



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Análise do método do agulhamento no ensaio CBR
sem imersão**

TAINÁ CAROLINA AQUILES DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia do
Campus de Ilha Solteira –
UNESP; como parte dos
requisitos para obtenção do
grau de Engenharia Civil.

**ILHA SOLTEIRA - SP
2023**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

TAINÁ CAROLINA AQUILES DA SILVA
Orientador: Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima

**Análise do método do agulhamento no ensaio CBR
sem imersão**

ILHA SOLTEIRA - SP
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586a Silva, Tainá Carolina Aquiles da.
Análise do método do agulhamento no ensaio CBR sem imersão / Tainá Carolina Aquiles da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
69 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Jairo Salim Pinheiro de Lima

Inclui bibliografia

1. Estabilização granulométrica. 2. Cravamento. 3. Índice de suporte
Califórnia (CBR). 4. Estradas não pavimentadas. 5. Agregado cerâmico. 6.
Resíduos da construção civil.


Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSPORTES

REALIZADA EM: 30-01-2023

DISCENTE: Tainá Carolina Aquiles da Silva

COMISSÃO EXAMINADORES

1. Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima – UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador).
2. Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva – UNESP/FE Ilha Solteira (Examinadora).
2. Prof. Dr. Cesar Gustavo da Rocha Lima – UNESP/FE Ilha Solteira (Examinador).

Título do trabalho: Análise do método do agulhamento no ensaio CBR sem imersão.

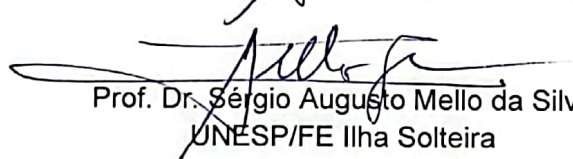
Local: Unesp, Departamento de Engenharia Civil.

Horário de início: 16 h

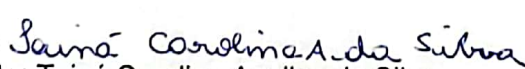
Em sessão pública, após exposição em torno de 30 (trinta minutos), a discente foi arguida oralmente, e no final da exposição foi "**APROVADA**" pelos membros componentes da Comissão Examinadora. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ATA, a qual é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo discente.

Ilha Solteira, 30 de janeiro de 2023.


Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima
UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador)


Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva
UNESP/FE Ilha Solteira


Prof. Dr. Cesar Gustavo da Rocha Lima
UNESP/FE Ilha Solteira

Ciente: 
Discente: Tainá Carolina Aquiles da Silva

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais, Elizabete e Ricardo, que são a minha base e nunca mediram esforços para me oferecer tudo que eu pudesse precisar, e ainda um pouco mais. Sou muito grata em poder contar tanto apoio, paciência, amor e carinho, sem eles nada disso seria possível.

Aos meus irmãos, Fernando e Yuri, que sempre foram companheiros e me incentivaram a conquistar o melhor.

Aos meus avós e tios por sempre apoiaram e torceram por mim.

A Maria Clara e Mariana, que fazem parte da minha vida há muitos anos e apesar da distância física se fizeram sempre tão presentes.

Ao Mateus, meu namorado, que esteve do meu lado nessa reta final, me ajudando a superar cada desafio e tornando tudo mais leve.

Ao meu professor orientador, Jairo, pela confiança e por transmitir seu amplo conhecimento, me fazendo refletir sobre cada situação estudada e sempre disponível a ajudar.

Ao o técnico de laboratório Ozias, por estar sempre de prontidão e oferecer todo apoio e auxílio para realização dos ensaios.

Ao Programa de Educação Tutorial – PET, grupo que participei durante a graduação, e que foi extremamente importante para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos professores que tanto me ensinaram durante toda essa trajetória.

Aos amigos Alberto, Bruno, Eduarda, João Pedro, Jonathan, Milton, Renan, Rhayane, Rodolfo e Stefanny, que partilharam comigo cada batalha, me auxiliando a vencer cada fase, e vivendo momentos inesquecíveis, que serão guardados com muito carinho no meu coração.

A Franzolin Engenharia e a Geometrisa Serviços de Engenharia por todo o crescimento profissional proporcionado nesse período.

Todas as minhas conquistas são também de vocês.

RESUMO

Os resíduos da construção e demolição (RCD) estão entre os principais rejeitos descartados da indústria. Nesse contexto, estão os resíduos cerâmicos. O presente trabalho tem como finalidade avaliar e preencher lacunas a respeito da resistência do agregado cerâmico misturado com solo em estabilização granulométrica por meio de compactação do agregado sobre a camada de solo sem mistura prévia e sem imersão. Este procedimento é uma adaptação do ensaio de CBR tradicional. O presente trabalho envolveu ensaios com o solo in natura e também misturas de solo-caco de telha cerâmico. Foram compactados seis corpos-de-prova de solo com o agregado de caco de telha cerâmico nas condições seco e saturado. A energia empregada foi a do Proctor intermediário e os resultados foram comparados com o solo in natura. A utilização do caco cerâmico saturado em camada de cravamento aumentou o CBR da mistura estabilizada em relação ao solo. O caco cerâmico seco diminuiu o CBR da mistura em relação ao solo in natura. O caco de telha apresentou grande capacidade de absorção e a condição de saturação ou não do agregado influenciou os resultados. O CBR nos corpos-de-prova de solo com caco de telha seco apresentou valores inferiores até mesmo em relação ao solo in natura. Ao final dos estudos observou-se que é possível medir em laboratório o suporte de solo-agregado cerâmico pelo método do agulhamento, portanto sem mistura prévia dos materiais

Palavras chave: Estabilização granulométrica. Cravamento. Índice de Suporte Califórnia (CBR). Estradas não pavimentadas. Agregado Cerâmico. Resíduos da Construção Civil.

ABSTRACT

Construction and demolition leftovers (RCD) are among the main wastes discarded by the industry. In this context, there are ceramic residues. This work aims to evaluate and fill in gaps regarding the resistance of ceramic aggregate mixed with soil in granulometric stabilization by compacting the aggregate on the soil layer without prior mixing and without immersion. This procedure is an adaptation of the traditional CBR assay. The present work involved tests with the soil in natura and also soil-shard ceramic tile mixtures. At the end of the studies, it was observed that it is possible to measure the soil-ceramic aggregate support in the laboratory using the needling method, therefore without prior mixing of the materials. Six soil specimens were compacted with ceramic tile shards in dry and saturated conditions. The energy used was that of the intermediate Proctor and the results were compared with the soil in natura. The use of saturated ceramic shards in a driving layer increased the CBR of the stabilized mixture in relation to the soil. The dry pottery shards decreased the CBR of the mixture in relation to the in natura soil. The tile shards showed great absorption capacity and the condition of saturation or not of the aggregate influenced the results. The CBR in the soil specimens with dry tile shards showed lower values even in relation to the soil in natura.

Keywords: Grainometric stabilization. Crimping. California Support Index (CBR). Unpaved roads. Ceramic Aggregate. Civil Construction Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de seção transversal do revestimento primário.....	2
Figura 2 - Esquema de seção transversal do pavimento	5
Figura 3 – Esboço do método do agulhamento realizado em campo.....	6
Figura 4 – Curva de penetração do pistão e correção, para determinar o valor de CBR.....	8
Figura 5 - Pesagem das amostras de solo	11
Figura 6 - Amostras de solo.....	12
Figura 7 - Secagem do agregado em estufa	13
Figura 8 - Imersão do agregado	13
Figura 9 - Execução do ensaio de compactação Proctor	15
Figura 10 - Compactação da amostra	17
Figura 11 - Excesso de solo compactado acima do molde sendo removido e rasado	17
Figura 12 - Corpo-de-prova imerso	18
Figura 13 - Prensa utilizada para a penetração no ensaio CBR.....	19
Figura 14 - Corpo-de-prova após o ensaio.....	19
Figura 15 - Pesagem do agregado saturado	20
Figura 16 - Esquema da montagem dos corpos-de-prova	21
Figura 17 - Corpo-de-prova com agregado seco após a compactação e retirada do anel de fundo.....	22
Figura 18 - Vista do corpo-de-prova com agregado seco após a penetração da prensa	23
Figura 19 - Extração do corpo-de-prova com cravamento do agregado seco.....	23
Figura 20 - Medição do cravamento no do corpo-de-prova com agregado seco	24
Figura 21 - Corpo-de-prova com agregado seco extraído do cilindro	24
Figura 22 - Vista do corpo-de-prova com agregado saturado após a compactação	25
Figura 23 - Corpo-de-prova com sobrecarga	25
Figura 24 - Medição do cravamento no corpo-de-prova com agregado saturado	26
Figura 25 - Corpo-de-prova extraído do cilindro e com agregado saturado	26
Figura 26 - Planilha da classificação TRB.	28
Figura 27 - Curva de compactação no Proctor intermediário.	29
Figura 28 - CBR do Solo	30
Figura 29 - CBR do solo - caco cerâmico saturado (CP1)	32
Figura 30 - CBR do solo - caco cerâmico saturado (CP2)	33
Figura 31 - CBR do solo - caco cerâmico saturado (CP3)	33
Figura 32 - CBR do solo - caco cerâmico seco (CP4).....	34
Figura 33 - CBR do solo - caco cerâmico seco (CP5).....	34
Figura 34 - CBR do solo - caco cerâmico seco (CP6).....	35
Figura 35 - Medição do cravamento no CP4.....	38
Figura 36 - Medição do cravamento no CP5.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Energias de compactação ensaio Proctor	16
Tabela 2 - Resultados para a classificação TRB do solo.....	28
Tabela 3 - Resultado para a classificação MCT	28
Tabela 4 - Resultados do ensaio Proctor Intermediário.....	30
Tabela 5 - Resultados do ensaio CBR.....	31
Tabela 6 – Ensaio com o agregado cerâmico.....	32
Tabela 7 - Dados obtidos no ensaio CBR para solo-agregado.....	35
Tabela 8 – Resultados da adaptação do ensaio CBR com imersão.....	37
Tabela 9- Dados obtidos na determinação do teor de umidade.	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da metodologia do ensaio CBR Tradicional e do ensaio CBR Adaptado.....27

Quadro 2 – Especificações do uso dos materiais empregados em pavimentação...31

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURA E ABREVIações

AASHO- American Association of State Highway.

AASHTO – American association of State Highway and Transportation Officials.

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CBR – Califórnia Bearing Ratio.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte.

RCD - resíduos de construção e/ou demolição

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO	4
3.2 SOLOS LATERÍTICOS.....	5
3.3 ESTABILIZAÇÃO DO SOLO	5
3.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC) OU CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	7
3.4.1 Ensaio de CBR tradicional	7
3.4.2 Ensaio de CBR adaptado para o método do agulhamento	8
3.5 RESÍDUOS CERÂMICOS COMO AGREGADOS	10
4. MATERIAIS E MÉTODOS	11
4.1 MATERIAIS	11
4.2 PREPARAÇÃO DO SOLO E DO AGREGADO	11
4.3 ENSAIOS COM O SOLO	13
4.3.1 Classificação e Caracterização do solo.....	13
4.3.2 Ensaio de Compactação Proctor.....	14
4.3.3 Ensaio CBR do solo	16
4.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO DO AGREGADO CERÂMICO.....	19
4.5 ENSAIO DE CBR COM CRAVAMENTO DO AGREGADO	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 ENSAIOS COM O SOLO	27
5.1.1 Classificação e Caracterização do solo.....	27
5.1.2 Ensaio de compactação do solo	29
5.1.3 Ensaio CBR do solo	30
5.2 ENSAIO COM O AGREGADO CERÂMICO	31
5.3 ENSAIO DE CBR COM CRAVAMENTO DO AGREGADO	32
5.4 CRAVAMENTO DO AGREGADO CERÂMICO NO SOLO	37
5.5 TEOR DE UMIDADE DO SOLO NO CONTATO SOLO-AGREGADO.....	39
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS.....	40
6.1 CONCLUSÕES	40
6.2 SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS	40

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
APÊNDICE.....	44

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2022) as rodovias respondem por 64,86% do transporte de cargas, e 92,2% do transporte de passageiros, sendo o meio de transporte mais utilizado no Brasil.

O Brasil possui imensa extensão de malha rodoviária, mas, ao contrário do que se imagina, apenas 12,4% dessas vias são pavimentados, existindo 1.349.938 km de rodovias sem pavimentação. Nestes casos, o tráfego ocorre em superfícies precárias, muitas vezes conhecidas como estradas de terra. Essas estradas são geralmente construídas com o solo local, sem projeto geométrico específico e seguindo o próprio relevo do terreno.

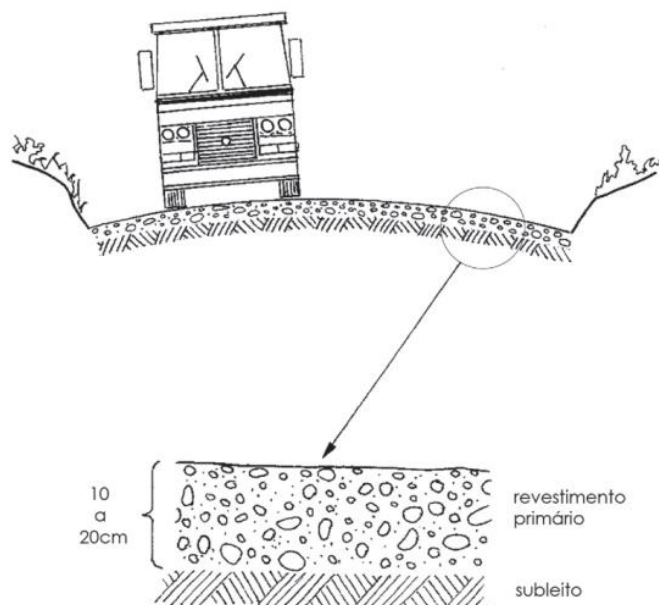
Para Visser and Hudson (1983), as estradas rurais são classificadas como detentoras de baixo volume de tráfego e por esse motivo não se justifica a sua pavimentação. Além disso, o poder público não dispõe orçamento para a manutenção, precipitando a ruína e reforçando a necessidade de meios mais sustentáveis e baratos para a sua execução e a manutenção.

Uma maneira de melhorar a qualidade de tráfego e aumentar o tempo de funcionamento das estradas de terra é construir revestimento primário sobre o leito estradal. De acordo com o DER:

o revestimento primário compreende a execução de camada granular, composta por agregados naturais ou artificiais, aplicada sobre o reforço do subleito ou diretamente sobre o subleito compactado em rodovias não pavimentadas, com a função de assegurar condições de rolamento e de aderência do tráfego satisfatórias, mesmo sob condições climáticas adversas. (DER-SP, 2006, p.3)

Nesse contexto, a aplicação do revestimento primário pelo método do agulhamento (cravamento) consiste na deposição e compactação do agregado acima da camada de base previamente compactada. Havendo assim, a compactação e a penetração do agregado no solo abaixo. Todavia, há carência bibliográfica sobre esse tema. O presente estudo busca avaliar e preencher lacunas a respeito da resistência desse tipo de revestimento, utilizando uma adaptação ao CBR (California Bearing Ratio) ou ISC (Índice de Suporte Califórnia), método que avalia a resistência do solo (NBR 9895, 2016). A Figura 1 mostra o esquema de um revestimento primário.

