

Marcelo Vieira Silveira

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO CON-AID® CBR-PLUS NO
COMPORTAMENTO DE DIFERENTES TIPOS DE SOLO PARA EMPREGO EM
PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO PRIMÁRIO À LUZ DA CLASSIFICAÇÃO
MCT**

Santa Cruz do Sul

2023

Marcelo Vieira Silveira

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO CON-AID® CBR-PLUS NO
COMPORTAMENTO DE DIFERENTES TIPOS DE SOLO PARA EMPREGO EM
PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO PRIMÁRIO À LUZ DA CLASSIFICAÇÃO
MCT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Olivio Nervis

Santa Cruz do Sul

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela dádiva da vida, por guiar meus passos e por me dar a força necessária para enfrentar e superar os diversos obstáculos, medos e anseios que poderiam, de alguma forma, dificultar meu progresso ou desviar meu foco de meus objetivos.

Aos meus pais, Paulo Ricardo (*in memoriam*) e Rozani Vieira, por serem minha âncora e a principal motivação para batalhar pelos meus sonhos. A eles, dedico minha gratidão por todo o amor e carinho que sempre me foram concedidos, por todo cuidado, ensinamentos e por minha educação.

Á minha namorada Thaís Almeida, por todo carinho, paciência e companheirismo, além de toda dedicação no auxílio ao desenvolvimento deste trabalho.

Á meu irmão Lucas Vieira, minha família, amigos e a todos meus colegas, cujo apoio e amizade fizeram toda diferença nesta caminhada.

Por último, aos meus mestres, em particular meu orientador Leandro Olivio Nervis, pelos ensinamentos transmitidos, pelo incentivo, paciência e ajuda na orientação deste trabalho.

RESUMO

Atualmente, o Brasil é composto em sua maior parte por estradas rurais ou não pavimentadas, sendo esse o maior cenário da realidade do transporte de carga e de pessoas dos brasileiros. O crescimento acelerado deste modal, realça a extrema importância de garantir a qualidade e boas condições dessas vias. Todavia, o alto custo com a construção de estradas com pavimentação asfáltica e a alta demanda por sua manutenção dificulta a implantação de vias trafegáveis.

Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar através de ensaios de laboratório a influência de um aditivo químico chamado CON-AID® CBR-PLUS no comportamento de diferentes tipos de solos para emprego em pavimentos com revestimento primário à luz da classificação MCT. Essa avaliação visa apresentar uma opção potencialmente mais atrativa, desde que comprovada sua viabilidade técnica e econômica a que se propõe.

Através dos estudos realizados em quatro solos conforme a classificação MCT e G-MCT, pertencente a grupos de comportamento não laterítico, constatou-se uma tendência desses solos se deslocarem em direção a grupos de comportamento laterítico após a adição do produto Con-Aid® CBR-Plus na dosagem recomendada pelo fabricante. Desta forma verificou-se através do emprego da metodologia proposta no presente estudo que, até certo ponto o melhoramento do solo com aplicação de Con-Aid® CBR-Plus é comprovado. O que talvez seja demandado para se atingir o propósito pretendido, é empregar uma dosagem adequada para cada tipo de solo, a qual poderá ser diferente da sugerida pelo fabricante.

Palavras chaves: Con-Aid® CBR-Plus; Revestimento Primário; Solos; Estradas Rurais; Classificação MCT; Dosagem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Limites de Atterberg dos solos.....	16
Figura 2 – Gráfico de Classificação MCT.....	18
Figura 3 – Ábaco da Classificação G-MCT.....	18
Figura 4 – Amostra de Con-Aid® CBRPlus.....	22
Figura 5 – Ilustração simbólica dos íons do Con-Aid® CBR-Plus.....	23
Figura 6 – Diagrama do projeto.....	26
Figura 7 – Amostras dos solos analisados na pesquisa já destorroados e passados na peneira de 2 mm.....	27
Figura 8 – Fluxograma da execução do ensaio de compactação Mini-MCV	28
Figura 9 – Etapa inicial de preparação das amostras: Destorroamento.....	29
Figura 10 – Peneiramento 2mm.....	30
Figura 11 – Secagem em estufa.....	30
Figura 12 – Porções de 300g após receberem a umidade definida.....	31
Figura 13 – Descrição do aparelho usado no ensaio de compactação.....	32
Figura 14 – Aparelho usado na compactação.....	33
Figura 15 – Corpos de prova untados com óleo.....	33
Figura 16 – Corpo de prova com anel de vedação e disco de polietileno.....	34
Figura 17 – Croqui do ensaio de perda de massa por imersão.....	35
Figura 18 – Etapas de desenvolvimento do ensaio de perda de massa por imersão.....	35
Figura 19 – Extrusão parcial dos CPs.....	36
Figura 20 – Imersão total dos CPs.....	37
Figura 21 – Determinação da massa seca despreendida.....	37
Figura 22 – Gráfico da classificação MCT.....	42
Figura 23 – Gráfico da classificação G-MCT.....	42
Figura 24 – Gráfico de variação c'	43
Figura 25 – Gráfico de variação e'	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Problema da pesquisa.....	7
1.2 Questão da Pesquisa.....	7
1.3 Área e Delimitação do Tema.....	8
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo Geral.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 Justificativa.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 Estradas de terra e estabilização química.....	9
2.2 Defeitos das estradas de terra.....	9
2.3 Aspectos sobre formação de solos.....	11
2.3.1 Tipos de rocha.....	11
2.3.2 Intemperização.....	12
2.3.3 Horizontes, perfil do solo e pedologia.....	13
2.3.4 Solos Tropicais.....	13
2.4 Caracterização dos solos.....	14
2.4.1 Granulometria.....	14
2.4.2 Limites de Atterberg.....	15
2.4.3 Massa específica dos grãos.....	16
2.5 Classificações MCT e G-MCT.....	16
2.6 Estabilização dos solos.....	21
2.7 Emprego do CON-AID® CBR-PLUS.....	22
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Caracterização da Pesquisa.....	25
3.2 Delineamento da Pesquisa.....	25

3.3 Solos Analisados.....	26
3.4 Ensaio de Laboratório.....	28
3.4.1 Compactação Mini-MCV.....	28
3.4.2 Perda de massa por imersão.....	34
3.5 Realização da classificação MCT e análises.....	38
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	41
4.1 Comparativo das classificações MCT em solos in natura e com adição de CON-AID® CBR-PLUS.....	41
4.2 Avaliação da Influência do Emprego do Produto nos Coeficientes c' e e'	42
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	45
REFERÊNCIAS.....	47
APÊNDICES.....	51

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é composto em sua maior parte por estradas rurais ou não pavimentadas, segundo um levantamento realizado pela CNT (Confederação Nacional dos Transportes - CNT, 2021). Segundo a fonte, o Brasil possui 1,720 milhões de quilômetros de estradas federais e estaduais dispersas em sua malha, onde somente 12,4% delas são pavimentadas, o que corresponde a aproximadamente 213.453km.

Apesar do atual cenário, o transporte rodoviário de cargas e passageiros tem crescido aceleradamente nos últimos anos, se tornando o modal mais utilizado pelos brasileiros, correspondendo a até 65% do transporte de cargas e 95% do transporte de passageiros (Confederação Nacional dos Transportes - CNT, 2021). Por isso, garantir a qualidade e boas condições de tráfego das vias é de suma importância, especialmente em locais não pavimentados, responsáveis pela junção de estradas rurais e rodovias.

Todavia, o alto custo com a construção de estradas com pavimentação asfáltica e a alta demanda por sua manutenção dificulta a implantação de vias trafegáveis. Dentro desse contexto, o uso do CON-AID® CBR-PLUS objetiva sanar esses problemas, trazendo uma opção potencialmente mais atrativa, desde que comprovada sua viabilidade técnica e econômica a que se propõe. O produto promete melhorar o fluxo de veículos e a solução da problemática de desprendimento de pó, problemas típicos de estradas popularmente conhecidas como rurais. Para isso, o presente trabalho visa validar o desempenho promissor deste produto, pois existem poucos estudos publicados, refletindo na necessidade de uma validação definitiva do produto.

1.1 Problema da Pesquisa

Apesar de já ter se constatado a eficiência do aditivo CON-AID® CBR-PLUS para alguns casos, ainda assim, há a necessidade de avaliar se ele traz melhorias para o pavimento com revestimento primário em todas as situações ou somente em casos específicos e isolados.

1.2 Questão da Pesquisa

O presente trabalho tenciona-se a responder:

Como e quando o produto influencia no comportamento de solos de diferentes características?

1.3 Área e Delimitação do Tema

O trabalho abrangerá a obtenção de dados a partir de ensaios de laboratório, seguidos de análises e discussões, porém sem validação em escala real no campo. Para isso, empregará conhecimentos das áreas de geologia de engenharia, mecânica dos solos e pavimentação.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar através de ensaios de laboratório a influência de um aditivo químico chamado CON-AID® CBR-PLUS no comportamento de diferentes tipos de solos para emprego em pavimentos com revestimento primário à luz da classificação MCT.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são os seguintes:

- Analisar a mudança das características físicas e mecânicas do solo aditivado em comparação ao solo natural;
- Avaliar os efeitos da aplicação do aditivo;
- Verificar se a dosagem de aditivo empregada confere resposta satisfatória para cada solo estudado.

1.5 Justificativa

Tendo em vista a necessidade de encontrar soluções atrativas no âmbito técnico e econômico para a otimização das vias, esse trabalho pretende contribuir para o processo de validação ou não do emprego do aditivo químico CON-AID® CBR-PLUS para diferentes tipos de solo. A motivação principal é que, existem poucos estudos no sentido de validar o uso desse aditivo e que seus usuários o aplicam somente na promessa de desempenho do seu fabricante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos e definições que estão associados à estabilização de solos, com ênfase para a estabilização do tipo químico, objeto tema deste trabalho. Serão abordadas também, as características de solos utilizados comumente em pavimentos com revestimento primário.

2.1 Estradas de Terra e Estabilização Química

As estradas não pavimentadas, popularmente conhecidas como estradas de terra e/ou de chão, são de suma importância para promover o fluxo regular de mercadorias e serviços. Elas proporcionam o desenvolvimento das comunidades por elas servidas e por consequência, acabam por garantir a melhoria de sua qualidade de vida (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

De acordo com os mencionados autores, foi constatado através de um conjunto de evidências a importância do papel exercido pelas estradas rurais no desenvolvimento da agricultura em diversos países. Segundo os autores, o melhoramento dessas estradas gera um impacto instantâneo na redução do custo de manutenção de veículos e acaba por permitir a expansão dos serviços públicos nessas regiões, geralmente pouco favorecidas.

A partir da necessidade de estabilizar solos, principalmente para fins urbanos e militares, surgiram os métodos de estabilização química que viabilizam o acesso às comunidades rurais (AFRIN, 2017; KAMMER e ARNS, 2013). A estabilização química do solo pode ser definida como uma técnica de tratamento que melhora definitivamente e de forma permanente a capacidade de suporte e estabilidade volumétrica contra expansão excessiva, e ao mesmo tempo, diminui a permeabilidade e compressibilidade do solo nativo (BRITO e PARANHOS, 2017; FERNANDES, 2005).

2.2. Defeitos das Estradas de Terra

Para que possam ser definidos os tipos de defeitos que uma estrada de terra pode apresentar, bem como suas causas, é importante definir primeiramente o que significa o termo “defeito” quando o assunto é pavimentação. Para Nunes (2003) a definição de defeito é qualquer alteração na superfície da estrada que influencie negativamente as suas condições de rolamento. Já para Oliveira (2005), a palavra defeito é manifestada como qualquer indício de

imperfeições ou descontinuidades na superfície de rolamento da estrada, capaz de afetar a sua aparência, sua capacidade estrutural e a qualidade de movimento dos veículos.

Oda (1995), descreve que os defeitos que podem ser encontrados em uma estrada de terra podem ser classificados como: areiões, atoleiros, buracos, corrugações, drenagem inadequada, erosões, excesso de pó, rocha aflorante, segregação de agregados, seção transversal inadequada e por último as trilhas de roda. Todos esses defeitos serão definidos a seguir:

a) Areiões - de acordo com Nunes (2003), areiões são bermas de areia soltas que se formam pela atividade do tráfego da via, as quais se concentram principalmente nas laterais da estrada, impedindo que a água possa escoar. Segundo Santos *et al.* (1985) os areiões podem ser classificados em areião do tipo espigão e areiões de baixada.

b) Atoleiro - segundo Oda (1995) a definição de atoleiro pode se dar como uma camada de lama num local onde quase não existe atrito entre o solo e os pneus dos veículos, que acabam por não conseguir sair do lugar.

c) Corrugações - de acordo com Oda (1995) as corrugações são também conhecidas como costeletas, devido às suas irregularidades no sentido transversal, que resultam num movimento vibratório nos veículos que trafegam por elas.

d) Buracos - de acordo com Eaton *et al.* (1987) *apud* Oda (1995), depressões ou a formação de bacias na superfície da estrada, geralmente com diâmetro inferior a 100 cm, são tidas como buracos.

e) Drenagem ineficaz - uma drenagem ineficaz pode ser definida pelo acúmulo de água na via causada pela falha ou inexistência dos dispositivos de drenagem superficial e/ou profunda, BAESSO E GONÇALVES, 2003).

f) Poeira - de acordo com Oliveira (2005), a poeira é definida como uma nuvem de partículas muito pequenas e finas em suspensão no ar, que se formam durante o tráfego de veículos na via.

g) Erosão - a maior parte das estradas de terra existentes nas estradas rurais foram criadas de forma inadequada, favorecendo em períodos de chuvas intensas o desenvolvimento de ações erosivas, muito prejudiciais à pista. Muitas delas evoluíram inicialmente de pequenas trilhas, apresentando traços nos locais onde o solo apresenta vulnerabilidade em questão de suporte (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

h) Segregação de Agregados (Perda de Agregados) - para Nunes (2003), a definição de segregação de agregados é o aglomerado de partículas de agregados soltos, contidas nos solos granulares, que acabam por ser soltas da superfície de rolamento devido ao tráfego que ocorre,

indo para fora das trilhas de roda, formando bermas no centro ou ao longo do acostamento da estrada.

i) Seção Transversal Inadequada - esse defeito é definido como aquele modelo de seção que não apresenta em sua superfície transversal, declividade satisfatória, capaz de permitir a drenagem das águas que se precipitam sob a plataforma, para as suas laterais e que posteriormente são conduzidas pelo sistema de drenagem. Para Oda (1995) a seção transversal inadequada pode ser facilmente encontrada, representando uma das principais causas da formação dos outros novos defeitos.

j) Rocha Aflorante - Santos *et al.* (1985) relatam que em locais onde a camada de solo não é suficientemente espessa, a ação de processos erosivos ou a constante laminação pode expor o leito rochoso. Dessa forma, a pista se torna irregular, podendo até mesmo inviabilizar o tráfego.

k) Afundamento de Trilha de Rodas - são definidos como cavidades que se criam nas faixas de tráfego dos veículos, longitudinalmente ao eixo da estrada (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

2.3 Aspectos Sobre Formação dos Solos

2.3.1 Tipos de Rocha

Segundo Das e Sobhan (2014), os solos são formados por consequência do intemperismo das rochas. Suas propriedades físicas são definidas através dos grãos minerais que constituem o estágio sólido dos agregados de um solo e pelas rochas que as originam. Conforme sua origem, as rochas podem ser decompostas em três classes: ígneas, sedimentares e metamórficas, ambas descritas abaixo.

