

## CALCULATION FOR REDEMPTION OF COMPACT TESTING BY THE PROCTOR METHOD THROUGH NEWTON'S GRAVITATIONAL POTENTIAL ENERGY.

FIDELIZ, Fábio Vinícius<sup>1\*</sup>; SILVA, Thiago Augusto Andrade da<sup>1</sup>; FERREIRA, Mariana Babilone de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitário UNA – Faculdade de Engenharia – Conselheiro Lafaiete, MG

\* Autor correspondente  
e-mail: mariana.babilone@prof.una.br

Received 09 October 2020; received in revised form 15 November 2020; accepted 25 November 2020

### ABSTRACT

Throughout this article, a study on the characteristics of the compaction test by the Proctor Method, regulated by ABNT NBR-7182, which is used to verify the degree of soil compaction, will be approached in order to broaden the discussion and raise points that demonstrate the urgent need to make it more accurate, efficient and safe. Through qualitative and quantitative research carried out by the authors of this article, it sought to collect data through a questionnaire for professionals in the field of geotechnics in the “Quadrilátero Ferrífero” region in Minas Gerais. In addition to other relevant data for the topic, it was raised that of the 22 professionals from the participating region, 72.7% of the total belief that the manual compaction test can be manipulated by an operator during the test execution, failing to generate results reliable, thus showing the importance of the proposed theme. In this way, we initially sought to correlate the Compaction Energy formula idealized by Ralph Proctor with Isaac Newton's Gravitational Potential Energy formula and, through it, present the resizing, which may enable the construction of manual, semi-automatic human propulsion machines (not or making the automated ones that depend on electricity available to the market. In conclusion, from the mathematical calculations, it was possible to evidence the use of Newton's Gravitational Potential Energy to construct new equipment to carry out this test.

**Keywords:** *civil construction, compaction test, proctor test.*

### 1. INTRODUÇÃO:

É fato que em qualquer obra da construção civil onde o terreno passou por processos antrópicos, ou seja, com interferência humana, é necessária a compactação desse solo, o que foi discutido também no trabalho de Pivetta (2017). A compactação é definida como sendo o adensamento dos solos pela aplicação de energia mecânica (Holtz and Kovacs, 1981). Em seu trabalho, Hillel (1998) afirma que a compactação do solo pode ser considerada do ponto de vista da engenharia civil ou da agronomia. Para engenharia civil, o método utilizado atualmente para verificar se o solo foi compactado corretamente é o método de Proctor, previsto na ABNT NBR-7182 que tem como objetivo “prescrever o método para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados, de acordo com os processos especificados”.

O método de Proctor foi criado em 1933 pelo engenheiro Ralph Proctor, considerado por muitos como o Patrono da Geotecnia Mundial. Ele propôs a criação da energia de compactação que é o “ato de artificialmente aumentar o peso

específico do solo por manipulação agindo-se sob forma de pressão ou vibração das partículas de solo de modo que elas fiquem em estado de contato íntimo” (Baptista, 1974). Porém, nota-se o quão antigo é o método, uma vez que desde o seu desenvolvimento este ensaio utiliza os mesmos princípios apresentados. Portanto, é fundamental a democratização e aprimoramentos desse ensaio, visando torná-lo mais preciso, ágil e seguro.

O processo de compactação do solo tem como objetivo reduzir o volume, ou seja, retirando o ar contido em um solo, tornando-o mais estável e resistente, além disso, visa a melhoria na permeabilidade, absorção de água e compressibilidade (Caputo, 2015; Murrieta, 2018). A compactação resulta em um aumento na resistência ao cisalhamento e resistência à carga, redução na deformabilidade e permeabilidade (Crispim, 2010), além de reduzir a sedimentação do solo e dar estabilidade.