Figura 1 - Esquema de seção transversal do revestimento primário



Fonte: SANTOS, A. R. et al (1988)

O ensaio CBR (California Bearing Ratio) ou ISC (Índice de suporte Califórnia) tem a sua metodologia descrita na ABNT NBR 9895 (2016) e é muito utilizado para avaliar a resistência do solo. O ensaio também permite obter outro parâmetro importante relacionado com a durabilidade, que é o índice de expansibilidade do solo.

Os corpos-de-prova tradicionalmente são moldados com solo ou misturas homogêneas previamente dosadas e controladas. Eles são compactados com cinco camadas e podem ser aplicadas diferentes níveis de energias: normal, intermediária ou modificada. Após 96h dos corpos-de-prova imersos em água para a medida da expansão dos materiais, acontece a ruptura em prensa para medição o CBR.

Neste estudo, foi desenvolvida uma adaptação ao CBR tradicional com o objetivo de representar em laboratório um tipo de procedimento comum nas construções de vias rurais. Dentre as mudanças realizadas na adaptação estão a inversão da ordem de compactação; a compactação sem mistura prévia dos materiais, ou seja: o solo e o agregado cerâmico são compactados em camadas separadas; e a ruptura é imediata, sem a etapa de imersão.

Após os ensaios, observou-se que as amostras com o agregado seco obtiveram valor de CBR menor (inclusive) que o solo natural.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma adaptação do método de ensaio CBR para estudar um solo estabilizado granulometricamente pelo procedimento do cravamento com resíduos de caco de telha cerâmicos, analisando em laboratório a capacidade de suporte sem a imersão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Observar os procedimentos metodológicos, de modo a representar os procedimentos empregados em campo para a construção de revestimentos primários com o método de cravamento;
- Estudar as propriedades adquiridas pelo solo estabilizado com caco de telha cerâmica (solo-caco de telha ou solo-agregado cerâmico) por meio do método do agulhamento, portanto, sem a mistura prévia dos materiais;
- Determinar as diferenças de resistência no uso do agregado seco e saturado;
- Avaliar, com base nos resultados, a possibilidade de empregar estes materiais (e a técnica do agulhamento) em camadas de revestimento primário para estradas não pavimentadas (estradas de terra).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO

SANTANA (1993) descreve pavimento como uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser alcançados do ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo.

A NBR 7207 (1982) sugere que o pavimento seja a estrutura construída após a terraplanagem e destinada economicamente e simultaneamente em seu conjunto a:

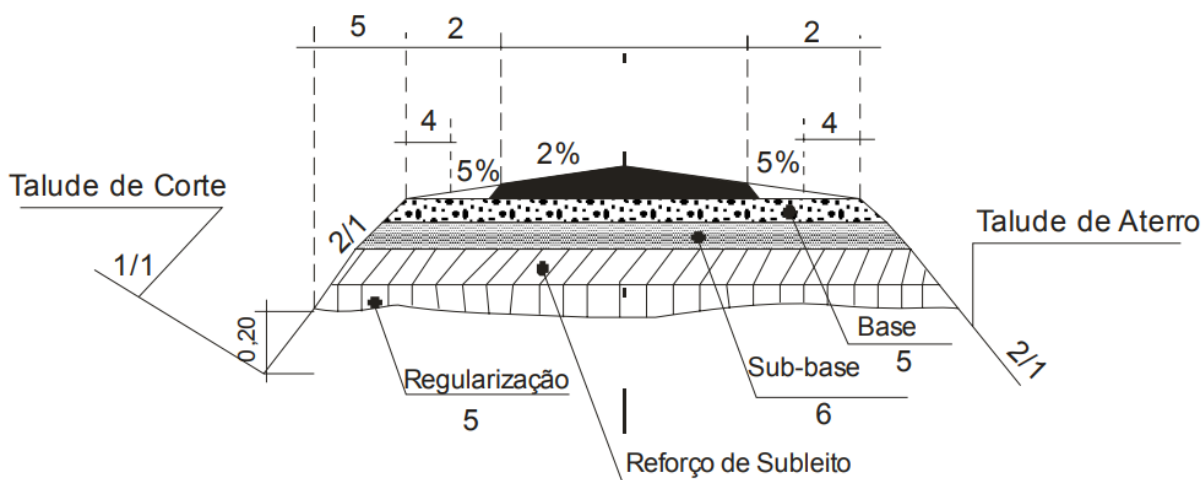
- resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- resistir aos esforços horizontais que nele atuam tornando mais durável a superfície de rolamento (NBR 7207/82).

De acordo com o DNIT:

- a) Subleito - é o terreno de fundação do pavimento;
- b) Leito - é a superfície obtida pela terraplanagem ou obra-de-arte e conformada ao seu greide e perfis transversais;
- c) Greide do leito - é o perfil do eixo longitudinal do leito;
- d) Regularização - é a camada posta sobre o leito, destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente de acordo com as especificações; a regularização não constitui, propriamente uma camada de pavimento, sendo, a rigor, uma operação que pode ser reduzida em corte do leito implantado ou em sobreposição a este, de camada com espessura variável;
- e) Reforço do subleito - é uma camada de espessura constante, posta por circunstâncias técnico-econômicas, acima da de regularização, com características geotécnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior, porém melhores que o material do subleito;
- f) Sub-base - é a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre regularização;
- g) Base - é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento;
- h) Revestimento - é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada a melhorá-la, quanto à comodidade e segurança e a resistir ao desgaste. (DNIT, 2006, p. 106)

A Figura 2 apresenta um esquema de seção transversal do pavimento.

Figura 2 - Esquema de seção transversal do pavimento



Fonte: DNIT (2006)

3.2 SOLOS LATERÍTICOS

Existem dentro da classificação dos solos aqueles que possuem características peculiares e são conhecidos como solos tropicais, por conta da sua formação geológica e localização em regiões tropicais e úmidas. O solo laterítico encontra-se nessa categoria e possui essa nomeação por conta do processo de laterização sofrido (NOGAMI e VILLIBOR, 2009).

Esses solos eram descartados pois possuíam elevados limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) e grande quantidade de finos que passava na peneira 200 (0,075mm) (NOGAMI e VILLIBOR, 2009).

Apenas em 1981, foi divulgada a metodologia que seria conhecida como MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), e com isso foi possível utilizar o solo de comportamento laterítico em pavimentação rodoviária (NOGAMI e VILLIBOR, 2009). O método de classificação MCT é descrito na norma técnica: DNER-CLA 259/96 (1996).

3.3 ESTABILIZAÇÃO DO SOLO

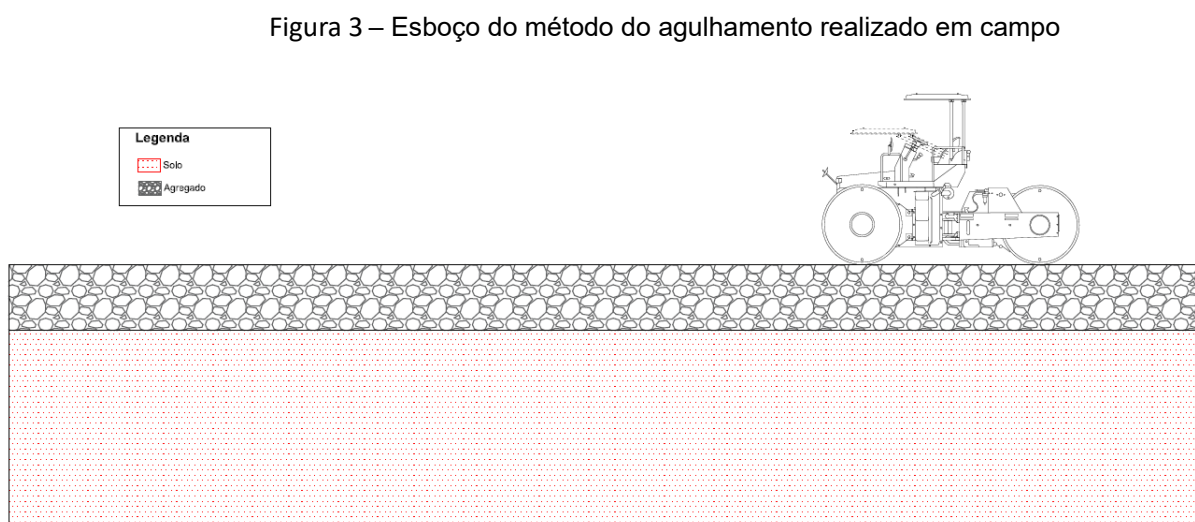
PALMEIRA (1990) acredita que estabilizar ou reforçar um solo é utilizar algum meio físico ou químico com a intenção de melhorar as suas condições. O reforço está

associado às inclusões no interior da massa do solo, enquanto a estabilização seria a técnica para melhorar as características de uma massa de solo por modificações na sua própria estrutura. Entretanto, destaca-se que tanto as técnicas de reforço bem como as de estabilização têm o mesmo objetivo, ou seja, proporcionar melhorias no comportamento dos solos aplicados em obras geotécnicas.

BENTO (2006) cita que a estabilização dos solos pode ser obtida por várias técnicas, divididas em dois grupos:

- estabilização granulométrica ou mecânica → combinação e manipulação de solos em proporção adequada, de forma a obter um produto final de estabilidade maior que os solos de origem, e adequado para a aplicação em cada caso particular; e
- estabilização química → utiliza aditivos orgânicos ou inorgânicos, tais como os materiais betuminosos, resinas, cal, cimento e outros.

A respeito da estabilização granulométrica, podemos citar a utilização de agregados para compor as camadas do pavimento. Consoante SANTOS et al. (2019), no método de cravamento/agulhamento o agregado é espalhado diretamente sobre o solo, sem mistura prévia. Em seguida realiza-se a compactação com rolo liso ou com o próprio tráfego de veículos. A Figura 3 é o esboço do método do agulhamento realizado em campo.



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

3.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC) OU CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

3.4.1 Ensaio de CBR tradicional

O CBR pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão numa amostra de solo convenientemente preparada e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, à mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada, ou material equivalente, exigindo a pressão de 1.000 psi para a penetração de 0,1 " ou 1.500 psi para a penetração de 0,2" (SENÇO, 2007).

No Brasil, o ensaio é regulamentado pela norma ABNT NBR 9895 (2016): Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Em linhas gerais, o ensaio é realizado como citado abaixo.

Primeiro, os materiais constituintes das misturas são misturados em dosagens controladas, antes da compactação.

Em seguida, compacta-se no molde o material em cinco camadas iguais de modo a obter altura total de solo com cerca de 11,5cm. Cada camada recebe 12 golpes do soquete, 26 ou 55, correspondentes a energia normal, intermediária e modificada, respectivamente. O soquete de 4,5kg cai de 45,7cm, distribuídos uniformemente e aplicados perpendicularmente sobre a superfície da camada.

Após a compactação, o material excedente na altura exata do molde é rasado e retira-se do material excedente uma amostra representativa com cerca de 100g para que seja determinada a umidade. O ensaio pode ser realizado com cinco diferentes teores de umidades ou nas condições ótimas de teor de umidade e massa específica aparente seca, determinadas previamente no ensaio de compactação.

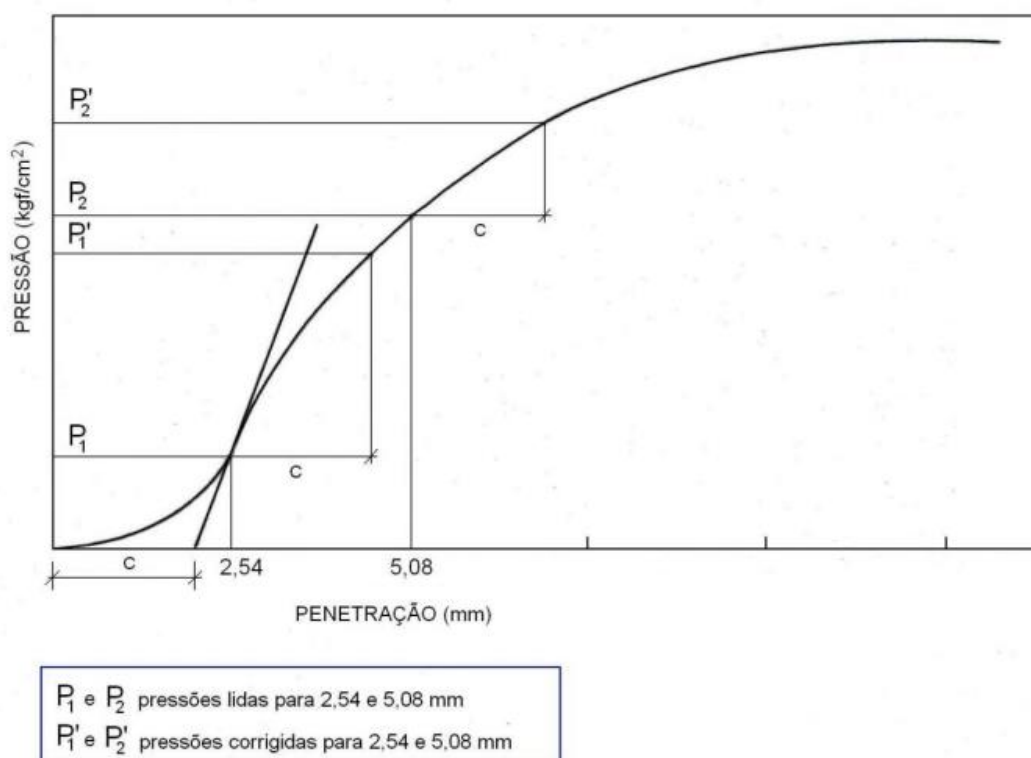
Posteriormente, os corpos-de-prova são imersos em água durante quatro dias para medir a sua expansão. A expansão é importante indicador para o aproveitamento dos materiais em pavimentação rodoviária. Após as 96 horas, os corpos-de-prova são rompidos em prensa cujo pistão de penetração tem velocidade constante de 1,27 mm/min. É traçada, então, a curva pressão-penetração.

Caso haja inflexão na curva de penetração, traça-se uma tangente à curva nesse ponto até que ela intercepte o eixo das abcissas; a curva corrigida será então essa tangente mais a porção convexa da curva original, considerada a origem mudada

para o ponto em que a tangente corta o eixo das abscissas. Seja c a distância desse ponto à origem dos eixos. Soma-se às abscissas dos pontos correspondentes as penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas a distâncias c . Com isso obtêm-se, na curva traçada, os valores correspondentes das novas ordenadas, que representam os valores das pressões corrigidas para as penetrações referidas.

A Figura 4 apresenta um gráfico de penetração e a correção para obter o valor de CBR da amostra compactada para determinado teor de umidade.

Figura 4 – Curva de penetração do pistão e correção, para determinar o valor de CBR



Fonte: ABNT NBR 9895 (2016)

Adota-se como CBR o maior dos valores obtidos nas penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas.

