



# Melhoramento de um Solo Residual Argiloso para Emprego em Pavimentos com Revestimento Primário com Uso de Aditivos Químicos

Andressa Abich

Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Brasil, andressaabich@mx2.unisc.br

Carolyn Cardoso Rodrigues

Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Brasil, carolynrodrigues@mx2.unisc.br

Leandro Olivio Nervis

Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Brasil, leandron@unisc.br

Vinicius Machado Dutra

Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Brasil, viniciusmd@mx2.unisc.br

**RESUMO:** Esta pesquisa teve por finalidade o desenvolvimento de alternativas viáveis dos pontos de vista técnico, econômico e ambiental para melhoramento de uma estrada de terra da cidade de Novo Xingu- RS, pelo fato desta se apresentar problemática, exigindo constantes manutenções que geram gastos e impactos ambientais excessivos, oriundos das escavações em áreas de empréstimo e assoreamento dos cursos pelo material desprendido, além dos poluentes gerados pelos equipamentos empregados. O estudo envolveu a retirada de uma amostra de solo e a realização de estudos experimentais com diferentes misturas melhoradas com aditivos que abrangeram ensaios voltados a Classificação MCT e de Cisalhamento Direto e o dimensionamento do pavimento empregando-se para tal a metodologia proposta por Nervis (2018). As quantidades e aditivos utilizados foram de 3% de Cal e de 0,003% e 0,006% de Con-Aid e promoveram acréscimos na resistência ao cisalhamento, mas não alteraram o grupo da Classificação MCT.

**PALAVRAS-CHAVE:** Melhoramento de Solos, Alternativas Viáveis, Estradas de Terra.

## 1 INTRODUÇÃO

Na engenharia há um conjunto de atividades que movem a economia, que procuram garantir o fornecimento de serviços básicos à sociedade, o desenvolvimento das cidades e o avanço na qualidade de vida das pessoas. Investir em infraestrutura é um dos pilares para o avanço dessas atividades e estimula o desenvolvimento de um país. Uma das bases da infraestrutura de um país são as rodovias, e o Brasil é mal dotado de rodovias pavimentadas, tendo as estradas de terra como parcela predominante dentro da

malha rodoviária nacional. Essas estradas interligam além de pequenas cidades, áreas rurais aos centros urbanos, e são de total importância pois são responsáveis pelo escoamento da produção agrícola, pelo fornecimento de serviços de saúde, educação e lazer às populações que residem nessas áreas, desta forma, são capazes de impactar em maior e menor escala na economia local e regional e por esta razão devem atender a satisfação de seus usuários, que têm o direito de trafegar com conforto e segurança por elas.



Apesar de se revelarem importantes, observa-se que grande maioria carece de manutenção adequada, dando surgimento à inúmeras patologias decorrentes do uso e do projeto falho. Dentro do contexto da sua conservação, pode-se notar o emprego de soluções que apresentam desempenho insatisfatório, repercutindo em constantes reparos e retrabalhos, os quais geram gastos e impactos ambientais excessivos, como escavações em áreas de empréstimo e assoreamento dos cursos d'água pelo material desprendido. Somado a isso, poluentes e custos são gerados na operacionalização dos trabalhos e em todo o ciclo de vida dos equipamentos empregados. Em decorrência dos fatos apresentados, é relevante o desenvolvimento de estudos e pesquisas para a descoberta de alternativas técnica, econômica e ambientalmente viáveis para o revestimento primário de estradas de terra.

A estrada de terra objeto deste estudo localiza-se na cidade de Novo Xingu, no norte do estado do Rio Grande do Sul, e apresenta um solo argiloso de comportamento laterítico (grupo LG' da classificação MCT), de origem basáltica. O presente trabalho propôs o melhoramento do solo com o uso de aditivos químicos (Cal e Con-Aid), com o objetivo de avaliar a sua influência na classificação MCT e na sua resistência mecânica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

O solo do experimento, retirado de uma estrada não pavimentada do município de Novo Xingu-RS, localizado na província geomorfológica do Planalto Meridional. O material, já estudado por Oliveira (2017), trata-se de um Latossolo de origem basáltica, de classificação MCT LG', proveniente do horizonte B do perfil, constituindo-se como o solo do subleito da estrada, e apresentou em seu volume de amostra a granulometria ilustrada na Figura 1. Além

disso, também são apresentadas a plasticidade e as classificações SUCSS e AASHTO.