Contudo, a realização do ensaio citado depende diretamente da interferência humana, como discutido também por Silva e Andrade (2016) uma vez que os testes automatizados



existentes são lentos, causando uma tendência do uso do processo manual, porém essa dependência gera oportunidade para que ocorram erros ou manipulações em parâmetros durante o ensaio, causadas de forma intencional ou não pelo laboratorista, em relação à altura, operação do soquete, número de camadas, número de golpes por camadas, gerando divergências com as determinações que a norma prevê, e desse modo, haverá uma imprecisão inadmissível, podendo até mesmo ocasionar acidentes graves no futuro.

Portanto, pretendendo tornar a compactação do solo cada vez mais segura, o presente trabalho tem como intuito levantar a discussão sobre o método de compactação de Proctor, seja com suas variações de energia normal, intermediário ou modificado, apontando as possíveis ocorrências de erros por parte do laboratorista no momento da realização do ensaio, seja intencional ou pelo cansaço físico. Além disso, será proposto também o redimensionamento dos soquetes utilizados na execução do ensaio de compactação pelo método de Proctor, tendo como base a energia potencial gravitacional criada por Newton, possibilitando assim a criação de máquinas mais tecnológicas, que façam os ensaios se tornarem mais precisos, ágeis e seguros.

É importante frisar que, segundo matéria divulgada pela Revista Galileu em março de 2020, Isaac Newton descobriu a Lei da Gravitação Universal durante a epidemia da peste bubônica, que afetou a Inglaterra entre 1665 e 1666. Na época a Universidade de Cambridge, onde estudava, liberou seus alunos para entrarem em quarentena, portanto foi nesse período que Newton colocou seus estudos em andamento, alguns de seus biógrafos afirmam que foi nessa época que ele teve o possível *annus mirabilis*, latim para "ano miraculoso" ou "ano de maravilhas". (Lança, 2005).

Por coincidência, este trabalho também foi escrito durante uma quarentena de pandemia. Os autores utilizaram da internet para se comunicarem e organizar conjuntamente o artigo, respeitando o isolamento social, trabalhando a distância e se protegendo do Coronavírus, ressaltando assim que o estudo e confecção do artigo só foi possível graças aos antigos estudos de Newton durante uma quarentena e também por causa das atuais tecnologias de comunicação que tornaram possível a comunicação entre os autores.

Vale evidenciar ainda que, existem

máquinas que realizam os ensaios de compactação (Lobo, 2003), porém é necessário um grande investimento para as empresas adquirirem essas máquinas de compactação, principalmente por causa do valor elevado. Fato que contribui negativamente e faz com que as máquinas não estejam em atividade nas frentes de serviço de terraplanagem no Brasil.

O que o atual trabalho propõe é que seja realizada uma urgente padronização da energia de compactação no método de Proctor e demais ensaios derivados, seguindo a tendência do que foi discutido no trabalho de Tartarotti *et al.* (2018), que com a tendência da Indústria 4.0 cada vez mais as decisões serem tomadas sem interferência humana, de maneira a garantir uma maior confiabilidade. É fundamental ressaltar a originalidade do presente trabalho ao propor o redimensionamento dos instrumentos do ensaio para que seja desenvolvido máquinas mais baratas, portáteis e acessíveis ao mercado. Além disso, a maneira com que os cálculos são apresentados, não é encontrado em outra fonte acadêmica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS:

### 2.1. Ensaio de Compactação de Proctor

O ensaio de compactação, criado por Ralph Proctor em 1933 foi desenvolvido para uso na engenharia civil, cujo propósito é alcançar a máxima compactação de um terreno onde irá ser construída uma edificação (Vargas, 1977). Portanto, ele foi criado com intuito de determinar o momento em que o solo está mais suscetível à compactação, ou seja, com a umidade dentro dos parâmetros definidos. Com o ensaio de Proctor, é possível chegar na curva de compactação por meio da análise dos valores de umidade do solo com a densidade. Entretanto, para isso é necessário que a energia de compactação seja a mesma em todas as quedas. (Braidá *et al.*, 2006)

