

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS LARA ROHDE

**ANÁLISE DE ENSAIOS ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA:
DETERMINAÇÃO DE TRAÇO ÓTIMO DE SOLO-BRITA COM MATERIAIS DE
ALEGRETE-RS**

Alegrete

2023

LUCAS LARA ROHDE

**ANÁLISE DE ENSAIOS ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA:
DETERMINAÇÃO DE TRAÇO ÓTIMO DE SOLO-BRITA COM MATERIAIS DE
ALEGRETE-RS**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao
Curso de
Engenharia Civil da
Universidade Federal do
Pampa, como requisito
parcial para obtenção do
Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 25 de janeiro de
2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. WILBER FELICIANO CHAMBI TAPAHUASCO - UNIPAMPA -
Orientador

Prof. Dr. DIEGO ARTHUR HARTMANN - UNIPAMPA

Eng. Me. FABIANO GARCIA OLIVEIRA - Membro externo



Assinado eletronicamente por **DIEGO ARTHUR HARTMANN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/02/2023, às 18:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FABIANO GARCIA OLIVEIRA, Usuário Externo**, em 04/02/2023, às 12:01, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **WILBER FELICIANO CHAMBI TAPAHUASCO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/02/2023, às 10:42, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1047422** e o código CRC **C216021D**.

LUCAS LARA ROHDE

**ANÁLISE DE ENSAIOS ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA:
DETERMINAÇÃO DE TRAÇO ÓTIMO DE SOLO-BRITA COM MATERIAIS DE
ALEGRETE-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Wilber Feliciano Chambi
Tapahuasco

Alegrete

2023

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

R737a Rohde, Lucas Lara

Análise de Ensaios de Índice de Suporte Califórnia para
Determinação de Traço Ótimo de Solo-Brita com Materiais de
Alegrete-RS / Lucas Lara Rohde.

50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA CIVIL, 2023.

"Orientação: Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco".

1. Pavimentação. 2. Revestimento Primário. 3. Solo-Brita.
4. Índice Suporte Califórnia. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Wilber Chambi Tapahuasco pelo acolhimento nesse período. A Milena e Joaquim pela imensa ajuda durante a realização dos ensaios e a todos os demais que de alguma forma ajudaram neste processo, aos técnicos, a equipe de segurança do campus e os demais colegas que fizeram parte do convívio nestes dias. Um agradecimento especial também ao professor Diego Hartmann e ao Fabiano Oliveira por aceitarem participar de minha banca

Aos professores que participaram da minha formação e suas contribuições a minha jornada, nestes longos anos. Um abraço especial aos amigos colegas que obtive nesse tempo, ao pessoal da TAN, ao Rafael, Diego, Davi, Marcelo, Icaro e geral. Aos amigos que já estavam antes meu muito obrigado pela companhia e amizade.

O meu muito obrigado a minha família por estar sempre ao meu lado e confiar que poderia vencer este desafio, sem vocês nada disso teria acontecido. Por fim um obrigado a Unipampa que me proporcionou uma excelente graduação na profissão que escolhi.

Por fim um muito obrigado ao meu amorção marina pela companhia e apoio incansáveis durante todo esse tempo, te amo!

“Procuro ferramentas e peças, sem
pressa, o processo me interessa e ainda
alcanço o resultado desejado ”.

KAMAU

RESUMO

Devido a importância do modal rodoviário para a Sociedade Brasileira, sendo o seu principal meio de transporte de pessoas e cargas. E sabendo que dentro da extensa malha rodoviária utilizada existe uma proporção considerável de rodovias não pavimentadas de características locais, com baixo volume de tráfego e que demandam soluções de baixo custo na sua construção e manutenção. O presente estudo tem como objetivo ensaiar materiais encontrados na região de Alegrete-RS, com o intuito de avaliar o seu desempenho como material de uso rodoviário, focando na utilização em rodovias locais não pavimentadas e como camada de revestimento primário. Após a devida coleta e caracterização das amostras dos materiais utilizados, foram realizados ensaios de Índice de Suporte Califórnia, com energia de compactação intermediária, para 4 proporções distintas de solo e brita 1. Seus resultados foram apresentados e analisados de acordo com as normas técnicas referentes. Como resultados obtidos constatou-se que todas as misturas têm potencial para serem utilizadas de camada de sub-base e de revestimento primário para rodovias não pavimentadas por apresentarem $ISC_{máx} \geq 20\%$. No final os resultados foram comparados e considerado que a proporção de mistura com melhor desempenho foi a de 30% apresentando a segunda maior densidade máxima e $ISC_{máx}$. Recomenda-se consolidar este resultado com ensaios de módulo de resiliência afim de aferir a durabilidade de cada mistura.

Palavras-Chave: Estradas de terra, Solo-Brita, Estabilização Granulométrica.

ABSTRACT

Due to the importance of the road modal for the Brazilian Society, being its main means of transporting cargo and people. And knowing that within the extensive road network used. There is a considerable proportion of unpaved roads with local characteristics, with low traffic volume and that demands low-cost solutions in their construction and maintenance. The present study aims to test materials found in the region of Alegrete-RS, in order to evaluate its performance as a material for road use, focusing on its use on local unpaved roads and as a primary coating layer. After properly collecting and characterizing the samples of the materials used, California Support Ratio tests were carried out, with intermediate compaction energy, for 4 different proportions of soil and gravel. Their results were presented and analyzed in accordance with the relevant technical standards. . As results obtained, it was found that all mixtures have the potential to be used as a sub-base layer and primary coating for unpaved roads because they present $ISC_{max} \geq 20\%$. At the end, the results were compared and it was considered that the mixture proportion with the best performance was 30%, presenting the second highest maximum density and ISC_{max} . It is recommended to consolidate this result with modulus of resilience tests in order to assess the durability of each mixture.

Keywords: Gravel Roads; Gravel-Soil; Granulometric Stabilization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Camadas de pavimento com revestimento primário	17
Figura 2: Classificação das bases e Sub-bases flexíveis e semirrígidas	20
Figura 4: Gráfico da Massa específica seca máxima teor de umidade do solo.	23
Figura 5: Gráfico de ISC máximo.....	23
Figura 6: Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul	24
Figura 7: Mapa de Solos do RS.....	25
Figura 8: Mapa de Geodiversidade, Região Ampliada de Alegrete.	26
Figura 9: Localização das Jazidas.....	27
Figura 10: Jazida do solo.....	28
Figura 11: Jazida do material Britado.	28
Figura 12: Registro da Coleta de Solos	29
Figura 13: Solo em preparação.....	29
Figura 14: Amostras do Ensaio de Consistência, LL e LP.....	30
Figura 15: Ensaio de limite de plasticidade.....	31
Figura 16: Ensaio de granulometria por sedimentação.....	31
Figura 17: Registro de ensaio de compactação.....	33
Figura 18: Registro de um ensaio de Expansão.....	33
Figura 19: Ensaio de penetração.....	33
Figura 20: Curva Granulométrica do Solo com sedimentação.....	36
Figura 21: Resultados para o Limite de Liquidez.....	37
Figura 22: Curva Granulométrica do Agregado Graúdo.	38
Figura 23: Resultados ISC -Solo-Brita 100% com Energia Intermediária.....	40
Figura 24: Resultados ISC -Solo-Brita 40% de solo.	41
Figura 25: Resultados ISC -Solo-Brita 30% de solo.	42
Figura 26: Resultados ISC -Solo-Brita 20% de solo.	43
Figura 27: Comparação entre os resultados por teor de solo na mistura.	45
Figura 28: Comparação entre as granulometrias ensaiadas e referência.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos materiais AASHTO.....	18
Tabela 2: Classificação TRB.....	19
Tabela 3 : Faixas granulométricas de referência.	21
Tabela 4: Curva de referencia para Estabilização Granulométrica.....	22
Tabela 5: Coordenadas das Jazidas.	27
Tabela 6: Misturas empregadas no trabalho.....	32
Tabela 7: Resultado do ensaio de massa específica dos grãos.....	35
Tabela 8: porcentagem passante por categoria de material.	36
Tabela 9: Propriedades Físicas do Agregado Graúdo.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

CBR – California Bearing Ratio

DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre

ISC – Índice de Suporte California

IP – Índice de plasticidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

NBR – Norma Brasileira

TRB – Transportation Research Board

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	Objetivos.....	14
1.1.1.	Objetivo Geral.....	14
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	15
1.2.	Estrutura Do Trabalho.....	15
2.	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1.	Estradas De Terra	16
2.1.1.	Seção transversal do pavimento e classificação das rodovias	17
2.1.2.	Materiais utilizados em estradas de terra	18
2.2.	Revestimento Primário E Estabilização Granulométrica.....	19
2.2.1.	Requisitos Normativos Para Bases E Sub-bases	20
2.2.2.	Métodos para dosagem de componentes.....	21
2.2.3.	NBR 12053 – Solo-Brita - Determinação De Dosagem	23
3.	METODOLOGIA	24
3.1.	Solos Da Fronteira Oeste	24
3.2.	Localização Das Jazidas	27
3.3.	Ensaio para a Caracterização Dos Materiais	30
3.3.1.	Solo.....	30
3.3.2.	Agregado Graúdo	32
3.4.	Ensaio Índice De Suporte California	32
3.5.	Caracterização Dos Materiais Empregados.....	34
3.5.1.	Caracterização Do Solo Utilizado	34
3.5.2.	Caracterização do Agregado Graúdo	37
4.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
4.1.	Resultados Para As Misturas Ensaeadas	39
4.1.1.	M1 - 100% de Solo	40
4.1.2.	M2 - 40%de solo.....	41
4.1.3.	M3 - 30% de solo	42
4.1.4.	M4 - 20% de Solo	43
4.2.	Comparação Entre As Misturas	44
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6.	REFERÊNCIAS	50
7.	ANEXOS.....	52

1. INTRODUÇÃO

O modal rodoviário é o principal meio de transporte da infraestrutura brasileira, como visto em Arashiro (2021). É por ele que a maioria dos bens e pessoas transitam no País. Por isso, necessitam atenção especial tanto em sua concepção, quanto em sua manutenção e conservação.

Segundo o DAER-RS(2022), no Rio grande do Sul há 17.460,01 km de rodovias cadastradas. Sendo 13.950,30 km deles de rodovias pavimentadas e 3.509,71km não pavimentados. Além dos trechos citados há muitos outros trechos e vias não pavimentadas. Estes, geridos principalmente por municípios que em sua maioria são igualmente não pavimentados. Estas estradas, que podem ser chamadas de Vicinais, são muito importantes pois promovem o escoamento da produção de insumos, facilitam o acesso e promovem a integração demográfica territorial e cultural da região em que estão inseridas. (DER-SP, 2012)

Devido ao fato do modal rodoviário ser o principal modo de transporte brasileiro, é de fundamental importância sistematizar os conhecimentos e práticas empregados na concepção e execução deste tipo de pavimentação. De mesmo modo, deve-se focar na catalogação dos materiais locais, para que os mesmos possam ser empregados de maneira mais assertiva, econômica e eficiente.

Após a devida contextualização cabe apresentar brevemente o estudo. Que consistiu em realizar ensaios de Índice de Suporte Califórnia em 4 proporções distintas de solo-brita, a fim de comparar os seus desempenhos quanto a utilização em camadas de revestimento, focando em estradas de terra.

1.1. Objetivos

Nesta seção são delimitados os objetivos do trabalho, gerais e específicos, postulados para este Estudo.

1.1.1. Objetivo Geral

Como objetivo geral do trabalho tem-se o estudo das misturas de solo-brita com dois materiais oriundos do município de Alegrete-RS, para utilização como material de pavimentação rodoviária.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar diferentes proporções de solo-brita, com o intuito de encontrar a proporção mais eficiente em termos de compactação e resistência;
- Determinar possíveis usos para as misturas de solo-brita ensaiadas na construção e manutenção de rodovias não pavimentadas e de baixo custo.

