

UNIGUAÇU – UNIÃO DE ENSINO SUPERIOR DO IGUAÇU LTDA

FACULDADE UNIGUAÇU

ENGENHARIA CIVIL

PROJETO FINAL DE CURSO II

LUIS FELIPE FERREIRA

**ANÁLISE DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CBR) EM SOLO
COM INCORPORAÇÃO DE MATERIAL GRANULAR EM
DIFERENTES PROPORÇÕES**

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU - PR

2026

LUIS FELIPE FERREIRA

**ANÁLISE DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CBR) EM SOLO
COM INCORPORAÇÃO DE MATERIAL GRANULAR EM
DIFERENTES PROPORÇÕES**

Projeto de pesquisa apresentado como requisito para
aprovação na disciplina de Projeto Final de Curso I do
curso de Engenharia Civil da Faculdade UNIGUAÇU.
Orientador(a): Carla Caroline Facchi.

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU - PR

2026



4.0 Internacional

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TERMO DE APROVAÇÃO

LUIS FELIPE FERREIRA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CBR) EM SOLO COM INCORPORAÇÃO DE MATERIAL GRANULAR EM DIFERENTES PROPORÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil apresentado, sob a orientação Carla (Carla Caroline Facchi), aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no curso de Engenharia Civil da Faculdade UNIGUAÇU, pela seguinte banca examinadora:

Professora Esp. Carla Caroline Facchi
Faculdade UNIGUAÇU

Professora Me. Daniela Kunz
Faculdade UNIGUAÇU

Professora Dra. Jaqueline Tomasini Orth
Faculdade UNIGUAÇU

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 08 DE JUNHO DE 2026.

A folha devidamente assinada está sob guarda da secretaria do curso.

RESUMO

A infraestrutura rodoviária desempenha papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, sendo o principal meio de transporte no Brasil. Nesse contexto, a qualidade dos materiais utilizados na pavimentação é essencial para garantir a durabilidade e eficiência das vias. O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da estabilização granulométrica de um solo, proveniente do município de São Miguel do Iguaçu – PR, com a adição de brita $\frac{3}{4}$ em diferentes proporções (3%, 6%, 9% e 12%), avaliando seu desempenho por meio do Índice de Suporte Califórnia (CBR). A metodologia adotada consistiu na caracterização dos materiais utilizados, incluindo ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade, análise granulométrica e ensaio de compactação Proctor, além da realização do ensaio de CBR para cada proporção de mistura. Os resultados obtidos permitiram avaliar o comportamento mecânico do solo natural e das misturas solo-brita, identificando as variações na capacidade de suporte e na compactação. Os resultados demonstraram que a adição de brita $\frac{3}{4}$ promoveu melhorias significativas nas propriedades do solo, com aumento da densidade máxima e redução da umidade ótima de compactação. Em relação ao CBR, observou-se que, embora pequenas adições não tenham proporcionado ganhos imediatos, proporções maiores, especialmente 9% e 12%, resultaram em aumento expressivo da capacidade de suporte do solo, atingindo valores superiores ao do solo natural. Conclui-se que a estabilização granulométrica com brita $\frac{3}{4}$ é uma alternativa técnica viável para melhoria de solos utilizados em pavimentação, contribuindo para o aumento da resistência mecânica e possibilitando a redução da espessura das camadas estruturais do pavimento. Além disso, essa técnica pode representar uma solução economicamente vantajosa e ambientalmente mais sustentável, ao otimizar o uso de materiais disponíveis localmente.

Palavras-chave: Pavimentação. Solo-brita. CBR. Estabilização granulométrica.

ABSTRACT

Road infrastructure plays a fundamental role in economic and social development, being the main means of transportation in Brazil. In this context, the quality of the materials used in paving is essential to guarantee the durability and efficiency of the roads. This work aims to analyze the influence of granulometric stabilization of a soil, from the municipality of São Miguel do Iguaçu – PR, with the addition of $\frac{3}{4}$ crushed stone in different proportions (3%, 6%, 9% and 12%), evaluating its performance through the California Bearing Ratio (CBR). The methodology adopted consisted of characterizing the materials used, including liquid limit tests, plastic limit tests, granulometric analysis and Proctor compaction test, in addition to performing the CBR test for each mixture proportion. The results obtained allowed us to evaluate the mechanical behavior of the natural soil and the soil-crushed stone mixtures, identifying variations in bearing capacity and compaction. The results demonstrated that the addition of $\frac{3}{4}$ crushed stone promoted significant improvements in soil properties, with an increase in maximum density and a reduction in optimum compaction moisture. Regarding the CBR, it was observed that, although small additions did not provide immediate gains, larger proportions, especially 9% and 12%, resulted in a significant increase in the soil's bearing capacity, reaching values higher than that of the natural soil. It is concluded that particle size stabilization with $\frac{3}{4}$ crushed stone is a viable technical alternative for improving soils used in paving, contributing to increased mechanical strength and enabling a reduction in the thickness of the pavement's structural layers. Furthermore, this technique can represent an economically advantageous and environmentally more sustainable solution, by optimizing the use of locally available materials.

Keywords: Paving. Soil-crushed stone. CBR. Particle size stabilization.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 JUSTIFICATIVA	10
3 OBJETIVOS.....	11
3.1 OBJETIVO GERAL	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
4 REVISÃO DE LITERATURA	12
4.1 INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA NO BRASIL E SUA IMPORTÂNCIA	12
4.2 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS EM PAVIMENTAÇÃO.....	14
4.2.1 Métodos de estabilização de solos	15
4.2.2 Estabilização granulométrica.....	16
4.2.3 Propriedades da brita $\frac{3}{4}$ e seu uso na pavimentação	18
4.3. INDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CBR).....	19
4.3.1. Conceito e importância do CBR na pavimentação	19
4.3.2. Procedimentos de ensaio do CBR	20
4.4 PAVIMENTOS	22
4.4.1 Critérios para camadas estruturais de pavimentos flexíveis.....	24
5 MATERIAL E MÉTODOS	26
5.1 MATERIAIS	26
5.1.1 Solo	26
5.1.2 Brita $\frac{3}{4}$	27
5.2 MÉTODOS	27
5.2.1 Limite de liquidez (NBR 6459, 04/2016).....	27
5.2.2 Limite de plasticidade (NBR 7180, 03/2016)	29
5.2.3 Granulometria.....	29
5.2.4 Proctor.....	30
5.2.5 C.B.R.....	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
6.1 CLASIFICACAO DO SOLO E DA BRITA $\frac{3}{4}$	33
6.1.1 Limite de liquidez e de limite de plasticidade.....	33
6.1.2 Analise granulometria do solo	35
6.1.3 Analise granulométrica da brita $\frac{3}{4}$	37
6.2 PROCTOR	38
6.3 C.B.R.....	40

7 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS.....	44
APENDICE A	48
APENDICE B	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Estrada caminho do mar.	12
Figura 02: Prensa para rompimento de CBR.	21
Figura 03: Camadas dos pavimentos.	24
Figura 04 : Fluxograma de processos.	26
Figura 05: Coleta de solo	27
Figura 06: Brita 3/4.	27
Figura 07: Aparelho de Casagrande.	28
Figura 08: Equipamento de limite de plasticidade.	29
Figura 09: Molde proctor.	31
Figura 10: Molde CBR.	32
Figura 11: Rompimento do CBR.	32
Figura 12: Gráfico do limite de liquidez.	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Numero de golpes correspondente a cada energia de compactação.....	21
Quadro 02: Peneiras utilizadas no peneiramento.....	30
Quadro 03: Tabela de limite de liquidez.....	33
Quadro 04: Tabela de limite de plasticidade.....	34
Quadro 05: Tabela de peneiramento grosso do solo.....	36
Quadro 06: Tabela de peneiramento fino do solo.....	36
Quadro 07: Resultados dos proctors.....	39
Quadro 08: Resultados dos ensaios CBR.....	40

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura rodoviária desempenha um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico de um país, pois facilita o transporte de pessoas e mercadorias, conectando diferentes regiões e promovendo a circulação de bens essenciais. No Brasil, onde o modal rodoviário é responsável por aproximadamente 61% da matriz de transportes (ARACHIRO, 2021), essa rede viária se torna ainda mais crucial para o bom funcionamento da economia.

Investir em estradas seguras e de qualidade não só melhora a eficiência logística, reduzindo custos e tempos de transporte, mas também é um fator determinante para o crescimento regional e a integração de áreas mais remotas ao mercado nacional e internacional (COSTA, 2022). Além disso, a melhoria da infraestrutura rodoviária contribui para o desenvolvimento social, criando oportunidades de acesso à educação, saúde e empregos, o que reflete diretamente na qualidade de vida das populações atendidas.

A construção de rodovias exige a execução de diferentes camadas estruturais, como subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, cuja composição pode variar de acordo com as condições locais e as necessidades do projeto (NBR 16364:2015). Dentre essas camadas, o subleito e a sub-base têm papel fundamental na capacidade de suporte do pavimento, influenciando diretamente sua durabilidade e desempenho.

O solo, por ser o material mais abundante na construção de estradas, é amplamente utilizado na pavimentação, mas suas propriedades podem apresentar limitações técnicas (GONDIM, 2008). Em muitos casos, é necessário transportar materiais de jazidas distantes para atender às especificações exigidas, o que pode aumentar significativamente os custos da obra. Como alternativa, a estabilização do solo com outros materiais tem sido amplamente estudada, especialmente no setor de pavimentação (CASAGRANDE, 2005).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de um solo da cidade de São Miguel do Iguaçu-PR estabilizado com brita $\frac{3}{4}$ em diferentes proporções (3%, 6%, 9% e 12%). A partir dos resultados, busca-se o aumento do CBR, a viabilidade da redução da espessura da base e da sub-base, contribuindo para a otimização de materiais e custos na pavimentação rodoviária.

2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Grigoletto (2017), o setor da construção civil tem um impacto específico sobre o meio ambiente, devido ao uso intensivo de recursos naturais, exploração de jazidas, elevado consumo de energia elétrica e transporte de materiais. Essas atividades econômicas para a gestão ambiental, como a destruição de ecossistemas, o esgotamento de recursos e a emissão de substâncias prejudiciais, destacam a necessidade de práticas mais sustentáveis na área.

Segundo Bardini (2008), o desenvolvimento sustentável busca atender às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades. Nesse sentido, as empresas devem adotar práticas mais sustentáveis, controlando de forma eficiente os recursos utilizados e minimizando os impactos ambientais, a fim de garantir a preservação desses recursos para o futuro.

Atualmente, a busca por soluções técnicas que tornem as obras de engenharia mais eficientes em termos de custo e que reduzam os impactos ambientais é um objetivo central das pesquisas em andamento. No campo da pavimentação e infraestrutura, o desenvolvimento de materiais alternativos é de extrema relevância, pois essas áreas têm capacidade de empregar esses materiais em grande escala, contribuindo para práticas mais sustentáveis e econômicas (PINTO 2006).

À medida que a urbanização e a procura por novas infraestruturas aumentam, é essencial adotar práticas de construção que minimizem os impactos ambientais, otimizem a utilização de recursos naturais e promovam a eficiência energética. A necessidade de otimizar o uso das áreas disponíveis ou, ainda, questões econômicas, impulsionam a demanda por técnicas que possibilite o reforço de solos com baixa capacidade de suporte. (GUARIGUASI, 2018).

A escolha deste tema foi motivada pela busca por soluções que unam eficiência técnica e viabilidade econômica no setor de infraestrutura. O uso de recursos naturais alternativos surge como uma possibilidade promissora para o reforço do solo, oferecendo resultados eficazes e adaptáveis às necessidades locais, sem deixar de considerar a responsabilidade no uso dos materiais disponíveis (GUARIGUASSI, 2018).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a influência da inserção de pedra $\frac{3}{4}$ no aumento do índice de Suporte Califórnia (CBR) de um solo do município de São Miguel do Iguaçu, visando melhorar a resistência do subleito, com potencial redução da espessura das camadas de sub base e base.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os materiais utilizados na pesquisa, solo natural e brita $\frac{3}{4}$.
- Produzir corpos de prova para ensaio CBR utilizando o solo natural
- Produzir corpos de prova para ensaio CBR utilizando o solo e diferentes teores de brita (3%, 6%, 9% e 12%).
- Comparar os resultados dos ensaios CBR para as diferentes proporções de brita em relação ao solo sem incorporação.
- Avaliar o impacto da estabilização com brita $\frac{3}{4}$ na resistência do solo, verificando se a aumento ou diminuição dos resultados do CBR.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA NO BRASIL E SUA IMPORTÂNCIA

O transporte rodoviário é o principal meio de deslocamento de pessoas e cargas no Brasil, o que torna essencial o estudo do dimensionamento e da expansão dos pavimentos dessas vias (KONGA, 2018).

No ano de 1661, início a construção da primeira estrada no Brasil, a estrada caminho do mar, localizada no estado de São Paulo, interligando a cidade de Santos a o planalto paulista. Entre os anos 1844 e 1913 a estrada esteve abandonada e foi em 1913 que teve reformas e então em 1922 foi pavimentada em concreto, sendo hoje utilizado apenas para fins turísticos (FRANZ, 2012).

Figura 1: Estrada caminho do mar.



Fonte: Franz, (2012).

As principais estradas brasileiras tiveram o início de suas construções no século XIX, e nas décadas de 40 e 50 em diante foram que as construções ganharam reconhecimento e um grande impulso, devido a criação do fundo rodoviário nacional (FRN) que criou impostos sobre o combustível (FRANZ, 2012).

No ano de 1954 teve a fundação da Petrobras, que passou a ser produzido em asfalto em grandes quantidades, e em 1957 teve a implantação da indústria automobilística nacional (FRANZ, 2012).

Uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em 2017, a malha rodoviária brasileira abrange 212.866 km de estradas pavimentadas e 1.365.425 km de estradas não pavimentadas. Com isso, estima-se que o Brasil tenha uma densidade de aproximadamente 24,8 km de rodovias pavimentadas para cada 1.000 km² de território.