Proctor determinou três energias de compactação, elas são divididas em: normal, intermediária e modificada (Santos, Daibert; 2018). Conforme foi apresentado na Tabela 1, cada energia possui um número de golpes, número de camadas e tipo de soquete específico. A execução do ensaio deve ser realizada conforme a norma prescreve, sendo que energia de compactação normal equivale a 59 N.cm/cm<sup>3</sup>, a intermediária 130 N.cm/cm<sup>3</sup> e a modificada 270 N.cm/cm<sup>3</sup>. (ABNT NBR 7182)

O ensaio de compactação é realizado com

os seguintes equipamentos: cilindro metálico pequeno, cilindro metálico grande, soquete pequeno, soquete grande, balanças, peneiras, estufa, cápsulas metálicas, bandejas metálicas, régua de aço biselada, espátulas de lâmina flexível, provetas de vidro, desempenadeira de madeira, extrator de corpo-de-prova, conchas metálicas, base rígida de concreto, papel filtro, conforme a norma ABNT NBR 7182.

Com os equipamentos supracitados, o laboratorista tem a possibilidade de realizar os ensaios de compactação pelo método de Proctor de forma manual. No Proctor Normal, o operador deve retirar do solo a quantidade de terra necessária, em seguida, esses resíduos passam por uma peneira de 4,8 mm. Adiciona-se água na amostra, até notar a consistência correta, compacta-se utilizando o cilindro pequeno com 3 camadas, aplicando 26 golpes por camadas a uma altura de 0,305 m. Retira-se o colarinho e a base, utilizando a régua biselada aplaina-se a superfície na altura do molde, após isso, faz-se a pesagem do conjunto. Com o auxílio do extrator retira-se a amostra do molde, e coleta-se uma pequena quantidade para determinação da umidade, o restante do material é desmanchado até que possa passar novamente pela peneira de 4,8 mm e guardado junto ao restante da amostra inicial. Adiciona-se água à amostra homogeneizando-a, normalmente a uma ordem de 2% da massa original do solo, repete-se o processo por quatro vezes. Por último, faz-se os cálculos necessários para encontrar a curva de compactação, peso específico, umidade ótima e as curvas de saturação (ABNT NBR 7182).

### 2.1.1 Problemas relacionados ao ensaio

Os autores do atual trabalho realizaram entre os meses de março a abril de 2020 entrevistas com auxílio do Google Forms, cujo intuito principal foi constatar através da opinião dos profissionais que operam os ensaios na região, a possibilidade de manipulação dos resultados durante a execução. Ao todo, participaram dessa pesquisa, 22 profissionais que atuam na área da construção civil e geotecnia que serão apresentados nos resultados deste trabalho.

Além disso, conforme o trabalho de Crispim *et. al* (2015), neste tipo de ensaio faz-se necessário avaliar a influência do diâmetro e do número de camadas do corpo de prova nas curvas de compactação de laboratório e na resistência mecânica dos solos.

O trabalho de Euqeres, Arão e Lima

(2018) levanta a problemática referente a preocupação com a ergonomia na realização das atividades desenvolvidas no ambiente de Laboratório de Solos, pois grande parte dessas dependem não somente de esforços físicos, mas a combinação deste com número significativo de repetições. Conforme levantado pelas autoras, a compactação de corpos de prova poderia ser realizada de forma mecanizada, porém como os equipamentos para tal atividade podem ser algo que torne a atividade bastante onerosa para o contratante, a compactação de forma manual ainda é muito utilizada.

### 2.1.2 Correlação entre a Fórmula da Energia de Compactação com a Fórmula de Potencial Gravitacional

O presente trabalho propõe o redimensionamento dos instrumentos, principalmente do soquete que realiza os ensaios, que possibilitará a construção de máquinas acessíveis ao mercado, colocando fim a imprecisão dos resultados obtidos pelo ensaio de compactação pelo método de Proctor realizado de forma manual.

