



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

EMILYANNO SARAIVA LIMEIRA

**PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO COM ATERROS EXPERIMENTAIS PARA
UM SOLO DA CIDADE DE PAU DOS FERROS.**

PAU DOSFERROS – RN
2018

EMILYANNO SARAIVA LIMEIRA

**PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO COM ATERROS EXPERIMENTAIS PARA
UM SOLO DA CIDADE DE PAU DOS FERROS.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. José Daniel Jales Silva.

PAU DOS FERROS-RN
2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SLIME SARAIVA, EMILYANNO .
IRAp PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO COM ATERROS
EXPERIMENTAIS PARA UM SOLO DA CIDADE DE PAU DOS
FERROS. / EMILYANNO SARAIVA. - 2018.
53 f. : il.

Orientador: JOSÉ JALES.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. COMPACTAÇÃO. 2. SOLOS. 3. PLASTICIDADE. 4.
GRAU DE COMPACTAÇÃO. I. JALES, JOSÉ , orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

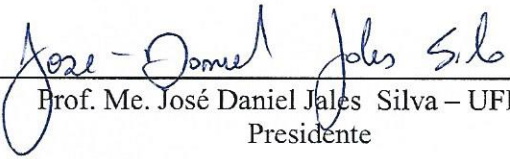
EMILYANNO SARAIVA LIMEIRA

**PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO COM ATERROS EXPERIMENTAIS PARA
UM SOLO DA CIDADE DE PAU DOS FERROS.**

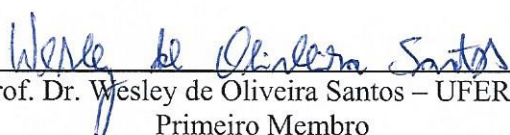
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

APROVADA EM: 17 / 03 / 2018

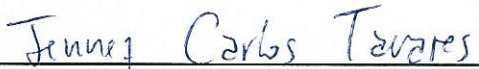
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. José Daniel Jales Silva – UFERSA
Presidente



Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos – UFERSA
Primeiro Membro



Prof. Jennef Carlos Tavares – UFERSA
Segundo Membro

Aos meus pais, José e Zélia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proposto chegar onde cheguei, por nunca me abandonar.

A minha família que sempre me apoiou em minhas decisões, em especial meus pais que nunca mediram esforços para que eu pudesse seguir em frente, pela confiança que sempre mantiveram. A minha irmã que mesmo longe sempre serviu como conselheira, mesmo na distância nunca me abandonou. Aos meus pais que são meu porto seguro, mesmo em momentos difíceis.

À Paloma Joyce por sempre que precisei ela esteve do meu lado, pelo companheirismo, paciência, coragem, pela ajuda independentemente da situação.

Ao meu orientador Msc. José Daniel Jales da Silva pelas orientações, mesmo com todo tempo corrido e estresses abdicou de seu tempo me cedendo toda disponibilidade para correções e dúvidas, sempre com muita paciência me ajudou e orientou bem, o levarei não só como um professor, mas sim como grande amigo.

A meu amigo Leonardo Sucupira que contribuiu para o desfecho deste trabalho.

A todos meus amigos que sempre me apoiaram e que me proporcionaram grandes alegrias e boas experiências.

“O mundo está nas mãos daqueles que tem coragem de sonhar e correr o risco de viver seus sonhos”.

(Paulo Coelho)

RESUMO

A compactação dos solos sempre acompanhou a sociedade, se faz presente nos dias atuais como uma das principais aplicações a grandes obras da engenharia civil. Esse trabalho teve como o objetivo a verificação da eficiência do estudo de parâmetros de compactação através do uso de aterros experimentais, aplicados ao solo da cidade de Pau dos Ferros-RN situada a 392 km de Natal capital do Rio Grande do Norte. O presente estudo foi dividido em duas etapas, sendo a primeira associada a um estudo de laboratório, onde foram realizados ensaios de granulometria, para uma melhor caracterização do solo, ensaio de plasticidade, massa específica e compactação a fim de servir como parâmetros para a realização da etapa seguinte, a segunda parte se caracterizou pela aplicação de aterros experimentais que é uma solução para o estudo da compactação realizada em campo, em cada aterro feito foi realizado ainda ensaio de frasco de areia para que se pudesse obter o grau de compactação, em seguida foi feita a análise desses dados para que se pudesse fazer a comparação entre parâmetros de alto grau de importância. Assim, foi observado que para determinado número de golpes igual a 80 ocorreu a diminuição do grau de compactação, um dos motivos prováveis para o acontecimento é o fato de que a partir de certo ponto o material adquire uma rigidez considerável, então o golpeamento excessivo pode provocar uma perturbação da estrutura e amolgamento do solo levando a redução do grau de compactação.

Palavras-chave: Plasticidade, Frasco de areia, Granulometria.

ABSTRACT

The compacting of the soils has always accompanied the society, is present in the present day as one of the main applications to great works of the civil engineering. The objective of this work was to verify the efficiency of the study of compaction parameters through the use of experimental landfills, applied to the soil of the city of Pau dos Ferros-RN located 392 km from Natal capital of Rio Grande do Norte. The present study was divided into two stages, the first one being associated to a laboratory study, where granulometry tests were carried out, for better soil characterization, plasticity assay, specific mass and compaction in order to serve as parameters for the accomplishment of the second stage, the second part was characterized by the application of experimental landfills which is a solution for the study of the compaction carried out in the field, in each landfill made, a sand flask test was carried out in order to obtain the degree of compaction, in then the analysis of these data was done so that the comparison between parameters of high degree of importance could be made. Thus, it was observed that for a given number of strokes equal to 80 the decrease in the degree of compression occurred, one of the probable motives for the event is that from a certain point the material acquires a considerable stiffness, causing a disturbance of the structure and ground grinding leading to a reduction in the degree of compaction..

Keywords: Plasticity, Sand bottle, granulometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ensaio de comactação proctor normal.....	15
Figura 2 - Curva de compactação obtida em ensaio.....	16
Figura 3 - Influência do tipo de solo na compactação.....	17
Figura 4 - Curva de compactação de um solo com diferentes energias	18
Figura 5 - Estruturas de solos compactados.	20
Figura 6 - Resutado de um aterro experimental da barragem Euclides da Cunha	23
Figura 7 - Sapinho.....	25
Figura 8 - Rolo de pé-de-carneiro	25
Figura 9 - Rolo liso	25
Figura 10 - Rolo pneumático.....	25
Figura 11 - Localização do município de Pau dos Ferros-RN.	27
Figura 12 - Metodologia aplicada.	28
Figura 13 - Retirada da Amostra.....	29
Figura 14 - Amostra de solo.....	30
Figura 15 - Quarteamento do solo.....	30
Figura 16 - Estufa.....	31
Figura 17 - Estufa.....	31
Figura 18 - Balança	32
Figura 19 - Peneira utilizada na granulometria.	32
Figura 20 - Peneira utilizada na granulometria.	33
Figura 21 - Peneira utilizada na granulometria.	33
Figura 22 - Materiais utilizados para averificação da plasticidade do solo.....	34
Figura 23 - Ensaio de Compactação.....	34
Figura 24 - Ensaio de Compactação.....	35
Figura 25 - Ensaio de Compactação.....	35
Figura 26 - Ensaio de Compactação.....	35
Figura 29 - Ensaio de Compactação.....	35
Figura 27 - Ensaio de Compactação.....	36
Figura 28 - Ensaio de Compactação.....	36
Figura 30 - Ensaio de Compactação.....	37
Figura 31 - Ensaio de Compactação.....	38
Figura 32 - Ensaio de Compactação.....	39
Figura 33 - Ensaio de Compactação.....	39
Figura 34 - Ensaio de Compactação.....	40
Figura 35 - Ensaio de Compactação.....	40
Figura 36 - Ensaio de Compactação.....	41
Figura 37 - Variáveis aplicadas à compactação	41
Figura 38 - Verificação da plasticidade do solo.....	43
Figura 39 – Granulometria do solo (Peneiramento).....	44
Figura 41 – Curva de compactação.....	45
Figura 42 – Espessura da camada x Grau de compactação com 80 golpes.....	46
Figura 43 – Espessura da camada(cm) x Grau de compactação(%) com 60 golpes.	47
Figura 44 – Espessura da camada(cm) x Grau de compactação(%) com 40 golpes.	47
Figura 45 – Espessura da camada x Grau de compactação com 20 golpes.....	48
Figura 46 – Número de Golpes x Grau de compactação com 15cm de espessura.....	48
Figura 47 – Número de Golpes x Grau de compactação com 10cm de espessura.....	49
Figura 48 – Número de Golpes x Grau de compactação com 5cm de espessura.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Melhoria nas propriedades dos materiais a partir da compactação.	14
Tabela 2- Etapas da compactação.....	21
Tabela 3- Equipamento de compactação.	26
Tabela 4- Granulometria do solo (Peneiramento).	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO TEÓRICA	14
3.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO	14
3.2 INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO.....	16
3.3 ESTRUTURA DO SOLO COMPACTADO.....	19
3.4 COMPACTAÇÃO EM CAMPO	20
3.5 ATERROS EXPERIMENTAIS	22
3.6 PROCESSOS DE COMPACTAÇÃO	23
3.7 EQUIPAMENTOS DE COMPACTAÇÃO	24
4. METODOLOGIA.....	27
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	27
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	28
4.3 ETAPA DE CAMPO.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 ENSAIO DE PLASTICIDADE DO SOLO.....	43
5.2 GRANULOMETRIA DO SOLO	43
5.3 COMPACTAÇÃO PROCTOR NORMAL.....	45
5.4 COMPACTAÇÃO DE ATERROS EXPERIMENTAIS	45
6. CONCLUSÃO.....	51
7. REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

O solo é a base de toda a estrutura de uma construção, região no qual vai suportar todas as cargas impostas pela mesma, por isso se torna uma das partes mais importantes durante uma obra. Para Souza (2016) o transporte de um solo de uma região para outra, acaba deixando o mesmo em um estado solto, assim é necessário que passe por uma compactação, processo que irá melhorar as suas propriedades.

