

# ESTUDO DE COMPACTAÇÃO PARA CONFEÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO COM PLANTIO DE CAPIM VETIVER

Jéssica de Oliveira França Cerqueira<sup>1</sup>  
Ivana Barreto Matos<sup>2</sup>

## RESUMO

O problema de deslizamentos de taludes nos grandes centros urbanos ainda é recorrente. Com a perda progressiva da cobertura vegetal e a consequente diminuição da permeabilidade do solo, o mesmo perde o seu grampeamento natural o que faz com que as suas partículas sejam arrastadas com muito mais facilidade. Deste modo, a implantação de métodos de contenção com o uso de gramíneas vêm sendo uma solução favorável para o problema nas grandes metrópoles, como, por exemplo, a utilização do Vetiver. Atrelado a isso, o processo de compactação é um dos métodos utilizados no melhoramento das propriedades mecânicas do solo e interfere diretamente na sua permeabilidade, expulsando o ar dos seus poros sob uma certa umidade e tendo grande relevância na engenharia. Dessa forma, o presente artigo busca o monitoramento do procedimento de plantio de Vetiver com compactação controlada, e a sua utilização em amostras de um determinado tipo de solo da região metropolitana de Salvador-BA, sendo realizados ensaios no Laboratório de Mecânica dos Solos da UNIFACS. Por se tratar de um plantio, essa aplicação não pretende somente a compactação das amostras, mas também a uniformização da redução dos vazios nas camadas de solo, para que a compactação não influencie nas futuras análises de permeabilidade das amostras, isto é, pretende-se que análise de permeabilidade seja influenciada somente pelos benefícios do grampeamento natural feito pelo Vetiver. Nesse contexto, obteve-se resultados satisfatórios na uniformidade e compactação das amostras, obtendo ao final uma compactação padronizada e controlada das amostras.

**Palavras-chave:** Compactação. Ensaios. Plantio. Vetiver.

## ABSTRACT

The problem of sloping landslides in large urban centers is still recurring. With the progressive loss of vegetation cover and the consequent decrease in soil permeability, it loses its natural stapling which makes its particles much more easily dragged. Thus, the implementation of grass containment methods has been a favorable solution to the problem in large metropolises, such as the use of Vetiver. Linked to this, the compaction process is one of the methods used to improve the mechanical properties of the soil and directly interferes with its permeability, expelling air from its pores under a certain humidity and having great relevance in engineering. Thus, the present article seeks to monitor the controlled compaction procedure of Vetiver planting and its use in samples of a specific soil type from the metropolitan region of Salvador, Bahia, and tests are performed at the UNIFACS Soil Mechanics Laboratory. . As it is a planting, this application does not only intend to compact the samples, but also to standardize the reduction of voids in the soil layers, so that the compaction does not influence the future permeability analysis of the samples, that is, it is intended that permeability analysis be influenced only by the benefits of Vetiver's natural stapling. In this context, satisfactory results were obtained in the uniformity and compaction of the samples, obtaining in the end a standardized and controlled compaction of the samples.

**Keywords:** Compaction. Essay. Planting. Vetiver.

## 1 INTRODUÇÃO

Entende-se por compactação do solo um processo que exerce grande importância no que se diz respeito a estabilidade de maciços terrosos, estabelecendo grande relação com as situações e problemas de pavimentação e barragens de terra na engenharia. Como consequência da redução de vazios no maciço, tem-se o aumento do seu peso específico, esse fator de redução depende fundamentalmente da energia dispendida e do teor de umidade que o solo se encontra. Para fundamentar e analisar a compactação em cada tipo de solo é indispensável a realização de ensaios

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil, Bolsista PIBIC – UNIFACS. E-mail: jessicafranca003@gmail.com

<sup>2</sup> Docente da Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação, Universidade Salvador – UNIFACS, Mestre em Matemática pela UFBA. E-mail: ivana.matos@unifacs.br

no mesmo, como ensaios de caracterização e o ensaio padronizado de compactação de Proctor regido pela ABNT (2016). Todos os ensaios de embasamento do presente artigo foram desenvolvidos no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Salvador – UNIFACS, recebendo o devido acompanhamento de técnicos e coordenadores do laboratório.