A energia potencial gravitacional consiste em fazer a multiplicação da massa, gravidade e altura da partícula analisada (Equação 1). (Marques, 2016).

$$E_{pg} = m \times g \times h \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:  $E_{pg}$  (Energia potencial gravitacional);  $m$  (Massa);  $g$  (Gravidade);

Ralph Proctor postulou que energia de compactação é obtida por meio da multiplicação do peso, altura, número de camadas e o número de golpes, e dividindo o resultado dessa multiplicação pelo volume (Equação 2).

$$E_c = (P \times h \times N \times n) / v \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:  $E_c$  (Energia de compactação);  $P$  (Peso);  $h$  (Altura);  $N$  (Número de camadas);  $n$  (Número de golpes);  $v$  (Volume).

Desmembrando o peso na fórmula da energia de compactação, obtém-se a fórmula da

energia de compactação modificada que consiste na multiplicação da massa, gravidade, altura de queda do tarugo, número de golpes exercido, e número de camadas no cilindro, e o resultado dessa multiplicação é dividido pelo volume (Equação 3).

$$E_{cm} = (m \times g \times h \times N \times n) / v \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:  $E_{cm}$  (Energia de compactação modificada);  $m$  (Massa);  $g$  (Gravidade);  $h$  (Altura);  $N$  (Número de camadas);  $n$  (Número de golpes);  $v$  (Volume).

Contudo, ao observar essa fórmula é possível verificar que o início dela é igual à fórmula de energia potencial gravitacional. Ou seja, por meio dessa correlação que é possível realizar o redimensionamento.

### 2.1.3 O Redimensionamento

Após realizar essa análise de correlação, é notável a possibilidade do redimensionamento dos instrumentos do ensaio de compactação pelo método de Proctor. Na energia de compactação Normal, é determinado que o volume do cilindro seja em média de  $1000 \text{ cm}^3$ , a massa do tarugo seja de 2,5 Kg, e que a altura em queda livre seja de 30,5 cm (conforme a Tabela 2 apresenta). Desse modo, ao realizar os cálculos com a fórmula de energia de compactação temos sempre que obrigatoriamente chegar a um valor de  $59,475 \text{ N.cm/cm}^3$ , valor esse determinado por Proctor como energia Normal de compactação. Vale ressaltar que Proctor utilizou a gravidade valendo  $10 \text{ m/s}^2$  ao invés de  $9,80 \text{ m/s}^2$ , portanto, visando maior segurança para o redimensionamento, respeitando a padronização proposta por Proctor, neste trabalho também será considerado a gravidade como  $10 \text{ m/s}^2$ .

Desse modo, é necessário calcular a energia potencial gravitacional, com a massa e altura determinada por Proctor. Para isso, pegase a fórmula da energia potencial gravitacional (Equação 4), substitui os dados de massa e altura (Equação 5) e faz a multiplicação (Equação 6). Ao realizar esse cálculo obterá que a energia potencial gravitacional no Proctor Normal equivale a 7,625 J.

$$E_{pg} = m \times g \times h \quad (\text{Eq. 4})$$

$$E_{pg} = 2,5 \times 10 \times 0,305 \quad (\text{Eq. 5})$$

$$E_{pg} = 7,625 \text{ J} \quad (\text{Eq. 6})$$

Portanto, para realizar o redimensionamento do ensaio de compactação por Proctor Normal, basta utilizar o valor que foi encontrado acima para substituir a energia potencial gravitacional juntamente com os dados determinados por Proctor, e aplicá-los utilizando a fórmula da energia potencial gravitacional (Equação 7).

Sendo que, poderá modificar a massa ou a altura, caso utilize um novo valor de massa, proporcionalmente encontrará uma nova altura ou se colocar uma nova altura encontrará proporcionalmente um novo valor para massa.