De acordo com os autores, as rochas ígneas formaram-se através da solidificação de magma, projetados pelas erupções vulcânicas e pelo efeito do seu resfriamento no plano da terra. Em algumas ocasiões, a flutuação do magma chega ao final abaixo da superfície, ocasionando o seu arrefecimento e desta maneira dando origem às rochas ígneas intrusivas, denominadas plutônicas. As rochas extrusivas são as que se formam sobre a superfície, através do resfriamento de lavas, de maneira que o material expelido se resfria rapidamente e se transforma em rocha. Alguns tipos de rocha ígnea comumente encontradas na esfera terrestre são o granito (intrusiva) e o basalto (extrusiva).

Segundo Caputo *et al.* (2015), às rochas sedimentares são formadas pelo intemperismo das rochas, pela combinação de elementos químicos de sais decompostos nas águas de mares, rios e lagos ou por acúmulo de elementos orgânicos oriundos de animais e vegetais. Deste

modo, podem ter uma configuração mecânica (rochas clásticas ou detríticas), orgânica ou química. Considerando seu sistema de formação, as rochas sedimentares são arranjadas em camadas desassociadas por planos de estratificação, podendo ser concordante ou discordante, à medida que esses planos sejam configurados como paralelos ou não paralelos. Alguns exemplos de rochas sedimentares são: calcário, arenito e conglomerado.

De acordo com Caputo *et al.* (2015), às rochas metamórficas são derivadas do processo de metamorfismo (processo de alteração da composição e textura) das rochas ígneas ou sedimentares. Estão presentes neste grupo rochas tais como os gnaisses (metamorfose dos granitos), os quartzitos (metamorfose dos arenitos) e os mármore (metamorfose dos calcários).

2.3.2 Intemperização

O intemperismo, segundo Das e Sobhan (2014), tem por definição a degradação das rochas através de processos físicos e químicos. O intemperismo físico pode ocorrer pelas excessivas variações nas condições de perda e ganho de calor, gerando assim a expansão e contração das rochas, tendo como resultado sua desagregação. Esse fenômeno pode ser observado quando a água infiltra nos poros e em fissuras presentes nas rochas, a temperatura cai fazendo com que a água congele, ocasionando a expansão e com a pressão desempenhada pelo gelo, ela se torna forte o bastante para romper até mesmo as maiores rochas. O intemperismo químico ocorre quando os minerais oriundos das rochas são modificados através de reações químicas, dando origem a novos minerais. Esse fenômeno tem a água como seu principal agente, atuando como solvente das reações e também no transporte dos materiais.

De acordo com Caputo *et al.* (2015), a origem dos solos é proveniente do processo de intemperismo e da modificação das rochas ao contato com a atmosfera, através da desagregação mecânica ou deterioração química. A desagregação mecânica ocorre por intermédio da ação de agentes como água, clima, vento e vegetação, desta forma originam-se pedregulhos, areias, os siltes e exclusivamente em ocasiões específicas, as argilas. O processo de deterioração química é caracterizado pela alteração dos componentes químicos ou de seus minerais das rochas de origem. A água é o elemento determinante para a ocorrência dos mecanismos de oxidação, hidratação, carbonatação e impactos químicos da vegetação. As argilas caracterizam o processo final de decomposição das rochas.

2.3.3 Horizontes, Perfil do Solo e Pedologia

Segundo Caputo *et al.* (2015), a ciência que pesquisa e explora as camadas superficiais da crosta terrestre é denominada como pedologia. Ela estuda sua formação e classificação, considerando a influência de fatores climáticos. De acordo com pesquisas de pedologistas, a formação de um solo depende da rocha de origem, da influência de organismos vivos, do clima, das características naturais existentes na superfície terrestre e do tempo. Conforme os autores, o processo de Pedologia consiste em um sistema onde as camadas que compõem um perfil são tituladas horizontes e representam-se pelas letras A (camada superficial), B (subsolo) e C (camada profunda).

Os Solos residuais são solos que se mantêm na localidade de sua rocha de origem, verificando-se uma sucessiva transição do solo até a rocha. Solos transportados ou sedimentares são os que recebem a interferência da atuação de agentes transportadores, sendo tais agentes a água, o vento, a gravidade e as geleiras. As texturas desses solos são alteradas por consequência do tipo de agente transportador e da distância em que ocorre o seu transporte.

2.3.4 Solos Tropicais

Segundo Villibor e Alves (2019), os solos tropicais exibem comportamentos e características geotécnicas provenientes de processos geológicos ou pedológicos provocados pela ação alternada de temperaturas elevadas e chuvas intensas. Eles são caracteristicamente de zonas tropicais úmidas, que as distinguem de solos formados em ambientes não tropicais. Nogami e Villibor (1995), escrevem que a estrutura dos solos tropicais se diferencia de acordo com o clima em que se encontra. Em regiões de clima quente e úmido apresenta grandes espessuras do horizonte subsuperficial (laterítico) e do horizonte saprolítico, enquanto que nas regiões onde predomina o clima frio e temperado, apresenta solos de origem glaciária, flúvio-glaciária e eólica.

Ciente das dificuldades de classificar e reconhecer os solos tropicais, Nogami e Villibor (1981) *apud* Villibor e Alves (2019), através de estudos tecnológicos desenvolveram a classificação denominada MCT, buscando assim promover uma solução para este fim. Essa classificação divide os solos em dois tipos, sendo eles: Solos de Comportamento Laterítico (L) e Solos de comportamento não laterítico (N). Do ponto de vista de formação dos solos tropicais, os autores expõem que podem ser encontrados na natureza solos lateríticos, saprolíticos e transportados. Os dois primeiros são solos residuais. Segundo Villibor e Alves (2019), a

existência de solos lateríticos, são decorrentes da ação do conceito de laterização e do processo pedogenético responsável pela sua formação, o qual apresenta peculiaridades de regiões úmidas e bem drenadas, com elevadas temperaturas, de maior influência da chuva e evaporação.

De acordo com os autores, os solos lateríticos se destacam por exibir cores que prevalecem tonalidades amarelas e vermelhas, regularmente com espessuras superiores a 2m e em certas ocasiões acima de 10m, grãos que apresentam grande resistência química e mecânica quando exposto na fração areia e pedregulho e quando exposto na fração argila, apresenta elevado percentual de partículas composta de alumínio, óxidos e hidróxidos de ferro. Devido à ação do intemperismo presentes neste tipo de solo, eles exibem quartzo em sua composição, mas mica jamais, sendo caracterizado como um solo maduro. Pelo fato desses solos possuírem em sua organização grãos finos agregados que estabelecem um formato de torrões, eles tornam-se um material bastante resistente à ação da água, com alta permeabilidade e baixa massa específica. Essa categoria de solo consegue ser encontrada tanto acima de camadas de solos transportados como em solos residuais.

Ainda, de acordo com os autores acima citados, os solos saprolíticos, diferentemente dos solos do tipo lateríticos, em sua condição original, constituem camadas subjacentes a outros tipos, sejam eles residuais ou até mesmo sedimentares. Caracterizados por possuir diferentes colorações e espessuras em suas camadas e por geralmente serem determinadas por uma grande heterogeneidade, em grande parte oriunda da rocha matriz de sua origem. Sua formação mineralógica é marcada pela presença de inúmeros minerais, muitos deles decorrentes do processo de intemperização e outra parte oriunda da rocha matriz. Pelo motivo desses solos apresentarem características relativas à sua estrutura, mineralogia e cor da rocha matriz, eles também podem ser conhecidos como solos residuais jovens, formados basicamente por pedregulho e areia e por vezes, finos. Na fração de argila e silte, pode ocorrer uma enorme variedade de argilos-minerais, que podem determinar comportamentos específicos a esses solos.

2.4 Caracterização dos Solos

2.4.1 Granulometria

A granulometria é a quantificação de partículas pertencentes às frações de argila, silte, areia e pedregulho presentes em um determinado solo. O que difere uma fração da outra é o

tamanho e forma de suas partículas. Essas frações de forma e tamanho são especificadas conforme escala granulométrica (CAPUTO *et al.*, 2015).

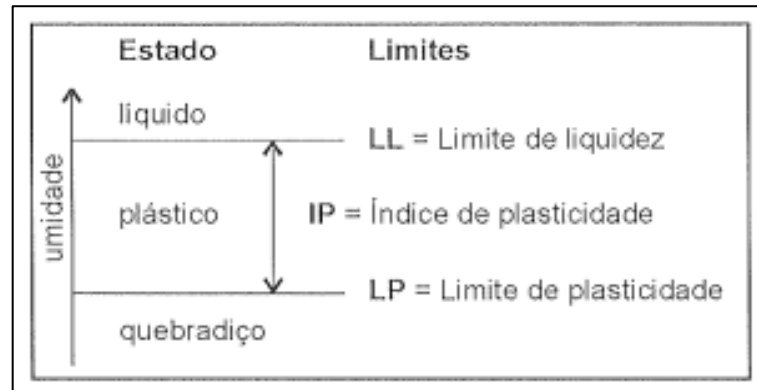
Segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995), tem-se as seguintes definições de frações dos solos em função do tamanho das partículas: pedregulho – diâmetros equivalentes entre 60 e 2 mm, areia entre 2 e 0,06 mm, silte entre 0,06 e 0,002 mm e argila inferior a 0,002mm. Através dessas dimensões é possível montar a curva granulométrica do solo num gráfico semi-logarítmico, a qual relaciona as porcentagens passantes em escala linear com os diâmetros em escala logarítmica.

2.4.2 Limites de Atterberg

Segundo Pinto (2006), buscando uma maneira mais viável de reconhecer a influência das partículas argilosas, o engenheiro químico Atterberg dedicou-se através de ensaios e índices a analisar o desempenho do solo na presença de água, surgindo assim o conceito dos Limites de Atterberg. Os limites se fundamentam na certificação de que um solo argiloso surge com características diferentes de acordo com seu teor de umidade. À medida que apresenta excesso de umidade ele funciona como um líquido, quando perde uma porção de sua água torna-se plástico e à medida que mais seco torna-se quebradiço.

Os teores de umidade estão diretamente relacionados com as mudanças de estado demonstrados na Figura 1. Eles são classificados como Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) dos solos. O Índice de Plasticidade é definido pela diferença entre os limites (LL) e (LP) e ele indica a parcela de valores em que o solo se configura plástico. Os valores de (LL) e (IP) habitualmente só são demonstrados como índices de consistência dos solos, o valor de (LP) somente é necessário para encontrar o IP. Alguns resultados típicos de solos brasileiros são indicados na Tabela 1.

Figura 1 – Limites de Atterberg dos solos



Fonte: PINTO (2006)

Tabela 1 – Índices de Atterberg de alguns solos brasileiros

Solos	LL %	IP %
Residuais de arenito (arenosos finos)	29-44	11-20
Residual de gnaiss	45-55	20-25
Residual de basalto	45-70	20-30
Residual de granito	45-55	14-18
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argila porosa vermelha de São Paulo	65 a 85	25 a 40
Argilas variegadas de São Paulo	40 a 80	15 a 45
Areias argilosas variegadas de São Paulo	20 a 40	5 a 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: PINTO (2006)

2.4.3 Massa Específica dos Grãos

Segundo Pinto (2006), a massa específica dos grãos é uma razão entre o peso específico dos sólidos e seu volume. O peso específico dos grãos nos solos apresenta pequena variação de solo para solo e, sendo assim, não possibilita o reconhecimento do solo estudado, porém é fundamental para calcular demais índices. Geralmente seu valor é de aproximadamente 27 kN/m³, sendo que esse valor é adotado em ocasiões em que não expressa valor específico para o solo em análise.

2.5 Classificações MCT e G-MCT

A classificação dos solos, através de critérios técnicos de engenharia e geotecnia tem o propósito de prever o desempenho de um determinado tipo de solo, permitindo avaliar seu

comportamento e conduzir a investigação geotécnica para uma correta análise do problema (PINTO, 2006). Segundo Villibor e Alves (2019), a classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), divide os solos tropicais em dois tipos, sendo eles: solos de propriedade e comportamento laterítico (L) e solos de propriedade e comportamento não laterítico (N). De acordo com os autores, eles são distribuídos em sete grupos, os quais são descritas abaixo e demonstradas na Figura 2.

