



Influência da Técnica de Melhoramento de Solos Com Uso de Aditivos Químicos na Classificação G-MCT de Dois Solos do Município de Santa Cruz do Sul-RS Visando o Seu Aproveitamento Para Emprego no Revestimento Primário de Estradas Rurais

Taline Koch
UNISC, Santa Cruz do Sul, Brasil, talinekoch@outlook.com

Leandro Olivio Nervis
UNISC, Santa Cruz do Sul, Brasil, leandron@unisc.br

Ingrid Tespesel
UNISC, Santa Cruz do Sul, Brasil, ingridtespesel@mx2.unisc.com

RESUMO: No presente trabalho realizou-se um estudo experimental com o objetivo de avaliar a potencialidade de emprego em camada final de uma estrada vicinal, conforme classificação G-MCT, de dois solos granulares (subleito e revestimento primário) de Santa Cruz do Sul-RS. Os resultados apontaram que ambos os solos recaíram em grupos da classificação G-MCT com emprego não recomendado para revestimento primário (grupos Gf-NG' e Ps-LA para os solos do subleito e revestimento, respectivamente). Assim, empregou-se cal e cimento para o solo do subleito e cimento para o solo do revestimento, onde o solo do subleito migrou para os grupos Gf-LG' e Gf-LA' com as adições de cal e cimento, respectivamente, enquanto que o solo do revestimento permaneceu no grupo Ps-LA. Embora ambos os grupos tenham emprego indicado para revestimento primário no solo do subleito, o segundo é mais indicado, o que aponta que a adição de cimento se mostra mais interessante do que a de cal.

PALAVRAS-CHAVE: Revestimento primário, Estradas rurais, Melhoramento de solos, Classificação G-MCT, Impacto ambiental.

1 INTRODUÇÃO

Na prática atual, os critérios para definição do material a ser utilizado no revestimento primário de estradas de terra são geralmente escolhidos por conta da experiência de quem executa a estrada do que baseados em

conhecimentos geotécnicos. Isso conduz frequentemente ao emprego de materiais impróprios, implicando em baixa durabilidade, com constantes manutenções, as quais geram gastos e impactos ambientais excessivos.

O resultado são escavações crescentes nas áreas de empréstimo e o assoreamento dos



mananciais 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.

Um fator essencial para essas estradas é que se encontrem em boas condições de uso, em qualquer condição climática, fornecendo um deslocamento mais confortável para seus usuários e consequentemente diminuindo o tempo de viagem. Para isso é necessário que a estrutura formada pelo subleito e pelo revestimento primário possua características adequadas, a fim de diminuir a necessidade de manutenção com tanta frequência. Para tal, é fundamental que os materiais a serem empregados no revestimento primário apresentem qualidade satisfatória.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição do Local de Estudo

A pesquisa consistiu em um estudo no distrito de Rio Pardini, interior de Santa Cruz do Sul, localizado na região central do Rio Grande do Sul com clima Temperado do tipo Subtropical.

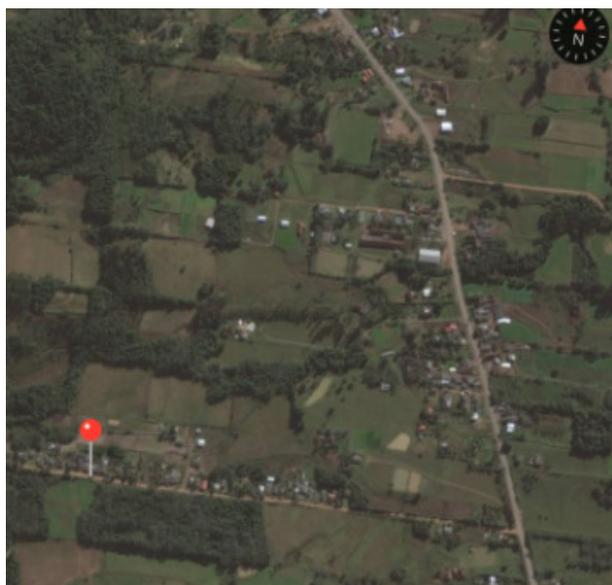


Figura 1. Local de retirada da amostra do subleito.