3.4.2 Ensaio de CBR adaptado para o método do agulhamento

Uma prática comumente adotada em campo para estradas não pavimentadas é o método do agulhamento ou cravamento. Neste caso, o agregado é espalhado com motoniveladora e em camadas com espessuras uniformes e homogêneas sobre o solo da superfície da estrada de terra, sem mistura prévia do solo com o agregado. Em seguida é feita a compactação com rolo liso. A carga do rolo resulta no cravamento do agregado na camada primitiva da estrada.

Diferente do método tradicional de estabilização de solos, o agulhamento não encontra representação similar em normas técnicas para ensaios em laboratório. Desta forma, é difícil prever o comportamento e o desempenho de misturas em campo, bem como executar o seu controle de maneira eficaz.

Algumas tentativas acerca deste assunto estão descritas em: o decreto 9200/97, de 20 de fevereiro de 1997 (São José dos Campos, 1997), Especificação Técnica Para Serviço de Execução de Agulhamento do Subleito do Pavimento – ESP 04 (NOVACAP, 2012). Ambos apresentam especificações de serviço acerca do agulhamento de agregado graúdo sobre o subleito.

Neste trabalho foram mantidos alguns procedimentos do ensaio tradicional do CBR, dentre os quais: a variação no teor de umidade; as dimensões dos corpo-de-prova; as cinco camadas compactadas no corpo-de-prova; e a energia de compactação (soquete, número de golpes e altura de queda). A energia adotada foi a do Proctor intermediário, com 26 golpes em cada uma das (cinco) camadas, para os diferentes teores de umidade empregados.

Em relação às adaptações propostas para o CBR com agulhamento do agregado cerâmico, destacam-se: compactação dos materiais (solo e agregado) separadamente, portanto sem mistura prévia; inversão na ordem de compactação do solo e do agregado, visando manter a integridade da camada do agregado; e a penetração na prensa executada sem a imersão dos corpos-de-prova, para estudar a relação da umidade do agregado com a amostra, visto que em campo muitas vezes é difícil manter o controle da umidade do agregado.

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos acerca de agregados alternativos e o método do agulhamento na pavimentação. Nesse contexto, cabe destacar os trabalhos de CABRAL (2018), CRUZ (2018) e OTUBO (2021) que realizaram ensaios de estabilização de solos com uso de agregados cerâmicos resíduos da construção civil por meio do método tradicional de ensaio CBR. Ressalta-se, também, o trabalho de SILVEIRA (2020) que realizou uma adaptação ao método CBR para o estudo de solo e brita pelo método do agulhamento.

Por fim, destaca-se o estudo elaborado por TROMBETA (2023) em que ela estuda a adaptação do ensaio CBR para o método do agulhamento com o uso de resíduos cerâmicos com a imersão dos corpos-de-prova. A metodologia e os materiais empregados por TROMBETA (2023) são similares àqueles empregados no presente estudo, exceto pela imersão das amostras compactadas. Desta forma, os resultados

obtidos por aquela autora serão adotados como parâmetros para comparação com os resultados desta pesquisa.

3.5 RESÍDUOS CERÂMICOS COMO AGREGADOS

PINTO (1999) estima que 11,1 % dos resíduos de construção e/ou demolição no Brasil são de componentes cerâmicos. E, de acordo com a ABRECON (2020), cerca de 100 milhões de toneladas de RCD são gerados anualmente, o que totalizaria cerca de 11,1 milhões de toneladas de resíduos cerâmicos por ano.

Muitos países têm especificações próprias para o controle de produção e de aplicação de agregados reciclados em pavimentação. A Itália, por exemplo, possui especificações técnicas próprias para o controle da produção e aplicação de agregados reciclados na pavimentação. O Reino Unido, por meio do Departamento de Transportes, incluiu o concreto britado, dentre outras aplicações, para o uso em bases e sub-bases de pavimentos (BAGATINI, 2011).

No Brasil, porém, esta pauta ainda é incipiente, mas há registros: a Prefeitura do Município de São Paulo publicou em 2003 a especificação com o título “Camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil” (PMSP, 2003); a ABNT publicou norma para a aplicação de agregados reciclados em pavimentação, intitulada ABNT NBR 15115:2004, que trata dos procedimentos para o emprego do material em pavimentos e teve o seu texto baseado na norma paulistana.

Para NBR 15115 (2004), o agregado reciclado aplicável à pavimentação é o “material granular, obtido por meio de britagem ou beneficiamento mecânico, de resíduos de construção civil”, pertencentes à Classe A da Resolução CONAMA (2002). O material deve atender a alguns requisitos como:

- (a) boa graduação granulométrica;
- (b) valores mínimos de ISC e de expansão (conforme o tipo de camada do pavimento); e
- (c) dimensão máxima característica de 63,5mm.

Neste trabalho foram utilizados rejeitos da fabricação de telha cerâmica como agregados para a estabilização de solos em método de ensaio por cravamento. A possibilidade de aproveitamento dos rejeitos pode gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos, uma vez que minimiza a necessidade de novos em misturas com solos e reduz a quantidade de rejeitos da construção civil descartados em aterros.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para a realização desse trabalho foi utilizado o solo da Jazida Torre, localizada no município de Ilha Solteira/SP. E o agregado cerâmico foi obtido por meio de doação da fábrica de telhas Cerâmica Guerra, empresa de Três Lagoas – MS. Antes da execução dos ensaios, o rejeito cerâmico foi triturado com a passagem de um rolo compactador liso duas vezes para melhorar as suas condições de manejo em laboratório.

Tanto o solo quanto os agregados foram armazenados em barris metálicos no laboratório de Engenharia Civil do Campus de Ilha Solteira.

A água utilizada nas misturas foi a do abastecimento local do Câmpus Central da Unesp de Ilha Solteira- SP.

4.2 PREPARAÇÃO DO SOLO E DO AGREGADO

A amostra de solo coletada foi seca e destorroada. Em seguida, foram pesadas as amostras utilizadas nos ensaios, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Pesagem das amostras de solo



Fonte: Acervo da autora (2022).

Porções do solo foram armazenadas em sacos plásticos para os ensaios, de acordo com a Figura 6. Foram cerca de 5kg de solo em cada saco plástico, com diferentes teores de umidade.

Figura 6 - Amostras de solo



Fonte: Acervo da autora (2022)

Os agregados cerâmicos foram separados em dois grupos: os que foram para a secagem na estufa e os que ficaram imersos em água (Figuras 7 e 8) para os ensaios de CBR por cravamento e sem a imersão dos corpos-de-prova compactados.

Figura 7 - Secagem do agregado em estufa



Fonte: Acervo da autora (2022)

Figura 8 - Imersão do agregado



Fonte: Acervo da autora (2022)

4.3 ENSAIOS COM O SOLO

4.3.1 Classificação e Caracterização do solo

A amostra de solo foi submetida aos ensaios de classificação TRB e MCT. Por se tratar de um material similar ao solo estudado por CRUZ (2018), neste trabalho adotamos os mesmos parâmetros de classificação daquele autor.

O solo também foi submetido aos ensaios de caracterização para determinar as suas propriedades de interesse à pavimentação: compactação, CBR e expansão. Todos os dados encontram-se no item 5.1 deste trabalho.

4.3.2 Ensaio de Compactação Proctor

O ensaio de compactação Proctor é descrito pela ABNT NBR 7182 (2016) e consiste em compactar uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico, com aproximadamente 1.000 cm^3 , em três camadas sucessivas, sob a ação de 25 golpes de um soquete de 2,5 kg, caindo de 30 cm de altura. A Figura 9 mostra a etapa de compactação do ensaio Proctor do solo.

O ensaio é repetido variando-se o teor de umidade (w , %) e determinando-se, para cada um deles, a massa específica aparente seca (ρ_d , g/cm^3). Com estes valores é possível plotar a curva de compactação e, assim, determinar a massa específica aparente seca máxima e o teor ótimo de umidade daquela amostra, em determinada energia. As energias de compactação podem ser: normal; intermediária; e modificada, de acordo com a localização do material na construção da via. Neste trabalho a energia empregada foi a do Proctor intermediário.

Figura 9 - Execução do ensaio de compactação Proctor



Fonte: Acervo da autora (2022)

No ensaio de compactação para determinar as condições ótimas do solo foram compactados (em cilindro padrão) 05 corpos-de-prova com diferentes teores de umidade. A energia foi a do Proctor intermediário, aplicando-se 21 golpes em cada uma das 3 camadas, conforme a Tabela 1.

O ensaio de compactação foi realizado de acordo com a NBR – 7182 (2016) – Solo – Ensaio de Compactação – Método de Ensaio, e amparado por outras normas NBR – 6457 (2016) - Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

Tabela 1 – Energias de compactação ensaio Proctor

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador mm	63,5	63,5	63,5

Fonte: ABNT NBR 7182 (2016)

A massa específica aparente seca foi calculada pela Equação 1.

$$\rho_d = \frac{M}{V(100 + W)} * 100 \quad (1)$$

Em que:

- ρ_d – massa específica aparente seca (g/cm³);
- M – massa úmida do corpo-de-prova (g);
- V – volume do corpo-de-prova (cm³);
- W – teor de umidade do solo (%).

O teor de umidade do solo é definido como sendo a relação entre a massa de água contida na amostra e a massa de solo seco.

4.3.3 Ensaio CBR do solo

Para o ensaio de CBR adotou-se como referência a NBR 9895 (2016) - Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR). Foram também utilizadas: a NBR 6457 (2016) – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização; e a NBR 7182 (2016) – Solo – Ensaio de compactação. As amostras foram compactadas nas condições de teor de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima obtidas no ensaio de Compactação Proctor. A energia foi a intermediária. A Figura 10 apresenta a compactação da amostra e a Figura 11 ilustra o corpo-de-prova sendo rasado para manter a condição de volume constante.

Figura 10 - Compactação da amostra



Fonte: Acervo da autora (2022)

Figura 11 - Excesso de solo compactado acima do molde sendo removido e rasado



Fonte: Acervo da autora (2022)

Em seguida, os corpos-de-prova compactados foram preparados para o ensaio de expansão e colocados em imersão em água por 96h, como mostra Figura 12. Durante a imersão foram feitas leituras para verificar a variação volumétrica das amostras compactadas. A relação entre os volumes inicial e final indica o quanto o solo expandiu e é calculado com a Equação 2.

Figura 12 - Corpo-de-prova imerso



Fonte: Acervo da autora (2022)

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{(\text{leitura final} - \text{leitura inicial})}{\text{altura inicial}} * 100 \quad (2)$$

Seguindo a NBR 9895 (2016), após a imersão os corpos-de-prova foram submetidos à carga na prensa (Figura 13). O pistão de penetração foi ajustado sobre o corpo-de-prova e aplicada uma carga de aproximadamente 45 N e velocidade constante de 1,27 mm/min. As leituras no extensômetro observam as recomendações normativas, com intervalos de 30 segundos, até completar 6,5 minutos.

Para determinar o valor de CBR da amostra é necessário traçar a curva de carga (ou pressão) versus penetração do pistão. Se necessário, essa curva deve ser corrigida. O valor de CBR é obtido pela Equação 3.

Na Figura 14 observa-se um corpo-de-prova e os sobrepesos após a penetração na prensa.

Figura 13 - Prensa utilizada para a penetração no ensaio CBR



Fonte: Acervo da autora (2022)

$$CBR (\%) = \frac{\text{Pressão calculada (ou corrigida)}}{\text{Pressão Padrão}} * 100 \quad (3)$$

Figura 14 - Corpo-de-prova após o ensaio



Fonte: Acervo da autora (2022)

4.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO DO AGREGADO CERÂMICO

A absorção do agregado cerâmico foi medida seguindo as recomendações da norma DNER-ME 195 (1997): Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. O agregado foi lavado sobre a peneira de 4,8 mm e colocado em estufa à temperatura de 105°C, até que a diferença de massa em duas determinações consecutivas fosse menor do que 0,1 g.

A amostra foi retirada da estufa até que atingisse temperatura em que a sua manipulação fosse possível. Então a amostra de agregado cerâmico foi pesada e imersa em água por 24 horas. Em seguida, a amostra foi espalhada sobre um pano absorvente até que as partículas de água visíveis fossem eliminadas. O agregado foi pesado em condição saturada (Figura 15), permitindo calcular a absorção de água (Equação 4).

$$A = \frac{MA_w - MA_s}{MA_s} * 100 \quad (4)$$

Em que:

- A – absorção de água pelo agregado (%);
- MA_w – massa do agregado saturado (g);
- MA_s – massa do agregado seco (g).

Figura 15 - Pesagem do agregado saturado



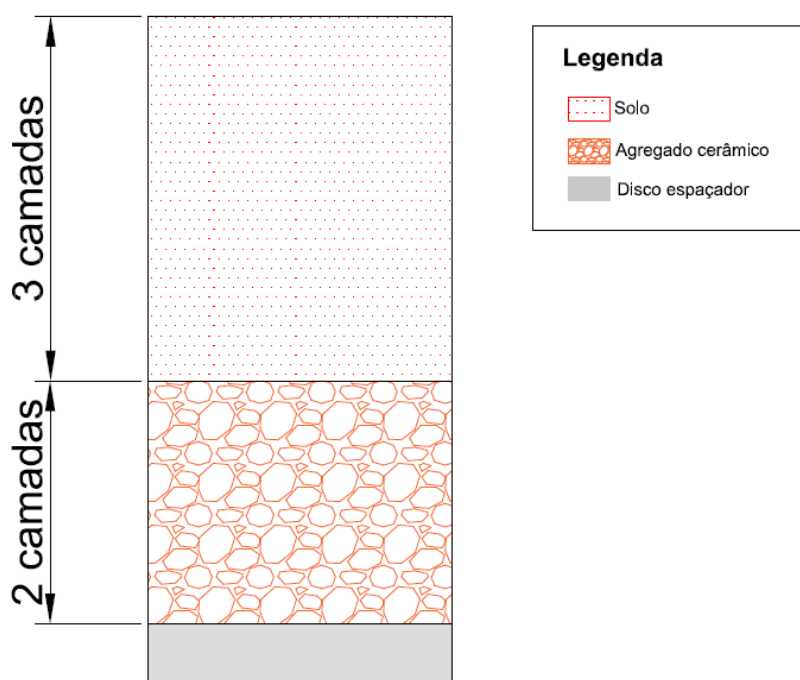
Fonte: Acervo da autora (2022)

4.5 ENSAIO DE CBR COM CRAVAMENTO DO AGREGADO

Alguns procedimentos do ensaio tradicional foram mantidos para a realização do ensaio de CBR com o cravamento do agregado cerâmico no solo. Dentre esses procedimentos, estão: o solo foi mantido em sua umidade ótima (12,22% - Tabela 4) e foram executadas 05 camadas nos corpos-de-prova com 26 golpes em cada uma delas, correspondentes à energia do Proctor intermediário.

Nesta etapa foram compactados 6 corpos-de-prova: 3 com o agregado cerâmico seco; e 3 com o agregado saturado. A montagem dos corpos-de-prova se deu pela inserção do anel de fundo, seguido por 2 camadas do agregado e por 3 camadas de solo, que foram escarificadas no final da série de golpes para garantir a aderência da camada seguinte. A Figura 16 apresenta um esquema da montagem dos corpos-de-prova.