- Grupo LA (Areias Lateríticas): nesse grupo estão inclusas, principalmente, as areias com baixa quantidade de finos, de comportamento laterítico e textura média argilosa, integrando a classe dos neossolos quartzarênicos, conforme sua classificação pedológica;

- Grupo LA' (Solos Arenosos Lateríticos): solos de areias argilosas, com média quantidade de finos, de comportamento laterítico e textura médio arenosa, integrando a classe dos latossolos ou argissolos, conforme sua classificação pedológica. Exibe o melhor solo para construção de bases e sub-bases de pavimentos do grupo MCT;

- Grupo LG' (Solos Argilosos Lateríticos): abriga solos de argilas, siltes argilosos e as argilas arenosas ou siltosas, possuem uma textura média argilosa, integrando a classe dos latossolos ou argilossolos. Exibe desempenho similar aos solos do grupo LA' quando apresentam alto percentual de areia.

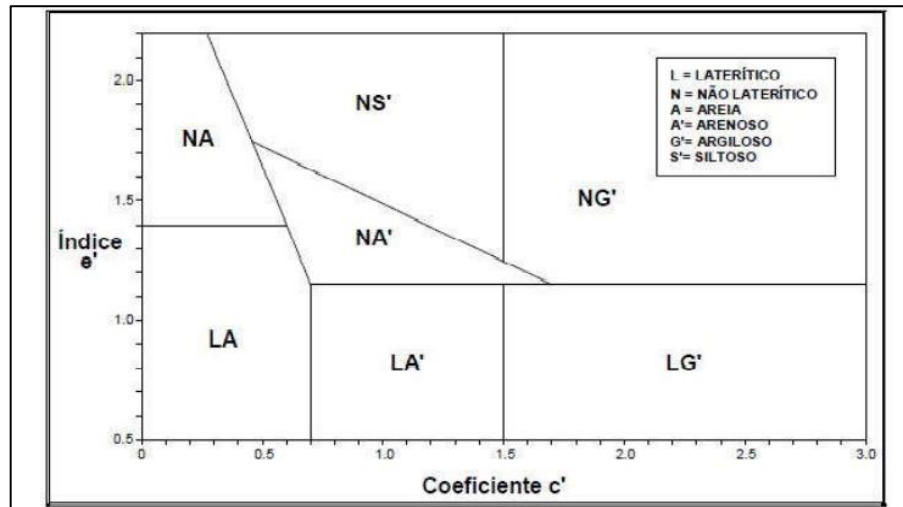
- Grupo NA (Areias não Lateríticas): composto por solos como as areias, siltes e a mescla de areias e siltes, possui comportamento não laterítico e é formado basicamente por quartzo e mica. Integra a classe dos solos saprolíticos.

- Grupo NA' (Solos Arenosos não Lateríticos): os solos típicos deste grupo são as areias quartzosas e apresentam comportamento não laterítico. Pertencem a classe dos solos saprolíticos, provenientes de rochas ricas em quartzo como granitos, gnaisse e arenito.

- Grupo NS' (Solos Siltosos não Lateríticos): os solos deste grupo abrangem os siltes e siltes arenosos, compõem a classe dos solos saprolíticos e são originados da alteração das rochas.

- Grupo NG' (Solos Argilosos não Lateríticos): solos compostos de argilas, argilas arenosas, argilas siltosas e siltes argilosos que apresentam comportamento não laterítico.

Figura 2 - Gráfico de Classificação MCT

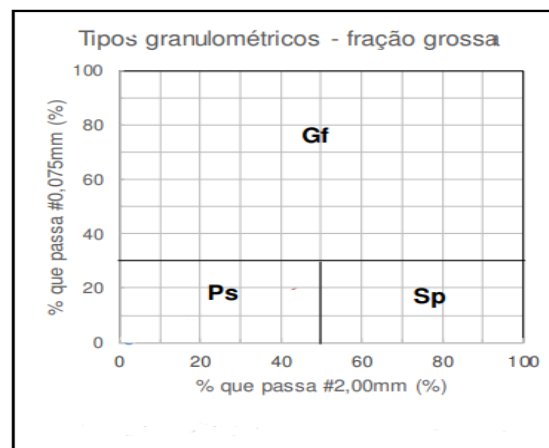


Fonte: Villibor e Alves (2019)

Buscando promover estudos para avaliar o comportamento de solos tropicais de granulação grossa (retidos na peneira 2,0mm), Villibor e Alves (2017) sugeriram uma nova classificação, denominada G-MCT, deste modo, complementando as limitações do conceito da classificação MCT que tem como principal objetivo, o estudo de solos predominantemente finos. Os solos dessa nova classe foram separados em três categorias: Ps: Pedregulho com solo, Sp: Solo com pedregulho e Gf: Granular fino, conforme pode ser observado na Figura 3.

Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades e utilização dos grupos de solos da classificação MCT. Nas Tabelas 3 e 4, são apresentadas as propriedades e hierarquização de uso dos grupos de solos das classes GL e GN, respectivamente.

Figura 3 - Ábaco da Classificação G-MCT



Fonte: Villibor e Alves (2019)

Os grupos MCT indicados para emprego em revestimento primário geralmente são aqueles com maior estabilidade e resistência mecânica capazes de suportar cargas e oferecer durabilidade adequada. Esses grupos variam de acordo com as características dos solos e suas propriedades após intervenções ou adições de aditivos. Os grupos da classificação MCT recomendados para o uso, por ordem de prioridade, conforme indicado na Tabela 2, são LA', LG', NA', NA e NA'. Por outro lado, os grupos NS' e LG' não são recomendados. Na classificação G-MCT, as classes recomendadas obedecem a seguinte ordem de prioridade: PS LA', PS LG', GF LA', GF LG', GF LA. Porém, é importante observar que o grupo PS LA não é recomendado para uso em revestimento primário.

Tabela 2 – Propriedades e utilização dos grupos de solos da classificação MCT.

Designação		Granulometrias típicas Designações do T1-71 do DER-SP						
		areias siltes (q, s)	areias siltosas	siltes (k, m) siltes arenosos	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltes argilosos	areias	areias argilosas	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltes argilosos
k=caulínítico m=micáceo s=sericítico q=quartzoso								
COMPORTAMENTO		N = Não Laterítico L = Laterítico						
GRUPO MCT		NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Propriedades	MINI-CBR (%) sem imersão perda por imersão	M, E B, M	E B	M, E E	E E	E B	E, EE B	E B
	EXPANSÃO (%)	B	B	E	M, E	B	B	B
	CONTRAÇÃO (Ct)	B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E
	COEF. DE PERMEABILIDADE (k)	M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B
	COEFICIENTE DE SORÇÃO (s)	E	B, M	E	M, E	B	B	B
Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal		EE = Muito Elevado E = Elevado		M = Médio B = Baixo				
Utilização*	Base de pavimento	n	4°	n	n	2°	1°	3°
	Reforço do subleito compactado	4°	5°	n	n	2°	1°	3°
	Subleito compactado	4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°
	Aterro (corpo) compactado	4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°
	Proteção à erosão	n	3°	n	n	n	2°	1°
Revestimento primário	5°	3°	n	n	4°	1°	2°	
* A "utilização" é representada em prioridade de escolha (1°, 2°, 3°...), sendo "n" não recomendado								
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA								

Fonte: Villibor e Alves (2019)

Tabela 3 – Propriedades e hierarquização de uso dos grupos de solos da classe GL.

CLASSIFICAÇÃO G-MCT											
CLASSE GL (GRANULAR COM FINOS DE COMPORTAMENTO LATERÍTICO)											
TIPO GRANULOMÉTRICO	Ps: Pedregulho com solo; Sp: Solo com pedregulho; Gf: Granular fino										
GRUPOS MCT DOS FINOS (Ø < 2,0 mm)	LA			LA'			LG'				
CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS GRANULARES	Pedregulho com areia laterítica	Areia laterítica com pedregulho	Solo granular fino de areia laterítica com pedregulho	Pedregulho com solo arenoso laterítico	Solo arenoso laterítico com pedregulho	Solo granular fino arenoso laterítico com pedregulho	Pedregulho com solo argiloso laterítico	Solo argiloso laterítico com pedregulho	Solo granular fino argiloso laterítico com pedregulho		
Grupo G-MCT	Ps-LA	Sp-LA	Gf-LA	Ps-LA'	Sp-LA'	Gf-LA'	Ps-LG'	Sp-LG'	Gf-LG'		
PROPRIEDADES	Suporte CBR	E, EE	E	E, EE	E, EE	E, EE	M, E	E			
	Expansão CBR (E)	B	B	B	B	B	B	B			
	Contração* (C)	B	B	B	B	B	B, M	M			
	Coef. Permeabilidade* (k)	E	M, E	E	M	M, E	B, M				
Propriedades estimadas em CPs na MEASmáx da EN											
		EE = Muito Elevado			E = Elevado			M = Médio		B = Baixo	
Intervalos de valores indicados na Tabela 4.4											
UTILIZAÇÃO	Base e sub-base	2°	5°	1°	4°	3°	6°				
	Reforço e/ou subleito	1°	4°	2°	5°	3°	6°				
	Proteção à erosão e revestimento primário	n	5°	1°	3°	2°	4°				
Utilização: prioridade de escolha (1°, 2°, 3°...). n = não recomendado											
* Valores da MCT da Contração (C) e Coef. de Permeabilidade (k) da fração fina do solo granular (Ø < 2,0 mm).											
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	A representação gráfica é obtida com os tipos granulométricos associada ao grupo de seu fino (segundo a MCT).										
	TIPOS GRANULOMÉTRICOS:						Exemplos:				

Fonte: Villibor e Alves (2019)

Tabela 4– Propriedades e hierarquização de uso dos grupos de solos da classe GN.

CLASSIFICAÇÃO G-MCT													
CLASSE GN (GRANULAR COM FINOS DE COMPORTAMENTO NÃO LATERÍTICO)													
TIPO GRANULOMÉTRICO (vide Tabela 4.6)	Ps: Pedregulho com solo			vide Tabela 4.6			vide Tabela 4.6						
GRUPOS MCT DOS FINOS (Ø < 2,0 mm)	NA		NA'			NS'			NG'				
CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS GRANULARES	Pedregulho com areia não laterítica	Areia não laterítica com pedregulho	Solo granular fino de areia não laterítica com pedregulho	Pedregulho com solo arenoso não laterítico	Solo arenoso não laterítico com pedregulho	Solo granular fino arenoso não laterítico com pedregulho	Pedregulho com solo silteoso não laterítico	Solo silteoso não laterítico com pedregulho	Solo granular fino silteoso não laterítico com pedregulho	Pedregulho com solo argiloso não laterítico	Solo argiloso não laterítico com pedregulho	Solo granular fino argiloso não laterítico com pedregulho	
Grupo G-MCT	Ps-NA	Sp-NA	Gf-NA	Ps-NA'	Sp-NA'	Gf-NA'	Ps-NS'	Sp-NS'	Gf-NS'	Ps-NG'	Sp-NG'	Gf-NG'	
PROPRIEDADES	Suporte CBR	E, EE	E	E, EE	E, EE	E, EE	M, E	E	M, E	E			
	Expansão CBR (E)	B	B	B	B	B	B, M	B	B	B, M	M, E		
	Contração* (C)	B	B	B	B	B	B, M	M	B, M	M			
	Coef. Permeabilidade* (k)	E	M, E	E	M	M, E	B, M	M, E	B, M				
Propriedades em CPs na MEASmáx da EN													
		EE = Muito Elevado			E = Elevado			M = Médio			B = Baixo		
Intervalos de valores indicados na Tabela 4.4													
UTILIZAÇÃO	Base, sub-base, reforço e/ou subleito (hierarquização preliminar)	2°	n	1°	n	3°	n	4°	n				
	Utilização: prioridade de escolha (1°, 2°, 3°...). n = não recomendado												
* Valores da MCT da Contração (C) e Coef. de Permeabilidade (k) da fração fina do solo granular (Ø < 2,0 mm).													
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	A representação gráfica é obtida com os tipos granulométricos associada ao grupo de seu fino (segundo a MCT).									Exemplos:			
	TIPOS GRANULOMÉTRICOS:												

Fonte: Villibor e Alves (2019)

2.6 Estabilização dos Solos

Em regiões onde os solos não suprem as especificações técnicas e que se deseja adequação ou até mesmo quando se tem a intenção de realizar uma camada mais resistente, na maioria dos casos, utiliza-se a estabilização de solos. De maneira simplificada, a estabilização dos solos é a mistura de solos de diferentes características em proporções que as qualidades positivas de ambos possam se combinar. Um exemplo é a mistura conveniente de solo arenoso e solo argiloso, onde se torna possível chegar a um produto que não ofereça poeira nas secas nem lama nas chuvas, ou seja, um produto estabilizado, um solo estabilizado (SENÇO, 2001).

É apontado por Senço (1997) que os processos de estabilização de solos são considerados um dos trabalhos mais importantes dos profissionais de pesquisa rodoviária no Brasil pelos incontáveis benefícios econômicos do uso de materiais locais combinados. Normalmente, a estabilização ideal só é alcançada por meio da junção de diferentes métodos, e não somente um. Embora atualmente exista uma vasta diversidade de métodos de estabilização, novos métodos vêm sendo aprimorados ao longo do tempo (BRITO e PARANHOS, 2017).

Seguindo nesse contexto e, de acordo com Carvalho (2011), Nunez (1991), Tiscoski e Arns (2016), a estabilização de um solo pode fazer uso de processo e natureza física (estabilização granulométrica), mecânica (compactação) ou química (adição de cal, cimento, betume, etc), tornando esse solo devidamente estável para seus fins de utilização, podendo ainda fazer com que esta estabilidade se mantenha sob a ação das cargas exteriores e ações climáticas variáveis.