1.2. Estrutura Do Trabalho

Nesta primeira seção foi apresentada uma breve introdução, contextualizando e justificando o presente trabalho. Assim como a delimitação do seu tema, os objetivos gerais e específicos e a estrutura textual desenvolvida para o trabalho.

A seguir, na segunda seção, é abordada brevemente a literatura existente no que tange a temas pertinentes ao trabalho. Em um primeiro momento, são aludidas as estradas de terra, vicinais, não pavimentadas e de revestimento primário. A seguir são citadas as suas normatizações e regulamentações em âmbito nacional e estadual e métodos de estabilização granulométrica. No terceiro momento são levantadas as características dos solos da região da fronteira oeste, mais especificamente do Município de Alegrete-RS, e da localidade da jazida.

Na terceira parte do trabalho, é tratada a metodologia empregada, os ensaios realizados e os resultados da caracterização dos materiais utilizados são apresentada. Logo depois é retratado ensaio comparativo (ISC) e o método utilizado para comparar os resultados.

Em seguida, na quarta seção, os resultados dos ensaios comparativos são apresentados, avaliados e discutidos. E Por fim na última seção são expostas as conclusões obtidas com o presente estudo e considerações para trabalhos futuros semelhantes.

2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é discutido o estado da arte da literatura referente aos temas pertinentes para a concepção e a execução do estudo.

2.1. Estradas De Terra

Para contextualização, faz-se necessária a conceitualização de estradas de terra. Onde possivelmente o material estudado será aplicado. Durante a revisão de literatura foram encontradas muitas definições para descrever este tipo de rodovia que geralmente são administradas por particulares ou municípios. Seus usos são frequentemente de função local ou coletora, em zonas rurais, possuindo baixo ou modesto padrão técnico e não pavimentadas. No presente estudo, o termo “Estradas de terra” (DNIT, 2005) é adotado, mas na literatura foram encontrados outros termos, como: “Estradas de Revestimento primário” (Fattori,2007), Estradas Vicinais (DER-SP, 2012) e “Estradas não Pavimentadas” (DAER-RS) para definir o mesmo tipo de estrutura em essência. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) define estradas de terra como:

“As rodovias intituladas de estradas de terra, a saber, não pavimentadas em termos de camadas betuminosas ou de concreto de Cimento Portland, compreendem as rodovias cuja superfície de rolamento é constituída dos materiais integrantes do próprio leito natural da via – ao qual são agregados, por vezes, materiais específicos outros, para melhorar o desempenho da rodovia.”(DNIT,2005, p.47)

Vale ressaltar que essas rodovias, por muitas vezes e principalmente em áreas rurais, são evoluções de trilhas e caminhos precários, remanescentes do início da ocupação do território. Logo, suas características técnicas são bastante modestas, sendo muitas vezes sinuosas e com muitas curvas (DER-SP,2012).

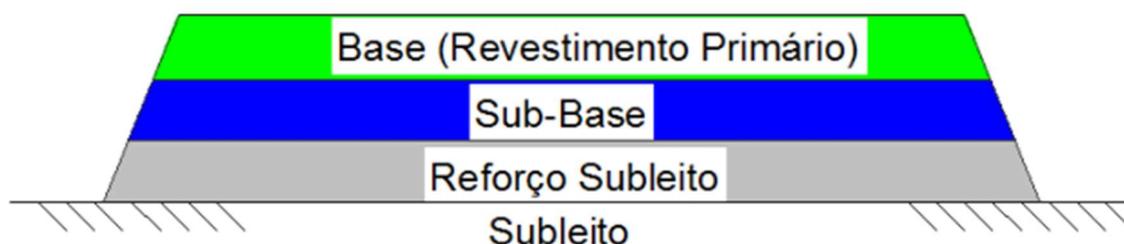
Ainda, segundo o Manual de Conservação de Pavimentos do DNIT(2012). “O Revestimento primário é uma camada de solo, com características adequadas, capaz de oferecer uma superfície de rolamento que assegure o tráfego em qualquer época do ano”. Uma última recomendação a se citar é que, a partir de certo Volume Diário Médio (VDM), em torno de 200 a 300 veículos, torna-se mais econômico pavimentar a estrada do que mantê-la com revestimento primário.

2.1.1. Seção transversal do pavimento e classificação das rodovias

Segundo Baesso (2003), existem 4 critérios de classificação de uma rodovia: 1- Quanto sua Administração: Federais, estaduais, municipais e particulares; 2 – Quanto sua classificação funcional: Arteriais, Coletoras e Locais; 3 – Quanto suas características físicas: Pavimentada ou não pavimentada, pistas simples ou duplas; 4- Quanto ao seu padrão técnico: classes baseadas em valores de rampas máximas, raios de curvas, larguras de pista, acostamento etc.

Tendo as descrições apresentadas em vista, pode-se dizer que as rodovias abordadas neste estudo têm como característica a ausência de camada de revestimento betuminoso ou de concreto. Assim, podendo ter apenas o subleito exposto, uma camada de revestimento primário ou mais camadas (base, sub-base e reforço/ do subleito) como representado na Figura abaixo (Rosso 2015).

Figura 1: Camadas de pavimento com revestimento primário



Fonte: Rosso (2015).

Desta maneira, Baesso (2003) classifica estas rodovias em Categorias de A a D, segundo os materiais que compõe sua superfície de rolamento, como discriminadas a seguir:

- Categoria A: estrada cujas superfícies são compostas por agregados naturais oriundos de jazidas e onde os materiais componentes atendem determinados parâmetros quanto a sua composição granulométrica.
- Categoria B: Estradas cuja superfície é composta por agregados produzidos artificialmente, na forma de camadas ou incorporados na sua base com o intuito de melhorar sua condição de suporte e trafegabilidade.

- Categoria C: Estradas cuja superfície de rolamento é constituída de materiais oriundos de jazidas de solos naturalmente estabilizados (Saibros) ou ainda outros materiais de granulometria semelhante.
- Categoria D: Estrada de traçado “pioneiro”, podendo ou não ter sofrido melhoramentos no gabarito de sua seção transversal. Sua superfície de rolamento é o próprio leito natural, não tendo sido agregado nenhum outro material inerte no intuito de melhorar suas condições de tráfego.

2.1.2. Materiais utilizados em estradas de terra

Os materiais utilizados em Estradas de Terra são normalmente aqueles encontrados na natureza em jazidas próximas à rodovia. Por se tratar de materiais encontrados no local, são heterogêneos em suas características. Por essa diferença de características e comportamentos é necessário classificá-los previamente a sua utilização. O DNIT adota a escala granulométrica baseada nos estudos da AASHTO para classificá-los (Fattori, 2007).

Tabela 1: Classificação dos materiais AASHTO

Frações Constituintes dos Solos	Diâmetro equivalente Entre: (mm)
Pedregulho	60,0 a 2,0
Areia Grossa	2,0 a 0,425
Areia Fina	0,425 a 0,075
Silte	0,075 a 0,005
Argila	Menor que 0,005

Fonte: ABNT NBR 6502:2022.

No que se refere aos materiais, as areias e pedregulhos são de granulação grossa, tendo seu comportamento pouco variável. Com o aumento do seu teor de umidade não apresentam coesão e sua resistência a deformação depende da disposição dos grãos e ao atrito entre eles. Os siltes são materiais intermediários entre solos arenosos e argilosos, tendo um comportamento que depende de sua disposição granulométrica. Já os solos argilosos, têm seu comportamento variando consideravelmente com seu teor de umidade, apresentando diferentes características plásticas e coesivas, que o permite ser moldado (Baesso, 2003).

Com base nas características citadas anteriormente dos solos argilosos, torna-se necessário refinar esta classificação de solos, acrescentando considerações referentes a consistência. Para isso, utiliza-se a Classificação TRB (Transportation Research Board), que é um dos métodos mais tradicionalmente utilizado no Brasil em rodovias, como cita Prass (2019). Que faz uso dos limites de atterberg (limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade e índice de grupo) (Fattori,2007).

Tabela 2: Classificação TRB.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES (35% OU MENOS PASSANDO NA PENEIRA Nº. 200)							MATERIAIS SILTO-ARGILOSOS (MAIS DE 35% PASSANDO NA PENEIRA Nº. 200)			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
Classificação em Grupos	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria: % passando na peneira: Nº. 10 (2,0 mm.) Nº. 40 (0,42 mm.) Nº. 200 (0,074 mm.)	50 máx.		51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Característica da fração passando na peneira no. 40: Limite de Liquidez (%) Índice de Plasticidade (%)			NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia		Areia fina	Pedregulhos ou areia siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30; se maior será A - 7 - 6 .

Fonte: DNIT (2006)

Na tabela acima, estão os parâmetros necessários, para a classificação de um solo pela metodologia TRB. Para isso devemos verificar os limites de porcentagem passante nas peneiras de 2,00 mm 0,42mm e 0,074 mm e também dos limites de consistência e Índice de Grupo

2.2. Revestimento Primário E Estabilização Granulométrica

Mesmo após as estradas serem conformadas, de modo a garantir a boa drenagem da pista de rolamento, eles ainda podem apresentar problemas devido a capacidade de suporte do solo ou a perda de atrito em condições chuvosas. Quando

isso acontece, é necessário reforçar a pista com uma camada de revestimento primário, a fim de garantir a boa trafegabilidade. Para isso, são comumente utilizadas camadas de pavimentos categorizadas como Bases e Sub-bases Flexíveis ou Semirrígidas. Como pode ser visto na Figura abaixo.

Figura 2: Classificação das bases e Sub-bases flexíveis e semirrígidas



Fonte: DNIT (2006)

Como o foco do presente estudo são misturas de solo-brita, o enfoque desta seção será em bases e sub-bases granulares estabilizadas granulometricamente, assim como seus métodos de dimensionamento. O DNIT(2010) define a estabilização granulométrica como:

“*Processo de melhoria da capacidade resistente de materiais “in natura” ou mistura de materiais, mediante emprego de energia de compactação adequada, de forma a se obter um produto com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade*”.

2.2.1. Requisitos Normativos Para Bases E Sub-bases

O DNIT recomenda em duas Especificações de Serviço (DNIT 141/2022-ES e DNIT 139/2010 – ES) alguns critérios que uma mistura estabilizada granulometricamente devem atender, quando utilizada como camada de base ou sub-base, respectivamente.

Para o uso como base é condicionado que os agregados tenham desgaste menor que 55% no ensaio de Abrasão Los Angeles, Expansão máxima de 0,5%, Modulo de Resiliência e Deformação permanente como especificado em projeto, Índice de Suporte California ISC $\geq 60\%$ para $N \leq 5 \times 10^6$ e ISC $\geq 80\%$ para $N \geq 5 \times 10^6$, Limite de liquidez $\leq 25\%$, Índice de plasticidade $\leq 6\%$, Equivalente de areia $> 30\%$ quando os limites para limite de liquidez e índice de plasticidade forem ultrapassados, A porcentagem do material passante na peneira n°200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem passante na peneira n° 40. Além disso na Tabela 3 estão postas faixas granulométricas de referência para a seleção inicial do solo.

Tabela 3 : Faixas granulométricas de referência.

Peneiras		Faixas						Tolerâncias da faixa de projeto
		Para $N > 5 \times 10^6$				Para $N < 5 \times 10^6$		
Pol./número	mm	A	B	C	D	E	F	
2"	50,8	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	25,4	-	75 - 90	100	100	100	100	± 7
3/8"	9,5	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-	± 7
N°4	4,8	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	± 5
N°10	2,0	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	± 5
N°40	0,42	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	± 2
N°200	0,074	2 - 8	5 - 15	5 - 15	10 - 25	6 - 20	8 - 25	± 2

Fonte: DNIT (2022).

