



ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL
CNPJ 88.332.580/0001-65



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

Felipe Pinto de Lima

ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE SOLO COM AMOSTRAS TRABALHADAS EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA DE COMPACTAÇÃO

Palmas – TO

2020

Felipe Pinto de Lima

ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE SOLO COM AMOSTRAS TRABALHADAS EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA DE COMPACTAÇÃO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas.

Palmas – TO

2020

Felipe Pinto de Lima

ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE SOLO COM AMOSTRAS TRABALHADAS EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA DE COMPACTAÇÃO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dra. Jacqueline Henrique

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. M.e Edivaldo Alves dos Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2020

Dedico este trabalho a todos
que contribuíram direta ou indiretamente
em minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e de todos que me ajudaram até aqui, por me fazer capaz de ultrapassar os momentos em que não me sentia capaz de continuar e também em momentos em que a saudade de casa apertava.

Aos meus pais e irmã, que sempre me incentivaram nos momentos difíceis e aguentarem as minhas reclamações, meus maus humores e tantas outras emoções.

Aos professores, pelos ensinamentos, correções e conselhos, os quais levarei comigo sempre.

Aos amigos, especialmente, ao meu amigo e xará Felipe Fernandes Santana, pelos vários momentos nos quais me ajudou no decorrer do curso e também no desenvolvimento deste TCC. Aos demais colegas, com os quais compartilhei momentos de aprendizado e companheirismo durante, e certamente após este curso.

Ao meu orientador, Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas, pela dedicação, compreensão e amizade.

RESUMO

LIMA, Felipe Pinto de. Análise de comportamento de solo com amostras trabalhadas em diferentes níveis de energia de compactação. 2020. 50f. Dissertação para Graduação em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas.

Este trabalho discute os efeitos que a compactação do solo em diferentes níveis de energia causa ao mesmo, para isso foi feito inicialmente uma pesquisa teórica e gerada um banco de informações as quais foram utilizadas como referencial teórico, desta maneira inteirando o leitor sobre o tema. Posteriormente foram feitos diversos testes, também conhecidos na engenharia como ensaios, com uma grande amostra de solo a qual foi subdividida em várias pequenas amostras para os diferentes tipos de ensaios, estes ensaios foram realizados de maneira padronizada levando como referência as normas específicas para cada um, foram eles: ensaio de granulometria, umidade higroscópica e compactação. Para a realização da proposta, foram feitos 3 ciclos de ensaios de compactação com diferentes níveis de energia, onde destes o 1º foi padronizado por norma e os dois subsequentes tiveram adições de 25% e 50% respectivamente em seus números de golpes, além destes foram feitos ensaios de granulometria após cada ciclo. A partir destes ensaios, granulometria e compactação, foram feitas análises e discussões dos resultados, onde concluiu-se que a cada 25% aumento da energia de compactação a granulometria do solo é modificada em aproximadamente em 2,74%, isto é, aconteceu um aumento nos percentuais de grãos caracterizados como finos, além da mudança na granulometria da amostra trabalhada foi observado também que houve um aumento da massa específica aparente seca da amostra. Após a elaboração deste projeto obteve-se a conclusão de que para o solo atualizado neste trabalho a alteração do ensaio normatizado com adição de energia de compactação nos dá resultados mais próximos do que ocorre “in loco”, sendo assim é necessários estudos mais aprofundados para estimar se é necessário a mudança no ensaio padrão.

Palavras-chave: Solo; Compactação de solo; Granulometria; Análise de Solo; Ensaio de Compactação.

ABSTRACT

LIMA, Felipe Pinto de. Analysis of soil behavior with samples worked at different levels of compaction energy. 2020. 48f. Dissertation for Graduation in Civil Engineering, Lutheran University Center of Palmas, Palmas.

This work discusses the effects that soil compaction at different levels of energy causes on it, for this purpose, a theoretical research was initially carried out and an information bank was generated which ones were used as theoretical reference, thus making the reader aware of the topic. Subsequently, several tests were made, also known in engineering as trial, with a large soil sample which was subdivided into several small samples for the different types of tests, these tests were carried out in a standardized manner taking as reference the specific norms for each one, they were: granulometry test, hygroscopic humidity and compaction. To carry out the proposal, 3 cycles of compaction tests were carried out at different levels of energy, where of these the first was standardized by norm and the subsequent two had additions of 25% and 50% respectively in their number of strokes, in addition o these tests were carried out granulometry after each cycle. From these tests, granulometry and compaction, analyzes and discussions of the results were made, where it was concluded that for every 25% increase in the compaction energy, the soil granulometry is modified by approximately 2.74%, that is, a increase in the percentage of grains characterized as fine, in addition to the change in the granulometry of the worked sample, it was also observed that there was an increase in the dry bulk density of the sample. After the elaboration of this project, it was concluded that for the soil updated in this work, the alteration of the standardized test with the addition of compaction energy gives us results that are closer to what occurs “in loco”, so further studies are needed to estimate whether a change to the standard test is necessary.

Keywords: Soil; Soil compaction; Granulometry; Soil Analysis; Compaction Test.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Solos de diferentes cores.....	16
Figura 2- Curva Granulométrica.....	19
Figura 3 - Graduação do solo	20
Figura 4 - Curva peso específico do solo x Teor de Umidade.....	21
Figura 5 – Curva energia de compactação x peso específico	22
Figura 6 – Compactação de solo.....	25
Figura 7 - Situação do local de coleta.....	27
Figura 8 - Relatório Anti-Plágio CopySpider	49
Figura 9 – Relatório Anti-Plágio CopySpider Recortado.....	49

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 1 – Divisão dos grãos de solo de acordo com o tamanho	19
Tabela 2 – Aparelhagem de ensaio de compactação padronizada.....	23
Tabela 3 – Classificação dos níveis de energia normatizados	24
Tabela 4 – Granulometria – Percentual Retido Ensaio de 26 golpes	35
Tabela 5 - Granulometria – Percentual Retido Ensaio de 32 golpes	35
Tabela 6 - Granulometria – Percentual Retido Ensaio de 39 golpes	36
Tabela 7 – Dados de Compactação 26 golpes	37
Tabela 8 – Dados de Compactação – 32 golpes	38
Tabela 9 - Dados de Compactação - 39 golpes.....	39
Tabela 10 - Quadro Resumo Ensaios de Compactação	40
Tabela 11 - Umidade Higroscópica	47

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1: Energia de compactação	23
Equação 2 – Tendência entre Massa Específica Seca X Número de Golpes	40
Equação 3: Umidade do Solo	47
Equação 4: Umidade do Solo, Versão Estendida	47
Equação 5: Percentual de Material da Amostra.....	47
Equação 6: Peso Passante	48
Equação 7: Peso Retido	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
CBR	CAPACIDADE DE SUPORTE CALIFORNIA
CEULP	CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS
DMT	DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE
ULBRA	UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.2. OBJETIVOS.....	13
1.2.1. Objetivo Geral.....	13
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. JUSTIFICATIVA.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. SOLO	15
2.1.1. Definição	15
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	15
2.2.1. Classificação quanto a cores	16
2.2.2. Classificação quanto aos grãos	17
2.3. ENSAIOS, DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES DO SOLO	18
2.3.1. Caracterização das amostras	18
2.3.2. Granulometria.....	18
2.4. COMPACTAÇÃO	20
2.4.1. Fatores relevantes para compactação	21
2.4.2. Compactação Dinâmica ou por Impacto, ou Ensaio Proctor.....	22
2.5. ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS.....	24
2.5.1. Estabilização mecânica.....	25
3. METODOLOGIA.....	26
3.1. CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO	26

3.2. LOCAL DE COLETA E PERÍODO DE REALIZAÇÃO.....	26
3.2.1 Coleta do material.....	26
3.2.1. Período de realização	27
3.3. ENSAIOS	27
3.3.1. Ensaio de Teor de Umidade	28
3.3.2. Preparação de amostras	28
3.3.3. Ensaio de granulometria	29
3.3.4. Compactação do solo	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1. GRANULOMETRIA	32
4.2. COMPACTAÇÃO	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS.....	43
ANEXOS.....	47
5.1. MEMORIAL DE CÁLCULO	47
5.1.1. Ensaio de teor de umidade	47
5.1.2. Preparação das amostras	47
5.1.3. Ensaio de granulometria	48
RELATÓRIO ANTI-PLAGIO.....	49

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista que a compactação “in loco” é feita com maquinário muito mais potente que a força gravitacional agindo sobre um soquete, este trabalho de conclusão de curso tem objetivo de responder como é alterado o comportamento do solo ao ser compactado com diferentes energias de compactação, além disso também podemos testar a eficiência do ensaio padronizado de compactação proctor.

Esta análise é importante para avaliarmos se o parâmetro definido por norma necessita de alteração, se a energia utilizada é necessária para representar a compactação feita no campo com maquinário muito mais potente.

O projeto consiste em uma análise laboratorial de amostras de solo as quais foram submetidas a ensaios de compactação com diferentes energias e posteriormente de granulometria, desta forma analisando o comportamento da amostra.

A ideia principal foi compactar amostras de solo de uma mesma jazida utilizando diferentes energias de compactação, desta forma foi possível avaliar os efeitos que esta diferença de energia causa no solo.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Como é alterado o comportamento do solo após ser trabalhado com diferentes energias de compactação?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. *Objetivo Geral*

Analisar como é alterado o comportamento do solo com diferentes energias de compactação.

1.2.2. *Objetivos Específicos*

- Identificar uma jazida utilizada no município de Palmas – TO;
- Coletar material para os ensaios propostos
- Realizar o ensaio de compactação de solos seguindo a norma;
- Realizar o ensaio de compactação de solos com adição de 25% e 50% no número de golpes;
- Realizar o ensaio de granulometria para cada ciclo de ensaios de compactação

1.3. JUSTIFICATIVA

A elaboração do estudo do solo é importante para todos os tipos de obras de engenharia civil, pois é sobre ele que são construídos prédios, rodovias, viadutos, etc. E dentre as características que são estudadas no solo uma das mais importantes é a resistência a compressão do solo e uma das maneiras mais eficazes de se descobrir tal característica é através do ensaio de compactação.