No exemplo abaixo, supôs que a nova massa fosse de 5,5 Kg, ou seja, esse valor foi inserido na fórmula da energia potencial gravitacional juntamente com 7,625 J (Equação 08), que foi o valor encontrado no Proctor Normal. Após realizar as operações matemáticas, obtém-se que nova altura terá que ser de 13,86 cm para que a energia potencial gravitacional seja a mesma que Ralph Proctor padronizou no Proctor Normal (Equação 10).

$$E_{pg} = m \times g \times h \quad (\text{Eq. 1})$$

$$7,625 = 5,5 \times 10 \times h \quad (\text{Eq. 8})$$

$$7,625 = 55h \quad (\text{Eq. 9})$$

$$h = 13,86 \text{ cm} \quad (\text{Eq. 10})$$

Desse modo, foi possível redimensionar o ensaio de compactação, determinando novos valores de massa e altura, no exemplo acima foi determinado que para uma massa de 5,5 kg é necessário cair em queda livre de uma altura de 13,86 cm, a fim de que a energia de compactação seja a mesma postulada por Proctor.

Portanto, para uma validação matemática, basta colocar os dados encontrados na fórmula da energia de compactação modificada (Equação 11), e chegará no mesmo valor determinado por Proctor (Equação 12).

$$E_{cm} = (7,5 \times 10 \times 10,17 \times 3 \times 26) \div 1000 \quad (\text{Eq. 11})$$

$$E_{cm} = 59 \text{ N.cm/cm}^3 \quad (\text{Eq. 12})$$

O valor da energia potencial gravitacional

para o ensaio de compactação pelo método de Proctor com cilindro de volume 2000 cm<sup>3</sup>, será o mesmo para todos os tipos de ensaios com energia Normal, Intermediária ou Modificada. Ou seja, utiliza-se a fórmula da energia potencial gravitacional (Eq. 13), substitui-se os valores de massa e altura conforme Proctor determinou (Eq. 14), e resultará no valor da energia potencial gravitacional para os três tipos de energias. Portanto, a diferença entre os tipos de energias nesse caso, é apenas a variação de número de golpes em cada ensaio. Entretanto, é necessário entender que por não ter alteração na altura de queda livre e na massa do tarugo, a energia potencial gravitacional em cada golpe é igual nesses três tipos de energias de compactação.

$$E_{pg} = m \times g \times h \quad (\text{Eq. 1})$$

$$E_{pg} = 4,5 \times 10 \times 0,45 \quad (\text{Eq. 14})$$

$$E_{pg} = 20,25 \text{ J} \quad (\text{Eq. 18})$$

Portanto, com o valor de 20,25 J encontrado é possível redimensionar o ensaio de Proctor Normal de volume 2000 cm<sup>3</sup>, Intermediário e o Proctor Modificado. Para isso basta determinar ou a massa ou a altura e substituí-los na fórmula da energia potencial gravitacional. Na Tabela 4, é possível encontrar os valores da energia potencial gravitacional para o redimensionamento do ensaio de compactação de Proctor.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Conforme apresentado na Tabela 3, nota-se que uma grande maioria dos participantes da pesquisa realizada pelos autores, afirmam que os ensaios de compactação realizados de forma manual podem apresentar erros.

Ademais, é evidente observar ainda na Tabela 3 que a disponibilidade de máquinas que realizam os ensaios de compactação nas empresas é quase nula, visto que 100% dos entrevistados disseram que onde trabalham não há nenhuma máquina que tenha esse objetivo. Sabe-se que atualmente existem máquinas que atendem essa área, porém pelo fato delas terem peso e tamanhos elevados dificulta a locomoção e são custosas para as empresas. Além disso, o suporte técnico é insuficiente em vários locais do mundo, fator que geraria ainda mais despesas para as empresas.

Nesta mesma pesquisa foi deixado um

campo para que os participantes respondessem de que maneira poderia haver ocorrências de erros humanos durante o ensaio de compactação, resultado está exposto no Gráfico 1. Vale ressaltar que a pergunta foi utilizada para gerar dados qualitativos, ou seja, as respostas foram pessoais e abertas. Portanto, os valores em porcentagem apresentados, se somados, não alcançará a totalidade de 100%, pois houve respostas que continha mais de uma ocorrência.

