

ESTUDO DE MELHORAMENTO DO SOLO DE UMA ESTRADA VICINAL DE SÃO LOURENÇO DO SUL/RS EMPREGANDO O MÉTODO EXPEDITO DAS PASTILHAS

Vanessa Neunfeld

Engenheira Civil formada pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas
vaneunfeld@gmail.com

Priscila Mathias Milech

Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas
priscila.milech@gmail.com

Otávio Kickhöfel da Fonseca

Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas
otaviokfonseca@gmail.com

Klaus Machado Theisen

Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas
theisenkm@yahoo.com.br

Resumo. *Apresenta-se um estudo de melhoramento do solo da Alameda Mano Serpa, estrada vicinal de São Lourenço do Sul/RS. Conceitos sobre estradas vicinais, classificação MCT expedita, tipos e patologias de/em estradas vicinais e técnicas de melhoramento de solos são apresentados. Após, descreve-se a coleta das amostras de solo em doze pontos distintos da estrada, dividida em quatro trechos, nelas realizando-se ensaios de granulometria, limites de Atterberg, além de ensaios de contração e saturação de pastilhas para classificação MCT expedita. Após, testou-se alternativas para melhoramento do solo com misturas de cimento (0 a 2% em massa) e/ou solo laterítico (25 e 50% em massa), em ensaios de contração e saturação de pastilhas. As amostras enquadraram-se quase totalmente como Areias Siltosas, todas de comportamento não-laterítico. Obteve-se 2% de cimento com 25% de solo laterítico como solução de melhoramento da via, além de possível aumento da permeabilidade dos solos estabilizados com 2% de cimento.*

Palavras-chave: *melhoramento de solos, estradas vicinais, classificação MCT expedita.*

1. INTRODUÇÃO

O modal rodoviário tem grande importância no contexto nacional, pois segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2016), cerca de 90% do transporte de pessoas e 65% do transporte de cargas realizado no território nacional é feito via modal rodoviário. Em outro levantamento (CNT, 2017), verifica-se que do total da malha viária brasileira, apenas 12,2% é pavimentada. Segundo o DNIT (2013), na rede rodoviária nacional, cerca de 80% são vias não pavimentadas. Ademais, com relação às vias não pavimentadas, cerca de 91% são administradas pelos municípios, 8% pelos governos estaduais e 1% pelo governo federal. Visto que grande parte da malha viária se constitui de estradas não pavimentadas, sendo boa parte estradas vicinais e que geralmente são de responsabilidade dos municípios onde estão situadas, muitas vezes não há recursos para a pavimentação das mesmas. Ainda, muitas vezes a falta de conhecimento técnico conduz a gastos desnecessários com tentativas de melhoramento executadas nessas estradas.

Assim, é de grande importância que estudos sejam feitos com o intuito de apontar

métodos de melhoramento dos solos, podendo contribuir para o sistema de correção e manutenção dessas vias. O conhecimento dos solos, análise das patologias observadas, associados às técnicas de melhoramento empregadas poderão conduzir a uma manutenção com resultados benéficos, permitindo a melhoria e desenvolvimento dos locais onde as estradas atendem. Maztembacher (2014) apresentou soluções para uma estrada vicinal em Giruá/RS, onde realizou-se estudos e ensaios com amostras de solo, com métodos relativamente simples e que foram bem-sucedidos, baseados no Método das Pastilhas, oriundo da classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical) expedita de Nogami e Villibor (1994), facilmente empregável por prefeituras para inferir as propriedades geotécnicas de solos a serem empregados na pavimentação.

O contexto descrito aplica-se à grande maioria dos municípios brasileiros, entre eles São Lourenço do Sul. Uma das principais vias não pavimentadas do município, a Alameda Mano Serpa, é de fundamental importância econômica ao município e aos usuários dessa via. Nela, a principal manifestação patológica presente é buracos, observando-se também ondulações transversais à estrada.