O ensaio de compactação regido pela norma NBR 7182/2016 consiste em compactar o solo em um corpo de prova com auxílio de um soquete de peso padronizado, o qual golpeia a amostra com uma quantidade específica de golpes e de uma altura específica.

O ensaio é feito em laboratório e tem objeto apenas de identificar a resistência da amostra de solo, porém em obras é feita a compactação do solo no intuito de diminuir os vazios do solo, assim aumentando sua resistência a compressão.

Este projeto simula o processo de manutenção de vias, no qual é feita a recompactação do solo devido a adição de material conveniente a perda. Portanto, este projeto pode melhorar o processo de manutenção das vias, pois de acordo com seu resultado pode-se comparar se o método atual necessita de mudanças para tornar-se mais efetivo. Além disso torna-se relevante pois através dele pode-se desenvolver novas técnicas ou configurações para se fazer avaliações de ensaios em amostras de solo, além de novos métodos para uso acadêmico em salas de aula ou para desenvolvimento mais aprofundado futuramente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo referenciar o leitor quanto a compactação de solo e sobre o próprio solo, tendo como base estudos já realizados anteriormente. Para isso será dividido em partes, a primeira será feita uma revisão sobre compactação do solo, seus efeitos e métodos, a segunda sobre o solo e suas características e pôr fim a relação entre os ensaios realizados e o comportamento do solo.

2.1. SOLO

O solo é um elemento presente em todas as obras, afinal tudo se apoia sobre ele. Seja em construção civil, barragens ou em pavimentação urbana e rodoviária, para todo tipo de construção é necessário fazer uma análise do solo e determinar suas propriedades, as quais incluem teor de umidade, limites mecânicos, granulometria, etc.

Todos esses fatores influenciam no momento da construção, pois dependendo de tais características é necessário se fazer empréstimos de materiais de maior qualidade, cortes ou estabilização do solo. Para isso é indispensável fazer a sondagem do solo para coleta de dados e para coleta de amostras, as quais devem ser utilizadas para realizar os ensaios característicos e dessa maneira descobrir e avaliar as características do solo.

2.1.1. Definição

“Os solos originam-se do processo de decomposição ou desagregação das rochas, graças às ações do intemperismo. Em razão disso, suas características e composições estão diretamente vinculadas às rochas que lhe deram origem, associadas também às heranças e marcas causadas pelo tempo” (Pena, 2018).

Portanto de acordo com Pena (2018) e Brito (2015), podemos afirmar que os solos se diferenciam um dos outros entre os diversos lugares da Terra em virtude da influência do clima em suas composições.

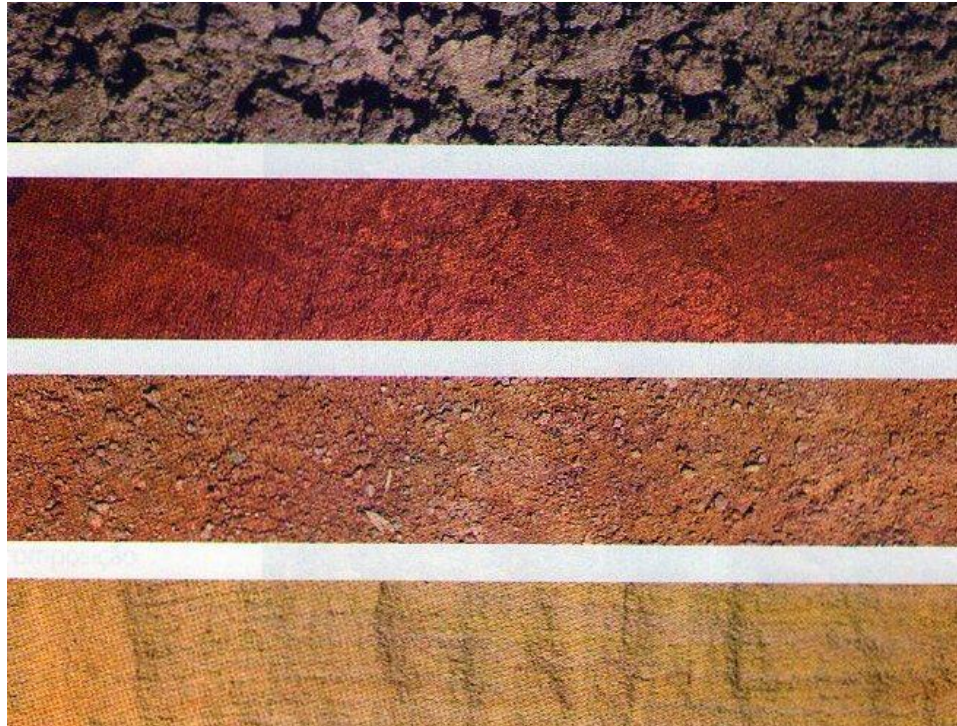
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

De acordo com Pena (2018) e Tipos... (2019) existem diversos tipos de solo os quais apresentam diferentes cores, texturas, porosidades e outras características.

2.2.1. Classificação quanto a cores

Tipos de solo têm uma concentração diferente de materiais orgânicos ou outros elementos, que acabam influenciando na sua tonalidade. A maior parte dos solos pode ser classificada em 3 grupos: vermelhos ou amarelos, escuros e claros.

Figura 1 - Solos de diferentes cores



Fonte: Godinho (2015)

2.2.1.1. Solos vermelhos ou amarelos

Os solos vermelhos ou amarelos indicam alto teor de óxido de ferro, por conta deste mineral a coloração é alterada.

2.2.1.2. Solos escuros

Os solos escuros indicam alto teor de matéria orgânica. Esta se origina da decomposição de plantas e animais ao longo do tempo. Devido a essa alta carga de matéria orgânica não é indicada para construção, pois pode reagir quimicamente com outros materiais, causando a deterioração da estrutura.

Por outro lado, é o tipo de solo ideal para o plantio, sua grande quantidade de matéria orgânica serve como nutriente para plantas.

2.2.1.3.Solos claros

Por fim, os solos claros são opostos aos solos escuros, pois, esse tipo de solo quase não apresenta matéria orgânica em sua composição.

2.2.2. *Classificação quanto aos grãos*

De acordo com Tipos... (2019), os solos mais utilizados na Engenharia Civil são: argilosos, siltosos e arenosos.

2.2.2.1.Solos argilosos

O solo argiloso é o mais fino entre os tipos de solo, pois a argila é uma substância com partículas muito pequenas.

Essas partículas unem com facilidade, por conta disso a argila é um material que pode ser trabalhado e moldado com certa facilidade, usado na confecção de blocos cerâmicos, tijolos, dentre outros. Graças a essa união entre as partículas, os terrenos com esse tipo de solo são os mais favoráveis para a construção civil.

2.2.2.2.Solos siltosos

Esse tipo de solo é um intermediário entre o argiloso e o arenoso. O silte também é uma substância com partículas pequenas, porém suas partículas não se ligam tão bem como as da argila. Por isso, não é recomendado na construção, porém quando há presença em uma obra, é importante fazer um estudo geológico para identificar as possibilidades no terreno.

2.2.2.3.Solos arenosos

Os solos arenosos, opostos aos argilosos, tendo grãos maiores não tem ligação entre suas partículas. Para sua utilização é necessário a estabilização utilizando outras substâncias, inclusive outros tipos de solos.

Devido a essa falta de ligação entre as partículas o solo arenoso, diferente do argiloso é altamente permeável, para sua utilização em fundações são necessárias fundações mais profundas, pois este tipo de solo não tem a consistência necessária para apoiar-se sobre ele, desta forma buscando um melhor solo abaixo do mesmo.

2.3. ENSAIOS, DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES DO SOLO

2.3.1. *Caracterização das amostras*

A caracterização do solo deve ser feita em laboratório utilizando os métodos descritos nas normas da ABNT, são elas:

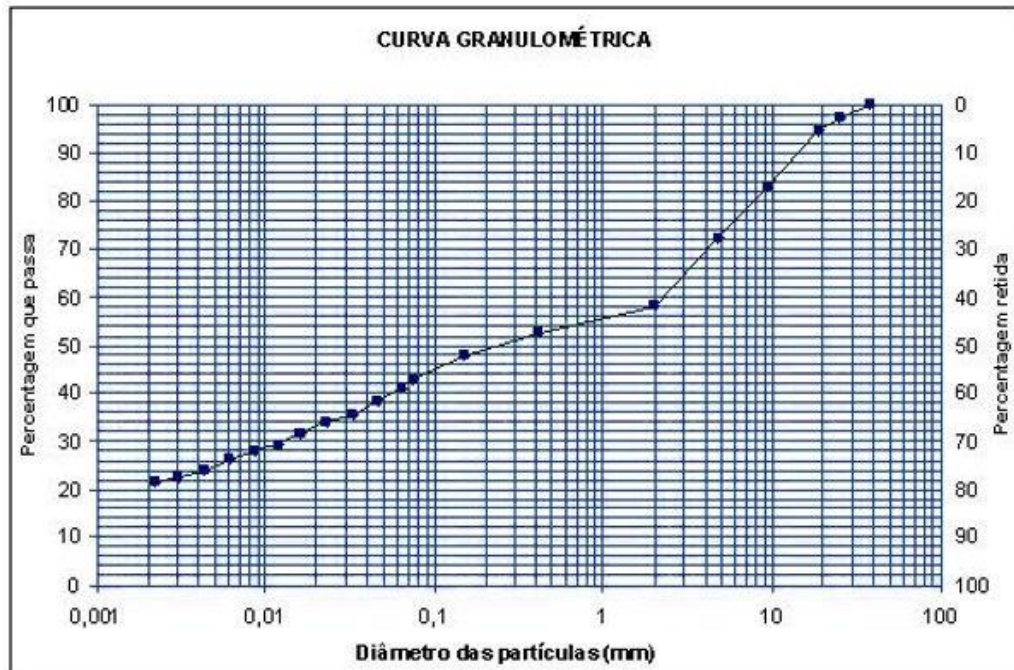
- NBR 16097:2012 - Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio
- NBR 6457:2016 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização do solo
- NBR NM 248:2003 – Agregados - Determinação da composição granulométrica
- NBR 7180:2016 - Solo — Determinação do limite de plasticidade
- NBR 6459:2016 - Solo - Determinação do limite de liquidez
- NBR NM 7182:2016: Solo - Ensaio de compactação

As características que são de nosso interesse e serão avaliadas são: teor de umidade, granulometria e ensaios de compactação.