O local onde foram retiradas as amostras do subleito localiza-se na Travessa Andreas, com as coordenadas de 29°36'26.5"S e 52°29'20.5"W conforme Figura 1, obtidas com o auxílio de um GPS de mão. Já o material empregado no revestimento primário do trecho foi coletado do ponto de estoque localizado no pátio da Subprefeitura de Rio Pardini.

Segundo o Atlas Sócio Econômico do Rio Grande do Sul (2014) a temperatura média anual da região é compreendida entre 18° C e 20° C, com precipitação média anual entre 1600 mm e 1700 mm.

Foram coletadas amostras do solo do subleito do trecho referenciado acima e do material que vem sendo utilizado pelo Município como revestimento primário.

O solo do subleito foi extraído com o auxílio de uma retroescavadeira fornecida pela Subprefeitura (Figura 2). A escavação foi realizada na lateral da pista, em cota equivalente ao subleito, tratando-se de um solo residual pertencente ao horizonte C do perfil. O material escavado foi transferido aos sacos com o emprego de uma pá de concha.

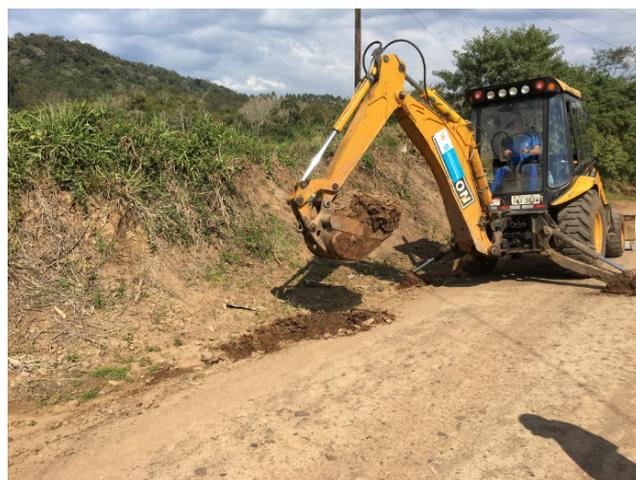


Figura 2. Local da extração do material do subleito.

A amostra do solo do revestimento primário foi obtida junto ao depósito (Figura 3), sendo transferida aos sacos manualmente utilizando uma pá de concha. O material é oriundo das atividades de desassoreamento do



Rio Pardinho, constituindo-se, portanto, de um solo transportado.



Figura 3. Local de depósito do revestimento.

As amostras coletadas, as quais perfazerem aproximadamente 120 Kg de cada solo, foram transportadas até a Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, ao Laboratório de Solos e Pavimentação, onde foram armazenadas para realização dos ensaios de laboratório.

2.2 Descrição Geológica e Pedológica

Conforme o Atlas Sócio Econômico do Rio Grande do Sul (2014), a região de estudo está localizada entre o Planalto Meridional, onde tem a formação de rochas basálticas e a Depressão Central que é formada por rochas sedimentares.

Com relação à pedologia, de acordo com Streck *et al.* (2008), o trecho está situado na classe dos Cambissolos Háplicos típicos (Unidade PM 6). De acordo com os autores, os Cambissolos são solos rasos a profundos, apresentando no perfil uma sequência de horizonte A-Bi-C ou O-A-Bi-C, onde o horizonte Bi é do tipo B incipiente, com condições de drenagem variando de bem drenados a imperfeitamente drenados, dependendo da posição que ocupam na paisagem.