Assim, o objetivo geral do trabalho é propor uma solução de melhoramento da Alameda Mano Serpa São Lourenço do Sul/RS, utilizando técnicas de melhoramento de solos baseadas no Método das Pastilhas de Nogami e Villibor (1994). Como objetivos específicos, foram estabelecidos os seguintes:

- Classificar o tipo de solo local através de ensaios de granulometria, limites de Atterberg e através da metodologia MCT expedita de Nogami e Villibor (1994);
- Através de ensaios de classificação e caracterização do solo, apontar soluções de melhoramento do solo da estrada viáveis executivamente;

- Identificar e sugerir, através de ensaios de pastilhas da metodologia MCT expedita de Nogami e Villibor (1994), dosagens para a estabilização do solo com adições de solo laterítico e cimento mais adequado, visando obter parâmetros do solo melhorado característicos de solo laterítico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estradas não pavimentadas

Segundo Eaton *et al.* (1987), estradas não pavimentadas são as que não contém concreto, revestimento asfáltico ou outro tipo de tratamento em sua superfície. Geralmente são estradas rurais, importantes nas esferas sociais e econômicas do país, sendo responsáveis ao acesso da população rural às atividades dos centros urbanos e por grande parte do escoamento da produção agrícola. Viviani (1998) relata que as manutenções são feitas de forma empírica, sem qualquer planejamento, por municípios que enfrentam situações técnica e economicamente precárias. Segundo Agg (1957), essas estradas admitem somente volume de tráfego reduzido, possibilitando acesso a zonas não atendidas pelas malhas rodoviárias principais. Apesar de possuir grande importância, tais estradas não recebem grandes investimentos, sendo conservadas apenas com correções mínimas. As estradas não pavimentadas usualmente são executadas seguindo a topografia local, dispensando serviços de terraplanagem, sendo realizadas sem necessidade de altos investimentos. Como não há grandes movimentações de terra, também há pouco impacto ambiental.

Quanto ao tipo de revestimento, Baesso e Gonçalves (2003) classificam as estradas não pavimentadas em categorias, sendo elas:

- Categoria A: estradas com a superfície de rolamento composta por agregados

naturais, como cascalho, seixo rolado, pedregulhos, etc;

- Categoria B: estradas com a superfície de rolamento composta por agregados artificiais, oriundos de britagem;
- Categoria C: estradas com a superfície de rolamento composta de materiais oriundos de jazidas de solos estabilizados naturalmente (saibros);
- Categoria D: estradas com a superfície de rolamento composta dos materiais de seu próprio leito natural, sem a adição de materiais inertes.

2.2 Manifestações patológicas em estradas não pavimentadas

As estradas não pavimentadas possuem alto índice de deterioração associada a diversos fatores, como falta de manutenção, tráfego de veículos com excesso de peso, chuvas excessivas e erros construtivos. Para Santos *et al.* (1988), os problemas mais comuns em estradas não pavimentadas são:

- Ondulações, rodeiros e atoleiros: as causas principais desses problemas são a falta de capacidade do subleito e a deficiência no sistema de drenagem. Uma das patologias oriundas dessa manifestação patológica é a trilha de rodas, conforme Figura 1.
- Areiões de espigão: plataforma tomada por camada de areia solta que, em tempo seco, torna-se sério problema para a continuidade e segurança do tráfego. É comum em regiões de solos arenosos, onde é irrisória ou inexistente a ação do componente ligante (solo fino coesivo) e pela ação combinada do tráfego e da lavagem do material pela água de chuva.
- Areiões de baixada: comum em regiões de solos arenosos. A principal causa dessa manifestação patológica é a areia trazida por água proveniente dos trechos altos adjacentes.



Figura 1. Trilhas de roda (BAESSO E GONÇALVES, 2003)

- Excesso de pó na pista: dá-se pela abundância de material fino solto no leito da estrada, que forma nuvens de poeira na época de seca, como visto na Figura 2.



Figura 2. Excesso de pó na pista (BAESSO E GONÇALVES, 2003)

- Rocha aflorante: exposição do leito rochoso, como visto na Figura 3, que acontece em regiões onde a camada de solo é pouco espessa ou onde ocorre grande quantidade de blocos disseminados no solo, a ação de processos erosivos ou a constante patrolagem.
- Pista molhada derrapante: ocorre em trechos com solo predominantemente argiloso quando molhados, que ficam praticamente sem atrito e aderência, tornando-se escorregadios. Um exemplo da patologia é visto na Figura 4.



Figura 3. Rocha aflorante em estrada (SILVA *et al.* 2017)



Figura 5. Ondulações longitudinais (PARKER, 2012)



Figura 4. Pista molhada derrapante (<https://gcn.net.br>, 2011)

- Pista seca derrapante: acontece em casos onde o “encascalhamento” foi feito com material granular de qualquer dimensão sem ligante. Ocorre também em terrenos onde o leito natural é formado por material granular ou pedras pequenas, ou através da deterioração de um tratamento primário mal executado, pobre em ligante.
- Ondulações longitudinais: ocorrem geralmente onde o leito foi “encascalhado” com material granular de dimensões em geral entre 5 e 10mm sem ligante. O tráfego vai acumulando o material em ondulações longitudinais à estrada, como visto na Figura 5, causando trepidação nos veículos.