2.3.2. *Granulometria*

Cancian (2013) e ABNT NBR NM 248 (2003), afirmam que os solos podem ter granulometria contínua, uniforme e descontínua. Para avaliar esta característica é necessário fazer o ensaio de granulometria e traçar a curva granulométrica.

Figura 2- Curva Granulométrica



Fonte: Santana (2019)

Os solos com granulometria contínua possuem grãos de diferentes tamanhos em sequência de tamanhos, assim podendo os menores se encaixarem nos vazios dos maiores.

Os com granulometria uniforme tem pouca ou nula variação de tamanhos de grãos, isto é, apresentam basicamente a mesma granulometria em toda a amostra.

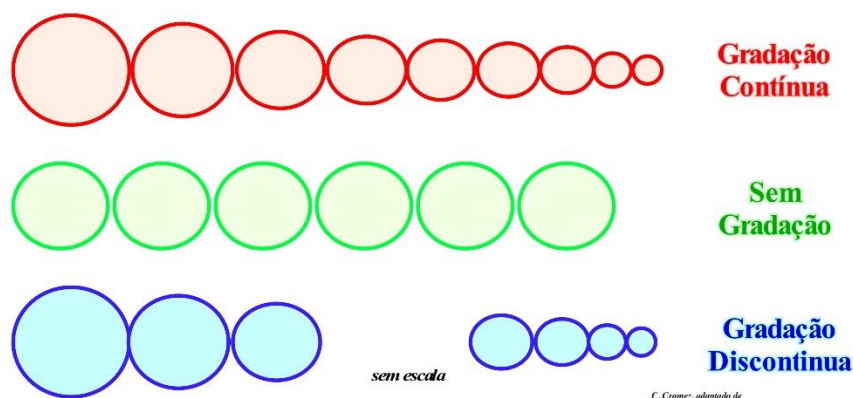
Os solos com granulometria descontínua possuem grãos de diferentes tamanhos, porém entre um tamanho e outro deve existir uma lacuna na curva granulométrica onde determinado tamanho não existe.

Tabela 1 – Divisão dos grãos de solo de acordo com o tamanho

Nomenclatura	Tamanho do Grão (mm)
Matacão	200 a 1000
Pedra de Mão	60 a 200
Pedregulho	2 a 60
Areia Grossa	0,6 a 2
Areia Média	0,2 a 0,6
Areia Fina	0,06 a 0,2
Silte	0,002 a 0,06
Argila	inferior a 0,002

Fonte: ABNT NBR 6502 (1995)

Figura 3 - Graduação do solo



Fonte: Cramez (2018)

2.4. COMPACTAÇÃO

A compactação é um dos vários métodos utilizados para o melhoramento das características mecânicas dos solos. De acordo com Werk (2000) e Ribeiro (2018), é uma técnica baseado em expulsar o ar dos vazios contidos no solo, alterando sua densidade, tornando um novo material diferente do inicial, desta forma modificando suas características físicas, este deverá apresentar um comportamento adequado para a aplicação a qual se destina.

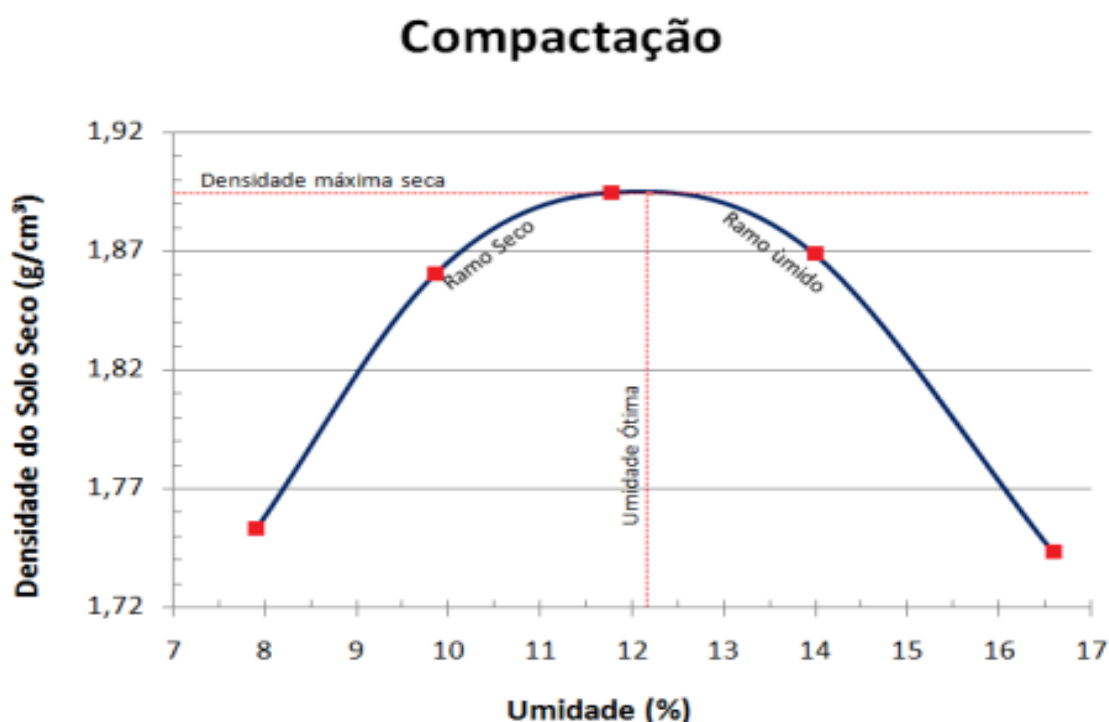
“A compactação consiste na aplicação de uma energia mecânica no solo e com isso é a obtida sua densificação, sendo resultado da diminuição dos vazios pela expulsão de ar. Busca-se com isso aumentar o contato entre os grãos do solo, dar homogeneidade ao aterro, aumento da resistência ao cisalhamento, diminuição da permeabilidade e da compressibilidade” Santana (2019) (*apud* Massad, 2003).

Werk (2000) e Senço (1997) (*apud* Proctor, 1933) falam sobre a densidade máxima aparente e umidade ótima do solo, explicando como a presença de água pode ajudar no processo de compactação do solo. A água inicialmente lubrifica as partículas de solo, facilitando assim maior aproximação entre partículas, desta forma ao compactar é possível obter-se maior grau de compactação. Entretanto, a água não só facilita a movimentação das partículas, mas também ajuda a expulsar o ar dos vazios presentes no solo, sendo assim as partículas podem preencher os vazios nos quais antes havia apenas ar, aumentando assim a densidade. Porém o solo tem um limite o qual pode ser compactado, este se dá no momento de umidade ótima, um parâmetro que está no máximo do quanto um solo pode ser misturado a água sem ficar saturado.

“Quando a compactação é realizada com teor de umidade acima do ótimo é convencionalmente denominada como compactação no ramo úmido e quando a mesma se dá com teor abaixo do ótimo como sendo compactação no ramo seco” Santana (2019) (*apud* Sousa Pinto, 2000).

Na ilustração abaixo, podemos ver um gráfico mostrando a relação Peso Específico X Teor de umidade. Ao observarmos podemos ver que a máxima densidade do solo se dá exatamente com a umidade ótima.

Figura 4 - Curva peso específico do solo x Teor de Umidade



Fonte: Santana (2019)

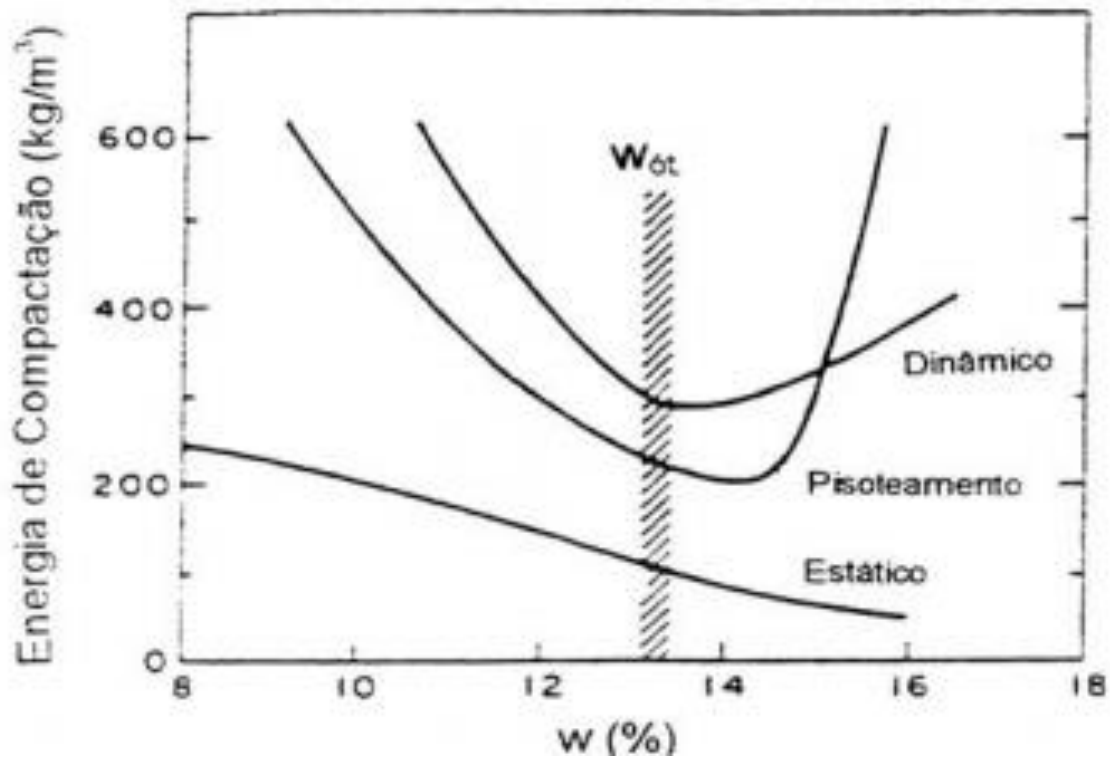
O método de compactação utilizado nesta pesquisa será o de compactação dinâmica ou por impacto.