Ao se deparar com o grande problema de deslizamento e arrasto de material sólido das encostas nas grandes metrópoles brasileiras, cria-se uma preocupação no que se diz respeito aos métodos e tipos de estabilização de solos. Uma das maneiras sustentáveis e eficientes de se conter o maciço é oferecer ao mesmo uma cobertura vegetal, utilizando, por exemplo, o capim Vetiver. O vetiver, gramínea escolhida para a efetuação do plantio no artigo aqui apresentado, é de origem indiana e vem sendo utilizado constantemente nas margens de cursos d'água com grande sucesso no processo de grampeamento de taludes e proteção contra a deposição de sedimentos nos leitos de rios e lagos. As raízes da gramínea aqui descrita podem alcançar até três metros de profundidade apresentando grande poder de penetração e um grampeamento natural do solo muito eficiente, dessa forma, contribuem grandemente para a maior percolação da água através dos poros dos maciços, o que torna o processo de plantio da mesma uma solução adequada para o grave problema dos grandes deslizamentos.

Nesse contexto, o trabalho apresentado tem um objetivo de padronizar e monitorar a compactação do solo em amostras contidas em tubos de PVC (Policloreto de vinila), com o plantio do capim Vetiver feito em laboratório. Ao padronizar a compactação, garante-se que a mesma não interfira na análise da permeabilidade bem como o aumento da percolação da água através dos poros do solo, ou seja, as análises comparativas dos benefícios fornecidos pela gramínea ao solo não serão alteradas pelo grau de compactação que o mesmo terá, já que este será uniformizado e padronizado.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Curva de compactação**

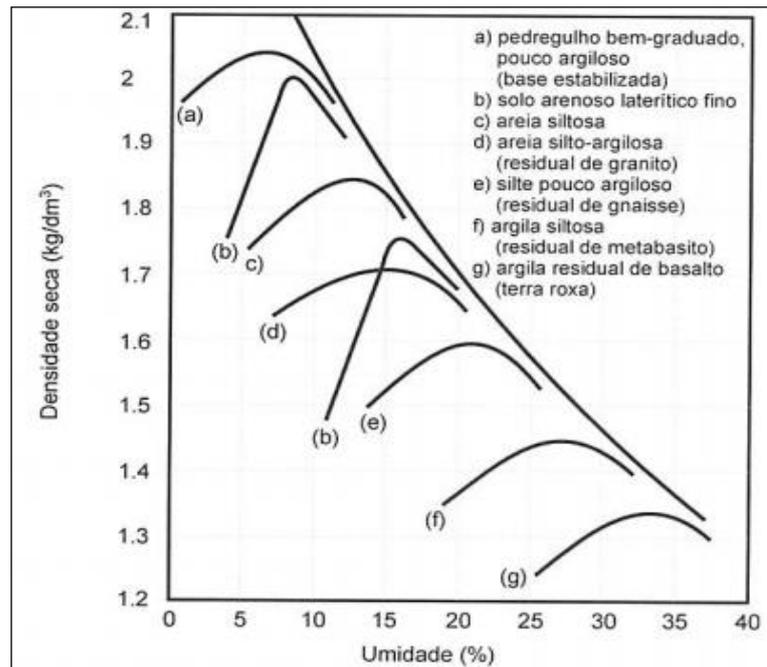
A curva de compactação representa a curva de variação dos pesos específicos sob diferentes condições de umidade com uma determinada energia de compactação padronizada utilizada no ensaio. No ramo ascendente da curva há um aumento de umidade e de densidade, já no ramo descendente, enquanto ocorre um aumento de umidade, a densidade vai decaindo. Isso demonstra que a curva passa por um ponto de máximo, em que, para uma determinada umidade, chamada de umidade ótima, há uma densidade máxima. Esse fato ocorre devido a dilatação que o solo sofre

