fator de correção)	0,60	
Is	0,28	Mpa
Is(50)	0,17	Mpa

Amostra 8

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,50	Cm
Largura do corpo de prova (W)	5,50	Cm
Carga de ruptura	30,68	KN
De(Diâmetro equivalente)	4,66	cm²
F(fator de correção)	0,34	
Is	14,12	Mpa
Is(50)	4,85	Mpa

Amostra 9

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	5,50	Cm
Largura do corpo de prova (W)	5,50	Cm
Carga de ruptura	4,31	KN
De(Diâmetro equivalente)	28,07	cm²
F(fator de correção)	0,77	
Is	0,05	Mpa
Is(50)	0,04	Mpa

Amostra 10

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	4,50	Cm
Largura do corpo de prova (W)	4,50	Cm
Carga de ruptura	5,60	KN
De(Diâmetro equivalente)	14,46	cm²
F(fator de correção)	0,57	
Is	0,27	Mpa
Is(50)	0,15	Mpa

Amostra 1

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	8,07	cm
Largura do corpo de prova (W)	9,58	cm
Carga de ruptura	4,48	KN
De(Diâmetro equivalente)	69,03	cm²
F(fator de correção)	1,16	
Is	0,01	Mpa
Is(50)	0,01	Mpa

Amostra 2

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	7,80	cm
Largura do corpo de prova (W)	12,36	cm
Carga de ruptura	30,31	KN
De(Diâmetro equivalente)	12,72	cm²
F(fator de correção)	0,54	
Is	1,87	Mpa
Is(50)	1,01	Mpa

Amostra 3

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	6,07	cm
Largura do corpo de prova (W)	8,75	cm
Carga de ruptura	24,62	KN
De(Diâmetro equivalente)	8,63	cm²
F(fator de correção)	0,45	
Is	3,31	Mpa
Is(50)	1,50	Mpa

Amostra 4

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	6,31	cm
Largura do corpo de prova (W)	9,47	cm
Carga de ruptura	10,91	KN
De(Diâmetro equivalente)	21,91	cm²
F(fator de correção)	0,69	
Is	0,23	Mpa
Is(50)	0,16	Mpa

Amostra 5

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	6,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,70	cm
Carga de ruptura	5,48	KN
De(Diâmetro equivalente)	50,77	cm²
F(fator de correção)	1,01	
Is	0,02	Mpa
Is(50)	0,02	Mpa

Amostra 6

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	5,10	cm
Largura do corpo de prova (W)	8,10	Cm
Carga de ruptura	3,80	KN
De(Diâmetro equivalente)	43,48	cm²
F(fator de correção)	0,94	
Is	0,02	Mpa
Is(50)	0,02	Mpa

Amostra 7

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	6,40	Cm
Largura do corpo de prova (W)	8,60	Cm
Carga de ruptura	18,00	KN
De(Diâmetro equivalente)	12,23	cm²
F(fator de correção)	0,53	
Is	1,20	Mpa
Is(50)	0,64	Mpa

Amostra 8

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	6,50	Cm
Largura do corpo de prova (W)	15,00	cm
Carga de ruptura	18,94	KN
De(Diâmetro equivalente)	20,59	cm²
F(fator de correção)	0,67	
Is	0,45	Mpa
Is(50)	0,30	Mpa

Amostra 9

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	4,80	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,50	cm
Carga de ruptura	4,35	KN
De(Diâmetro equivalente)	46,34	cm²
F(fator de correção)	0,97	
Is	0,02	Mpa
Is(50)	0,02	Mpa

Amostra 10

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	4,90	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,20	cm
Carga de ruptura	14,57	KN
De(Diâmetro equivalente)	13,72	cm²
F(fator de correção)	0,56	
Is	0,77	Mpa
Is(50)	0,43	Mpa

ANEXO C – FOLHAS DE ENSAIOS

ENSAIOS DE COMPRESSÃO PUNTIFORME – DOIS PORTÕES

Amostra 1

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	5,20	cm
Largura do corpo de prova (W)	8,80	cm
Carga de ruptura	8,65	KN
De(Diâmetro equivalente)	21,16	cm²
F(fator de correção)	0,68	
Is	0,19	Mpa
Is(50)	0,13	Mpa

Amostra 2

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	7,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,50	cm
Carga de ruptura	1,93	KN
De(Diâmetro equivalente)	116,58	cm²
F(fator de correção)	1,46	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