Caputo (1988) afirma que a necessidade de um estudo aprofundado sobre as propriedades dos solos surgiu a séculos, a falta de conhecimento sobre suas propriedades acabou gerando uma sequência de acidentes envolvendo grande obras de engenharia, um exemplo foi a ruptura da barragens de terra e recalques em edifícios.

Para Brito (2006) o solo possui propriedades que são modificadas ao longo dos anos por isso que se busca formas para que possa agir diretamente no melhoramento dessas propriedades, e a densificação é uma delas, porém é considerada muito lenta, podendo levar de anos até milênios, ela pode ocorrer de forma natural, através de diversos fatores. Porém por ser lenta opta-se por formas que possam atuar de forma mais rápida, e a compactação é uma delas.

Para o mesmo autor a compactação acompanhou o desenvolvimento da sociedade desde o início, os primeiros registros são de pessoa que passavam por cima do aterro por diversas vezes, logo depois passou a ser movido pela tração animal, no qual eram utilizados cilindros, só depois pelo fato de acelerar as construções e o tempo de duração que surgiu a máquina a vapor.

Na compactação há a expulsão do ar, que se dá pelo processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios e, assim, aumentar sua resistência tornando mais estável. (CAPUTO, 1988, p. 170).

Uma solução para o estudo da compactação do solo, se dá através da utilização de aterros experimentais, que são utilizados para que se possa definir parâmetros de compactação necessários para atingir condições especificadas. Para que ele atinja o nível desejado em grande parte dos casos é preciso que a umidade esteja o mais próximo possível da ótima. Durante a aplicação dos aterros experimentais também podem ser definidos o número de passadas e o equipamento que será utilizado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A avaliação de parâmetros de compactação com máquinas de pequeno porte para solos da cidade de Pau dos Ferros através da execução de aterros experimentais. .

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a eficiência do estudo de parâmetros de compactação através do uso de aterros experimentais;
- Encontrar os parâmetros otimizados de espessura da camada e número de passadas do equipamento compactador.
- Aferir a umidade ótima e a massa específica seca máxima para cálculo do grau de compactação dos aterros estudados;

.

3. REVISÃO TEÓRICA

3.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação é uma forma de favorecer ao solo melhores condições, deixando assim mais propício ao uso, já que no solo, segundo o autor Pinto (2006), apenas uma parte do seu volume total é ocupado por partículas sólidas, tendo assim o resto do seu volume chamado de vazios. O mesmo autor ainda afirma que esse volume de vazios pode ser diminuído com a compressão do solo, fazendo assim com que a resistência do mesmo aumente .

A compactação do solo é a sua densificação por meio de equipamentos mecânicos, geralmente um rolo compactador, embora, em alguns casos, como em pequenas valetas, até soquetes manuais possam ser empregados. (PINTO, 2006, p. 77).

A NBR 6502/1995 define como compactação o processo artificial de aumento da massa específica de um solo, por redução do seu volume de vazios, através de aplicação de energia mecânica. Para Baptista (1976), o solo ao sofrer a compactação acaba alterando as suas propriedades, tendo como um de seus objetivos o alcance de um novo material, já que o solo pode ser modificado de acordo com a suas necessidades de uso.

Os autores Mitchell (1964), Holtz e Kovacs (1981) e Caputo (1988) citam propriedades dos solos que podem ser melhoradas a partir da tabela 1.

Tabela 1- Melhoria nas propriedades dos materiais a partir da compactação.

MITCHELL (1964)	HOLTZ E KOVACS (1981)	CAPUTO (1988)
Redução da compressibilidade	Aumento da estabilidade	Permeabilidade
Aumento da Resistência	Redução e/ou prevenção de adensamento do solo	Compressibilidade
Controle de tendências de variação volumétrica	Minimização da variação de volume devido a ação da geada, inchaço e encolhimento	Absorção d'água
Redução da permeabilidade		

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Badillo & Rodrigues (1976), afirmam que a umidade e a energia de compactação estão entre os fatores mais importantes no processo de compactação. Senço (1997) cita Proctor como o responsável por observar que a umidade do solo, na hora da compactação, era diretamente ligada à energia de compactação.

O ensaio de compactação surgiu a partir de um estudo realizado pelo engenheiro Ralph Proctor, o qual foi padronizado no Brasil pela ABNT (NBR 7182/86), onde se relaciona o teor de umidade ótima com a massa específica seca máxima.

Pinto (2006) descreve o ensaio original, neste utiliza-se uma amostra de um solo que esteja seco ao ar, o processo é iniciado inserindo água no solo até este atingir um ponto próximo a 5% de umidade abaixo da ótima, um cilindro padrão é utilizado para que se possa colocar o solo utilizado, (diâmetro 100mm, volume 1000 cm³, altura 12,73cm), no qual utiliza-se um soquete com massa de 2,5 kg, solto de uma altura de 30,5 cm, com 26 golpes.

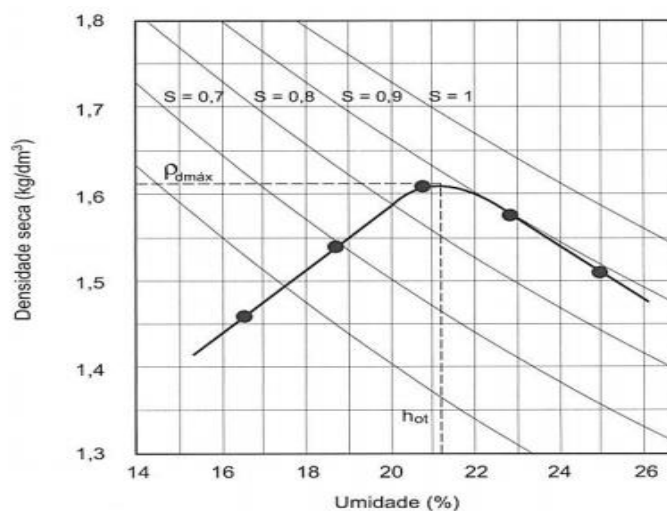
O método é repetido por mais duas vezes para que se possa atingir o topo do cilindro, a partir desses valores calcula-se a densidade seca, no entanto o processo é repetido várias vezes para que se possa montar a curva de compactação. A seguir (Figura 1) é representado o ensaio normal de proctor.

Figura 1 - Ensaio de compactação proctor normal



Fonte: Labgeo(Ufscar).

Na Figura 2, está representada a curva de compactação de um solo no qual relaciona-se a densidade seca e a umidade, representado pela formação de uma parábola, onde o trecho descendente é o ramo úmido e o trecho ascendentes se chama ramo seco.

Figura 2- Curva de compactação obtida em ensaio

Fonte: Pinto (2006)

A umidade ótima é denominada pelo ponto máximo da curva, isso significa que se for utilizado a umidade ótima, para fazer a compactação, e com nível de energia igual ao empregado em ensaio, assim se alcançará a massa específica seca máxima. (DANTAS, 2013)

Cada ponto representado na figura, relaciona um par ordenado de dados, que estão ligados diretamente à energia de compactação imposta durante o processo, quanto maior essa energia de compactação, maior será a massa específica seca máxima e também menor será a umidade ótima. (DANTAS, 2013)

A primeira explicação para o formato da curva de Proctor envolve o conceito de lubrificação. No ramo seco da curva, isto é, abaixo da umidade ótima, a medida que se adiciona água, as partículas de solo se aproximam diante do efeito lubrificante da água. No ramo úmido acima da umidade ótima, a água passa a existir em excesso, o que provoca um afastamento das partículas de solo e a consequente diminuição do seu peso específico. (MASSAD, 2010, p. 150).

A curva de compactação de um solo pode ser modificada, caso o solo apresente teores de argila e de matéria orgânica elevada, fazendo com que provoque uma redução na curva, consequentemente causando o aumento da umidade crítica e diminuindo a densidade seca máxima. (EKWUE & STONE, 1997)

3.2 INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO

Badillo & Rodrigues (1976) citam parâmetros que podem influenciar na compactação de um solo, como o tipo do solo, tipo de esforço, energia de compactação entre outros.

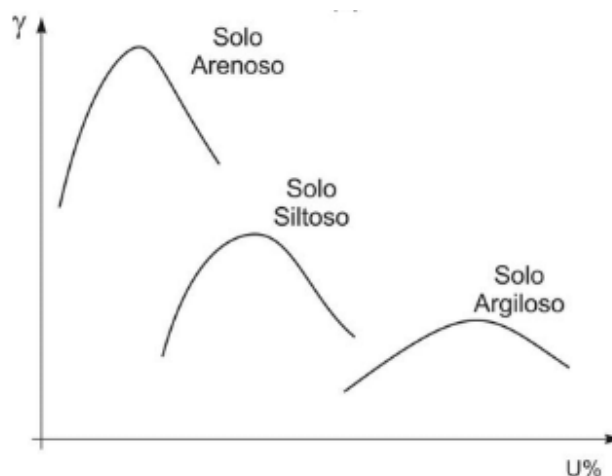
Silva (2015) menciona a umidade do solo, o número e a espessura das camadas, a energia de compactação e o tipo de equipamento utilizado, como fatores ligados ao ensaio do solo.

Para Ricardo e Catalani (1990) o tipo do solo pode variar muito de região para região, assim possuindo comportamento variados, ou seja, os processos e mecanismos utilizados durante a sua compactação vão ser diferentes. Quando se varia a granulometria, os solos arenosos apresentam maior massa específica aparente e menor teor de umidade.

Já se tratando de solos argilosos, apresentam umidade ótima elevada, porém, quando ensaiados possuem valores menores que o anterior. Dentro da zona intermediária se encontram os siltos-argilosos e siltos-arenosos.

