

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Extração de Amostras Indeformadas do Subleito da RS 342 e Avaliação do Comportamento Resiliente do Solo Laterítico Argiloso

Paula Taiane Pascoal

Doutoranda no curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, ptpascoal@hotmail.com

Amanda Vielmo Sagrilo

Doutoranda no curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, amandavs94@gmail.com

Gabriéli Pires Chiarello

Mestranda no curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, gabrieli.chiarello@gmail.com

Leonardo Brizolla de Mello

Mestrando no curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, leobrmello@hotmail.com

Magnos Baroni

Docente da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, magnos.baroni@gmail.com

RESUMO: Este estudo relata os procedimentos utilizados para a extração de amostras de solo indeformadas oriundas do subleito rodoviário da RS 342, localizada no município de Cruz Alta, com intuito de avaliar o comportamento resiliente do subleito. Amostras deformadas de solo foram coletadas e submetidas à classificação física (granulometria, peso específico, limites de Atterberg e classificação de solos SUCS, AASHTO e MCT), bem como ensaios de compactação na energia Proctor normal. O procedimento de esculpimento das amostras indeformadas foi explicitado no estudo. O ensaio de módulo de resiliência foi conduzido de acordo com a norma DNIT 134/2018 e o ajuste estatístico foi realizado pelos modelos de Svenson, Composto e Universal, demonstrando excelentes coeficientes de determinação para todos os casos. O valor de módulo de resiliência foi considerado baixo, devido ao material ter sido compactado em umidade muito superior a umidade ótima, contudo, considerado suficiente para aplicação no subleito.

PALAVRAS-CHAVE: Amostra Indeformada, Módulo de Resiliência, Solo Laterítico, Pavimentação.

ABSTRACT: This study reports the procedures used for the extraction of undisturbed soil samples from the road subgrade of RS 342, located in the municipality of Cruz Alta, in order to evaluate the resilient behavior of the subgrade. Deformed soil samples were collected and submitted to physical classification (granulometry, specific weight, liquid and plasticity limits and USCS, AASHTO and MCT soils classification), as well as compaction tests in standard Proctor energy. The procedure for sculpting undisturbed samples was explained in the study. The resilient modulus test was conducted in accordance with the DNIT 134/2018 standard and the statistical adjustment was made using the Svenson, Composite and Universal models, demonstrating an excellent coefficient of determination for all cases. The value of resilience modulus was considered low, due to the material having been compacted in moisture content much higher than the optimum moisture content, however, considered sufficient for application in the subgrade.

KEYWORDS: Undisturbed Samples, Resilient Modulus, Lateritic Soil, Pavement.



1 Introdução

Ao executar uma rodovia deve-se considerar o fato de o pavimento ser uma estrutura de múltiplas camadas, sendo que cada uma apresenta características próprias e estão sujeitas aos esforços distribuídos vertical e horizontalmente, até atingir o subleito, considerado a fundação do revestimento ou do pavimento, o qual recebe uma parcela dessas tensões. Para aplicação, os materiais terrosos passam pelo processo de compactação, que visa elevar a resistência ao cisalhamento, reduzir a deformabilidade e permeabilidade, aumentar a estabilidade, entre outros (CRISPIM et al., 2011). Independente da energia de compactação aplicada nos materiais finos, o pavimento irá sofrer uma deformação específica total em função das solicitações dos veículos. Essa deformação é composta pelas parcelas elástica/resiliente e plástica/permanente.

A deformação específica resiliente é a parcela recuperável do deslocamento, ao passo que as deformações específicas permanentes compõem a parcela irreversível da deformação total. A parcela elástica da mesma resulta na flexão alternada do revestimento, ocasionando o fenômeno de fadiga, enquanto a parcela permanente resulta no afundamento de trilha de roda (LEKARP et al., 2001; SALOUR e ERLINGSSON, 2015; LIMA et al., 2021), dois dos principais mecanismos de danificação do pavimento.