Figura 16 - Esquema da montagem dos corpos-de-prova



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Ao contrário dos procedimentos adotados em campo, onde o agregado é compactado sobre o solo, neste ensaio houve uma adaptação e a configuração adotada foi invertida, com o agregado compactado abaixo do solo.

Este método foi adotado para obter melhor compactação e conservar a camada de agregado, sendo necessário girar o corpo-de-prova para o teste de carga na prensa. Assim as camadas de agregado sofreram a ação direta do pistão de penetração. Foi realizada a mesma metodologia tanto para os agregados secos quanto para os saturados.

Ademais, assim como no método tradicional, o excesso de solo no cilindro foi retirado, mantendo constante o volume do corpo-de-prova.

Para retirar o disco espaçador do fundo do cilindro após a compactação, utilizou-se um ímã, preservando as camadas de caco cerâmico.

Na Figura 17 observa-se um corpo-de-prova após a compactação e a retirada do disco espaçador.

Figura 17 - Corpo-de-prova com agregado seco após a compactação e retirada do anel de fundo



Fonte: Acervo da autora (2022)

Após a compactação, os corpos-de-prova foram levados para a prensa sem a imersão descrita no tradicional ensaio de CBR. O carregamento controlado foi aplicado, medindo-se as deformações no anel dinamométrico correspondentes à penetração do pistão. Desta forma foi possível plotar a curva de penetração (mm) versus carga (Psi). A Figura 18 apresenta a vista de um corpo-de-prova após o ensaio.

O corpo-de-prova foi retirado do cilindro com o auxílio de um macaco hidráulico, como na Figura 19. Neste caso é possível observar as camadas de solo e de agregado cerâmico após a compactação.

Figura 18 - Vista do corpo-de-prova com agregado seco após a penetração da prensa



Fonte: Acervo da autora (2022)

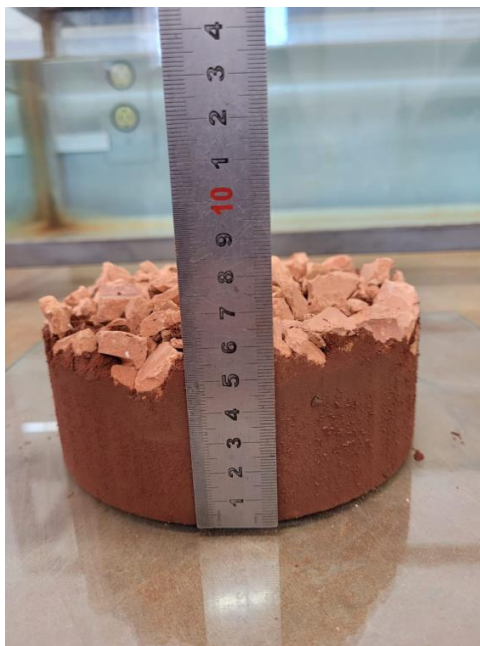
Figura 19 - Extração do corpo-de-prova com cravamento do agregado seco



Fonte: Acervo da autora (2022)

O cravamento do agregado na camada de solo – para confirmar de o agulhamento aconteceu de fato – foi medido diretamente no corpo-de-prova, com o auxílio de uma régua (Figura 20).

Figura 20 - Medição do cravamento no do corpo-de-prova com agregado seco



Fonte: Acervo da autora (2022)

Por fim, o corpo-de-prova foi partido para retirar uma amostra de solo na interface com o agregado cerâmico. O objetivo era avaliar a possível absorção da água do solo pelo agregado (Figura 21). Foram recolhidas porções do solo nos seis corpos-de-prova.

Figura 21 - Corpo-de-prova com agregado seco extraído do cilindro



Fonte: Acervo da autora (2022)

As Figuras 22 a 25 mostram as etapas do ensaio de CBR com o agregado cerâmico na condição saturada. Vale ressaltar que a ruptura do corpo-de-prova foi imediata, portanto, sem imersão.

Figura 22 - Vista do corpo-de-prova com agregado saturado após a compactação



Fonte: Acervo da autora (2022)

Figura 23 - Corpo-de-prova com sobrecarga



Fonte: Acervo da autora (2022)

Figura 24 - Medição do cravamento no corpo-de-prova com agregado saturado



Fonte: Acervo da autora (2022)

Figura 25 - Corpo-de-prova extraído do cilindro e com agregado saturado



Fonte: Acervo da autora (2022)

O quadro 1 abaixo apresenta um resumo da metodologia do ensaio CBR Tradicional e Adaptado.

Quadro 1 – Resumo da metodologia do ensaio CBR Tradicional e do ensaio CBR Adaptado

Ensaio CBR Tradicional	Ensaio CBR Adaptado
ABNT NBR 9895 (2016): Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio	Sem Norma Regulamentadora
Ensaio de compactação:	Ensaio de compactação:
5 camadas (solo ou solo e agregado pré misturados);	5 camadas (solo e agregado separados);
Golpes uniformemente distribuídos;	Golpes uniformemente distribuídos;
Energia normal, intermediária ou modificada.	Energia normal, intermediária ou modificada.
Ensaio de imersão em água:	Ensaio SEM imersão em água
4 dias	
Ensaio de penetração	Ensaio de penetração

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENSAIOS COM O SOLO

5.1.1 Classificação e Caracterização do solo

Para o método TRB, o solo analisado foi classificado como A-4 (4), cujas principais características são: material siltsoso e pouco plástico. Em relação ao seu uso em pavimentação, este solo pode ser de regular a sofrível quando assume os papéis de subleito e/ou sub-base. Na classificação MCT, o solo apresenta comportamento laterítico-arenoso tipo I, podendo ser utilizado em todas as camadas de pavimento.

A planilha para a classificação TRB e os resultados para as classificações estão apresentados nas Figura 26, Tabela 2 e Tabela 3.

Figura 26 - Planilha da classificação TRB.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 max.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				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.

Fonte: Manual de Pavimentação, DNIT (2006)

Tabela 2 - Resultados para a classificação TRB do solo

Parâmetro analisado	Resultados obtidos
Passante na peneira #10	100%
Passante na peneira #40	97,7%
Passante na peneira #200	56,6%
Limite de Liquidez (LL)	24%
Limite de Plasticidade (LP)	17%
Índice de Plasticidade	7%
Índice de Grupo (IG)	4

Fonte: Adaptado de CRUZ (2018)

Tabela 3 - Resultado para a classificação MCT

c'	d'	PI	e'
1,1	135,7 Kg/m ³	90%	1,01

Fonte: Adaptado de CRUZ (2018)

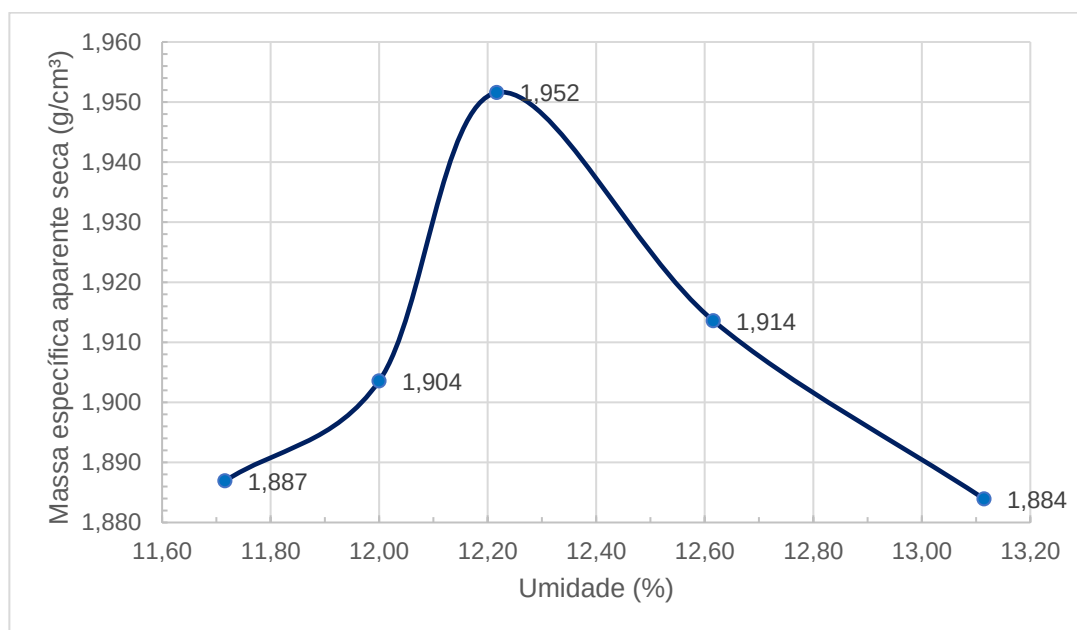
Em que

- c' - coeficiente de deformabilidade;
- d' - inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação;
- P_i - perda por imersão (P_i) (Kg/m^3);
- e' - coeficiente é calculado a partir do coeficiente d' e da perda de massa por imersão P_i .

5.1.2 Ensaio de compactação do solo

Com base nos dados do ensaio de compactação Proctor, cujos dados primários estão no Apêndice deste trabalho, foi possível plotar a curva de compactação do solo (Figura 27).

Figura 27 - Curva de compactação no Proctor intermediário.



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Os resultados do ensaio de compactação estão resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do ensaio Proctor Intermediário

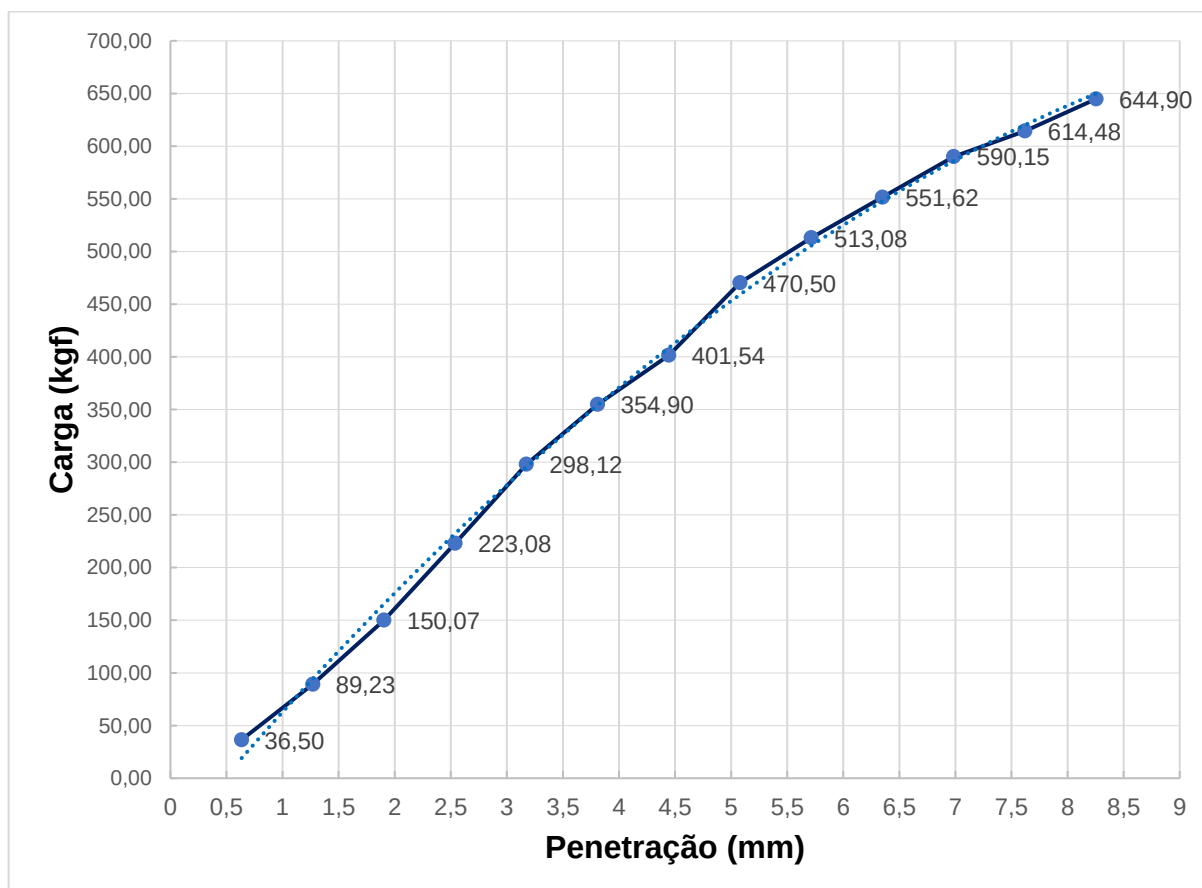
Amostra	Teor de umidade (%)	Massa específica aparente seca (g/cm ³)	Teor de umidade ótima - w (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)
1	11,72	1,887	12,22	1,952
2	12,00	1,904		
3	12,22	1,952		
4	12,62	1,914		
5	13,12	1,884		

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

5.1.3 Ensaio CBR do solo

O ensaio de CBR do solo foi realizado como descrito no item 4.3.3, utilizando como referência a massa específica aparente seca máxima e o teor de umidade ótima do ensaio de compactação. A Figura 28 apresenta o gráfico de carga (Kgf) versus penetração (mm) obtido.

Figura 28 - CBR do Solo



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Os valores de CBR (%) e expansão (%) estão resumidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados do ensaio CBR

Penetração (mm)	CBR (%)	CBR do solo (%)	Expansão (%)
2,54	20,70	24,6	0,13
5,08	24,64		

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006), por meio do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, define as características que cada camada deve ter para servir como material de construção em pavimentos rodoviários. O Quadro 2 apresenta tais características.

Quadro 2 – Especificações do uso dos materiais empregados em pavimentação.

Camada	CBR (%)	Expansão (%)
Subleito	≥ 2	≤ 2
Reforço do subleito	< que o do subleito	≤ 1
Sub-base	≥ 20	≤ 1
Base	≥ 80 para $N > 5 \times 10^6$ e ≥ 60 para $N \leq 5 \times 10^6$	$\leq 0,5$

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

De acordo com os valores de CBR e expansão, pode-se observar que este solo pode ser utilizado com subleito, reforço do subleito e sub-base.