O Brasil possui uma vasta e complexa rede de sistemas de transporte, projetada para atender às diversas necessidades logísticas do país, abrangendo os modais dutoviário, rodoviário, aquaviário, ferroviário e aeroviário. Cada um desses modais apresenta características específicas, com vantagens e especificações próprias, sendo mais adequados para tipos específicos de carga, distâncias e regiões, o que permite uma maior flexibilidade e eficiência no escoamento de mercadorias. A interdependência entre eles é fundamental para garantir a competitividade do país no comércio internacional, permitindo uma movimentação eficiente de recursos e mercadorias por meio de diferentes modalidades de transporte (PENTEADO, 2021).

Segundo Gaertner (2024), apesar do progresso tecnológico, o transporte continua sendo um elemento fundamental para a execução de todo o processo logístico. Ao longo dos anos, a área de transporte tem sido beneficiada com a modernização e a implementação de novas tecnologias, embora ainda haja muito a ser feito, principalmente devido à falta de investimentos nesse setor. O modal rodoviário é responsável por cerca de 60% do transporte no país e, embora seja o mais utilizado atualmente, enfrenta altos custos operacionais e a realidade de muitas estradas não sendo asfaltadas. A carência de recursos também impacta a utilização otimizada de outros modais.

No Brasil as rodovias são responsáveis por maior parte sobre o transporte de cargas, no ano de 2004 tendo sido movimentadas aproximadamente 665 milhões de toneladas por meio rodoviário. É evidenciado a grande dependência por este modo de transporte no Brasil quando se comparado com outros países, como EUA que só 26% das cargas são feitos por rodovias, ou Austrália sendo apenas 24% e a China utilizando o modal rodoviário em apenas 8% (BARTHOLOMEU, 2006).

O transporte rodoviário além de ser simples é também muito eficiente, podendo alcançar todas as regiões do território nacional brasileiro. Na década de 80 a malha rodoviária no Brasil teve seu maior avanço, durante essa época quase 20% dos gastos públicos eram destinados as construções e reformas de rodovias (SALOMÃO, 2019).

4.2 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS EM PAVIMENTAÇÃO

O solo é resultado da alteração de uma rocha-mãe, processo que ocorre por meio de uma série de ações físicas, físico-químicas e biológicas ao longo do tempo. Trata-se de uma formação natural, com estrutura solta, deslocável e de espessura variável, dependendo das condições ambientais e geológicas de cada região (LIMA, 2019).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o solo é caracterizado como qualquer material, seja de origem orgânica ou inorgânica, que não esteja consolidado ou que esteja apenas parcialmente cimentado. Ele ocorre na superfície terrestre e pode ser facilmente escavado com o uso de equipamentos manuais, sem a necessidade de explosivos, ou que facilitam sua manipulação em diversas obras de infraestrutura (LIMA, 2019).

O solo natural é um material de grande complexidade e variação, sendo composto por uma combinação de minerais, água e matéria orgânica, o que resulta em características específicas dependendo de sua origem e composição. Apesar disso, por ser amplamente disponível e de baixo custo, o solo natural oferece inúmeras possibilidades de aplicação na engenharia, especialmente em projetos de construção e infraestrutura (NUNEZ, 1991).

Segundo Santos (2006) o Sistema Unificado de Classificação de solos (SUCS), utiliza a granulometria e os limites de plasticidade e liquidez do solo para determinar o seu tipo. Os solos são classificados em 13 grupos sendo que cada um deles é representado por duas letras sendo elas referentes a sua granulometria e o seu limite de plasticidade.

Conforme Mascarenhas (2006), no Brasil o clima é de predominância tropical, e por isso o país tende a ter um solo tropical, onde suas características são, coloração vermelha, são intemperizados e possuem baixa fertilidade natural. Além disso o solo heterogêneo devido ao clima, relevo e também o seu material de origem quem influenciam em seus potenciais e suas limitações.

O solo para ser considerado tropical, além de ter se formado uma região de clima tropical úmido, precisa possuir algumas peculiaridades de interesse geotécnicos. O solo tropical é dividido em dois grandes grupos: os solos saprolíticos e os solos latéricos (NOGAMI, 1995).

Os solos saprolíticos estão relacionados a deterioração da rocha mãe, apresentam uma variação na coloração, conseguimos identificar essa classe através de um microscópio, pois nele apresenta manchas, número de vazios, uma composição mineralógica variada e outras características da rocha mãe (MASCARENHAS, 2006).

Os solos latéricos passam pelo processo de lixiviação de sílicas e catiônicas, esse processo melhora o solo fazendo ter um bom desempenho mecânico, e sofrendo menos com a erosão, sendo melhor para aplicação de bases na pavimentação. Esse solo possui uma coloração amarelada ou avermelhada e possui material finos mais estáveis (MASCARENHAS, 2006).

4.2.1 Métodos de estabilização de solos

O solo sendo um material muito usado na pavimentação, não é incomum que em determinadas regiões não atenda as exigências específicas do projeto de dimensionamento de determinada obra, seja por questão de resistência (CBR considerado no dimensionamento), compactação, distribuição ou outros requisitos técnicos. Nesse contexto, pode ser necessário realizar modificações ou utilizar materiais alternativos para garantir a adequação apenas às condições necessárias para o desempenho adequado da estrutura (NUNEZ, 1991).

Há mais de 3000 anos atrás os chineses utilizavam madeira para estabilizar o solo para as fundações dos templos. Os primeiros registros que temos de alguém tentando melhorar a qualidade do solo para uma estrada são os gregos e os romanos que utilizavam cal para estabilizar o solo, a necessidade de superfícies mais rígidas tornou-se mais comum por causa das invenções dos veículos com rodas, e nos dias atuais buscam a melhoria da qualidade das vias, tendo em vista o aumento da quantidade, tamanho, e peso dos veículos que transitam pelas estradas (CRISTELO, 2001).

A técnica de estabilização de solos por métodos físico-químicos tem sido amplamente estudada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFRGS, com ênfase no desempenho mecânico de materiais geotécnicos cimentados artificialmente, como solo-brita, o solo-cimento e o solo-cal. Essas pesquisas visam melhorar as propriedades de solos naturais, tornando-os mais

adequados para diversas aplicações, como fundações superficiais em solos com propriedades geotécnicas limitadas, e também na construção de bases para pavimentos rodoviários, um aspecto crucial para a durabilidade e a resistência das infraestruturas (SPECHT, 2000).

A estabilização adequada dos solos de fundação tem se tornado um tema de crescente relevância no cenário atual da construção civil, especialmente devido à demanda crescente por soluções que atendam a requisitos técnicos, econômicos e ambientais. A utilização dessa técnica visa garantir a segurança estrutural e a estabilidade das construções, evitando problemas futuros relacionados a recalques e falhas de fundação. Além disso, a conscientização ambiental tem ganhado um papel central nas decisões sobre métodos de construção, com ênfase na redução dos impactos ambientais gerados pela exploração e prejuízo do solo (CRISTELO, 2001).

Segundo Alencar (2019) na engenharia geotécnica, a busca por novas tecnologias que se adaptam às diversas condições geológicas e ambientais do Brasil tem se intensificado. Essas soluções não só oferecem benefícios técnicos e econômicos, mas também desempenham um papel importante na preservação ambiental, ao minimizar os impactos ecológicos das obras.

A estabilização do solo, que envolve a alteração de suas propriedades naturais para torná-lo mais adequado à construção, pode ser realizada por diferentes métodos, como adição de calor, cimento ou outros aditivos. Dentre esses, o uso de aditivos químicos se destaca por sua grande eficácia em melhorar a resistência, a durabilidade e a estabilidade dos materiais, garantindo pavimentos e fundações mais seguras, além de ser uma alternativa viável e sustentável no contexto da engenharia civil (ALENCAR, 2019).

4.2.2 Estabilização granulométrica

De acordo com Vargas (1977), em muitas situações, não é viável realizar uma simples correção no material utilizado, especialmente quando se trata de solos compostos predominantemente por pedregulhos, areias, siltes ou argilas. Nesses casos, torna-se necessário recorrer à composição artificial de um solo estabilizado, que envolve uma combinação proporcional de diferentes tipos de solo e sua mistura, com o objetivo de alcançar a granulometria desejada para uma aplicação específica.

Em conformidade com Arrivabeni (2017) estabilização granulométrica tem como objetivo produzir um material com maior estabilidade em comparação aos solos originais, além de conter uma quantidade controlada de partículas finas. Esse processo é feito por meio da mistura homogênea e bem dosada de dois ou mais tipos de solo, seguida de uma compactação adequada. Em resumo, trata-se de modificar as características do solo por meio da adição ou remoção de partículas, buscando sempre alcançar uma composição final que atenda às exigências específicas de cada aplicação.

Se um solo tiver a curva granulométrica correspondente a dos solos bem graduados consideramos ele então um solo naturalmente estabilizado. Quando se obtém uma maior quantidade de partículas sólidas no solo por unidade de volume, e possível conseguir uma melhora em sua resistência, podendo melhorar também a permeabilidade do solo após compactação (VARGAS, 1977).

Segundo Wallau (2004) o processo de determinação da dosagem das frações de pedregulho, areia, silte e argila, que alcança uma curva granulométrica bem graduada e uma plasticidade adequada, é realizado por meio de um procedimento de peneiramento que segue a mesma lógica aplicada na mistura de materiais granulados em geral. A partir das respectivas curvas granulométricas de cada componente, ou seja, da distribuição do tamanho das partículas de cada material, é possível ajustar a proporção ideal de cada fração para alcançar a granulometria desejada.

Esse método permite que as características de compactação e resistência do solo sejam otimizadas, garantindo que o material final apresente uma combinação adequada de propriedades, como a plasticidade, e atenda às exigências específicas do projeto (WALLAU, 2004).

A principal vantagem de utilizar materiais alternativos em pavimentos está em garantir que eles desempenhem adequadamente a sua função ao mesmo tempo em que permitem uma redução significativa nos custos, além disso essa alternativa pode ser ajustada para entender as exigências de qualidade estabelecidas nas especificações técnicas do projeto de dimensionamento (OLIVEIRA JUNIOR, 2018).

Silva (2018) relata que, no ano de 1816, Telford, utilizou agregados bem distribuídos para formar pavimentos mais resistentes. Ao compactar esses materiais e preencher os vazios com finos, ele conseguiu melhorar significativamente a coesão da estrutura, resultando em um pavimento mais durável e com melhor desempenho estrutural.

Bessa (2018) explica que agregados são materiais compostos por grãos de diferentes tamanhos, sem forma ou volume definidos, cujas características físicas e dimensionais são adequadas para atender às exigências das construções na engenharia civil, incluindo os trabalhos de pavimentação. Na construção de pavimentos, esses materiais desempenham a função de suportar os esforços verticais aplicados sobre a estrutura, sendo distribuídos em camadas bem calculadas e organizadas para garantir essa capacidade de suporte.

4.2.3 Propriedades da brita $\frac{3}{4}$ e seu uso na pavimentação

O Império Romano, há mais de dois mil anos, já construía pavimentos em camadas, um método que perdurou até 1775, quando Tresaguet, na França, dinamicamente uma camada drenante na superfície para melhorar a drenagem e a resistência das estradas (SILVA, 2018).

Segundo Silva (2018) em 1816 Telford, na Inglaterra, inovou ao utilizar materiais granulares bem graduados para criar pavimentos impermeáveis. Isso aumentou o intertravamento dos grãos do macadame, preenchendo os vazios com finos, o que contribuiu para maior durabilidade e resistência dos pavimentos.

Em conformidade com Braga (2018) a brita utilizada na pavimentação tem como funções principais proteger o subleito contra os efeitos do intemperismo e suportar as cargas provenientes do tráfego, distribuindo esses esforços para as camadas inferiores do pavimento. Para que possa cumprir adequadamente essas funções, a rocha de origem da brita precisa atender a certos critérios, como apresentar resistência à compressão, ao impacto, ao desgaste mecânico e às condições climáticas.

Uma mistura que está sendo muito utilizada é o solo-brita. Tem o objetivo de aprimorar as propriedades de um solo de qualidade inferior do que a necessária na obra. Essa técnica tende a favorecer vários solos, em específico os com comportamento laterítico (SILVA, 2018).

Os agregados utilizados na pavimentação devem possuir capacidade de resistir à fragmentação, degradação e desintegração ao longo do tempo. Para as camadas de base e revestimento dos pavimentos, é comum que se estabeleça um limite máximo para o valor de abrasão Los Angeles (LA), o qual pode variar conforme as exigências do órgão responsável pelas normas técnicas (LIMA, 2019).

De acordo com a NBR 12265 (1922) o solo brita é uma alternativa de material que pode ser empregada em pavimentação, composta por uma mistura de solo e uma proporção de pedras. Esse material é utilizado principalmente devido à sua capacidade de melhorar a compactação e a drenagem das camadas do pavimento. A combinação de partículas de solo com fragmentos de pedra contribui para o aumento da estabilidade das camadas de estradas, permitindo uma melhor distribuição das cargas e facilitando o escoamento da água, o que minimiza o risco de saturação e erosão.

A pedra ainda desempenha um papel relevante nas construções devido à sua elevada durabilidade, boa resistência mecânica e custo relativamente baixo. Por ocupar grandes volumes, é recomendável que sua extração ocorra, sempre que possível, nas proximidades do canteiro de obras, visando à redução dos custos com transporte (PAIVA, 2017).

A utilização do solo brita é, portanto, uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho estrutural das vias, proporcionando maior durabilidade e resistência. Esse material é especialmente vantajoso em situações que bloqueiam um equilíbrio entre a capacidade de suporte e a drenagem adequada das camadas de pavimento (NBR 12265:04, 1992).

4.3. INDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CBR)

4.3.1. Conceito e importância do CBR na pavimentação

De acordo com Souza (2007) o ensaio CBR (*California Bearing Ratio*), também conhecido como Índice de Suporte Califórnia (ISC), foi desenvolvido pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia (EUA) com o objetivo de avaliar a resistência dos solos típicos de regiões com climas frios e temperados.