quando a umidade ultrapassa o valor da umidade considerada ótima e a compactação não consegue densidade seca máxima mais expelir o ar dos vazios do maciço, o que o deixa com aspecto emborrachado, isto é, o solo se comprime com o impacto do compactador para, logo em seguida, se dilata como se fosse uma borracha (SOUSA PINTO, 2006, p.86). No ramo de baixa umidade da curva, a tração face-aresta das partículas não é vencida pela energia aplicada, dando ao solo uma estrutura floculada. Já para maiores umidades, a repulsão entre as partículas aumenta, resultando em uma estrutura dispersa. Para fins práticos, usa-se na curva os valores de densidade seca das amostras.

No mesmo gráfico em que é traçada a curva de compactação, pode-se traçar a curva de saturação, que corresponde aos valores de umidade e densidade seca no gráfico, em que o solo se encontra saturado, e, da mesma forma, pode-se traçar uma família de curvas que representam o mesmo grau de saturação. O maciço terroso pode estar em qualquer posição abaixo da curva de saturação, mas jamais acima dela, sendo que os pontos de densidade seca máxima se situam em torno de 80% a 90% de saturação (SOUSA PINTO, 2006, p.80).

Para cada tipo de solo, sob uma determinada energia de compactação, encontra-se um par de umidade ótima e. De maneira geral, os solos com maior presença de argila apresentam densidades secas baixas e umidades ótimas mais elevadas, os solos siltsos também têm uma tendência a valores mais baixos de densidade, com curvas mais abatidas. Já os solos com maior presença de areias e pedregulhos, em geral, apresentam maiores densidades secas com menores valores de umidades. Na figura 1, pode-se conhecer os diversos tipos de curva para solos brasileiros variados.

Figura 1 – Curvas de compactação para os diversos solos brasileiros



Fonte: SOUSA PINTO, p.80 (2006)

## 2.2 Ensaios

O ensaio original e regido pela ABNT (NBR 7182/2016) é o ensaio de Proctor, proposto por um engenheiro americano de mesmo nome, em 1933. Conhecido como ensaio normal de Proctor, este ensaio consiste em compactar uma amostra de solo cilíndrica, bem uniformizada, com um diâmetro de 10 cm e uma altura de 12,73 cm, resultando em um volume total de 1000 cm<sup>3</sup>. Essa amostra é submetida a 26 golpes de um soquete pesando 2,5 kg a uma altura padronizada de 30,5 cm. Antes da revisão feita na norma o ensaio consistia em 25 golpes, com o objetivo de ajustar a energia de compactação ao valor de outras normas internacionais, o número de golpes foi aumentando em um. Para a compactação, a amostra é dividida em 3 camadas iguais, atingindo uma altura um pouco maior que a do cilindro, o que é possibilitado devido a um anel complementar utilizado no processo. Por fim, acerta-se o volume retirando o excesso.

Ao iniciar o ensaio, é satisfatório que a amostra esteja a 5% abaixo da umidade ótima, o que pode ser percebido com a prática constante do processo. A cada repetição feita, a amostra é destorroada e a umidade aumentada cerca de 2%, se feito assim, ao final da quinta repetição pode-se traçar a curva com os valores respectivos, sendo que o processo é repetido até que a densidade seca, depois de ter subido, tenha decaído por duas ou três vezes sucessivas. Ao final de cada repetição, com a amostra já compactada e conhecendo o volume total do cilindro e o seu peso, pode-se pesar a amostra e obter a massa específica do corpo de prova, e, com uma amostra do seu

interior, determina-se a umidade. A amostra de umidade é pesada em uma cápsula de alumínio antes e depois de permanecer na estufa por 16 a 24 horas à uma temperatura de 105°C a 110°C, a diferença do peso de antes e depois representa a água perdida no processo.