- Segregação lateral: quando um material granular de qualquer dimensão, superficial, sem ligante, é lançado pelo tráfego para as laterais da estrada.
- Erosões em ravina: causada pela falta ou deficiência de sistema de drenagem adequado. Surgem, inicialmente, na forma de sulcos onde os solos tem baixa resistência à erosão e, sob ação de enxurradas, evoluem para grandes ravimentos. Há casos onde as erosões chegam até o nível do lençol freático, que passa a participar do processo erosivo.

2.3 Classificação MCT Expedita (NOGAMI E VILLIBOR, 1994)

No Brasil, a metodologia idealizada por Nogami e Villibor (1981), chamada de Classificação MCT (Miniatura Compactado Tropical), buscou solucionar lacunas deixadas pelos demais métodos em relação aos solos residuais tropicais e tem se demonstrado eficiente para classificar os solos tropicais de comportamento laterítico e não-laterítico. Segundo D'Ávila (2003), entre os horizontes pedogenéticos A e B, o horizonte B recebe a designação de solo laterítico, com solos evoluídos pedogeneticamente, sem vestígios da estrutura da rocha matriz, podendo atingir vários metros de espessura. Ainda segundo

D'Ávila (2003), os solos não-lateríticos abrangem solos do horizonte pedogenético C (saprolítico), oriundos do intemperismo, não evoluídos pedogeneticamente e que podem ter espessura significativa, além dos solos transportados, que são os sedimentados por agentes transportadores, localizados em zonas de deposição recentes, normalmente zonas mal drenadas e de ambiente saturado.

A classificação MCT consiste em analisar o comportamento dos solos tropicais por ensaios que reproduzem as condições reais de camadas de solos tropicais compactados, obtendo características geotécnicas que traduzem o comportamento dos solos tropicais no campo, baseada nos ensaios Mini-MCV (DNER, 1994). Porém, na intenção de tornar o método de classificação mais simples, prático e barato, Nogami e Villibor (1994) desenvolveram o método expedito das pastilhas, que consiste na moldagem de pastilhas em anéis, que após secagem têm sua contração diametral, fenômeno observado nas pastilhas na Figura 6, medida.



Figura 6. Contração diametral em pastilhas

Após, as pastilhas são submetidas a absorção de água, nota-se o surgimento de trincas e/ou expansão. Determina-se a resistência à penetração com uso de penetrômetro padrão, conforme Figura 7. Em função da contração diametral e da penetração após 24h de absorção de água, o solo é classificado conforme visto na Figura 8.

Embora simples, prático e barato, o método das pastilhas não é preciso em definir o grupo da classificação MCT que o solo se

enquadra. As áreas na Figura 8 cujas classificações estão separadas por hífen denotam 50% de chance de classificação em cada um dos grupos indicados, enquanto que as áreas cujas classificações estão separadas por barra denotam maior propensão à classificação indicada à esquerda.



Figura 7. Medida de resistência à penetração (D'ÁVILA *et al.*, 2008)

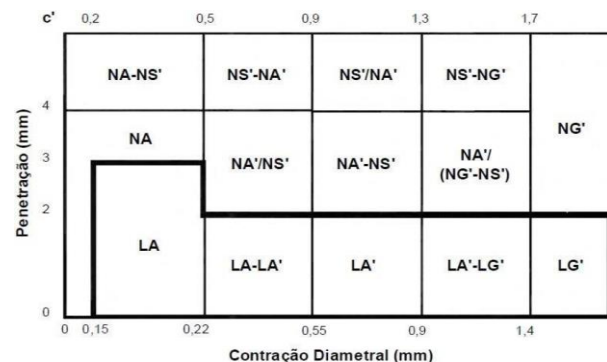


Figura 8. Classificação MCT pelo método das pastilhas (NOGAMI E VILLIBOR, 1994)

2.4 Tipos de melhoramentos de solos

Estabilização ou melhoramento de solos envolvem uso de aditivos químicos em solos fracos para melhorar propriedades como compressibilidade, resistência, permeabilidade

e durabilidade (MAKUSA, 2012). Além de aditivos químicos, é possível estabilizar solos com outro solo de melhores características. A escolha do tipo de estabilização depende das propriedades do solo a corrigir qual uso o solo será destinado. Os tipos de estabilização são os seguintes:

- Compactação: processo manual ou mecânico (estático, vibração ou impacto) para reduzir o índice de vazios do solo, visando melhoria de propriedades. Com a diminuição do índice de vazios, ocorre redução da variação dos teores de umidade, da compressibilidade e da permeabilidade, além de aumento da resistência ao cisalhamento e à erosão;
- Mistura de solos: adição ao solo de outro com granulometria geralmente diferente, corrigindo propriedades deficientes do solo original. Por exemplo, Balbo (2007) afirma que o uso de um solo com características ou propriedades para fins de pavimentação insatisfatórias, poderá ocorrer com emprego de procedimentos de melhoria do solo com agregados, denominada mistura solo-agregado;
- Estabilização química: adição de aditivos químicos ao solo, melhorando propriedades de resistência mecânica, permeabilidade e deformabilidade, havendo reações entre os minerais do solo com o aditivo ou com a constituição dos poros através do produto de reação química do aditivo com a água. Os aditivos para estabilização química mais comuns são o cimento (solo-cimento) e a cal (solo-cal).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Alameda Mano Serpa: localização e amostragem de material

A estrada ou Alameda Mano Serpa possui em torno de 1,9km de extensão e localiza-se

entre o centro da cidade de São Lourenço do Sul/RS e o Camping Municipal, sendo o único trajeto de estrada utilizado por visitantes do camping, que possui capacidade de ocupação de até 2250 usuários. O trajeto é também utilizado pelo público dos eventos que ocorrem no Galpão Crioulo da cidade, local de eventos importantes da cidade e região e também da Fazenda do Sobrado, de grande importância histórica para a cidade que atua como museu e salão de festas onde são realizados eventos privados.

Na estrada, um revestimento arenoso com algumas manifestações patológicas (ondulações longitudinais e formação de ravinas) é notado em registros fotográficos como os das Figuras 9 e 10.



Figura 9. Ondulações longitudinais observadas na Alameda Mano Serpa (autores, 2018)



Figura 10. Formação de ravinas observadas na Alameda Mano Serpa (autores, 2018)

As amostras foram coletadas em diferentes trechos ao longo da estrada considerando a possível diferença na formação do solo em função do arroio que corre próximo à mesma, sendo que em alguns locais a parte lateral da via faz margem ao arroio. Considerou-se quatro trechos distintos, conforme Figura 9, onde as amostras foram recolhidas ao longo de cada trecho (30cm de profundidade a partir da superfície), sendo recolhidas três amostras em cada um, totalizando doze amostras ao longo da estrada. Os trechos de amostragem são:

- Primeiro trecho: situa-se no começo da via, trecho reto antes da primeira curva do arroio junto à via, possuindo em torno de 350m. No trecho, foram colhidas as amostras 1, 2 e 3;
- Segundo trecho: na primeira curva do arroio junto à via, possuindo cerca de 400m. No trecho, foram colhidas as amostras 4, 5 e 6;
- Terceiro trecho: na segunda curva do arroio junto à via, possuindo cerca de 400m. No trecho, foram colhidas as amostras 7, 8 e 9;
- Quarto trecho: aproximadamente linear, englobando cerca de metade da via, possuindo cerca de 600m. No trecho, foram colhidas as amostras 10, 11 e 12.



Figura 9. Localização e trechos considerados na Alameda Mano Serpa (Google Maps, 2019)

O procedimento de coleta das amostras realizou-se conforme NBR 9604 (ABNT, 2016e). Foram utilizados trado manual, enxada, pá e sacos para armazenamento do material coletado. De cada um dos quatro trechos, foram retiradas três amostras de solo igualmente espaçadas entre si. Em cada amostra foi coletado solo de pontos distintos da via, de forma a se obter resultados mais aproximados possíveis do local, sendo eles: eixo da via, lado direito e lado esquerdo.

3.2 Preparação das amostras e ensaios de caracterização

A preparação das amostras para ensaios de caracterização seguiu os procedimentos da norma NBR 6457/2016 (ABNT, 2016a), com secagem em estufa, destorroamento com uso de almofariz e mão de gral. Em seguida, as amostras foram submetidas aos seguintes ensaios de caracterização:

- Análise granulométrica, segundo a norma NBR 7181/2016 (ABNT, 2016b);
- Limite de liquidez, segundo a norma NBR 6459/2016 (ABNT, 2016c);
- Limite de plasticidade, segundo a norma NBR 7180/2016 (ABNT, 2016d);
- Contração diametral e saturação de pastilhas, segundo o método das pastilhas de Nogami e Villibor (1994).