5.2 ENSAIO COM O AGREGADO CERÂMICO

Com base nos métodos descritos (item 4.4) foram obtidos os resultados para absorção do agregado, conforme ilustrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Ensaio com o agregado cerâmico

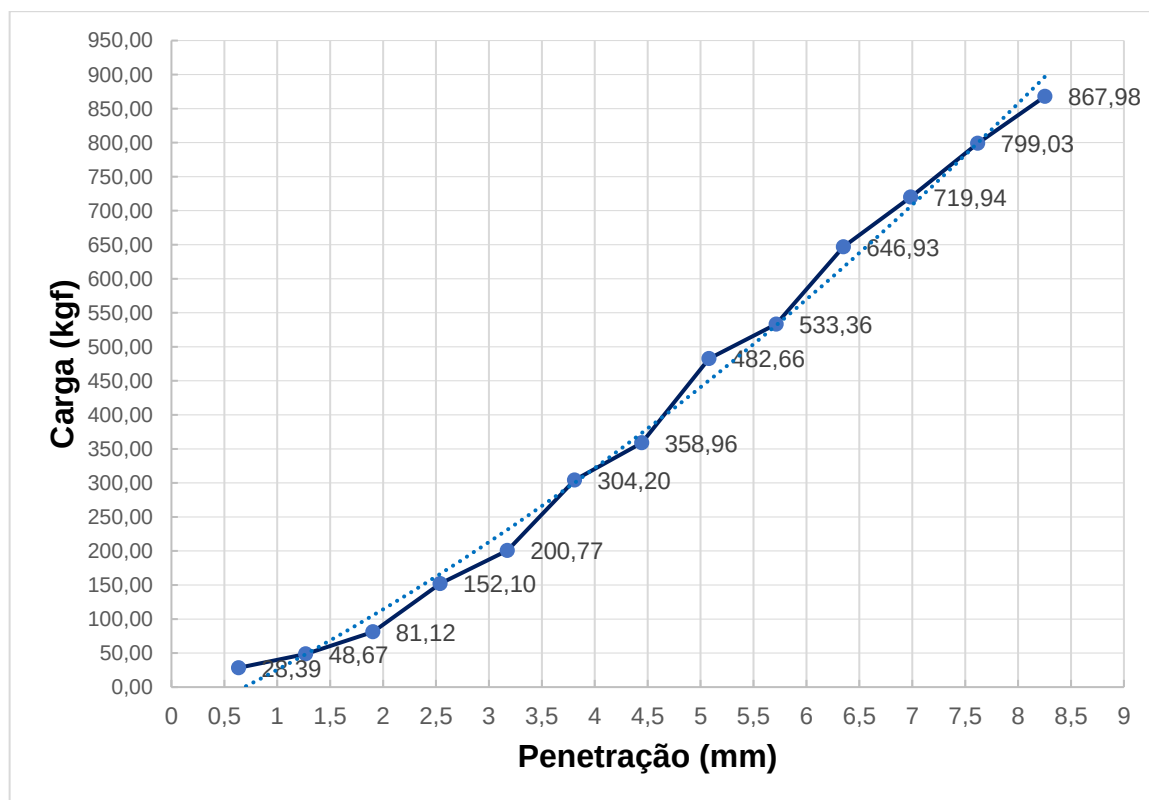
Massa do agregado saturado + tara (g)	Massa do agregado seco + tara (g)	Massa de água absorvida (g)	Absorção (%)
1.611,30	1.364,30	247,00	18,10%

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

5.3 ENSAIO DE CBR COM CRAVAMENTO DO AGREGADO

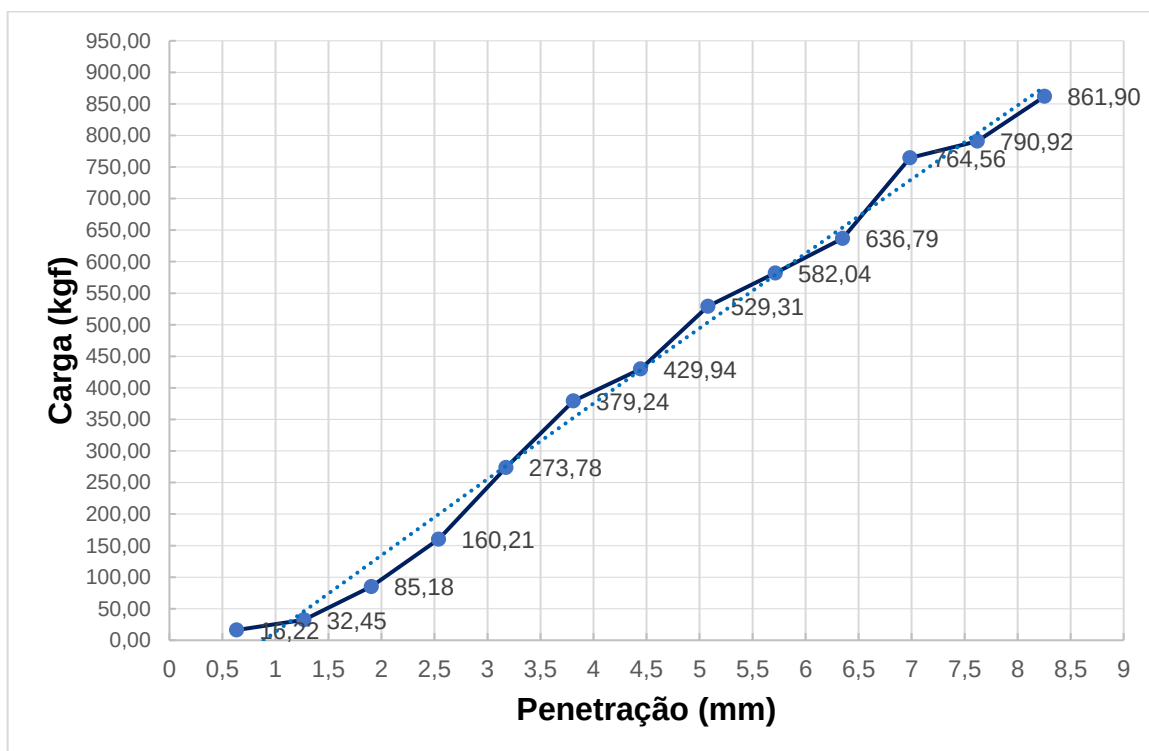
Foram realizadas duas séries de ensaios com três amostras em cada uma delas, perfazendo seis de ensaios CBR para a condição de solo estabilizado por agulhamento do agregado cerâmico, como descrito no item 4.5. Os três primeiros resultados são relativos ao solo estabilizado com o caco de telha saturada e os três últimos para o caco no estado seco. As curvas de carga versus penetração estão nas Figuras 29 a 34.

Figura 29 - CBR do solo - caco cerâmico saturado (CP1)



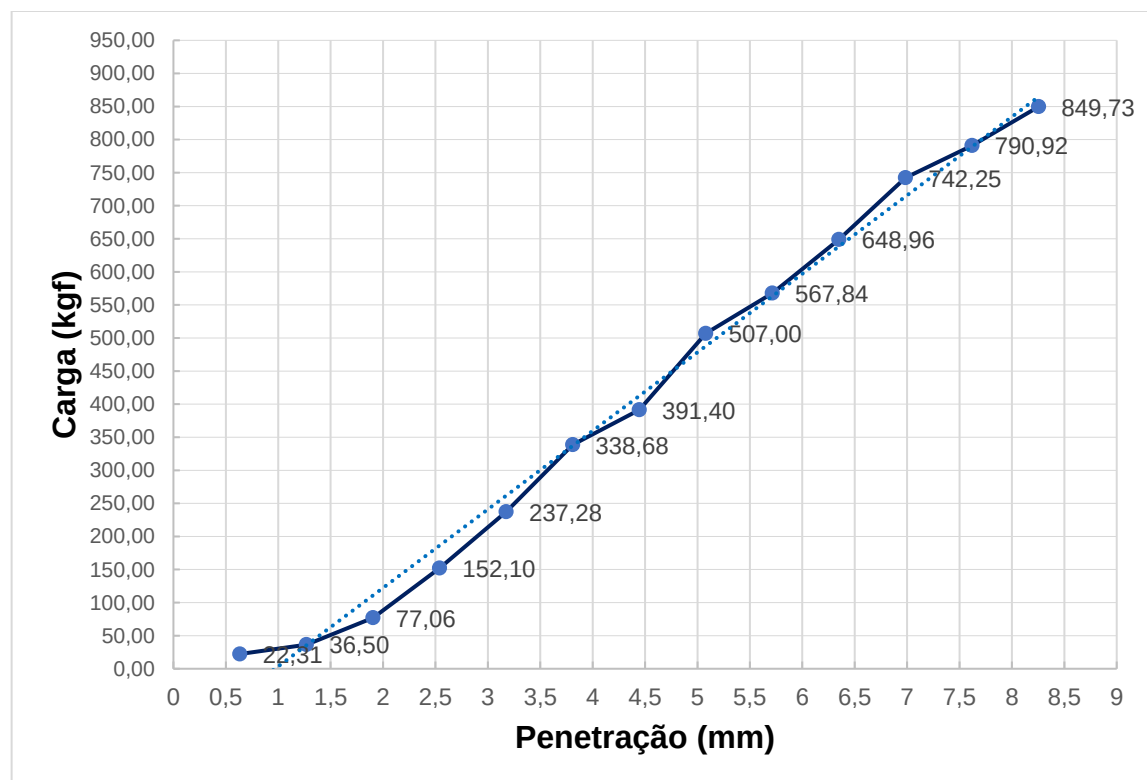
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 30 - CBR do solo - caco cerâmico saturado (CP2)



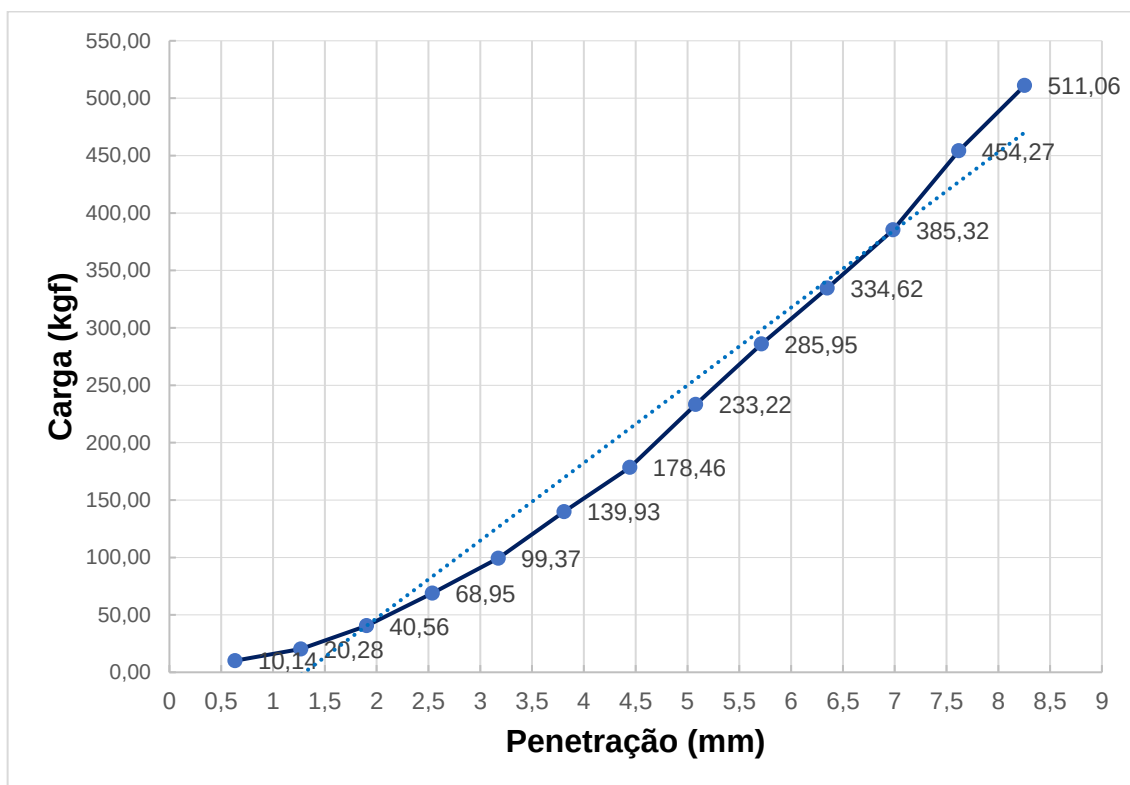
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 31 - CBR do solo - caco cerâmico saturado (CP3)



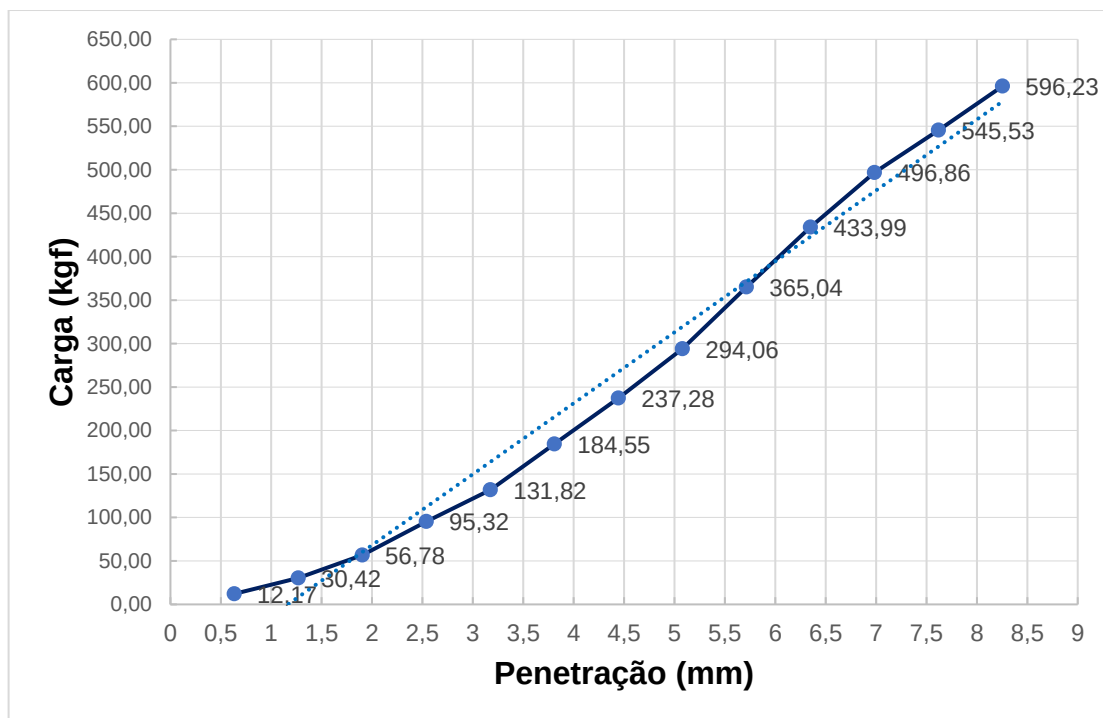
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 32 - CBR do solo - caco cerâmico seco (CP4)



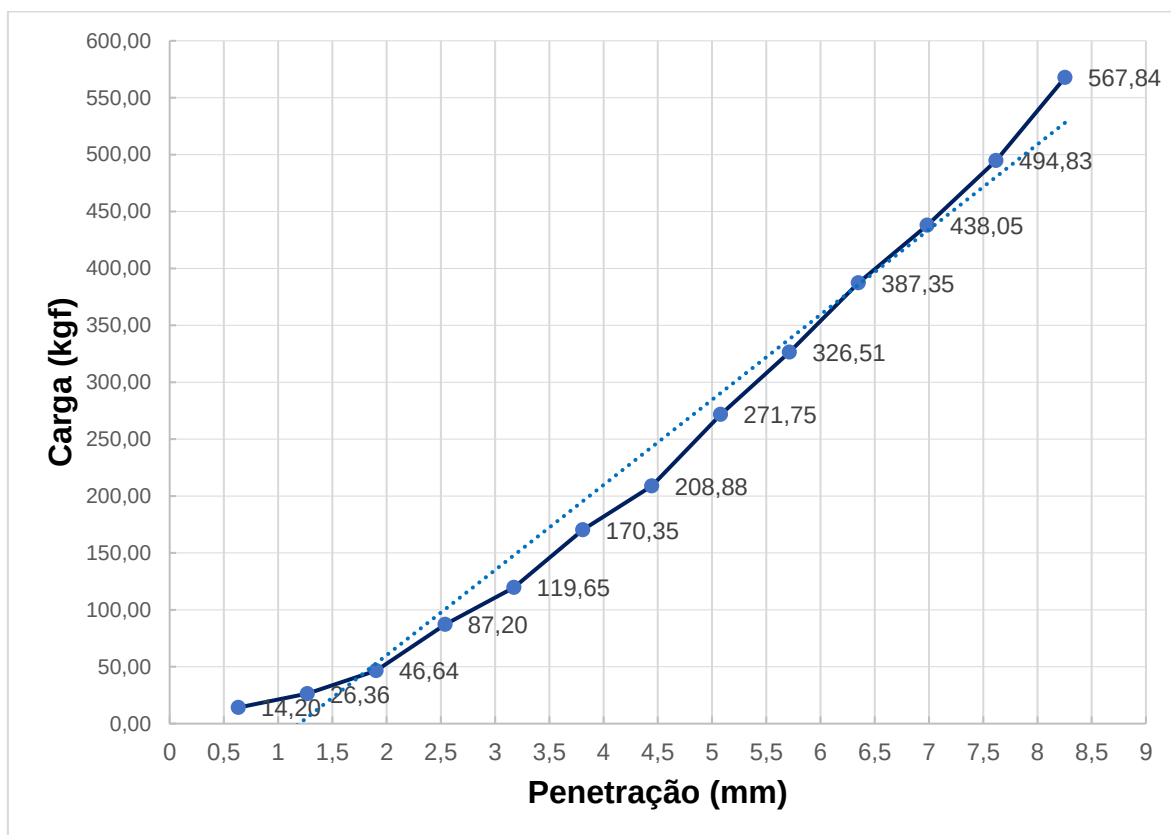
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 33 - CBR do solo - caco cerâmico seco (CP5)



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 34 - CBR do solo - caco cerâmico seco (CP6)



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Assumindo gráficos das Figuras 29 a 34 como referência, foi elaborada a Tabela 7 que resume os valores de CBR (%) medidos em cada amostra.