O parâmetro que caracteriza o comportamento elástico dos materiais que estão sofrendo ação de um carregamento cíclico é o módulo de resiliência – MR, o qual pode ser obtido por meio do ensaio triaxial de cargas repetidas. Para aferir os parâmetros resilientes do solo, a normativa do DNIT 134 – ME – Solos – Determinação do Módulo de Resiliência regulamenta a utilização de amostras deformadas ou indeformadas. As amostras deformadas devem ser preparadas previamente e compactadas no molde tripartido para posterior realização do ensaio, conforme procedimento já abordado por Delongui et al. (2018), Lima et al. (2019), Guimarães et al. (2018), Freitas et al. (2020) e Zago et al. (2020). Já as amostras indeformadas são obtidas através de exemplares escavados do subleito ou de camadas do pavimento, e devem apresentar dimensões próximas a de um corpo de prova compactado em laboratório (DNIT, 2018). A principal vantagem de utilizar amostras indeformadas de solo é garantir o conhecimento da deformabilidade na condição que ele se encontra no pavimento. Contudo, o processo de retirada é minucioso e diversos cuidados devem ser tomados na obtenção dessas (PASCOAL et al., 2021).

O presente trabalho tem como objetivo descrever o procedimento realizado para retirar e acondicionar amostras indeformadas de solo de um subleito localizado na RS 342, em Cruz Alta, Rio Grande do Sul, bem como o processo de preparo para submetê-las ao ensaio triaxial de cargas repetidas, a fim de compreender o comportamento resiliente do solo compactado no campo na energia normal. Ainda, busca-se avaliar a equivalência entre o comportamento resiliente das amostras, no que se refere a umidade de campo, umidade após finalizar o procedimento de redução do seu tamanho e a umidade após concluir o ensaio de módulo de resiliência.

2 Área de estudo e metodologia

Cruz alta é um município localizado na mesorregião Noroeste Rio-Grandense, que possui latossolos vermelho-escuros de textura média argilosa, fortemente drenados e bastantes profundos. Este material é resultado do processo de intemperismo da porção final do derrame basáltico da Bacia do Paraná, formação Serra Geral. A área em estudo consiste em um aterro composto por solo argiloso laterítico, com fins rodoviários, que compõe um trecho da interseção de acesso ao município, na rodovia RS 342. O solo utilizado para compor o subleito foi extraído de uma jazida caracterizada por Pascoal et al. (2021), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da jazida solo empregada no aterro (Fonte: Pascoal et al., 2021)

Caracterização física do solo		Peso específico (kN/m ³)	28,75
% pedregulho (>2,0mm)	0	Limite de liquidez (%)	77
% areia grossa (0,6 – 2,0mm)	0	Limite de plasticidade (%)	51
% areia média (0,2 – 0,6mm)	7	Índice de plasticidade (%)	26
% areia fina (0,06 – 0,2mm)	21	Classificação SUCS	MH
% silte (2 µm – 0,06mm)	38	Classificação TRB (IG)	A-7-5 (1)
% argila (%< 2 µm)	34	Classificação MCT	LG'



O aterro possuía 14,20 m de altura e teve a energia Proctor normal empregada para compactação do corpo do aterro, ao passo que a energia intermediária foi utilizada para a camada final de terraplanagem. O ensaio de compactação foi realizado considerando a energia Proctor normal, com intuito de comparar as condições ideais, com a umidade no momento da coleta das amostras indeformadas. A umidade ótima do solo em questão é 34,7% e a massa específica aparente seca máxima é 1264 kg/m³.

A jazida de solo está localizada nas coordenadas 28°37'39.40" sul e 53°37'30.50" oeste (Figura 1). As amostras indeformadas foram retiradas do corpo do aterro, no mês de setembro de 2018, sob coordenadas 28°37'54.00" Sul e 53°37'31.50" Oeste. A Figura 2 apresenta o trecho de coleta das amostras antes de iniciar o procedimento de retirada.