A estabilização química do solo é definida como qualquer técnica de tratamento que permanentemente melhore a capacidade de suporte e estabilidade volumétrica contra expansão intensa e que, ao mesmo tempo, diminua a permeabilidade e compressibilidade do solo nativo (BRITO e PARANHOS, 2017; FERNANDES 2005). A diversidade de aditivos químicos utilizados na estabilização de solos é bastante ampla, a contar de produtos tradicionais como cal, cimento e betume, ultrapassando por produtos comerciais nacionais e internacionais e até materiais alternativos como os criados a partir de materiais regionais ou de subprodutos de processamentos industriais (ALCÂNTARA, 1995).

De acordo com Pereira (2005), os aditivos químicos podem ser classificados em três categorias, sendo elas:

a) Comerciais Tradicionais: grupo dos aditivos mais utilizados em construções, como a cal, o cimento Portland e também os materiais betuminosos;

- b) Comerciais não tradicionais patenteados:** alguns exemplos são o Con-Aid® CBR-Plus, ISS 2500 (Ionic Soil Stabilizer), Perma-Zyme, Consolid, DS 328 (produto brasileiro), Dynacal (produto brasileiro), Enzymatic, Terra Fix, EMC2, RBI Grade 81, etc;
- c) Produtos Alternativos:** composto por produtos já testados para a finalidade da estabilização de solos, mas que não são específicos para esse fim, alguns exemplos são o hidróxido de sódio (soda cáustica), cloreto de cálcio, cloreto de sódio, resorcinol formaldeído, acrilato de cálcio, ácido fosfórico etc.

2.7 Emprego do CON-AID® CBR-PLUS

O Con-Aid® CBR-Plus é um estabilizante químico, desenvolvido em 1978 na África do Sul. Esse aditivo surgiu com o propósito de solucionar problemas de estradas e ruas não pavimentadas, tornando-as mais duradouras e resistentes. Sua principal função é atuar como estabilizador químico de solos.

De acordo com o manual do produto utilizado no presente estudo, o Con-Aid® CBR-Plus nada mais é que um líquido de consistência viscosa, com coloração em tom avermelhado, conforme mostrado na Figura 4. Sua fórmula química, segundo o manual técnico, é $R-SO_3H$, derivado de ácido sulfônico. Além disso, recebeu a certificação de selo verde do Conselho Nacional de Defesa Ambiental, por conta de sua contribuição ambientalmente responsável, minimizando os impactos negativos associados à construção e manutenção de estradas.

Este aditivo foi desenvolvido na intenção de auxiliar na impermeabilização do solo, aumentando a resistência ao cisalhamento das partículas de argila presentes, tais que são responsáveis pelo ajuntamento de água, o que influencia diretamente na sua resistência (SAVAGE, 2011).

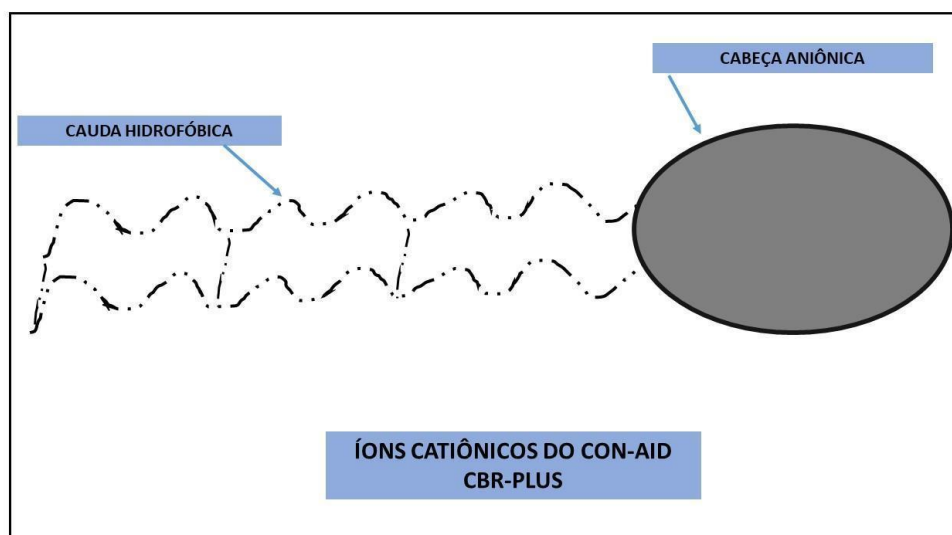
Figura 4 - Amostra de CON-AID® CBRPlus.



Desenvolvido nos anos 70, esse aditivo surgiu com a finalidade de melhorar um produto já existente na época, conhecido no mercado como Reynolds Packer (RRP), tal que não chegou a alcançar resultados positivos em suas aplicações (SAVAGE, 2011). De acordo com Savage (2011), o produto teve suas exportações iniciadas somente nos anos 1990, onde foi utilizado em obras de pavimentação, em alguns locais ficou conhecido como CBR-Plus. Atualmente, a logomarca do produto utiliza ambos os nomes: Con-Aid® e CBR-Plus.

O aditivo Con-Aid® CBR-Plus possui sua ação focada na eliminação de absorção de água pela superfície das partículas de argila e na sua impermeabilização. A Figura 5 demonstra de maneira fácil e compreensível uma ilustração da partícula iônica deste produto, formada por uma cauda hidrofóbica e uma cabeça aniônica. Essas partículas são capazes de repelir os íons metálicos presentes no solo natural. Dessa forma, quando o produto é aderido na partícula de argila, a parte negativa da partícula iônica (cabeça) acaba por repelir e tomar o lugar dos íons responsáveis por reter a água absorvida (íons metálicos). Já a parte positiva (cauda), é responsável por repelir todas as moléculas de água presentes que antes seriam absorvidas. A transformação desse efeito de impermeabilização para sua forma natural, após ter sido criado, é praticamente impossível (SAVAGE, 2011).

Figura 5 - Ilustração simbólica dos íons do Con-Aid® CBR-Plus.



Fonte: Savage (2011), adaptada pelo autor.

Após sua estabilização, o solo é compactado, juntando as partículas de argila uma das outras. Como essas partículas não possuem mais água em sua superfície, essa junção se torna

ainda maior. E a lubrificação hidrofóbica presente nas partículas faz do solo estabilizado uma camada totalmente impermeável (SAVAGE, 2011).

Para sua aplicação é necessário o uso de maquinário, o mesmo utilizado também em obras de pavimentação, tais como: motoniveladora, caminhão pipa, trator de pneu com grade de disco, rolo compactador pé de carneiro vibratório e/ou rolo liso vibratório. Para atingir ótimos resultados em sua aplicação, sua dosagem depende diretamente da reatividade e da quantidade de argila presente no solo a ser aditivado. As faixas habitualmente ficam em torno de 0,2 e 0,5 % do produto diluído em água, considerando que, cem litros do produto podem ser o suficiente para uma área de aproximadamente 20.000 m² (SAVAGE, 2011).

Ainda segundo Savage (2011), alguns dos resultados que podem ser esperados em um solo aditivado com esse produto são:

- Redução da expansão causada pela umidade;
- Aumento da resistência ao cisalhamento;
- Aumento da densidade com menor esforço de compactação;
- Formação de poeira reduzida;
- Redução das atividades de manutenção.

3 METODOLOGIA

Gil (2002), define método como “[...] caminho para se chegar a determinado fim” e apresenta como objetivo de a ciência chegar à veracidade dos fatos. O presente trabalho, a partir de embasamento teórico, avaliou e constatou a eficiência de um aditivo químico na aplicação de revestimento primário. Para isso, testou os métodos de análises em laboratório atualmente utilizados, fazendo uso das normas técnicas vigentes e bibliografia no que diz respeito ao tema, para certificação da eficácia do produto, possibilitando a determinação mais fiel da dosagem ótima em diferentes tipos de solos.

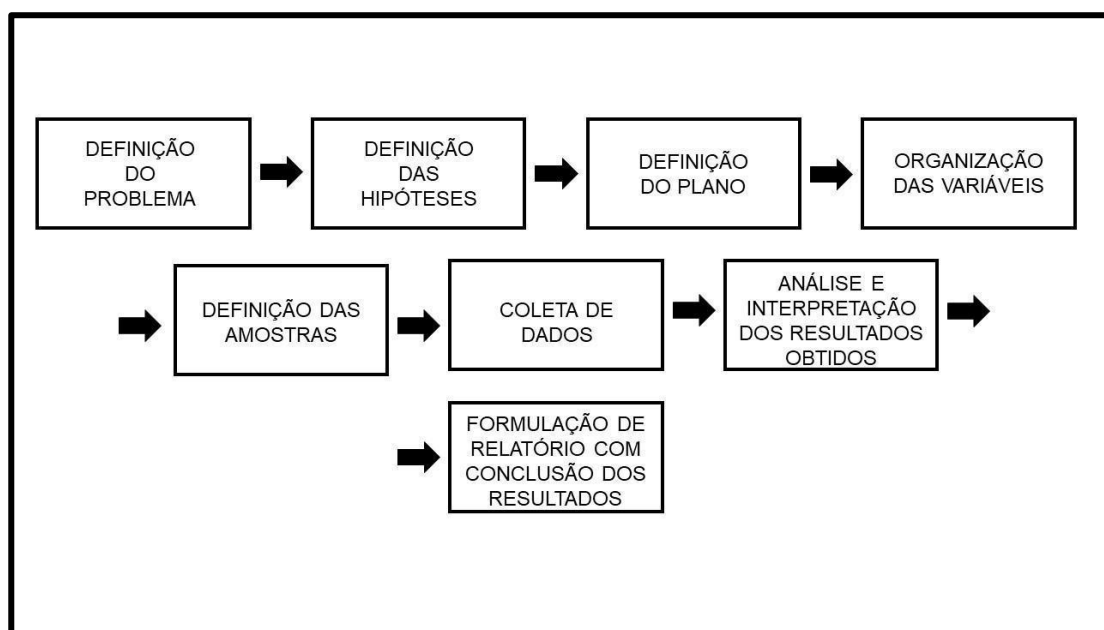
3.1 Caracterização da Pesquisa

O presente trabalho trata-se de uma avaliação laboratorial acerca de um tema de conhecimento do curso de Engenharia Civil. Trata-se de uma pesquisa aplicada, com objetivos exploratórios, pois essa categoria de pesquisa tem como propósito a realização de um profundo estudo para propor soluções aos problemas identificados na esfera das sociedades em que os pesquisadores se encontram. Com isso, seu planejamento tende a ser bastante flexível, pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado (GIL, 2019). Em relação a sua natureza, possui modalidade de pesquisa quali-quantitativa que “interpreta as informações quantitativas por meio de símbolos numéricos e os dados qualitativos mediante observação, a interação participativa e a interpretação do discurso dos sujeitos (semântica)” (KNECHTEL, 2014, p. 106).

3.2 Delineamento da Pesquisa

Segundo Gil (2002), “[...] a elaboração de um projeto é feita mediante consideração das etapas necessárias ao desenvolvimento da pesquisa”. Para isso é sugerido a realização de diagramas de pesquisa, que contribuem para a melhor organização dos processos envolvidos. O diagrama do presente projeto é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama do projeto



Fonte: Adaptado de GIL (2002)

3.3 Solos Analisados

Para o presente trabalho foram utilizadas 04 amostras de solos já caracterizados em trabalhos desenvolvidos anteriormente, para realização da avaliação do desempenho do produto sobre eles através de ensaios de laboratório. As amostras utilizadas são identificadas e caracterizadas através das Tabelas 5 e 6 e apresentadas na Figura 7.

Tabela 5 – Identificação dos solos analisados na pesquisa

SOLO	FONTE	LOCAL DE COLETA	GEOLOGIA	PEDOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA
1	Kroth (2022)	Lagoão/RS -29.242630 -52.757473	Riodacito/Riolito	Argissolo Bruno-Acinzentado Aluminico	Argila Siltosa
2	Batista (2022)	Candelária/RS -29.7712025 -52.7540401	Siltito Areno-Argiloso	Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico Úmbrico	Argila Siltosa
3	Padilha (2022)	Herveiras/RS -29,457577 -52,685345	Derrames Basáltico Granulares	Neossolo Regolítico Eutrófico Típico	Pedregulho Siltoso
4	Kroth (2022)	Lagoão/RS -29.229032 -52.777258	Riodacito/Riolito	Argissolo Bruno-Acinzentado Aluminico	Argila Siltosa

Fonte: Autor

Tabela 6 – Caracterização dos solos analisados na pesquisa

Propriedades		Materiais			
		Solo 1	Solo 2	Solo 3	Solo 4
Granulometria	Pedregulho ($2\text{mm} < \Phi \leq 60\text{mm}$)	1%	0%	67%	7%
	Areia ($0,06\text{mm} < \Phi \leq 2\text{mm}$)	18%	18%	7%	23%
	Silte ($0,002\text{mm} < \Phi \leq 0,06\text{mm}$)	30%	37%	15%	25%
	Argila ($\Phi \leq 0,002\text{mm}$)	51%	45%	11%	45%
Classificação granulométrica segundo a NBR 6502:1995		Argila Siltosa	Argila Siltosa	Pedregulho Siltoso	Argila Siltosa
Peso específico real dos grãos (kN/m^3)		26,4	22,2	26,3	27,07
Plasticidade	Limite de Liquidez - LL	36%	53%	38%	37%
	Limite de Plasticidade - LP	32%	30%	25%	26%
	Índice de Plasticidade - IP	4%	23%	13%	11%
	Classificação segundo Bummister (1949) <i>apud</i> Das e Sobhan (2014)	Plasticidade Leve	Plasticidade Alta	Plasticidade média	Plasticidade média
Classificação SUCS		CL Argila de baixa plasticidade	CH Argila de alta compressibilidade	GM Pedregulho Siltoso	CL Argila de Baixa plasticidade
Classificação da AASHTO		A-4 Solo Siltoso	A-7-6 Solo Argiloso	A-2-6 Pedregulho Siltoso	A-6 Solo Argiloso
Classificação MCT	c'	1,35	1,78	1,9	2,53
	e'	1,7	1,6	1,7	1,2
	Grupo	NS'	NG'	NG'	NG'