Juntamente com o ensaio, foi criado um método para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, que determina a espessura total necessária para compensar a deficiência do solo no subleito em relação à sua capacidade de suporte. Esse método também considera o tipo de tráfego, incluindo a intensidade e a massa dos veículos, além do valor estatístico do CBR das camadas estruturais do pavimento (SOUZA, 2007).

Segundo a NBR 16364 (2015), o ensaio CBR é uma metodologia amplamente utilizada para avaliar a capacidade de suporte dos solos e de outros materiais que compõem a base de pavimentação. Este teste fornece resultados quantitativos que são fundamentais para os engenheiros geotécnicos, pois esses dados auxiliam no dimensionamento adequado das camadas que irão compor as estradas e rodovias.

Com base no valor obtido no ensaio, é possível determinar a capacidade de carga e expansão do solo e a sua resistência e, conseqüentemente, projetar a espessura e a composição das camadas de pavimentação, garantindo a durabilidade e a segurança das vias. Além disso, é de grande relevância não apenas para o dimensionamento de pavimentos rodoviários e urbanos, mas também como um indicador importante da qualidade do solo de fundação e dos materiais usados nas camadas do pavimento (NBR 16364: 2015).

Esse índice permite avaliar a capacidade de suporte do solo, o que influencia diretamente a escolha dos materiais e a espessura das camadas do pavimento, garantindo a resistência e durabilidade da infraestrutura. Sua utilização é essencial para otimizar o projeto, prevenindo falhas e garantindo a eficiência ao longo prazo das vias (LELIS, 2004).

A espessura das diferentes camadas que formam a estrutura de um pavimento depende diretamente do valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR) do solo onde a via será implantada. De maneira geral, solos com CBR baixo requerem camadas mais espessas para que possam suportar e distribuir adequadamente os esforços gerados pelo tráfego, reduzindo o risco de deformações prematuras. Em contrapartida, quando o solo apresenta um CBR elevado, indica boa capacidade de suporte, permitindo a adoção de espessuras menores nas camadas do pavimento conforme (NBR 7182:02/202).

4.3.2. Procedimentos de ensaio do CBR

O ensaio Índice de Suporte Califórnia, tem sua metodologia estabelecida pela ABNT NBR 9895 (2016) e é amplamente utilizado para avaliar a resistência dos solos. Além disso, permite a obtenção de outro parâmetro relevante, o índice de expansibilidade do solo, que está relacionado à durabilidade do material.

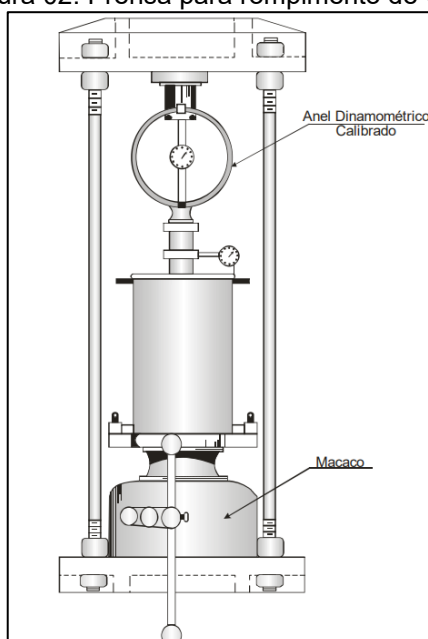
Os corpos-de-prova são normalmente confeccionados a partir de solos, previamente dosadas e controladas. Eles são compactados em cinco camadas, podendo ser aplicados diferentes níveis de energia: normal, intermediário ou modificado, alterando-se o número de golpes (Quadro 01). Após um período de 96 horas de inspeção dos corpos-de-prova em água para avaliar a expansão dos materiais, ocorre a ruptura em uma prensa (Figura 02), permitindo a medição do valor do CBR (SILVA, 2023).

Quadro 01: Número de golpes correspondente a cada energia de compactação.

ENERGIA	NÚMERO DE GOLPES
NORMAL	12
INTERMEDIARIA	26
MODIFICADA	55

FONTE: Adaptado de SOUZA, 2007.

Figura 02: Prensa para rompimento de CBR.



Fonte: DNIT, 2006.

No ensaio de CBR, a resistência à penetração de uma amostra saturada compactada, de acordo com o método de Proctor, é avaliada. Para isso, um pistão de 49,6 mm de diâmetro penetra na amostra a uma taxa de 1,27 mm/min. O valor da resistência é calculado em forma de porcentagem, fazendo uma comparação entre a resistência da amostra que está sendo testada e a resistência de uma amostra de brita graduada (SOUZA, 2007).

O ensaio é dividido em três etapas: compactação do corpo-de-prova, obtenção da curva de expansão após a amostra dos corpos-de-prova e medição da resistência à penetração (SOUZA, 2007).

De acordo com a NBR 16364 (2015) a compactação e o tipo de solo são fatores determinantes que podem causar variações significativas no valor do CBR (Índice de Suporte Califórnia). A maneira como o solo é compactado, assim como o tipo de material presente, exerce uma influência direta na resistência à descoberta durante o ensaio, resultando em resultados diferentes que impactam o desempenho do solo. A compactação adequada e o tipo de solo influenciam diretamente na capacidade de suporte do pavimento, refletindo na qualidade e durabilidade das estruturas viárias.

Esses aspectos são fundamentais para o dimensionamento correto dos pavimentos, pois cada tipo de solo apresenta características específicas que influenciam diretamente no desempenho da infraestrutura viária. Solos com diferentes níveis de compactação, composição granulométrica e propriedades mecânicas exigem soluções de pavimentação adequadas para garantir a estabilidade e a durabilidade das vias. A escolha da técnica correta de pavimentação é essencial para que a estrada ou infraestrutura suporte o tráfego previsto ao longo do tempo, evitando falhas prematuras e reduzindo custos de manutenção (NBR 16364, 2015).

Segundo a (NBR 12053:1992), o método de dosagem para o Índice de Suporte Califórnia (ISC) consiste em preparar amostras secas com diferentes proporções de solo, que variam entre 0% e 40% em massa seca, misturadas com brita. Essas diferentes misturas são testadas para avaliar qual percentual de solo proporciona a melhor resistência mecânica da mistura, medida pelo ISC. O objetivo é identificar a dosagem ideal que maximize a capacidade de suporte do solo-brita para aplicação em sub-base ou base de pavimentos.

4.4 PAVIMENTOS

Pavimento é a estrutura construída sobre o solo após a etapa de terraplenagem, com a finalidade de suportar e distribuir, de maneira eficiente, os esforços verticais gerados pelo tráfego, além de oferecer boas condições de conforto e segurança na circulação de veículos. Essa estrutura, também deve resistir aos esforços horizontais, garantindo maior durabilidade à superfície de rolamento (OLIVEIRA JUNIOR, 2018).

Gonçalves (1999) diz que com o crescimento do volume de tráfego e o aumento das cargas dos veículos, a tecnologia aplicada à pavimentação passou por significativas transformações. Inicialmente eram baseados em método de tentativa e erro, a prática evoluiu até alcançar uma abordagem integrada que contempla todas as etapas da gestão da infraestrutura viária como o planejamento, o projeto, a execução, a manutenção, o monitoramento e a pesquisa, dentro do conceito moderno conhecido como Sistema de Gerência de Pavimentos.

Esse avanço foi impulsionado pela crescente demanda por pavimentos rodoviários e aeroportuários que garantissem maior durabilidade, melhor desempenho funcional em termos de segurança e conforto para os usuários, além de uma utilização mais eficiente e econômica dos materiais e recursos disponíveis (GONÇALVES, 1999).

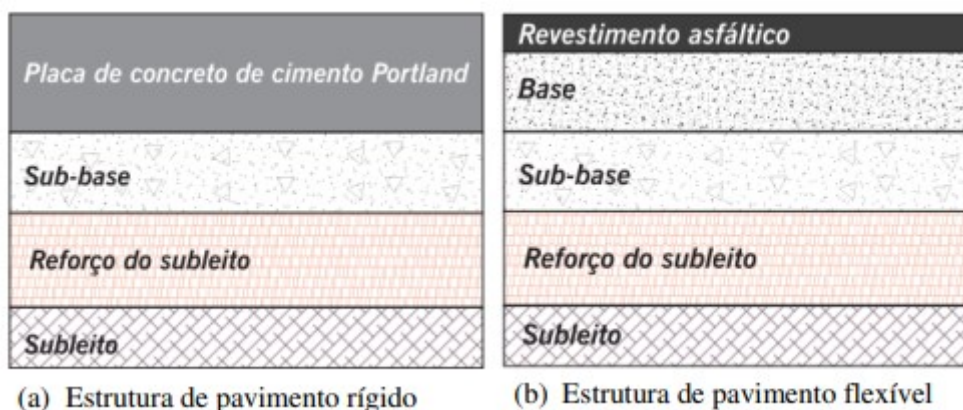
Segundo Fernandez (2020), o pavimento é compreendido como uma superestrutura composta por um conjunto de camadas com espessuras finitas, apoiadas sobre uma fundação considerada, do ponto de vista teórico, como um meio infinito. Também é dito que o pavimento é definido como uma estrutura executada sobre a terraplenagem, cuja função principal é suportar e distribuir ao subleito os esforços verticais gerados pelo tráfego, além de proporcionar melhores condições de rolamento e resistir às solicitações horizontais atuantes na via.

De acordo com Bernucci (2006), os pavimentos são tradicionalmente classificados em dois tipos principais (Figura 03): pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis. O pavimento rígido é caracterizado por um revestimento constituído por placas de concreto de cimento Portland, sendo este o elemento estrutural predominante na distribuição das cargas. Já o pavimento flexível, também chamado de pavimento asfáltico, é formado por uma composição de agregados e ligantes betuminosos. Essas diferenças estruturais influenciam diretamente no desempenho e no comportamento de cada tipo de pavimento diante das solicitações do tráfego e das condições ambientais.

O pavimento flexível, conforme definido por Rodriguez Filho (2006), é composto por uma camada de revestimento asfáltico (ou betuminosa) assentada sobre uma base formada por uma ou mais camadas de materiais granulares ou tratados com ligantes, apoiadas diretamente sobre o subleito da via. A principal característica desse tipo de pavimento é sua capacidade de distribuir as tensões verticais do tráfego

progressivamente entre as camadas inferiores, adaptando-se às deformações da base e do subleito sem comprometer significativamente a funcionalidade da via.

Figura 03: Camadas dos pavimentos.



Fonte: LIMA, 2019.

4.4.1 Critérios para camadas estruturais de pavimentos flexíveis

O pavimento flexível utiliza um sistema estrutural que depende do bom desempenho de todas as camadas, pois não possui rigidez suficiente para suportar, isoladamente, as solicitações impostas pelas cargas dos veículos. Por isso, a qualidade dos materiais utilizados, o dimensionamento adequado e a correta execução das camadas são fatores fundamentais para garantir a durabilidade, a segurança e o conforto do pavimento flexível. Esse tipo de pavimento é o mais utilizado no Brasil, principalmente em vias urbanas e rodovias, devido ao seu custo inicial mais acessível e à facilidade de manutenção (RODRIGEZ FILHO, 2006).

A construção de uma via utilizando o método de pavimento flexível envolve a execução de diferentes camadas estruturais, cada uma com funções específicas dentro do conjunto do pavimento. Essas camadas podem variar conforme as condições do solo local, o tipo de tráfego previsto, o clima da região e o tipo de pavimento adotado. De forma geral, a estrutura pode ser composta pelas seguintes camadas: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento. Nem todas são obrigatoriamente utilizadas em todos os projetos, pois sua aplicação depende da necessidade de suporte estrutural e das características do terreno (NBR 16364:04/2015).

É essa a definição de cada uma das camadas segundo a norma NBR16364:04/2015.

Subleito: é a camada mais inferior da estrutura do pavimento e corresponde ao próprio solo natural ou ao solo preparado onde a estrada será implantada. Seu desempenho influencia diretamente na durabilidade da rodovia, sendo essencial que apresente resistência e estabilidade mínimas.

Reforço do subleito: utilizado quando o subleito natural não apresenta características geotécnicas adequadas. Essa camada tem como objetivo melhorar as condições de suporte do solo, podendo ser composta por materiais granulares compactados ou solos estabilizados.

Sub-base: camada intermediária entre a base e o subleito (ou reforço do subleito). Nem sempre é necessária, mas, quando utilizada, contribui para distribuir melhor as cargas, proteger as camadas inferiores da umidade e aumentar a vida útil da via.

Base: é uma das camadas mais importantes do pavimento, responsável por suportar os esforços transmitidos pelo tráfego e repassá-los de maneira distribuída às camadas inferiores. Deve ser construída com materiais de alta resistência, como brita graduada, solo-cimento ou brita tratada com cimento (BTC), dependendo do tipo de pavimento.

Revestimento: também chamado de capa asfáltica (em pavimentos flexíveis) ou laje de concreto (em pavimentos rígidos), é a camada superior, em contato direto com os veículos. Sua função principal é proporcionar uma superfície confortável, segura e resistente ao desgaste, além de proteger as camadas inferiores contra a ação da água e agentes climáticos.