Figura 1. Jazida de solo argiloso localizada em Cruz Alta – RS.



Figura 2. Interseção da via onde foram realizadas as coletas das amostras indeformadas.

2.1 Instrumentação e procedimento de coleta

Devido a dificuldade de obter um número elevado de amostras em um curto espaço de tempo, se fez necessário buscar alternativas para otimizar o processo e facilitar a retirada, visto que a obra possuía prazos para finalizar e a retirada de exemplares, além de pausar os serviços no trecho, agregaria um retrabalho aos executores. Para realizar o procedimento de coleta, contou-se com amostradores cilíndricos de aço com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura (Figura 3), com extremidades afiadas para facilitar a cravação do amostrador no corpo do aterro. Para tanto, esse processo ocorreu com auxílio da concha traseira de uma retroescavadeira, como pode ser observado na Figura 3.

Após a cravação do cilindro no solo compactado, ocorreu o processo de retirada do conjunto cilindro com solo, para posterior retirada da amostra com auxílio de um extrator, conforme demonstrado na Figura 4. Foram retiradas 18 amostras do corpo do aterro e para que elas permanecessem com as características de campo, fez-se necessário envolver as amostras com plástico filme (Figura 4). Para acondicionamento das amostras e transporte seguiu-se a norma DNER-PRO 002 (DNER, 1994). Após o transporte até o Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria (LMCC/UFSM), os corpos de prova (CP) receberam três camadas de parafina para conservar suas propriedades da compactação em campo, conforme a Figura 4.



Figura 3. Amostrador cilíndrico de aço e processo de cravação do amostrador.



Figura 4. Extração, corpo de prova envolto em plástico filme e protegido com parafina.

2.2 Preparo das amostras para o ensaio triaxial

As amostras indeformadas coletadas do corpo do aterro possuíam dimensões superiores às necessárias para a realização dos ensaios triaxiais de cargas repetidas. Então, foi necessário reduzir o seu tamanho até atingirem o diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. O procedimento de redução das medidas consistiu em esculpir o CP com espátulas e linhas de aço, controlando a umidade do ambiente e verificando a umidade do corpo de prova à medida que o procedimento acontecia (Figura 5).

Os corpos de prova foram propositalmente retirados em maiores dimensões para evitar qualquer efeito de borda ou amolgamento ocasionado durante a extração das amostras. Essas foram esculpidas 24 horas antes de serem submetidas ao ensaio triaxial de cargas repetidas. Após o processo, as mesmas foram acondicionadas em saco plástico e dentro de um recipiente fechado, guardadas na câmara úmida com temperatura e umidade controladas.



Figura 5. Procedimento de redução das dimensões da amostra.

2.3 Ensaio de módulo de resiliência

Para a realização do ensaio de módulo de resiliência seguiu-se os preceitos da normativa do DNIT 134/2018, onde foram aplicados 500 ciclos de repetição do par de tensões composto por uma tensão confinante de 0,07 MPa e tensão desvio de 0,07 MPa, aplicados a uma frequência de 1 Hz. Na sequência, o CP foi submetido a doze pares de tensão, conforme a Tabela 2, com 100 aplicações de cada par, a uma frequência de 1 Hz (DNIT, 2018).



Tabela 2. Pares de tensões confinante (σ_3) e desvio (σ_d) para o ensaio de módulo de resiliência de subleito.