Fonte: Kroth (2022), Batista (2022) e Padilha (2022)

Figura 7 – Amostras dos solos analisados na pesquisa já destorroadas e passadas na peneira de 2mm



Fonte: Autor

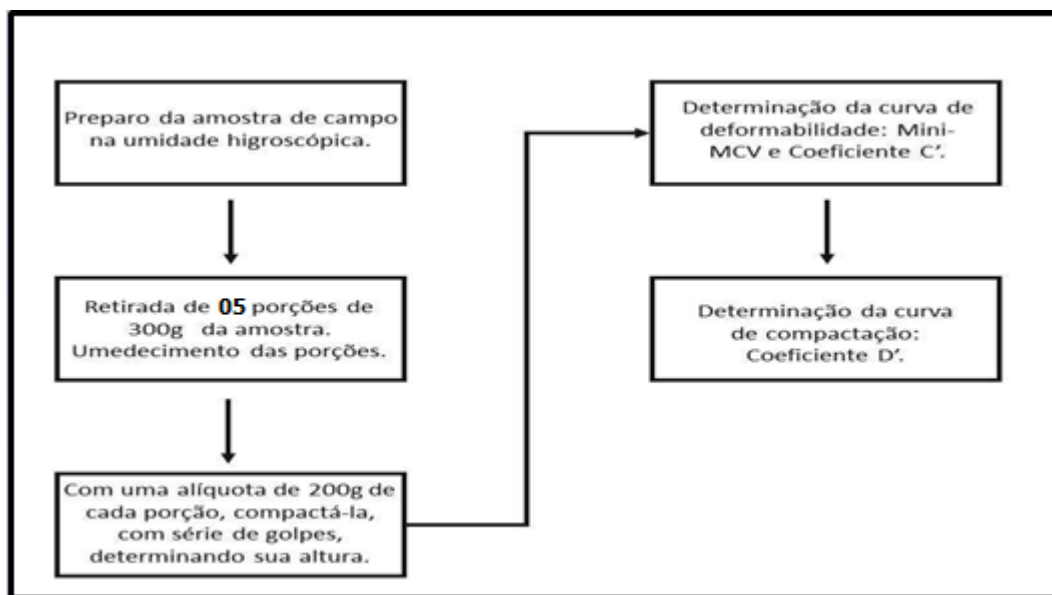
3.4 Ensaios de Laboratório

3.4.1 Compactação Mini-MCV

De acordo com Villibor e Alves (2019), em 1981, foi desenvolvido pelo Engenheiro Nogami, uma adaptação do ensaio MCV, fazendo uso de equipamento de compactação com CPs de tamanhos reduzidos, que foi trazido para o Brasil pelo Engenheiro Carlos de Souza Pinto e utilizado no ensaio Mini-MCV por Nogami. Já em 1999, foi proposto por Nogami e Villibor, alterações metodológicas que trouxeram simplificação para os ensaios, que visavam obter a classificação do grupo MCT da amostra. O ensaio Mini-MCV, avalia a compactação dos solos de comportamento lateríticos e não lateríticos na classificação MCT, sendo utilizado também, para avaliação do teor de umidade dos solos.

O processo de compactação Mini-MCV é utilizado em solos finos, ou seja, solos que possuam diâmetro máximo menor que 2mm, que são submetidos a esforços de compactação por meio de golpes necessários para que o CP atinja sua máxima massa específica. É necessário anotar as variações resultantes de altura durante a execução dos golpes. O fluxograma de execução do ensaio é apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma da execução do ensaio de compactação Mini-MCV



Fonte: Autor, adaptado de Villibor (2019)

Algumas etapas foram definidas para a execução do ensaio do Mini-MCV, quais sejam:

- a) Preparação e separação das amostras:** A etapa inicial do processo de preparação das amostras, consiste primeiramente no destorroamento de um solo específico, para a quebra dos torrões existentes, deixando a amostra numa consistência mais fina para o próximo passo. Dessa forma, todas as amostras de solo selecionadas para o presente trabalho passaram por esse processo que é demonstrado na Figura 9. Subsequentemente, o solo foi submetido à peneiração com uma malha de 2mm (Figura 10) e posteriormente, submetido à secagem em uma estufa à 105°C (Figura 11), por um período de no mínimo 12h, a fim de eliminar completamente sua umidade e deixá-lo apto para receber a umidade desejada para o estudo e sabendo com precisão a umidade inicial de cada amostra.
- b) Umedecimento das amostras:** Após a preparação das amostras, foram separadas cinco porções de 300g para cada tipo de solo, sendo então umedecidas com adição de água e Con-Aid, com teores crescentes e adequados a cada tipo de solo, preservando-as em local apropriado para que não haja perda de umidade. As dosagens e percentuais de umidade pretendidas definidos são apresentados na Tabela 7.

Figura 9 - Etapa inicial de preparação das amostras: Destorroamento



Fonte: Autor

Figura 10 - Peneiramento 2mm



Fonte: Autor

Figura 11 - Secagem em estufa



Fonte: Autor

Tabela 7 - Teores de umidade dos CPs.

	SOLO 1		SOLO 2		SOLO 3		SOLO 4	
	% umidade	ml de água	% umidade	ml de água	% umidade	ml de água	% umidade	ml de água
CP 1	48%	141ml	27%	78ml	20%	57ml	33%	96ml
CP 2	45%	132ml	25%	72ml	18%	51ml	31%	90ml
CP 3	42%	123ml	23%	66ml	16%	45ml	29%	84ml
CP 4	39%	114ml	21%	60ml	14%	39ml	27%	78ml
CP 5	36%	105ml	19%	54ml	12%	33ml	25%	72ml

Fonte: Autor

Todos os CPs demonstrados acima, receberam a proporção de 10 ml de Con-Aid por quilo de solo, ou seja, a cada 300 g de solo foram aplicados 3 ml do produto, já diluído e preparado conforme orientação do fabricante: 3ml de Con-Aid para 1 litro de água. Após o emprego do Con-Aid® CBR-Plus, as amostras foram deixadas com suas devidas misturas em repouso por um período de 48 horas (Figura 12), também de acordo com a indicação do fabricante.

Figura 12 - Porções de 300g após receberem a umidade definida

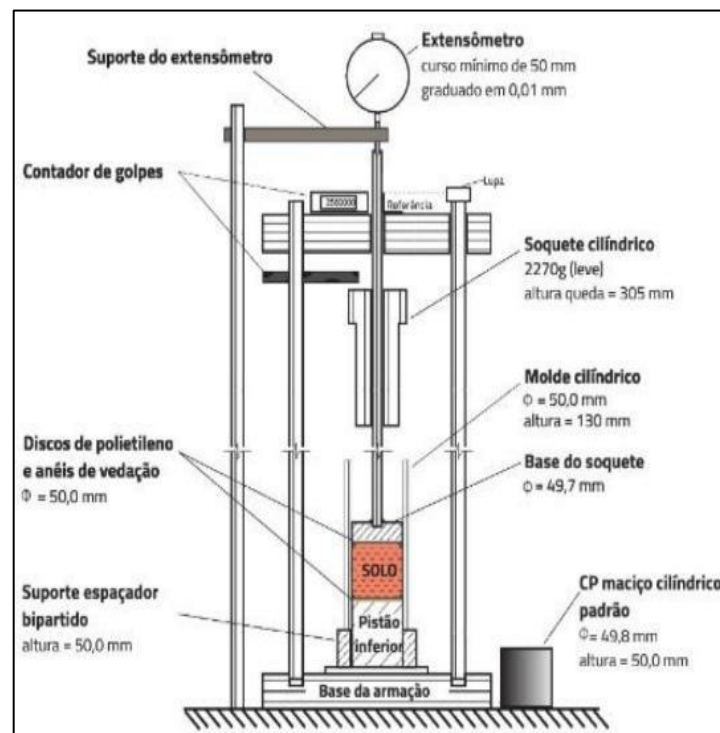


Fonte: Autor

- c) **Compactação das amostras:** O ensaio de compactação é regulamentado pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem através da Norma Rodoviária DNER-ME 258/94, e para sua devida execução é utilizado o equipamento extrator/compactador de amostras, demonstrado nas Figuras 13 e 14. O ensaio iniciou-se pela aferição do aparelho de compactação, para isso, foi colocado sobre o pistão os discos de polietileno

e o cilindro padrão, deixando ambos centralizados, juntamente com o soquete compactador, que foi posto acima do cilindro padrão. Após, foi colocado o extensômetro acima da montagem do aparelho e realizada a leitura do extensômetro, onde calculou-se a constante de aferição. Depois do equipamento aferido, foram untados os cilindros (corpos de prova) com óleo, evitando que a amostra fique presa nas laterais (Figura 15).

Figura 13 - Descrição do aparelho usado no ensaio de compactação



Fonte: Villibor e Alves (2019). Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/35661/pdf/0?code=RXWCV6Idm8IZueohwLEbQ9q1tv0/Hn8nMmIETZMRGdyFaBOHeNgh46jGOKsYha6/sVON7n4vXie7e76s/vUhgq==>. Acesso em 23 Out. 2023.

Figura 14 - Aparelho usado na compactação



Fonte: Autor

Figura 15 – Corpos de prova untados com óleo



Fonte: Autor

Com os cilindros já untados, foi pesado e transferido com auxílio de funil, para cinco corpos de prova diferentes, 200g da amostra de solo selecionada para o ensaio de compactação, colocando sobre ele o disco de polietileno e o anel de vedação, conforme Figura 16. O restante do solo foi utilizado para determinação da umidade.

Figura 16 - Corpo de prova com anel de vedação e disco de polietileno



Fonte: Autor

Com o assentador, a amostra inserida no corpo de prova foi pressionada até que a superfície do solo ficasse plana, após isso, foi iniciado o ensaio com a primeira série de golpes, onde ao final de cada série foi realizada a leitura do extensômetro. O número de golpes realizados em cada série foram 3, 6, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 e 180, esse procedimento foi interrompido quando observado estabilidade na altura do corpo de prova (CP), ou seja, quando houve uma variação máxima de 0,1 mm a cada 10 golpes ou 0,2 mm a cada 20 golpes. Além disso, a interrupção do processo foi necessária em caso de um notável vazamento ou liberação de água na parte superior e na base do corpo de prova.

- d) Determinação da curva de deformabilidade:** Para a definição da deformabilidade, foi plotado em um gráfico todas as informações necessárias e que foram coletadas no ensaio de compactação, tais como nº de golpes e o afundamento correspondente de cada série.
- e) Determinação da curva de compactação:** Para determinação do coeficiente d' , calcula-se a MEAS de cada CP após compactados com 10 e 20 golpes.

3.4.2 Perda de Massa por Imersão

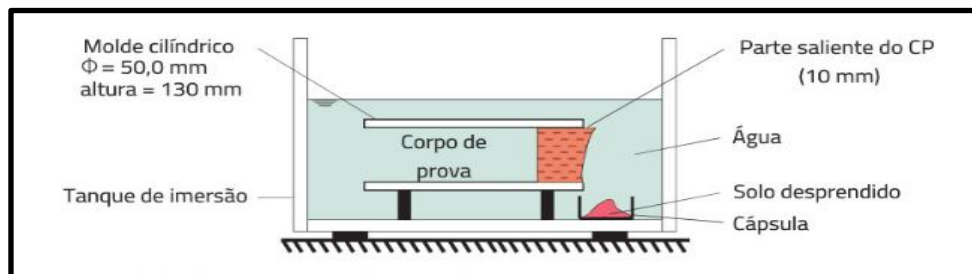
Villibor e Alves (2019), expõem que em 1970, a partir de um estudo do Engenheiro Nogami, constatou-se uma correlação entre a perda de massa por imersão em CPs e a gênese do solo, de forma que os solos lateríticos apresentaram baixos valores de perda, em relação aos

solos não lateríticos. Após isso, por meados de 1980, foi proposto por Nogami e Villibor o ensaio de perda de massa por imersão como parte da Sistemática MCT.

Este ensaio tem como objetivo principal, determinar em laboratório a perda de massa em amostras de solo compactado e submetido a imersão. Os valores encontrados no ensaio são empregados na classificação MCT.

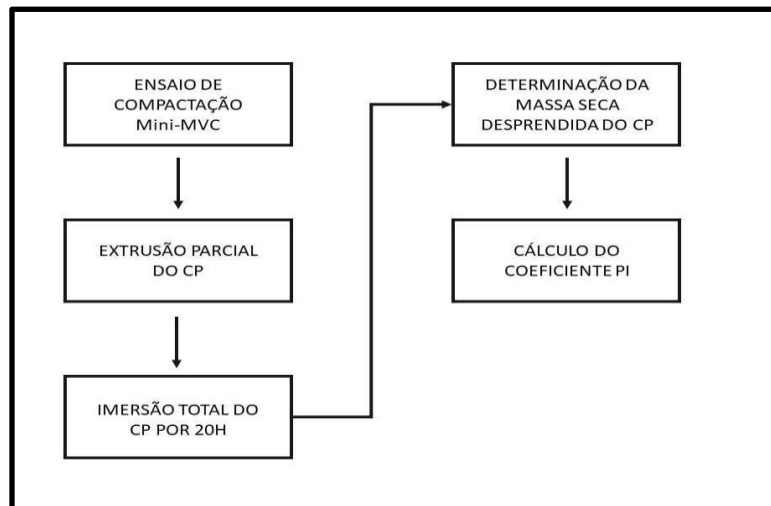
Para a execução do ensaio se fez necessário o uso de equipamentos, capazes de verificar a perda de massa por imersão. Nas Figuras 17 e 18, são demonstradas o croqui desse equipamento e as cinco etapas de desenvolvimento do ensaio.