Propriedades		Valores/Descrição
Granulometria	Pedregulho ( $2\text{mm} < \Phi \leq 60\text{mm}$ )	0%
	Areia ( $0,06\text{mm} < \Phi \leq 2\text{mm}$ )	2%
	Silte ( $0,002\text{mm} < \Phi \leq 0,06\text{mm}$ )	16%
	Argila ( $\Phi \leq 0,002\text{mm}$ )	82%
	Classificação Granulométrica segundo a NBR 6502:1995	Argila silty
Peso Específico dos Grãos - $\gamma_s$ ( $\text{kN/m}^3$ )		28
Plasticidade	Limite de Liquidez - LL	58%
	Limite de Plasticidade - LP	49%
	Índice de Plasticidade - IP	9%
	Classificação segundo Burmister (1949) <i>apud</i> Das (2011)	Solo de baixa plasticidade
Classificação SUCS		MH Silte de alta compressibilidade
Classificação da AASHTO		A-5 Solo silty

Figura 1. Granulometria, Plasticidade e Classificações SUCS e AASHTO. Fonte: Oliveira (2017).

Os materiais utilizados para a realização da pesquisa, além do solo, foram Con-Aid e Cal. Para a mistura de Solo+Con-Aid, a quantidade de aditivo químico acrescida à amostra foi uma solução de 1% de água+Con-Aid para os ensaios de Cisalhamento Direto e Classificação MCT. Foram experimentadas duas soluções com quantidades diferentes de Con-Aid aplicadas nas amostras, sendo uma de 0,003% e outra de 0,006%, pois conforme recomendações do fabricante, deve-se obedecer a proporção média de 50 litros do produto para aplicação em cada 10000 m<sup>2</sup> de área, diluído em água na proporção de 1:1000. Segundo o fabricante do estabilizador iônico, o produto é responsável pela mudança da propriedade de absorção de água do solo, alterando de hidrófila (afinidade por água) para hidrófoba (repelente de água). Por sua característica de repelir a umidade do solo, ele é indicado para solos argilosos/coesivos, pois estes reagem com o produto, estabilizando e reacomodando suas partículas (aumento da



densidade), após a compactação. Portanto, foi escolhido para ser misturado às amostras do solo argiloso, objeto deste estudo, e, em consequência dos resultados, ser uma possível solução para o melhoramento do solo da estrada rural de Novo Xingu, escolhida para este trabalho.

Para a mistura de Solo+Cal, a quantidade de aditivo químico acrescida à amostra foi de 3% para os ensaios de Cisalhamento Direto e Classificação MCT. De acordo com Azevêdo (2010), a estabilização do solo com cal corrige a expansibilidade e umidade excessiva, pois em solos argilosos ocorre a troca de íons e floculação, reação cimentante pozolânica e carbonatação, e, dessa forma o solo adquire resistência às cargas geradas pelo tráfego. Assim como o Con-Aid, este aditivo foi escolhido para ser misturado às amostras e visualizar seu comportamento nos ensaios, sendo uma possível solução para o melhoramento do solo estudado.

## 2.1 Métodos

Para as metodologias utilizadas neste trabalho houve a mistura de Solo+Cal, necessitando de uma cura de 3 dias e a mistura de Solo+Con-Aid, necessitando de 2 dias de preparação prévia e somados a estes, mais 7 dias de cura.