Tabela 7 - Dados obtidos no ensaio CBR para solo-agregado.

Amostra	Condição do agregado	CBR para penetração de 2,54 mm (%)	CBR para penetração de 5,08 mm (%)	CBR (%)	CBR médio (%)
CP1	Saturado	21,8	29,3	29,3	29,5
CP2	Saturado	21,8	29,4	29,4	
CP3	Saturado	22,1	29,6	29,6	
CP4	Seco	13,2	17,3	17,3	18,9
CP5	Seco	15,5	20,6	20,6	
CP6	Seco	14,1	18,7	18,7	

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

É possível verificar que, em comparação com o CBR do solo in natura (24,6%), as amostras de solo-agregado cerâmico saturado apresentaram valores

ligeiramente superiores. Tal condição reforça a ideia de que o agulhamento do agregado cerâmico sobre a camada de solo melhora o suporte da camada estabilizada.

Comparando os valores de CBR para as amostras com agregados secos e saturados, é possível notar significativa perda de suporte (CBR) para a condição de caco cerâmico seco. As amostras com agregado seco resultaram CBR menor até em relação ao solo in natura.

Dados produzidos por TROMBETA (2023) (Tabela 8) para corpos-de-prova com imersão (amostras saturadas) confirmam a influência da água sobre o resultado do CBR em ensaios adaptados para avaliar o agulhamento de agregado de telhas cerâmicas em solo.

Uma explicação para esse comportamento pode ser a absorção de água do solo pelo caco de telha. Neste caso, a absorção melhora a qualidade da integração entre as “pedras” do agregado cerâmico, reduzindo as condições de “escorreamento” entre elas. Assim, ao proceder a penetração do pistão o agregado (ao se acomodar) oferece maior resistência.

Essa “acomodação” pode ser verificada nas curvas de penetração (Figuras 29 a 31). As curvas não se mostram contínuas, mas formando leves patamares. Este comportamento não é observado nas curvas com o agregado seco (Figuras 32 a 34). Tal comportamento pode estar relacionada à abrasão do agregado, resultante da sua porosidade – elevada absorção. Assim, a penetração do pistão altera a estabilidade do agregado, reduzindo a sua capacidade de suporte.

Outra explicação possível para esse comportamento sugere que o travamento a seco dos agregados associados à sua porosidade – capaz de comprometer a resistência à abrasão – fragiliza as arestas de contato entre eles, minorando a sua capacidade de suporte, sobretudo na porção final da penetração do pistão.

Tabela 8 – Resultados da adaptação do ensaio CBR com imersão

Adaptação do ensaio CBR com imersão		
Amostra	Condição do agregado	CBR médio (%)
CP1	Saturado	27,1
CP2	Saturado	
CP3	Saturado	
CP4	Seco	28,9
CP5	Seco	
CP6	Seco	

Fonte: Adaptado de TROMBETA (2023)

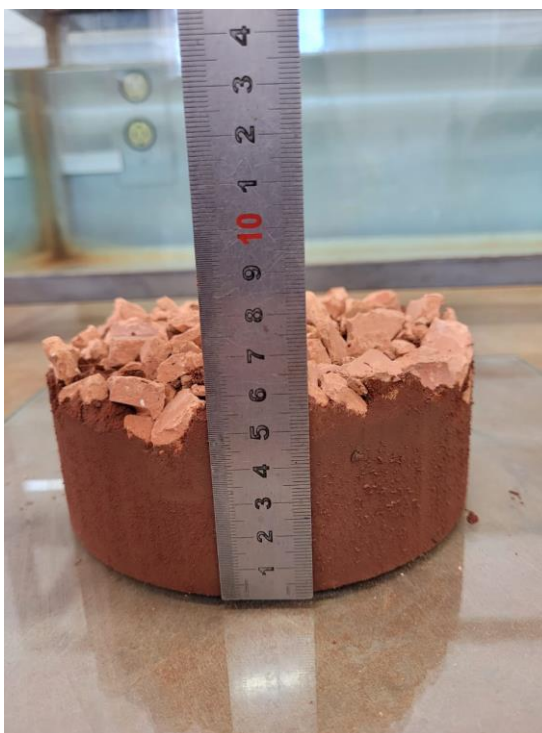
Pelos valores obtidos e resumidos no Quadro 2, os corpos-de-prova com agregado saturado apresentaram valor de CBR maior que 20% e expansão de 0,13%, correspondente à expansão do solo. Assim, a sua utilização pode ser em subleito, reforço do subleito e sub-base de vias pavimentadas. No caso das estradas de terra, não existem parâmetros capazes de indicar os valores para o seu uso.

5.4 CRAVAMENTO DO AGREGADO CERÂMICO NO SOLO

Como descrito no item 4.5, analisou-se também o cravamento do caco de telha no solo. A altura normal do corpo-de-prova no ensaio CBR é da ordem de 11,5cm. Mas nesse ensaio adaptado, ao retirá-lo do cilindro alguns fragmentos de agregado se desprenderam, o que deixou o corpo-de-prova com altura menor.

Na Figura 35 é possível observar que a altura total é de 7cm e o caco de telha penetrou de 1,7 e 2,6cm em relação ao topo do corpo-de-prova. Na Figura 36 nota-se que a altura total é de 6,5cm e o agregado penetrou de 1,4 e 2,2cm em relação ao topo do corpo-de-prova.

Figura 35 - Medição do cravamento no CP4



Fonte: Acervo da autora (2022).

Figura 36 - Medição do cravamento no CP5



Fonte: Acervo da autora (2022)

5.5 TEOR DE UMIDADE DO SOLO NO CONTATO SOLO-AGREGADO

Com as amostras de solo retiradas de cada corpo-de-prova na região do contato com o agregado foi elaborada a Tabela 9.

Tabela 9- Dados obtidos na determinação do teor de umidade.

Amostra	Condição do agregado	Teor de umidade (%) - w
CP1	Saturado	12,79
CP2	Saturado	12,82
CP3	Saturado	12,61
CP4	Seco	11,86
CP5	Seco	11,90
CP6	Seco	11,83

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Os valores de umidade medidos nos corpos-de-prova de solo com caco de telha seco corroboram a hipótese de que o agregado pode ter absorvido umidade do solo, visto que os valores foram inferiores ao teor de umidade ótima do solo 12,22% (Tabela 4).

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

6.1 CONCLUSÕES

É possível medir em laboratório o CBR de amostras utilizando o método do agulhamento. O caco de telha apresentou grande capacidade de absorção e a condição de saturação ou não do agregado influenciou os resultados.

A utilização do caco de telha cerâmica saturado em camada de cravamento aumentou o CBR da mistura estabilizada em relação ao solo in natura e o caco cerâmico seco diminuiu o CBR em relação ao solo in natura.

De acordo com os resultados deste trabalho, foi possível concluir que o uso do solo com o agregado cerâmico saturado é apto do ponto de vista das propriedades físicas e mecânicas para a pavimentação como subleito e camadas de reforço do subleito e de sub-base. O solo-agregado cerâmico seco poderia ser utilizado em subleito e reforço do sub-leito, dada a sua baixa qualidade de suporte.

Embora as vias não pavimentadas não disponham de parâmetros normativos, a técnica do agulhamento com caco de telha cerâmica parece viável em revestimentos primários quando se toma por base os parâmetros das vias pavimentadas.

Além do ganho estrutural, admite-se também ganho ambiental e social relacionado ao uso do caco de telha cerâmica em estabilização granulométrica de solos, uma vez que o rejeito seria entulho descartado em aterros.

6.2 SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

Para futuros trabalhos, destacam-se os seguintes temas e sugestões:

- Utilizar diferentes energias de compactação (Proctor normal e Proctor modificado).
- Repetir o trabalho adotando a mesma energia de compactação, porém com diferentes dosagens de materiais e/ou montagens dos corpos-de-prova.
- Repetir o mesmo trabalho utilizando outro tipo de solo.
- Ensaio de agulhamento com outros materiais rejeitos da construção civil.
- Estudos com estes mesmos materiais em misturas prévias com o objetivo de checar se, de fato, há perda de suporte também para a condição de agregado seco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 13 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 12 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 5 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 3 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 10 p.

ALMEIDA, M. S. S.; LIMA, D. C.; CARVALHO, A. B.; MACHADO, C. C.; BARBOSA, P. S. A.; SILVA, C. H. C. **Correção Granulométrica de Solos para Aplicações em Estradas Florestais: Estudo de Caso com Solos da CENIBRA**. Revista Árvore, v. 34, n.6, p.1085-1090, Viçosa-MG, 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO – ANFACER. **Gestão 2010**. Publicação ANFACER, 2010. Disponível em : <<http://anfacer.org.br>> Acesso em 18 de agosto de 2022.

BAGATINI, F. **Resíduos de Construção Civil: Aproveitamento como base e sub-base na pavimentação de vias urbanas**. 2011. 70p. Trabalho de Diplomação (Departamento de Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA FILHO, J.V. **Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, vol. 46, nº. 3, Julho/Setembro 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032008000300006> Acesso em: 12 mai 2021.

BATALIONE, Giovane. **Estabilização de solos tropicais com a utilização de rejeitos finos de pedreira de uma rocha granítica**. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade de Brasília, Brasília.

BATISTA, C. F. N. **Ensaio Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis**. Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1976.

BERNUCCI, L. B. MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

CABRAL, C. L. B., **Estabilização de Solos com o uso de Agregados Cerâmicos Resíduos da Construção Civil**, TCC (graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2018.

Confederação Nacional do Transporte (CNT), Anuário do Transporte. Disponível em: < <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/Rodoviario/1-1-/Inicial> >. Acesso em: 25 de abril de 2021.

CRUZ, F. A., **Estabilização de Solos com o uso de Resíduos da Construção Civil**, TCC (graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2018.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER).

_. **DER/SP ET-DE-P00/013**: Especificação Técnica. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Normais e Manuais.

_. **DNER-ME 258/94**: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini- MCV.

_. **DNER-ME 256/94**: Solos compactados com equipamento miniatura – Determinação da perda de massa por imersão.

MEDINA, J., **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ, 1997.

OTUBO, A. T. R., **Estabilização de Solos com o uso de Resíduos Cerâmicos da Construção Civil**, TCC (graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2021.

PALMEIRA, E.M. (1990). **Melhoria de Solos**. Publicação GA 001A/90, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 225 p.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos** 3 ed. Oficina de Textos. São Paulo. 2006.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Secretaria de Infra-Estrutura Urbana. Superintendência de Projetos Viários.

_. **PMSP/SP ETS – 001/2003**: Camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil.

SANTOS, A. R., PASTORE, E. L., JUNIOR, F. A., CUNHA, M. A. **Manual técnico para conservação e recuperação de estradas vicinais de terra**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2019.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**: volume I, São Paulo, 2007.

TROMBETA, E. R., **Adaptação do ensaio CBR para o método do Agulhamento com o uso de Resíduos Cerâmicos**, TCC (graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2023.

VISSER, A. T. and HUDSON W. R., **Performance, Design and Maintenance Relations for Unpaved Low-Volume Roads**, In: Third International Conference on Low-Volume Roads, Transportation Research Record 898, Washington, D.C., USA. Volume 1, 1983, pp.164 – 174.

VILLIBOR, D. F. **Estabilização Granulométrica ou Mecânica**. GRÁFICA EESC – USP, São Carlos, SP, 1978

WALLAU, J. R. **Avaliação da Técnica de Estabilização Granulométrica como Revestimento Primário de Rodovias Não-Pavimentadas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ). Ijuí, 2004.

APÊNDICE

Apêndice A - Dados do ensaio Proctor Intermediário do solo in natura.