Para o uso como material de sub-base (DNIT-139), os materiais devem apresentar as seguintes características, índice de grupo IG = 0, índice de suporte Califórnia ISC $\geq 20\%$ e Expansão $\leq 1\%$ (ensaio com a energia intermediária). Caso o solo utilizado tenha comportamento lateríticos, os materiais podem apresentar Índice de grupo maior que zero e índice de expansão $> 1\%$, desde que o valor não supere 10%.

2.2.2. Métodos para dosagem de componentes

Há vários métodos para determinar a dosagem dos materiais utilizados nas misturas, para conferir maior estabilidade e melhorar suas características mecânicas, como resistência e resiliência. Podemos citar as Equações de Fuller-Talbot, cuja

fórmula é dada abaixo, como um método consolidado para realizar a graduação ideal por densidade máxima da mistura.

$$\%Passante(\phi \leq d) = 100 * \left(\frac{d}{D}\right)^n \quad (1)$$

Onde:

D = tamanho máximo do agregado

d = diâmetro da peneira

%Passante = Porcentagem passante na peneira

n = Coeficiente variável entre 0,4 e 0,6. Geralmente utilizado 0,5

Com esta formulação tem-se um parâmetro de curva granulométrica bem graduada que pode servir como base de comparação e objetivo para misturas estabilizadas granulometricamente. Apresentada na Tabela 4, abaixo.

Tabela 4: Curva de referencia para Estabilização Granulométrica.

Diâmetro (Peneiras)		Curva Recomendada
Pol(n°)	(mm)	
1"	25,40	100
3/4"	19,10	86
1/2"	12,70	71
3/8"	9,50	61
1/4"	6,35	50
N° 4	4,80	44
N° 10	2,00	28
N° 40	0,42	13
N° 200	0,074	6

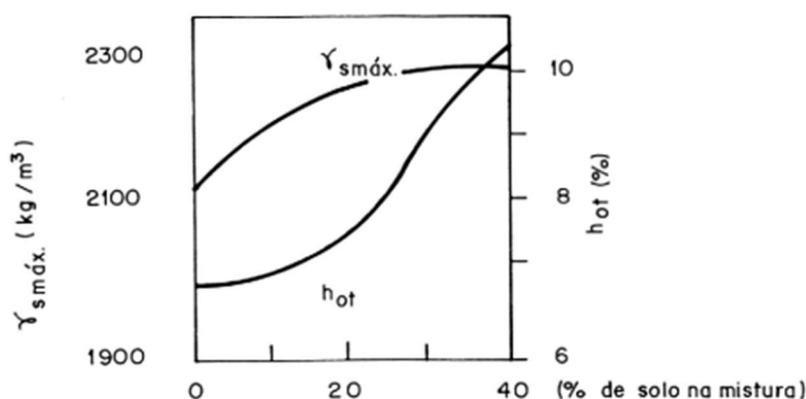
Fonte: Marques (2006).

Para chegarmos nesta granulometria arbitrada na tabela com 2 ou mais materiais com faixas granulométricas distintas, pode se usar de métodos analíticos, por tentativas e métodos gráficos como o do triangulo equilátero, de Ruthfuchs ou das composições sucessivas. (Marques, 2006).

2.2.3. NBR 12053 – Solo-Brita - Determinação De Dosagem

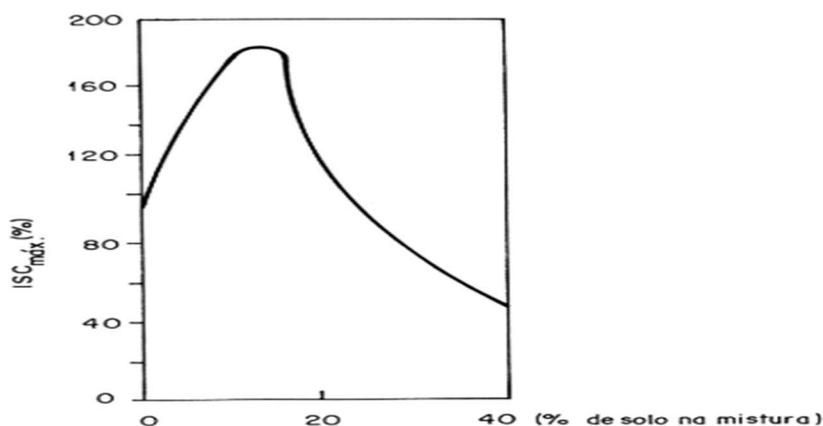
Esta norma lançada em 1992, apresenta a metodologia para a determinação da dosagem empregada para misturas de solo-brita, recomendando a realização do ensaio de compactação na energia intermediária e ISC utilizando misturas com 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de solo em relação ao total da mistura em Massa seca. E estabelece também que a expressão dos resultados deve ser apresentada em dois gráficos, um com a variação do Peso seco máximo e do teor de umidade ótimo em função do teor de solo na mistura e o outro com a variação do ISC máximo em função do teor de solo na mistura. Demonstrados nas Figuras 4 e 5.

Figura 3: Gráfico da Massa especifica seca máxima teor de umidade do solo.



Fonte: NBR 12053 (1992).

Figura 4: Gráfico de ISC máximo.



Fonte: NBR 12053 (1992).

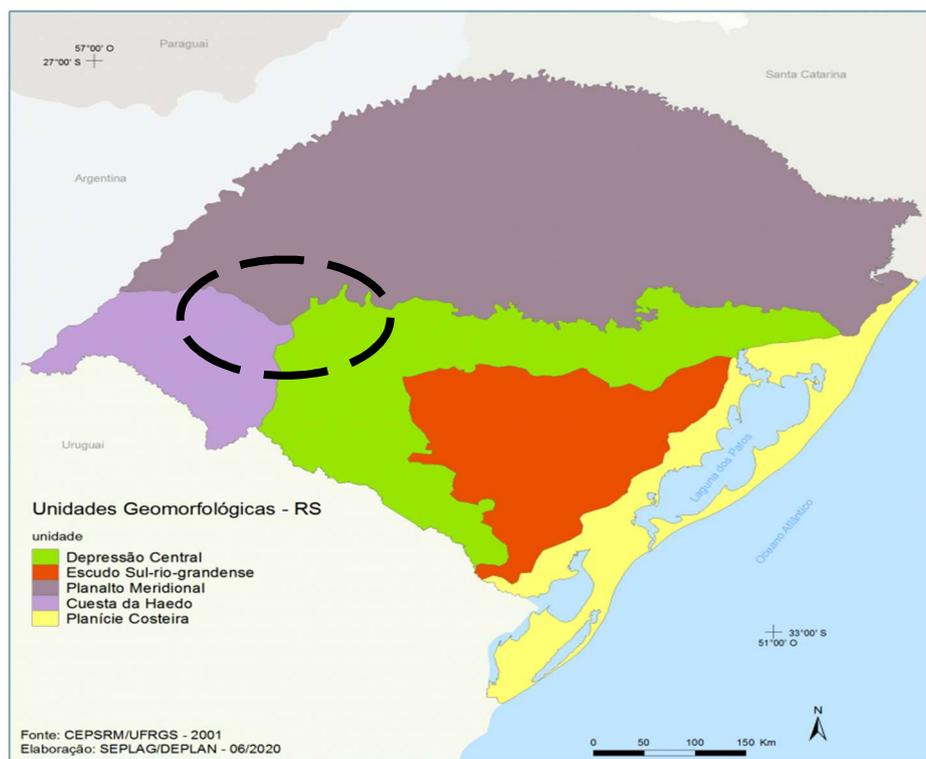
3. METODOLOGIA

Nesta seção apresentaremos os materiais utilizados no estudo e a localização de onde foram extraídos. Também os ensaios para suas caracterizações e o ensaio utilizado para comparar as misturas empregadas

3.1. Solos Da Fronteira Oeste

Para uma correta determinação dos solos é necessário saber as características geológicas da região. O mapa apresentado na Figura 6, indica as unidades geomorfológicas do Estado tendo, na região destacada, os limites do município de Alegrete. Em seus domínios, temos três unidades geomorfológicas: a depressão central, o planalto meridional e a Cuesta de Haedo. Esta última também é tratada em outras fontes como parte do planalto meridional. Contudo, em sua região é de solos rasos onde os processos erosivos diferenciais tiveram participação ativa na sua formação. ASERS (2022).

Figura 5: Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul

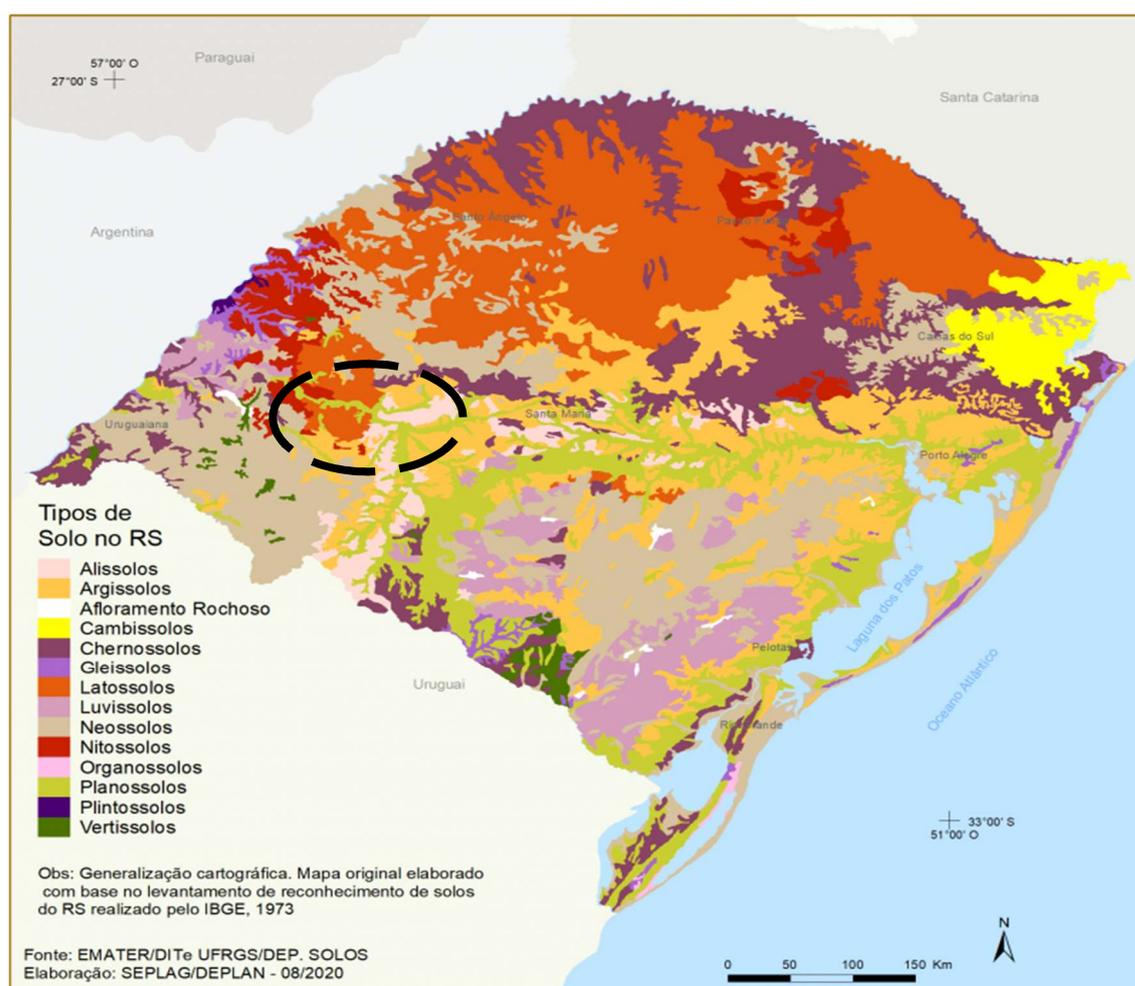


Fonte: ASERS (2020).