Na figura 3, apresentada abaixo, são representados três tipos de solos, argilosos, arenosos e siltosos, dentre os três o que possui os maiores valores de umidade ótima e menores valores de massa específica aparente seca máxima é o solo argiloso, assim o teor de umidade e a energia de compactação de um solo podem se parâmetros de grande importância durante a compactação.

Figura 3- Influência do tipo de solo na compactação



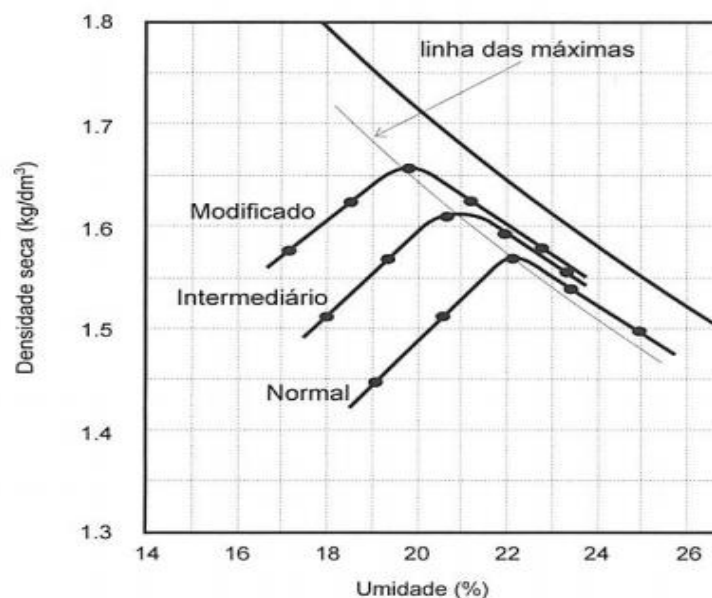
Fonte: Adaptado Vergas (1977)

A energia de compactação é a energia que é transferida do equipamento para o solo, para Pinto (2006) quanto maior for a energia de compactação maior será a densidade seca e menor a umidade ótima. A umidade do solo pode ser encontrada abaixo ou acima da umidade ótima, portanto se ela estiver abaixo, e ocorrer a aplicação de uma energia de compactação maior, então a densidade seca aumenta, porém caso ocorra da umidade estar acima da ótima o efeito será quase nenhum, pois o ar que possui nos vazios não consegue ser expulso.

A figura 4 mostra como ocorre, quando um solo, é compactado com energias diferentes,

neste caso ele está se deslocando para esquerda, e para cima, pois ocorreu um aumento da energia de compactação, a compactação mostrada na ilustração, foi obtida a partir do ensaio normal de compactação, de varias amostras de solos brasileiros (Vargas,1977).

Figura 4- Curva de compactação de um solo com diferentes energias



Fonte: Pinto (2006)

O tipo de compactação que será executada tem que ser levado em consideração quando se trata de solos compactados, ela pode ser feita em campo ou em laboratório. (CRUZ 1969).

Se tratando da compactação em campo existem fatores que podem influenciar diretamente no processo:

- Umidade;
- Número de passadas;
- Espessura da camada;
- Homogeneização da camada;

O estado natural do solo muitas vezes acaba dificultado o processo de compactação, retardando e elevando o custo. Em tempos de chuva sua umidade pode ser encontrada acima da ótima, ou quando o período de chuvas é baixo a umidade acaba ficando abaixo da ótima (LIMA, 2013).

Tendo em vista a dificuldade para executar a compactação nesse estado, é necessário a aplicação de processos para corrigir essa umidade, para o primeiro caso onde ela está elevada, recomenda-se fazer o revolvimento do solo com discos grandes, fazendo esse processo até que o teor fique próximo do ótimo, já no outro caso a correção é feita através de um caminhão

tanque, aplicando uma mesma vazão sobre todo trecho (LIMA, 2013).

Outro fator que atua na compactação em campo, é o número de passadas. De início é recomendado que se faça uma execução inicial em aterros experimentais, para que possa fixar outros parâmetros que possa atingir a condição ideal do solo, portanto muitas vezes o excesso de passadas pode ser prejudicial tanto para o solo, no qual acaba destruindo a estrutura que havia formado, e também danificando o aparelho que está sendo utilizado, normalmente é preferível aumentar o peso ou diminuir a velocidade (LIMA, 2013).

A espessura da camada a qual deverá ser compactada irá depender de uma série de parâmetros, como o tipo do equipamento e a utilidade do aterro compactado. Para se garantir a eficiência na compactação da camada, utiliza-se a camada com espessura entre 15 e 20 cm (LIMA, 2013).

Antes da compactação, toda a camada do solo que fica solta, precisa estar a mais homogênea possível, sem torrões ou blocos, para realizar esse processo são utilizados arados especiais, grades e até motoniveladoras.

3.3 ESTRUTURA DO SOLO COMPACTADO

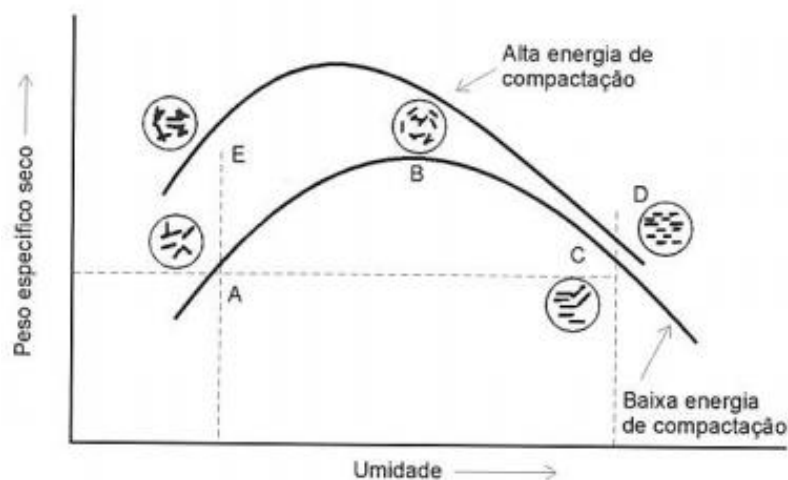
O conceito do termo estrutura era entendido por Lambe e Whitman (1969) relacionando com a atração entre as partículas do solo, que dependia diretamente das suas posições, essas atrações se dão devido a forças elétricas existentes, assim podendo ter uma maior ou menor atração.

A energia de compactação e a umidade são parâmetros que fazem com que o solo compactado dependa dele, quanto a estrutura desses solos, pode ser dois tipos, a dispersa e a floclulada. A estrutura floclulada está ligada a baixa umidade que acaba ocasionando uma baixa atração entre a face-aresta da partícula devido a energia de compactação, já a estrutura dispersa, ocorre em umidades maiores, onde acaba ocorrendo o aumento da repulsão entre partículas (PINTO, 2006).

O solo quando possui estrutura dispersa ele apresenta uma maior resistência e permeabilidade uma baixa compressibilidade, do que um solo floclulado (LAMBE & WHITMAN, 1979).

A Figura 5, relaciona a energia de compactação e a umidade do solo com a estrutura do mesmo.

Figura 5 - Estruturas de solos compactados.



Fonte: Pinto (2006)

3.4 COMPACTAÇÃO EM CAMPO

Browne (2006), afirma que o tipo de solo pode influenciar diretamente quando a compactação é realizada em campo, assim solos distintos irão gerar estruturas compactas diferentes.

Pinto (2006) divide a compactação feita em campo em cinco etapas diferentes, no qual é apresentada no quadro abaixo

Tabela 2– Etapas da compactação.

Escolha da área de empréstimo	“Nessa etapa devem ser consideradas as distâncias do transporte e as características geotécnicas do material, atenção tem que ser dada à umidade natural do solo para evitar gastos elevados com o acerto de umidade.” (PINTO, 2006, p.87).
Transporte e espalhamento do solo	“A espessura da camada solta a espalhar deve ser compatível com a espessura final, que geralmente é de 15 a 20 cm pois o efeito dos equipamentos não atingem profundidades maiores.” (PINTO, 2006, p.87).
Acerto da umidade	“conseguido por irrigação ou aeração, seguida do revolvimento mecânico do solo de maneira a homogeneizá-lo.” (PINTO, 2006, p.87).
Compactação propriamente dita	“Os equipamentos devem ser escolhidos de acordo com o tipo de solo, rolos pé de carneiros são mais utilizados em solos mais argilosos por penetrar a camadas nas primeiras passadas, rolos pneumáticos são eficientes para grande parte de solos, devendo ter seu peso e pneu adaptado para cada tipo de solo, rolos vibratórios são aplicados para solos granulares.” (PINTO, 2006, p.87).
Controle da compactação	“As especificações não fixam intervalos de umidade e densidade seca a serem obtidos, mas um desvio em relação a umidade ótima e um grau mínimo de compactação, relação entre a densidade seca a atingir em campo e a densidade seca máxima. Essa prática decorre do fato de que numa área de empréstimo, o solo sempre apresenta alguma heterogeneidade ” (PINTO, 2006, p.87).

Fonte: Pinto (2006).

Para solos granulares como areia ou pedregulho, é recomendado a utilização de equipamentos vibradores. Existem vários processos, entre eles “vibroflotation, que consiste em introduzir na camada de areia um vibrador provido com um injetor de água. (CAPUTO, 1988, p. 178).

A energia de compactação utilizada em campo pode variar, ficando dependente do tipo de solo, com isso existem parâmetros que ajudam a controlar quando a mesma é feita em campo, Caputo (1988) cita dois parâmetros, a umidade e o peso específico aparente.