Amostra	Massa de solo úmido da amostra (g)	Massa de solo seco da amostra (g)	Massa de água na amostra (g)	Teor de umidade (%)	Massa úmida da amostra de solo (g)	Volume do corpo-de-prova (cm ³)	Massa específica aparente seca (g/cm ³)
1	32,42	29,02	3,4	11,72	2108	1.000	1,887
2	31,08	27,75	3,33	12,00	2132	1.000	1,904
3	26,27	23,41	2,86	12,22	2190	1.000	1,952
4	31,51	27,98	3,53	12,62	2155	1.000	1,914
5	26,65	23,56	3,09	13,12	2131	1.000	1,884

Apêndice B - Ficha do ensaio com solo puro

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL				
ENSAIO DE CBR					
Operador: Tainá Carolina Aquiles da Silva Local: Ilha Solteira Amostra: Solo puro	Umidade ótima (w): 12,22% Densidade Máxima (pd máx): 1,95 g/cm³				
PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA					
Cilindro N°	4				
N° de camadas	5				
N° de golpes	26				
DADOS DE AMOSTRA					
	ANTES DA SATURAÇÃO APÓS SATURAÇÃO				
Peso am. Um. + molde	8,655 Kg				
Peso do molde	4,296 Kg				
Peso da amostra	4,359 Kg				
Volume da amostra	2.100 cm³				
Densidade aparente úmida	2,1 g/cm³				
DETERMINAÇÃO DO TEOR DA UMIDADE					
Capsula:	M 36				
Solo + Água + Tara (g)	56,74				
Solo + Tara (g)	52,17				
Solo (g)	39,06				
Água (g)	4,70				
Tara (g)	27,90				
w (%)	12,03				
w média (%)	12,03				
Densidade aparente seca máxima (g/cm³)					
SATURAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA					
DIA	HORA	TEMP. DEC.	ALTURA INICIAL:		
			LEITURA DEFLEC T.	Δh	(%)
0	10:00	0	0,200	0,000	0,00
1	10:00	24	0,200	0,000	0,00
2	10:00	48	0,215	0,015	0,13
3	10:00	72	0,210	0,010	0,09
4	10:00	96	0,210	0,010	0,09
CBR: 24,6 %					
EXPANSÃO: 0,13 %					
GRAU DE COMPACTAÇÃO:					
GOLPES POR CAMADA					
PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	Def. do anel (mm)	Carga (Kg)	
0,635	0,5	0,025	18	36,504	
1,270	1	0,050	44	89,232	
1,905	1,5	0,075	74	150,072	
2,540	2	0,100	110	223,080	
3,175	2,5	0,125	147	298,116	
3,810	3	0,150	175	354,900	
4,445	3,5	0,175	198	401,544	
5,080	4	0,200	232	470,496	
5,715	4,5	0,225	253	513,084	
6,350	5	0,250	272	551,616	
6,985	5,5	0,275	291	590,148	
7,620	6	0,300	303	614,484	
8,255	6,5	0,325	318	644,904	

Apêndice C – Tabela de Resultados do CBR do solo in natura

Penetração (mm)	Pressão (Kgf)			CBR (%)	CBR do solo (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão		
2,54	223,08	280	1.352,54	20,7	24,6
5,08	470,05	500	2.028,82	24,6	

Apêndice D -Ficha do ensaio com solo - caco cerâmico saturado (CP1)

		DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL																																																																										
ENSAIO DE CBR																																																																												
Operador: Tainá Carolina Aquiles da Silva		Umidade ótima (w):																																																																										
Local: Ilha Solteira		Densidade Máxima (pd máx):																																																																										
Amostra: Solo - caco de telha cerâmico saturado (CP1)																																																																												
PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA																																																																												
Cilindro N°	1																																																																											
N° de camadas	5																																																																											
N° de golpes	26																																																																											
DADOS DE AMOSTRA																																																																												
Peso am. Um. + molde	8300 g																																																																											
Peso do molde	4295 g																																																																											
Peso da amostra	4005 g																																																																											
Volume da amostra	2105 cm³																																																																											
Densidade aparente úmida	1,90 g/cm³																																																																											
DETERMINAÇÃO DO TEOR DA UMIDADE																																																																												
Capsula:	M 31	M 24																																																																										
Solo + Água + Tara (g)	64,02	71,89																																																																										
Solo + Tara (g)	60,02	67,24																																																																										
Solo (g)	31,52	36,36																																																																										
Água (g)	4,00	4,65																																																																										
Tara (g)	28,50	30,88																																																																										
w (%)	12,69%	12,89%																																																																										
w média (%)	12,79%																																																																											
Densidade aparente seca máxima (g/cm³)																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (mm)</th> <th rowspan="2">TEMPO (mm)</th> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (pol)</th> <th colspan="2">GOLPES POR CAMADA</th> </tr> <tr> <th>Def. do anel (mm)</th> <th>Carga (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,635</td><td>0,5</td><td>0,025</td><td>14</td><td>28,392</td></tr> <tr><td>1,270</td><td>1</td><td>0,050</td><td>24</td><td>48,672</td></tr> <tr><td>1,905</td><td>1,5</td><td>0,075</td><td>40</td><td>81,120</td></tr> <tr><td>2,540</td><td>2</td><td>0,100</td><td>75</td><td>152,100</td></tr> <tr><td>3,175</td><td>2,5</td><td>0,125</td><td>99</td><td>200,772</td></tr> <tr><td>3,810</td><td>3</td><td>0,150</td><td>150</td><td>304,200</td></tr> <tr><td>4,445</td><td>3,5</td><td>0,175</td><td>177</td><td>358,956</td></tr> <tr><td>5,080</td><td>4</td><td>0,200</td><td>238</td><td>482,664</td></tr> <tr><td>5,715</td><td>4,5</td><td>0,225</td><td>263</td><td>533,364</td></tr> <tr><td>6,350</td><td>5</td><td>0,250</td><td>319</td><td>646,932</td></tr> <tr><td>6,985</td><td>5,5</td><td>0,275</td><td>355</td><td>719,940</td></tr> <tr><td>7,620</td><td>6</td><td>0,300</td><td>394</td><td>799,032</td></tr> <tr><td>8,255</td><td>6,5</td><td>0,325</td><td>428</td><td>867,984</td></tr> </tbody> </table>					PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA		Def. do anel (mm)	Carga (Kg)	0,635	0,5	0,025	14	28,392	1,270	1	0,050	24	48,672	1,905	1,5	0,075	40	81,120	2,540	2	0,100	75	152,100	3,175	2,5	0,125	99	200,772	3,810	3	0,150	150	304,200	4,445	3,5	0,175	177	358,956	5,080	4	0,200	238	482,664	5,715	4,5	0,225	263	533,364	6,350	5	0,250	319	646,932	6,985	5,5	0,275	355	719,940	7,620	6	0,300	394	799,032	8,255	6,5	0,325	428	867,984
PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA																																																																									
			Def. do anel (mm)	Carga (Kg)																																																																								
0,635	0,5	0,025	14	28,392																																																																								
1,270	1	0,050	24	48,672																																																																								
1,905	1,5	0,075	40	81,120																																																																								
2,540	2	0,100	75	152,100																																																																								
3,175	2,5	0,125	99	200,772																																																																								
3,810	3	0,150	150	304,200																																																																								
4,445	3,5	0,175	177	358,956																																																																								
5,080	4	0,200	238	482,664																																																																								
5,715	4,5	0,225	263	533,364																																																																								
6,350	5	0,250	319	646,932																																																																								
6,985	5,5	0,275	355	719,940																																																																								
7,620	6	0,300	394	799,032																																																																								
8,255	6,5	0,325	428	867,984																																																																								

**Apêndice E - Tabela de Resultados do CBR do solo - caco cerâmico saturado
(CP1) (%)**

Penetração (mm)	Pressão (Kgf)			CBR (%)	CBR do solo - caco de telha cerâmico saturado (CP1) (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão		
2,54	152,10	295	1.352,54	21,8	29,3
5,08	482,66	595	2.028,82	29,3	

Apêndice F - Ficha do ensaio com solo - caco cerâmico saturado (CP2)

		DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL																																																																										
ENSAIO DE CBR																																																																												
Operador: Tainá Carolina Aquiles da Silva		Umidade ótima (w):																																																																										
Local: Ilha Solteira		Densidade Máxima (pd máx):																																																																										
Amostra: Solo - caco de telha cerâmico saturado (CP2)																																																																												
PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA																																																																												
Cilindro N°	8																																																																											
N° de camadas	5																																																																											
N° de golpes	26																																																																											
DADOS DE AMOSTRA																																																																												
Peso am. Um. + molde	9465 g																																																																											
Peso do molde	5520 g																																																																											
Peso da amostra	3945 g																																																																											
Volume da amostra	2092 cm³																																																																											
Densidade aparente úmida	1,89 g/cm³																																																																											
DETERMINAÇÃO DO TEOR DA UMIDADE																																																																												
Capsula:	M 13	M 07																																																																										
Solo + Água + Tara (g)	45,96	46,35																																																																										
Solo + Tara (g)	44,20	44,70																																																																										
Solo (g)	13,57	13,03																																																																										
Água (g)	1,76	1,65																																																																										
Tara (g)	30,63	31,67																																																																										
w (%)	12,97%	12,66%																																																																										
w média (%)	12,82%																																																																											
Densidade aparente seca máxima (g/cm³)																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (mm)</th> <th rowspan="2">TEMPO (mm)</th> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (pol)</th> <th colspan="2">GOLPES POR CAMADA</th> </tr> <tr> <th>Def. do anel (mm)</th> <th>Carga (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,635</td><td>0,5</td><td>0,025</td><td>8</td><td>16,224</td></tr> <tr><td>1,270</td><td>1</td><td>0,050</td><td>16</td><td>32,448</td></tr> <tr><td>1,905</td><td>1,5</td><td>0,075</td><td>42</td><td>85,176</td></tr> <tr><td>2,540</td><td>2</td><td>0,100</td><td>79</td><td>160,212</td></tr> <tr><td>3,175</td><td>2,5</td><td>0,125</td><td>135</td><td>273,78</td></tr> <tr><td>3,810</td><td>3</td><td>0,150</td><td>187</td><td>379,236</td></tr> <tr><td>4,445</td><td>3,5</td><td>0,175</td><td>212</td><td>429,936</td></tr> <tr><td>5,080</td><td>4</td><td>0,200</td><td>261</td><td>529,308</td></tr> <tr><td>5,715</td><td>4,5</td><td>0,225</td><td>287</td><td>582,036</td></tr> <tr><td>6,350</td><td>5</td><td>0,250</td><td>314</td><td>636,792</td></tr> <tr><td>6,985</td><td>5,5</td><td>0,275</td><td>377</td><td>764,556</td></tr> <tr><td>7,620</td><td>6</td><td>0,300</td><td>390</td><td>790,92</td></tr> <tr><td>8,255</td><td>6,5</td><td>0,325</td><td>425</td><td>861,9</td></tr> </tbody> </table>					PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA		Def. do anel (mm)	Carga (Kg)	0,635	0,5	0,025	8	16,224	1,270	1	0,050	16	32,448	1,905	1,5	0,075	42	85,176	2,540	2	0,100	79	160,212	3,175	2,5	0,125	135	273,78	3,810	3	0,150	187	379,236	4,445	3,5	0,175	212	429,936	5,080	4	0,200	261	529,308	5,715	4,5	0,225	287	582,036	6,350	5	0,250	314	636,792	6,985	5,5	0,275	377	764,556	7,620	6	0,300	390	790,92	8,255	6,5	0,325	425	861,9
PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA																																																																									
			Def. do anel (mm)	Carga (Kg)																																																																								
0,635	0,5	0,025	8	16,224																																																																								
1,270	1	0,050	16	32,448																																																																								
1,905	1,5	0,075	42	85,176																																																																								
2,540	2	0,100	79	160,212																																																																								
3,175	2,5	0,125	135	273,78																																																																								
3,810	3	0,150	187	379,236																																																																								
4,445	3,5	0,175	212	429,936																																																																								
5,080	4	0,200	261	529,308																																																																								
5,715	4,5	0,225	287	582,036																																																																								
6,350	5	0,250	314	636,792																																																																								
6,985	5,5	0,275	377	764,556																																																																								
7,620	6	0,300	390	790,92																																																																								
8,255	6,5	0,325	425	861,9																																																																								

**Apêndice G - Tabela de Resultados do CBR do solo - caco cerâmico saturado
(CP1) (%)**

Penetração (mm)	Pressão (Kgf)			CBR (%)	CBR do Solo - caco de telha cerâmico saturado (CP2) (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão		
2,54	160,21	295	1.352,54	21,8	29,4
5,08	529,31	597	2.028,82	29,4	

Apêndice H - Ficha do ensaio com solo - caco cerâmico saturado (CP3)

		DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL																																																																										
ENSAIO DE CBR																																																																												
Operador: Tainá Carolina Aquiles da Silva		Umidade ótima (w):																																																																										
Local: Ilha Solteira		Densidade Máxima (pd máx):																																																																										
Amostra: Solo - caco de telha cerâmico saturado (CP3)																																																																												
PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA																																																																												
Cilindro N°	5																																																																											
N° de camadas	5																																																																											
N° de golpes	26																																																																											
DADOS DE AMOSTRA																																																																												
Peso am. Um. + molde	8161 g																																																																											
Peso do molde	4188																																																																											
Peso da amostra	3973																																																																											
Volume da amostra	2.102 cm³																																																																											
Densidade aparente úmida	1,89 g/cm³																																																																											
DETERMINAÇÃO DO TEOR DA UMIDADE																																																																												
Capsula:	M 44	M 59																																																																										
Solo + Água + Tara (g)	69,66	49,84																																																																										
Solo + Tara (g)	64,88	46,75																																																																										
Solo (g)	38,02	24,54																																																																										
Água (g)	4,78	3,09																																																																										
Tara (g)	26,86	22,21																																																																										
w (%)	12,57%	12,64%																																																																										
w média (%)	12,61%																																																																											
Densidade aparente seca máxima (g/cm³)																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (mm)</th> <th rowspan="2">TEMPO (mm)</th> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (pol)</th> <th colspan="2">GOLPES POR CAMADA</th> </tr> <tr> <th>Def. do anel (mm)</th> <th>Carga (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,635</td><td>0,5</td><td>0,025</td><td>11</td><td>22,308</td></tr> <tr><td>1,270</td><td>1</td><td>0,050</td><td>18</td><td>36,504</td></tr> <tr><td>1,905</td><td>1,5</td><td>0,075</td><td>38</td><td>77,064</td></tr> <tr><td>2,540</td><td>2</td><td>0,100</td><td>75</td><td>152,100</td></tr> <tr><td>3,175</td><td>2,5</td><td>0,125</td><td>117</td><td>237,276</td></tr> <tr><td>3,810</td><td>3</td><td>0,150</td><td>167</td><td>338,676</td></tr> <tr><td>4,445</td><td>3,5</td><td>0,175</td><td>193</td><td>391,404</td></tr> <tr><td>5,080</td><td>4</td><td>0,200</td><td>250</td><td>507,000</td></tr> <tr><td>5,715</td><td>4,5</td><td>0,225</td><td>280</td><td>567,840</td></tr> <tr><td>6,350</td><td>5</td><td>0,250</td><td>320</td><td>648,960</td></tr> <tr><td>6,985</td><td>5,5</td><td>0,275</td><td>366</td><td>742,248</td></tr> <tr><td>7,620</td><td>6</td><td>0,300</td><td>390</td><td>790,920</td></tr> <tr><td>8,255</td><td>6,5</td><td>0,325</td><td>419</td><td>849,732</td></tr> </tbody> </table>					PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA		Def. do anel (mm)	Carga (Kg)	0,635	0,5	0,025	11	22,308	1,270	1	0,050	18	36,504	1,905	1,5	0,075	38	77,064	2,540	2	0,100	75	152,100	3,175	2,5	0,125	117	237,276	3,810	3	0,150	167	338,676	4,445	3,5	0,175	193	391,404	5,080	4	0,200	250	507,000	5,715	4,5	0,225	280	567,840	6,350	5	0,250	320	648,960	6,985	5,5	0,275	366	742,248	7,620	6	0,300	390	790,920	8,255	6,5	0,325	419	849,732
PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA																																																																									
			Def. do anel (mm)	Carga (Kg)																																																																								
0,635	0,5	0,025	11	22,308																																																																								
1,270	1	0,050	18	36,504																																																																								
1,905	1,5	0,075	38	77,064																																																																								
2,540	2	0,100	75	152,100																																																																								
3,175	2,5	0,125	117	237,276																																																																								
3,810	3	0,150	167	338,676																																																																								
4,445	3,5	0,175	193	391,404																																																																								
5,080	4	0,200	250	507,000																																																																								
5,715	4,5	0,225	280	567,840																																																																								
6,350	5	0,250	320	648,960																																																																								
6,985	5,5	0,275	366	742,248																																																																								
7,620	6	0,300	390	790,920																																																																								
8,255	6,5	0,325	419	849,732																																																																								