Par	σ_3 (MPa)	σ_d (MPa)	Par	σ_3 (MPa)	σ_d (MPa)
1º	0,020	0,020	7º	0,050	0,050
2º	0,020	0,040	8º	0,050	0,100
3º	0,020	0,060	9º	0,050	0,150
4º	0,035	0,035	10º	0,070	0,070
5º	0,035	0,070	11º	0,070	0,140
6º	0,035	0,105	12º	0,070	0,210

Três amostras foram submetidas ao ensaio de triaxial de cargas repetidas para obtenção do módulo de resiliência. Posteriormente, as amostras foram analisadas considerando três modelos já consolidados. O modelo de Svenson (1980), modelo Composto (Pezo et al., 1992) e modelo Universal (NCHRP, 2004) tem suas equações apresentadas na Tabela 3. Para obter os parâmetros resilientes das amostras, utilizou-se o software *Statistica* v.10, onde foram realizadas regressões múltiplas não lineares, considerando as amostras individuais e o conjunto das três amostras (01+02+03). O critério utilizado para avaliação dos modelos foi o melhor enquadramento do coeficiente de correção (R^2) obtido através da regressão.

Tabela 3. Modelos para obtenção dos parâmetros resilientes

Propriedade	Modelos	Equação
Módulo de Resiliência	Svenson (1980) – tensão desvio	$M_R = k_1 \cdot \sigma_d^{k_2}$
	Pezo et al. (1992) – Composto	$M_R = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3}$
	NCHRP 1-37A (2004) – Universal	$M_R = k_1 \cdot \rho_a \left(\frac{\theta}{\rho_a} \right)^{k_2} \cdot \left(\frac{\tau_{oct}}{\rho_a} + 1 \right)^{k_3}$

Onde: M_R : módulo de resiliência; σ_3 : tensão confinante; σ_d : tensão desvio; θ : tensão principal; τ_{oct} : tensão octaédrica; ρ_a : pressão atmosférica; k_1 , k_2 , k_3 : parâmetros de resiliência determinados experimentalmente

3 Apresentação e análise dos resultados

Com base no ensaio de granulometria, percebeu-se um alto teor de materiais finos, considerando mais de 80% de material passante na peneira de número 200, representados por 34% de argila, 38% de silte e 21% de areia fina e um peso específico de 28,75 kN/m³. De acordo com os resultados dos limites de consistência, classifica-se o solo, pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), como um silte altamente plástico, MH, possuindo um limite de liquidez (LL) acima de 50%. Segundo a classificação rodoviária, o solo classifica-se como A-7-5 com índice de grupo igual a 11, uma argila plástica, com mais de 75% de material passante na peneira nº 200, com a possibilidade de ser muito elástico e com elevada variação volumétrica, sendo solos de comportamento sofrível a mau para aplicação como subleito. Em contrapartida, a classificação Miniatura Compactado Tropical (MCT) do solo indica que o material tende a ter um bom desempenho resiliente, alta capacidade de suporte e baixa permeabilidade, por se tratar de uma argila com comportamento laterítico.

Foi verificado que a umidade do aterro no momento da extração das amostras indeformadas era 46,07%. A Tabela 4 apresenta as características das três amostras que tiveram suas dimensões reduzidas e foram submetidas ao ensaio triaxial para obtenção dos parâmetros resilientes.

Tabela 4. Dimensões dos corpos de prova e umidade antes e após ensaio triaxial

Amostra	Diâmetro médio (cm)	Altura média (cm)	Umidade antes do ensaio (%) ¹	Umidade após ensaio (%) ²
01	9,88	20,15	48,53	52,41
02	9,99	20,13	45,33	49,53
03	10,02	20,06	51,25	51,36

1: Umidade obtida a partir dos fragmentos da parte exterior do corpo de prova

2: Umidade obtida no interior do corpo de prova após o ensaio de MR



Houve uma variação entre a umidade das amostras antes da realização do ensaio, se comparado com a umidade no momento da coleta e com a umidade após ensaio triaxial. As umidades são maiores após a realização do ensaio, visto que essas medidas foram feitas do interior do corpo de prova, ao passo que a umidade anterior ao ensaio foi medida pelos fragmentos do corpo de prova coletado em campo. Durante o procedimento de redução do corpo de prova em laboratório, muitas amostras romperam, por apresentarem zonas de fragilidade na sobreposição de camadas. Dessa forma, embora a técnica apresentada seja eficaz, sugere-se a extração de amostras extras, devido a fatores intervenientes.