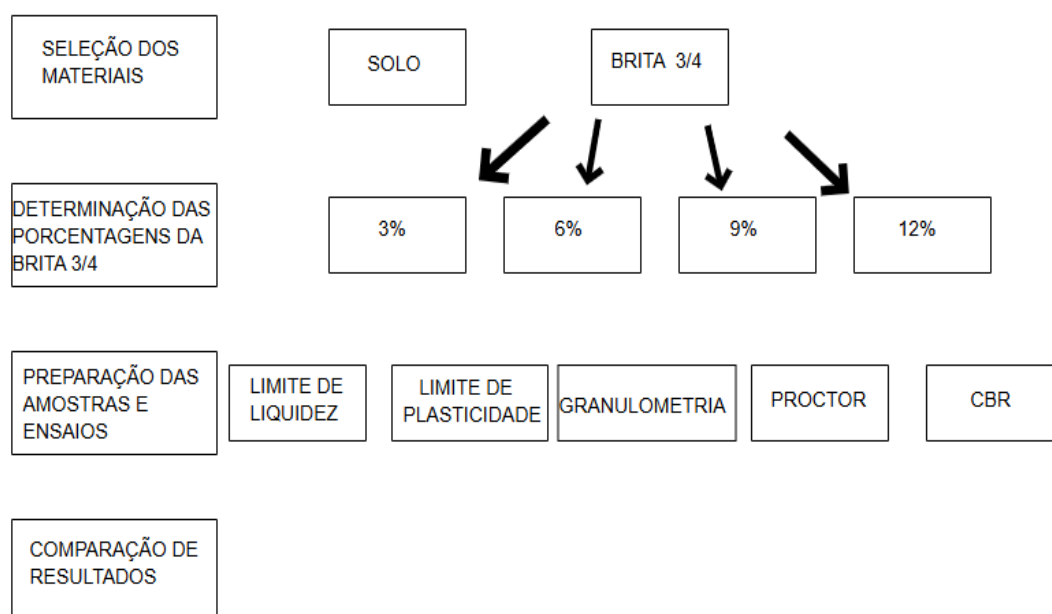
A espessura das camadas que compõem a estrutura de um pavimento está diretamente relacionada ao valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR) do solo de fundação. De forma geral, quanto menor o CBR, maior deve ser a espessura das camadas estruturais, a fim de garantir a distribuição adequada das cargas do tráfego e evitar deformações excessivas ao longo do tempo. Por outro lado, solos com valores de CBR mais elevados exigem camadas menos espessas, pois já apresentam boa capacidade de suporte natural (NBR 7182:02/2025).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Sendo a presente pesquisa de característica experimental, serão seguidas 04 etapas conforme apresentado no diagrama da Figura 04:

- 1) Seleção dos materiais;
- 2) Definição das porcentagens de material graúdo;
- 3) Preparação das amostras e realização de ensaios;
- 4) Comparação dos resultados.

Figura 04 : Fluxograma de processos.



Fonte: Autor, 2026.

5.1 MATERIAIS

5.1.1 Solo

O solo utilizado é da cidade de São Miguel do Iguaçu sendo coletado na área experimental da Faculdade Uniguaçu, coletado com auxílio de um perfurador de solo (Figura 05).

Figura 05: Coleta de solo



Fonte: Autor, 2026.

5.1.2 Brita $\frac{3}{4}$

A brita $\frac{3}{4}$ (Figura 06) utilizada foi fornecida por uma pedreira do oeste do Paraná o material utilizado possui partículas maiores e que passam pela peneira de 25,0 mm e ficam retidas na peneira de 4,75 mm.

Figura 06: Brita $\frac{3}{4}$.

Fonte: Autor, 2026.

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Limite de liquidez (NBR 6459, 04/2016)

O ensaio de Limite de Liquidez (LL) tem como objetivo determinar o teor de umidade em que o solo passa do estado plástico para o estado líquido, sendo um dos principais parâmetros utilizados na caracterização geotécnica dos solos. O procedimento foi realizado conforme as diretrizes da NBR 6459 (ABNT, 2016), utilizando o aparelho de Casagrande (Figura 07).

Inicialmente, uma amostra de solo previamente preparada foi misturada com água até adquirir uma consistência pastosa e homogênea. Em seguida, a amostra foi colocada na concha metálica do aparelho de Casagrande e nivelada adequadamente. Com o auxílio do cinzel padronizado, foi aberto um sulco na região central da amostra, dividindo-a em duas partes.

Posteriormente, a concha foi submetida a sucessivos golpes contra a base rígida do equipamento por meio do acionamento da manivela. Durante o ensaio, registrou-se o número de golpes necessários para que as bordas do sulco se unissem ao longo de uma extensão de aproximadamente 1 cm. O procedimento foi repetido para diferentes teores de umidade, permitindo a construção da curva de fluidez e a determinação do Limite de Liquidez do solo.

Esse parâmetro é fundamental para a classificação dos solos e para a avaliação de seu comportamento em obras de engenharia, pois está diretamente relacionado à sua plasticidade, compressibilidade e resistência.

Figura 07: Aparelho de Casagrande.



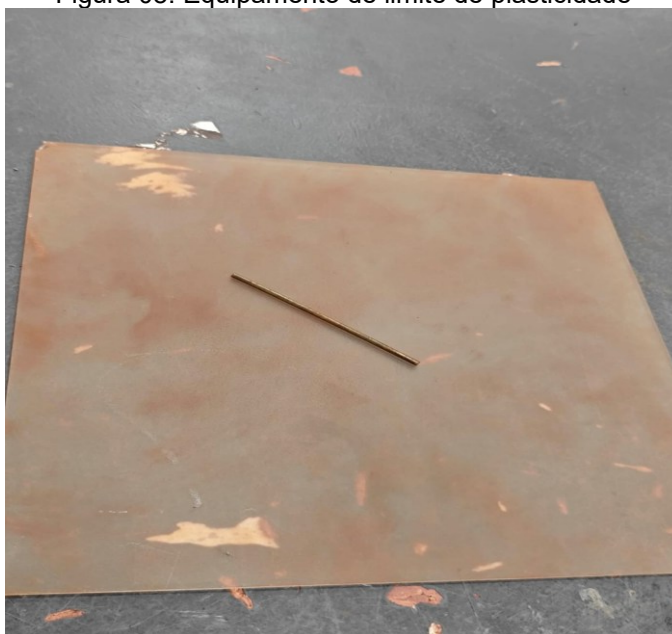
Fonte: Autor, 2026.

5.2.2 Limite de plasticidade (NBR 7180, 03/2016)

O ensaio de limite de plasticidade é realizado para determinar a umidade em que o solo deixa de ser plástico e começa a se comportar como um material quebradiço.

Para a determinação do Limite de Plasticidade (LP), utilizou-se uma amostra de solo com massa de 200 g. A amostra foi moldada manualmente em pequenos fios com aproximadamente 3 mm de diâmetro sobre uma superfície lisa (Figura 08). O procedimento foi repetido até que os fios comesçassem a se romper em pequenos fragmentos, em vez de continuarem se deformando plasticamente. Nesse momento, foi determinado o teor de umidade da amostra, sendo esse valor registrado como o Limite de Plasticidade. Juntamente com o Limite de Liquidez, esse parâmetro é utilizado para calcular o Índice de Plasticidade, importante para a classificação dos solos e para a avaliação de seu comportamento em obras de engenharia (NBR 7180, 2016).

Figura 08: Equipamento de limite de plasticidade



Fonte: Autor, 2026.

5.2.3 Granulometria

Este ensaio é um método utilizado para determinar a distribuição do tamanho das partículas de um agregado. É fundamental na construção civil para assegurar que os materiais agregados atendam às especificações necessárias para a produção de

concreto e misturas asfálticas. Consiste na determinação das percentagens, em peso, das diferentes frações constituintes da fase sólida do material (NBR 7181, 01/2025).

Realizou-se sendo separado uma amostra do material, em seguida foi colocado nas peneiras mostrado no Quadro 02. Então foi levado a o peneirador eletromagnético por 5 minutos. Após esse tempo foi retirado as amostras de cada peneira e pesadas separadamente para se obter o gráfico de granulometria (NBR 7181, 01/2025).

Quadro 02:Peneiras utilizadas no peneiramento.

POLEGADAS	MM
1"	25,4
3/4"	19,05
1/2"	12,7
3/8"	9,5
1/4"	6,3
Nº 4	4,8
Nº 8	2,36
Nº 16	1,18
Nº 30	0,6
Nº 50	30
Nº 100	0,15
Nº 200	0,075
FUNDO	0

FONTE: AUTOR, 2026.

5.2.4 Proctor

O ensaio do proctor é utilizado para avaliar a densidade em relação a umidade do solo sendo essencial no dimensionamento de pavimentos (NBR 7182, 01/2020).

A realização do ensaio começou sendo preparado os materiais, em seguida foi realizado a compactação no molde do proctor (Figura 09) depois sendo pesado e retirado uma amostra e então adicionando mais água e repedindo o processo de compactação para se obter a densidade do solo em relação a umidade do próprio.

O ensaio foi realizado com o solo natural, e também com o solo brita nas proporções 3%; 6%; 9%;12% (NBR 7182, 01/2020).

Figura 09: Molde proctor.



Fonte: Autor, 2026.

5.2.5 C.B.R.

O ensaio de CBR é utilizado para avaliar a capacidade de suporte de um solo, sendo essencial no dimensionamento de pavimentos (NBR 9895, 10/2016).

O teste começou com a compactação do solo dentro de um molde padrão (Figura 10), seguindo uma energia de compactação normal. Após essa etapa, a amostra foi submersa em água por um período de 96 horas. Esse processo de saturação simula as condições de encharcamento que o solo pode enfrentar na prática. Depois desse tempo, o solo saturado foi submetido à penetração de um pistão metálico (Figura 11), que é pressionado verticalmente contra a amostra a uma velocidade constante. A força necessária para o pistão penetrar até profundidades de 2,5 mm e 5 mm é medida (NBR 9895, 10/2016).

O resultado é expresso em forma de porcentagem e chamado de índice CBR. Um valor alto indica que o solo tem boa capacidade de suporte, enquanto valores baixos apontam para a necessidade de reforço ou substituição do solo na obra (NBR 9895, 10/2016).

Figura 10: Molde CBR.



Fonte: Autor, 2026.

Figura 11: Rompimento do CBR



Fonte: Autor, 2026.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CLASIFICACAO DO SOLO E DA BRITA $\frac{3}{4}$

6.1.1 Limite de liquidez e de limite de plasticidade

O ensaio de Limite de Liquidez (LL) foi realizado utilizando uma amostra de solo natural, com o objetivo de caracterizar suas propriedades físicas e determinar o teor de umidade correspondente à transição entre os estados plástico e líquido. Após a execução do ensaio, os dados obtidos foram organizados no Quadro 03, permitindo a análise do comportamento do solo em diferentes teores de umidade e números de golpes aplicados no aparelho de Casagrande.

Quadro 03: Limite de liquidez.

CAPSULA	PESO DA CAPSULA + SOLO UMIDO	PESO DA CAPSULA + SOLO SECO	PESO DA CAPSULA	PESO DA ÁGUA	PESO DO SOLO SECO	% DA ÁGUA	NUMERO DE GOLPES
1	31,40	26,50	12,40	4,90	14,10	25,79%	87
2	34,80	28,30	11,30	6,50	17,00	27,66%	65
3	34,30	27,70	12,10	6,60	15,60	29,73%	43
4	45,60	35,10	11,90	10,50	23,20	31,16%	26
5	43,00	32,70	12,00	10,30	20,70	33,23%	17

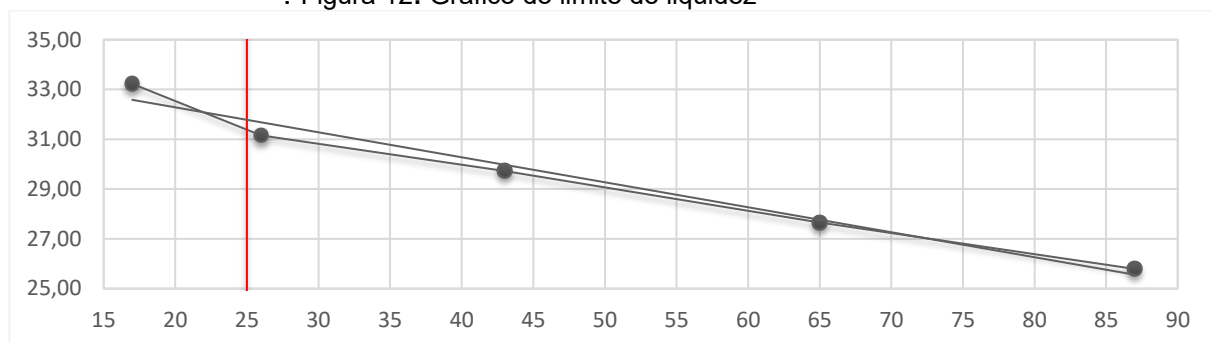
Fonte: Autor, 2026.

A partir dos resultados experimentais e da construção da curva de fluidez apresentado na figura 12 sendo representado na vertical a umidade da amostra e na horizontal o número de batidas do aparelho de Casagrande, foi possível determinar que o solo analisado apresentou Limite de Liquidez igual a **31,5%**, conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 6459 (ABNT, 2016). Esse valor indica o teor de umidade no qual o solo passa a apresentar comportamento semelhante ao de um líquido, sendo um parâmetro fundamental para sua classificação geotécnica e para a previsão de seu comportamento em obras de engenharia.

O resultado obtido demonstra que o solo possui uma capacidade moderada de retenção de água antes de atingir o estado líquido. Em geral, solos com limites de liquidez mais elevados tendem a apresentar maior quantidade de partículas finas, como siltes e argilas, além de maior compressibilidade e sensibilidade às variações de umidade. Por outro lado, o valor de 31,5% encontrado neste estudo indica que o

material não apresenta plasticidade excessiva, sugerindo um comportamento intermediário quando submetido a alterações no teor de umidade.

Figura 12: Gráfico do limite de liquidez



Fonte: Autor, 2026.

O ensaio de Limite de Plasticidade (LP) foi realizado utilizando uma amostra de solo natural com o objetivo de caracterizar suas propriedades físicas e determinar o teor de umidade correspondente à transição entre os estados plástico e semissólido. O procedimento foi executado conforme as recomendações da NBR 7180 (ABNT, 2016), sendo os resultados obtidos organizados no Quadro 04.