O procedimento para Classificação dos Solos Tropicais tem base na Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), e para utilização deste método é necessária a consulta das instruções da norma rodoviária DNER-ME 258/94. Essa metodologia se fundamenta em determinar as propriedades do solo em corpos-de-prova compactados, de dimensões 50 mm de diâmetro e 130 mm de altura, onde são separadas 1500 gramas de solo passantes na peneira 2,0 mm seco em estufa e subdivididos em 5 amostras de 300 gramas cada, acrescentando porcentagens de água destilada em teores crescentes. A compactação é realizada aplicando-se golpes em série: 1, 2, 3, 4, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 e 256. A cada intervalo de golpes é verificada a leitura do extensômetro. Quando observada a exsudação de água, atingido o limite

de 256 golpes ou quando a diferença entre a leitura obtida for menor que 2mm, o ensaio deve ser interrompido. Após este procedimento os corpos de prova são parcialmente extraídos, com o propósito de restar uma saliência de aproximadamente 10mm e, em seguida, são imersos horizontalmente em água, sobre uma cápsula para coletar a massa desprendida, para posterior cálculo da perda de Massa por Imersão. Após 24 horas de imersão, o solo desprendido deve ser submetido à secagem em estufa e pesado para obtenção dos dados para seguir com os traçados dos gráficos de Curvas Mini-MCV, Curvas de compactação e Perda de massa por imersão. A partir destes gráficos obtêm-se os coeficientes  $c'$  (coeficiente angular da parte mais inclinada e retilínea da curva Mini-MCV),  $d'$  (coeficiente angular da parte retilínea mais inclinada do ramo seco da curva de compactação) e  $e'$  (índice de laterização, calculado aplicando-se a Equação 1.

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (1)$$

Onde:

$e'$  = Parâmetro classificatório

$P_i$  = Perda de massa por imersão em %

$d'$  = coeficiente angular da parte retilínea mais inclinada do ramo seco da curva de compactação.

O ensaio de Cisalhamento Direto segue as diretrizes da norma americana ASTM D3080 e é utilizado para obter as coordenadas de pontos da envoltória de resistência de Mohr-Colomb onde será interpretada uma reta para a obtenção dos valores de ângulo de atrito ( $\phi$ ) e coesão ( $c$ ). Sua realização consiste num equipamento que possibilita o deslizamento das duas metades do corpo-de-prova entre si. A princípio, aplica-se uma força  $N$  e após, uma força  $T$  crescente. A partir da relação entre as forças e a área transversal do corpo-de-prova determina-se para cada tensão normal ( $\sigma$ ) o valor da tensão cisalhante ( $\tau$ ) necessária que cria a deformação do corpo-de-prova até a ruptura. A curva tensão-



deformação é construída executando-se o ensaio sob tensão vertical constante e medindo a tensão cisalhante correspondente a cada deformação horizontal aplicada ao corpo-de-prova. Segundo Das (2011), executa-se a ruptura de diversas amostras para obter diferentes pares de tensões que fornecerão os valores de ângulo de atrito ( $\phi$ ) e coesão ( $c$ ). Com estes valores é possível calcular a resistência ao cisalhamento do solo ( $\tau$ ) aplicando-se a Equação 2, conhecida como equação de ruptura de Mohr-Coulomb.

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi \quad (2)$$

Onde:

$c$ : coesão do solo;

$\sigma'$ : tensão efetiva;

$\phi$ : ângulo de atrito interno do solo.

O ensaio de Cisalhamento Direto foi realizado em condições normais para ambas as misturas e também na condição inundada, buscando-se simular a exposição da estrada a condições de drenagens inadequadas. As tensões normais aplicadas nos corpos de prova para obter as coordenadas Tensão Normal e Tensão Cisalhante, assimiladas na reta, foram de 50, 150 e 250 kPa.

Para o dimensionamento do revestimento foi utilizada a metodologia Nervis (2018), fundamentada nos conceitos da Teoria da Elasticidade, Mecânica dos Solos e Mecânica dos Pavimentos. Assim como o autor definiu em seu trabalho, esta metodologia determina as espessuras das camadas a serem utilizadas para o revestimento, a partir dos resultados de ensaios triaxiais, cisalhamento direto, compressão simples e compressão diametral, de forma que este resista às cargas verticais aplicadas, evitando a sua ruptura e reduzindo deformações permanentes acumuladas. O método também analisa a capacidade do revestimento resistir aos esforços horizontais.

