

FACULDADE GALILEU
ENGENHARIA CIVIL

ISRAEL LUCAS COLAUTO

VARIABILIDADE DA UMIDADE NA COMPACTAÇÃO DO SOLO
NO PISCINÃO CORREGO CASCATA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BOTUCATU-SP

2020

ISRAEL LUCAS COLAUTO

**VARIABILIDADE DA UMIDADE NA COMPACTAÇÃO DO SOLO
NO PISCINÃO CORREGO CASCATA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel,
Especialista em Engenharia Civil da
Faculdade Galileu.

Orientador: Prof. Diego Augusto
Valverde.

BOTUCATU-SP

2020

ISRAEL LUCAS COLAUTO

**VARIABILIDADE DA UMIDADE NA COMPACTAÇÃO DO SOLO
NO PISCINÃO CORREGO CASCATA**

Local, 28 de JULHO de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Diego Augusto Valverde

Afiliações

Prof. Juliana Zacarias Fabre Tebaldi

Afiliações

Dedico este trabalho
à minha família e a todos
que contribuíram para que
tal fosse possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força e sabedoria que me concedeu para a realização desse sonho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Diego Augusto Valverde, pela dedicação com que me guiou nesta trajetória, expondo sua visão para melhoria da mesma.

Agradeço minha família pelo apoio e companheirismo.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento a todos os professores, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Não há glória maior
que perdoar a quem me atacou,
e premiar a quem me serviu”.
Júlio César

RESUMO

Algumas atividades são executadas indevidamente principalmente quando envolve a compactação do solo. A compactação é possível por meios mecânicos ou manuais, que dependerão de conhecimento de cada tipo específico de solo, bem como o seu grau de umidade, pois é da umidade e densidade que influenciam na compactação. Em alguns tipos de solos, é necessário um estudo mais detalhado do material da área a ser compactada pela complexidade da composição daquele solo, emprega-se variada tecnologia para tanto. Diante da grande importância desse processo na construção civil, o presente estudo teve como objetivo analisar, através do ensaio Proctor, as amostras de solos extraídas na obra piscinão Córrego Cascata. Evitando, assim, problemas com recalques e famosas “bacias” encontradas em estradas, erosões. Os resultados positivos da execução de qualidade estão diretamente ligados às normas e aos conhecimentos técnicos, que contribuem para o aumento da produtividade e redução de custos com equipamentos e mão de obra.

Palavras-chave: Compactação. Ensaio Proctor. Solos.

ABSTRACT

Some activities are performed improperly mainly when it involves soil compaction. Compaction is possible by mechanical or manual means, which will depend on knowledge of each specific type of soil, as well as its degree of humidity, as it is the moisture and density that influence the compaction. In some types of soils, a more detailed study of the material of the area to be compacted by the complexity of the composition of that soil is necessary, using a variety of technology to do so. In view of the great importance of this process in civil construction, the present study aimed to analyze, through the Proctor test, the soil samples extracted in the construction site of the Cascade Stream. Thus, avoiding problems with settlements and famous “basins” found on roads, erosions. The positive results of quality execution are directly linked to standards and technical knowledge, which contribute to increasing productivity and reducing costs with equipment and labor.

Keywords: Compaction. Proctor test. Soils

1. INTRODUÇÃO

Todo empreendimento de engenharia, por menor que seja, precisa um trabalho movimentação de terras, já que é preciso adequar o terreno para a estrutura que será edificada.

Trás ao entendimento Pinto (2016) que a diversidade e a diferença do comportamento dos diversos solos perante as solicitações de interesse da engenharia levou seu natural agrupamento em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídos algumas propriedades.

Solos compactados apresentam algumas propriedades físicas, segundo Silva et al. (1986), dentre essas, pode-se exemplificar a diminuição do espaço poroso, ocorrendo implicações quanto ao crescimento de raízes e movimentos da água no solo. Quando em condições naturais, sua origem está principalmente ligada ao não revolvimento do solo, permitindo o acúmulo de pressões produzidas pelo tráfego de máquinas e/ou animais. Esse processo é ganha potencia em tempos de precipitação prolongada, onde o solo, por apresentar uma elevada umidade, se torna mais suscetível à compactação. Também, outros fatores podem influenciar a compactação do solo, onde se pode destacar a textura, a mineralogia e o teor de matéria orgânica.