Quanto à classificação geológica, segundo o

mapa CPRM (2006), o local encontra-se na região demarcada pela cor verde escura e pela sigla k1βgr (Figura 4), pertencendo à unidade denominada de Fácies Gramado, a qual inclui derrames basálticos granulares finos a médio com intercalação com os arenitos Botucatu.

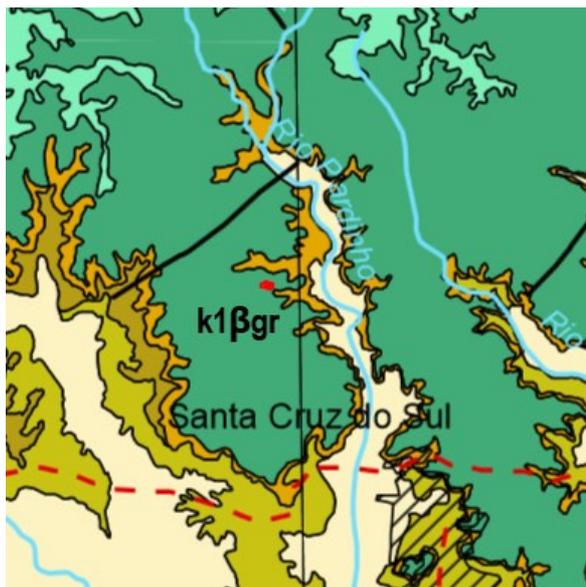


Figura 4. Localização do trecho no mapa geológico.

2.3 Ensaios Laboratoriais

Para a caracterização e obtenção de parâmetros dos solos do subleito e do revestimento primário, foram realizados os ensaios de granulometria, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e peso específico real dos grãos, de compactação, de Índice de Suporte Califórnia ISC e os da Metodologia G-MCT.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos da Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC, seguindo-se as prescrições das Normas Técnicas da ABNT NBR 6457:2016, NBR 7181:2016, NBR 6458:2016, NBR 6459:2016, NBR 7180:2016, NBR 7182:2016, e a metodologia apresentada por Villibor e Nogami (2009) para a realização dos ensaios da metodologia MCT.

Foi realizado também o emprego da técnica de melhoramento de solos com uso de aditivos químicos, sendo empregados cal e cimento com



teores de 3% para o solo do subleito e cimento com teores de 5% para o solo do revestimento, no ensaio de classificação MCT.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização e Classificação dos solos

Na Figura 5 estão apresentadas as curvas granulométricas dos solos e na Tabela 1 o resumo das suas principais características geotécnicas.

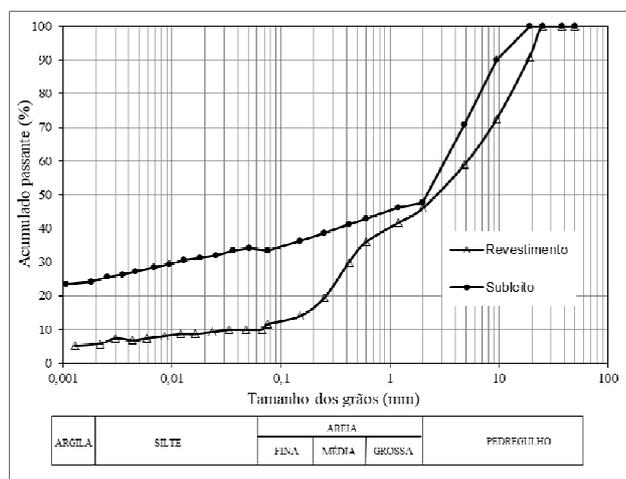


Figura 5. Curvas granulométricas.

Observando-se a curva granulométrica do subleito, constata-se que o material apresenta média quantidade de argila e silte e uma importante quantidade de areias e pedregulhos, classificando-se como pedregulho argiloso. Já o material do revestimento apresentou pouca quantidade de argila, baixa quantidade de silte, média de areia e maior porcentagem de pedregulho, classificando-se como pedregulho arenoso.