Desse modo, analisando os dados do Gráfico 1, nota-se que, cerca 36,40% das respostas dos participantes acreditam que a maior causa de manipulação no ensaio de compactação se deve ao erro de exercer força no soquete no momento da queda. E tendo um empate na segunda e terceira colocação, com 13,60%, o número de camadas diferentes do estabelecido e alteração nos resultados finais do ensaio.

Diante dos dados supracitados, é visível que o ensaio de compactação de forma manual abre brechas para que ocorram manipulações na sua realização e, portanto, essa situação pode ocasionar grandes acidentes no futuro. Além disso, como citado no trabalho de Sobreira *et. al.* (2018), o ensaio Proctor, não evoluiu muito desde a sua concepção. Desta forma, pesquisas sobre métodos de compactação de solos em laboratório vêm sendo retomadas com o intuito de buscar um mecanismo de ação que simule de forma mais semelhante a compactação de campo, se comparado ao ensaio Proctor.

É notável que os problemas apresentados no atual trabalho em relação aos ensaios de compactação realizados de forma manual são prejudiciais à segurança, pois possuem baixa confiabilidade. Nesse contexto, as pesquisas realizadas por meio da ferramenta do Google Forms com trabalhadores da área da construção civil e geotecnia, corroboram para tal análise, visto que conforme a Tabela 3, cerca de 72,7% dos entrevistados afirmaram que acreditam que o ensaio de compactação de forma manual pode ser manipulado. Contudo, todas as lacunas apresentadas levaram o presente artigo a propor uma solução, visando tornar os ensaios mais precisos, ágeis, seguros e ergonomicamente melhor para os operadores.

Por meio da correlação entre as fórmulas da energia de compactação e da energia potencial gravitacional, foi detectado a possibilidade do redimensionamento. Portanto, conforme os dados apresentados na Tabela 4 isso é realizável, ou seja, através dos valores 7,25 J e 20,25 J encontrados por meio de cálculos, é possível o

redimensionamento nos quatro tipos de energia de compactação, sendo que o valor de 7,25 J é utilizado para redimensionar o Proctor Normal, e o valor de 20,25 J redimensiona o Proctor Normal de volume 2000 cm<sup>3</sup>, Intermediário e o Proctor Modificado. Contudo, basta substituir na fórmula da energia potencial gravitacional os valores citados acima e determinar qual o novo valor da massa ou da altura, dado esse que são inversamente proporcionais.

Desse modo, o presente redimensionamento abre possibilidade para a construção de máquinas semiautomatizadas, ou seja, que realiza os ensaios de compactação com baixa interferência humana. Fato esse que fornece resultados mais seguros, aumentando a confiabilidade dos ensaios.

#### 4. CONCLUSÕES:

A partir da correlação apresentada no atual trabalho que possibilita recriar os mecanismos que são utilizados para este ensaio tão importante na construção civil, trazendo novas possibilidades de equipamentos e redução da interferência humana no ensaio. Com os resultados do estudo apresentado é possível afirmar que a realização do ensaio de compactação pelo método de Proctor de forma manual pode apresentar possíveis imprecisões, pois os dados coletados de forma equivocada ou até mesmo de forma intencional durante o ensaio, poderá ocasionar grandes problemas nas estruturas das obras e possíveis acidentes no futuro.

Portanto, é notável que o redimensionamento do ensaio de compactação pelo método de Proctor como foi proposto pode contribuir para a construção de máquinas, seja manuais ou automáticas, cujo objetivo seja realizar o ensaio de compactação com a menor interferência humana possível, como foi exposto, tornando-o mais seguro, ágil e preciso.

Além disso, verificou-se que a partir dos cálculos matemáticos é possível modificar o tamanho das peças sem alterar o valor da energia de compactação. Vale ressaltar ainda que os valores apresentados na Tabela 4 que norteará a realização dos redimensionamentos propostos. Desse modo, com o redimensionamento apresentado é viável à criação de máquinas acessíveis ao mercado, ou seja, que são menores e de baixo custo, diferentemente dos equipamentos existentes que realizam os ensaios de compactação, que demanda das empresas

grandes investimentos.