A coesão e ângulo de atrito das camadas, obtidos a partir do ensaio de cisalhamento direto, foram os parâmetros experimentais utilizados para o dimensionamento do revestimento,

considerando a capacidade média de suporte do subleito, com 20000 passagens de veículos (eixo padrão) e oferecendo aproximadamente 4 anos de vida útil para a via rural, com Fator de Segurança igual a 2.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos da Universidade de Santa Cruz do Sul.

### 3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em relação aos ensaios de Classificação MCT tanto para a mistura de Solo+Cal e para as misturas Solo+Con-aid (0,003% e 0,006%), não houve alterações no grupo de classificação, permanecendo todos no grupo LG' (solo laterítico argiloso). A Figura 2 apresenta o gráfico que relaciona os coeficientes  $c'$  e  $e'$  obtidos para classificação MCT do Solo, Solo+Cal e Solo+ Con-Aid.

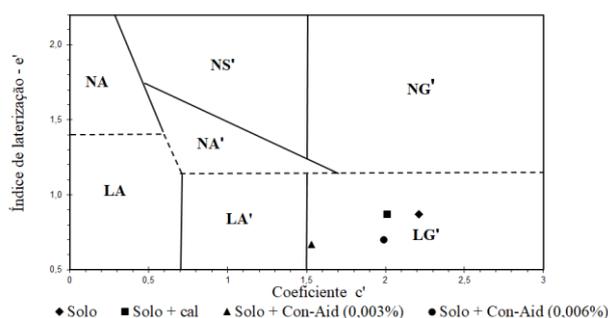


Figura 2. Classificação MCT.

O intuito de experimentar diferentes porcentagens de Con-Aid foi a tentativa de tornar o solo pertencente ao grupo LA', um solo laterítico arenoso, areias argilosas ou argilas arenosas. O propósito desta tentativa é devido ao fato de que solos do grupo LG' são argilas, as quais apresentam problemas de aderência em dias chuvosos. Por isso, solos desse grupo são indicados como segunda prioridade de emprego como revestimento primário, exigindo medidas para correção da aderência, como o agulhamento



de uma esbelta camada de material granular como pedrisco, sugerido por Oliveira (2017).

A Figura 3 apresenta o gráfico que relaciona os valores de Tensão Cisalhante e Tensão Normal para solo sem adições, nas quais o subleito apresentou parâmetros de resistência equivalentes à argila compactada na energia intermediária e na energia normal, ambos com camada superficial de natureza mais frágil, e para cada solo com adição de estabilizante, sendo possível a comparação entre eles.

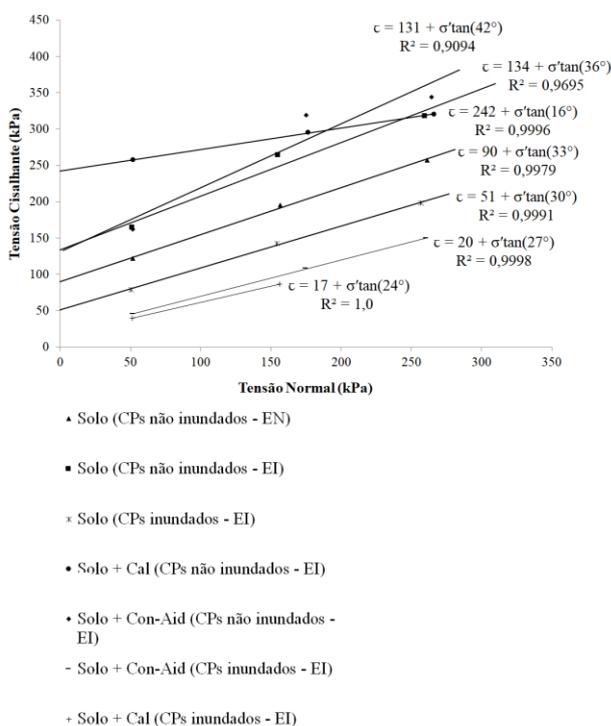


Figura 3. Resultados Cisalhamento Direto.