2.4.1. Fatores relevantes para compactação

De acordo com Santos (2008) existem diversos tipos de solo, cada um com características diferentes. Portanto antes de fazer o ensaio de compactação deve-se conhecer o solo a ser trabalhado para que de acordo com a necessidade possa ser feito ajustes a fim de otimizar os resultados do ensaio. Os principais fatores que influenciam a compactação são: umidade do solo, número e espessura de camadas, energia de compactação e tipo de equipamento utilizado.

Werk (2000) (*apud* Bell, 1977) diz que para diferentes tipos de ensaios de compactação são necessários diferentes níveis de energia aplicada para ter um mesmo resultado de densidade máxima para a mesma umidade ótima.

Figura 5 – Curva energia de compactação x peso específico



Fonte: Werk (2000) (*Apud* Bell 1977)

“Solos de naturezas diferentes, quando compactados com a mesma energia, apresentam curvas de compactação características a cada tipo de material. As areias possuem maior densidade máxima e menor umidade ótima do que as argilas, e estas apresentam uma curva de compactação com um máximo bem mais definido. Já os siltes se comportam de forma intermediária” Souza Junior (2005).

2.4.2. Compactação Dinâmica ou por Impacto, ou Ensaio Proctor

Consiste em deixar cair sobre uma camada de solo, com espessura determinada, colocada em um corpo de prova cilíndrico padronizado, um certo peso (soquete) de uma certa altura, um número determinado de vezes. Este processo é normatizado pela NBR 7182:2016.

A energia de compactação é determinada pela seguinte equação:

Equação 1: Energia de compactação

$$Ec = \frac{N * n * m * h}{V}$$

Fonte: Almeida (2017)

Onde:

Ec= Energia de Compactação (kgf/cm²)

N= Número de Golpes por Camada

n= Número de Camadas

m= Peso do Soquete (kgf)

h= Altura de Queda do Soquete (cm)

V= Volume Total da Amostra (cm³)

A NBR 7182:2016, nos dá diferentes tamanhos de cilindros, soquetes e alturas para a realização do ensaio, sendo divididos em pequenos e grandes. De acordo com Almeida (2017) (*apud* Stancati, Nogueira e Vilar, 1981) ensaio utilizando a aparelhagem pequena, é indicado para o ensaio Proctor Normal, enquanto a aparelhagem grande é mais usual para compactar material grosso e ensaios CBR.

Tabela 2 – Aparelhagem de ensaio de compactação padronizada

Aparelhagem padronizada		
Item	Pequeno	Grande
Volume do cilindro (cm³)	1000	2085
Massa do Soquete (kg)	2,5	4,5
Altura do golpe (cm)	30,5	45,7

Fonte: NBR 7182:2016 (Adaptado)

Além da padronização de tamanho de aparelhagem a NBR 7182:2016 nos dá parâmetros do nível de energia, sendo estes divididos em nível normal, intermediário e modificada. A tabela a seguir descreve esses parâmetros, conforme ocorre a mudança no tipo de cilindro, soquete e altura de golpeamento a energia de compactação é classificada em um dos níveis citados acima.

Tabela 3 – Classificação dos níveis de energia normatizados

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	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de Camadas	5	5	5
	Número de Golpes	12	26	55
	Altura do disco espaçador	63,5	63,5	63,5

Fonte: NBR 7182:2616

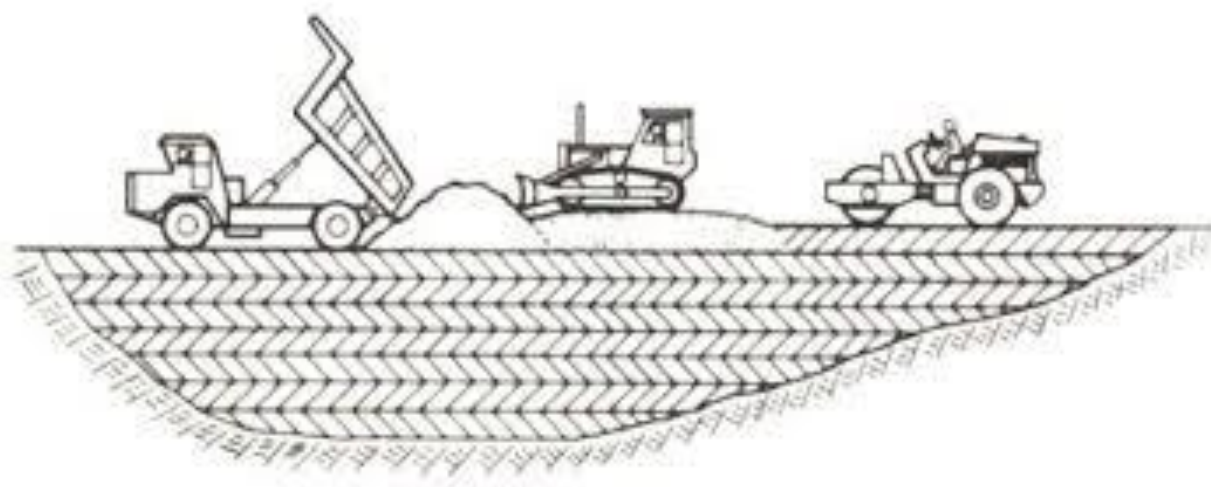
2.5. ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS

Senço (2001), Sartori (2015) e Santana (2019) afirmam que existem diversas formas de se fazer a estabilização do solo com objetivo de melhorar seu comportamento e resistência as intempéries. Apesar disso, a mais utilizada é a estabilização mecânica, a qual este projeto se relaciona.

“A estabilização consiste no tratamento do solo, por um processo mecânico, ou químico, tornando-o estável para os limites de sua utilização, e permanecendo assim, mesmo sob a ação de cargas exteriores e ações climáticas” Brito (2017) (*apud* Batista, 1976).

2.5.1. Estabilização mecânica

Figura 6 – Compactação de solo



Fonte: Oliveira (2019)

“Este método de estabilização baseia-se na correção granulométrica do solo, a partir de processos de compactação, pois esta também é uma maneira de conferir ao solo uma melhor densificação e alcançar o valor de umidade ótima.” Sartori (2015)

Santana (2019) (*apud* Ferraz, 1994), propõe que nem sempre é possível utilizar o material do exato local, ou mesmo próximo da obra, isso é causado por diversos motivos: o material não atende as especificações do projeto, ou por algum motivo não se pode utilizar uma jazida próxima. Motivos como estes fazem o processo de estabilização ser ainda mais necessário, por tanto deve ser desenvolvido da melhor forma, gerando o menor custo.

Santana (2019) (*apud* Little, 1995), “a compactação do solo é a forma mais utilizada de estabilização, sendo esta a principal responsável pela melhoria na estabilidade mecânica da maioria dos solos”, porém existem casos onde apenas a compactação sozinha não é necessária para corrigir, ou melhorar o solo para o uso necessário. Portanto sendo necessário uma mistura de métodos, isto é, estabilização granulométrica em conjunto com a compactação.

A Figura 6, resume os processos citados acima, onde é adicionado o material que atende a solicitação do solo, depois o mesmo é espalhado para uma melhor mistura com o material base, além de formar camadas mais uniformes, e por fim é compactado por um rolo

3. METODOLOGIA

Neste capítulo é discorrido sobre como foi elaborada a prática deste projeto de TCC. Podemos dividi-lo em partes, referenciação e caracterização do solo, ensaios de compactação, ensaios de granulometria e análise de resultados.

Inicialmente foi realizado um estudo bibliográfico para utilização de referência para realização do projeto, na 2ª etapa foi realizado a coleta das amostras e ensaios de solo os quais definirão o tipo de solo utilizado e suas características. Posteriormente foram realizados os ensaios de compactação dinâmica e suas repetições com variações de energia sendo acrescentada repetições com 25% e 50% a mais de número de golpes ao padronizado pela norma. Após concluídos os ensaios de compactação foram feitos ensaios de granulometria para cada ciclo de compactação.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

De acordo com Fonseca (2002) a presente pesquisa caracteriza-se como de natureza quali-qualitativa, que tem como objetivo geral descobrir como a compactação do solo com diferentes energias modifica a resistência a compressão do mesmo.

3.2. LOCAL DE COLETA E PERÍODO DE REALIZAÇÃO

3.2.1 *Coleta do material*

A coleta de material foi feita em uma jazida ainda utilizada pela prefeitura de Palmas – TO para construção e manutenção de rodovias e vias urbanas. A jazida se encontra no município de Palmas – TO, fica localizada próximo ao Atacadão, nas coordenadas 10°15'23.67"S e 48°18'34.96"O.



Figura 7 - Situação do local de coleta

3.2.1. Período de realização

O período no qual foi coletado o material das amostras para a realização dos ensaios foi em 29 de fevereiro de 2020, a coleta foi feita utilizando pás e sacos de fibra, posteriormente levadas aos laboratórios do Ceulp / ULBRA.

A proposta inicial era que os ensaios fossem feitos ainda em março de 2020, porém houveram atrasos no cronograma devido a pandemia de COVID – 19, desta forma só foi possível dar continuidade no processo em 5 de maio de 2020, levando até 21 de maio até a conclusão dos ensaios. E a partir desta data foi iniciada a análise dos resultados obtidos.

3.3. ENSAIOS

Para o objetivo do projeto de pesquisa foi necessário primeiramente identificar o tipo de material com o qual iria se trabalhar, o tipo de solo, suas propriedades físicas e mecânicas. Para isso foram feitos os ensaios característicos para determinar cada uma das propriedades citadas a seguir: umidade, granulometria, massa específica e por fim compactação.

A realização dos ensaios foi feita nos laboratórios do Ceulp, o de materiais e estruturas e também no laboratório de solos, foram utilizados os equipamentos dos laboratórios e além do auxílio do técnico do laboratório.

3.3.1. Ensaio de Teor de Umidade

Para a determinação da umidade do solo foi utilizada a ABNT NBR 16097:2012 - Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio.

Existem diversas formas de se determinar o teor de umidade no solo, porém neste projeto utilizamos apenas o método padrão da estufa devido a precisão dos resultados. Neste método a partir da diferença de peso seco e úmido, se obtém o teor de umidade. As equações para o procedimento estão representadas no capítulo Anexo.