A compactação tem basicamente dois aspectos, segundo Ponto (2006): aumentar a intimidade de contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo. O aumento da densidade ou redução do índice de vazios é desejável não por si, mas porque várias propriedades do solo melhoram com o acontecido.

A movimentação do solo faz com que o mesmo fique em um estado fofo e heterogêneo, ou seja, pouco resistente e muito deformável.

Expõe Belinati (2018) ao retirar os solos de seu local natural, apresentam características próprias que variam conforme tamanho e distribuição dos grãos (areias, siltes e argilas), umidade, entre outras, e sua escolha variam conforme o objetivo de sua utilização. Quando ocorre um corte de solo em determinada área, solos remanescentes de escavações, esse material sofre uma modificação e fica em um estado relativamente fofo e heterogêneo, com pouca resistência e muito deformável, que pode variar de local para local. Para que os solos possam ser utilizados em aterros ou recomposição em obras de terraplanagem, devem cumprir

com alguns requisitos, ou seja, possuir as propriedades adequadas que melhorem seu comportamento.

Aponta Cardoso (2010) que a movimentação de terra em obras é determinada pelos diversos serviços que compõem a execução da terraplenagem, que consiste nas operações de escavação, transporte, depósito e compactação de terras, necessárias à realização de uma obra.

Segundo Scarmagnani (2013) em toda obra de engenharia é exigido um estudo complexo da área a ser trabalhada, e é de suma importância, conhecer o solo e saber sua melhor forma de compactação. O solo é um material heterogêneo que apresenta comportamentos variados, necessitando ser estudado para avaliar a viabilidade e adequação da sua utilização em obras de construção.

Segundo Cardoso (2010), considerando que o valor da terraplenagem é conseguido calculando-se só os volumes escavados, mesmo assim faz-se necessário o cálculo dos volumes de aterros a fim de ser estudada a compensação entre os cortes e os aterros. O projeto de terraplenagem consiste numa das principais etapas de um projeto de construção e, durante a execução das obras é considerada a fase que causa maiores impactos ambientais nos meios físico e biótico. Devido à sua importância ambiental, econômica e nos aspectos da construção civil na atividade de infraestrutura, é necessário a análise do solo da movimentação de terra, com dados reais e apresentação de comparativos para verificação e análise das diversas etapas que compreendem a terraplenagem (execução de cortes, empréstimos, remoção de material rochoso, bota-foras, etc.).



Figura 1. Seções transversais da terraplenagem: cortes, aterros ou mistas. (Fonte: RICARDO E CATALANI, 1990).

Segundo Pinto (2006), o Ensaio de Proctor, foi padronizado no Brasil pela ABNT, com a NBR 7182 em 1986 e acrescenta que nas versões mais recentes a norma apresenta várias alternativas de realização do ensaio, porém continua sendo mais utilizada a chamada técnica original de ensaio.

A susceptibilidade à compactação pode ser avaliada com o ensaio Proctor normal ou suas variantes. Esse teste foi desenvolvido pela engenharia civil para determinar a umidade adequada para obter a máxima compactação do solo na construção de estradas (Vargas, 1977), ou seja, a umidade em que o solo está mais susceptível à compactação. No ensaio Proctor, para uma mesma energia de compactação, a densidade obtida depende da umidade do solo, ou seja, a densidade aumenta com o incremento da umidade até determinado valor e, depois, torna-se decrescente. Assim, compactando o solo em várias umidades, mas sempre com a mesma energia, e relacionando-se os valores de densidade obtidos com a umidade de compactação, obtém-se a curva de compactação do solo, da qual se calculam a umidade crítica de compactação e a densidade máxima correspondente.

Descreve Proctor (1933) que o ensaio de Proctor é uma opção de avaliação da fragilidade de um determinado solo à compactação, o qual se baseia no fato que a densidade no qual um solo é compactado, sob determinada energia de compactação, depende da umidade do solo no momento da compactação.