Para o mesmo autor o controle da compactação realizada em campo pode ser feito de duas formas, pelo speedy, para a determinação da umidade, e pelo o processo do frasco de areia, que determina o peso específico. Esse controle é feito a partir do grau de compactação que é a comparação entre o peso específico de campo e o máximo encontrado em laboratório como

demonstrado na formula abaixo:

$$G_c = \frac{\gamma_{s(campo)}}{\gamma_{s,max(laboratório)}} X 100 \quad (1)$$

O grau de compactação para aterros tem que estar entre 95% e 100%, caso não atinja a compactação pretendida o material será revolvido e compactado novamente.

Para analisar o desvio de umidade, utiliza-se o parâmetro umidade, nele se aplica na diferença entre a umidade de campo e a umidade ótima como mostrado abaixo. A sua variação deve atuar em torno de 2%.

$$\Delta h = h^{campo} - h^{ótima} \quad (2)$$

Das (2007) cita os rolos compressores como os mais utilizados em compactação de campo, em que é possível encontrar diferentes tipos como rolo compactador liso, rolo compactador de pneus de borracha, rolo compactador pé-de-carneiro, e rolo compactador vibratório.

3.5 ATERROS EXPERIMENTAIS

Pinto (2006) justifica o uso de aterros experimentais em obras de grandes portes, no qual, segundo o autor, pode se considerar um trecho com 200 metros de extensão subdividido de 4 a 6 sub-trechos com umidades distintas e utilizando os equipamentos já previstos para executar a compactação. Esse processo é repetido com número de passadas diferentes ou equipamentos diferentes, isso resulta em curvas de compactação diferentes para serem analisadas, podendo mostrar também o quão eficiente pode ser o equipamento utilizado.

Para o mesmo autor os aterros experimentais servem como indicadores para:

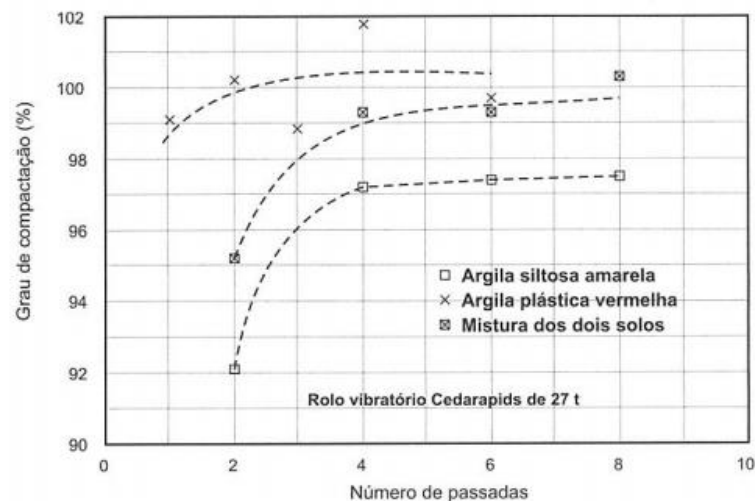
- seleção do equipamento a ser utilizado;
- Umidades mais adequadas para cada tipo de equipamento;
- Número de passadas;
- Observação com eventuais problemas como trincas ou laminações.

Antes da colocação de um aterro definitivo, deve ser feito levantamentos sobre as características do solo, o tipo de equipamento que deverá ser utilizado para a compactação, o número de passadas, assim se faz necessário a aplicação de um aterro experimental, em que tem

que ser executado como previsto para a obra. Para que se possa se aproximar o máximo das condições reais, o aterro deve-se situar sobre no mínimo duas camadas de aterro idêntico (MELO E FERREIRA, 1987).

A figura 6 mostra três solos compactados com o mesmo equipamento, em função do número de passadas do rolo compactador, nele é representado a argila siltosa amarela, a argila plástica vermelha e a mistura dos dois, os dados foram obtidos a partir de um aterro experimental da barragem Euclides da cunha, no rio Pardo, no interior de São Paulo, nele é possível observar que os solos possuem comportamentos diferentes com relação ao número de passadas, com apenas uma passada a argila plástica vermelha já apresentou cerca de 99% da densidade máxima, enquanto que a argila siltosa amarela apresentou apenas 92% .

Figura 6- Resultado de um aterro experimental da barragem Euclides da Cunha .



Fonte: Pinto (2006)

3.6 PROCESSOS DE COMPACTAÇÃO

Os equipamentos de compactação podem ser classificados de acordo com o modo de transferência de energia para o solo. No qual é dividida em três tipos:

- Compactação por pressão
- Compactação por impacto
- Compactação por vibração

A compactação por pressão, é um processo muito utilizado em solos de materiais argilosos, o peso próprio do veículo no qual está sendo utilizado na compactação é que faz essa transferência de energia para o solo através de diversas passagens, no qual valores de pressão determinados são aplicados. Porém seu efeito não se propaga em grandes profundidades, sendo assim superficial, em argilas ele atua fazendo com que as partículas presentes nele se

aproximem.

Diferente da primeira, a compactação por impacto se dá pela geração de ondas provocadas através do impacto de um corpo no aterro, o mesmo pode ser de diferentes materiais, os mais comuns são a madeira e metal. Assim o solo é compactado pela geração de sucessivas ondas de pressão ocasionada pelo processo. Esse processo de compactação ainda pode ser dividido em dois tipos de equipamentos:

- Compactação por impacto de queda livre;
- Compactação por impacto originado por explosão;

O primeiro consiste em elevar peças de madeira ou placas metálicas e deixa-las cair em queda livre sobre o aterro. Já no segundo há a utilização de motor de explosão que faz com que uma placa metálica se eleve e logo depois caia sobre o aterro.

Já se tratando de solos mais soltos se utiliza a compactação por vibração, o processo se dá de maneira diferente, nele é aplicado no solo um movimento periódico, com frequência alta e amplitude baixa que força o solo a quebrar suas ligações e a reorganiza-las de forma que venha a reduzir os índices de vazios.

3.7 EQUIPAMENTOS DE COMPACTAÇÃO

Os equipamentos de compactação podem ser divididos em três grupos:

- Equipamentos de pequenos portes;
- Rolos estáticos;
- Rolos vibratórios;

Os equipamentos de pequeno porte podem ser placas vibratórias ou soquetes, possuem vantagens quanto ao uso do solo, não possuem restrição, podendo ser utilizado em qualquer um, possuindo grandes eficiência quando se relaciona com áreas localizadas, podem ser aplicadas por exemplo em valas.

Os rolos estáticos podem ser divididos em : rolos liso , rolo de pneu e rolo de pé-de-carneiro, os lisos são mais comuns em obra rodoviárias, o solos mais indicados para que se possa trabalhar com esse equipamento é o granular, já os rolos pé-de-carneiro são mais comuns encontrar em barragem de terra, os solos mais indicados para esses processos são solos argilosos, e por último os pneumáticos, eles podem ser encontrados tanto em obras de barragens como rodoviárias, são indicados para solos finos e quando comparados com os rolos pé-de-careiro acabam sendo mais viável economicamente e tempo de utilização acaba sendo menor.

O rolo vibratório é muito comum em obras de barragens de terra e aterro, são mais indicados para solos granulares, podendo se utilizar também um vibrador acoplado ao rolo compactador, uma vantagem é que melhora sua eficiência da compactação relacionada à profundidade.

A seguir, está representado os quatro tipos de equipamento (Figuras 7, 8, 9 e 10) que são utilizados em uma compactação em campo.

Figura 7- Sapinho



Fonte: brasmetal

Figura 8 - Rolo de pé-de-carneiro



Fonte: terraplanagemguimarães

Figura 9 - Rolo liso



Fonte: viarural.

Figura 10 - Rolo pneumático.



Fonte: asfaltodequalidade

Na tabela 3, estão representados os equipamentos e os parâmetros no qual esses equipamentos terão um melhor rendimento.

Tabela 3– Equipamento de compactação.

Tipo	Solo	Modo de Compactar	e (cm)	N	V (km/h)	p ou P
Rolo Pé de carneiro	Argila ou Silte	De baixo para cima	20 a 25	8 a 10	≤ 4	2000 a 3000 kPa
Rolo pneumático	Silte, areia com finos	De cima para baixo	30 a 40	4 a 6	4 a 6	500 a 700 kPa
Rolo Vibratório	Material granular	Vibração	60 a 100	2 a 4	≥ 8	50 a 100 kPa

Fonte: Adaptado pelo Autor, 2018.

Parâmetro dos equipamentos: e = espessura de camada de solo solto.

N= número de passadas com o rolo compressor.

V= velocidade do rolo compactador.

P= peso do rolo vibratório.

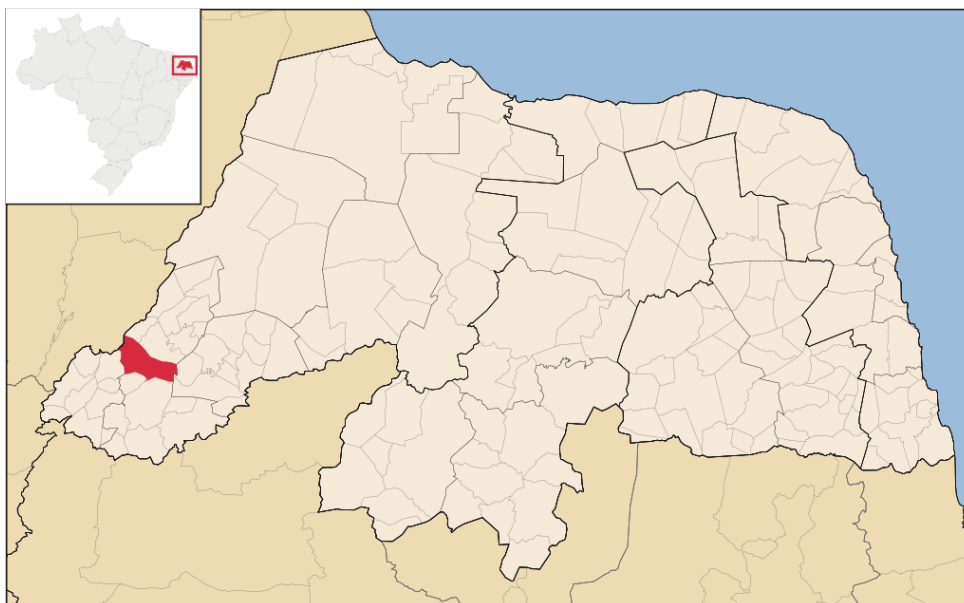
P= pressão na pata ou pneu.