As amostras 01 e 02 resistiram até o nono par de tensões, pois tiveram o ensaio interrompido devido ao curso dos *linear variable differential transformers* (LVDT) ter finalizado. A amostra 03 resistiu até o décimo primeiro par de tensões pelo mesmo motivo. A Tabela 5 apresenta os parâmetros k_1 , k_2 e k_3 obtidos para os modelos de Svenson, Composto e Universal, com as amostras analisadas individualmente e com o conjunto das três amostras (Amostra 01+02+03).

Tabela 5. Parâmetros resilientes obtidos após ensaio triaxial para cada modelo

Amostra	Modelo Svenson			Modelo Composto				Modelo Universal			
	k_1	k_2	R^2	k_1	k_2	k_3	R^2	k_1	k_2	k_3	R^2
01	11,96	-0,47	0,97	14,63	0,09	-0,51	0,98	93,73	0,02	-22,45	0,97
02	12,23	-0,47	0,96	13,37	0,04	-0,49	0,96	86,49	0,01	-21,63	0,99
03	10,83	-0,51	0,97	12,98	0,09	-0,56	0,98	89,37	0,01	-20,35	0,96
01+02+03	11,55	-0,49	0,97	13,49	0,07	-0,52	0,97	90,02	0,01	-21,21	0,97

Nota-se que as regressões realizadas com as amostras individuais apresentaram correlações semelhantes à correlação das amostras analisadas como um conjunto, em ambos os modelos. Contudo, julga-se mais adequado considerar a análise conjunta, por levar em conta a análise um número maior de dados. Os três modelos apresentaram coeficiente de correlação semelhante, com destaque para os modelos que consideram as tensões desvio e confinante.

Ao ponderar os parâmetros do conjunto, segundo o modelo Composto, verifica-se que o valor negativo do parâmetro k_3 , vinculado à tensão desvio, indica que ocorre uma diminuição do módulo de resiliência com o aumento da mesma. É possível inferir, também, que os valores positivos do parâmetro k_2 indicam que com o incremento da tensão confinante, há um aumento do módulo de resiliência. Na Figura 6 é possível observar o gráfico tridimensional do modelo Composto para o conjunto das três amostras.

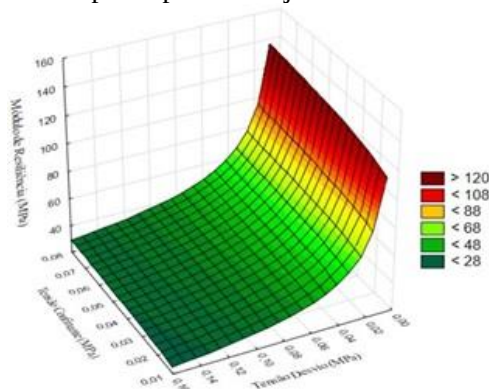


Figura 6. Análise pelo modelo Composto para o conjunto de amostras.

Ainda referente ao modelo Composto, ao avaliar em ordem de grandeza dos resultados obtidos, a amostra 01 apresentou uma média dos valores de módulo de resiliência de 49,8 MPa, ao passo que a amostra 02 apresentou um MR médio de 50,7 MPa. A amostra 03 foi a que obteve um valor médio de MR menor, 46,0 MPa. Ao considerar o conjunto de todos os resultados, o MR médio para as amostras indeformadas foi de 48,5 MPa. A umidade de compactação está relacionada diretamente ao comportamento resiliente do solo, que apresentou resultado satisfatório para a aplicação em subleito rodoviário, considerando o grau de compactação no campo (95%). Contudo, devido ao fato do material ter sido compactado em campo, com a umidade superior a 10% em relação a umidade ótima do material, o comportamento resiliente foi prejudicado.