O subleito, por ter a presença de silte e argila na ordem de 32%, essas frações influenciaram diretamente na obtenção de uma plasticidade alta, já que o ensaio é realizado com o material passante na peneira de 42mm. Por se tratar de um solo residual de basalto, tendo como valores de referência de LL entre 45% a 70% para solos

de horizontes, sendo que o solo do subleito estudado se encontra no horizonte C, camada menos evoluída, assim então justificando o resultado de uma plasticidade mais alta, sendo que o índice de plasticidade (IP) foi superior aos valores de referência.

Tabela 1. Características geotécnicas dos solos estudados.

Propriedades	Solos		
	Subleito	Revestimento	
Granulometria	Pedregulho ($2\text{mm} < \Phi \leq 60\text{mm}$)	52%	54%
	Areia ($0,06\text{mm} < \Phi \leq 2\text{mm}$)	16%	36%
	Silte ($0,002\text{mm} < \Phi \leq 0,06\text{mm}$)	10%	7%
	Argila ($\Phi \leq 0,002\text{mm}$)	22%	3%
	Classificação granulométrica segundo a NBR 6502:1995	Pedregulho argiloso	Pedregulho arenoso
Peso específico real dos grãos (kN/m^3)	29,0	26,9	
Plasticidade	Limite de Liquidez - LL	82%	NL
	Limite de Plasticidade - LP	42%	NP
	Índice de Plasticidade - IP	40%	NP
	Classificação segundo Burmister (1949) <i>apud</i> Das e Sobhan (2014)	Plasticidade alta	Não plástico
Classificação SUCS	GM Pedregulho silteoso	GM-SW Pedregulho silte arenoso bem graduado	
Classificação da AASHTO	A-1b fragmentos de pedra, pedregulho e areia	A-1b fragmentos de pedra, pedregulho e areia	

Os ensaios de limites de Atterberg e de análise granulométrica estão sujeitos a erros, em função de se tratar de solos desenvolvido em ambientes tropicais e também considerando a influência do defloculante e da maneira na qual o material foi destorroado. Sendo assim, de qualquer forma os limites foram bem próximos do pedregulho argiloso, o que se aproxima também com a granulometria.

Já o revestimento, em função de não ter a presença de matérias finas classificou-se como não plástico (NP) e não líquido (NL), tendo uma classificação AASHTO e SUCS bem coerente com a granulometria.

3.2 Ensaios de compactação e ISC

Por meio do ensaio de compactação foi possível obter aos valores de umidade ótima dos materiais e do peso específico aparente seco



máximo. As Figuras 6 e 7 apresentam as curvas de compactação e na Tabela 2 estão representados os valores dos parâmetros retirados das curvas.

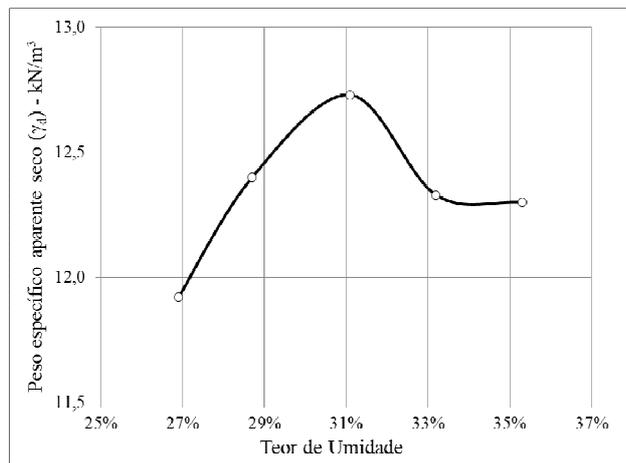


Figura 6. Curva de compactação do solo do subleito.