A partir dos dados coletados, foi possível determinar que o solo analisado apresentou um Limite de Plasticidade de 27%. Esse valor representa o teor de umidade no qual o material deixa de apresentar comportamento plástico e passa a sofrer rupturas quando submetido à moldagem em fios de aproximadamente 3 mm de diâmetro. O Limite de Plasticidade é um importante parâmetro geotécnico, pois permite avaliar a capacidade de deformação do solo sem ocorrência de fissuras ou rupturas.

Quadro 04: Limite de plasticidade.

CAPSULA	PESO DA CAPSULA + SOLO UMIDO	PESO DA CAPSULA + SOLO SECO	PESO DA CAPSULA	PESO DA ÁGUA	PESO DO SOLO SECO	% DA ÁGUA	LIMITE DE PLASTICIDADE
1	13,60	13,20	11,90	0,4	1,3	30,8%	27%
2	13,10	12,70	11,20	0,4	1,5	26,7%	
3	13,80	13,40	12,00	0,4	1,4	28,6%	
4	10,90	10,50	9,00	0,4	1,5	26,7%	
5	13,70	13,30	11,60	0,4	1,7	23,5%	

Fonte: Autor, 2026.

Os resultados obtidos indicaram um Limite de Plasticidade de 27%, valor que representa o teor de umidade no qual o solo deixa de apresentar comportamento plástico e passa a se romper durante a moldagem dos fios. Os teores de umidade encontrados nas amostras variaram entre 23,5% e 30,8%, apresentando uma média próxima ao valor adotado para o ensaio.

Ao comparar o Limite de Plasticidade (27%) com o Limite de Liquidez (31,5%), obtém-se um Índice de Plasticidade de 4,5%, indicando que o solo possui baixa plasticidade. Esse resultado sugere que o material apresenta uma pequena faixa de umidade em que permanece no estado plástico, reduzindo sua suscetibilidade a deformações causadas por variações de umidade.

Dessa forma, o solo analisado apresenta características favoráveis para determinadas aplicações na engenharia civil, uma vez que solos de baixa plasticidade tendem a apresentar maior estabilidade dimensional e menor potencial de expansão e contração.

6.1.2 Análise granulometria do solo

O ensaio de análise granulométrica por peneiramento foi realizado com o objetivo de determinar a distribuição dos tamanhos das partículas presentes no solo possibilitando sua caracterização geotécnica, conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 7181 (ABNT, 2025). O material foi submetido ao peneiramento grosso e fino, cujos resultados estão apresentados nos Quadros 05 e 06.

A análise granulométrica é de grande importância na engenharia civil, pois permite identificar a proporção entre partículas grossas e finas presentes no solo, fornecendo subsídios para sua classificação e para a avaliação de seu comportamento em diferentes aplicações geotécnicas.

Os resultados do peneiramento grosso (Quadro 05) demonstraram que não houve retenção nas peneiras de maiores aberturas, evidenciando a ausência de pedregulhos e fragmentos de grande dimensão na amostra analisada. As maiores porcentagens de material retido ocorreram nas peneiras de 4,8 mm e 2,0 mm, indicando a presença de frações arenosas no solo.

Já no peneiramento fino (Quadro 06), observou-se uma redução gradual da porcentagem passante à medida que a abertura das peneiras diminuía. Verificou-se que 27,7% do material passou pela peneira nº 200 (0,075 mm), indicando uma

quantidade significativa de finos na composição do solo. Durante a preparação da amostra também foi constatado que o material apresentava baixa agregação entre partículas, não sendo necessária a etapa de destorroamento para a realização dos demais ensaios.

Quadro 05: Peneiramento grosso do solo.

PENEIRAS Nº		PESO DA AMOSTRA SECA 1000g		PORCENTAGEM PASSADA (%)
PENEIRA #	(mm)	RETIDO	PASSADO	
2"	50	0,00	1000,00	100,0%
1 1/2"	38	0,00	1000,00	100,0%
1"	25	0,00	1000,00	100,0%
3/4"	19	0,00	1000,00	100,0%
3/8"	9,5	29,20	970,80	97,1%
Nº 4	4,8	120,00	850,80	85,1%
Nº 10	2,0	181,30	669,50	67,0%

Fonte: Autor, 2026.

Quadro 06: Peneiramento fino do solo.

PENEIRAS		PESO DA AMOSTRA SECA 200g		PORCENTAGEM PASSADA
#	(mm)	RETIDO	PASSADO	
Nº 16	1,2	33,5	166,50	83,25%
Nº 30	0,6	5	161,5	80,75%
Nº 40	0,42	25,2	136,3	68,15%
Nº 60	0,25	23,3	113	56,50%
Nº 100	0,15	33,1	79,9	39,95%
Nº 200	0,075	24,5	55,4	27,70%

Fonte: Autor, 2026.

A curva granulométrica obtida evidencia que o solo apresenta predominância de partículas arenosas, associadas a uma parcela significativa de material fino. O percentual de 27,7% passante na peneira nº 200 demonstra que o solo possui quantidade considerável de silte e/ou argila, o que influencia diretamente suas propriedades de plasticidade, permeabilidade e resistência.

Os resultados dos limites de consistência indicaram um Limite de Liquidez de 31,5%, Limite de Plasticidade de 27% e Índice de Plasticidade de 4,5%, caracterizando um material de baixa plasticidade. Esse comportamento é compatível com solos que apresentam fração fina moderada e reduzida atividade argilosa.

De acordo com os resultados granulométricos e os índices de consistência obtidos, o solo pode ser classificado pelo Sistema Unificado de Classificação dos

Solos (SUCS) como um solo arenoso com finos de baixa plasticidade, enquadrando-se, preliminarmente, no grupo SM (Areia Siltosa). Essa classificação é justificada pela predominância da fração arenosa e pelo baixo Índice de Plasticidade observado.

Pela classificação TRB/AASHTO, considerando a porcentagem passante na peneira nº 200 inferior a 35% e o baixo Índice de Plasticidade, o material tende a enquadrar-se nos grupos A-2-4 ou A-2-6, dependendo dos resultados complementares de granulometria fina e dos limites de consistência. Em ambos os casos, trata-se de um solo com potencial de utilização em obras rodoviárias, apresentando comportamento intermediário entre materiais granulares e solos finos.

Portanto, os resultados obtidos indicam que o solo analisado possui características predominantemente arenosas, com presença moderada de finos e baixa plasticidade, apresentando comportamento geotécnico favorável para diversas aplicações na engenharia civil.

6.1.3 Análise granulométrica da brita ¾.

O ensaio de granulometria da brita ¾ foi realizado por meio de peneiramento, conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 7181 (ABNT, 2025), com o objetivo de caracterizar o agregado e verificar sua distribuição granulométrica. Esse ensaio permite avaliar a composição das partículas e confirmar a classificação comercial do material utilizado.

Após a realização dos três peneiramentos, os resultados foram organizados e analisados por meio das médias das massas retidas em cada peneira. Observou-se que a maior parte do material ficou retida na peneira de 12,7 mm (1/2"), com massa média de 703,9 g, correspondendo a aproximadamente 70,4% da amostra. Além disso, verificou-se que 100% do material passou pela peneira de 19,05 mm (3/4"), característica típica desse tipo de agregado.

Com base nos resultados obtidos, foi determinado o Diâmetro Máximo Característico (DMC) igual a 19,0 mm, correspondente à peneira de ¾". Esse resultado confirma que o agregado analisado atende às especificações granulométricas esperadas para a brita ¾, validando sua classificação comercial.

A análise granulométrica demonstrou uma distribuição uniforme das partículas, com predominância de agregados retidos entre as peneiras de 12,7 mm e 9,5 mm. A

ausência de material retido nas peneiras de 25,4 mm e 19,05 mm indica que não existem partículas com dimensões superiores ao tamanho nominal da brita analisada.

Observou-se também uma quantidade muito reduzida de material fino, evidenciada pelas baixas massas retidas nas peneiras inferiores à nº 4. Essa característica é desejável para agregados graúdos utilizados na produção de concreto, pois reduz a presença de impurezas e contribui para a obtenção de misturas com melhor desempenho mecânico.

Dessa forma, os resultados confirmam que a amostra possui granulometria compatível com a brita 3/4, apresentando DMC de 19,0 mm e distribuição adequada para aplicações na construção civil, especialmente em concretos estruturais, pavimentação e obras de infraestrutura.

6.2 PROCTOR

Para a determinação da umidade ótima de compactação e da massa específica aparente seca máxima, foram realizados ensaios de compactação Proctor conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 7182 (ABNT, 2020). O ensaio foi executado utilizando a energia normal de compactação e com reuso do material, permitindo avaliar o comportamento do solo natural e das misturas contendo diferentes teores de brita 3/4.

A curva de compactação foi obtida por meio da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca. Após a plotagem dos dados experimentais, foi ajustada uma linha de tendência quadrática, possibilitando a determinação da umidade ótima e da densidade máxima de compactação para cada material analisado.

Com a realização dos ensaios no solo natural e nas misturas contendo 3%, 6%, 9% e 12% de brita 3/4, foi elaborado o Quadro 07, que apresenta os valores de umidade ótima e densidade máxima obtidos. Os gráficos das curvas de compactação encontram-se apresentados no Apêndice A.

Quadro 07: Resultados dos proctor.

MATERIAL	SOLO NATURAL	SOLO + 3% DE BRITA 3/4	SOLO + 6% DE BRITA 3/4	SOLO + 9% DE BRITA 3/4	SOLO + 12% DE BRITA 3/4
UMIDADE ÓTIMA (%)	28,7	28,5	26,2	26	25,5
DENSIDADE MÁXIMA (g/cm ³)	1490	1512	1575	1640	1687

Fonte: Autor, 2026.

Após a análise dos resultados demonstra que o solo natural apresentou uma umidade ótima de 28,7% e uma densidade máxima de 1,490 g/cm³. À medida que foram adicionadas porcentagens crescentes de brita 3/4, observou-se uma redução gradual da umidade ótima e um aumento contínuo da densidade máxima obtida na compactação.

Com a adição de 3% de brita, a densidade máxima aumentou para 1,512 g/cm³, enquanto a umidade ótima permaneceu praticamente inalterada. Já para os teores de 6%, 9% e 12%, verificou-se um aumento progressivo da densidade máxima para 1,575 g/cm³, 1,640 g/cm³ e 1,687 g/cm³, respectivamente. Paralelamente, a umidade ótima reduziu-se para 26,2%, 26,0% e 25,5%.

Esse comportamento pode ser explicado pela incorporação das partículas de brita ao solo, promovendo uma melhor distribuição granulométrica e reduzindo a quantidade de vazios presentes na mistura. Além disso, como a brita possui baixa capacidade de absorção de água quando comparada à fração fina do solo, a quantidade de água necessária para atingir a condição ótima de compactação torna-se menor.

Comparando-se o solo natural com a mistura contendo 12% de brita, observa-se um aumento de aproximadamente 13,2% na densidade máxima seca, evidenciando uma melhora significativa da capacidade de compactação do material. Esse resultado sugere que a adição de brita 3/4 contribuiu para o aumento da estabilidade e da resistência potencial da mistura, características desejáveis para aplicações em camadas de pavimentação, aterros e outras obras geotécnicas.

Portanto, os resultados indicam que a adição de brita 3/4 promoveu melhorias no comportamento de compactação do solo, sendo o teor de 12% o que apresentou o melhor desempenho dentre as composições analisadas, com a maior densidade máxima e a menor umidade ótima.

6.3 C.B.R.

Com base nos parâmetros de compactação obtidos por meio dos ensaios Proctor, foram realizados os ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC), conforme os procedimentos normativos aplicáveis. Os corpos de prova foram moldados utilizando diferentes teores de umidade próximos à umidade ótima, sendo adotados os valores de 25%, 27% e 29%.

Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos à imersão em água durante um período de cinco dias. Durante esse período, foram realizadas leituras diárias para acompanhamento da expansão das amostras. Ao término da imersão, os corpos de prova foram retirados da água e submetidos ao ensaio de penetração na prensa CBR, possibilitando a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Os resultados obtidos para o solo natural e para as misturas contendo 3%, 6%, 9% e 12% de brita 3/4 foram organizados no Quadro 08, no qual são apresentados os valores de massa específica aparente seca, umidade ótima, expansão e ISC. Os gráficos referentes aos ensaios encontram-se apresentados no Apêndice B.

Quadro 08: Resultados dos ensaios CBR.

RESULTADOS				
AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA	UMIDADE ÓTIMA	EXPANSÃO	I.S.C.
SOLO NATURAL	1,435	29,2	0,3	9,11
SOLO + 3% DE BRITA 3/4	1,467	29,2	0,23	7,9
SOLO + 6% DE BRITA 3/4	1,489	29,7	0,3	8,99
SOLO + 9% DE BRITA 3/4	1,521	30,13	0,256	10,69
SOLO + 12% DE BRITA 3/4	1,535	27,33	0,41	13,85
UNIDADE	g/cm ³	%	%	%

Fonte: Autor, 2026.

Após Os resultados demonstram que a adição de brita 3/4 influenciou significativamente o comportamento mecânico do solo. O solo natural apresentou massa específica de 1,435 g/cm³, expansão de 0,30% e ISC de 9,11%, servindo como referência para a avaliação das misturas.

Com a incorporação de 3% de brita, observou-se aumento da massa específica para 1,467 g/cm³ e redução da expansão para 0,23%. Entretanto, o ISC apresentou redução para 7,90%, indicando que essa pequena adição de agregado não foi suficiente para promover ganhos significativos de resistência.

Na mistura contendo 6% de brita, a massa específica aumentou para 1,489 g/cm³, mantendo praticamente o mesmo comportamento expansivo do solo natural. O ISC obtido foi de 8,99%, valor muito próximo ao encontrado para o solo sem adição, evidenciando que o ganho estrutural ainda foi pouco expressivo.

Os melhores resultados começaram a ser observados com as adições de 9% e 12% de brita. Para 9%, o ISC atingiu 10,69%, representando um aumento de aproximadamente 17% em relação ao solo natural. Já para 12%, o ISC alcançou 13,85%, correspondendo a um incremento superior a 50% quando comparado ao material original. Além disso, essa mistura apresentou a maior massa específica entre todas as amostras analisadas (1,535 g/cm³).