“Com ensaio Proctor, determina-se o ponto ótimo para compactação do solo, ou seja, a umidade crítica”. (Mentges et al., 2006).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os materiais existentes no solo para a compactabilidade, através da relação entre densidade máxima e umidade crítica, com o ensaio de Proctor, em solos, coletados em diferentes pontos da mesma obra.

Segundo Dias Júnior e Miranda (2000) os estudos sobre o processo de compactação do solo têm demonstrado que diferentes classes de solos apresentam comportamentos distintos quando submetidos ao processo de compactação. Isso se deve a vários fatores, tais como: energia de compactação, textura, matéria orgânica, umidade e história de tensão.

Portanto, o entendimento do comportamento dos solos, quando submetidos ao processo de compactação, é de grande importância, principalmente para aspectos relacionados a construção civil.

A compactação do solo é um procedimento que aumenta a densidade do terreno onde será construída uma edificação. A partir disso, é possível garantir mais resistência e estabilidade para todas as etapas posteriores de um canteiro. Dessa forma, é essencial utilizar os procedimentos corretos, respeitando as normas técnicas existentes. O uso de equipamentos de segurança e a realização de estudos laboratoriais são outras questões que não podem faltar no planejamento.

Explica Mattos (2010) que a falta de atenção do planejamento permite consequências ruins em um empreendimento e, conseqüentemente, para a empresa que a realiza e que apenas um momento de descuido em uma atividade pode acarretar atrasos e aumento de custos, assim como colocar em risco o bom resultado esperado do empreendimento a ser executado.

Alerta Cardoso (2010) que as pessoas que envolvidas na execução da obra, citando como exemplo, os engenheiros, técnicos, topógrafos e operadores de máquinas, são peça principais para o desenvolvimento das etapas produtivas no canteiro de obra. É fundamental ressaltar que erros em ensaios geotécnicos ou uma operação inadequada de um equipamento por parte de um operário podem acarretar em custos imprevistos pela equipe técnica.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no laboratório localizado em Botucatu – SP, município do interior do estado, especificamente na obra transposição da linha férrea de Botucatu Arlindo Duran.

No local foram feitas algumas análises do material dos solos, entretanto, a coleta foi realizada na obra “piscinão córrego cascata” para demonstrar a variabilidade e qualidade do material pois este seria usado na obra do viaduto no local do aterro.



Figura 2. Vista aérea do Piscinão Córrego Cascata em execução. (Fonte: do autor).

Uma das maiores obras de infraestrutura em Botucatu é a construção do Reservatório de Contenção de Cheias do Córrego Cascata, popularmente conhecido como “Piscinão”. Sendo construído as margens da Rodovia Marechal Rondon, nas proximidades da empresa Caio.

O objetivo do Piscinão é armazenar água da chuva e regular o fluxo do Córrego da Cascata em períodos muito chuvosos.



Figura 3. Piscinão Córrego Cascata em execução. (Fonte: do autor).



Figura 4. Piscinão Córrego Cascata finalizado. (Fonte: do autor).



Figura 5. Viaduto onde foi realizado o aterro. (Fonte: do autor).



Figura 6. Rotatória onde foi realizado aterro. (Fonte: do autor).

Primeiramente foi realizado um levantamento topográfico e demarcado os pontos de retiradas do material para que posteriormente fossem feitas as análises de proctor, um sistema de análise.

Para tal estudo como fonte rema, o livro Curso Básico de Mecânica dos Solos, de autoria de Carlos de Souza Pinto, em sua terceira edição lançada em 2006, como é possível visualizar nas referências. Após realizadas as coletas parcialmente do material houve um processo no qual é detalhado.

3. ENSAIO PROCTOR

3.1. COLETA

A primeira etapa que antecede a execução do ensaio de caracterização é a coletado material no campo, como demonstrado na figura 7.



Figura 7. Coleta de amostras. (Fonte: do autor).

3.1.1. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

Foi retirado cerca de 40kg do material indicado por normas e presente um técnico de laboratório que estava acompanhando o processo. Após a coleta o material foi levado

para um espaço que possui uma medida 4m², dimensões de 2m por 2m. Nessa quadra, foi espalhado o material para que houvesse a secagem em 24 horas e quando não houvesse sol poderia ser colocada em um forno a 180°C também por 24 horas.