No ensaio segundo o método de Nogami e Villibor (1994), são utilizados anéis de PVC de diâmetro interno de cerca de 21mm e 5mm de espessura, pedra porosa para absorção de água, paquímetro com precisão de 0,1mm, espátula flexível, estufa a temperatura de 60°C, cortador de pastilha em formato “U” com arame fino tensionado, minipenetrômetro de 11g com agulha de 1,3mm de diâmetro com ponta arredondada e papel filtro. Com as amostras preparadas segundo a norma NBR 6457/2016 (ABNT, 2016a), utiliza-se fração passante na peneira de abertura 0,425mm. Para moldagem das pastilhas, cerca de 50g de

amostra (suficiente para moldagem de dez pastilhas) postas em um fundo de peneiras é umedecida com água destilada até obter massa plástica. Após, aplica-se um ciclo de espatuladas para homogeneização, que varia de 100 espatuladas para solos não-lateríticos até 400 para solos lateríticos. Terminado o ciclo de espatulação, mede-se a consistência da massa plástica de solo utilizando o minipenetrômetro, com objetivo de obter teor de umidade da massa que resulte 1mm de penetração do minipenetrômetro. Caso tal penetração resulte maior(menor) que 1mm, deve ser acrescido à massa solo(água destilada) e executar novo ciclo de espatuladas para homogeneização, verificando novamente a penetração após o ciclo. O procedimento deve ser repetido até que se obtenha massa plástica em umidade que resulte 1mm de penetração do minipenetrômetro.

Para moldar as pastilhas, uma esfera do material homogeneizado em torno de 10mm de diâmetro é colocada dentro de um anel de PVC sobre uma superfície lisa levemente umedecida com água destilada. Com uma espátula, faz-se pressão a este conjunto (superfície lisa, anel de PVC, esfera de solo) de modo a preencher inteiramente o anel de PVC. Após, desloca-se horizontalmente o anel de PVC preenchido sobre a superfície lisa umedecida até que o mesmo não fique em contato com a superfície. A face em contato com a superfície deve estar plana e sem vazios. Na face oposta, o material excedente deve ser cortado com o arame tensionado, de modo a obter nova face plana e sem vazios. Os anéis de PVC preenchidos são postos sobre suporte apropriado e transferidos para secagem em estufa por 12h a 60°C (para solos muito argilosos, as pastilhas devem previamente secar ao ar livre). Após a secagem, mede-se o diâmetro de cada pastilha e o diâmetro interno de cada anel de PVC, em três orientações diferentes, com uso do paquímetro. A média dos diâmetros internos subtraída da média dos

diâmetros das pastilhas fornece a contração diametral empregada para classificação, obtida em mm. Os conjuntos pastilha-anel de PVC são levados à superfície de placa porosa saturada com água recoberta por papel filtro saturado, para saturação das pastilhas. Medidas de penetração com minipenetrômetro, conforme Figura 7, são feitas após 5min, 15min, 30min, 2h e 24h do início da saturação. São tomadas as penetrações obtidas em 24h de saturação ou encerra-se o ensaio quando a penetração for 5mm. A média das penetrações em 24h resulta a penetração para classificação, obtida em mm. Com a contração diametral e a penetração, é obtida a classificação MCT expedita do solo, através da Figura 8. Salienta-se que se o solo possuir menos de 90% em massa passante na peneira de abertura 2mm, a classificação será relativa aos finos, sendo adequada ao solo a classificação G-MCT de Villibor e Alves (2017).

3.3 Técnicas de melhoramento utilizadas

A falta de material ligante no solo ocasiona as patologias mais notadas na estrada, vistas nas Figuras 9 e 10. Assim, as técnicas de melhoramento escolhidas buscaram melhoria/adição do/de material fino dos/nos solos da estrada, visando inclusão de material ligante e/ou cimentado. Assim, optou-se por utilizar as técnicas de mistura de solos e estabilização química, verificando sua eficácia pelo método expedito das pastilhas de Nogami e Villibor (1994), onde buscou-se penetrações em 24h condizentes com solos lateríticos, isto é, menores ou iguais a 2mm.