De modo geral, verifica-se uma tendência de aumento da massa específica e da resistência à medida que o teor de brita é elevado. Esse comportamento pode ser explicado pela melhoria da distribuição granulométrica do material, proporcionando maior contato entre as partículas e reduzindo os vazios da mistura. Como consequência, ocorre um aumento da capacidade de suporte do solo, refletido nos valores crescentes de ISC.

Quanto à expansão, todas as amostras apresentaram valores inferiores a 0,5%, indicando baixa suscetibilidade à expansão quando submetidas à saturação. Esse resultado é considerado favorável para aplicações em pavimentação, uma vez que reduz a possibilidade de deformações relacionadas à presença de água.

Portanto, os resultados obtidos demonstram que a adição de brita 3/4 contribuiu para a melhoria do comportamento mecânico do solo, sendo o teor de 12% aquele que apresentou o melhor desempenho geral, combinando elevada massa específica e o maior valor de ISC entre as misturas analisadas. Dessa forma, essa composição mostrou-se a mais promissora para utilização em camadas de pavimentos e outras aplicações geotécnicas que demandam maior capacidade de suporte.

7 CONCLUSÃO

Verificou-se que a incorporação de brita ao solo promoveu melhorias significativas nas propriedades geotécnicas e mecânicas da mistura, especialmente nos teores de 9% e 12%, refletindo diretamente no aumento do Índice de Suporte Califórnia (ISC/CBR), parâmetro fundamental para o dimensionamento de pavimentos conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12265:1992.

A estabilização granulométrica com brita 3/4" também contribuiu para a redução da plasticidade do solo e para o aumento da resistência à ação da umidade, favorecendo o processo de compactação e proporcionando maior estabilidade estrutural ao material. Os resultados obtidos demonstraram ganhos expressivos no comportamento mecânico das misturas com 9% e 12% de adição de brita, evidenciados pelo aumento do ISC/CBR em relação ao solo natural, pela melhoria da massa específica aparente seca e pelo melhor desempenho geral da mistura frente às solicitações de carga.

Além disso, os resultados indicam que a utilização desses teores de brita pode contribuir para uma possível otimização do dimensionamento do pavimento, permitindo potencial redução das espessuras das camadas superiores, como sub-base e base, sem comprometer o desempenho estrutural da via. Tal condição representa uma alternativa tecnicamente viável e economicamente interessante, especialmente em obras de pavimentação de baixo e médio volume de tráfego.

Em contrapartida, as misturas contendo 3% e 6% de brita 3/4" não apresentaram desempenho melhor quanto ao aumento da resistência ISC/CBR. Possivelmente por ter sido um erro de ensaios, recomendasse a realização de mais ensaios para poder compreender melhor o que aconteceu. Embora tenha sido observada melhora em parâmetros como massa específica e redução da umidade ótima, os resultados indicaram redução da capacidade de suporte em comparação ao solo natural, demonstrando que baixos teores de estabilização não foram suficientes para promover o intertravamento granular necessário ao ganho efetivo de resistência.

Dessa forma, conclui-se que a adição de brita 3/4" em proporções adequadas, especialmente nos teores de 9% e 12%, mostrou-se eficiente na estabilização do solo estudado, promovendo melhorias relevantes nas propriedades físicas e mecânicas do material. Essas melhorias tornam o solo mais adequado para aplicação como subleito,

contribuindo para maior durabilidade, estabilidade e vida útil do pavimento, além da possibilidade de redução de custos com manutenção e execução.

Entre as dosagens analisadas, a mistura contendo 12% de brita 3/4 apresentou o melhor desempenho geral, destacando-se pelos maiores valores de massa específica aparente seca e de Índice de Suporte Califórnia (ISC), além de apresentar comportamento satisfatório quanto à expansão. Esses resultados demonstram que esse teor de adição proporcionou uma melhoria mais eficiente da estrutura granular do solo, favorecendo o intertravamento entre as partículas e aumentando sua capacidade de suporte. Dessa forma, recomenda-se a utilização da mistura com 12% de brita 3/4 para as condições avaliadas neste estudo, por apresentar o melhor equilíbrio entre resistência mecânica, estabilidade e potencial de aplicação em camadas de pavimentação, contribuindo para um desempenho estrutural superior quando comparado ao solo natural e às demais dosagens analisadas.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos complementares envolvendo análises de durabilidade, comportamento sob carregamentos cíclicos e avaliação econômica comparativa, visando ampliar a aplicabilidade da técnica em diferentes condições de solo e tráfego.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, I. S.; FERREIRA, E. A.; SEVALHO, E. S. **Uso de enzimas para estabilização de solos**. Revista InterScientia, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 102–114, 2019. DOI: 10.26843/interscientia.v7i1.1021. Disponível em: <https://periodicos.unipe.edu.br/index.php/interscientia/article/view/1021>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- ARACSHIRO, B. V.; GONÇALVES, T. V. **A importância do modal rodoviário de carga na economia brasileira 2010-2019**. São Paulo, 20 set. 2021.
- ARRIVABENI, B. S. **Alternativas para estabilização granulométrica e química de solo de estradas florestais**. Minas Gerais, 15 fev. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 12053**: Solo-brita - Determinação de dosagem - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 12265**: Sub-base ou base de solo-brita - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 16364**: Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez , Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade , Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR7181**: Solos Análise granulométrica , Rio de Janeiro, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR7182**: Solos - Ensaio de compactação, Rio de Janeiro, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR9895**: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2016.
- BARDINI, V. S. S. **Estudo de viabilidade técnica da utilização de cinzas da queima da casca de Pinus em obras de pavimentação asfáltica**. Estado de São Paulo, São Carlos, 21 mai. 2008.
- BARTHOLOMEU, D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. Estado de São Paulo, Piracicaba, 21 nov. 2006.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATI, J. A. P; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica. Rio de Janeiro, 2008./ PARA ENGENHEIROS, Formação Básica. PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.

BESSA, I. S. **Avaliação do Processamento Digital de Imagens como Ferramenta para Caracterização de Agregados e Misturas Asfálticas**. Estado do Ceara, Fortaleza, 2012.

BRAGA, C. W. C. **Dimensionamento de pavimento flexível: aplicação de materiais como camadas de pavimento pelo método empírico de dimensionamento do DNIT**. Estado do Maranhão, São Luis, 12 de jul. 2018.

Brasil. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006.

CASAGRANDE, M. D. T. **Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações**. Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 08 de abr. 2005.

COSTA, CR.; MILHOMEM, RS.; ALMEIDA, WM de S.; OLIVEIRA, PP. **Rodovias brasileiras: Importância dos dispositivos para passagem da fauna**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento , [S. l.] , v. 7, pág. e58911730487, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i7.30487. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/30487>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CRISTELO, N. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. 2001.

FERNANDEZ, M. L. S.; MUTTI, C. N. **ANÁLISE DE ADITIVOS CONTRATUAIS DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO URBANA**. In: encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 18., 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.1050. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1050>. Acesso em: 22 abr. 2025.

FRANZ, C. M.; SEBERIANO, J. R. V. A história do trânsito e sua evolução. Estado de Santa Catarina, Joinville, abr. 2012.

GAERTNER, J. V. C. **Os desafios do transporte de combustível no Brasil**. Estado de Goiás, Goiânia, 14 jun. 2024.

GONÇALVES, F. P. **O desempenho dos pavimentos flexíveis**. Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, nov. 1999.

GONDIM, L. M. **Estudo experimental de misturas solo-emulsão aplicado às rodovias do agropólo do Baixo Jaguaribe - Estado do Ceará**. Estado do Ceará, Fortaleza, out. 2008.

GRIGOLETTO, L. L. **Tecnologia e sustentabilidade aplicada a construção civil no contexto de viadutos de rodovias**. Estado de São Paulo, Leme, 07 dez. 2017.

QUARIGUASI, J. B. F. et al. **Estudo da capacidade de suporte da estabilização de solos para pavimentação rodoviária**. XIX Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica. Estado da Bahia, Salvador, 28 ago. 2018.

KOGA, L. T. A. et al. **Utilização da tecnologia BIM em projeto de infraestrutura rodoviária**. 18* Congresso Nacional de Iniciação Científica, 2018.

LELIS, T. A. **Influência da energia de compactação nas relações entre o módulo resiliente, CBR e resistência à compressão não confinada de solos da Zona da Mata Norte de Minas Gerais**. Estado de Minas Gerais, Viçosa, 02 abr. 2004.

LIMA, T. V. **Estudo comparativo entre o comportamento mecânico de misturas solo-brita com calcário e granito para uso em pavimentação**. Estado do Ceara, Russas, 2019.

MASCARENHAS, I. M. N. **Caracterização geotécnica de solos na região metropolitana do Cariri/CE para uso em pavimentação**. Estado do Ceará, Fortaleza, 31, out. 2016.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentacao de baixo custo com solos lateriticos**. . Sao Paulo: Vilibor. . Acesso em: 22 abr. 2025., 1995

NUNEZ, W. P. **Estabilização físico-química de um solo residual de arenito Botucatu, visando seu emprego na pavimentação**. Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, nov. 1991.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. M. R. de; ARAÚJO, C. B. C. de; AYRES, T. M. da C. **Estudo comparativo entre solo seixo e solo brita para fins de pavimentação**. Revista Tecnologia, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 1–17, 2018. DOI: 10.5020/23180730.2018.7905. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/7905>. Acesso em: 22 abr. 2025.

PAIVA, P. S. **Caracterização e avaliação das propriedades geomecânicas para uso em pavimentação de agregados de rochas vulcânicas da porção central do Rio Grande do Sul**. Estado do Rio Grande do Sul, Santa Maria, 29 dez, 2017.

PENTEADO, G. C. M. **Modais de transporte e sua importância no avanço da logística**. Estado de São Paulo, Mogi das Cruzes, 19 jun. 2021.

PINTO, P. C.; GLASENAPP, O.; GIRARDELLO, V. **Utilização de areia de fundição na produção de concreto betuminoso usinado à quente**. Salão de iniciação Científica (18.: 2006: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2006., 2006.

RODRIGUES FILHO, S. **Estudo economico comparativo entre tipos de pavimentos**. Estado de São Paulo, Campinas, 14 dez. 2006.

ROHDE, L. L. **Análise de ensaios índice de suporte califórnia: determinação de traço ótimo de solo-brita com materiais de Alegrete-RS.** Estado do Rio Grande do Sul, Alegrete, 25 jan. 2023.

SALOMÃO, P. E. A. et al. **A importância dos serviços de conservação em estradas pavimentadas.** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento , [S. l.] , v. 8, pág. e16881189, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i8.1189. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1189>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SANTOS, E. F. **Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas de Classificações Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais.** Estado de São Paulo, São Carlos, 19 jun. 2006.

SILVA, M. R. **Determinação de parâmetros que influenciam nas propriedades mecânicas de material fresado estabilizado granulométrica e quimicamente para emprego em pavimentação.** Estado do Rio Grande do Sul, Santa Maria, 27 set. 2018.

SILVA, T. C. A. **Análise do método do agulhamento no ensaio CBR sem imersão.** Estado de São Paulo, Ilha Solteira, 30 jan. 2023.

SPECHT, L. P. **Comportamento de misturas solo-cimento-fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando a pavimentação.** Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, jan. 2000.

SOUZA, R. A. **Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia-MG.** Estado de Minas Gerais, Uberlândia, 29 jun. 2007.
VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** Mcgraw-Hill, Editora da Universidade de Sao Paulo, 1977.

WALLAU, J. R. **Avaliação da técnica de estabilização granulométrica como revestimento primário de rodovias não pavimentadas.** Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2004.

APENDICE A

Gráfico do proctor do solo natural.

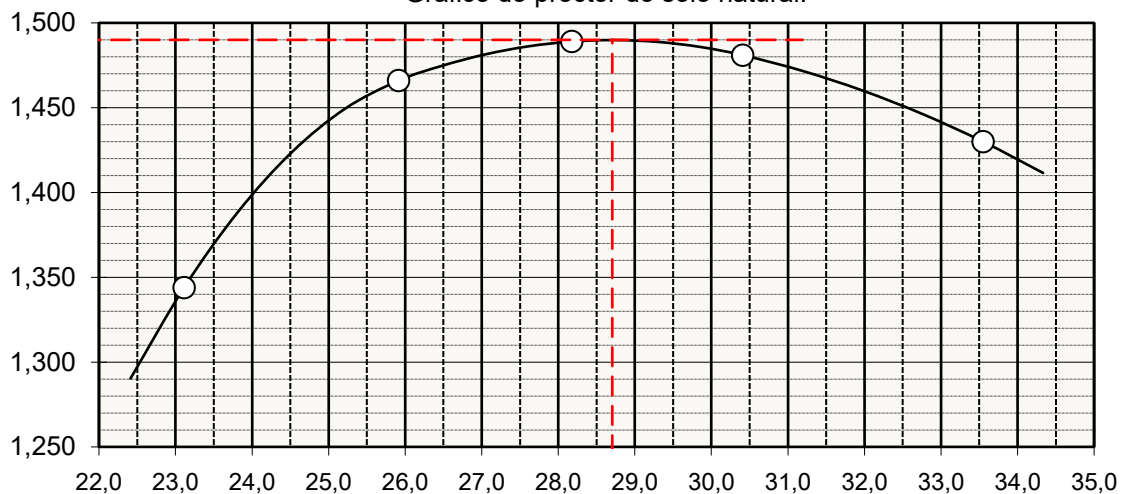


Gráfico do proctor do solo + 3% de brita $\frac{3}{4}$.