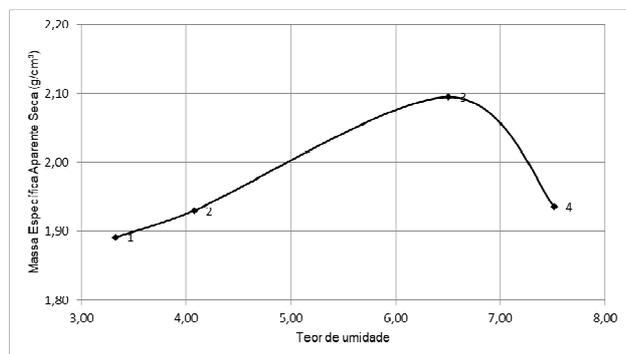


Figura 7. Curva de compactação do solo do revestimento.

Tabela 2. Parâmetros de compactação dos solos.

Solo	γ (kN/m ³)	W(ótima) (%)
revestimento	19,2	6,5
subleito	12,7	31,0

Analisando-se a curva de compactação do subleito, o qual trata-se de um solo pedregulho argiloso, tem-se como referência uma umidade ótima na ordem de 5% a 10% e peso específico aparente seco mais elevado. Porém, por se tratar de um solo residual de basalto com uma

importante presença de argila (22%), verifica-se que essa fração tem forte influência na curva. Outro aspecto observado foi de que os pedregulhos constituídos de material decomposto (saprólito) notavelmente apresentavam uma grande porosidade e constituíam grãos leves, assim absorvendo boa quantidade da água, o que explica uma umidade ótima mais elevada e um peso específico aparente seco máximo mais baixo.

Quanto ao solo do revestimento, que se trata de um pedregulho arenoso, os valores obtidos ficaram dentro da ordem de grandeza esperada para materiais granulares.

Na Tabela 9 estão apresentados os valores obtidos nos ensaios de Índice de Suporte Califórnia – ISC.

Tabela 3. Parâmetros obtidos no ensaio de ISC.

Solo	ISC (%)	Expansão (%)
revestimento	12	0,0
subleito	3	0,4

De acordo com Nogami e Vilibor (2009), o valor de ISC é considerado elevado quando está entre 10% e 30%. A partir dessa consideração, verificou-se que o subleito apresentou um ISC de 3%, o que é classificado como muito baixo. Já o revestimento apresentou um ISC de 12%, que é considerado bom. De acordo com o DNIT (2006) solos que apresentam $ISC \leq 5$, com a quantidade de material passante na peneira nº 200 entre 30% e 65%, que foi o caso do subleito com 47%, classifica-se com solo tipo III resultando em solos de comportamento ruim quanto à resiliência. É vedado seu emprego em camadas do pavimento. Para o subleito, requerendo cuidados e estudos especiais.

Resultando que o solo do subleito não deverá funcionar como camada final, necessitando da camada de revestimento primário, em função de sua baixa capacidade de suporte. Para o teste de expansão, o subleito apresentou um valor de 0,4%, enquanto o revestimento o valor de 0,0%. Nogami e Villibor (2009) afirmam que solos



com expansão inferior à 0,5% são considerados de baixa expansão, sendo assim, a classificação dos dois solos. De acordo com o DNIT (2006) os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio ISC, menor ou igual a 2%.

3.3 Classificação MCT e G-MCT

No ábaco da Figura 8 e 9 estão representados os resultados dos ensaios de classificação MCT para a fração fina dos solos estudados.

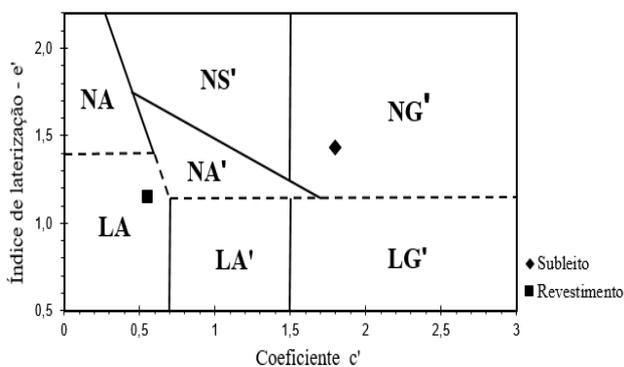


Figura 8. Classificação dos solos pelo método MCT.