3.1.2. DESTORROAMENTO E QUARTEAMENTO

Logo após as 24 horas, ou seja, no dia seguinte foi aglomerado o material e feito o destorroamento, desmanchando os torreões de terra com pilão manual de porcelana, processo que levou em torno de 5 a 10 minutos, o qual ficava homogêneo.

Depois foi feito o quarteamento, um processo que consiste em dividir o material em quatro parte, para ser escolhida a melhor amostra aparente, a amostra mais homogênea.

3.1.3. PESAGEM

Seguindo o procedimento conforme as normas foram retirados 1,5 quilos de solo o qual cada amostra teve uma pequena variação de material argiloso para que fossem passada no peneiramento. Para finalmente ocorrer o ensaio de proctor no laboratório.

3.2. MATERIAIS

São listados os materiais utilizados a seguir:

- Almofariz e mão com borracha;
- Peneira numero 4 (4,8mm);
- Balança de precisão;
- Molde cilíndrico de 1000cm³ o qual possui base e colarinho;
- Soquete cilíndrico;
- Extrator de amostras;
- Estufa com potencial até 250°C;
- Cápsulas para determinação de umidade;
- Bacias metálicas;
- Espátulas.

3.3. PROCEDIMENTOS

Deixava-se reservado água em um recipiente, para que ficasse em fácil acesso e misturava o material preparado ate que chegasse em um ponto de consistência plausível para que não ocorresse erro no processo do ensaio, com a experiência do tato, que é um conhecimento para determinar a textura, um senso que advem com muitos anos em campo e técnica ao manusear o material.

Recolheu-se três camadas do material para a compactação no molde cilíndrico com as três camadas tentando ser o mais possível na homogeneidade e cobrindo um terço do molde, é possível ver na figura 8.



Figura 8. Cilindro e soquete do conjunto utilizado no ensaio (a) e cilindro preenchido com a terceira camada de solo compactada (b). (Fonte: Ribelatto et al., 2017).

Prosseguiu aplicando 25 golpes uniformemente com o soquete em uma altura de 30cm, como na figura 9. Com muito cuidado para não danificar o material retirou-se o colarinho e a base, pegou-se uma régua metálica de 30cm e aplainou-se a superfície do material à altura do molde para que assim, fosse levado ate a balança, para a pesagem do conjunto. Com cuidado para que não tivesse algum solo grudado na área externar do cilindro, nos casos onde ocorreu, foram limpos os cilindros com um pincel para que não tivesse valores irreais na pesagem.

Logo após a pesagem anotou-se o peso na planilha ou local específico que estivesse marcando, para análise futura, e levou-se o molde para o extrator podendo ser o elétrico ou manual.

Quando retirada a amostra do extrator repartiu ao meio e retirou-se uma pequena amostra para a coleta e determinação da umidade. Desfizeram o material ate passar novamente pela peneira 4 (4,8mm) e utilizou o mesmo material da amostra inicial.



Figura 9. Procedimentos. (Fonte: do autor).

Misturou-se novamente com o material que ficou na bacia e acrescentou-se 2% de água da massa original de solo, em peso e foi realizado esse processo por mais quatro vezes para que tivesse dados coerentes.

3.4. CÁLCULOS

A figura 10, a seguir tem o intuito de demonstrar as fórmulas para os cálculos de peso específico úmido, ou seja, o peso por unidade de volume, e o detalhe de suas incógnitas.

- ✓ $\gamma = [(\text{Peso Cilindro} + \text{Solo Úmido}) - (\text{Peso Cilindro})]/(\text{Volume Cilindro})$
- ✓ **Peso específico seco:**

$$\gamma_d = (\gamma \cdot 100)/(100 + w)$$
- ✓ **Peso específico seco em função do grau de saturação:**

$$\gamma_d = (S_r \cdot \gamma_s \cdot \gamma_w)/(w \cdot \gamma_s + S_r \cdot \gamma_w) S_r$$
- ✓ **Grau de saturação: w**
- ✓ **Umidade: γ_s**
- ✓ **Peso específico das partículas sólidas γ_w**
- ✓ **Peso específico da água.**

Figura 10. Formulação para cálculos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os procedimentos realizados e dados analisados na retirada do material do piscinão córrego cascata pode-se observar que houve a diversidade de umidade e densidade perante os ensaios, realizado onde o solo naquela região obteve a predominância do material argiloso (solos argilosos, argilo-arenosos e argilo-siltosos), porém, alguns ensaios obtiveram materiais como areia silto-argilosa os quais possuem uma textura diferente.