4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho foi realizado na cidade de Pau dos Ferros - RN, situada em uma microrregião homônima e mesorregião do oeste potiguar (Figura 11).

Figura 11- Localização do município de Pau dos Ferros-RN.

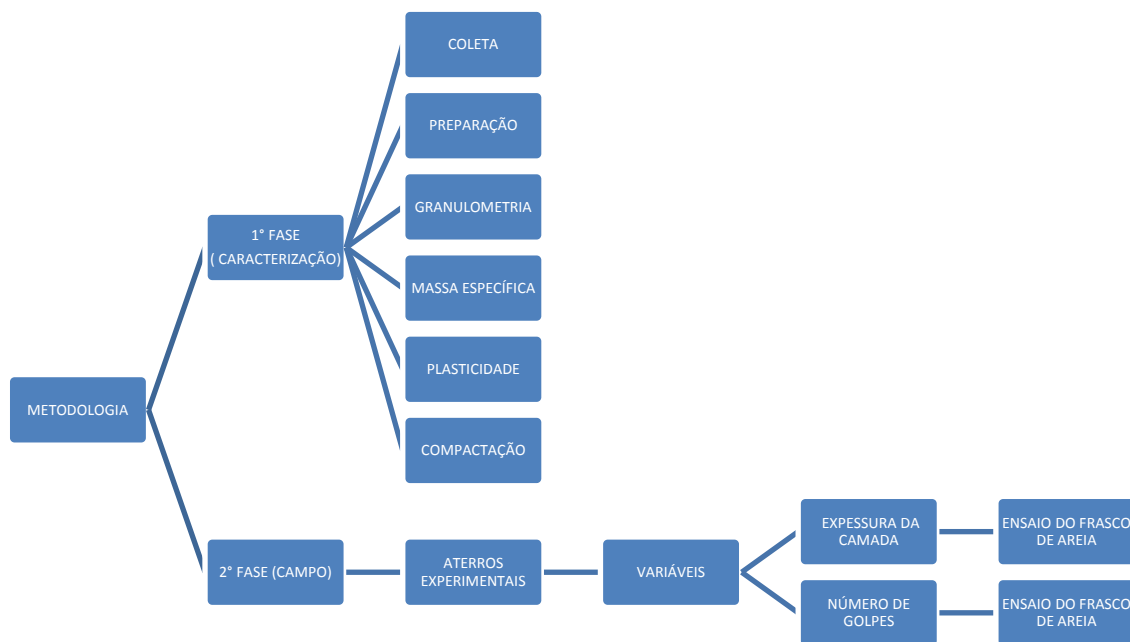


Fonte: IBGE, 2018.

O estudo da caracterização dos parâmetros de compactação com aterros experimentais, para solos da cidade de Pau dos Ferros se deu em duas etapas. A primeira foi a caracterização, com os processos de coleta, onde foi recolhida uma amostra de 5kg do solo utilizado para realizar a compactação, para então se obter a partir de ensaios de laboratório propriedades do solo em estudo. Em seguida, realizou-se um processo de preparação através do quarteramento, homogeneização e destorroamento do solo. O solo foi então levado para o laboratório onde executaram-se os ensaios de granulometria segundo a NBR 7181: 2016, ensaio de massa específica NBR 6458: 2016, ensaio de plasticidade NBR 7180: 2016, e ensaio de compactação NBR 7182: 2016.

A segunda etapa se deu em campo, onde foram construídos aterros experimentais de 1m², em que foram aplicadas três variáveis, espessura da camada, número de golpes. Para cada parametro foram realizados ensaios de frasco de areia com o intuito de verificar o grau de compactação.

O fluxograma abaixo (Figura 12) mostra o passo a passo como será dividido a metodologia, desde a fase de coleta até a fase de determinação do grau de compactação.

Figura 12- Metodologia aplicada.

Fonte: Autor,2018.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.

A etapa de caracterização se inicia com a fase da coleta , que tem como base a escolha do local onde será retirado a amostra, de preferência o mesmo deve estar sem vegetação, assim será utilizado para a retirada da amostra uma colher de pedreiro, e um recipiente plástico para armazenar o material recolhido com a indentificação, contendo os dados como data, local da coleta, como mostra a figura 13.

Figura 13- Retirada da Amostra



Fonte: Autor, 2018.

A retirada da amostra pode ser de duas formas, a primeira delas é a amostra deformada no qual não conserva a estrutura original do solo, sendo alterada na fase de extração, porém tentando conservar a umidade natural, para esse tipo de retirada pode ser utilizado como equipamento enxadado, trados, picareta entre outros.

A segunda se dá pela amostras indeformadas, que são utilizadas para determinar as características físicas do solo *in situ*, como resistência ao cisalhamento, índices físicos entre outros, a sua coleta se dá por amostradores de paredes finas. Para esse trabalho foi utilizada amostra deformada cuja a finalidade se dá para ensaio de granulometria, limites de consistência.

Em seguida, a amostra foi transportada para o Laboratório de Engenharia Civil da UFERSA Campus Pau dos Ferros, toda a amostra foi colocada na estufa por um período de 24h em uma temperatura de 105° C para ser feita a aeração.

Após passagem pela estufa a amostra é submetida a processos de homogeneização como demonstrado na figura 14, quarteamento representado na figura 15 e o destorroamento citados na NBR 6457/2016.

Figura 14 - Amostra de solo

Fonte: Autor, 2018.

Figura 15- Quarteamento do solo

Fonte: Autor, 2018.

Após o material passar pela secagem, é aplicado o processo de homogeneização, estando o solo o mais homogêneo possível, executa-se o razamento do mesmo, para que esse solo possa ser selecionado para o ensaio de granulometria ele será quarteado, sendo dividido assim em 4 partes com a utilização de uma régua, duas das 4 amostras são descartadas e as outras 2 são utilizadas para repetir o processo, assim no final será escolhido apenas uma amostra. que para solos argilosos ou siltosos seja em torno de 1500g e para solos arenosos ou pedregulhosos cerca de 2000g .

Por último faz o destorroamento que é o desmanche dos torrões, feito por uma mão de gral recoberta de borracha e um almofariz, deve-se evitar reduzir as partículas do tamanho natural do solo. A amostra seca é passada na peneira de 2 mm os torrões que ainda consistirem devem ser desmanchados deixando apenas os maiores que a abertura da malha.

O ensaio de umidade tem o objetivo de medir o teor de umidade do solo , e se deu de acordo com a NBR 6457: 2016. O ensaio é expresso em porcentagem e se dá pela razão entre o peso da água na amostra e o peso do solo seco, para a determinação do mesmo pode ser utilizados três métodos, o método da estufa , o método do speedy e o método expedito em álcool. Ao conhecer o teor de umidade do solo deve ser calculado o fator de correção de umidade, que ao ser multiplicado pelo peso de uma amostra irá fornecer o peso se a amostra estivesse seca.

Neste trabalho o método utilizado foi o método da estufa, pois há o controle da temperatura, o método do speedy é mais aplicado em campo pois é um teste com maior rapidez,

que pode ser facilmente manuseado, já no método expedito em álcool não vem a ser muito utilizados pois não se tem um controle sobre a temperatura. A estufa utilizada está representada nas figuras 16 e 17.

Figura 16- Estufa



Fonte: Autor, 2018.

Figura 17- Estufa



Fonte: Autor, 2018.

A massa específica real dos grãos de um solo é um índice físico muito importante para para a análise das propriedades do mesmo, esse índice pode ser obtido através do ensaio normatizado pela NBR 6508: 2016, a massa específica de uma partícula pode ser obtida pela razão entre a sua massa e o volume. Os resultados desses ensaios podem ser influenciados por vários fatores como presença de bolhas de ar nos torrões, ou na água. Para esse ensaio será utilizado, a estufa capaz de manter a temperatura térmica de 65°C-110°C e entre 60°C e 65°C, um frasco de chapman, espátula, uma proveta, 500 g de amostra de solo, 200 cm³ de água e um funil para que se pudesse adicionar o solo na água. Este ensaio necessita de ser realizado duas vezes onde a diferença de resultados entre os dois tem que ser igual ou inferior a 0,05 g/cm³.

A análise granulométrica é realizada no intuito de determinar o diâmetro das partículas existentes no solo, visto que o solo pode apresentar partículas com diferentes proporções de tamanho. Assim é possível determinar o tamanho dessas partículas e as suas porcentagens a partir da NBR 7181 permitindo assim a obtenção de uma curva em função da distribuição das partículas.

A curva de distribuição granulométrica é traçada com pares de valores de diâmetros equivalentes localizados na abscissa do gráfico e na ordenada a porcentagem acumulada retida. Para o ensaio da pesquisa o processo utilizado foi o peneiramento, descrito na NBR 7181, a série de peneiras utilizadas foi a normal, assim as peneiras foram de 37,5mm, 19mm, 9,50mm, 4,75mm, 2,36mm, 2mm, 0,6mm, 0,3mm e 0,15. A quantidade de amostra utilizada foi de 500 g de areia, foi pesada em uma balança de precisão de 1g mostrada na Figura 18 e passadas pela estufa, assim através de uma série de peneiras, mostradas na Figura 19, 20 e 21, assim foi possível obter o material retido e aplicar os resultados a curva da distribuição granulométrica.

Figura 18 - Balança



Fonte: Autor, 2018.

Figura 19- Peneira utilizada na granulometria.



Fonte: Autor, 2018

Figura 20- Peneira utilizada na granulometria.



Fonte: Autor,2018.