Amostra 3

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	5,90	cm
Largura do corpo de prova (W)	8,60	cm
Carga de ruptura	15,78	KN
De(Diâmetro equivalente)	12,86	cm²
F(fator de correção)	0,54	
Is	0,95	Mpa
Is(50)	0,52	Mpa

Amostra 4

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	7,20	cm
Largura do corpo de prova (W)	9,20	cm
Carga de ruptura	15,30	KN
De(Diâmetro equivalente)	17,32	cm²
F(fator de correção)	0,62	
Is	0,51	Mpa
Is(50)	0,32	Mpa

Amostra 5

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,40	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,80	cm
Carga de ruptura	5,00	KN
De(Diâmetro equivalente)	39,94	cm²
F(fator de correção)	0,90	
Is	0,03	Mpa
Is(50)	0,03	Mpa

Amostra 6

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,80	cm
Largura do corpo de prova (W)	9,00	cm
Carga de ruptura	1,88	KN
De(Diâmetro equivalente)	130,21	cm²
F(fator de correção)	1,54	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

Amostra 7

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	5,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	8,40	cm
Carga de ruptura	8,16	KN
De(Diâmetro equivalente)	22,65	cm²
F(fator de correção)	0,70	
Is	0,16	Mpa
Is(50)	0,11	Mpa

Amostra 8

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,80	cm
Largura do corpo de prova (W)	6,80	cm
Carga de ruptura	2,94	KN
De(Diâmetro equivalente)	62,91	cm²
F(fator de correção)	1,11	
Is	0,01	Mpa
Is(50)	0,01	Mpa

Amostra 9

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,00	cm
Carga de ruptura	3,30	KN
De(Diâmetro equivalente)	55,15	cm²
F(fator de correção)	1,05	
Is	0,01	Mpa
Is(50)	0,01	Mpa

Amostra 10

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	5,40	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,50	cm
Carga de ruptura	3,70	KN
De(Diâmetro equivalente)	43,78	cm²
F(fator de correção)	0,94	
Is	0,02	Mpa
Is(50)	0,02	Mpa

Amostra 1

	Imersos por 7 dias	
Altura do corpo de prova (D)	8,60	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,90	cm
Carga de ruptura	1,86	KN
De(Diâmetro equivalente)	201,59	cm²
F(fator de correção)	1,87	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

Amostra 2

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,40	cm
Largura do corpo de prova (W)	11,90	cm
Carga de ruptura	14,13	KN
De(Diâmetro equivalente)	21,56	cm²
F(fator de correção)	0,68	
Is	0,30	Mpa
Is(50)	0,21	Mpa

Amostra 3

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,20	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,90	cm
Carga de ruptura	2,45	KN
De(Diâmetro equivalente)	110,33	cm²
F(fator de correção)	1,43	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

Amostra 4

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	7,20	cm
Largura do corpo de prova (W)	9,10	cm
Carga de ruptura	13,83	KN
De(Diâmetro equivalente)	18,95	cm²
F(fator de correção)	0,65	
Is	0,39	Mpa
Is(50)	0,25	Mpa

Amostra 5

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,20	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,10	cm
Carga de ruptura	4,04	KN
De(Diâmetro equivalente)	62,00	cm²
F(fator de correção)	1,10	
Is	0,01	Mpa
Is(50)	0,01	Mpa

Amostra 6

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,30	cm
Carga de ruptura	1,76	KN
De(Diâmetro equivalente)	107,84	cm²
F(fator de correção)	1,41	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

Amostra 7

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	6,17	cm
Largura do corpo de prova (W)	8,90	cm
Carga de ruptura	2,53	KN
De(Diâmetro equivalente)	86,82	cm²
F(fator de correção)	1,28	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa

Amostra 8

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	4,90	cm
Largura do corpo de prova (W)	9,10	cm
Carga de ruptura	4,31	KN
De(Diâmetro equivalente)	41,38	cm²
F(fator de correção)	0,92	
Is	0,03	Mpa
Is(50)	0,02	Mpa

Amostra 9

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	5,75	cm
Largura do corpo de prova (W)	7,50	cm
Carga de ruptura	3,22	KN
De(Diâmetro equivalente)	53,57	cm²
F(fator de correção)	1,03	
Is	0,01	Mpa
Is(50)	0,01	Mpa

Amostra 10

	Secos ao ar	
Altura do corpo de prova (D)	4,50	cm
Largura do corpo de prova (W)	10,75	cm
Carga de ruptura	1,69	KN
De(Diâmetro equivalente)	114,50	cm²
F(fator de correção)	1,45	
Is	0,00	Mpa
Is(50)	0,00	Mpa