Verificou-se que os finos do subleito se enquadram no grupo NG'. Esses solos, mesmo quando compactados na umidade ótima apresentam características de plasticidade e expansão elevadas, não sendo indicadas ao uso em revestimento primário. Em relação a sua classificação G-MCT, localiza-se no grupo Gf-NG', constituído de material granular com média a elevada quantidade de finos, não recomendado para utilização em revestimento primário.

Já os finos do revestimento classificam-se no grupo LA. Os solos desse grupo são formados por areias com baixa quantidade de material fino de comportamento laterítico. Sendo assim podem ser relativamente permeáveis, pouco coesivos e com baixa capacidade de contração, apresentando características pouco desejáveis para revestimento primário, explicando assim a presença de buracos observados na estrada.

Quanto a classificação G-MCT encontra-se no grupo Ps-LA, constituído de pedregulho com solo.

Ambos os solos classificaram-se em grupos não recomendados para utilização em revestimento primário de estradas. Assim, partiu-se para o emprego da técnica de melhoramento de solos com uso de aditivos químicos, sendo empregados cal e cimento para o solo do subleito com teores de 3% e cimento para o solo do revestimento, com teor de 5%.

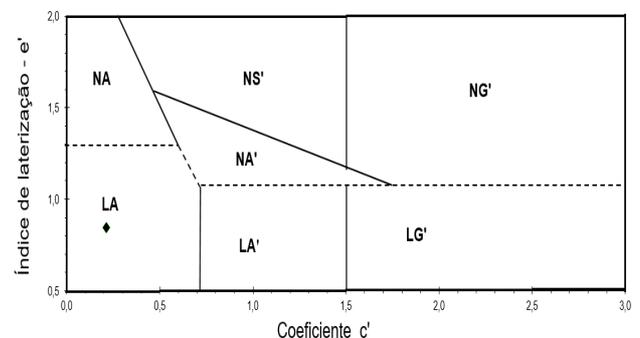


Figura 9. Classificação pelo método MCT do solo do revestimento com adição de cimento.

O solo do revestimento permaneceu no grupo Ps-LA da classificação, mudando sua posição apenas dentro do seu grupo, diminuindo seu valor de índice de laterização, o que faz com que a adição do cimento para este solo não traga grandes mudanças dentro da metodologia G-MCT.

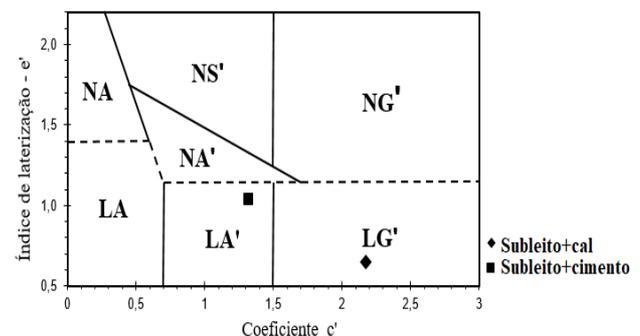


Figura 10. Classificação pelo método MCT do solo do subleito com adição de cal e cimento.

O solo do subleito migrou para os grupos Gf-LG' e Gf-LA' da classificação G-MCT com as



adições de cal e cimento, respectivamente. Embora ambos os grupos tenham emprego indicado para revestimento primário, o segundo é mais indicado do que o primeiro, o que aponta que a adição de cimento se mostra mais interessante do que a de cal.