Figura 21- Peneira utilizada na granulometria.



Fonte: Autor,2018.

Para o comportamento dos solos diante de tensões e deformações, uma das principais características que está ligado a esse comportamento é a sua consistência. Partindo disso foi desenvolvido o ensaio de limite de plasticidade, esse limites está diretamente relacionado à umidade do solo, pois se a umidade de um solo coeso se apresentar muito elevada no qual se apresenta como um fluido denso, então ele se encontrará no estado líquido, porém a medida que o solo perde água o solo coeso endurece, podendo ser moldado assim encontrando-se no estado plástico.

Para a realização deste ensaio tomou-se como base a NBR 7180: 2016, onde foi utilizado 10g da amostra mostrado na figura 22, portanto a condição para que uma amostra de solo esteja no limite de plasticidade se dá pela possibilidade de poder moldar um cilindro de 10 cm de comprimento por 3mm de diâmetro por rolagem sobre uma placa de vidro. Por fim o cilindro formado é colocado em uma cápsula e levado a estufa para determinar a umidade.

Figura 22- Materiais utilizados para averificação da plasticidade do solo.



Fonte: Autor,2018.

Antes de iniciar o processo de compactação, o solo passou pela peneira 4,8 mm, como mostra a figura 23. A quantidade de água utilizada inicialmente foi de 250ml, assim para o restante dos corpos de prova foi acrescentado 50ml da quantidade anterior, tendo assim valores de, 250ml ,300ml ,350ml,400ml,450ml e 500ml, esses valores foram utilizados para que se pudesse obter a curva de compactação.

Figura 23- Ensaio de Compactação



Fonte: Autor,2018.

Para o ensaio de compactação (Figura 24 à 30), o de proctor é o mais comum, no qual é realizado através de sucessivos golpes aplicados na amostra. Para a realização do mesmo foi utilizado a NBR 7182: 2016. Nesta pesquisa foram utilizados para esse ensaio 5000g de amostra de solo, em que em seguida foi adicionado umidade segundo a norma já citada para que se pudesse iniciar o ensaio, que se deu com reaproveitamento de material.

Figura 24- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 26- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor, 2018

Figura 25- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 27- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 28- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor,2018.

Figura 29- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor,2018

Figura 30- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor, 2018

4.3 ETAPA DE CAMPO

A etapa de campo partiu do princípio da aplicação de aterros experimentais, o solo coletado para essa etapa do estudo foi retirado do mesmo local em que foram retiradas amostras para análise em laboratório. Após ter coletado, ele passará pela estufa onde ficará por 24h, assim quando for levado para a montagem do aterro será mais fácil para que se possa atingir a umidade ótima já obtida em laboratório.

Os aterros foram construídos com 1 m² de área para variação dos parâmetros estudados, como mostra a figura 31.

Figura 31- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor, 2018.

Em cada aterro, a umidade foi mantida constante, onde foi adicionado água até deixar o solo com umidade próxima da ótima. Como exemplo, no estudo da espessura, fixou-se o número de golpes do equipamento e a umidade.

Após escolher a área em que o aterro seria aplicado, realizou-se uma limpeza superficial, o solo foi colocado dentro da área escolhida para que se pudesse passar por processos preparatórios ante de iniciar a compactação, o primeiro deles foi o espalhamento como mostra a Figura 32, onde se procurou deixar em uma superfície por igual, logo em seguida foi feita a homogeneização e por último a umidificação.

Figura 32- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor, 2018.

Para a compactação em campo foi utilizado um equipamento manual representado na figura 33, com o intuito de simular a compactação executada na região no qual está sendo aplicado o estudo, pois em visitas a obra pôde-se perceber que utilizavam equipamento desse padrão, em que geralmente são aplicados para obras de pequeno e médio porte. As dimensões adotadas para o mesmo foi de 20cmx35cm, que é composto por uma base feita de argamssa e por um cabo ligada a ela.

Figura 33- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor, 2018.

A primeira variável estudada foi o número de golpes por metro quadrado do equipamento compactador. Para tanto, os aterros foram construídos com uma espessura fixada em 5 cm e compactados na umidade ótima. Então foi variada a densidade de golpes em 20, 40,

60 golpes por m^2 .

A segunda variável estudada foi a espessura, contudo foi fixado a umidade ótima e o número de golpes igual a 40, assim a espessura pôde ser variada de 5cm, 10 cm e 15cm.

Com isso em cada aterro experimental realizou-se o ensaio de frasco de areia como representado nas figuras 34, 35 e 36, para obter o grau de compactação. Após ter se realizado todos os ensaios de campo, os dados foram analisados a partir de graficos gerados pelas variáveis diante das condições impostas.

Figura 34- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor,2018.

Figura 35- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor,2018.

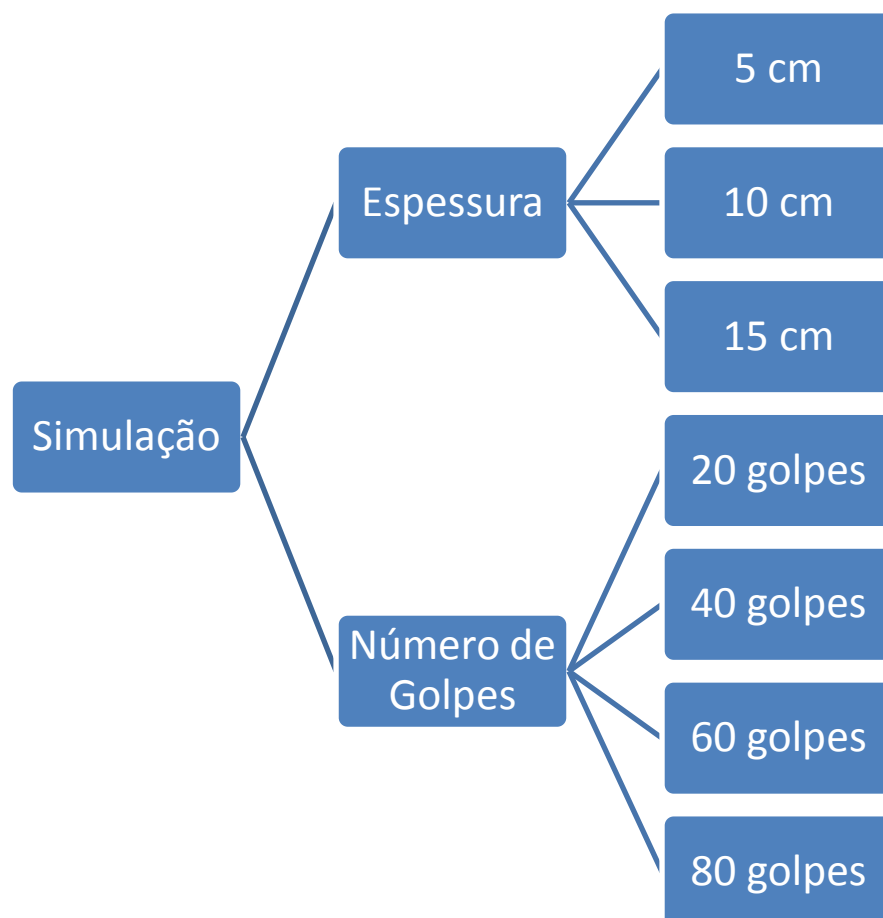
Figura 36- Ensaio de Compactação.



Fonte: Autor,2018.

A combinação dos fatores está demonstrada na figura 31, podendo-se notar que ao total foram executados 12 aterros.

Figura 37- Variáveis aplicadas à compactação



Fonte: Autor,201

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENSAIO DE PLASTICIDADE DO SOLO

A plasticidade de um solo se dá pelo teor de umidade no qual o solo começa a se fraturar, quando se tenta moldar com ele um cilindro de 3mm de diâmetro e aproximadamente da largura da mão (10 cm), o limite de plasticidade pode ter valor de 0 a 100 (ou mais), portanto como não foi possível moldar o cilindro então considera-se 0, como mostra a figura 38.

Figura 38- Verificação da plasticidade do solo.



Fonte: Autor, 2018.

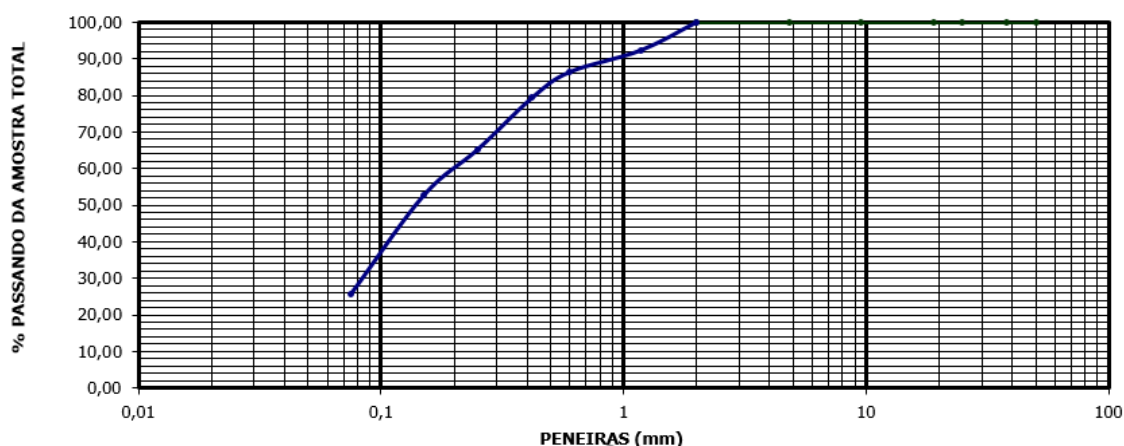
5.2 GRANULOMETRIA DO SOLO

A granulometria do solo pode ser obtida a partir do ensaio de peneiramento, no qual a distribuição granulométrica será representado através de uma curva, possibilitando assim a atribuição de suas características. A tabela 4, representa os resultados do peneiramento. O módulo de finura encontrado foi de 1,98 assim sendo classificada como Fina. A curva granulométrica está representado na figura 39.