Quanto aos ensaios de Cisalhamento Direto, na mistura Solo+Cal, observou-se um acréscimo de resistência apenas para os corpos-de-prova não inundados, pois houve um aumento do intercepto de coesão. Para a mistura Solo+Con-Aid, houve acréscimos devido à um aumento no ângulo de atrito para os corpos-de-prova Solo+Con-Aid não inundados. Porém, para ambas as misturas com os corpos-de-prova inundados, simulando o solo saturado, os

resultados foram inferiores aos do solo sem adição de estabilizante.

Ao analisar o gráfico e os estudos realizados para este trabalho, pode-se apontar a melhor solução como sendo a mistura de Solo+Cal, pois esta apresenta a melhor resistência ao Cisalhamento Direto para os níveis de tensão de interesse, nas condições normais do solo, necessitando de boa solução de drenagem para não perder suas propriedades em casos de ocorrência de saturação do solo.

Portanto, para esta mistura, foram realizadas simulações de dimensionamento a partir da metodologia simplificada de Nervis, e assim, foram consideradas duas hipóteses que atendem aos critérios de resistência, boa aderência e viabilidade econômica, técnica e ambiental. Na primeira hipótese, assume-se o subleito com parâmetros de resistência equivalentes ao solo compactado na energia normal, criando acima deste uma camada de 50 cm de solo com adição proporcional de 3% de Cal, compactada na energia intermediária. Sugere-se importar material das laterais da via para executar esta camada. Para o revestimento, foi indicada a execução de uma camada de 45 cm de argila compactada na energia intermediária, conforme ilustrado na Figura 4. Para melhorar a aderência, deve ser realizado o agulhamento de uma esbelta camada de material granular como pedrisco.



Figura 4. Primeira Hipótese.



Para a segunda hipótese assume-se o subleito com parâmetros de resistência equivalentes ao solo compactado na energia intermediária. Para criar a camada de base sugere-se realizar uma escavação de 30 cm no subleito e adicionar ao material in situ 3% de Cal proporcionais ao volume de solo e compactar na energia intermediária. Acima desta, adicionar uma camada de 20 cm de solo importado das laterais da via com adição de 3% de Cal e compactar na energia intermediária. Para o revestimento, executar uma camada de 45 cm de argila compactada na energia intermediária, conforme ilustrado na Figura 5. Assim como a primeira hipótese, sugere-se o agulhamento de uma esbelta camada de material granular como pedrisco, para melhorar as condições de aderência.

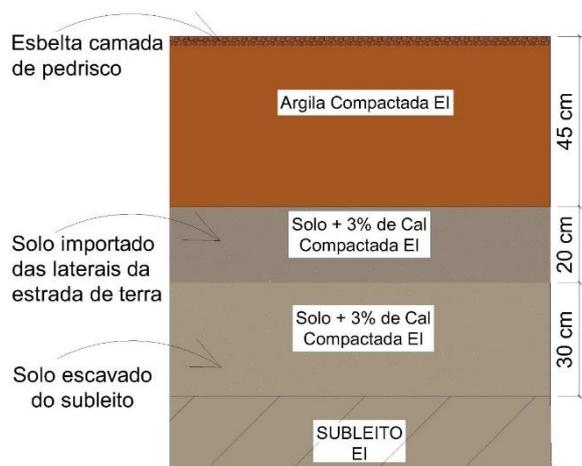


Figura 5. Segunda Hipótese.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Responsáveis por movimentar a economia local e regional de pequenas cidades permitindo fluxo da população, acesso aos serviços essenciais e a saída das produções rurais, compreende-se a influência e importância das estradas de terra que por muitas vezes carecem de manutenção e se apresentam problemáticas, sendo necessária a

realização de serviços de melhoria das propriedades do solo, como a estabilidade e resistência, para reduzir o desprendimento e transporte de sedimentos e dar condições satisfatórias de rolamento aos usuários.