4. CONCLUSÕES

Analisando a curva granulométrica do subleito, constata-se que o material apresenta média quantidade de argila e silte e uma importante quantidade de areias e pedregulhos, classificando-se como pedregulho argiloso, por ter a presença de silte e argila na ordem de 32%, essas frações influenciaram diretamente na obtenção de uma plasticidade alta. Por se tratar de um solo residual de basalto, tendo como valores de referência de LL entre 45% a 70% para solos de horizontes B de acordo com a literatura, sendo que o solo do subleito estudado se encontra no horizonte C, camada menos evoluída, assim então justificando o resultado de uma plasticidade mais alta, sendo que o índice de plasticidade (IP) foi superior aos valores de referência.

O solo do revestimento, em função de não ter a presença de matérias finas classificou-se como não plástico (NP) e não líquido (NL), tendo desta forma uma classificação AASHTO e SUCS coerente com a granulometria.

Em relação ao resultado da classificação G-MCT do subleito, conclui-se que não é apto para funcionar como camada final da pista em função de pertencer ao grupo Gf-NG', o qual não é recomendado como revestimento primário. Soma-se a isso, sua baixa capacidade de suporte, expressa pelo valor de ISC que se apresentou muito baixo, necessitando assim o uso de camadas de revestimento primário. Já o solo do revestimento primário quando utilizado *in natura* também não é indicado, por pertencer ao grupo Ps-LA, o qual não é recomendado para uso em revestimento primário, tendo em vista

que solos desse grupo se apresentam com pouca coesão, assim desagregando-se facilmente. Isso de certa forma explica a vulnerabilidade do trecho em que o material foi utilizado apresentar defeitos do tipo buracos ou panelas.

Em relação à classificação MCT do solo do subleito que se enquadra no grupo NG', a elevada expansão predita no ensaio, não se mostrou coerente com o ensaio de ISC, pois obteve-se uma expansão baixa. Isso ocorre em função muito provavelmente da grande quantidade de pedregulho e a baixa quantidade finos, contando que os pedregulhos não expandem. Quanto a classificação geológica foi coerente, pois se trata de solos oriundos de rochas cristalinas, pobres em quartzo, predominando os anfibólios e piroxênios, dentro do esperado.

A classificação MCT do revestimento classificou-se com LA apresentando características pouco desejáveis para revestimento primário. Em relação ao ensaio de ISC obteve-se um valor expansão insignificante, mas nas análises de caracterização se demonstrou coerente, fechando com a granulometria de pedregulho e areia.

De forma a melhorar suas características, a adição de cimento ao solo do revestimento não trouxe maiores mudanças no ensaio de classificação MCT, permanecendo o solo no grupo não recomendado Ps-LA. O solo do subleito por sua vez, obteve classificações recomendadas com as adições de cal e cimento. A adição de cal ao solo do subleito migrou-o do grupo de classificação Gf-NG' para o grupo Gf-LG', o qual é recomendado para revestimento primário, enquanto que o solo do subleito com a adição de cimento migrou para o grupo de 1º prioridade na utilização para revestimento primário Gf-LA'.



REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Determinação da Massa Específica – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BRASIL. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia (Org.). Carta Geológica Regional. 2006. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Cartografia-GeologicaRegional-624.html>>.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. Sistema nacional de viação. 2015. Disponível em:

<<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/pnv-e-snv>>.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6. ed., rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 1987-1988. 3 v.

NERVIS, Leandro Olivio. Identificação e discussão dos mecanismos de degradação de pavimentos com revestimento primário. 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/143731>>.

NOGAMI, Job Shuji; VILLIBOR, Douglas Fadul. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor, 2009.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso básico de mecânica dos solos: em 16 aulas. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 355 p.

RIO GRANDE DO SUL SEPLAG- Secretaria de Orçamento e Gestão RS. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Clima, temperatura e precipitação, 2014. Disponível em <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao>>.

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.