Ensaio de proctor		
Data	Densidade maxima (g/cm)	Umidade otima %
25/10/2018	1346	30,3
28/10/2018	1778	11,8
13/11/2018	1333	30,1
01/01/2019	1430	27,6
04/02/2019	1571	25,7
14/02/2019	1680	23,8
25/04/2019	1409	33,5

Figura 11. Quadro de amostra de densidade e umidade do material. (Fonte: do autor).

É possível notar ao observar a variação da do quadro apresentado na figura , que a densidade de cada solo é inversamente proporcional a umidade, quanto maior a umidade, menor a densidade, e vice-versa. Na figura, é possível observar os dados dos pontos de coleta.

OBRA: VIADUTO SOBRE A LINHA FERREA - BOTUCATU - SP						SUB-TRÉCHO: FERROVIA		FOLHA Nº: 1		
ESTACA: BOTUCATU		FURO: X	PROFUND.: 00 - 2,00	PROCEDENCIA: Material Argilarenoso-proximo ao canteiro				UTILIZAÇÃO: ATERRO		
COLETOR DA AMOSTRA: israel		PROCTOR: NORMAL		GOLPES: 26	OPERADOR:	CAMADA: ATERRO	DATA DA COLETA: 01/02/2019		DATA DO ENSAIO: 04/02/2019	
Cilindro nº		01	02	03	04	05	UMID. HIGROSCÓPICA			
Cápsula n.º								06	03	
C + S + A								60,85	76,40	
C + S								56,73	74,05	
A - Água								4,12	2,35	
C - Cápsula										
S - Solo								56,73		
Umidade - h								7,26		
UMIDADE MÉDIA								3,6		
UMIDADE CALCULADA		22,4	24,5	26,6	28,7	30,7		PESO MATERIAL:	2.500	
Água Adicionada (ml)		450,00	500,00	550,00	600,00	650,00		PESO MAT. SECO:	2.409	
% Água adicionada		22,00%	24,00%	26,00%	28,00%	30,00%		MOLDES		
M + S + A		4.213	4.314	4.355	4.285	4.205		Nº	PESO	VOLUME
M. Molde		2.381	2.381	2.381	2.381	2.381		01	2.381	997
S + A		1.832	1.933	1.974	1.904	1.824		01	2.381	997
Dens. Úmida		1.837	1.938	1.979	1.909	1.829		01	2.381	997
DENS. CONVERTIDA		1.506	1.563	1.571	1.491	1.407		01	2.381	997
DENS. SECA		1.500	1.556	1.563	1.484	1.399		01	2.381	997

Figura 12. Planilha com os pontos de umidade e densidade com as amostras hidrosópicas. (Fonte: do autor).

Contatou-se, conforme indica a seta (em vermelho) do gráfico de curva de compactação (figura) onde é o ponto ótimo, ou seja, o ponto ideal de compactação do material.

Perante esses resultados foi possível constatar a importância das realizações dos ensaios de Proctor para que fossem feitas a execução do aterro de compactação correta em campo na onde presenciou as diferentes mudanças do material quando compactado no seu ponto ótimo ou quando ele estava borrachudo e precisou passar a grade para a secagem do material.