3.3.1.1. Método Padrão da Estufa

Este método consiste na secagem das amostras com uma estufa e a partir da diferença de peso seco e úmido se obtém o teor de umidade. É um método relativamente demorado, pois necessita de um tempo de 24 horas para a secagem completa da amostra, porém o mais eficiente. As equações para o cálculo da umidade a partir deste procedimento estão representadas no capítulo Anexo.

3.3.1.2. Equipamentos para Método da Estufa

- Balança com limite de erro $\pm 0,5\%$ das massas a determinar;
- Estufa capaz de manter a temperatura de 105 a 110 °C;
- Cápsulas de metal para pesagem da amostra.

3.3.2. Preparação de amostras

Foi necessário estabelecer um padrão de amostra para uma análise mais precisa dos resultados, pois caso as amostras não estivessem padronizadas o resultado não será confiável tendo em vista que as amostras estariam em condições diferentes.

Para a padronização das amostras utilizamos os parâmetros estabelecidos na NBR 6457:2016 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização do solo.

3.3.2.1. Amostras

Cada ensaio exigiu uma quantidade de material diferente, isto é, por exemplo o ensaio de granulometria exige apenas 1 kg da amostra, enquanto o de compactação exige 5 amostras de 5 kg para cada ciclo.

Desta forma, as amostras foram preparadas com seus devidos teores de material grosso e fino. Para os seguintes ensaios utilizou-se as seguintes massas:

- Umidade: Aproximadamente 1kg
- Granulometria: 1kg do para cada ciclo de compactação. Total de 3 kg
- Compactação: 5 amostras de 5 kg para cada ciclo, total de 75 kg.

3.3.2.2. Equipamentos para Preparação das amostras

- Almofariz e mão de gral;
- Balança;
- Bandejas;
- Concha;
- Peneiras de 4,8mm e 19mm de abertura de malha;
- Sacos plásticos

3.3.3. *Ensaio de granulometria*

Existindo a possibilidade de alteração da granulometria após os ensaios de compactação, além de que é interessante saber sobre o material trabalhado, foi necessário identificar a granulometria após o processo de compactação, pois acreditava-se que o fator granulométrico poderia ser alterado com processo de compactação.

Para o ensaio de granulometria foi utilizada como referência a norma ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados - Determinação da composição granulométrica.

3.3.3.1. Equipamentos para Ensaio de granulometria

- Bandejas para secagem do solo;
- Balança com precisão de 0,1;
- Almofariz e mão de grau;
- Estufa;
- Jogo de peneiras;
- Agitador de peneiras

3.3.4. *Compactação do solo*

Foi feito o ensaio de compactação dinâmica e para este ensaio foi utilizada como base a norma ABNT NBR NM 7182:2016: Solo - Ensaio de compactação. Para melhor

entendimento do processo será descrito o procedimento de acordo com a norma e os ajustes feitos pelo projeto.

A norma prescreve a coleta de 5 amostras de agregado, de material fino e grosso de acordo com suas proporções médias calculadas, ou seja, neste caso 33% de material grosso, passante na peneira de 19,0 mm e 67% de material fino, passante pela peneira 4,8 mm. As amostras deverão ser deixadas para secar ao ar livre. Cada amostra deve conter cerca de 5 kg.

Foi calculada a umidade higroscópica da amostra (umidade restante após secagem ao ar livre) tendo um valor médio de 2%, conforme feito no ensaio de umidade. Após calculada a umidade higroscópica foi determinada a umidade que seria utilizada em cada amostra acrescentado cerca de 2% de umidade a mais para cada amostra. Foi determinado para o processo utilizando 4% para a 1ª amostra 6% para a 2ª e assim sucessivamente.

Após feita a determinação da umidade para cada uma das amostras, foi dado continuidade com o procedimento onde a 1ª amostra foi espalhada sobre uma bandeja e acrescentada a água definida para a mesma, ou seja, 4%, isto é, o equivalente a 200g de água levando em consideração que a amostra tem 5 kg. Após a água ser acrescentada na amostra, esta foi misturada para fim desta água se distribuir de maneira a homogeneizar a amostra.

Uma vez homogênea, amostra foi colocada em 3 camadas no molde cilíndrico nas dimensões especificadas pela norma. Entre cada camada foram aplicados os golpes determinados para o ciclo em questão, fazendo assim a compactação da camada utilizando o soquete. A norma prescreve 26 golpes com o soquete na amostra a cada camada, porém o objetivo deste projeto é a análise da modificação deste processo, portanto foram feitos 3 ciclos de ensaios, com 26, 32 e 39 golpes por camada para amostras diferentes, o que corresponde um ensaio padronizado pela norma e dois com aumentos de 25% e 50% respectivamente.

Terminada a compactação, isto é, a aplicação dos golpes em cada camada, foi retirado o “colarinho” do molde e planificada a base com auxílio de uma espátula. Após concluído o processo anterior, foi pesado o cilindro com a amostra e anotado o valor. Por fim, a amostra foi retirada do cilindro e descartada. Foi repetido o processo com as próximas amostras, fazendo as devidas mudanças alterações na umidade a cada amostra.

Após o término do primeiro ciclo, de 26 golpes, o processo foi repetido nos ciclos seguintes, de 32 e 39 golpes.

3.3.4.1. Equipamentos para o Ensaio de Compactação

- Estufa
- Balança
- Peneiras 4,8mm e 19mm
- Cápsulas
- Soquete
- Molde Proctor
- Espátula

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. GRANULOMETRIA

Foram feitos ensaios de granulometria para 3 situações, uma para cada ciclo de compactação, ou seja, para o ciclo com 26, 32 e 39 golpes. Desta forma analisamos se houve alguma grande alteração na curva granulométrica. Abaixo, estão as curvas obtidas em cada um dos ensaios, onde no eixo das abcissas estão os percentuais de material passante e no eixo das ordenadas estão os diâmetros médios dos grãos.

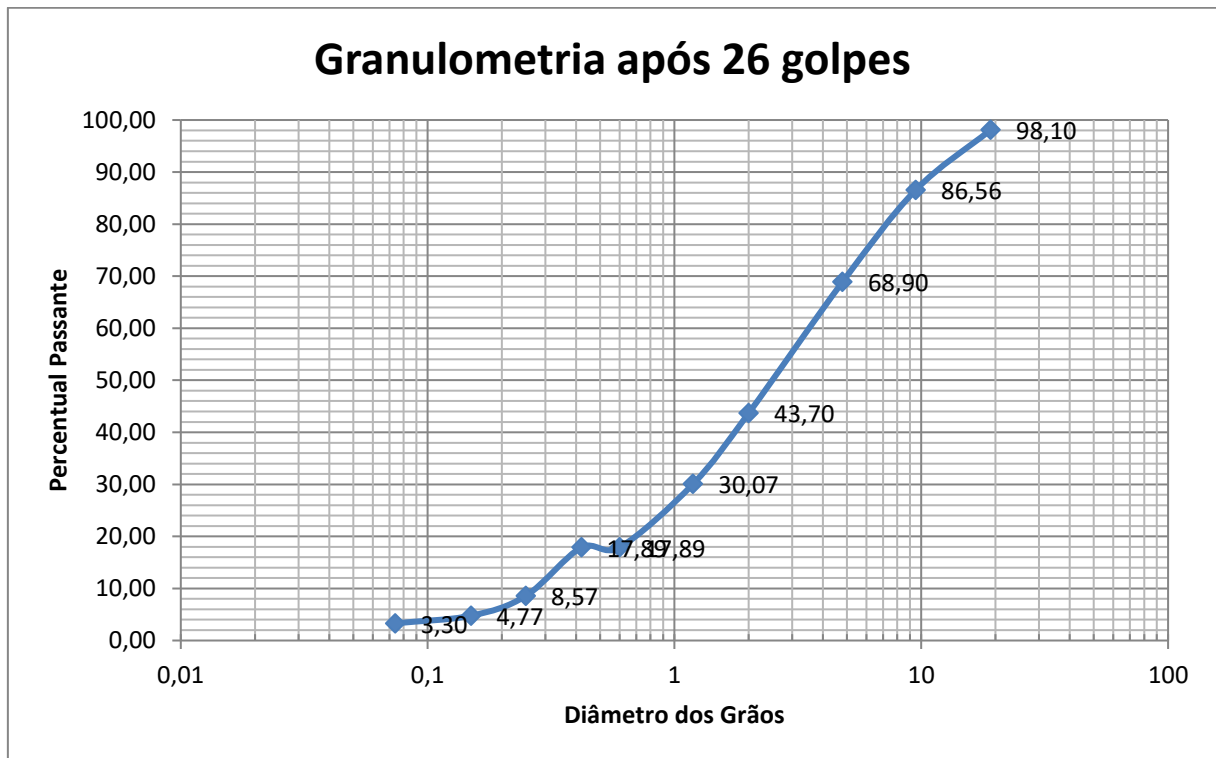


Gráfico 1 – Curva Granulométrica após ciclo de 26 golpes

A curva granulométrica obtida após o 1º ensaio de compactação se mostrou com uma progressão suave, exceto entre as peneiras 4,8 mm e 9,5mm onde temos percentuais de materiais passantes muito próximos, gerando uma não uniformidade dos grãos.