O município de Novo Xingu expôs a necessidade de desenvolver soluções adequadas, dentro das possibilidades de ação e recursos dos órgãos competentes, ao menor impacto ambiental possível, para aperfeiçoar a estabilidade e resistência de suas estradas rurais, assim como procurou tratar este estudo: com o melhoramento do solo da utilizando-se aditivos químicos.

Durante os estudos buscou-se uma mistura de solo com estabilizante químico que alterasse o grupo da classificação MCT, de LG' para LA', para melhorar as condições do solo frente à drenagem das precipitações, e que promovesse aumento de resistência ao cisalhamento para evitar desprendimento de materiais e a formação de cavidades nas faixas da via. As misturas do solo propostas pela pesquisa foram de 3% de Cal e 0,003% de Con-Aid, e a comparação de seus comportamentos ao realizar os ensaios de Cisalhamento Direto e a Classificação MCT resultou na escolha que ofereceu a melhor resistência ao cisalhamento, pelo fato de não terem alterado o grupo de classificação, permanecendo todas no grupo LG'. Desta forma, com base no que foi apresentado, a melhor solução encontrada é a mistura de solo com 3% de Cal, pois comparando-a às outras misturas, esta ofereceu maior resistência no ensaio de Cisalhamento Direto, nas condições normais do solo. Aplicada na prática, esta mistura necessita de uma solução de drenagem para não perder suas propriedades durante precipitações. Ao final, para aprimorar este trabalho, utilizando o método desenvolvido por Nervis (2018), foram expostas duas hipóteses que podem ser adotadas na prática e que descrevem as camadas e espessuras a serem utilizadas, facilitando o entendimento do estudo.

Com fundamentação no que foi exposto durante o trabalho, foi verificado que as adições



de estabilizantes químicos beneficiam e modificam as propriedades do solo, permitindo seu aperfeiçoamento. O acréscimo na resistência e estabilidade promove menor desprendimento e transporte dos sedimentos, reduzindo aberturas e formação de “panelas” e desta forma, reduz manutenções e dá melhores condições de rolamento para os usuários. Portanto, os estudos nesta área revelam-se importantes para auxiliar no desenvolvimento, na qualidade e valorização das cidades.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 2016.  
Nervis, Leandro Olivio. *Proposta de metodologia simplificada para o dimensionamento de pavimentos com revestimento primário*. Revista Transportes, v. 26, n. 1, mar./abr., 2018.

## REFERÊNCIAS

- American Society For Testing And Materials. ASTM D 3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Philadelphia, 2004. Janeiro, v.1, p.35-45
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6502: Solos e Rochas - Terminologia. Rio de Janeiro, 1995. 18p.
- Azevêdo, A.L.C. (2010) *Estabilização de solos com adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal*, Dissertação de Mestrado Profissional, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica, Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, 114 p. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2281>>. Acesso em: 13 março 2019.
- Con-aid. Desenvolvido pela Empresa Con-Aid Brasil. 2007-2017. Apresenta informações gerais sobre o produto Con-Aid®/CBR-Plus®. Disponível em: <<http://www.conaid.com.br/index.php?menu=home>>. Acesso em: 09 março 2019.
- Das, Braja M. Fundamentos de engenharia geotécnica. 2. Ed. São Paulo: Cengage, 2011.
- Departamento Nacional De Estradas De Rodagem. DNER-ME 258/94: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV. Norma rodoviária, 1994.
- Oliveira, Júlia Kappaun de. *Estudo do comportamento de misturas solo-agregado como revestimento primário de estradas rurais*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11624/2066>>. Acesso em: 04 maio 2019.
- Nervis, Leandro Olivio. *Identificação e discussão dos mecanismos de degradação de pavimentos com revestimento primário*. 2016. Tese (Doutorado) –