Apresenta-se, como forma de situar o presente estudo na literatura, um banco de dados com valores de regressão matemática para o modelo Composto, de solos brasileiros, compactados à energia intermediária, o que foi considerado relacionável às amostras indeformadas e de mesmo grupo de classificação MCT, a saber, LG'. Os valores de regressão são comparáveis aos resultados de Bonzanini (2011) para o solo de mesmo local, no entanto ficam um pouco abaixo que os demais solos lateríticos brasileiros compactados na energia normal e intermediária. Este comportamento pode ser explicado pela retirada de amostras do interior do corpo de aterro, de modo que possa se aplicar uma maior tolerância aos graus de compactação.

Tabela 6. Parâmetros resilientes pelo modelo Composto de solos LG'

Amostra	Energia de compactação	Parâmetros resilientes			Fonte
		k ₁	k ₂	k ₃	
RS - Cruz Alta - 01+02+03	Normal	13,49	0,07	-0,52	Presente estudo
RS - Cruz Alta	Normal	144,3	0,18	-0,24	Pascoal et al. (2021)
RS - Cruz Alta	Normal	28,0	0,33	-0,82	Bonzanini (2011)
ES - BR 101	Normal	102,5	-0,09	-0,26	Guimarães (2008)
RS - BR 287	Normal	76,3	0,31	-0,25	Santos et al. (20)
RJ - Eco Ambiental	Intermediária	109,4	0,17	-0,68	Norback (2018)
MT - Sinop	Intermediária	207,6	0,15	-0,40	Dalla Roza (2018)
MT - Sinop	Intermediária	123,7	0,36	-0,66	Dalla Roza (2018)
RS - Cruz Alta	Intermediária	92,9	0,49	-0,67	Bonzanini (2011)

4 Conclusões

Esse estudo abordou o método empregado para coletas de amostras indeformadas de campo para ensaio de módulo de resiliência de um aterro rodoviário nas condições estruturais que o solo se encontra *in situ*. A extração foi possível pela cravação de um cilindro de aço no subleito compactado, com o auxílio de uma retroescavadeira. Esse processo apresentou baixa produtividade, devido ao tempo de extração das amostras e revezamento dos três cilindros disponíveis. Outros fatores também perturbaram o processo, tais como vibração excessiva do equipamento de cravação e britas depositadas próximo ao local de coleta, que facilmente eram carregadas ao longo do aterro.

Referente aos ensaios de módulo de resiliência realizados no equipamento triaxial de cargas repetidas, à medida em que a tensão confinante e a tensão desvio aumentaram, o módulo de resiliência diminuiu, apresentando um comportamento previsível para os solos argilosos. De maneira geral, os modelos analisados na presente pesquisa evidenciaram modelagens semelhantes e satisfatórias. Contudo, opta-se pela utilização do modelo Composto, pelo fato de esse considerar o estado de tensões (confinante e desvio) atuante no material.

Ao analisar as umidades durante o procedimento de redução das dimensões das amostras (denominada umidade antes do ensaio), tendo em vista a umidade de campo, observou-se um acréscimo relevante de umidade após o ensaio triaxial. No caso de um solo coesivo, a umidade de compactação ou moldagem está relacionada diretamente ao desempenho resiliente do material. Assim, acredita-se que o módulo de resiliência poderia ser superior aos valores aqui apresentados, caso o aterro tivesse sido compactado nas condições ideais.