Figura 17 - Croqui do ensaio de perda de massa por imersão



Fonte: Villibor e Alves, 2019

Figura 18 - Etapas de desenvolvimento do ensaio de perda de massa por imersão



Fonte: Autor, adaptado de Villibor e Alves (2019)

Ensaio de compactação Mini-MCV: O ensaio de compactação é a etapa inicial para a determinação de perda de massa por imersão. Esse ensaio foi descrito no item 3.5.1 do presente trabalho.

Extrusão parcial dos CPs: Após o ensaio de compactação, é extraído de maneira parcial o CP do molde cilíndrico, até que exatamente 10mm da face superior fique evidente, conforme demonstrado na Figura 19. No presente estudo conforme recomendado pelo fabricante, o CP deverá ser armazenado em local totalmente fechado em um período de cura de 7 dias, para que sua umidade não seja alterada.

Figura 19 - Extrusão parcial dos CPs



Fonte: Autor

Imersão total dos CPs: Antes de realizar a imersão, foi pesado a massa das cápsulas vazias, anotando seus respectivos valores na folha de ensaio. Após, os CPs foram postos, juntamente com seus periféricos, em tanque de imersão (sem água), deixando sempre o centro da base alinhado com o centro da cápsula, conforme Figura 20. Posteriormente o tanque de imersão foi preenchido com água, até que alcançasse 10mm acima da superfície externa do molde. O comportamento dos CPs foi observado nos primeiros minutos de imersão e após 20 horas, os mesmos foram retirados da imersão, anotando na folha de ensaio o aspecto que o solo que continuou no molde cilíndrico contém.

Figura 20 - Imersão total dos CPs



Fonte: Autor

Determinação da massa seca desprendida: Após o período de imersão, as cápsulas juntamente com o solo desprendido do CP, foram colocados na estufa (Figura 21), em temperatura entre 105 e 110°C, por no mínimo 12 horas, após esse tempo, foi pesado o solo desprendido e depositado na cápsula.

Figura 21 - Determinação da massa seca desprendida



Fonte: Autor

Cálculo do coeficiente Pi: Corresponde a porcentagem de massa seca desprendida de um CP após ser imerso, em relação à parte extrudada (10mm) de solo compactado, calculado a partir da fórmula descrita na Equação 1.

$$Pi = 100 \times \frac{Mi \times Lcp}{Ms \times Lex} \times Fc \quad (1)$$

Onde:

Pi: Coeficiente de perda de massa por imersão(%);

Mi: Massa seca desprendida, após imersão do CP (g);

Ms: Massa seca do CP, logo após sua compactação (mm);

Lcp: Altura do CP, logo após sua compactação (mm);

Lex: Altura da parte extrudada do CP (Lex = 10mm);

Fc: Fator de correção do Pi (Fc=1,0: desprendimento normal e Fc=0,5: desprendimento em monobloco).

3.5 Realização da Classificação MCT e Análises

A partir dos resultados dos ensaios acima descritos, foi possível verificar se a adição do Con-Aid® CBR-Plus alterou a classificação MCT de cada um dos solos analisados, tornando o material apto ou não para o emprego em revestimento primário e permitindo uma avaliação de forma individual, verificando em qual ocorre o efeito mais positivo.

Os coeficientes utilizados para a classificação MCT são o c' , d' e os valores de Pi, que possibilita encontrar o parâmetro Pi. Tendo os valores d' e o parâmetro Pi, determina-se o índice de laterização e' . O coeficiente c' (coeficiente de argilosidade) é obtido através do ensaio de compactação Mini-MCV, onde encontra-se a curva de deformabilidade do solo e o coeficiente de argilosidade c' , calculado a partir da fórmula descrita na Equação 2.

$$c' = \frac{\Delta(\Delta a_n)}{\Delta MiniMCV} \quad (2)$$

Onde:

c' : Coeficiente de argilosidade;

$\Delta(\Delta a_n)$: Variação do afundamento do CP, obtida do trecho retilíneo da curva de deformabilidade (mm);

Δ Mini-MCV: Variação do Mini-MCV, para o mesmo intervalo considerado para $\Delta(\Delta a_n)$.

O coeficiente c' associa-se com o desempenho granulométrico do solo na compactação. Aspectos como graduação, forma dos grãos e mineralogia das frações influenciam no valor de c' (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

O coeficiente d' é obtido através do ensaio de compactação Mini-MCV, onde encontra-se o grupo de curvas de compactação para diversas energias, e assim é determinado o coeficiente d' , que é aplicado para cálculo do índice de laterização e' . Em conjunto com o parâmetro P_i , o coeficiente d' é um indicativo do desempenho laterítico do solo. Este coeficiente é calculado a partir da fórmula descrita na Equação 3.

$$d' = \frac{\Delta MEAS}{\Delta hc} \quad (3)$$

Onde:

$\Delta MEAS$: Variação da massa específica aparente seca (kg/m^3);

Δhc : Variação da umidade de compactação %.

O parâmetro P_i é empregado para cálculo do índice de laterização (e'), e juntamente com o coeficiente d' permite determinar se o solo apresenta comportamento laterítico ou não. Este coeficiente é calculado a partir da fórmula descrita na Equação 4.

$$P_i = 100 \times \frac{Md}{Me} \times F_c \quad (4)$$

Onde:

P_i : Perda de massa por imersão %;

Md : Massa seca desprendida após imersão (g);

Me : Massa seca extrudada (g) = 1,0 cm x área do CP X $MEAS_{\Delta F}$;

F_c : Fator de correção.

As fases para calcular o parâmetro P_i são as seguintes: cada curva de deformação obtida pelo método descrito acima, representando um teor específico de umidade, fornece o valor do

Mini-MCV correspondente. O corpo de prova gerado pela compactação final é submetido ao ensaio de perda de massa por imersão para determinar o P_i em diferentes níveis de umidade. É plotado o gráfico da altura final em relação ao Mini-MCV, e o valor da altura final correspondente ao Mini-MCV igual 10 é obtido. Se o valor for menor que 48 mm, isso indica um solo compactado com alta densidade, e ao contrário indica um solo com baixa densidade. A partir do gráfico P_i versus Mini-MCV, o parâmetro P_i é obtido conforme o seguinte critério: valor correspondente ao Mini-MCV de 10 e 15, para solos de baixa e alta densidade, respectivamente.

O índice e' foi idealizado para assinalar o comportamento laterítico ou não laterítico dos solos. A partir dos indicadores de classificação adquiridos nos ensaios de compactação mini-MCV e perda de massa por imersão, é admissível classificar os solos lateríticos e saprolíticos conforme com a metodologia MCT, através do gráfico da classificação MCT exposto na figura 2. O índice e' , através do coeficiente d' da curva de compactação, proporcional a 10 golpes e do parâmetro P_i , é calculado a partir da fórmula descrita na Equação 5.

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (5)$$

Onde:

e' : Índice de laterização;

P_i : Parâmetro de perda de massa por imersão (%);

d' : Inclinação da curva de compactação de $n = 10$ golpes.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Comparativo das Classificações MCT nos Solos in Natura e com adição de CON-AID® CBR-PLUS

A Figura 22 apresenta os resultados que foram encontrados no ensaio Mini-MCV dos solos estudados. Nela foram incluídas também as classificações MCT encontradas para os solos in natura caracterizados nos trabalhos anteriores.

O solo 1, que se trata de um solo argilo-siltoso, em sua forma in natura, pertencia ao grupo NS', grupo não recomendado para emprego como revestimento primário. Isso se deve à sua alta suscetibilidade à erosão e à tendência notável de expansão. Após as melhorias realizadas, o solo foi reclassificado como pertencente ao grupo NG', o que representou uma mudança em relação à sua condição inicial. Contudo, mesmo assim ainda não é recomendado para aplicação em revestimento primário.

O solo 2, mesmo após a adição do Con-Aid® CBR-Plus, permaneceu com sua classificação inicial NG'. Esse solo não é recomendado para o fim desejado, por se tratar de uma categoria de solos expansivos. No entanto, houve uma aproximação significativa em direção ao grupo LG' (grupo com a 2º melhor indicação). Acredita-se que uma dose mais elevada do aditivo poderia viabilizar o reenquadramento nesse grupo.

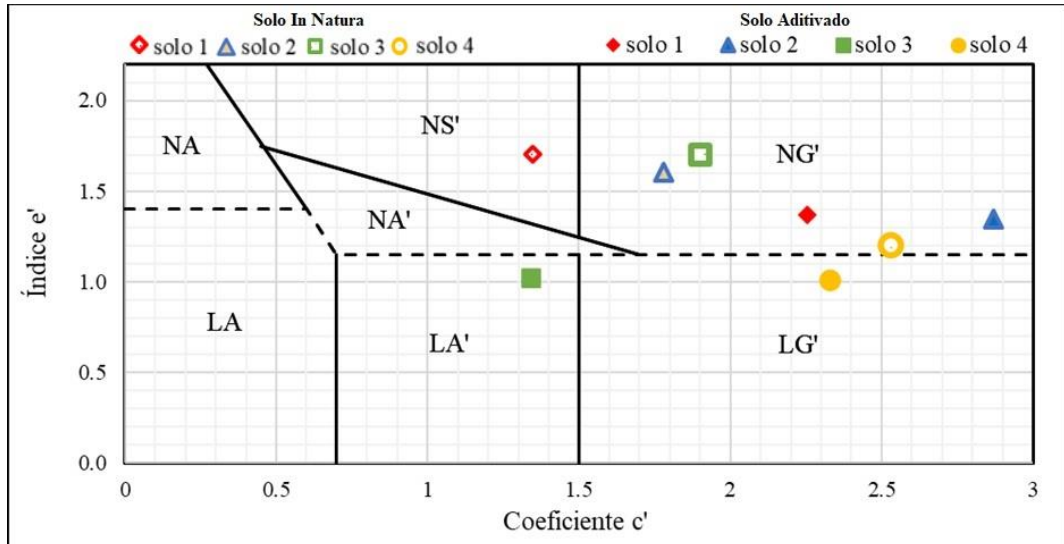
O solo 3, inicialmente classificado como NG', passou por uma reclassificação para LA' após a aplicação do aditivo. Essa alteração o qualificou como pertencente ao grupo mais recomendado para ser utilizado em revestimento primário. Dentre os 4 solos analisados, este era o único que não fazia parte do grupo dos argissolos, sendo classificado como um neossolo. Este solo obteve o melhor resultado após as intervenções, sugerindo uma possível correlação com aspectos pedológicos. Na sua classificação G-MCT, conforme observado na Figura 23, o solo inicialmente pertencia ao grupo Ps-NG' em seu estado natural. Após a adição do aditivo, foi reclassificado para integrar o grupo Ps-LA', tornando-se a opção mais recomendada para uso em revestimento primário.

Classificado em sua forma natural como NG', o solo 4 migrou para o grupo LG', apresentando uma representável melhoria, pois partiu de uma classe não recomendada, para uma classificação com a segunda melhor recomendação no quesito de aplicação em revestimento primário.

Por fim, é importante ressaltar que nos 4 solos analisados observou-se uma tendência de suas classificações se deslocarem em direção aos grupos de comportamento laterítico. Nos casos dos solos 1 e 2, que não alcançaram os resultados desejados, é possível supor que com

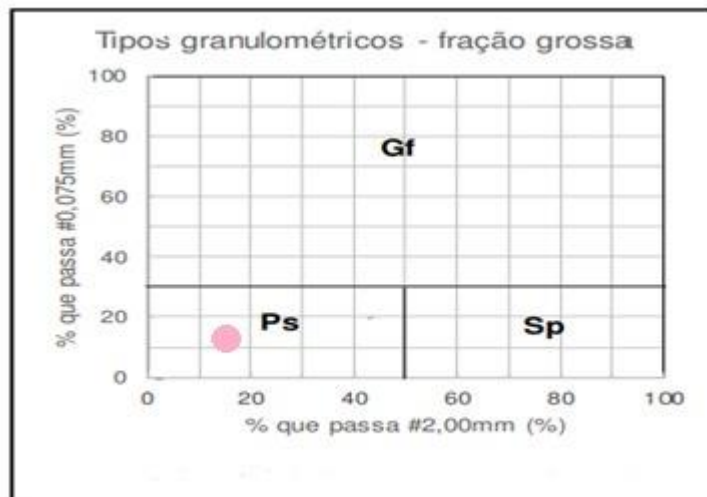
uma dosagem mais elevada do aditivo, eles poderiam migrar para grupos com recomendações mais favoráveis para aplicação em revestimento primário.