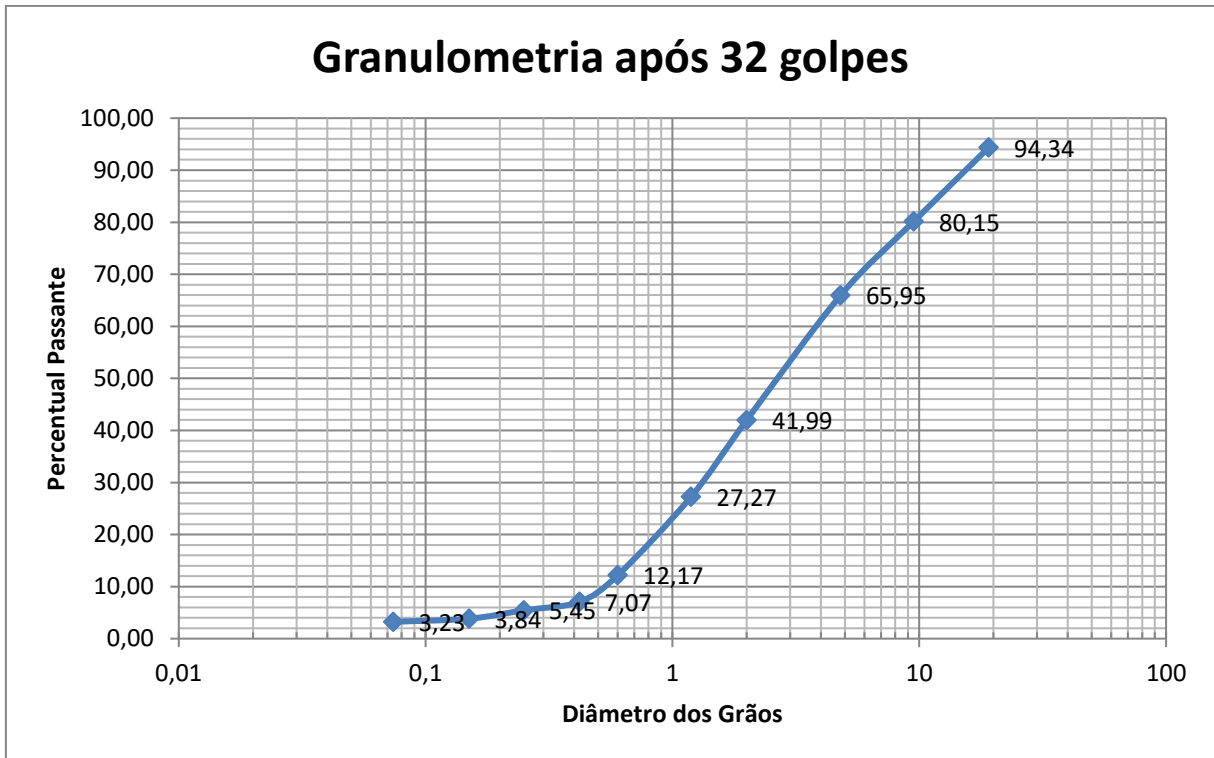


Gráfico 2 – Curva granulométrica após 32 golpes

Na curva granulométrica do 2º ensaio observou-se que a quantidade de material passante nas menores peneiras tem seu valor muito próximo gerando quase que uma reta, porém ainda seguindo certa uniformidade. Notou-se também, que a quantidade de materiais finos foram maiores em relação a curva anterior.

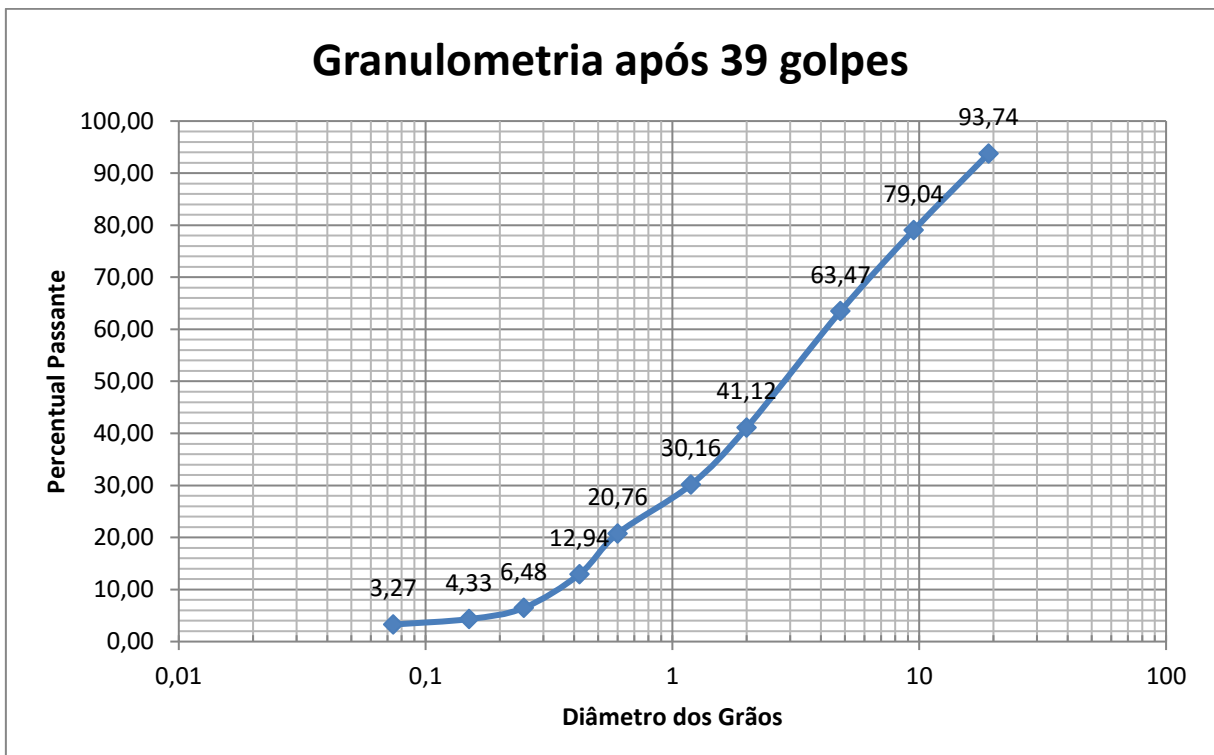


Gráfico 3 – Granulometria após 39 golpes

A curva do 3º ensaio notou-se que os percentuais de materiais finos foram maiores que nas anteriores, observou-se também que na peneira 9,5 mm houve um ponto de mudança na curva a qual seguia uma tendência pouco mais homogênea.

As curvas são visivelmente diferentes entre si, portanto notou-se que houve uma modificação da granulometria entre cada ensaio. Resolvemos escolher um ponto específico para o estudo, o ponto escolhido foi o de 4,8 mm, ou seja, o ponto onde separamos material grosso do material fino. A seguir tabelas que ilustram os gráficos anteriormente apresentados.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181			
AMOSTRA 26 GOLPES			
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada
19,1	18,1	1,90	1,90
9,5	110,1	11,54	13,44
4,8	168,5	17,66	31,10
2	240,4	25,20	56,30
1,19	130	13,63	69,93
0,6	116,2	12,18	82,11
0,42	0	0,00	82,11
0,25	88,9	9,32	91,43
0,15	36,3	3,81	95,23
0,074	14	1,47	96,70
< 0,074	31,5	3,30	100,00
Σ	954	100,00	

Tabela 4 – Granulometria – Percentual Retido Ensaio de 26 golpes

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181			
AMOSTRA 32 GOLPES			
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada
19,1	55,2	5,66	5,66
9,5	138,3	14,18	19,85
4,8	138,5	14,21	34,05
2	233,6	23,96	58,01
1,19	143,5	14,72	72,73
0,6	147,2	15,10	87,83
0,42	49,8	5,11	92,93
0,25	15,8	1,62	94,55
0,15	15,7	1,61	96,16
0,074	5,9	0,61	96,77
< 0,074	31,5	3,23	100,00
Σ	975	100,00	

Tabela 5 - Granulometria – Percentual Retido Ensaio de 32 golpes

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181			
AMOSTRA 39 GOLPES			
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada
19,1	60,3	6,26	6,26
9,5	141,5	14,70	20,96
4,8	149,9	15,57	36,53
2	215,2	22,35	58,88
1,19	105,5	10,96	69,84
0,6	90,5	9,40	79,24
0,42	75,3	7,82	87,06
0,25	62,2	6,46	93,52
0,15	20,7	2,15	95,67
0,074	10,2	1,06	96,73
< 0,074	31,5	3,27	100,00
Σ	962,8	100,00	

Tabela 6 - Granulometria – Percentual Retido Ensaio de 39 golpes

De acordo com as tabelas acima houve um aumento médio de 2,71% na quantidade de partículas caracterizadas como finas para cada 25% de aumento na energia de compactação. Após análise, constatou-se que este fato deve-se a quebra dos grãos maiores pela energia aplicada sobre eles.

4.2. COMPACTAÇÃO

Como dito anteriormente, foram feitos 3 ciclos diferentes de ensaios de compactação para cada um foram utilizadas 5 amostras com 5 kg de solo, com proporções de 33% de material grosso e 67% de material fino.

Para cada ciclo foi utilizada uma energia de compactação diferente, onde esta diferença foi dada na quantidade de golpes aplicadas na amostra, após a realização dos ensaios foram anotados os valores de seus pesos, adições de água, massa específica úmida e seca. Posteriormente a isso foram geradas curvas de compactação de cada um dos ciclos, a seguir pode-se ver os dados gerados pelos ensaios e suas respectivas curvas de compactação:

Dados de Compactação - 26 golpes							
Água Adic.		(g)	300	400	500	600	700
% Água Adic.		(%)	6	8	10	12	14
Umidade Calc.		(%)	8	10	12	14	16
Nº do Molde		#	9	9	9	9	9
M + S + A		(g)	9000	9480	9710	9380	9000
M – Molde		(g)	5455	5550	5546	5507	5440
S + A		(g)	3545	3930	4164	3873	3560
g úmida	(g/cm ³)		1,699	1,892	1,995	1,853	1,709
g seca	(g/cm ³)		1,573	1,720	1,781	1,626	1,473

Tabela 7 – Dados de Compactação 26 golpes

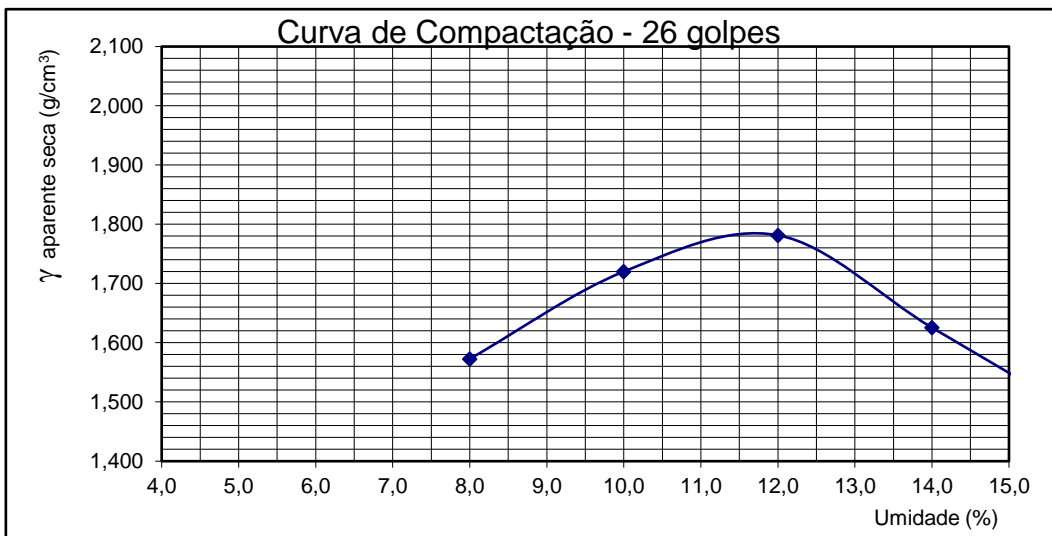


Gráfico 4 – Curva de Compactação – 26 golpes

No primeiro ensaio, com 26 golpes, obteve-se uma curva com maior variação nos valores de massa específica para umidade relativa, obteve-se o valor máximo de massa específica 1,781 g/cm³ com uma umidade ótima de 12%.