De maneira geral, o solo apresentou resultado satisfatório para a aplicação em subleito rodoviário, considerando o grau de compactação no campo de 95%, a umidade de campo e o comportamento global do material.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ANP/PETROBRAS e o CNPq pelo fomento, à empresa Carpenedo & Cia LTDA e ao DAER/RS por permitirem a retirada das amostras indeformadas no momento da implementação do trecho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonzanini, J. A. F. Estudos dos efeitos do tamanho de corpos-de-prova no módulo de resiliência de quatro solos. 2011. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.
- Crispim, F. A., Lima, D. C., Shaefer, C. E. G. R., Silva, C. H. C., Carvalho, C. C. B., Barbosa, P. S. A., Brandão, E. H. (2011). The influence of laboratory compaction methods on soil structure: mechanical and micromorphological analysis. *Soils and Rocks*, 34, p. 91-98.
- Dalla Roza, A. E. Contribuição para projeto mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos na região norte do estado do Mato Grosso. 2018. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- Delongui, L., Matuella, M., Núñez, W. P., Fedrigo, W., Silva Filho, L. C. P., Ceratti, J. A. P. (2018). Construction and demolition waste parameters for rational pavement design. *Construction and Building Materials*, 168, p.105-112.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). DNER-PRO-002-*Coleta de amostras indeformadas de solo*. Rio de Janeiro, 12 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2018). DNIT 134/18-*ME Pavimentação-Solos-Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 18 p.
- Freitas, J. B. de, Rezende, L. R., Gitirana Jr., G. F. N. (2020). Prediction of the resilient modulus of two tropical subgrade soils considering unsaturated conditions. *Engineering Geology*, 270, p. 1-14.
- Guimarães, A. C. R. Um método mecanístico-empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos. 2009. 164 352 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- Guimarães, A. C. R., Motta, L. M. G., Castro, C. D. (2018). Permanent deformation parameters of fine-grained tropical soils. *Road Materials and Pavement Design*, 20 (7), p. 1664-1681.
- Lekarp, F., Richardson, I. R., Dawson, A. (2001). Influences on Permanent Deformation Behavior of Unbound Granular Materials. *Transportation Research Record*, 1547, p. 68-75.
- Lima, C. D. A., Motta, L. M. G., Aragão, F. T. S. (2019). Effects of compaction moisture content on permanent deformation of soils subjected to repeated triaxial load tests. *Transportation Research Record*, 2673 (2), p. 1-11.
- Lima, C. D. A., Motta, L. M. G., Aragão, F. T. S. (2021). A permanent deformation predictive model for fine tropical soils considering the effects of the compaction moisture content on material selection. *Transportation Geotechnics*, 28, p.1 -8.
- National Cooperative Highway Research Program. (2004). *NCHRP – 1-37A – Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures*. Transportation Research Board.
- Norback, C. Caracterização do módulo de resiliência e da deformação permanente de três solos e misturas solo-brita-Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- Pascoal, P. T., Sagrilo, A. V., Baroni, M., Specht, L. P., Pereira, D. S. (2021). Evaluation of the influence of compaction energy on the resilient behavior of lateritic soil in the field and laboratory. *Soils and Rocks*, 44 (4), p. 1-14.
- Pezo, R. F., Claros, G., Hudson, W. R., Stokoe II, K. H. (1992). *Development of reliable resilient modulus for subgrade and non-granular subbase materials for use in routine pavement design*. Research Report 1177-4F, Center for Transportation Research (CTR), The University of Texas at Austin, Austin, Texas.
- Santos, T. A., Specht, L. P., Pinheiro, R. J. B., Ceratti, J. A. P., Brito, L. A. T. (2020). Avaliação da resistência e da deformação resiliente de quatro solos de subleitos rodoviários no estado do Rio Grande do Sul. *Transportes*, 27, 48-64.
- Salour, F., Erlingsson, S. Resilient modulus modelling of unsaturated subgrade soils: laboratory investigation of silty sand subgrade. *Road Materials and Pavement Design*, 16:3, p. 553-568.
- Svenson, M. (1980). Ensaio triaxiais dinâmicos de solos argilosos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- Zago, J. P., Pinheiro, R. J. B., Baroni, M., Specht, L. P., Delongui, L., Sagrilo, A. V. (2020). Study of the permanent deformation of three soils employed in highway subgrades in the municipality of Santa Maria-RS, Brazil. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14, p. 729-739.