Além do ensaio normal de Proctor, a norma ainda apresenta outros dois ensaios: o ensaio intermediário e o modificado. A diferença entre os ensaios contidos na norma, se expressa na energia de compactação aplicada, o ensaio Intermediário com o cilindro pequeno de 1000 cm<sup>3</sup> consiste em 3 camadas com 21 golpes por camada, já o Modificado com o mesmo cilindro é feito com 5 camadas e 27 golpes em cada uma. Ainda existe uma variação de cilindro para os ensaios, o qual tem um volume útil de 2085 cm<sup>3</sup>. Para o cilindro pequeno ser utilizado, a amostra de solo, após a preparação, deve ser passada integralmente na peneira 4,8 mm.

O ensaio de Proctor Modificado é normalmente usado como referência na compactação das camadas mais importantes dos pavimentos, nas quais, devido a grande sollicitação do tráfego, o aumento da energia da compactação geraria uma melhoria nas condições e propriedades das camadas do solo (CAPUTO, 1988, p.176).

A NBR 7182 ainda prevê algumas alternativas de ensaio como o sem reuso de material, o sem secagem prévia do solo e o ensaio em solo com pedregulho. O ensaio sem reuso de material resulta em um resultado mais fiel, utilizando amostras virgens para cada ponto na curva. Esse procedimento é recomendado em situações em que as partículas são facilmente quebradas no processo, entretanto, é pouco empregado, devido a exigência de maior quantidade de material. Realizar a compactação com a secagem prévia pode interferir nas propriedades das partículas além de dificultar a homogeneização, dessa forma, o processo definido na norma consiste na redução da umidade sem a secagem total prévia. Por fim, quando o solo tiver uma presença considerável de pedregulhos, não é indicado que o processo seja feito no cilindro pequeno de volume de 1000 cm<sup>3</sup> pois a compactação se dá com dificuldades, a quantidade de pedregulho pode não ser uniforme em todos os pontos e isso interfere de forma significativa no resultado final, sendo indicado, consequentemente, o cilindro de 2085 cm<sup>3</sup>.

### 2.2.1 Energia de compactação

Ao adotar as características do ensaio pode-se chegar a um valor de energia específica de compactação, que pode ser dado em kg·cm/cm<sup>3</sup>, como demonstra a equação [1], onde os parâmetros  $E_c$ ,  $M$ ,  $H$ ,  $N_g$ ,  $N_c$  e  $V$  representam a energia de compactação, a massa do soquete, a altura de queda do soquete, o número de golpes, o número de camadas e o volume de solo compactado, respectivamente.

$$E_c = M \cdot H \cdot N_g \cdot N_c / V$$

[1]

Evidentemente, cada tipo de ensaio apresenta uma energia de compactação distinta, o que determina valores diferentes de umidade ótima e densidade seca máxima para uma mesma amostra de solo (CAPUTO, 1988, p.175). Com o crescimento da energia utilizada no processo, o valor de densidade máxima cresce e a umidade ótima diminui. Ensaio com soquetes maiores e amostras divididas em mais camadas resultam em uma energia maior, e, conseqüentemente, o uso de cilindros com um volume útil maior geram uma menor energia. Quanto maior for a energia aplicada, mais rápido chega-se ao valor de umidade dada como ótima para o maciço terroso.