Essas unidades, como descritas por Pedron (2018), tem como características no planalto meridional formações ígneas, como rochas basálticas com solos profundos e argilosos como os latossolos e nitossolos. Contudo, também há ocorrências de solos de menor profundidade como Neossolos e Cambissolos. Já na depressão central, a unidade é formada predominantemente por rochas sedimentares e apresenta uma predominância de arenitos grosseiros de origem fluvial e alguma porção de solos menos profundos mais argilosos.

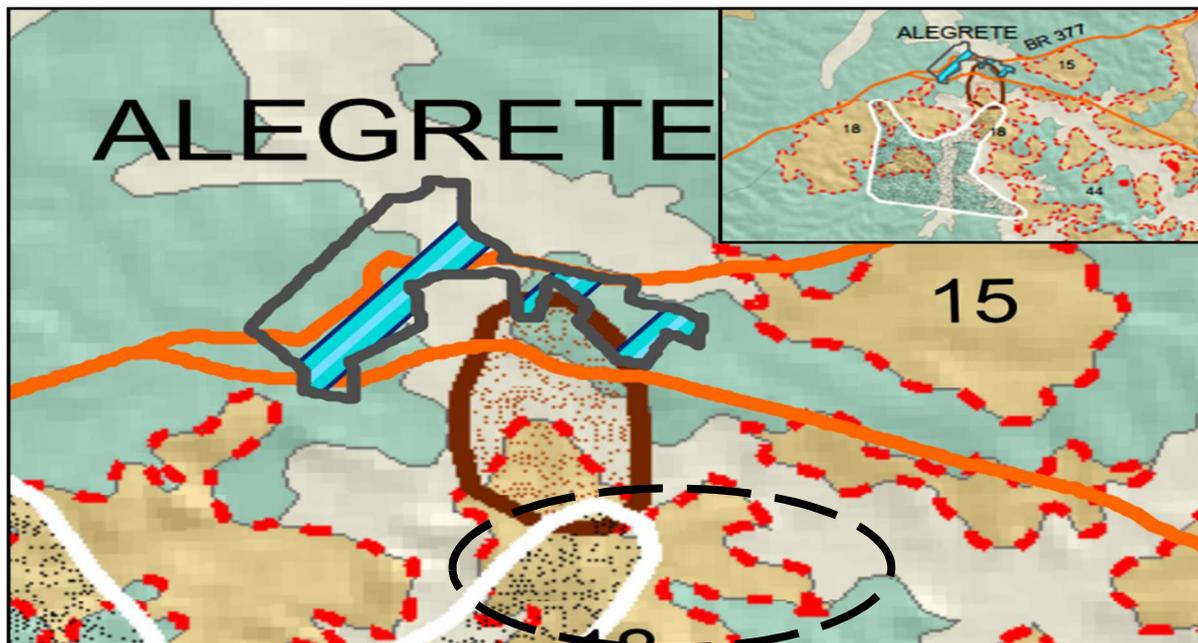
Na Figura 7 a seguir, pode-se notar que a região contém uma ampla gama de solos, com predominância de Neossolos, Argissolos e Latossolos.

Figura 6: Mapa de Solos do RS.



Fonte: ASERS, 2020.

Figura 7: Mapa de Geodiversidade, Região Ampliada de Alegrete.



Fonte: Recorte do Mapa Geomorfológico RS. Anexo B.

Enquanto na Figura 8, um recorte ampliado do mapa de geodiversidade (Anexo B). Que delimita os domínios geológicos existentes dentro do Estado. vemos que a região em que se localiza a jazida do material utilizado, é a de número 18, de domínio geológico ambiental “Cobertura Sedimentar e Vulcano Sedimentar Mesozoica e Paleozoica”, pouco a moderadamente consolidada, associada a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise¹. De unidade Geológica Ambiental de Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica em Colinas dissecadas e morros baixos. Apresentam média capacidade de suporte e boa escavabilidade, sendo também bastante abrasivos e excessivamente arenosos, friáveis, permeáveis e erodíveis, sujeitos a arenizações e voçorocas. As outras regiões encontradas no recorte são 1 (branco) Sedimento cenozoico inconsolidados e pouco consolidados, localizados ao longo do curso dos rios Caverá e Ibirapuitã e 44 (verde) Vulcanismo Fissural Mesozoico do tipo plateau² com predomínio de basalto, região está em que o agregado graúdo foi extraído e beneficiado. A zona

¹ Estrutura geológica desenvolvida em plataforma continental, com amplitude regional de dezenas de milhares de km², na forma de ampla bacia com mergulhos muito fracos e convergentes de pacote, geralmente espesso, de camadas sedimentares, e produzida por lento abaullamento negativo da crosta ao longo de vários períodos geológicos.

² Planalto ou platô (plateau), é uma área de montanhas, que normalmente consiste em um terreno relativamente plano e mais alto que a área circundante, muitas vezes com um ou mais lados de declives acentuados

marrom, ressaltada no gráfico é caracterizada pela exploração dos materiais para uso na construção civil

3.2. Localização Das Jazidas

Antes de apresentar os ensaios realizados, calha apresentar o local de onde foram extraídos os materiais utilizados neste estudo. As Jazidas estão localizadas no Município de Alegrete-RS, próximo ao perímetro urbano, como demonstrado na Figura 9. Enquanto, nas Figuras 10 e 11, são apresentadas as imagens ampliadas da jazida.

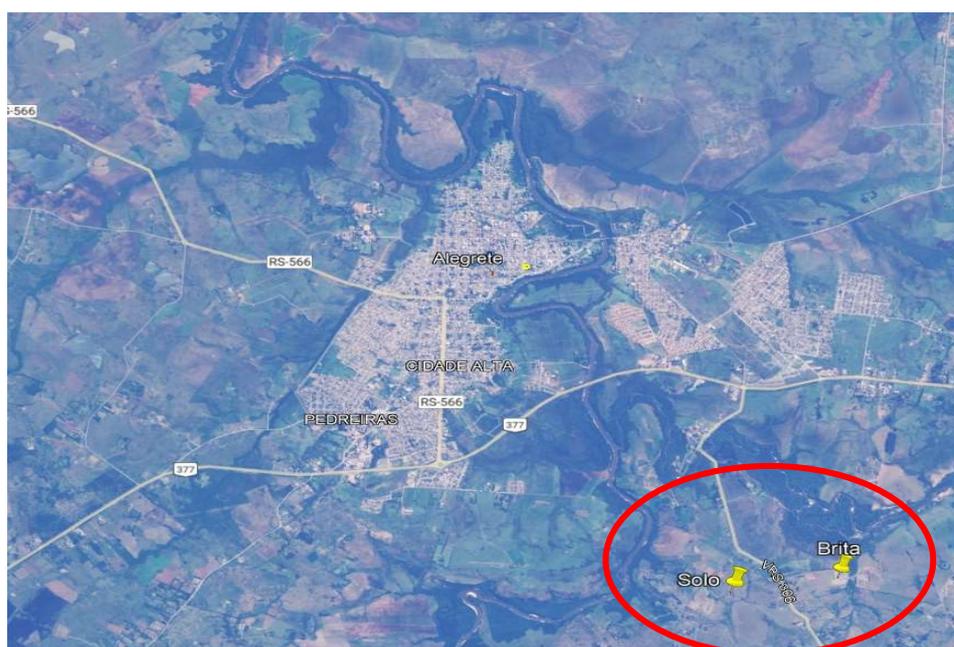
Da primeira jazida (Figura 10), foi retirado o solo fino e da segunda jazida o agregado graúdo do tipo brita 1 (Figura 11). As jazidas possuem suas respectivas coordenadas, em graus decimais, apresentadas na tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Coordenadas das Jazidas.

Jazida	Longitude	Latitude
Solo Fino	-55.773438°	-29.840078°
Agregado Graúdo	-55.758518°	-29.841183°

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Figura 8: Localização das Jazidas.



Fonte: Google Earth (2022).

Figura 9: Jazida do solo.



Fonte: Google Earth (2022).

Figura 10: Jazida do material Britado.



Fonte: Google Earth (2022).

As amostras foram coletadas e preparadas conforme as prescrições definidas nas normas NBR 9604 – Coleta de amostras deformadas de solos. Com o uso das ferramentas apropriadas e o local de coleta limpo de pedras e raízes previamente. O solo foi coletado, identificado e acondicionado em sacolas plásticas.

Figura 11: Registro da Coleta de Solos



Fonte: Elaboração Própria (2022).

A preparação das amostras foi realizada conforme a NBR 6457: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e caracterização. E Primeiro as foram secas ao ar até quase sua umidade higroscópica e destorroadas. Logo em seguida repartidas e acondicionadas para que pudessem ser utilizadas nos ensaios.

Figura 12: Solo em preparação.



Fonte: Aatoria Própria (2022).

3.3. Ensaio para a Caracterização Dos Materiais

3.3.1. Solo

Para o solo foram realizados ensaios de Granulometria por peneiramento e sedimentação, Limite de liquidez e Limite de Plasticidade e massa específica dos grãos. O ensaio de granulometria por peneiramento seguiu as instruções da NBR 7181, para o peneiramento fino, peneiramento grosso e sedimentação.

Figura 13: Amostras do Ensaio de Consistência, LL e LP.



Fonte: Elaboração própria (2022).

O ensaio para determinar o limite de liquidez, com o método de Casagrande, NBR 6459. cujo procedimento é realizado em um aparelho que efetua pequenos golpes em uma concha, onde o solo está disposto em duas partes, com uma ranhura em seu centro. São realizados uma série de golpes até que essa ranhura se desfça e o resultado do ensaio é o teor de umidade em que são necessários 25 golpes para desfaze-la. O ensaio de determinação do limite de Plasticidade pela norma NBR 7180, consiste em moldar uma amostra de solo em formato cilíndrico com diâmetro de 3mm no ponto de fraturação e seu resultado se dá com o teor de umidade desta amostra.

Figura 14: Ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: Autoria própria (2022).

A determinação da massa específica dos grãos que passam na peneira #4,8 mm foi realizada através de picnômetros contendo solo e água, conforme o disposto na NBR 6458 no Anexo B.

Figura 15: Ensaio de granulometria por sedimentação.



Fonte: Elaboração própria (2022).

3.3.2. Agregado Graúdo

Para o Agregado Graúdo foi realizado somente o ensaio de granulometria por peneiramento. Para que pudesse ser classificado pelas categorias comerciais e sua quantidade de finos mensuradas. Quanto as suas outras características de propriedades físicas usuais, por se tratar de material de uso comum e amplamente ensaiado dentro da instituição, foram extraídas do trabalho de Hartmann (2022),

3.4. Ensaio Índice De Suporte California

Como metodologia para analisar a capacidade de suporte, tanto do solo como das misturas de solo-brita estudadas, foi parcialmente seguida, a norma NBR 12053-Determinação de dosagem solo-brita. Que define que os ensaios de compactação (NBR 9895), na energia intermediária em porcentagens de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% do solo.