Tabela 4– Granulometria do solo (Peneiramento).

Peneira(mm)	Massa Retida (g)	Retida Simples(%)	Retida Acumulada (%)	Passante acumulada (%)
37,5	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00
9,50	0,00	0,00	0,00	0,00
4,75	38,2	7,60	7,60	92,40
2,36	29,6	5,89	13,49	86,51
1,18	35,1	6,99	20,48	79,52
0,6	70,7	14,07	34,55	65,45
0,3	62,3	12,40	46,95	53,05
0,15	134,7	26,81	73,75	25,65
Fundo	128,9			
Total	499,5			

Fonte: Autor,2018.

Figura 39– Granulometria do solo (Peneiramento).

Fonte: Autor,2018.

O solo também poderá ser classificado a partir do coeficiente de uniformidade (CU) e o coeficiente de curvatura(CC), para isso temos que o D10 (diâmetro tal que o peso correspondente a partículas menores que este é 10% do peso total da amostra) foi de 0, para o D30 (diâmetro tal que 30% das partículas do solo tem diâmetros menores que ele) foi de 0,9 mm e o D60 (diâmetro tal que 60% da massa de solo tem diâmetro menor que este diâmetro) foi de 0,2 mm. Assim o CU resultou em um solo uniforme pois apresentou valor de 0,2 , menor

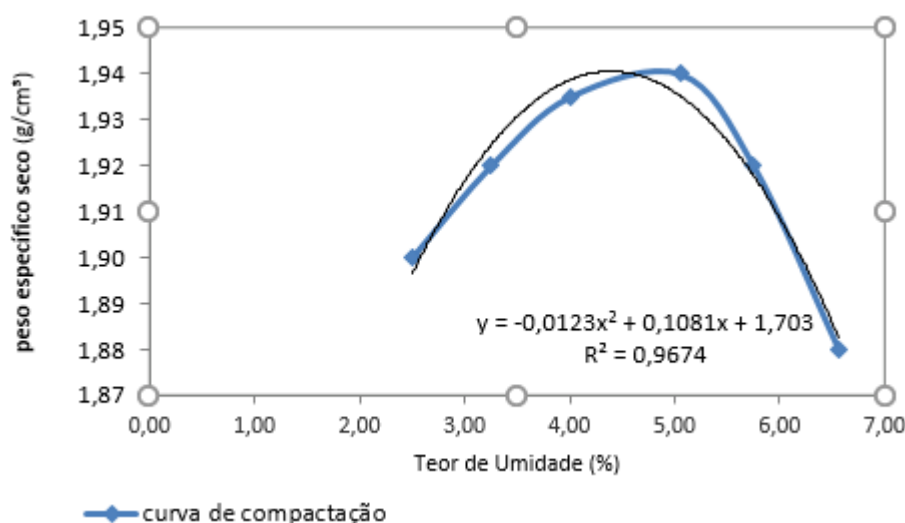
do 5, analisando o resultado do coeficiente de curvatura concluiu-se que o solo possui mal graduação, visto que o seu coeficiente foi 0,81, menor do que 1.

A classificação do mesmo também se pode dar através do sistema unificado de classificação, onde foi possível classificar como solo fino, visto que o passante na peneira 200 foi maior do que 50%,

5.3 COMPACTAÇÃO PROCTOR NORMAL

A umidade ótima foi obtida através da curva de compactação que está apresentada na figura 41, a partir dele foi possível obter a umidade ótima em relação ao peso específico seco, assim obteve-se, umidade ótima de 5,06 % e peso específico de 1,94 g/cm³.

Figura 40– Curva de compactação.

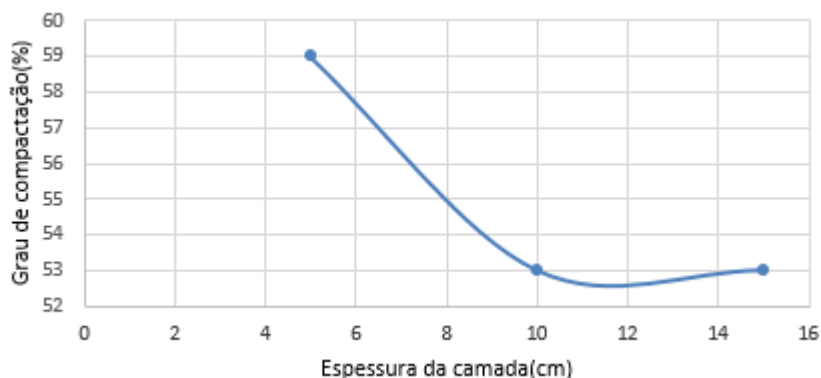


Fonte: Autor, 2018.

5.4 COMPACTAÇÃO DE ATERROS EXPERIMENTAIS

Na Figura 42 são apresentados os dados de grau de compactação em função da variação da espessura do aterro para uma quantidade de golpes fixada em 80 golpes por m². É possível notar que o maior grau de compactação (GC), cerca de 5%, foi obtido para o aterro com 5 cm de espessura.

Figura 41– Espessura da camada x Grau de compactação com 80 golpes



Fonte: Autor, 2018.

Analizando a equação de energia de compactação proposta por Proctor e mostrada abaixo vemos que esse comportamento era esperado, uma vez que a espessura da camada é inversamente proporcional à energia. Logo, menores espessuras, para uma mesma quantidade de golpes, fornecem uma energia de compactação maior, resultado em maior GC.

$$EC = \frac{M.H.Ng.Nc}{V}$$

EC = Energia de Compactação

M = Massa do Soquete

H = Altura de Queda

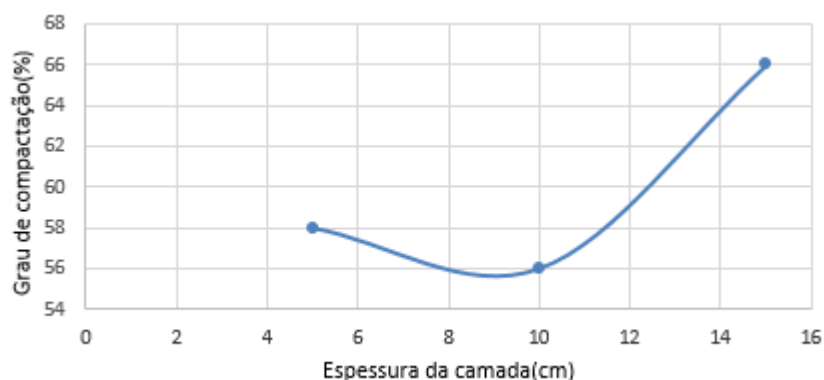
Ng = Número de Golpes por Camada

Nc = Número de Camadas

V = Volume do Cilindro

A Figura 43 também trás a relação entre a espessura da camada com o grau de compactação, porém o número de golpes para esse aterro foi de 60 golpes, assim temos a relação de espessura de 15cm para um grau de compactação de 67%. Até a espessura de 10 cm o comportamento se mantém ao anterior, porém para os aterros de 15 cm o comportamento foi inesperado uma vez que o grau de compactação aumentou quando deveria diminuir, assim pode-se concluir que alguns fatores podem ter influenciado na obtenção desse resultado, como, falta de controle tecnológico na hora da compactação de campo.

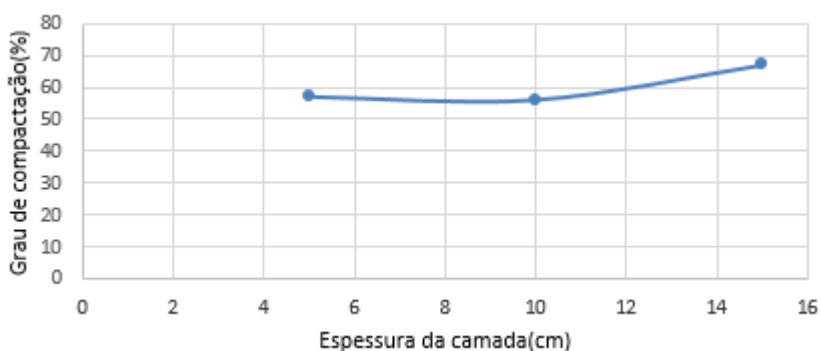
Figura 42– Espessura da camada(cm) x Grau de compactação(%) com 60 golpes.



Fonte: Autor, 2018.

A figura 44 mostra a relação entre a espessura da camada com o grau de compactação, porém o número de golpes para esse aterro foi de 40 golpes, assim temos a relação de espessura de 15cm para um grau de compactação de 68%, portanto o comportamento foi inesperado uma vez que o grau de compactação aumentou quando deveria diminuir, assim pode-se concluir que alguns fatores podem ter influenciado na obtenção desse resultado, como, falta de controle tecnológico na hora da compactação de campo.

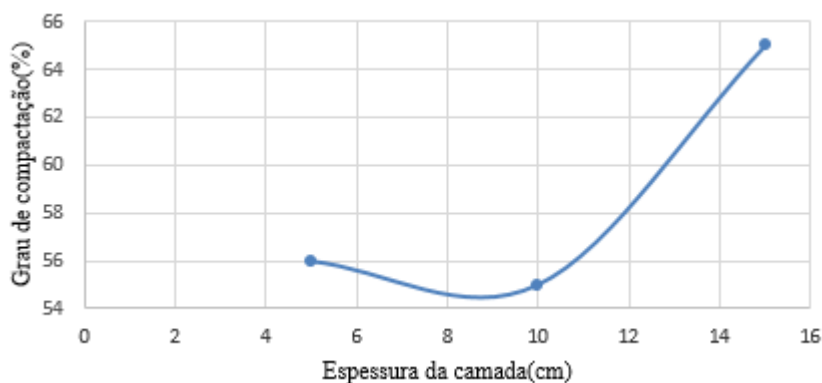
Figura 43– Espessura da camada(cm) x Grau de compactação(%) com 40 golpes.