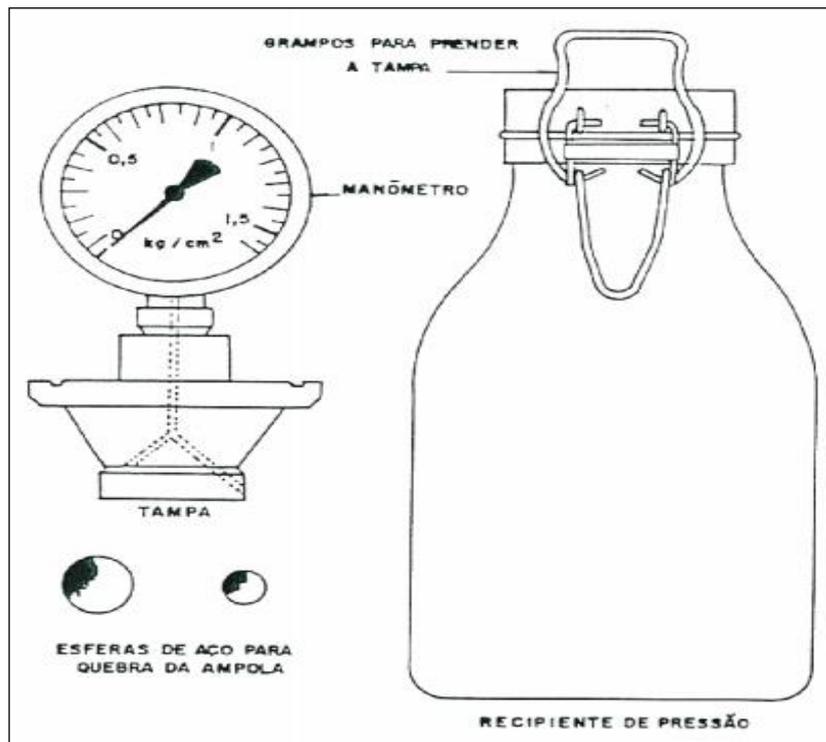
### 2.2.2 Compactação e controle em campo

A compactação tem grande influência e importância no desenvolvimento das obras de engenharia, além de melhorar as propriedades das partículas de solo, ainda exerce papel fundamental na durabilidade das obras e estabilidade do maciço.

Em campo, ao uniformizar e espalhar o material em camadas horizontais, de geralmente 22 a 23 cm de espessura, a compactação pode ser feita com o uso de rolos pé de carneiro, no caso de solos argilosos, rolos pneumáticos e rolos vibratórios, sendo este último tipo mais adequado para solos granulares. Antes da compactação ser feita, há o acerto da umidade seguido de uma homogeneização do solo. A espessura final após o mecanismo é de normalmente 15 a 20 cm (SOUSA PINTO, 2006, p.87).

O controle da compactação em campo é de grande importância. Não existem valores fixos de intervalos de umidade e de densidade seca a serem alcançados, mas sim um desvio aceitável de umidade ótima e um grau mínimo adotado de compactação. O grau mínimo é dado pela relação entre a densidade seca obtida em campo e a densidade seca máxima. Não sendo atingida o grau de compactação desejado, o material deverá ser removido e recompactado. Para verificação da umidade em campo pode ser utilizado o “Speedy” e para a verificação da densidade pode ser usado o processo do “frasco de areia”. No Speedy-test, pesa-se uma amostra e coloca-se na câmara do aparelho Speedy, dentro da qual são introduzidas duas esferas de aço seguidas de ampolas de carbureto de cálcio. Fecha-se o aparelho e agita-o de forma que as ampolas se quebrem, o que se verifica pela leitura da pressão verificada no manômetro presente no aparelho. Após essa pressão se manter constante, significa que toda a água presente naquela amostra reagiu com o carbureto das ampolas, e, a partir dessa leitura manométrica e com a tabela de aferição do próprio aparelho obtém-se a umidade presente na amostra. A figura 2 ilustra o aparelho usado no processo descrito.