Como o objetivo do estudo é analisar misturas de solo e brita que possam ser utilizadas como revestimento primário em estradas de terra, os ensaios com 0% e 10% foram descartados, por apresentarem pouco teor de solo e conseqüentemente maior erodibilidade por não serem coesivos. Portanto as misturas que foram adotadas são de 20%, 30%, 40% e 100%.. As misturas estudadas no trabalho estão apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 6: Misturas empregadas no trabalho.

Mistura	Mistura	Energia de Compactação
M1	100%	Intermediário
M2	40%	Intermediário
M3	30%	Intermediário
M4	20%	Intermediário

Fonte: Elaboração própria (2023)

O ensaio para determinar o índice de suporte Califórnia é realizado com o ensaio de compactação, em molde grande e energia de compactação intermediária, conforme a norma NBR 9895. Isso, em pelo menos 5 teores de umidade distintos, para realizar a curva de compactação e umidade ótima.

Figura 16: Registro de ensaio de compactação.



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Em seguida, foi realizado o ensaio de expansão, com os moldes submersos totalmente por 96 horas e logo após realizada a leitura e comparada a diferença entre o início e o fim do ensaio de expansão.

Figura 17: Registro de um ensaio de Expansão.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Figura 18: Ensaio de penetração.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Por último, o ensaio de penetração, foi realizado após a retirada dos moldes da submersão e o tempo necessário para o seu escoamento eles foram levados a prensa e a penetração do molde cilíndrico com diâmetro de 49,6mm a velocidade de 1,27mm/min foi realizada. As leituras da força aplicada são extraídas nessa parte e utilizadas para determinar a tensão no corpo de prova, que são comparadas em 2 momentos (nos deslocamentos de 2,54mm e 5,08mm) com uma pressão padrão, determinada na NBR 9895.

3.5. Caracterização Dos Materiais Empregados

3.5.1. Caracterização Do Solo Utilizado

Os ensaios de caracterização geotécnicas aplicados ao solo, possibilitou determinar algumas propriedades geotécnicas, como a distribuição granulométrica,

os limites de plasticidade e limite de liquidez, além da massa específica dos grãos do solo.

Para a determinar a Massa Específica dos grãos passantes na peneira com abertura de 4,8 mm, o ensaio do picnômetro, foi realizado em 3 amostras distintas do solo, tendo seus resultados e condições iniciais apresentadas na Tabela 7. Como a norma recomenda descartar os valores discrepantes em mais de 0,02 g/cm³. O valor da amostra B não foi considerado para o cálculo da densidade média.

Tabela 7: Resultado do ensaio de massa específica dos grãos.

Massa Específica dos grãos #2,0 mm			
Picnômetro	A	B	C
Temperatura do Solo (°C)	26,0	26,2	24,8
Temperatura Água (°C)	26,0	26,1	24,8
Picnômetro + água (g)	641,70	658,90	653,30
Picnômetro + água + Solo (g)	671,00	687,60	62,60
G (g/cm ³)	2,70	2,61	2,70
G Médio (g/cm ³)		2,70	

Elaboração Própria (2023).

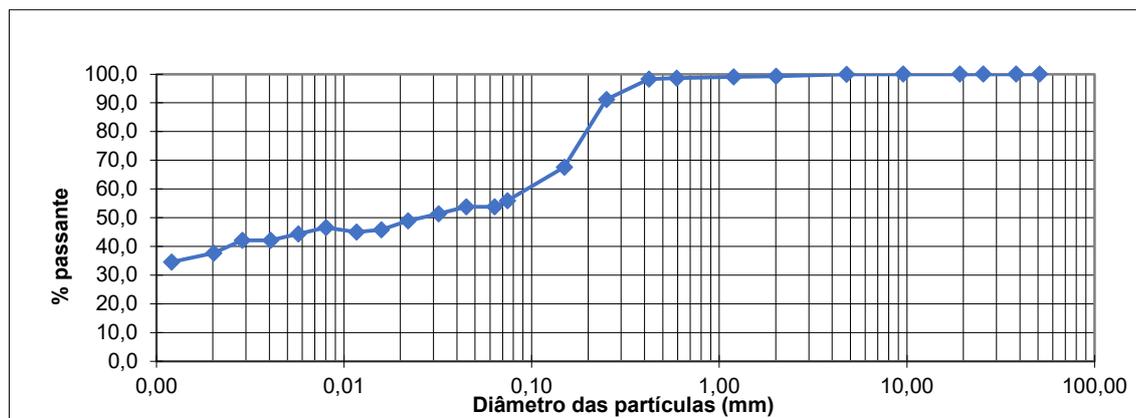
E os seus resultados de proporção granulométrica estão demonstrados abaixo na Figura 20. De acordo com esta imagem o material apresenta uma proporção bastante equilibrada entre argila e areia, com uma pequena porcentagem de siltes, como pode ser visto na Tabela 8. A areia contida na amostra tem uma parcela ínfima de areia grossa 19,12% de areias médias e 26,29% de areias finas totalizando 46,11% do total. Dentro da sua composição granulométrica a pouca presença de siltes, 11,10%. O segundo material mais abundante no solo é argila com 42,07%. Logo podemos classificar o solo como Areno-argiloso, por apresentar respectivamente Areia e Argila como principais categorias de materiais.

Tabela 8: porcentagem passante por categoria de material.

MATERIAL*	% do material
20,0<Pedregulho grosso<60,0	0,00
6,0<Pedregulho médio<20,0	0,03
2,0<Pedregulho fino<6,0	0,69
0,6<Areia grossa<2,0	0,70
0,2<Areia média<0,6	19,12
0,06< Areia fina <0,2	26,29
0,002 < Silte < 0,06	11,10
Argila < 0,002	42,07
	100,00

Fonte: Elaboração Própria (2023).

Figura 19: Curva Granulométrica do Solo com sedimentação.

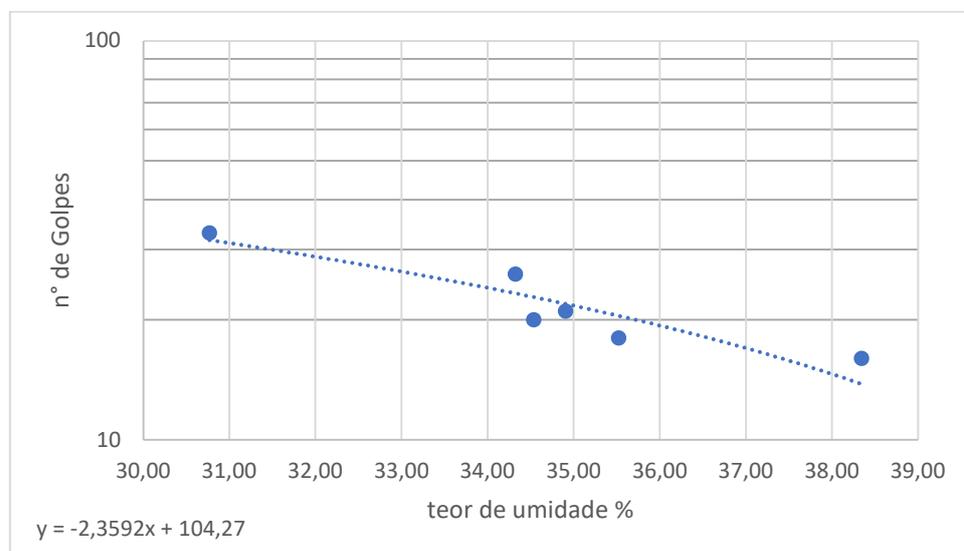


Fonte: Elaboração Própria (2023).

O próximo passo para a caracterização geotécnica do solo é determinar os limites do teor de umidade, perante o estado físico do solo, determinando os Limites

de Liquidez, Limite de Plasticidade, e conseqüentemente o Índice de plasticidade do solo. Para o Limite de liquidez o resultado dos ensaios realizados segundo a norma NBR 6459 foi de uma umidade de aproximadamente de 34%. Os dados obtidos no ensaio podem ser vistos na Figura 21. O ensaio do limite de plasticidade, realizado de acordo com a norma NBR 7180 obteve como resultado uma umidade de 23%. Conseqüentemente o índice de plasticidade do solo é de 11%.

Figura 20: Resultados para o Limite de Liquidez.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

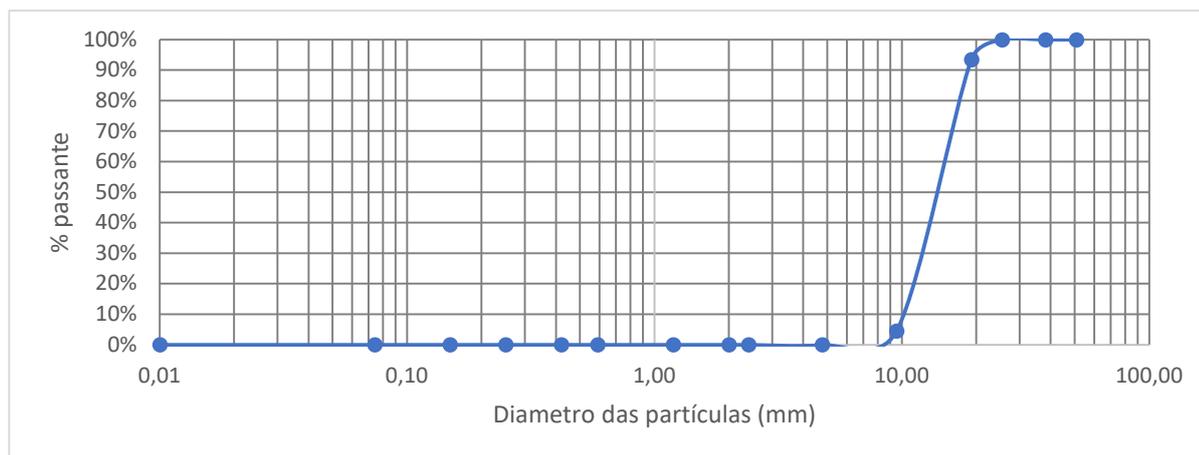
Conforme a metodologia de classificação determinada pelo TRB e os resultados obtidos nos ensaios o solo pôde ser classificado. Considerando que a porcentagem passante na peneira nº 200 foi maior que 36%. Seu limite de liquidez é menor do que 40% o Índice de Plasticidade (IP) determinado anteriormente em 10,90% e o Índice de Grupo (IG) calculado utilizando com estas características apresentadas, em um valor de 8. Estes resultados enquadraram o solo na categoria A-6. O que indica dentro da classificação TRB o comportamento do subleito como fraco a pobre

3.5.2. Caracterização do Agregado Graúdo

O Agregado Graúdo utilizado para a realização da mistura solo-brita, foi caracterizado granulometricamente a fim de estabelecer sua categoria. E Conforme

a curva granulométrica apresentada na Figura 22, determinou-se que o agregado utilizado é caracterizado como dentro do espectro granulométrico da brita 1 comercial (9,5mm a 19mm).

Figura 21: Curva Granulométrica do Agregado Graúdo.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Os dados extraídos das propriedades físicas do agregado graúdo são expostos abaixo, na Tabela 9. Vê-se que o material apresenta uma boa densidade, índice de vazios elevados e baixa absorção. Esta dissertação de mestrado tratou de analisar a influência de um agente de cura ativa e a utilização de fibras sintéticas nas propriedades mecânicas de concretos de alta resistência utilizando o mesmo agregado graúdo utilizado neste estudo.

Tabela 9: Propriedades Físicas do Agregado Graúdo.

Propriedade Física	Valor
Massa unitária	1,42 g/cm ³
Índice de Vazios	48%
Densidade na condição seca	2,74 g/cm ³
Densidade na condição saturada	2,79 g/cm ³
Absorção de Água	1,76%
Dimensão máxima característica	19 mm

Fonte: Hartmann (2022).