Para misturas de solos, empregou-se solo residual de granito extraído do horizonte B da Jazida do Silveira, localizado no município de Capão do Leão/RS. A sua caracterização foi feita por Milech *et al.* (2018), cujos resultados são vistos na Tabela 1. O cimento empregado foi do tipo CP V-ARI (alta resistência inicial) adquirido comercialmente a granel.

Tabela 1. Caracterização de solo residual de granito para mistura (Milech *et al.*, 2018)

Análise granulométrica	
Abertura (mm)	Acum. Passante (%)
4,76	99,02
2,00	87,48
0,42	76,57
0,075	68,17
Limite de Liquidez	52%
Limite de Plasticidade	37%
Contração Diametral	2,5mm
Penetração em 24h	0,0mm
Tempo de saturação	1097s

Em cada amostra, foram testados os melhoramentos indicados (proporções em massa), onde “solo laterítico” é o solo residual ensaiado por Milech *et al.* (2018) e “solo local” refere-se às amostras de solo local.

- 50% de solo laterítico + 50% de solo local;
- 1% de cimento + 25% de solo laterítico + 75% de solo local;
- 2% de cimento + 25% de solo laterítico + 75% de solo local;
- 25% de solo laterítico + 75% de solo local.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização das amostras do local

A Tabela 2 mostra os resultados da granulometria das amostras 1 a 12 ensaiadas. A Tabela 3 mostra os resultados de limite de liquidez, limite de plasticidade, contração diametral e penetração em 24h de saturação das amostras 1 a 12. Analisando-se as tabelas, nota-se que os trechos são compostos essencialmente por material arenoso, com percentagem de finos entre 4 a 33%, no qual os finos possuem pouca ou nenhuma plasticidade (materiais do tipo NP, isto é, não plásticos), em função dos valores próximos dos limites de Atterberg obtidos.

Tabela 2. Análise granulométrica das amostras

Amostra	Acumulados passantes (itálico) em % e aberturas das peneiras (negrito) em mm						
	19,1	12,7	9,5	4,8	2,0	0,42	0,075
1	99	99	98	91	72	49	12
2	100	100	99	91	71	49	22
3	98	97	96	90	76	54	23
4	99	99	99	94	75	54	30
5	98	97	96	93	82	64	33
6	99	99	98	91	75	53	25
7	100	99	99	94	76	53	22
8	99	98	97	88	64	38	11
9	99	98	97	91	64	37	19
10	100	100	99	93	71	40	4
11	100	100	100	98	82	36	12
12	100	100	100	97	73	43	22

Tabela 3. Limites de Atterberg, contração diametral e penetração em 24h das amostras

Amostra	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Contração diametral	Penetração em 24h
1	20%	17%	0,4mm	5mm
2	20%	17%	0,3mm	5mm
3	NP	NP	0,0mm	5mm
4	17%	16%	0,3mm	5mm
5	23%	23%	0,8mm	5mm
6	17%	17%	0,0mm	5mm
7	NP	NP	0,0mm	5mm
8	NP	NP	0,0mm	5mm
9	22%	20%	0,6mm	5mm
10	20%	20%	0,6mm	5mm
11	NP	NP	0,0mm	5mm
12	22%	18%	0,6mm	5mm

Os baixos valores de contração diametral mostram que os finos são arenosos e de baixa resistência à erosão, devido aos valores altos de penetração em 24h, ratificando que as patologias observadas na estrada em questão podem estar associadas a falta de finos

coesivos no material. Também observa-se na Tabela 2 que nenhum dos materiais é bem graduado, segundo o sistema de classificação Unificado de Casagrande, exceto a amostra 11. As amostras 2 a 7, 9 e 12 são classificadas como Areias Siltosas, enquanto que as amostras 1 e 8 classificam-se como Areias Mal Gradadas. Tal fato pode contribuir para eventual falta de capacidade de suporte do material, justificando preencher os vazios com material de bom comportamento (no caso, solo laterítico), estabilizado quimicamente ou não.