Dados de Compactação dos Corpos de Prova							
Água Adic.		(g)	200	300	400	500	600
% Água Adic.		(%)	4	6	8	10	12
Umidade Calc.		(%)	6	8	10	12	14
Nº do Molde		#	9	9	9	9	9
M + S + A		(g)	9360	9620	9790	9650	9400
M – Molde		(g)	5554	5554	5554	5554	5554
S + A		(g)	3806	4066	4236	4096	3960
g úmida	(g/cm ³)		1,822	1,946	2,028	1,961	1,896
g seca	(g/cm ³)		1,719	1,802	1,843	1,751	1,663

Tabela 8 – Dados de Compactação – 32 golpes

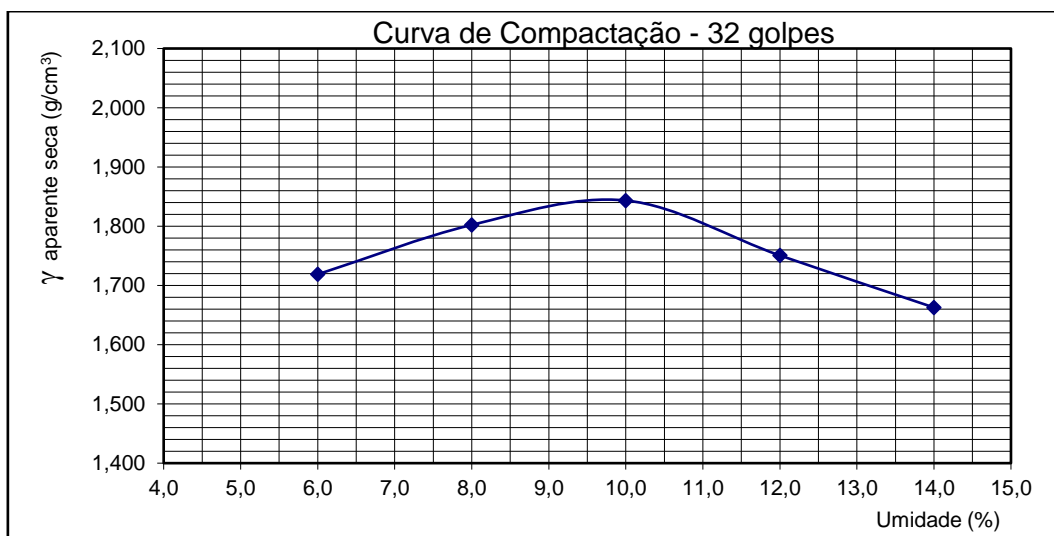


Gráfico 5 – Curva de Compactação – 39 golpes

No segundo ciclo ensaiado, com 32 golpes, obteve-se uma curva com menor variação em relação a 1^a, nesta obteve-se o valor máximo de massa específica de 1,843 g/cm³ com uma umidade ótima de 10%.

Dados de Compactação – 39 golpes							
Água Adic.		(g)	200	300	400	500	600
% Água Adic.		(%)	4	6	8	10	12
Umidade Calc.		(%)	6	8	10	12	14
Nº do Molde		#	9	9	9	9	9
M + S + A		(g)	8980	9380	9675	9450	9230
M - Molde		(g)	5390	5390	5390	5390	5390
S + A		(g)	3590	3990	4285	4060	3790
g úmida	(g/cm ³)		1,719	1,910	2,051	1,944	1,814
g seca	(g/cm ³)		1,621	1,769	1,865	1,735	1,591

Tabela 9 - Dados de Compactação - 39 golpes

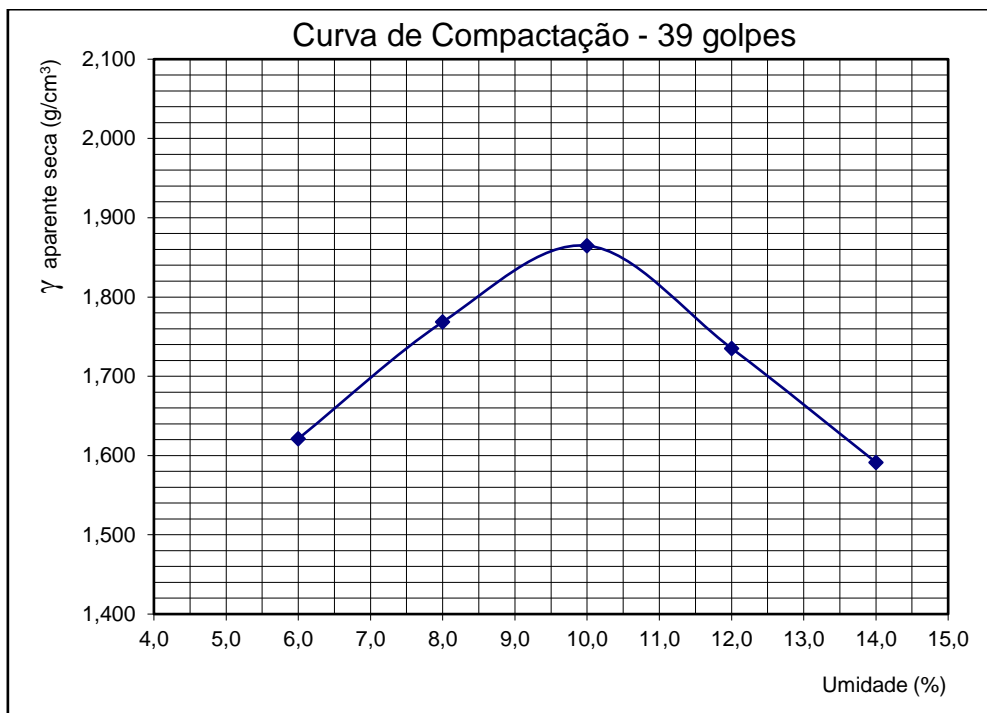


Gráfico 6 – Curva de Compactação – 39 golpes

No terceiro ciclo ensaiado, com 39 golpes, obteve-se uma curva parecida com a 1^a, isto é, com maior variação entre seus valores, porém com massa específica máxima muito mais próxima da 2^a curva, nesta obteve-se o valor máximo de massa específica de 1,865 g/cm³ com uma umidade ótima de 10%.

Acima, foi observado que há diferenças nas curvas de compactação, mas o mais importante neste processo é o resultado principal, ou seja, a máxima massa específica aparente seca. Esta se dá no ponto conhecido como umidade ótima, isto é, o ponto onde a amostra tem maior massa específica para com um certo percentual de umidade, a partir deste ponto a amostra já passa para um estado de saturação, onde sua massa específica diminui.

Dito isto, obtivemos como resultado uma massa específica seca de 1,781 g/cm³ e umidade ótima de 12% para o 1º ciclo, com 26 golpes. Para o 2º ciclo, com 32 golpes, temos

uma massa específica seca de 1,843 g/cm³ e umidade ótima de 10%. E por fim para o 3º ciclo, com 39 golpes, obtivemos os valores de massa específica seca de 1,865 g/cm³ e umidade ótima de 10%.

Quadro Resumo Ensaio de Compactação			
Número de golpes	26	32	39
Umidade Ótima	12	10	10
γ Seca (g/cm ³)	1,781	1,843	1,865

Tabela 10 - Quadro Resumo Ensaio de Compactação

Notou-se que ao aumentarmos a energia de compactação, aumentou-se também a massa específica, este aumento foi de 3,48% no 2º ciclo em relação ao 1º e de 1,19% no 3º ciclo em relação ao 2º. A partir destes valores, em média tivemos um aumento de 2,34% na massa específica a cada 25% de aumento na energia de compactação, isto é, 0,09% de aumento médio a cada 1% de aumento na energia de compactação, além disso a umidade ótima diminuiu a partir do 2º ciclo, não havendo mais alterações.

Apesar de o aumento médio ser de 2,74% na massa específica a cada 25% de aumento de energia de compactação, observou-se que esta não seria uma equação de 1º grau, isto é, não é uma relação que pode ser representada por uma reta pois o aumento da massa específica nos primeiros 25% de aumento na energia de compactação é diferente do aumento no 2º ciclo de compactação.