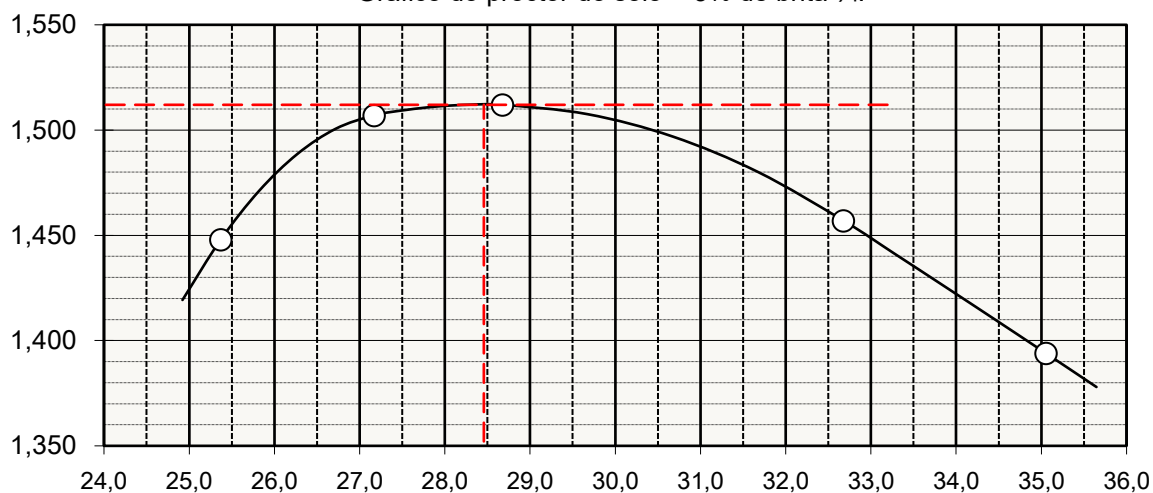


Gráfico do proctor do solo + 6% de brita $\frac{3}{4}$.

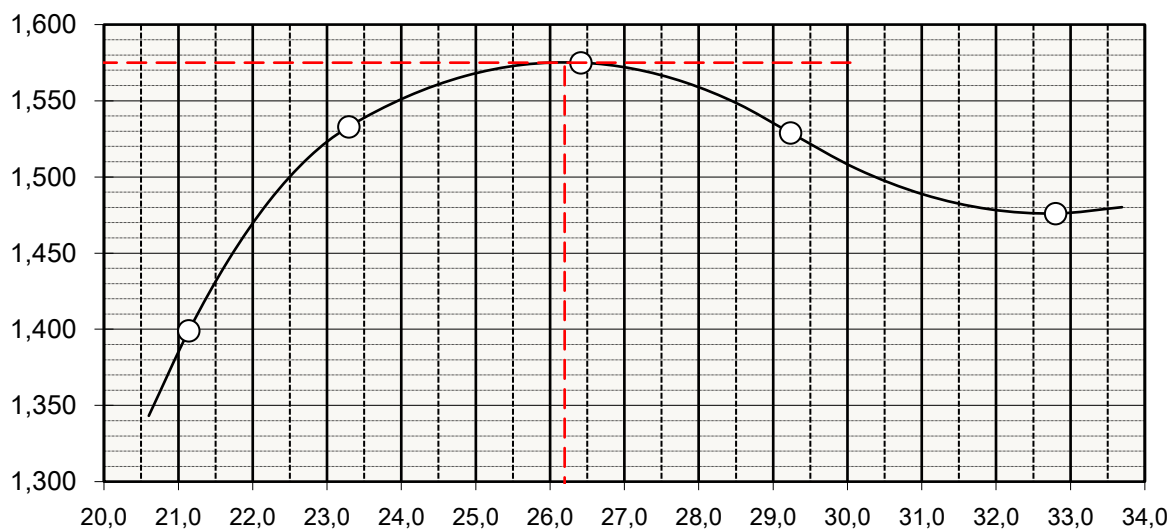


Gráfico do proctor do solo + 9% de brita 3/4

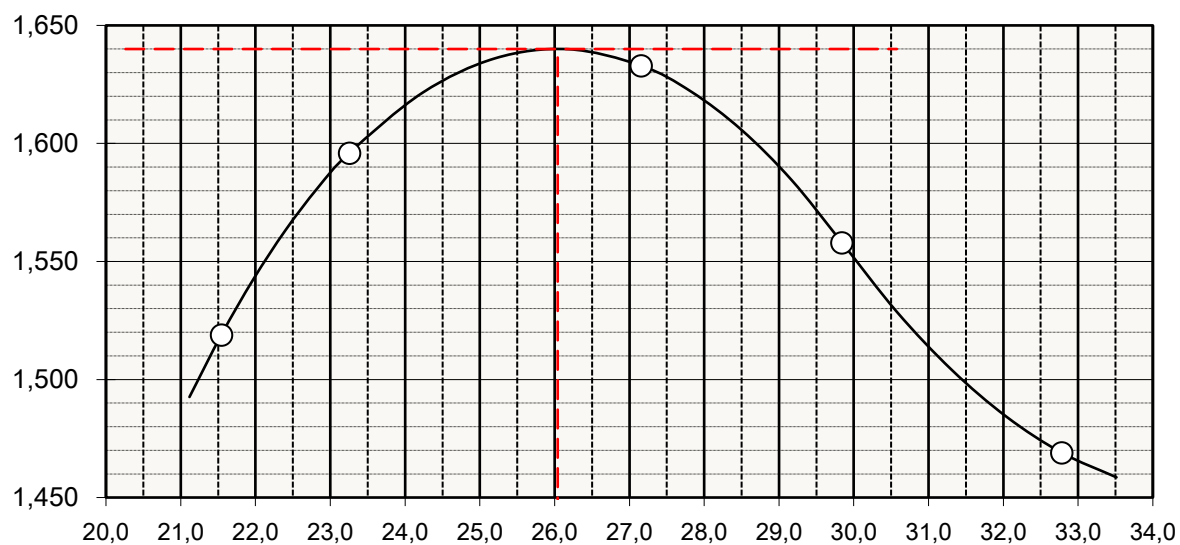
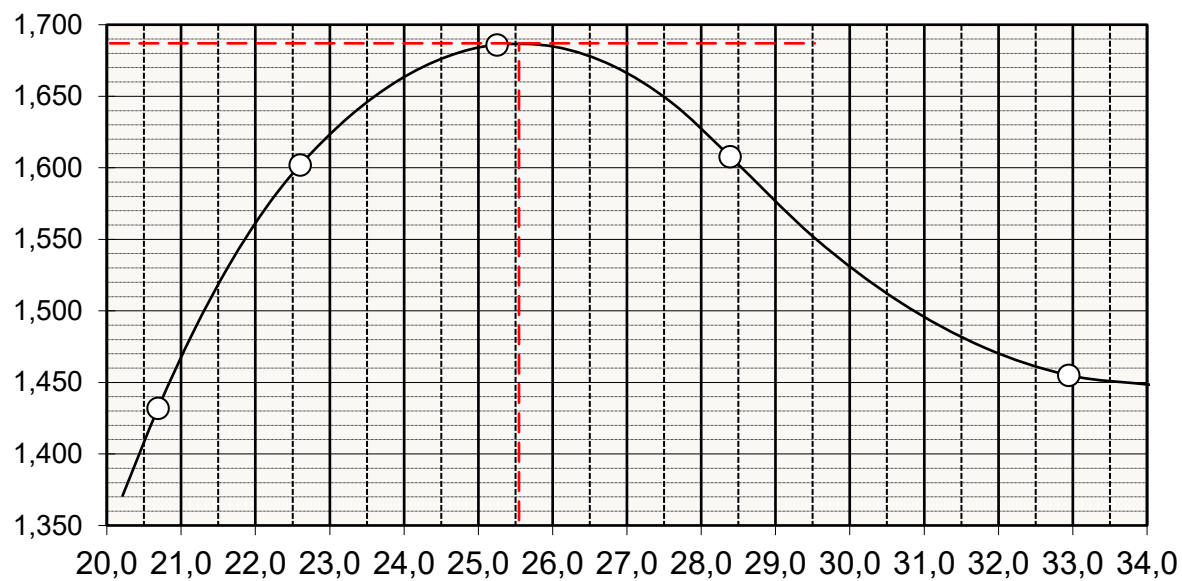


Gráfico do proctor do solo + 12% de brita 3/4



APENDICE B

Gráfico de compactação do solo natural.

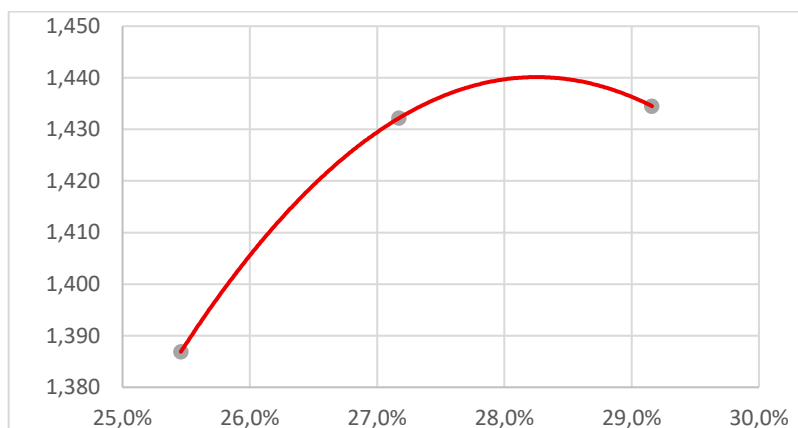


Gráfico de expansão do solo natural

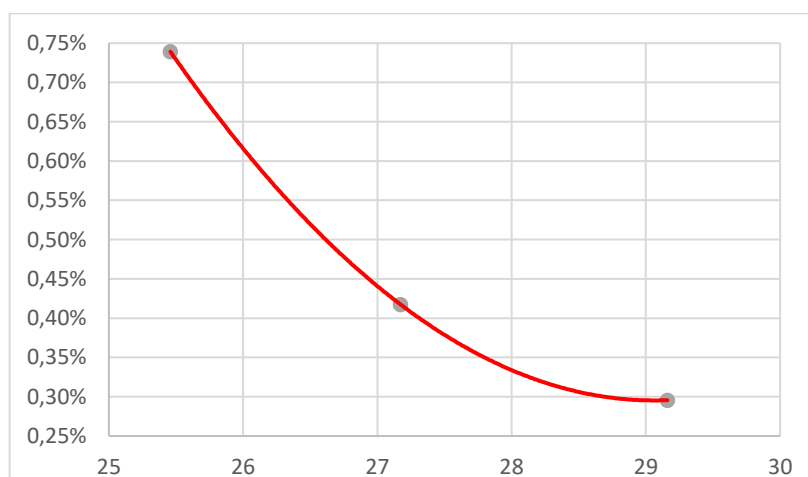


Gráfico de resistência do solo natural.

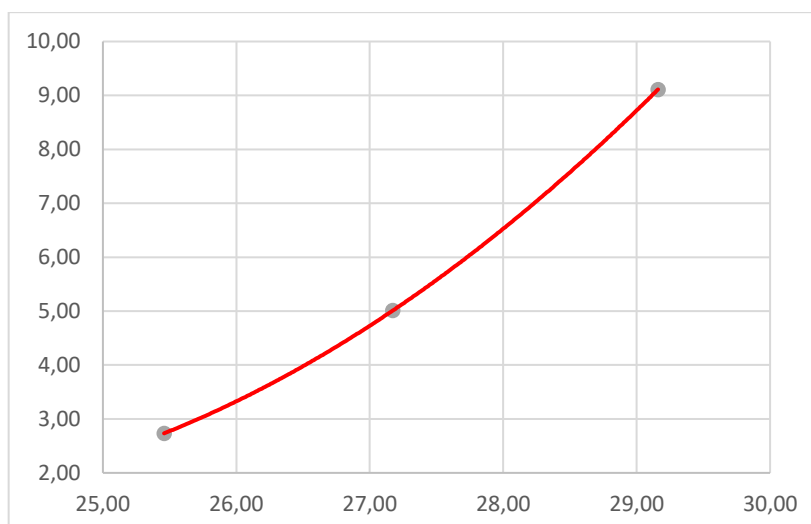


Gráfico de compactação do solo + 3% de brita ¾.

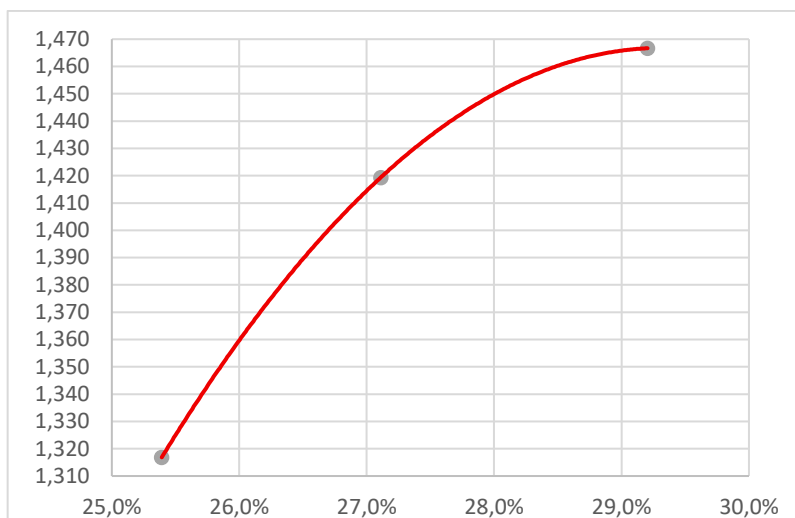


Gráfico de expansão do solo + 3% de brita ¾.