Figura 22 - Gráfico da Classificação MCT



Fonte: Autor

Figura 23 - Gráfico da Classificação G-MCT



Fonte: Autor

4.2 Avaliação da Influência do Emprego do Produto nos Coeficientes c' e e'

A Tabela 8 exibe a relação entre as frações granulométricas e as variações de c' e e' . Observou-se que o coeficiente c' não demonstrou correlação com a composição granulométrica, conforme evidenciado no Figura 24. No entanto, em relação ao parâmetro e' , conforme

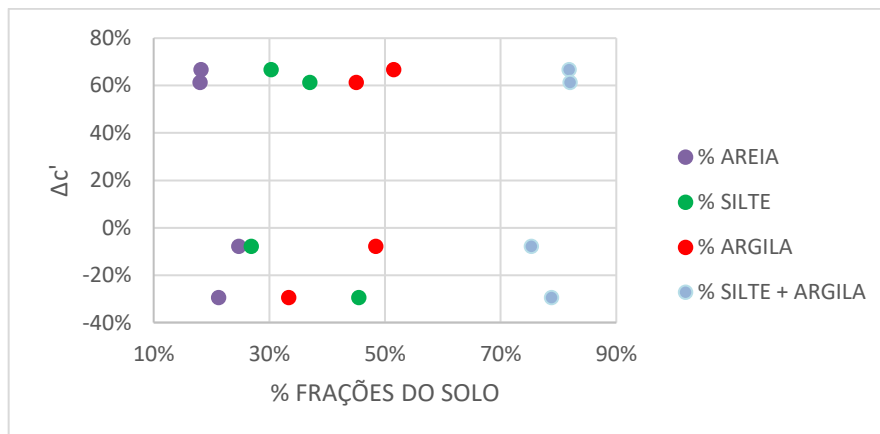
demonstrado na Figura 25, houve uma redução consistente em todos os cenários, indicando uma tendência para que esse coeficiente conduza a classificação para grupos de solos de comportamento lateríticos. Por fim, ao analisar as frações, percebe-se que quanto mais silte presente no solo, maior é o efeito do aditivo.

Tabela 8 - Tabela de frações granulométricas

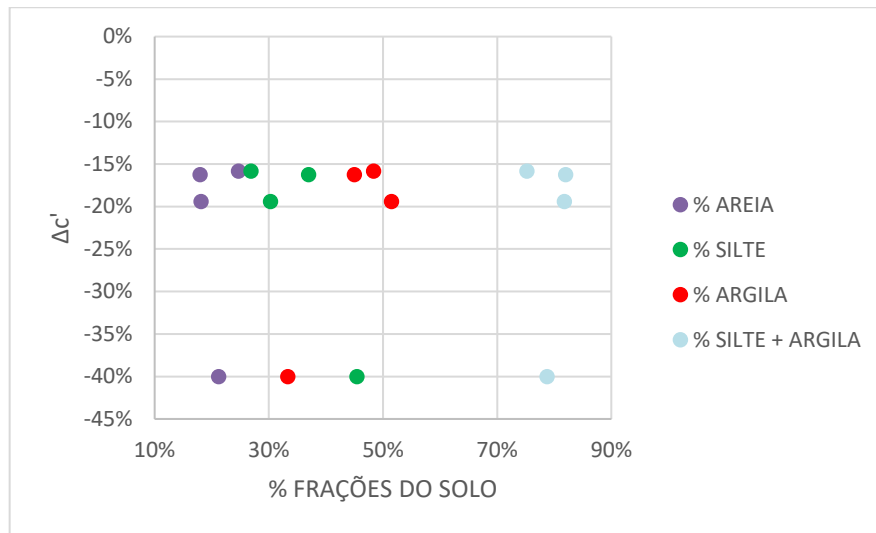
SOLO	FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS ABAIXO 2mm				c'		$\Delta c'$	e'		$\Delta e'$
	% AREIA	% SILTE	% ARGILA	% SILTE + ARGILA	IN NATURA	COM ADIÇÃO DE COM-AID		IN NATURA	COM ADIÇÃO DE COM-AID	
1	18%	30%	52%	82%	1,35	2,25	67%	1,7	1,37	-19%
2	18%	37%	45%	82%	1,78	2,87	61%	1,6	1,34	-16%
3	21%	45%	33%	79%	1,90	1,34	-29%	1,7	1,02	-40%
4	25%	27%	48%	75%	2,53	2,33	-8%	1,2	1,01	-16%

Fonte: Autor

Figura 24 – Gráfico de variação c'



Fonte: Autor

Figura 25 – Gráfico de variação e' 

Fonte: Autor

Com relação a tendência observada da correlação do coeficiente e' com o percentual de silte, observa-se no gráfico da Figura 25 uma tendência linear. Entretanto, pondera-se a presença de um ponto espúrio no gráfico. Estudos com amostragem mais ampla se mostram necessários para confirmar essa tendência preliminarmente observada. Apesar dessa tendência não significa que necessariamente que o solo com alto percentual de silte irá migrar para um grupo de comportamento laterítico com a dosagem estudada.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através dos estudos realizados em quatro solos conforme a classificação MCT e G-MCT, pertencente a grupos de comportamento não laterítico, constatou-se uma tendência desses solos se deslocarem em direção a grupos de comportamento laterítico com a adição do produto Con-Aid® CBR-Plus na dosagem recomendada pelo fabricante. Entretanto, apenas dois atingiram tais grupos. Um deles migrou de NG' para LA' e o outro de NG' para LG', enquadrando-se, para emprego em revestimento primário, como primeira e segunda ordens de prioridade, respectivamente. Dos outros dois, um permaneceu no grupo NG' e o outro migrou para NG', sendo grupos não recomendado para emprego em revestimento primário. Tal tendência se deveu à ocorrência observada da diminuição do valor do coeficiente e' , da ordem de 16 a 40%.

Vale ressaltar que o solo que migrou para o grupo de melhor recomendação para emprego em revestimento primário, era da classe pedológica de Neossolos, enquanto os demais pertenciam a classes de Argissolos. Isso indica que essa significativa melhora pode ter uma tendência de correlação com a pedologia. Como todos os solos apresentaram uma tendência de caminhar em direção a grupos mais adequados para emprego em revestimento primário, isso indica a possibilidade de se alcançar um resultado satisfatório para os solos que não se enquadraram, talvez com uma dosagem maior do produto.

Em relação a variação do coeficiente c' da classificação MCT não apresentou correlação com as frações granulométricas para os solos estudados. Já a variação do coeficiente e' apresenta uma tendência de correlação com a porcentagem de silte presente no solo.

Dessa forma, tendo em vista que todos os quatro solos analisados demonstraram uma tendência de caminhar em direção a grupos mais adequados para uso em revestimento primário, verificou-se através do emprego da metodologia proposta no presente estudo que, até certo ponto, o melhoramento do solo com aplicação de Con-Aid® CBR-Plus é comprovado. O que talvez seja demandado para se atingir o propósito pretendido, é empregar uma dosagem adequada para cada tipo de solo, a qual poderá ser diferente da sugerida pelo fabricante.

Assim, para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Estudo de viabilidade econômica, para que também seja analisado seu custo-benefício, tornando viável seu uso;

- Testes com dosagens superiores às aplicadas nos solos que tiveram tendência, mas não migraram para um grupo recomendado para emprego em revestimento primário;
- Expandir o estudo para incluir uma variedade maior de tipos de solos e diferentes pedologias.

REFERÊNCIAS

AFRIN, H. A review on different types soil stabilization techniques. International Journal of Transportation Engineering and Technology. Science Publishing Group, 2017.

ALCÂNTARA, M. A. M. Estabilização Química dos Solos para Fins Rodoviários: Técnicas Disponíveis e Estudo de Caso Dirigido à Estabilização Solo-Cal de Três Solos de Ilha Solteira - SP. 1995. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 1995

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 6502: Rochas e solos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.

BAESSO, D. P. & GONÇALVES, F. L. R. Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção. Florianópolis: DER, 2003. 236 p

BATISTA, Caiane Moura de Bastos. ESTUDO VOLTADO À PROPOSIÇÃO DE PAVIMENTO DE BAIXO CUSTO EM TRECHO DA RS 410. 2022. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unisc, Santa Cruz do Sul, 2022.

BRITO, L.C; PARANHOS, H.S. Estabilização de solos. 6. ed. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 11 p. 2017. Disponível em:<<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/estabilizacao-de-solos> > Acesso em: set. 2022.

CAPUTO, H.P. *et al.* Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CARVALHO, A.L. Análise do efeito da estabilização mecânica e física em matrizes de terra. 2011. 20 p. Relatório Final de Iniciação Científica – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2011.

CON-AID ASIA. Disponível em: [CON-AID ASIA \(conaidasia.com\)](http://conaidasia.com). Acesso em: Novembro 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2021. Brasília: CNT/SEST SENAT, 2021. Disponível em: <Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf>, Acesso em: Outubro 2022.

DAS, B.M; SOBHAN, R. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. 8. ed., norte-americana, São Paulo, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 258/94 Solos compactados em equipamento miniatura - Mini MCV. Rio de Janeiro, 1994.

EATON, R. A.; GERARD, S.; DATTILO, R. S. A Method for Rating Unsurfaced Roads. Transportation Research Record 1106, vol. 02, págs. 34–42, 1987.

FERNANDES, G. Comportamento de estruturas de pavimentos ferroviários com utilização de solos finos e/ou resíduos de mineração de ferro associados a geossintéticos. 2005. 282 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia – FT, Brasília, 2005.

GIL, Antonio Carlos. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4ª Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2019

KAMMER, V.J; ARNS P. Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo estabilizado quimicamente com aditivo ConAid®/CBRPLUS® para emprego em obras de pavimentação. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul - UNESC. 16 p. 2013.

KNECHTEL, Maria do Rosário. Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada. Curitiba: Intersaberes, 2014.

KROTH, Carlos Heitor dos Reis. ESTUDO DE PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA UM TRECHO DE ESTRADA DA LIGAÇÃO DE LAGOÃO A ERS-153. 2022. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unisc, Santa Cruz do Sul, 2022.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Uma nova Classificação para Finalidades Rodoviárias. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Eng. COPPE/ABMS, Rio de Janeiro, 1981.

NUNES, T. V. L. Método de Previsão de Defeitos em Estradas Vicinais de Terra com Base no Uso das Redes Neurais Artificiais: Trecho de Aquiraz-CE. 2003, 118f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003

NUNEZ, W.P. Estabilização físico-química de um solo residual de arenito Botucatu, visando seu emprego na pavimentação. 171 p. Dissertação – Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1991.

ODA, S. Caracterização de Uma Rede Municipal de Estradas Não-Pavimentadas. 1995. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Transporte, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1995.

OLIVEIRA, M. J. G. de. Hierarquização para Orientar a Manutenção de Rodovias Não Pavimentadas. (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Transporte, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

PADILHA, Raquel. REALIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS DE DEFEITOS DE UM TRECHO DE ESTRADA RURAL NO MUNICÍPIO DE HERVEIRAS/RS. 2022. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unisc, Santa Cruz do Sul, 2022.

PEREIRA, R. S. Viabilidade Técnica do Emprego de Resíduos da Indústria de Celulose para Construção de Estradas Florestais. 2005. 329 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2005.

PINTO, C.S. Curso básico de mecânica dos solos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, Á. R. *et al.* Estradas Vicinais de Terra: Manual Técnico para Conservação e Recuperação. São Paulo: IPT, 1985. 129 p.

SAVAGE, P.F. Con-aid technology: The treatment of natural soil. Manual do produto. 2011.

SENÇO, W. de. Manual de Técnicas de Pavimentação. 1. ed. São Paulo: PINI, 2001. v. 2.

TISCOSKI, D. E; ARNS P. Tratamento permanente em solo argiloso com aditivo Con-Aid® CBRPLUS® da rua José Bartochack localizada em Içara – SC. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul - UNESC. 17 p. 2016.

Villibor, D. F. e Alves, D. M. L. (2017). Classificação de Solos Tropicais de Granulação Fina e Grossa. Revista Pavimentação, Ano XII, nº 43, p. 17 a 37. Ed: ABPv. Rio de Janeiro,RJ, BRASIL

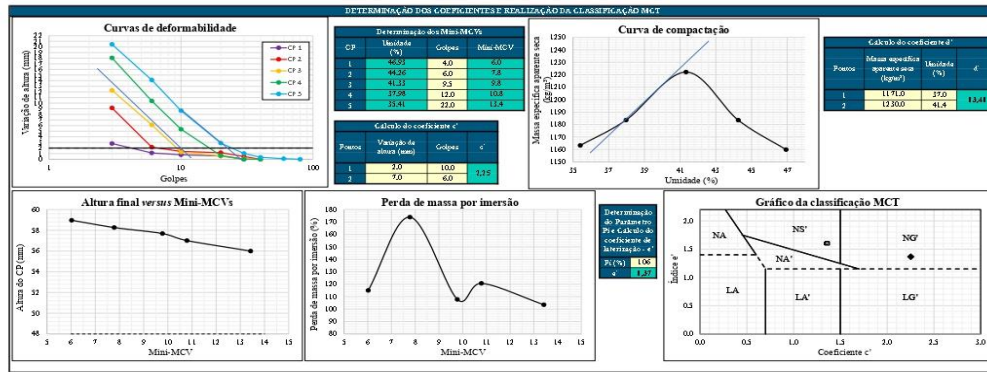
Villibor, D. F. e Alves, D. M. L. (2019). Pavimentação de Baixo Custo para Regiões Tropicais. Editora Tribo da Ilha, Florianópolis, SC, BRASIL. Disponível em <[Ebook Pavimentação de Baixo Custo \(portaldetecnologia.com.br\)](#)>, Acesso em: outubro 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Resultados dos Ensaios de Compactação Mini-MCV e de Perda de Massa por Imersão do solo 1