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios comparativos e suas respectivas análises. Para que possam ser discutidos e comparados, a fim de obter e gerar conclusões.

4.1. Resultados Para As Misturas Ensaçadas

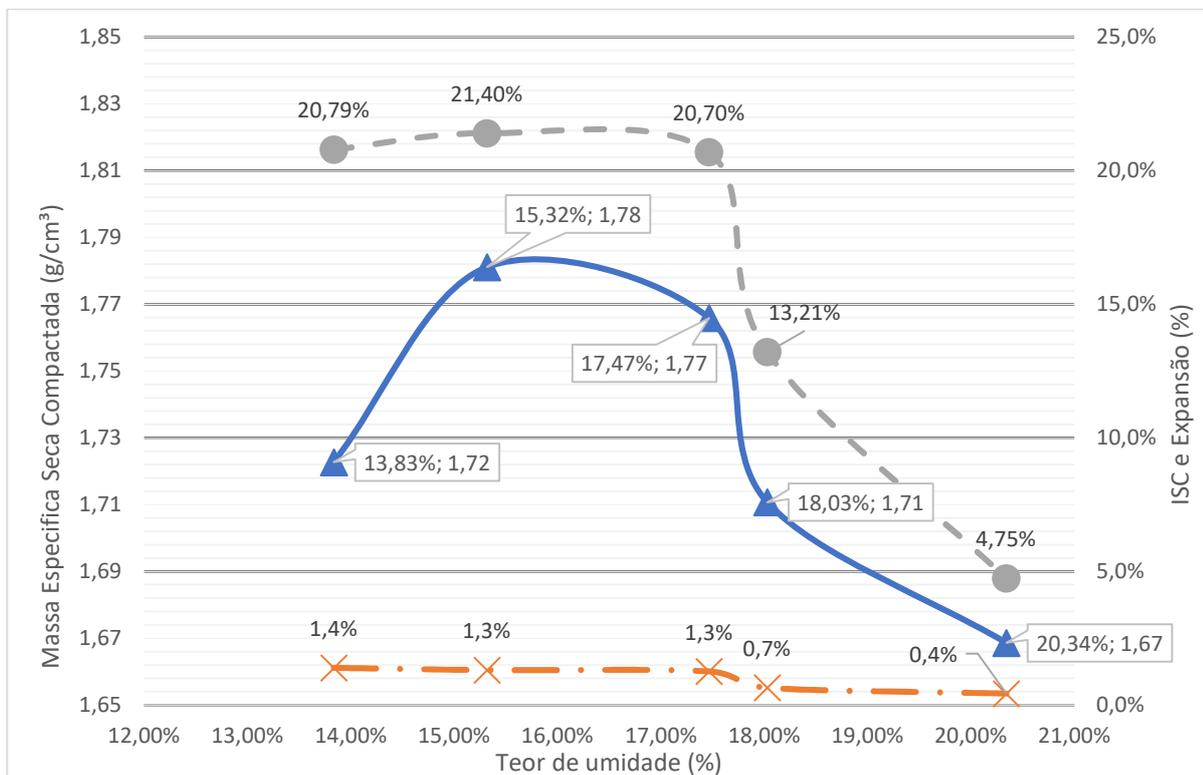
Para que possamos comparar o desempenho, tanto do solo como das proporções de solo-brita analisados, utilizou-se os ensaios para determinar o índice de suporte California (ISC ou CBR). Nas misturas de Solo-Brita, foram realizados ensaios de compactação sob energia intermediária, conforme recomendação da norma NBR12053.

A seguir, para cada mistura ensaiada, M1 a M4, será feita uma análise de correlação comparativa entre a curva de compactação, Expansibilidade e Índice de Suporte de Califórnia (ISC).

4.1.1. M1 - 100% de Solo

Na Figura 23, pode-se observar os resultados obtidos nos ensaios que utilizaram a energia de compactação intermediária. As umidades utilizadas estão entre 13,83% e 20,34% e a umidade ótima encontrada foi de 15,50%. A massa específica seca compactada apresentou amplitude entre o mínimo de 1,67 g/cm³ e o máximo de 1,78 g/cm³. A expansão teve índices entre 1,4% e 0,4% e o ISC tem como máximo 21,40% e mínimo de 4,75% e os respectivos valores obtidos para o teor de umidade de 15,32% foram de 1,3% e 21,40%.

Figura 22: Resultados ISC -Solo-Brita 100% com Energia Intermediaria.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

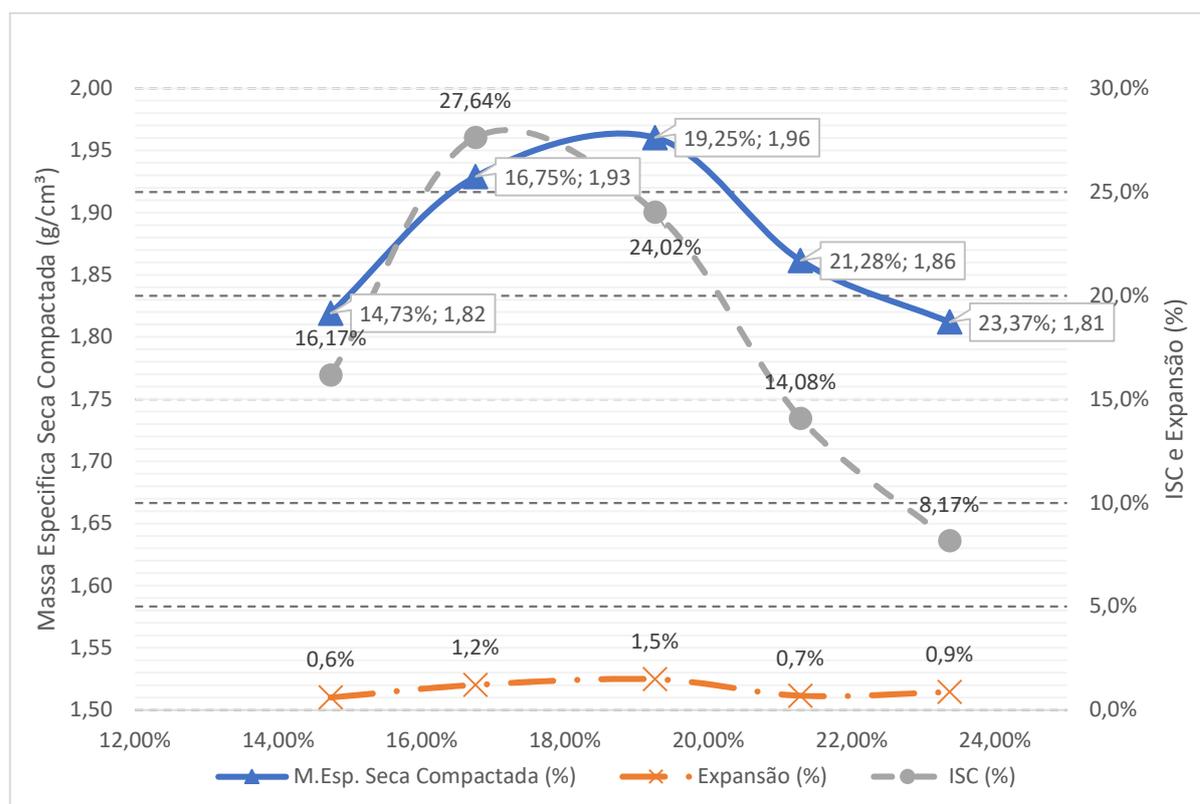
Neste ensaio os resultados encontrados foram de encontro ao que era esperado do solo estudado apresentou valores baixos do ISC, com máximo de 21,40%. Valor que supera por pouco o mínimo para uso em sub-bases e de revestimento primário. A sua expansão ficou acima do limite de 1% nos 3 corpos de prova de menor teor de umidade.

4.1.2. M2 - 40%de solo

A seguir são demonstrados (Figura 24) os resultados obtidos, conforme o recomendado pela NBR 9895. Podemos notar que a massa específica seca compactada variou entre o mínimo de $1,81\text{g/cm}^3$ e o máximo de $1,96\text{g/cm}^3$, tendo sua umidade ótima encontrada em 19%. Seu índice de expansão apresentou valores entre 0,6% e 1,5%. O ISC ficou entre valores de 8,17% a 27,64%.

Na maior massa específica seca o teor de umidade encontrado foi de 19,25% a expansão de 1,5% e o ISC 24,02%. O valor com o maior ISC se encontra no ramo seco da mistura, com teor de umidade de 16,75% apresentou massa específica seca de $1,93\text{ g/cm}^3$ e seus valores de expansão e ISC são, respectivamente, 1,2% e 27,64%.

Figura 23: Resultados ISC -Solo-Brita 40% de solo.



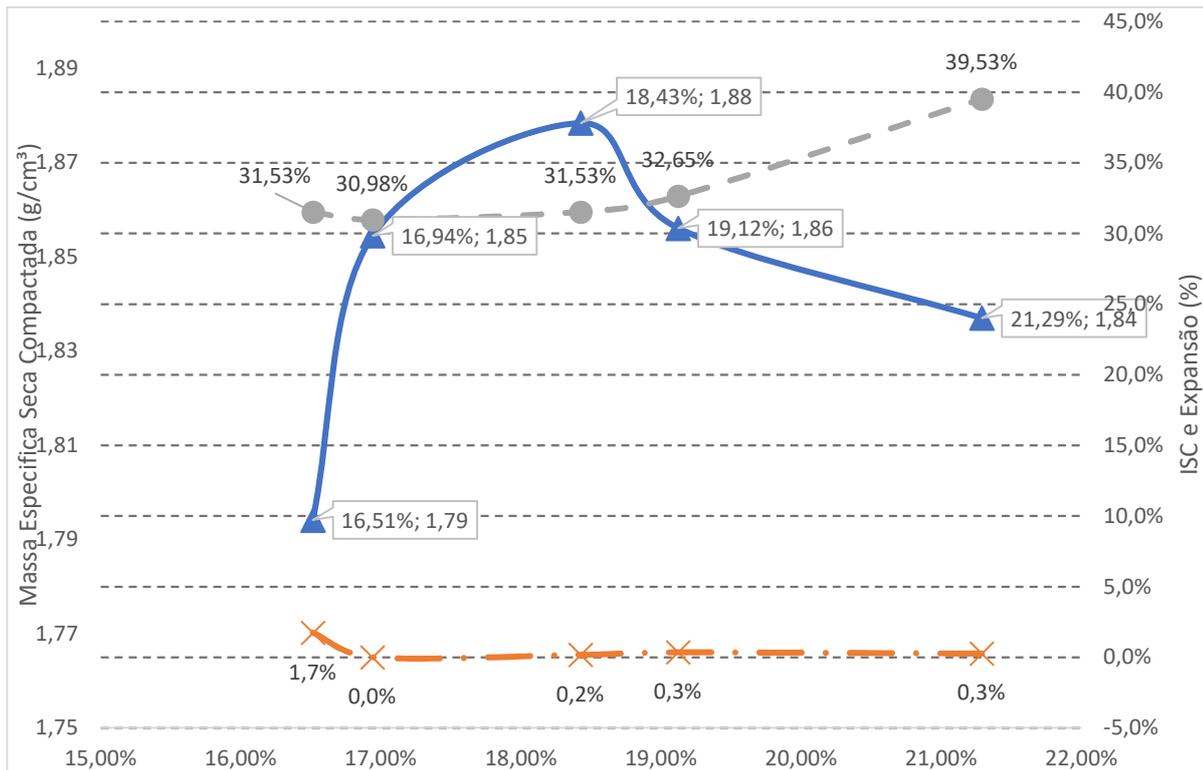
Fonte: Elaboração Própria (2023).