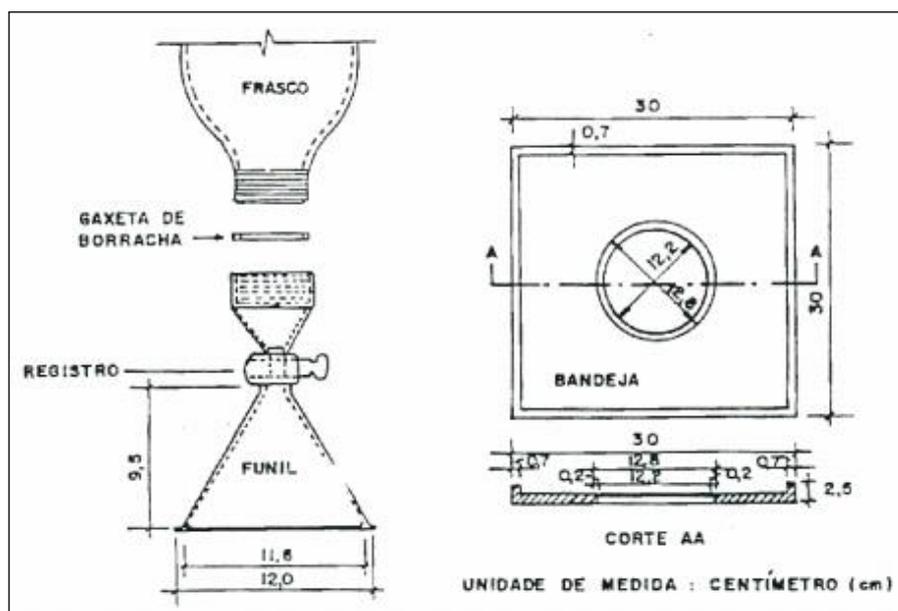
Figura 2 – Aparelho “Sppedy” para determinação de umidade



Fonte: DNER-ME 052 (1994)

O método do frasco de areia para determinação da densidade seca *in situ* consiste em instalar na superfície do terreno uma bandeja quadrada de alumínio com cerca de 30cm de lado e abertura circular no centro e através dessa abertura escavar um buraco no solo de 10 a 15 cm de profundidade. O material escavado é pesado e tem sua umidade verificada, logo após enche-se o buraco escavado com uma areia de densidade conhecida. Sabendo o peso e a densidade da areia que preencheu o lugar escavado e o peso e a umidade do solo retirado, tem-se a densidade seca na qual o solo se encontra. A figura 3 apresenta o equipamento utilizado para realizar esse procedimento.

Figura 3 – Equipamentos para o ensaio do frasco de areia



Fonte: DNER-ME 092 (1994)

### 3 METODOLOGIA

O solo utilizado no presente trabalho é originado do Parque São Bartolomeu, localizado na região de Salvador-BA.

A escolha do local se deu pelo fato de ser uma região protegida, o que dificulta uma mudança na estrutura física do solo. Após o recolhimento do solo, para dar início aos trabalhos experimentais, foi feita uma limpeza do mesmo, retirando todo e qualquer material que não fosse característico dele. Em seguida, foi feito o destorroamento do maciço sem a quebra dos grãos, a homogeneização da amostra e o quarteamento da mesma, de modo a reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa do solo, conforme a recomendação da NBR 6457. Todo procedimento experimental foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção e Solo da UNIVERSIDADE SALVADOR - UNIFACS. A figura 4, representada abaixo, demonstra a localização do local de origem do solo utilizado.

Figura 4 – Localização do Parque São Bartolomeu



Fonte: Google Maps (2018)

### 3.1 Processo de compactação para plantio

Inicialmente, foi feita a compactação das amostras para plantio do Vetiver. Tal processo não teve como objetivo alcançar a densidade seca máxima das amostras, mas sim a uniformização o índice de vazios de todas em uma mesma faixa de valores. Isso se deve ao fato que, caso o solo chegasse ao seu valor máximo de densidade, o plantio seria prejudicado, visto que as raízes teriam uma certa dificuldade em percorrer o maciço denso. Além disso, para futuras análises de permeabilidade dessas amostras, todas deveriam ter valores próximos de índices de vazios, para que a comparabilidade da permeabilidade fosse feita de forma efetiva.

A compactação das amostras para plantio não foi efetuada no valor de umidade ótima, não seguindo, portanto, o ensaio de Proctor. Para tal, foi confeccionado um compactador para uso exclusivo nessa etapa, o qual também foi produzido no laboratório. Para a confecção utilizou-se concreto, tubo de PVC e uma corda que ligaria o compactador à sua estrutura de suporte, resultando em um peso total de 1492 gramas. Todo o procedimento foi feito de forma que, na compactação, existisse uma determinado controle da folga entre o compactador e o tubo por onde o mesmo iria percorrer. Toda a estrutura de suporte foi feita de madeira. A figura 5 mostra o compactador em seu estado final da produção.