**Apêndice I - Tabela de Resultados do CBR do solo - caco cerâmico saturado
(CP1) (%)**

Penetração (mm)	Pressão (Kgf)			CBR (%)	CBR do Solo - caco cerâmico saturado (CP3) (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão		
2,54	152,10	299	1.352,54	22,1	29,6
5,08	507,00	601	2.028,82	29,6	

Apêndice J - Ficha do ensaio com solo - caco cerâmico seco (CP4)

		DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL																																																																										
ENSAIO DE CBR																																																																												
Operador: Tainá Carolina Aquiles da Silva		Umidade ótima (w):																																																																										
Local: Ilha Solteira		Densidade Máxima (pd máx):																																																																										
Amostra: Solo - caco de telha cerâmico seco (CP4)																																																																												
PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA																																																																												
Cilindro N°	9																																																																											
N° de camadas	5																																																																											
N° de golpes	26																																																																											
DADOS DE AMOSTRA																																																																												
Peso am. Um. + molde	9020 g																																																																											
Peso do molde	5450 g																																																																											
Peso da amostra	3570 g																																																																											
Volume da amostra	2093 cm³																																																																											
Densidade aparente úmida	1,71 g/cm³																																																																											
DETERMINAÇÃO DO TEOR DA UMIDADE																																																																												
Capsula:	M 59	M 57																																																																										
Solo + Água + Tara (g)	44,53	40,01																																																																										
Solo + Tara (g)	42,20	38,70																																																																										
Solo (g)	20,07	10,81																																																																										
Água (g)	2,33	1,31																																																																										
Tara (g)	22,13	27,89																																																																										
w (%)	11,61%	12,12%																																																																										
w média (%)	11,86%																																																																											
Densidade aparente seca máxima (g/cm³)																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (mm)</th> <th rowspan="2">TEMPO (mm)</th> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (pol)</th> <th colspan="2">GOLPES POR CAMADA</th> </tr> <tr> <th>Def. do anel (mm)</th> <th>Carga (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,635</td><td>0,5</td><td>0,025</td><td>5</td><td>10,140</td></tr> <tr><td>1,270</td><td>1</td><td>0,050</td><td>10</td><td>20,280</td></tr> <tr><td>1,905</td><td>1,5</td><td>0,075</td><td>20</td><td>40,560</td></tr> <tr><td>2,540</td><td>2</td><td>0,100</td><td>34</td><td>68,952</td></tr> <tr><td>3,175</td><td>2,5</td><td>0,125</td><td>49</td><td>99,372</td></tr> <tr><td>3,810</td><td>3</td><td>0,150</td><td>69</td><td>139,932</td></tr> <tr><td>4,445</td><td>3,5</td><td>0,175</td><td>88</td><td>178,464</td></tr> <tr><td>5,080</td><td>4</td><td>0,200</td><td>115</td><td>233,220</td></tr> <tr><td>5,715</td><td>4,5</td><td>0,225</td><td>141</td><td>285,948</td></tr> <tr><td>6,350</td><td>5</td><td>0,250</td><td>165</td><td>334,620</td></tr> <tr><td>6,985</td><td>5,5</td><td>0,275</td><td>190</td><td>385,320</td></tr> <tr><td>7,620</td><td>6</td><td>0,300</td><td>224</td><td>454,272</td></tr> <tr><td>8,255</td><td>6,5</td><td>0,325</td><td>252</td><td>511,056</td></tr> </tbody> </table>					PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA		Def. do anel (mm)	Carga (Kg)	0,635	0,5	0,025	5	10,140	1,270	1	0,050	10	20,280	1,905	1,5	0,075	20	40,560	2,540	2	0,100	34	68,952	3,175	2,5	0,125	49	99,372	3,810	3	0,150	69	139,932	4,445	3,5	0,175	88	178,464	5,080	4	0,200	115	233,220	5,715	4,5	0,225	141	285,948	6,350	5	0,250	165	334,620	6,985	5,5	0,275	190	385,320	7,620	6	0,300	224	454,272	8,255	6,5	0,325	252	511,056
PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA																																																																									
			Def. do anel (mm)	Carga (Kg)																																																																								
0,635	0,5	0,025	5	10,140																																																																								
1,270	1	0,050	10	20,280																																																																								
1,905	1,5	0,075	20	40,560																																																																								
2,540	2	0,100	34	68,952																																																																								
3,175	2,5	0,125	49	99,372																																																																								
3,810	3	0,150	69	139,932																																																																								
4,445	3,5	0,175	88	178,464																																																																								
5,080	4	0,200	115	233,220																																																																								
5,715	4,5	0,225	141	285,948																																																																								
6,350	5	0,250	165	334,620																																																																								
6,985	5,5	0,275	190	385,320																																																																								
7,620	6	0,300	224	454,272																																																																								
8,255	6,5	0,325	252	511,056																																																																								

**Apêndice K - Tabela de Resultados do CBR do solo - caco cerâmico saturado
(CP1) (%)**

Penetração (mm)	Pressão (Kgf)			CBR (%)	CBR do Solo - caco de telha cerâmico seco (CP4) (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão		
2,54	68,95	178	1.352,54	13,2	17,3
5,08	233,22	350	2.028,82	17,3	

Apêndice L - Ficha do ensaio com Solo - caco cerâmico seco (CP5)

		DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL																																																																										
ENSAIO DE CBR																																																																												
Operador: Tainá Carolina Aquiles da Silva		Umidade ótima (w):																																																																										
Local: Ilha Solteira		Densidade Máxima (pd máx):																																																																										
Amostra: Solo - caco de telha cerâmico seco (CP5)																																																																												
PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA																																																																												
Cilindro N°	2																																																																											
N° de camadas	5																																																																											
N° de golpes	26																																																																											
DADOS DE AMOSTRA																																																																												
Peso am. Um. + molde	7565 g																																																																											
Peso do molde	4261 g																																																																											
Peso da amostra	3304 g																																																																											
Volume da amostra	2081 cm³																																																																											
Densidade aparente úmida	1,59 g/cm³																																																																											
DETERMINAÇÃO DO TEOR DA UMIDADE																																																																												
Capsula:	M 43	M 48																																																																										
Solo + Água + Tara (g)	51,78	50,85																																																																										
Solo + Tara (g)	49,22	48,43																																																																										
Solo (g)	21,21	20,33																																																																										
Água (g)	2,56	2,42																																																																										
Tara (g)	28,01	28,10																																																																										
w (%)	12,06%	11,73%																																																																										
w média (%)	11,90%																																																																											
Densidade aparente seca máxima (g/cm³)																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (mm)</th> <th rowspan="2">TEMPO (mm)</th> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (pol)</th> <th colspan="2">GOLPES POR CAMADA</th> </tr> <tr> <th>Def. do anel (mm)</th> <th>Carga (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,635</td><td>0,5</td><td>0,025</td><td>6</td><td>12,168</td></tr> <tr><td>1,270</td><td>1</td><td>0,050</td><td>15</td><td>30,420</td></tr> <tr><td>1,905</td><td>1,5</td><td>0,075</td><td>28</td><td>56,784</td></tr> <tr><td>2,540</td><td>2</td><td>0,100</td><td>47</td><td>95,316</td></tr> <tr><td>3,175</td><td>2,5</td><td>0,125</td><td>65</td><td>131,820</td></tr> <tr><td>3,810</td><td>3</td><td>0,150</td><td>91</td><td>184,548</td></tr> <tr><td>4,445</td><td>3,5</td><td>0,175</td><td>117</td><td>237,276</td></tr> <tr><td>5,080</td><td>4</td><td>0,200</td><td>145</td><td>294,060</td></tr> <tr><td>5,715</td><td>4,5</td><td>0,225</td><td>180</td><td>365,040</td></tr> <tr><td>6,350</td><td>5</td><td>0,250</td><td>214</td><td>433,992</td></tr> <tr><td>6,985</td><td>5,5</td><td>0,275</td><td>245</td><td>496,860</td></tr> <tr><td>7,620</td><td>6</td><td>0,300</td><td>269</td><td>545,532</td></tr> <tr><td>8,255</td><td>6,5</td><td>0,325</td><td>294</td><td>596,232</td></tr> </tbody> </table>					PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA		Def. do anel (mm)	Carga (Kg)	0,635	0,5	0,025	6	12,168	1,270	1	0,050	15	30,420	1,905	1,5	0,075	28	56,784	2,540	2	0,100	47	95,316	3,175	2,5	0,125	65	131,820	3,810	3	0,150	91	184,548	4,445	3,5	0,175	117	237,276	5,080	4	0,200	145	294,060	5,715	4,5	0,225	180	365,040	6,350	5	0,250	214	433,992	6,985	5,5	0,275	245	496,860	7,620	6	0,300	269	545,532	8,255	6,5	0,325	294	596,232
PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA																																																																									
			Def. do anel (mm)	Carga (Kg)																																																																								
0,635	0,5	0,025	6	12,168																																																																								
1,270	1	0,050	15	30,420																																																																								
1,905	1,5	0,075	28	56,784																																																																								
2,540	2	0,100	47	95,316																																																																								
3,175	2,5	0,125	65	131,820																																																																								
3,810	3	0,150	91	184,548																																																																								
4,445	3,5	0,175	117	237,276																																																																								
5,080	4	0,200	145	294,060																																																																								
5,715	4,5	0,225	180	365,040																																																																								
6,350	5	0,250	214	433,992																																																																								
6,985	5,5	0,275	245	496,860																																																																								
7,620	6	0,300	269	545,532																																																																								
8,255	6,5	0,325	294	596,232																																																																								

**Apêndice M - Tabela de Resultados do CBR do solo - caco cerâmico saturado
(CP1) (%)**

Penetração (mm)	Pressão (Kgf)			CBR (%)	CBR do Solo - caco de telha cerâmico seco (CP5) (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão		
2,54	95,32	210	1.352,54	15,5	20,6
5,08	294,06	417	2.028,82	20,6	

Apêndice N - Ficha do ensaio com Solo - caco cerâmico seco (CP6)

		DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL																																																																										
ENSAIO DE CBR																																																																												
Operador: Tainá Carolina Aquiles da Silva		Umidade ótima (w):																																																																										
Local: Ilha Solteira		Densidade Máxima (pd máx):																																																																										
Amostra: Solo - caco de telha cerâmico seco (CP6)																																																																												
PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA																																																																												
Cilindro N°	9																																																																											
N° de camadas	5																																																																											
N° de golpes	26																																																																											
DADOS DE AMOSTRA																																																																												
Peso am. Um. + molde	9140 g																																																																											
Peso do molde	5450																																																																											
Peso da amostra	3690																																																																											
Volume da amostra	2093 cm³																																																																											
Densidade aparente úmida	1,76 g/cm³																																																																											
DETERMINAÇÃO DO TEOR DA UMIDADE																																																																												
Capsula:	M 37	M 44																																																																										
Solo + Água + Tara (g)	72,55	65,18																																																																										
Solo + Tara (g)	67,92	61,13																																																																										
Solo (g)	38,99	34,27																																																																										
Água (g)	4,63	4,05																																																																										
Tara (g)	28,93	26,86																																																																										
w (%)	11,87%	11,78%																																																																										
w média (%)	11,83%																																																																											
Densidade aparente seca máxima (g/cm³)																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (mm)</th> <th rowspan="2">TEMPO (mm)</th> <th rowspan="2">PENETRAÇÃO (pol)</th> <th colspan="2">GOLPES POR CAMADA</th> </tr> <tr> <th>Def. do anel (mm)</th> <th>Carga (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,635</td><td>0,5</td><td>0,025</td><td>7</td><td>14,196</td></tr> <tr><td>1,270</td><td>1</td><td>0,050</td><td>13</td><td>26,364</td></tr> <tr><td>1,905</td><td>1,5</td><td>0,075</td><td>23</td><td>46,644</td></tr> <tr><td>2,540</td><td>2</td><td>0,100</td><td>43</td><td>87,204</td></tr> <tr><td>3,175</td><td>2,5</td><td>0,125</td><td>59</td><td>119,652</td></tr> <tr><td>3,810</td><td>3</td><td>0,150</td><td>84</td><td>170,352</td></tr> <tr><td>4,445</td><td>3,5</td><td>0,175</td><td>103</td><td>208,884</td></tr> <tr><td>5,080</td><td>4</td><td>0,200</td><td>134</td><td>271,752</td></tr> <tr><td>5,715</td><td>4,5</td><td>0,225</td><td>161</td><td>326,508</td></tr> <tr><td>6,350</td><td>5</td><td>0,250</td><td>191</td><td>387,348</td></tr> <tr><td>6,985</td><td>5,5</td><td>0,275</td><td>216</td><td>438,048</td></tr> <tr><td>7,620</td><td>6</td><td>0,300</td><td>244</td><td>494,832</td></tr> <tr><td>8,255</td><td>6,5</td><td>0,325</td><td>280</td><td>567,84</td></tr> </tbody> </table>					PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA		Def. do anel (mm)	Carga (Kg)	0,635	0,5	0,025	7	14,196	1,270	1	0,050	13	26,364	1,905	1,5	0,075	23	46,644	2,540	2	0,100	43	87,204	3,175	2,5	0,125	59	119,652	3,810	3	0,150	84	170,352	4,445	3,5	0,175	103	208,884	5,080	4	0,200	134	271,752	5,715	4,5	0,225	161	326,508	6,350	5	0,250	191	387,348	6,985	5,5	0,275	216	438,048	7,620	6	0,300	244	494,832	8,255	6,5	0,325	280	567,84
PENETRAÇÃO (mm)	TEMPO (mm)	PENETRAÇÃO (pol)	GOLPES POR CAMADA																																																																									
			Def. do anel (mm)	Carga (Kg)																																																																								
0,635	0,5	0,025	7	14,196																																																																								
1,270	1	0,050	13	26,364																																																																								
1,905	1,5	0,075	23	46,644																																																																								
2,540	2	0,100	43	87,204																																																																								
3,175	2,5	0,125	59	119,652																																																																								
3,810	3	0,150	84	170,352																																																																								
4,445	3,5	0,175	103	208,884																																																																								
5,080	4	0,200	134	271,752																																																																								
5,715	4,5	0,225	161	326,508																																																																								
6,350	5	0,250	191	387,348																																																																								
6,985	5,5	0,275	216	438,048																																																																								
7,620	6	0,300	244	494,832																																																																								
8,255	6,5	0,325	280	567,84																																																																								

**Apêndice O - Tabela de Resultados do CBR do solo - caco cerâmico saturado
(CP1) (%)**

Penetração (mm)	Pressão (Kgf)			CBR (%)	CBR do Solo - caco de telha cerâmico seco (CP6) (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão		
2,54	87,20	190	1.352,54	14,1	18,7
5,08	271,75	380	2.028,82	18,7	