4.1.3. M3 - 30% de solo

Como podemos ver na Figura 25, O ensaio com a proporção de 30% de solo, atingiu valores de Massa específica seca entre o mínimo de $1,80 \text{ g/cm}^3$ e o máximo de $1,88 \text{ g/cm}^3$. O teor de umidade ótimo é de 18,5%. A mistura apresentou baixa expansão com o valor máximo de 1,7% e o restante abaixo de 0,3%. O ISC ficou acima de 30% para todos os teores de umidade e apresentou valor máximo de 39,53%.

No ponto da massa específica máxima, $1,88 \text{ g/cm}^3$. Os valores encontrados para o teor de umidade encontrado foram de 18,43%, para a Expansão 0,2% e para o ISC 31,53%.

Figura 24: Resultados ISC -Solo-Brita 30% de solo.

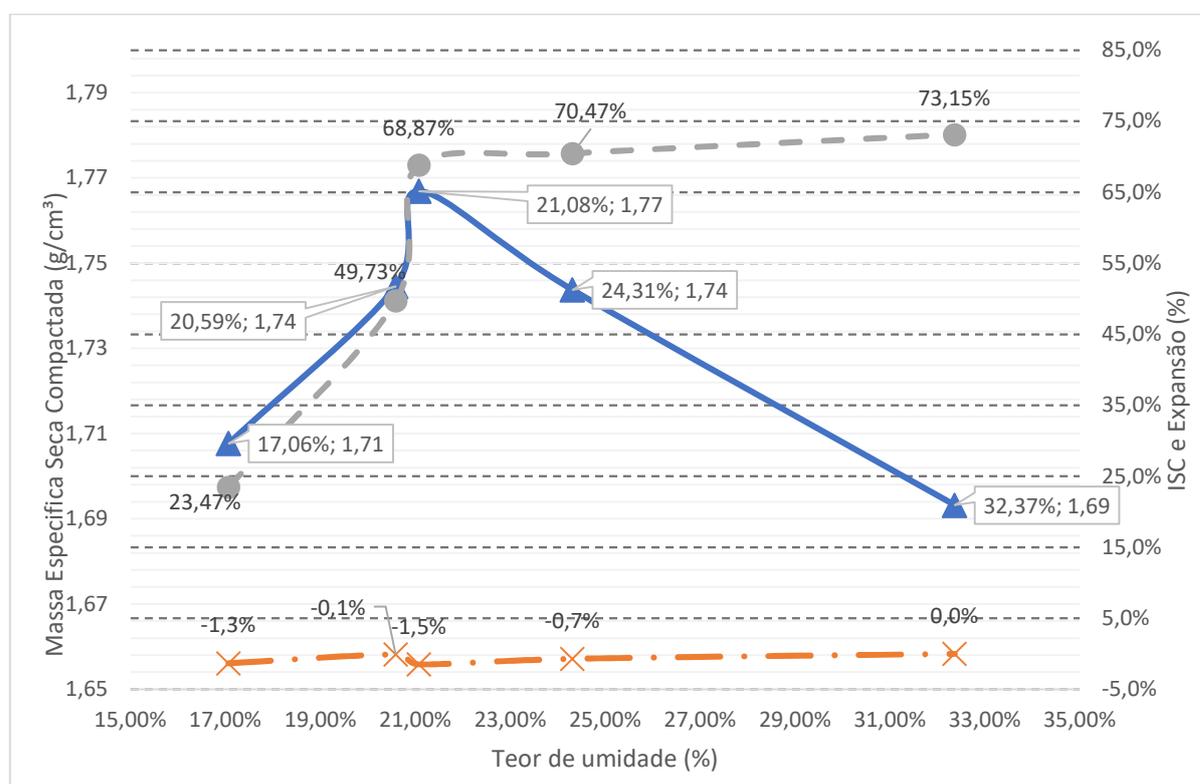


Elaboração Própria (2023).

4.1.4. M4 - 20% de Solo

A imagem abaixo (Figura 24) apresenta os índices obtidos no ensaio com a proporção de 20% de solo na mistura. Para a massa específica seca compactada, os valores apresentados foram de, respectivamente, máximo de $1,77 \text{ g/cm}^3$ a mínimo de $1,71 \text{ g/cm}^3$ o teor de umidade ótimo ficou em 21,08%. Os valores de expansão foram negativos de até -1,5%, indicando retração nos corpos de prova. E o ISC apresentou valores crescentes com o aumento do teor de umidade do solo. Variando numa faixa entre 23,47% no ponto mais seco e 73,15% no ponto mais úmido.

Figura 25: Resultados ISC -Solo-Brita 20% de solo.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

4.2. Comparação Entre As Misturas

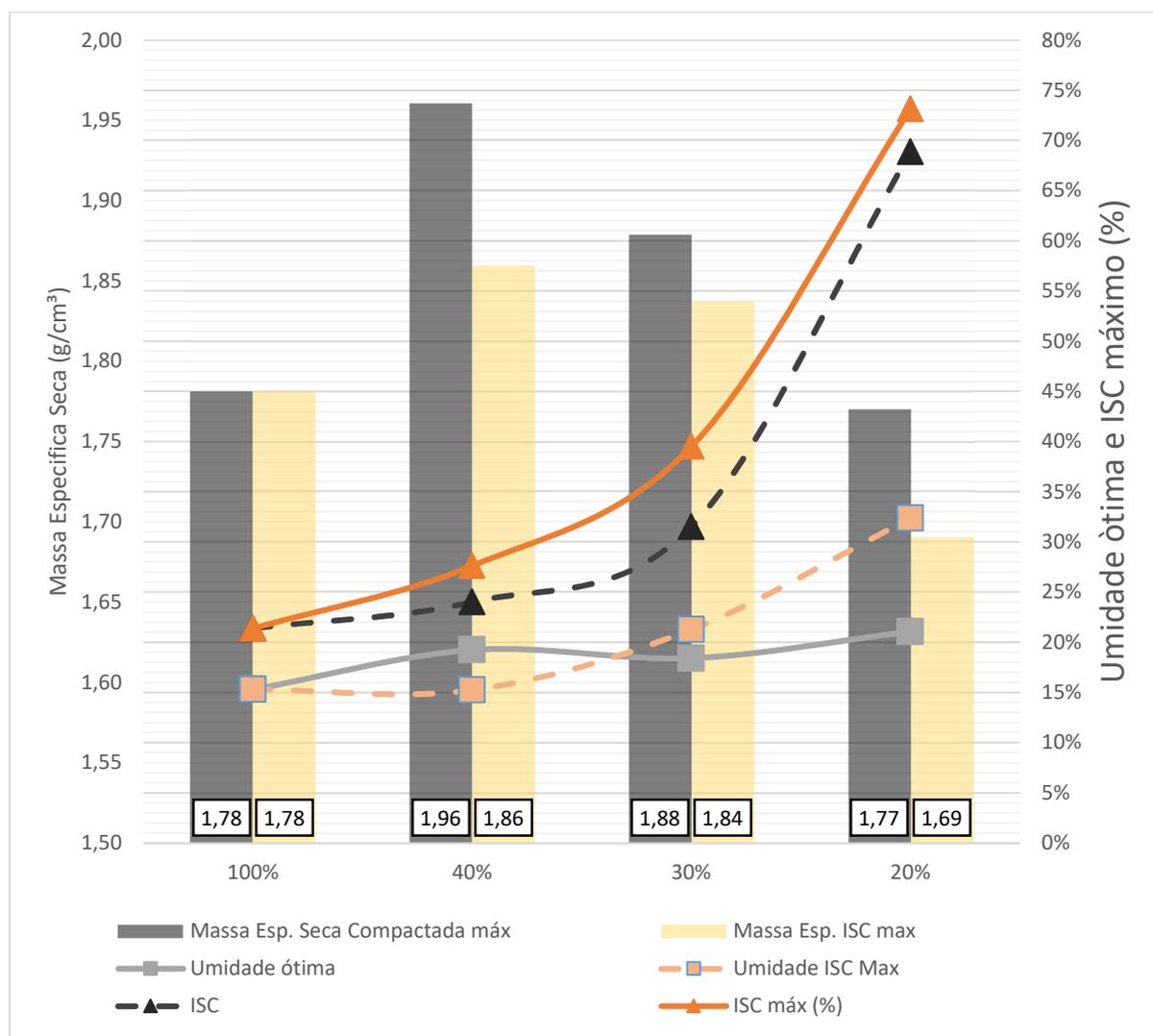
Ao compararmos os valores obtidos em cada ensaio, apresentados nas seções acima. Vemos uma tendência de queda nos valores de massa específica seca compactada ao diminuirmos o teor de solo da mistura com o máximo de $1,96 \text{ g/cm}^3$, com 40%, $1,88 \text{ g/cm}^3$ com 30% e $1,77 \text{ g/cm}^3$ com 20%. Ao aumentarmos o teor de solo também ocorre uma queda nesta propriedade até o valor de $1,78 \text{ g/cm}^3$ com 100% de solo.

O teor de umidade ótimo aumentou conforme o teor de solo das misturas diminuiu, saindo de 15,50% com 100% de solo até 21,50% na mistura com 20% de solo. O comportamento da expansão mostrou tendência de redução conforme o teor de solo aparenta diminuir em média. No entanto em todos os ensaios foram obtidos valores de pico acima de 1,5%, excetuando a mistura com 20% de solo que apresentou retração.

Por fim ao analisarmos os resultados do ISC, observamos aumento na capacidade de suporte do material para os valores máximos obtidos, atingindo até 73,15% no ensaio com a mistura de 20% de solo. Os menores valores obtidos foram com 100% de solo com 21,40%.

Na Figura 27 é apresentado um gráfico comparativo entre os valores de massa específica seca, teor de umidade e ISC encontrados para os dois resultados recomendados pela NBR 12053. Neste gráfico estão representados em barras os valores de massa específica seca máxima e a massa específica seca obtida quando o ISC foi máximo. O valor de ISC máximo e o obtido quando a Massa específica seca foi máxima. E, também os valores de umidade para os pontos de máximos de massa específica seca e ISC.