Sendo assim, foi traçada a curva de tendência entre a massa específica e o número de golpes, para esta curva foram testados vários tipos de expressões matemáticas e por fim foi escolhida uma equação polinomial, pois esta foi a que o comportamento mais se assemelhou ao real. A seguir temos a equação utilizada e o gráfico com a representação desta tendência.

$$y = -0,0006x^2 + 0,0424x + 1,0521$$

Equação 2 – Tendência entre Massa Específica Seca X Número de Golpes

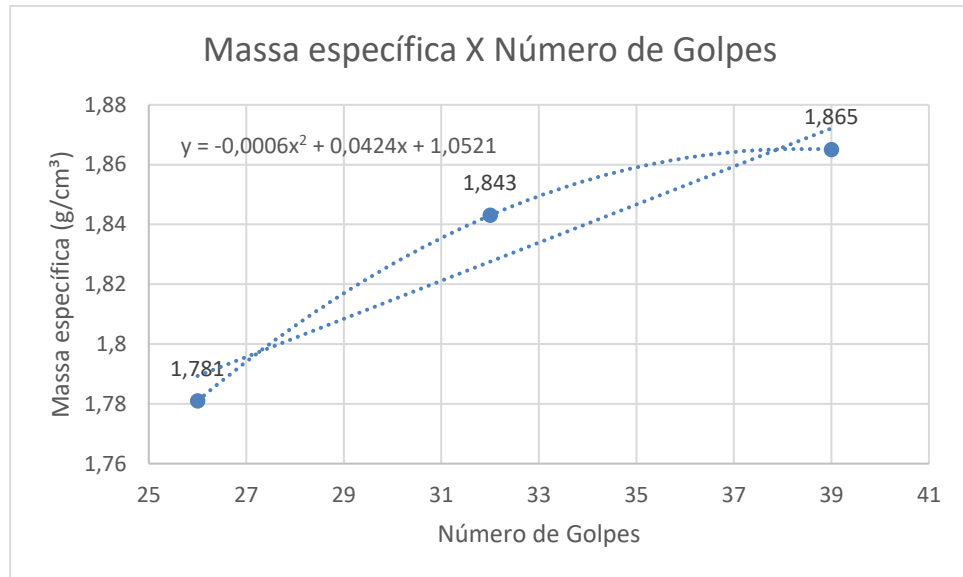


Gráfico 7 – Curva de Tendência – Massa específica X Número de golpes

A partir deste gráfico concluiu-se que ao se aumentar o número de golpes podemos obter maiores valores de massa específica, porém esta relação não é ilimitada, pois ao aumentar a massa específica diminuimos o volume de vazios presentes no solo e mesmo que estes venham a ser nulos, de acordo com o princípio da impenetrabilidade “dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço ao mesmo tempo”, portanto a física nos impede de seguir infinitamente aumentando esta massa específica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os resultados obtidos neste projeto, podemos notar que a mudança na energia de compactação utilizada alterou os resultados obtidos na compactação do solo e modificou a granulometria do mesmo, desta forma a proposta deste TCC foi atendida com sucesso. Porém, vale salientar que os resultados obtidos não podem ser considerados válidos para todo tipo de solo, visto que devido a pandemia de COVID-19 não houve a possibilidade de repetições com outros tipos de solo.

Concluiu-se também que para um resultado definitivo quanto a necessidade de alteração do ensaio de compactação padronizado pela NBR 8172:2016 seria necessário elaborar mais repetições de trabalhos como este, porém a partir deste já pode-se ter noção que um método com maior energia de compactação em ensaios podem gerar melhores resultados, os quais aproximam-se mais da realidade, onde as compactações ocorrem com energias muito maiores que as feitas em laboratórios a partir de ensaios.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Felipe Maraschine de. **Energias para compactação de solos destinados a estruturas de pavimentos asfálticos**. 2017. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19813/1/EnergiasCompactacaoSolos.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16097**: Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:2016**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BRITO, Francisco de Melo. Solos. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/contando/ciencia/solos//asset_publisher/1ZCT5VQ5Hj1S/content/o-que-e-e-como-se-forma-o-solo-/1355746?inheritRedirect=false>. Acesso em: 5 out. 2019

BRITO, Laís Costa; PARANHOS, Haroldo da Silva. Estabilização de Solos. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 425-438, setembro de 2017. ISSN:2448-0959

CANCIAN, Max Alberto. **INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE, POROSIDADE E DO TEMPO DE APLICAÇÃO NA MISTURA SOLOCIMENTO PARA PAVIMENTO RODOVIÁRIO DE UM SOLO DA BACIA DO PARANÁ**. 2013. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013

CRAMEZ, Carlos. **Gradação**. 2018. Disponível em: <<http://homepage.ufp.pt/biblioteca/Estratigrafia%20Sequencial/Pages/PageG1.html>>. Acesso em: 14 out. 2016.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Curso de Especialização em Comunidades Virtuais de Aprendizagem, da Universidade Estadual do Ceará (UECE), 2002.

GODINHO, Fernanda. **Diferentes cores do solo**. 2015. Disponível em: <<http://fernandasmgodinho.blogspot.com/2015/06/diferentes-cores-do-solo.html>>. Acesso em: 14 out. 2019.

MEDINA, Jacques. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997.

OLIVEIRA, Douglas. **Passo Estratégico de Obras Rodoviárias p/ DNIT: (Técnico - Área Estradas)**. Rio de Janeiro: Estratégia Concursos, 2019. 43 p

PENA, Rodolfo F. Alves. **Solo**. 2018. Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/geografia/solo.html>>. Acesso em: 05 out. 2019

RIBEIRO, Daniela. **Compactação dos solos: Processo executivo**. 2018. Disponível em: <<https://engenhariaconcreta.com/compactacao-dos-solos-processo-executivo/>>. Acesso em: 26 set. 2019.

SANTOS, Jaime A. **Obras Geotécnicas Compactação: Elementos Teóricos**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2008. 18 p. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/Compacta_T.pdf>. Acesso em: 26 set. 2019.

SARTORI, Guilherme. **ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO**. 2015. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015

SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação: Vol. 1**. São Paulo: Pini, 1997.

SOUZA JUNIOR, Joacy Demétrio de. **O EFEITO DA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO EM PROPRIEDADES DOS SOLOS UTILIZADOS NA PAVIMENTAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ**. 2005. 229 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005. Disponível em:

<http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/4860/1/2005_dis_jdsouzajunior.pdf>. Acesso em: 11 out. 2019.

TIPOS de solo: qual o melhor para construção? 2019. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/curiosidades/tipos-de-solo/>>. Acesso em: 13 out. 2019.

WERK, Sirlei Maribel Siconi de. **Influência da Compactação no Comportamento Resiliente de Solos**. 2000. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ANEXOS

5.1. MEMORIAL DE CÁLCULO

5.1.1. Ensaio de teor de umidade

Calcula-se a umidade do solo com a expressão:

Equação 3: Umidade do Solo

$$h = \frac{Ma}{Ms} \times 100$$

Portanto,

Equação 4: Umidade do Solo, Versão Estendida

$$h = \frac{(Mc + Ms + Ma) - (Ms + Mc)}{(Ms + Mc) - (Mc)} \times 100$$

Ma – Massa de água

Ms – Massa de sólidos

Mc – Massa da cápsula

h – Umidade do solo

5.1.1.1. Cálculos de teor de umidade

Umidade Higroscópica			
C + S + A	(g)	1	2
C + S	(g)	582,7	659,7
C - Cápsula	(g)	574,8	648,0
A - Água	(g)	153,3	102,3
S - Solo	C	7,9	11,7
w - Umidade	(%)	421,5	545,7
Umidade Média	(%)	1,9	2,1
		2,0	

Tabela 11 - Umidade Higroscópica

5.1.2. Preparação das amostras

Para o cálculo do percentual de material fino ou grosso utilizasse a seguinte equação

Equação 5: Percentual de Material da Amostra

$$\text{Percentual de material} = \frac{\text{Massa do material desejado}}{\text{Massa total da amostra}} * 100$$

$$\text{Percentual de material fino} = \frac{54,270}{81,000} * 100$$

Percentual de material fino = 67%

Percentual de material grosso = 100% - 67% = 33%

5.1.3. *Ensaio de granulometria*

- Peso Passante:

Equação 6: Peso Passante

$$PP = PP - PR$$

PP: Peso Passante (Peneira anterior)

PR: Peso retido (Peneira atual)

- Porcentagem Passante:

Equação 7: Peso Retido

$$\% = \frac{PR}{PT} \times 100$$

PR: Peso retido

PT: Peso seco total

RELATÓRIO ANTI-PLAGIO

CopySpider Scholar

TCC II - FELIPE PINTO DE LIMA.docx (01/06/2020):

Documentos candidatos

- escolaengenharia.com... [1,32%]
- edisciplinas.usp.br/... [0,6%]
- normas.com.br/visual... [0,54%]
- docplayer.es/5416326... [0,24%]
- trabalhosgratuitos.c... [0,18%]
- abntcatalogo.com.br/... [0,18%]
- puc-rio.br/ensinopes... [0,18%]
- target.com.br/produt... [0%]

Arquivo de entrada: TCC II - FELIPE PINTO DE LIMA.docx (6186 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
escolaengenharia.com...	Visualizar 1389	99	1,32
edisciplinas.usp.br/...	Visualizar 941	43	0,6
normas.com.br/visual...	Visualizar 587	37	0,54
docplayer.es/5416326...	Visualizar 74077	195	0,24
trabalhosgratuitos.c...	Visualizar 947	13	0,18
abntcatalogo.com.br/...	Visualizar 284	12	0,18
puc-rio.br/ensinopes...	Visualizar 252	12	0,18
deecc.ufc.br/Downloa...	-	-	-

Parece que o documento foi removido do site ou nunca existiu. HTTP response code: 404

Figura 8 - Relatório Anti-Plagio CopySpider

Fonte: Autor (2020)

TCC II - FELIPE PINTO DE LIMA.docx (01/06/2020):

Documentos candidatos

- escolaengenharia.com... [1,32%]
- edisciplinas.usp.br/... [0,6%]
- normas.com.br/visual... [0,54%]
- docplayer.es/5416326... [0,24%]
- trabalhosgratuitos.c... [0,18%]
- abntcatalogo.com.br/... [0,18%]
- puc-rio.br/ensinopes... [0,18%]
- target.com.br/produt... [0%]

Arquivo de entrada: TCC II - FELIPE PINTO DE LIMA.docx (6186 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
escolaengenharia.com...	Visualizar 1389	99	1,32
edisciplinas.usp.br/...	Visualizar 941	43	0,6
normas.com.br/visual...	Visualizar 587	37	0,54
docplayer.es/5416326...	Visualizar 74077	195	0,24
trabalhosgratuitos.c...	Visualizar 947	13	0,18
abntcatalogo.com.br/...	Visualizar 284	12	0,18
puc-rio.br/ensinopes...	Visualizar 252	12	0,18
deecc.ufc.br/Downloa...	-	-	-

Parece que o documento foi removido do site ou nunca existiu. HTTP response code: 404

Figura 9 – Relatório Anti-Plagio CopySpider Recortado

Fonte: Autor (2020)