4.2 Contração diametral e penetração dos melhoramentos aplicados

A Tabela 4 mostra a contração diametral e a penetração em 24h com 50% em massa do solo laterítico descrito em 3.3. Em negrito, as amostras com resultado satisfatório, isto é, penetração em 24h igual ou menor que 2mm. Como previsto, adicionar solo laterítico aumentou a contração diametral, porém notou-se resultado satisfatório no melhoramento apenas nas amostras 5 e 12. Nas Tabelas 2 e 3, nota-se que as amostras 5 e 12 são as que têm maiores valores de limite de liquidez e têm altas percentagens de passante na peneira 0,075mm (a amostra 5 com o maior valor entre todas). Valores altos de limite de liquidez e percentagem passante na peneira 0,075mm não são observados na maioria das amostras, sendo a solução de mistura com solo laterítico não recomendada ao caso. A Tabela 5 mostra a contração diametral e a penetração em 24h com 25% em massa do solo laterítico e teores de cimento de 1 e 2% em massa. Em negrito, as amostras com penetração em 24h igual ou menor que 2mm. Na mistura com 1% de cimento, as amostras 4, 5, 8, 9, 11 e 12 mostraram resultado satisfatório no melhoramento, sendo mais efetivo do que a mistura com solo laterítico. Todos os trechos são estabilizados com 2% de cimento, o que

torna este melhoramento o recomendado de adoção na estrada Alameda Mano Serpa.

Tabela 4. Contração diametral e penetração em 24h de pastilhas com 50% de solo laterítico

A mo s tra	s/melhoramento		c/melhoramento	
	Contr. diame- tral	Penetra- ção em 24h	Contr. diame- tral	Penetra- ção em 24h
1	0,4mm	5,0mm	1,1mm	3,3mm
2	0,3mm	5,0mm	1,0mm	3,2mm
3	0,0mm	5,0mm	0,5mm	3,2mm
4	0,3mm	5,0mm	0,9mm	2,5mm
5	0,8mm	5,0mm	1,0mm	0,3mm
6	0,0mm	5,0mm	1,1mm	3,0mm
7	0,0mm	5,0mm	0,9mm	3,1mm
8	0,0mm	5,0mm	0,8mm	4,7mm
9	0,6mm	5,0mm	1,1mm	4,2mm
10	0,6mm	5,0mm	1,1mm	5,0mm
11	0,0mm	5,0mm	1,3mm	2,7mm
12	0,6mm	5,0mm	1,2mm	0,5mm

Tabela 5. Contração diametral e penetração em 24h de pastilhas com 25% de solo laterítico e teores de cimento de 1 e 2% em massa

A mo s tra	Cimento = 1%		Cimento = 2%	
	Contr. diame- tral	Penetra- ção em 24h	Contr. diame- tral	Penetra- ção em 24h
1	0,8mm	4,0mm	0,6mm	1,7mm
2	0,6mm	4,0mm	0,8mm	1,6mm
3	0,3mm	2,3mm	0,2mm	0,0mm
4	0,3mm	1,2mm	0,4mm	0,6mm
5	0,9mm	0,3mm	0,9mm	0,0mm
6	0,4mm	4,3mm	0,4mm	0,5mm
7	0,6mm	2,5mm	0,6mm	0,3mm
8	0,4mm	1,8mm	0,3mm	0,1mm
9	1,0mm	0,9mm	1,0mm	0,0mm
10	0,7mm	2,1mm	0,7mm	0,1mm
11	0,5mm	0,9mm	0,4mm	0,0mm
12	1,2mm	2,0mm	1,0mm	0,9mm

Notou-se na estabilização química queda do tempo de saturação das pastilhas, ou seja,

do tempo necessário para preenchimento dos vazios de ar (por capilaridade) após o instante do contato da pastilha com a superfície da pedra porosa. Os tempos de saturação das amostras são vistos na Tabela 6. Tal fato pode indicar que a estabilização química com o cimento empregado, além de adicionar resistência dos solos, a permeabilidade pode ser aumentada, podendo ser vantajoso na contenção de escoamento superficial na estrada e amenização de processos erosivos.

Tabela 6. Tempos de saturação de pastilhas

A mo s tra	Tempo de saturação (s)			
	Solo local puro	50% de solo laterítico	25% de solo lat. + 1% cim	25% de solo lat. + 2% cim
1	51	193	18	16
2	38	288	21	14
3	26	97	9	9
4	46	73	17	14
5	87	637	330	88
6	155	131	34	21
7	126	96	30	14
8	205	146	20	21
9	103	181	164	73
10	139	146	40	15
11	47	325	13	5
12	139	311	116	35

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Apresentados os resultados, os autores chegaram às seguintes conclusões:

- Sobre o solo local, notou-se que tanto pelo Sistema Unificado como pelo sistema MCT expedito, em geral, os materiais classificaram-se como areias siltosas, obtendo-se comportamento não-laterítico pelo sistema MCT. Na saturação de pastilhas, obteve-se penetração total (5mm) rapidamente, em menos de 24h.
- As misturas com 50% de solo laterítico, 1% de cimento mais 25% de solo laterítico e 2% de cimento mais 25% de

solo laterítico apresentaram aumento de resistência nas amostras. As amostras 5 e 12 tiveram melhor desempenho, apresentando resultado satisfatório para todas as melhoramentos testados;

- Na adição de 1% de cimento mais 25% de solo laterítico, as amostras: 4, 5, 8, 9, 11 e 12 mostraram resultado satisfatório. A adição de 2% de cimento e 25% de solo laterítico foi a dosagem adequada ao melhoramento da estrada, pois todas as amostras mostraram resultado satisfatório;
- Nos melhoramentos com acréscimo de cimento e 25% de solo laterítico, notou-se queda no tempo de saturação das pastilhas, possível indício de aumento da permeabilidade das misturas estabilizadas. Para futuras pesquisas, é sugerido:
 - Verificação da viabilidade econômica das soluções obtidas no presente trabalho;
 - Estudo de correlação entre resultados de análise granulométrica e limites de Atterberg do material com a efetividade de melhoramentos utilizando estabilização química e/ou mistura de de solos;
 - Verificação experimental da hipótese do aumento do teor de cimento na estabilização química poder aumentar a permeabilidade do material estabilizado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGG, T.R. Construção de estradas e pavimentações. Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1957. 526p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9604:2016 - Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento, 2016e.
- _____. NBR 6457:2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 2016a.
- _____. NBR 6459:2016 - Solo — Determinação do limite de liquidez, 2016c.

- _____. NBR 7180:2016 – Solo - Determinação do limite de plasticidade, 2016d.
- _____. NBR 7181:2016 - Solo - Análise granulométrica, 2016b.
- BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção. Florianópolis: DER/SC, 2003, 236 p.
- BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. Anuário CNT do transporte – estatísticas consolidadas 2017. Brasília: CNT, 2017.
- _____. Boletim Estatístico Rodoviário. Brasília: CNT, 2016.
- D'ÁVILA, A. L. M. Apostila de Mecânica dos Solos aplicada a Engenharia Agrícola, 2003.
- D'ÁVILA, A. L. M.; *et al.* Especificação expedita de materiais para vias não-pavimentadas - 4ª aproximação. Coimbra, Portugal: XI Congresso Nacional de Geotecnia e IV Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia, 2008.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 258: Solos compactados com equipamento miniatura – Mini-MCV. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais, 2013. Disponível em: www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/planejamentorodoviario
- EATON, R. A.; *et al.* Rating unsurfaced roads: A field manual for measuring maintenance problems. Cold Regions Research and Engineering Lab, Hanover NH, 1987.
- MAKUSA, G. P. Soil stabilization methods and materials in engineering practice. Department of Civil, Environmental and Natural resources engineering, Division of Mining and Geotechnical engineering Lulea, University of Technology, Lulea, Sweden, 2012.
- MATZEMBACHER, A. C., Estudo de revestimento com areia em trecho de estrada não pavimentada no município de Giruá/RS. *Trabalho de Graduação, Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas*, 2014.
- MILECH, P. M., *et al.* Análise da erosão hídrica em compactação de sub-base em um empreendimento do município de Pelotas/RS. XXVII Congresso de Iniciação Científica, Pelotas, 2018.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais. Foz do Iguaçu: Anais do X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 1994.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. Rio de Janeiro: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, COPPE/UFRJ, CNPq, ARMS, 1981.
- SANTOS, A. R.; *et al.* Estradas Vicinais de Terra: Manual Técnico para Conservação e Recuperação. 2ª. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1988, 125 p.
- SILVA, G. A. *et al.* Análise Descritiva de Nascentes do Rio São Francisco, do Chapadão Diamante, da Serra da Canastra-MG. I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas – SP. Unicamp, 2017.
- VILLIBOR, D. F.; ALVES, D. M. L. Classificação de solos tropicais de granulação fina e grossa. Revista Pavimentação, nº 43, jan-mar2017, ABPv-Associação Brasileira de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2017.
- VIVIANI, E. A utilização de um Sistema de Informação Geográfica como auxílio à gerência de manutenção de estradas rurais não-pavimentadas. 1998, 292 p. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.