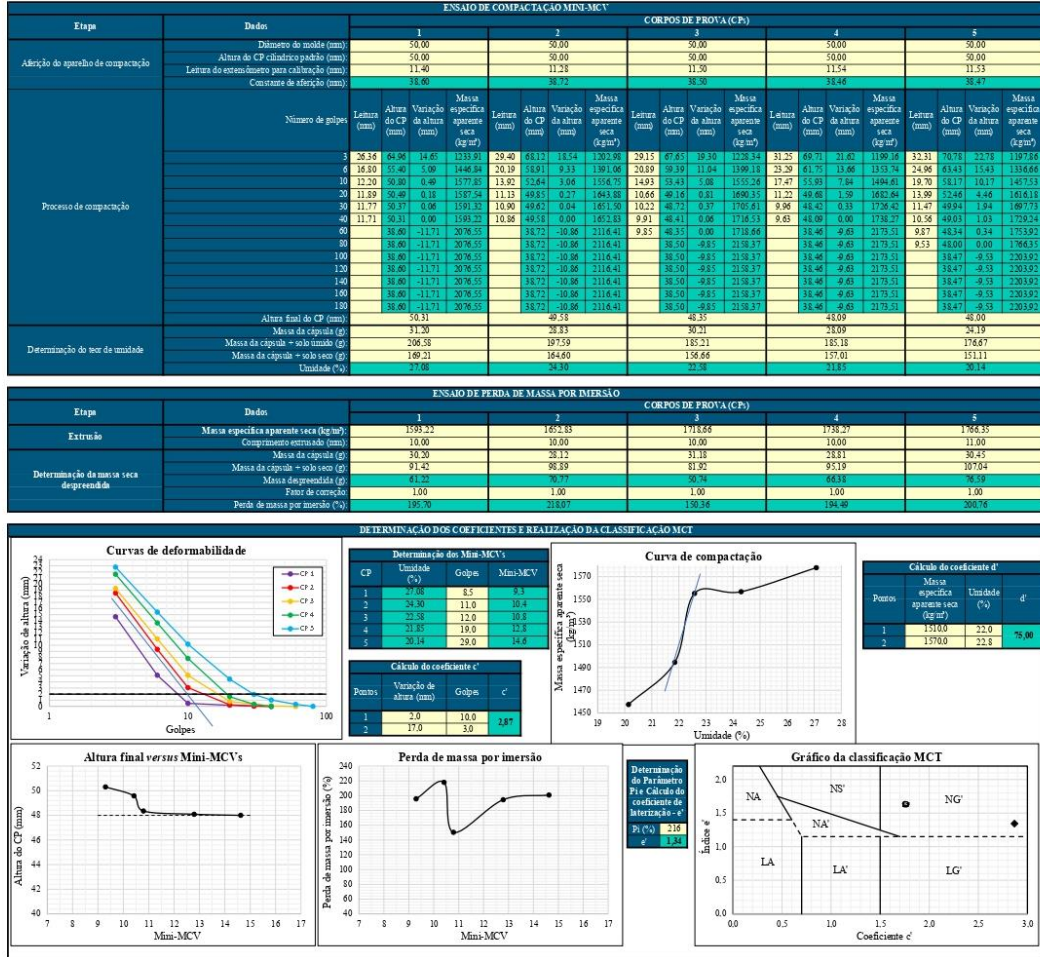
Etapas	Dados	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO MINI-MCV																																								
		1					2					3					4					5																				
		CORPO DE PROVA (Cp)					CORPO DE PROVA (Cp)					CORPO DE PROVA (Cp)					CORPO DE PROVA (Cp)					CORPO DE PROVA (Cp)																				
Adequação do aparelho de compactação	Diâmetro do molde (mm)	30,00																																								
	Altura do CP - cilíndrico padrão (mm)	30,00																																								
	Altura do molde para colarinho (mm)	30,00																																								
	Comprimento da altura (mm)	10,79																																								
Processo de compactação	Número de golpes	Altura do CP (mm)	Altura do molde (mm)	Vazão de água (mm)	Massa específica aparente seca (kg/m³)	Látex (mm)	Altura do CP (mm)	Altura do molde (mm)	Vazão de água (mm)	Massa específica aparente seca (kg/m³)	Látex (mm)	Altura do CP (mm)	Altura do molde (mm)	Vazão de água (mm)	Massa específica aparente seca (kg/m³)	Látex (mm)	Altura do CP (mm)	Altura do molde (mm)	Vazão de água (mm)	Massa específica aparente seca (kg/m³)																						
																					1	2	3	4	5																	
																					3	21,88	41,78	2,31	1123,20	28,29	47,41	2,14	1097,47	30,26	49,58	12,2	1029,83	33,46	51,07	15,06	932,90	37,43	56,47	20,47	923,70	
																					4	20,20	40,10	1,13	1183,40	21,20	40,42	2,13	1168,63	24,80	42,81	61,3	1129,28	28,19	47,40	10,39	1093,31	31,10	49,12	14,12	1079,79	
																					10	19,87	39,77	0,80	1159,40	20,24	39,66	1,29	1183,54	19,29	38,97	1,24	1222,14	22,16	40,27	3,38	1183,60	23,63	44,47	7,47	1162,20	
																					20	19,66	39,36	0,87	1163,21	20,21	39,44	1,17	1187,22	19,23	38,21	0,81	1234,84	18,47	37,68	0,67	1279,80	19,87	38,89	2,89	1197,36	
																					30	19,07	38,97	0,80	1179,26	19,24	38,76	0,49	1201,67	18,74	37,96	0,07	1247,76	17,81	37,04	0,03	1294,23	18,01	37,03	1,03	1319,02	
																					40	39,90	-19,07	1937,41	19,12	38,27	0,80	1211,77	18,67	37,60	0,00	1246,24	17,80	37,01	0,00	1294,20	17,31	36,33	0,33	1314,04		
																					60	39,90	-19,07	1937,41	19,12	38,13	0,15	1204,36	19,02	38,47	1,447,03	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21	
																					80	39,90	-19,07	1937,41	19,12	38,13	1,804,36	19,02	38,47	1,847,02	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21		
																					100	39,90	-19,07	1937,41	19,12	38,13	1,804,36	19,02	38,47	1,847,02	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21		
																					120	39,90	-19,07	1937,41	19,12	38,13	1,804,36	19,02	38,47	1,847,02	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21		
																					140	39,90	-19,07	1937,41	19,12	38,13	1,804,36	19,02	38,47	1,847,02	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21		
																					160	39,90	-19,07	1937,41	19,12	38,13	1,804,36	19,02	38,47	1,847,02	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21		
																					180	39,90	-19,07	1937,41	19,12	38,13	1,804,36	19,02	38,47	1,847,02	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21	37,80	1,843,79	19,21		
																					Determinação do teor de umidade	Altura final do CP (mm)	38,27																			
																						Massa de água (g)	204,10																			
																						Massa de água + solo seco (g)	188,09																			
																						Massa de água + solo seco (g)	146,20																			
																					Umidade (%)	Umidade (%)	10,92																			
Umidade (%)	10,92																																									

Etapas	Dados	ENSAIO DE PERDA DE MASSA POR IMERSÃO									
		1		2		3		4		5	
		CORPO DE PROVA (Cp)		CORPO DE PROVA (Cp)		CORPO DE PROVA (Cp)		CORPO DE PROVA (Cp)		CORPO DE PROVA (Cp)	
Estado	Massa específica aparente seca (kg/m³)	1175,36									
	Coeficiente de absorção (g)	10,00									
	Massa de água (g)	231,4									
	Massa de água + solo seco (g)	42,67									
Determinação da massa seca dependente	Massa dependente (g)	46,30									
	Fator de absorção	1,00									
	Fator de absorção	1,00									
	Perda de massa por imersão (%)	11,50									



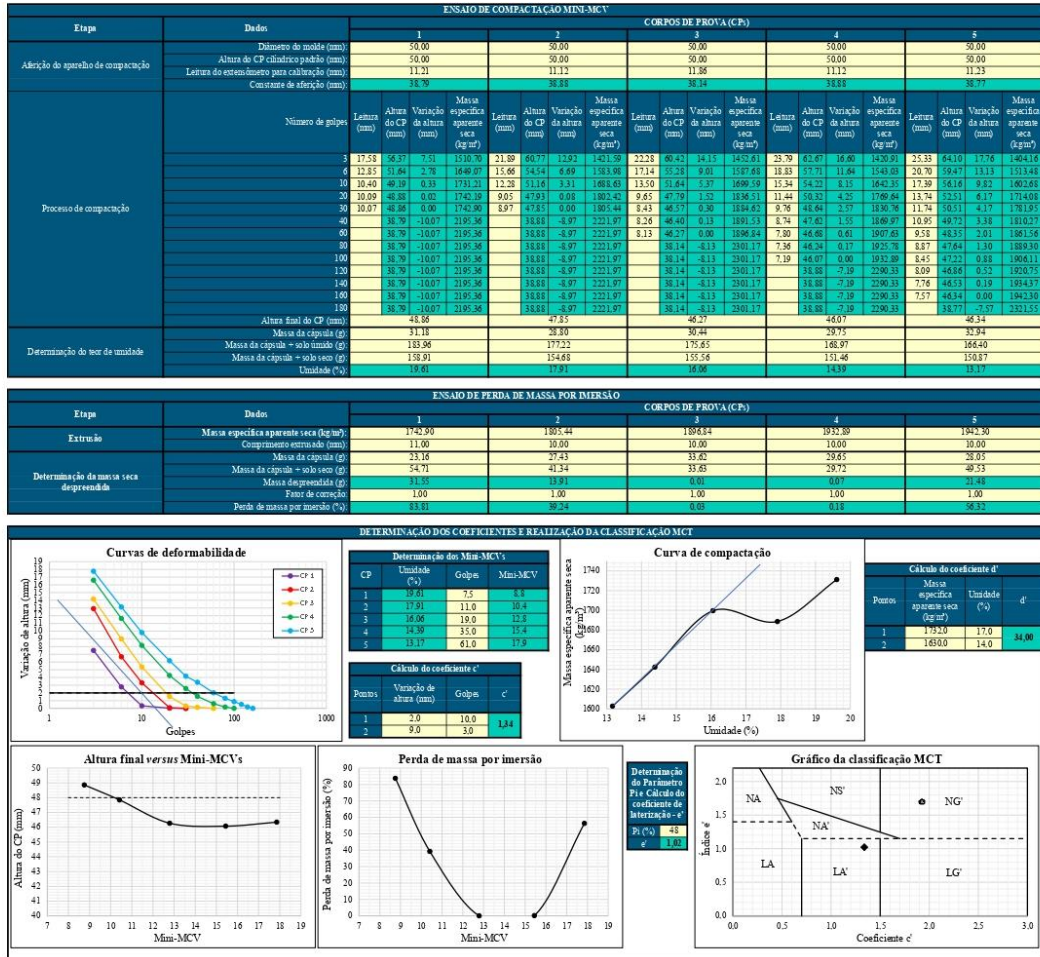
Fonte: Autor

APÊNDICE 2 – Resultados dos Ensaios de Compactação Mini-MCV e de Perda de Massa por Imersão do solo 2



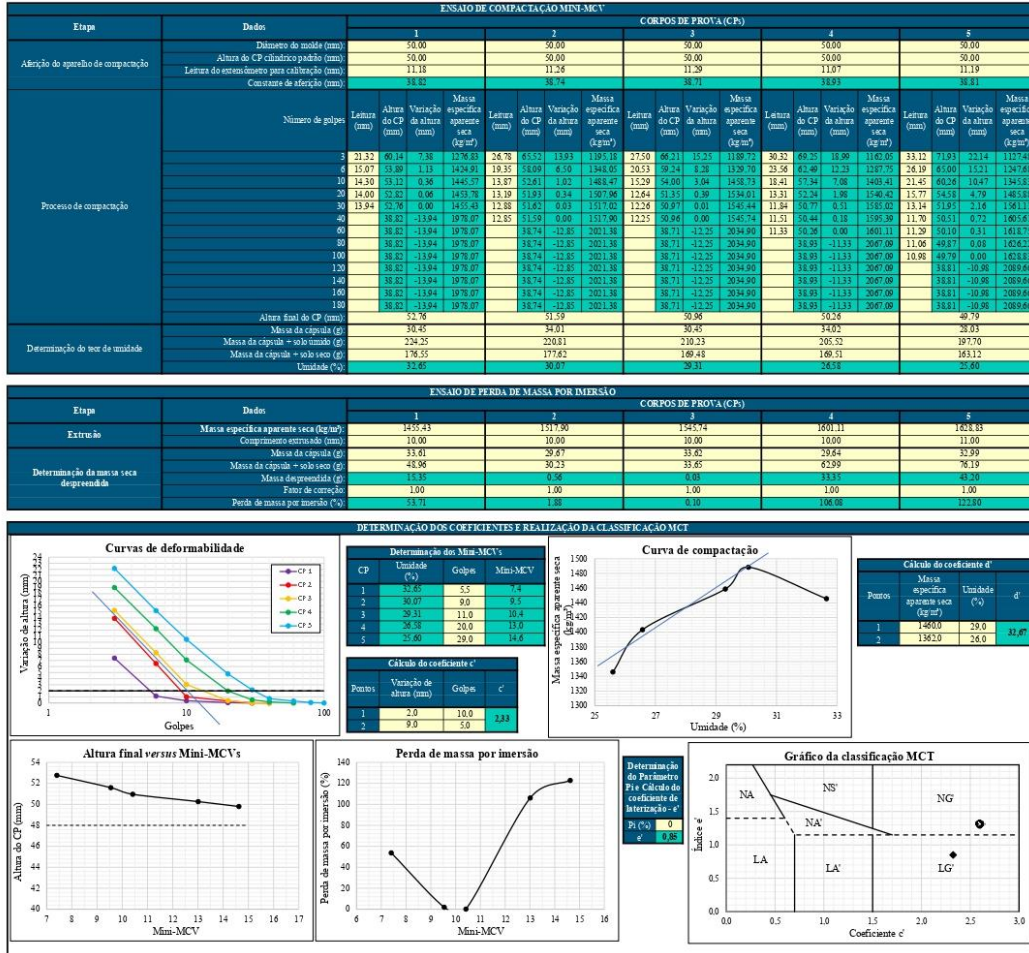
Fonte: Autor

APÊNDICE 3 – Resultados dos Ensaios de Compactação Mini-MCV e de Perda de Massa por Imersão do solo 3



Fonte: Autor

APÊNDICE 4 – Resultados dos Ensaios de Compactação Mini-MCV e de Perda de Massa por Imersão do solo 4



Fonte: Autor