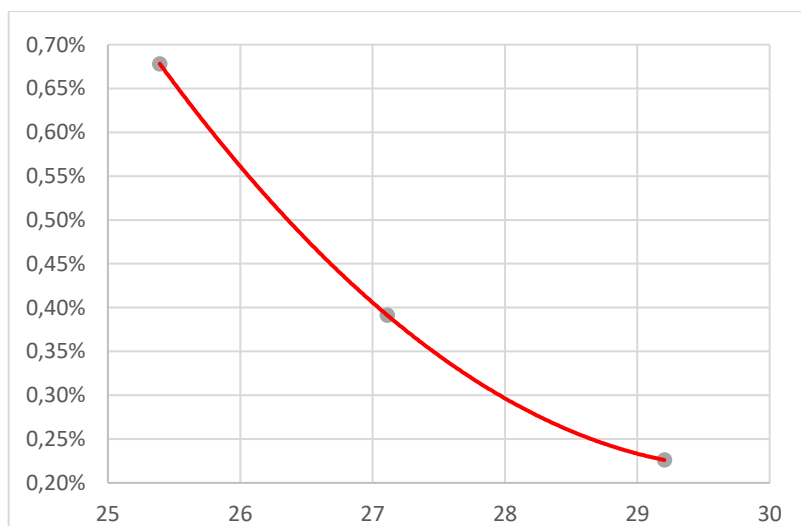


Gráfico de resistência do solo + 3% de brita ¾.

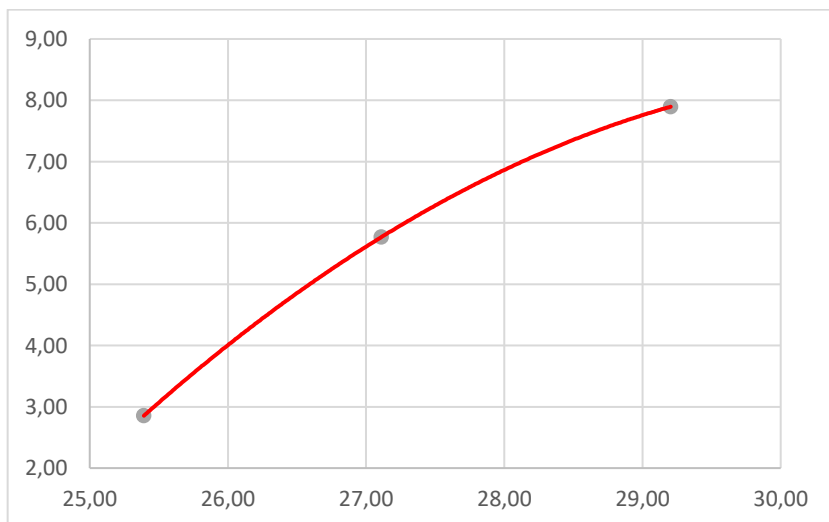


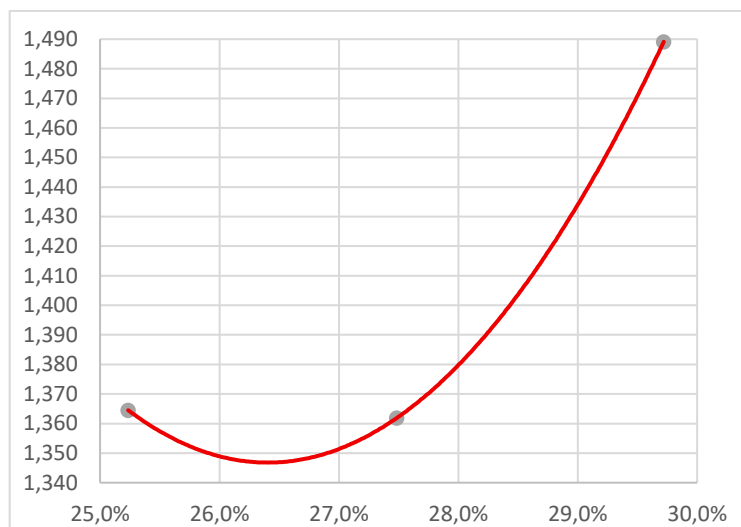
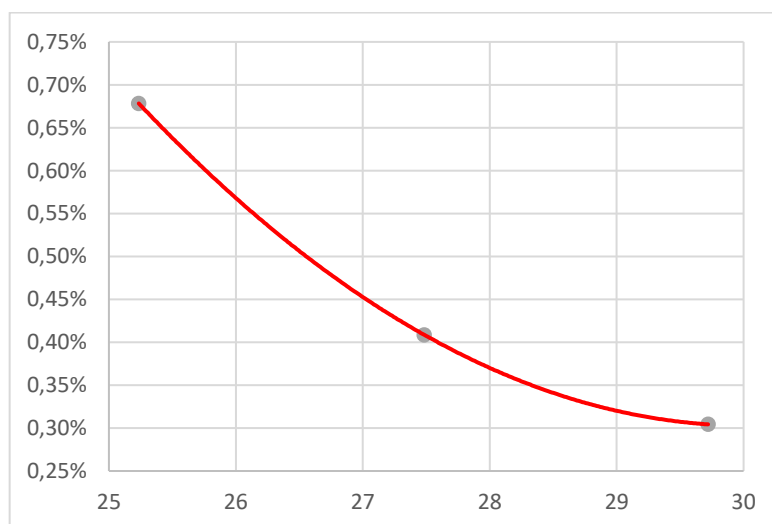
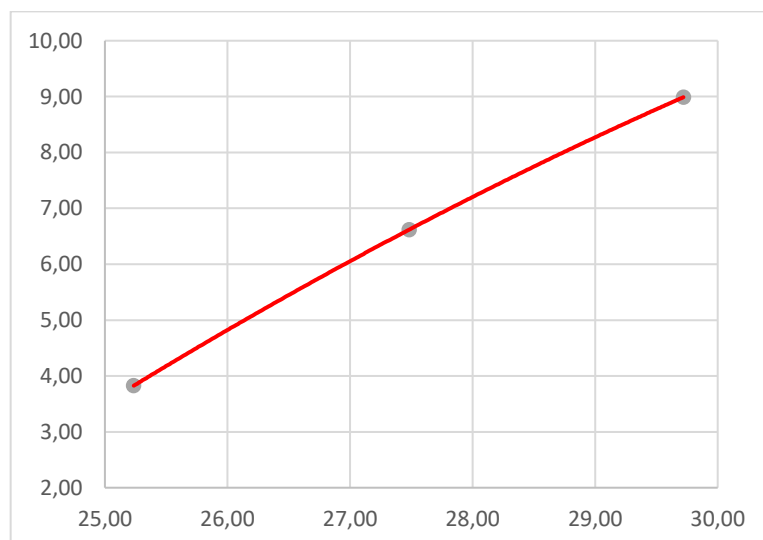
Gráfico de compactação do solo + 6% de brita $\frac{3}{4}$.Gráfico de expansão do solo + 6% de brita $\frac{3}{4}$.Gráfico de Resistencia do solo + 6% de brita $\frac{3}{4}$.

Gráfico de compactação do solo + 9% de brita ¾.

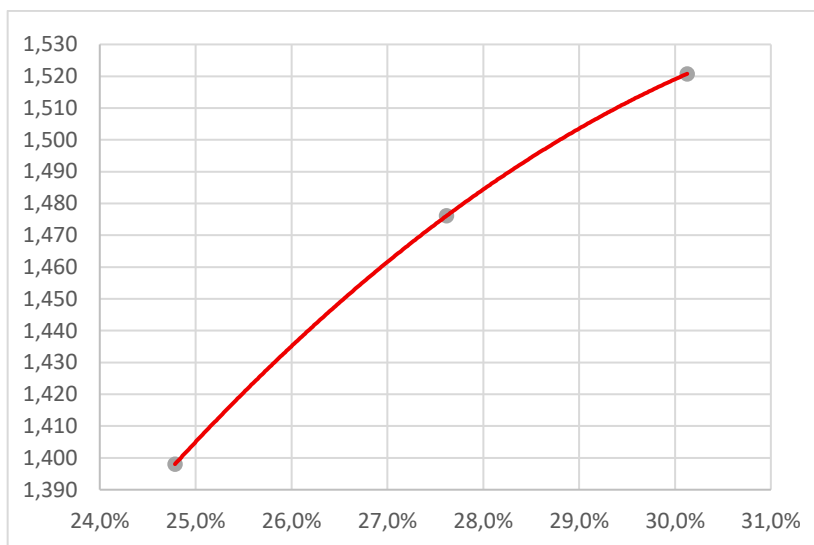


Gráfico de expansão do solo + 9% de brita ¾.

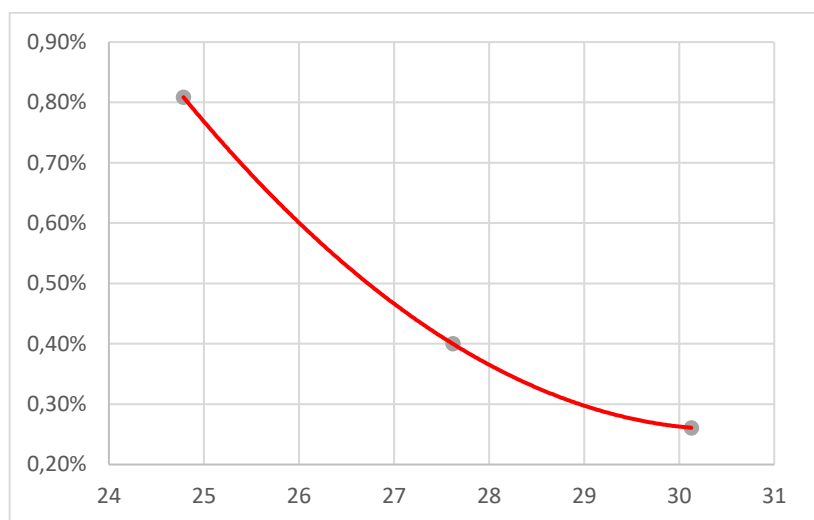


Gráfico de resistência do solo + 9% de brita ¾.

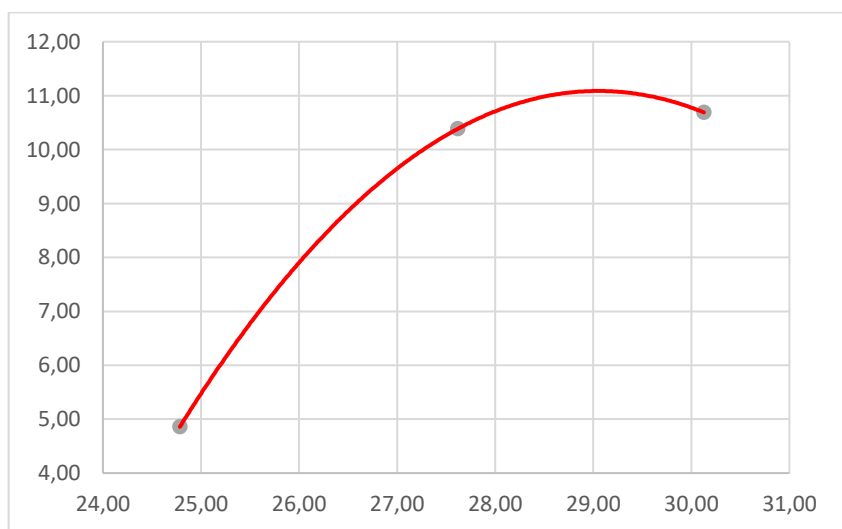
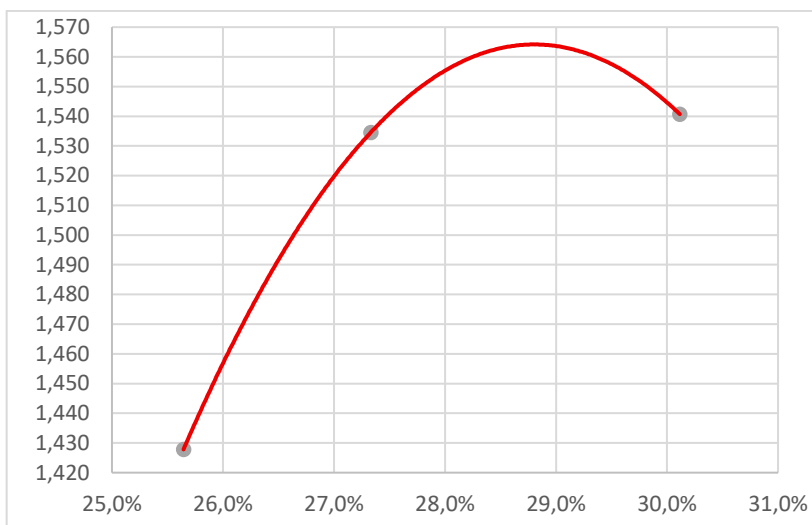
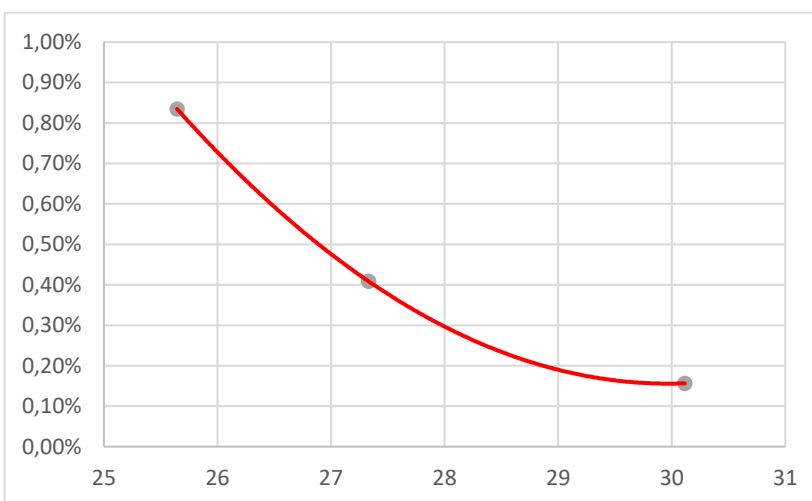


Gráfico de compactação do solo + 12% de brita $\frac{3}{4}$ Gráfico de expansão do solo + 12% de brita $\frac{3}{4}$.Gráfico de resistência do solo + 12% de brita $\frac{3}{4}$.