Ademais, entende-se que a área da geotecnia é muito importante para manter a segurança das edificações. Portanto, é fundamental que novos estudos sobre o assunto continuem sendo publicados, para que haja ampla discussão sobre a geotecnia.

#### 5. REFERÊNCIAS:

1. Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1986) ABNT NBR 7182: SOLO – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro/RJ.
2. Baptista, C. N. (1974). Pavimentação compactação dos solos no campo, camadas de base, estabilização dos solos. Porto Alegre: Globo,. v.2. 178 p.
3. Braida, João A.; Reichert, José M.; VEIGA, Milton da; Reinert, Dalvan J. (2006); Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor.
4. Caputo, Homero Pinto; Caputo, Armando Negreiros. (2015) Mecânica dos solos e suas aplicações. V. 1: fundamentos. 7<sup>a</sup> ed. 256 p. Rio de Janeiro: LTC.
5. Crispim, F. A. (2010). Compactação de Solos: Influência de Métodos e de Parâmetros de Compactação na Estrutura dos Solos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.
6. Crispim, F. A.; Dario, C. L.; Claudio, H. de C. S.; Carlos E.; Gonçalves R. S.; , Carlos A. B. de C.; Elisson H. B.; (2015) *Compactação De Solos Em Laboratório: Efeito Do Diâmetro E Do Número De Camadas Do Corpo De Prova*. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.39, n.3, p.535-542.
7. Euqeres, Priscilla, Arão, Isabelle R. Lima Karla K.; (2018) Aplicação Da Ferramenta Ergonômica Rula Na Atividade De Compactação De Corpos De Prova (Cp's) No Laboratório De Solos E De Betume: Um Estudo De Caso. Revista Interdisciplinar De Pós-Graduação Da Faculdade Araguaia, Nº 1: 41-53.
8. Holtz, R .D. and Kovacs, W.D. (1981) An introduction to geotechnical engineering. New Jersey, Prentice-Hall, 733p.

9. Hillel, D. (1998). Environmental soil physics. San Diego, Academic Press, 1998. 771p.
10. Lança, Tatiana. (2005) Newton numa leitura de divulgação científica: produção de sentidos no ensino médio. 116f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
11. Lobo, Ademar da S.; Ferreira, Cláudio V.; RENOFIO, Adilson; (2003). Muros de Arrimo Problemas Executivos e Influência em Edificações Vizinhas em Áreas Urbanas. Acta Scientiarum. Technology Maringá, v. 25, no. 2, p. 169-177.
12. Marques, Francisco das Chagas. (2016) Física Mecânica. 1ª Ed. Editora Manole.
13. Murrieta, Pedro. (2018) Mecânica dos Solos; 1.ed. Editora Gen LTC.
14. Pivetta, Carlise Patrícia. (2017). Utilização Do Resíduo De Construção E Demolição Em Solo Compactado. Trabalho de conclusão de curso (graduação). Universidade Federal de Fronteira do Sul.
15. Redação Galileu. (2020) Newton criou Teoria da Gravidade durante quarentena de peste bubônica. Revista Galileu. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2020/03/newton-criou-teoria-da-gravidade-durante-quarentena-da-pestebubonica.html>> Acesso em 19 jun. 2020.
16. Santos, Palloma Cuba dos; Daibert, João Dalton. (2018) Análise dos Solos; 1ª Ed. Editora Érica.
17. Silva, Ana Paula S.; Andrade, Gisele B. A.; (2016) *Análise Da Influência Da Espessura Da Camada Nas Propriedades Do Solo Compactado*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Vale do Paraíba.
18. Sobreira, Danielle S. V., Lucena, Adriano E. F. L., Lucena Lêda C. F. Lopes, Sousa Talita M. (2018). *Estudo Comparativo Entre Os Métodos De Compactação De Solos Por Impacto E Amassamento*. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 3, p. 683 – 693.
19. Tartarotti, Lucas, Guilherme Sirtori, Fabiano Larentis. (2018). *Indústria 4.0: Mudanças e Perspectiva*. XVIII Mostra de Iniciação Científica. Programa de Pós-graduação em Administração.
20. Vargas, M. (1977) Introdução à mecânica dos solos. São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil. 509p.