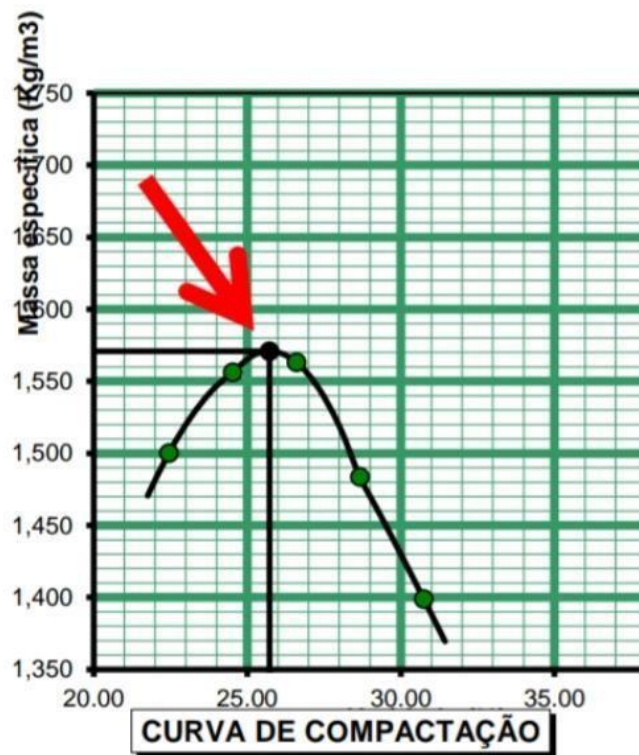


Figura 13. Gráfico do ponto ótimo do material. (Fonte: do autor).

Então, segundo os resultados não houve nada fora do comum e significativo nas análises, pois quanto maior é a umidade, menor a densidade ou quanto menor a umidade, maior a densidade perante os solos avaliados.

Assim temos como resultado da discussão e a realização da obra como confirmação que foram importantes as análises, para a viabilização. Com as análises do material antes da compactação, com resultados positivos da execução de qualidade estão diretamente ligados às normas e aos conhecimentos técnicos, que contribuem para o aumento da produtividade e redução de custos com equipamentos e mão de obra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entender a origem, propriedades e execução dos materiais e métodos construtivos é um ponto muito importante a ser considerado, para a instrução e uma boa performance dos engenheiros civis. Principalmente quando esse elemento ou técnica tem impacto direto no dia a dia do profissional.

A metodologia utilizada para realização deste estudo de movimentação de terra no viaduto foi satisfatória para conclusão do trabalho, sendo que cada etapa da mesma possibilitou a interpretação dos dados coletados de forma clara e objetiva.

Conclui-se que as obras de terraplenagem devem ser feitas de acordo com as especificações técnicas, manuais e normas ambientais dos órgãos competentes, pois esta fase das obras é a que provoca maiores impactos ao meio ambiente e ao empreendimento.

6. REFERÊNCIAS

CARDOSO, D. G. Movimentação de terra em obras rodoviárias: um estudo de caso de trechos do proacesso-MG, observados os aspectos da engenharia sanitária. UFMG. Belo Horizonte, MG. 2010.

RICARDO, H.S., & CATALANI, G. Manual Prático de Escavação – Terraplanagem e Escavação de Rocha, Editora Pini, São Paulo, SP. 1990.

DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). Ciência Agrotecnica, Lavras v.24, n.2: 337- 346, 2000.

MATTOS, A. D. Planejamento e controle de obras. São Paulo. Pini, 2010.

MENTGES, M.I.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; WILLIS, J.A.; ROSA, D.P.

Compactação em diferentes solos pelo ensaio de Proctor. Untitled Document. 2006.

PEIXOTO, I. Ensaios de caracterização em solos. Ideológico, 2019. Disponível em:< <http://igeologico.com.br/ensaios-de-caracterizacao-em-solos/>>. Acesso em: 17 de Jul. de 2020.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/3ª Edição. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

PROCTOR, R. R. Fundamental principles of soil compaction. Engineering News Record, ago/set 1933.

RIBELATTO, P. J. C.; TAUBINGER, L.; BEN, T. J.; VICENCI, M.; POTT, C. A. Caracterização da Densidade Máxima do solo da Região Centro Oeste do Paraná. Investig. Agrar. 2017; 19(1):49-55.

SCARMAGNANI, J. A. Análise das propriedades mecânicas de um solo da formação palermo estabilizado mecanicamente. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, SC. 2013.

SILVA, A.O.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 10:91-95, 1986.

VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil, 1977. 509p.