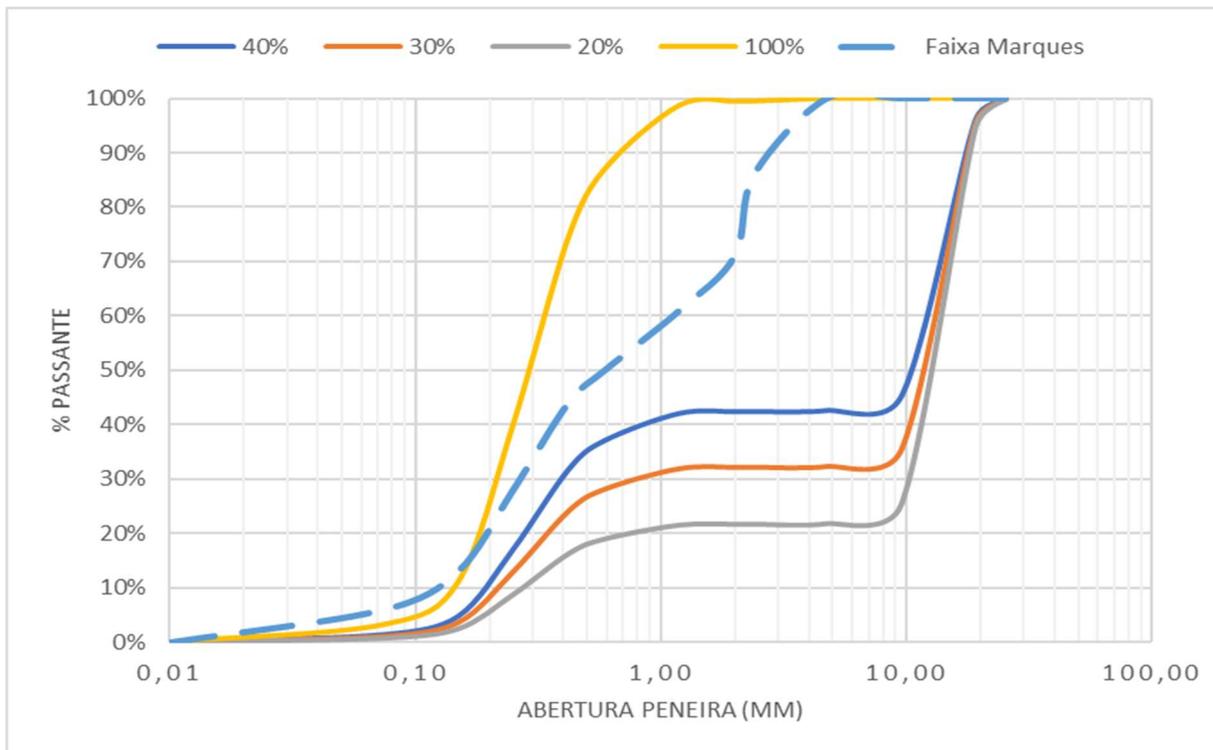
Figura 26: Comparação entre os resultados por teor de solo na mistura.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Ao analisar este gráfico notou-se que em apenas com 100% do solo a Massa específica seca compactada máxima é a que apresenta os maiores índices de suporte do solo. O teor de umidade apresentou comportamento distintos de acordo com a porcentagem de solo utilizado. Quanto menor o teor de solo na mistura, maior é o teor de umidade ótimo necessário para se obter o ISC máximo. Também, quanto maior o teor de solo da mistura o teor de umidade do ISC máximo do ensaio diverge para baixo.

Figura 27: Comparação entre as granulometrias ensaiadas e referência.



Fonte: Elaboração Própria.

Como pode se observar na Figura 28, as misturas de solo utilizadas são mal graduadas não apresentando partículas na faixa entre 0,5 e 9,5 mm, aonde na curva de referência extraída do agregado 1 da tabela 4 (linha tracejada) há uma boa distribuição de partículas nessa faixa. Tendo em vista esse fato a realização de ensaios com misturas utilizando uma composição de agregados, de modo a corrigir a curva granulométrica de acordo com a curva de referência é recomendado.

Ao estar a par dos resultados obtidos podemos notar que embora a mistura com 20% de solo tenha o melhor índice de suporte a sua curva é a mais afastada da curva de referência, ou seja a mistura mais mal graduada.

A mistura com melhor desempenho apresentado foi a de 30% por ser a segunda mistura mais densa, a segunda com maior capacidade de suporte. Além disso apresenta índice de expansão baixo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao findar deste trabalho notou-se que a literatura na área de rodovias não-pavimentadas é uma área de conhecimento disperso e pouco aprofundado. O tamanho continental do país e a dependência do caráter local dos materiais, são pontos a serem considerados, pois nos impedem de ter normas gerais que possam ser aplicadas em todo o país. No entanto, temos diferentes solos espalhados pelo território brasileiro, sendo necessária a caracterização e catalogação das diversas jazidas encontradas em uma localidade. A simplicidade de sua execução e manutenção e o baixo volume de tráfego ajudam a diminuir o interesse em melhores técnicas, pois os defeitos viram escassos e pontuais, e tendem a ser de fácil manutenção.

Mesmo assim é papel da engenharia civil pensar nos melhores modos de projeto, planejamento e execução destas vias tão importantes a sociedade, que integram e conectam diversos pontos recatados dentro do território brasileiro. O que se vê dentro da literatura são normas com requisitos gerais e algumas normas e instruções estaduais, como do estado de São Paulo, Paraná e Santa Catarina que já se propuseram a debater instruções padrões para projeto e execução destas rodovias.

Como visto na curva granulométrica o solo tem equilíbrio entre as proporções de Areia e Argila da mistura e uma fração pequena de siltes.

Foi observado que quanto maior a quantidade de agregado graúdo, maior é o teor de umidade ótimo da mistura. Este efeito pode estar relacionado com a absorção do agregado e o aumento da sua superfície de contato comparada ao do solo. Porém é necessário realizar um estudo mais aprofundado sobre esta relação.

O comportamento das curvas de compactação das amostras com 100% de solo, apresentaram o comportamento esperado para as duas energias de compactação. Resultando no aumento da sua massa específica seca compactada e redução do teor de umidade ótimo conforme a energia de compactação aumenta

A capacidade de suporte do solo máxima (ISC máximo) foi maior do que a mínima necessária para ser utilizada como camada de sub-base e de revestimento primário em todas as misturas ensaiadas. Houve também aumento da capacidade de suporte com o diminuir da proporção de solos na mistura.

Apenas a mistura com 20% de solo apresentou capacidade de suporte para ser usada como material de base, desde que o volume de tráfego de projeto seja menor do que 5×10^6 ($N < 5 \times 10^6$). Porém o limite de liquidez, índice de plasticidade e expansão ficam acima do que é recomendado.

Contudo ao analisarmos o desempenho dos materiais estudados para o uso em rodovias não pavimentadas e de baixo custo, podemos notar que todos eles apresentam melhoras no seu desempenho comparado ao leito natural, que é geralmente a superfície de rolamento destas rodovias. Todos podem ser utilizados para o melhoramento destas rodovias desde que o dimensionamento adequado da espessura de sua camada seja feito, segundo os parâmetros do DER-PR (2006).

Ainda assim um dos objetivos traçados no trabalho foi o de determinar qual a melhor mistura ensaiada, e para isso a mistura com 30% de solo foi arbitrada como a melhor. Pois ela apresenta a melhor combinação de propriedades das amostras ensaiadas. Entretanto para se obter resultados mais conclusivos quanto aos desempenhos das misturas é necessário realizar ensaios para determinar o módulo de resiliência e o desgaste a abrasão das misturas. Além de ensaios de permeabilidade, para determinar as suas capacidades de drenagem

Por fim chegamos às considerações finais do trabalho, descritas abaixo, onde estão algumas considerações para possíveis contribuições a este estudo realizado e a continuação deste projeto.

- A realização de mais ensaios de Índice de Suporte California com estas misturas para consolidar os resultados obtidos;
- Realizar a classificação MCT do solo;
- Realizar ensaios para determinação do módulo de resiliência e análise comparativa entre as misturas;
- Utilização de compostos de agregados, como misturas de brita 1, brita 0, pó de brita e areia, a fim de enquadrar a mistura nas faixas granulométricas recomendadas;
- O ensaio com misturas de 25% e 35% de solo;
- O ensaio de penetração da brita, para efetuar análise comparativa com o desempenho obtido com as misturas;
- Efetuar o dimensionamento de uma camada de solo-brita para uma situação real do município e realizar estudo de viabilidade;

- Efetuar estudos de permeabilidade das misturas e do solo;
- Realizar a catalogação de mais solos da região com o intuito de montar um banco de dados para livre utilização

6. REFERÊNCIAS

Almeida, Filipe Ribeiro de. 2019. *Estabilização Granulométrica e Química de Areias Eólicas Aplicadas na Construção de Estradas Rurais*. UNIPAMPA. Alegrete : s.n., 2019. p. 88.

ARASHIRO, Bruno Vasconcelos. 2021. *A importância do modal rodoviário de carga na economia brasileira 2010-2019*. 2021. p. 17.

Asociación Mercosur de Normalización. 2002. *NM 52 - Agregado Miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente*. AMN. Buenos Aires : s.n., 2002. p. 14.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. *NBR 12053 - Solo-brita - Determinação de dosagem*. ABNT. Rio de Janeiro : s.n., 1992. p. 3.

— **2016.** *NBR 6457 - Amostras de solo - PReparação para ensaios de compactação e ensaios de Caracterização*. ABNT. Rio de Janeiro - RJ : s.n., 2016. p. 12.

— **2017.** *NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez*. ABNT. Rio de Janeiro : s.n., 2017. p. 9.

— **2022.** *NBR 6502 - Solos e Rochas - Terminologia*. Rio de Janeiro - RJ : ABNT, 2022.

— **2020.** *NBR 7182 - Ensaio de Comapctação*. ABNT. Rio de Janeiro - RJ : s.n., 2020. p. 13.

Atlas Socioeconomico do Rio Grande do Sul. 2020. hipsometria e unidades geomorfológicas. *atlas socioeconomico do Rio Grande do Sul*. [Online] 2020. [Citado em: 20 de 12 de 2022.] <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/hipsometria-e-unidades-geomorfologicas>.

Baesso, Dalcio Pickler. 2003. *Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção*. DER-SC. Florianópolis : s.n., 2003. p. 236.

Costa, Guilherme Castro da. 2019. *Estudo da melhoria de areia eólica sob a adição de solo de textura fina e estabilizante químico para aproveitamento em estradas não pavimentadas*. UNIPAMPA. Alegrete - RS : s.n., 2019. p. 69.

Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. 2012. *Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais Volume I - Planejamento, projeto, construção e operação*. DER-SP. São Paulo - SP : s.n., 2012. p. 226.

Departamento de Estradas de Rodagem do estado do Paraná. 2005. *Pavimentação: Solo Argiloso - Brita*. DER-PR. Curitiba - PR : s.n., 2005. p. 12.

- . 2006. *Revestimento Primário*. DER-PR. Curitiba - PR : s.n., 2006. p. 16.
- Departamento de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina. 2016.** *Pavimentação: Camadas Estabilizadas Granulometricamente*. DEINFRA - SC. Florianópolis : s.n., 2016. p. 9.
- Departamento Nacional de Infraestrutura Rodoviária. 2022.** *Pavimentação - Base estabilizada Granulométricamente*. DNIT. Rio de Janeiro - RJ : s.n., 2022. p. 12.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 97.** *DNER-MW 195 - Agregados - Determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo*. DNER. Rio de Janeiro - RJ : s.n., 97. p. 6.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2006.** *Manual de Pavimentação Rodoviária*. DNIT. Rio de Janeiro - RJ : s.n., 2006. p. 274.
- Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre. 2010.** *Pavimentação - Sub-base estabilizadas granulometricamente - Especificação de Serviço*. DNIT. Rio de Janeiro - RJ : s.n., 2010. p. 8.
- Fattori, Bernardo José. 2007.** *Manual para manutenção de estradas com revestimento primário*. UFRGS. Porto Alegre : s.n., 2007. p. 80.
- Hartmann, Poliana N. 2022.** *CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA: INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FIBRAS SINTÉTICAS E DE AGENTE DE CURA INTERNA (SAP) EM PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE*. UNIPAMPA. Alegrete : s.n., 2022. p. 174.
- Marques, Geraldo Luciano de Oliveira. 2006.** *Notas de aula da Disciplina de Pavimentação*. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de fora - MG : s.n., 2006. p. 210.
- Prass, Adrielle Souza. 2019.** Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações Geotécnicas aplicadas a solos do município de Alta Floresta - MT. *Congresso de pesquisa e Ensino em transporte da ANPET*. 33°, 2019, Vol. 1.
- Senço, Wlastermiller de. 2023.** *Manual de Técnicas de pavimentação*. 3°. São Paulo : Pini, 2023. Vol. 1.
- SIGEP.** Verbete - Sinéclise. *Glossário geológico Ilustrado*. [Online] [Citado em: 20 de 01 de 2023.] <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/sineclise.htm>.

7. ANEXOS

A – Mapa Tipo de Solos do Rio Grande do Sul

B – Mapa de Geodiversidade do estado do Rio grande do Sul

C – Classificação Rodoviária HRB