Fonte: Autor, 2018.

A relação entre a espessura da camada com o grau de compactação é mostrado na figura 45, com número de golpes igual a 20, assim temos a relação de espessura de 15cm para um grau de compactação de 66%. Contudo o comportamento foi inesperado uma vez que o grau de compactação aumentou quando deveria diminuir, assim pode-se concluir que alguns fatores podem ter influenciado na obtenção desse resultado, como, falta de controle tecnológico na hora da compactação de campo.

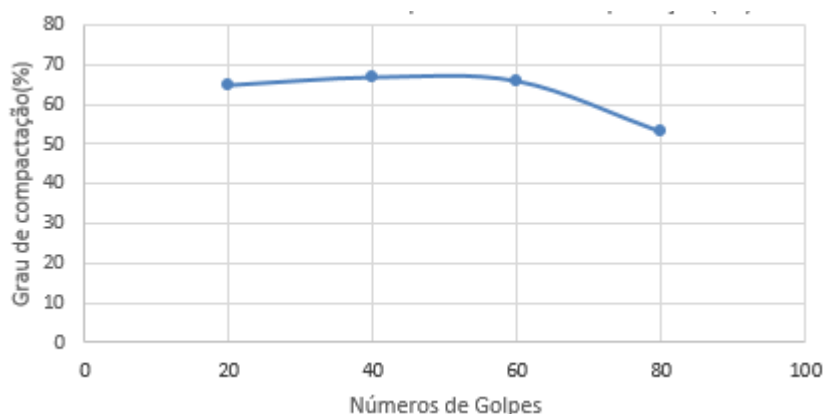
Figura 44– Espessura da camada x Grau de compactação com 20 golpes.



Fonte: Autor, 2018.

Para a figura 46 , o número de golpes variou com o grau de compactação a espessura contabilizada foi de 15cm, assim com o número de golpes igual a 20 , temos um grau de compactação de 66 %. O comportamento dos aterros até a densidade de 60 golpes por m2 era o esperado uma vez que ocorreu um aumento do GC, porém houve sempre uma diminuição desse parâmetro para 80 golpes. Um dos motivos prováveis para tal acontecimento se da pelo fato de que a partir de certo ponto o material adquire uma rigidez considerável, então o golpeamento excessivo pode provocar uma perturbação da estrutura e amolgamento do solo levando à uma redução no Grau de Compactação, para isso é necessário a implementação de ensaios mais precisos como do cálculo do grau de compactação através de uma amostragem indeformada.

Figura 45– Número de Golpes x Grau de compactação com 15cm de espessura.

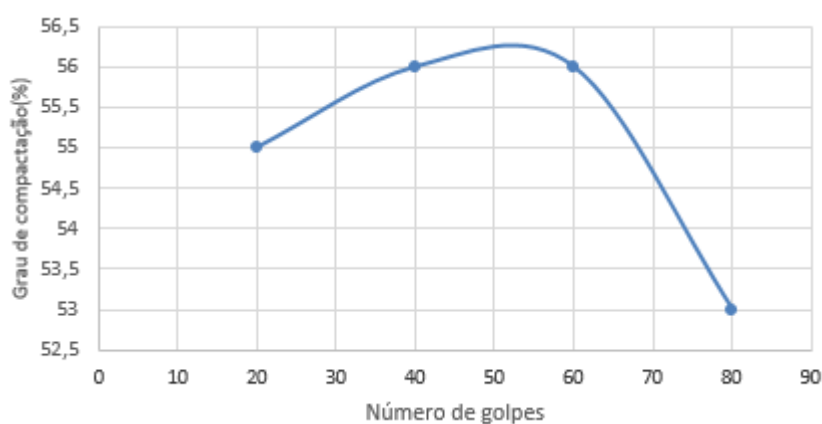


Fonte: Autor, 2018.

A variação do número de golpes com o grau de compactação pode ser representada a partir do gráfico abaixo, a espessura foi de 10 cm, assim com o número de golpes igual a 20 , temos um grau de compactação de 56% (Figura 47). O comportamento dos aterros até a

densidade de 60 golpes por m² era o esperado uma vez que ocorreu um aumento do GC, porém houve sempre uma diminuição desse parâmetro para 80 golpes. Um dos motivos prováveis para tal acontecimento se da pelo fato de que a partir de certo ponto o material adquire uma rigidez considerável, então o golpeamento excessivo pode provocar uma perturbação da estrutura e amolgamento do solo levando à uma redução no Grau de Compactação, para isso é necessário a implementação de ensaios mais precisos como do cálculo do grau de compactação através de uma amostragem indeformada

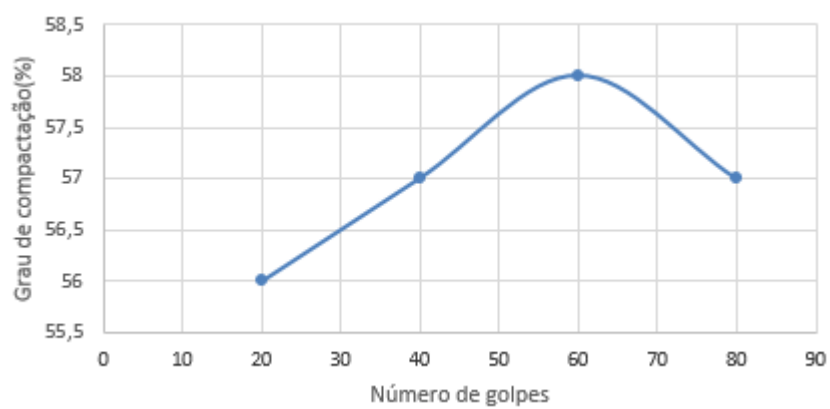
Figura 46– Número de Golpes x Grau de compactação com 10cm de espessura.



Fonte: Autor, 2018.

Para uma espessura de 5cm , com o número de golpes igual a 20 foi possível obter um grau de compactação de 56% (Figura 48). O comportamento dos aterros até a densidade de 60 golpes por m² era o esperado uma vez que ocorreu um aumento do GC, porém houve sempre uma diminuição desse parâmetro para 80 golpes. Um dos motivos prováveis para tal acontecimento se da pelo fato de que a partir de certo ponto o material adquire uma rigidez considerável, então o golpeamento excessivo pode provocar uma perturbação da estrutura e amolgamento do solo levando à uma redução no Grau de Compactação, para isso é necessário a implementação de ensaios mais precisos como do cálculo do grau de compactação através de uma amostragem indeformada

Figura 47– Número de Golpes x Grau de compactação com 5cm de espessura.



Fonte: Autor, 2018.

6. CONCLUSÃO

Visto a importância que a compactação tem dentro de obras da engenharia civil, e quão comum é a sua aplicação, procurou-se através de aterros experimentais comparar parâmetros, que atuam diretamente na obtenção de resultados satisfatórios, assim pode-se mostrar que para se possa obter esses resultados é necessário que se tenha um certo controle relacionado a alguns parâmetros como a umidade, o número de passadas, que ao atingir o limite não surgirá mais efeitos benéficos.

Foi possível verificar através desse trabalho a eficiência de parâmetros de ensaios da aplicação de aterros experimentais em solo de Pau dos Ferros, foi possível constatar que em e o objetivo foi atingido pois o comportamento foi como o esperado, em que mostrou que ao aplicar golpes em quantidade superior ao necessário, poderá ocasionar danos a própria estrutura do solo ou até mesmo ao equipamento.

O melhor grau de compactação foi atingido, como mostrado, foi em uma espessura de 15cm o que também podia-se esperar, já que o recomendado é que essa espessura esteja entre 15cm e 20 cm, onde a partir disso não surgirá tanto efeito nos resultados da compactação.

A partir de ensaios de laboratório também foi possível aferir resultados de umidade ótima e massa específica seca máxima, dados essenciais para obtenção do grau de compactação, que foi realizado com base em resultados obtidos do ensaio de frasco de areia.

Portanto viu-se que esse é um assunto muito amplo e de estudo necessário, já que a sua aplicação poderá evitar patologias nas edificações, assim esse trabalho poderá se desenvolver em trabalhos futuros.

7. REFERÊNCIAS

Badillo, J.; Rodriguez, R. (1976). Mecánica de suelos: fundamentos de la mecânica de suelos. México, 3º ed, 642 p

BRITO, Andrea Maria de Almeida Cristino de. **COMPACTAÇÃO DE ATERROS DE BARRAGENS NOVAS METODOLOGIAS DE CONTROLO**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

CAPUTO, Homero Pinto. **MECÂNICA DOS SOLOS E SUAS APLICAÇÕES**. Rio de Janeiro: L Tc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 1988.

DANTAS, Gustavo Henrique Santana. **Estudo do emprego do compactador giratório superpave na compactação de um solo argiloso**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

DAS, B. M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

EKWUE, E. J. & STONE, R.J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. Trans. Am. Sci. Agric. Eng., 40:317-323, 1997.

HOLTZ, R.D. and KOVACS, W.D. (1981). An introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1981. pp. 34.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. (1979). Soil mechanics, SI Version. John Wiley & Sons

LAMBE, T.W; WHITMAN, R.V. Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons Inc., 1969.

MASSAD, Faíçal. **Obras de terra curso básico de geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MELO, F.G.; FERREIRA, H :N. (1987). Controlo da Construção de Obras de Terra. S249.LNEC.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. (1990). Manual prático de escavação. Editora PINI.

SILVA, Albaniza Maria da. **ESTUDO DE PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO PROCTOR NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO SOLO**. 2015. 183 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SOUZA, Talis Arthur Cruz de. **EFEITO DA VARIAÇÃO DA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM SOLO LATERÍTICO**. 2016. 17 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

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