**Tabela 1 - Energia de Compactação ABNT (NBR 7182)**

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação.	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camadas	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

**Tabela 2 - Energia de compactação por impacto.**

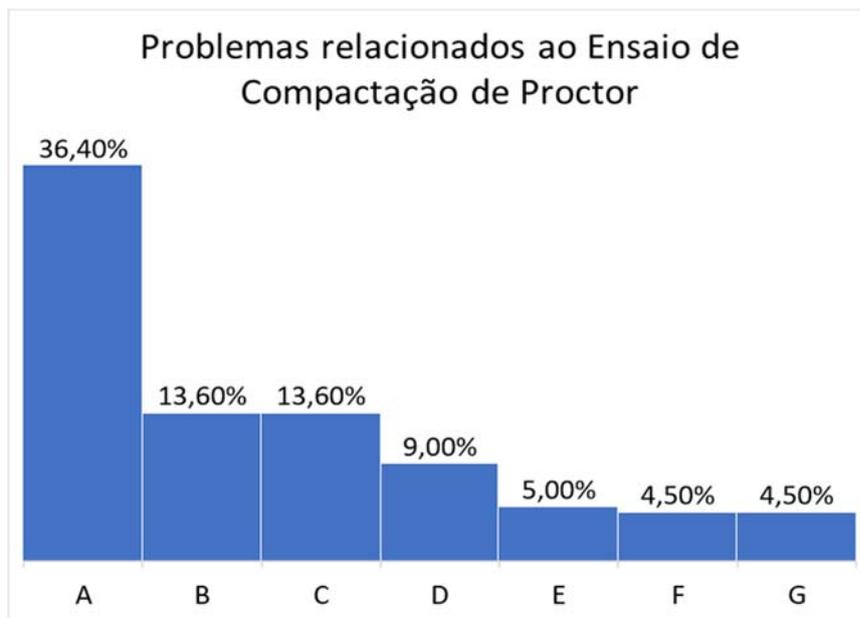
Designação	Peso (N)	Altura de queda (cm)	Número de camadas	Número de Golpes	Volume do Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Energia (N.cm/cm <sup>3</sup> )
Proctor Normal (PN)	25	30,5	3	26	1.000	59
Proctor Normal (PN)	45	45,0	5	12	2.000	60
Intermediário (PI)	45	45,0	5	26	2.000	130
Proctor Modificado (PM)	45	45,0	5	55	2.000	270

**Tabela 3. Questionário aplicado a profissionais que realizam ensaio de compactação.**

Perguntas	Sim	Não
Na empresa onde trabalha é realizado o ensaio de compactação?	90,9%	9,1%
Na empresa onde trabalha tem compactador de solo automático?	0%	100%
Uma máquina de compactação de solo automática facilitaria seu serviço?	85,7%	14,3%
Você acredita que o ensaio de compactação de solo pode ser manipulado por um operador?	72,7%	27,3%

**Tabela 4 - Energia Potencial Gravitacional para o Redimensionamento do Ensaio de Compactação**

Designação	Energia Potencial Gravitacional para o Redimensionamento (J)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Energia de Compactação (Ncm/cm <sup>3</sup> )
Proctor Normal (PN)	7,625	1000	59
Proctor Normal (PN)	20,25	2000	60
Proctor Intermediário (PI)	20,25	2000	130
Proctor Modificado (PM)	20,25	2000	270



**Gráfico 1** – Problemas relacionados ao Ensaio de Compactação de Proctor

<b>LEGENDA</b>	
A	Erro ao exercer força no soquete
B	Número de golpe por camada diferente do estabelecido pela norma;
C	Alteração nos resultados no final do ensaio;
D	Erro na quantidade de água adicionada ao solo;
E	Não responderam.
F	Erro no número de camadas;
G	Não sabem;