Figura 5 – Compactador



Fonte: Autoria própria (2018)

Para uma melhor representatividade, foram utilizados 5 tubos de PVC para plantio e, em cada tubo, 8 camadas do solo com 10 cm de altura cada. Cada camada de solo foi composta de 1 kg do material terroso, e cada camada foi compactada da mesma forma, de forma que, ao final, se chegasse ao índice de vazios requerido. Para cada tubo, foi produzido um corpo de prova para retirada de umidade e cálculo de peso específico natural, o qual sofreu o mesmo processo de compactação que as camadas sofreram, de maneira que fosse um corpo representativo do ensaio. Esse corpo de prova continha um volume de  $785,40 \text{ cm}^3$ , com uma altura e diâmetro de 10 cm. A retirada de amostras para umidade se deu pela extração de 3 amostras em cápsulas metálicas representantes de cada corpo de prova, e ao final a umidade é representada pela média dos resultados obtidos. Todos os tubos de PVC tiveram suas bases vedadas com uma tampa de plástico perfurada. Na extremidade da base, logo na acima da mesma, colocou-se brita de 12,5 mm para funcionar como dreno e evitar a saída de solo pela base perfurada.

Para que o índice de vazios requerido fosse alcançando, o procedimento foi feito com 5 golpes em cada camada de solo, do forma que cada golpe fosse realizado a uma altura de 50 cm. Ao final da compactação das 8 camadas de solo, foi colocada no tubo uma camada de terra vegetal para que o plantio se desse de forma efetiva, preenchendo-a com 2 mudas da gramínea Vetiver. Para um maior controle da quantidade de solo usado nos tubos, os mesmos foram pesados antes e ao final de cada processo. Da mesma maneira, foram feitos 5 corpos de prova, compactados com 5 golpes a uma altura igual de 50 cm. Logo após, os corpos de prova foram pesados. Sabendo que o volume da amostra era de  $785,40 \text{ cm}^3$  e o seu peso determinado após todo o procedimento, foram calculados os pesos específicos naturais de cada corpo representativo. A confecção dos 5 tubos não foi feita em um mesmo dia, sendo assim, devido a mudança climática e ao intervalo de dias entre

cada processo realizado, foram retiradas 3 cápsulas com amostras para determinação de umidade em cada corpo de prova, conforme apresenta a NBR 6457. Todas as amostras permaneceram na estufa por 16 a 24 horas, a uma temperatura de 110°C, e após isso foram colocadas no dessecador até que atingissem a temperatura ambiente.

Para obtenção do índice de vazios em cada tubo após a compactação, foi necessário fazer o ensaio de massa específica dos grãos do solo. Para execução do ensaio, foram tomadas como base as recomendações da NBR 6508. Primeiramente, foram separadas 3 amostras de solo, cada uma pesando 50g. Cada amostra foi colocada em um picnômetro e coberta de água destilada durante um período de tempo maior do que 12 horas, sendo retiradas também, amostras de solo para determinação da umidade inicial. Passado este tempo, as amostras foram transferidas para o copo dispersor de amostra, tomando cuidado para que não se perdesse material, e permaneceram no dispersor por 15 minutos. Em seguida, as amostras foram transferidas novamente para o picnômetro, com o auxílio de um funil de vidro, com cautela para que o material fosse transferido integralmente. Adicionou-se água destilada até a metade do volume do picnômetro e foi aplicado o vácuo de 88 KPa (66 cm de Hg a 0° C), durante um intervalo de 15 minutos, agitando o conjunto em intervalos de tempo regulares. Após, acrescentou-se água destilada até cerca de 1 cm abaixo da base do gargalo e aplicou-se novamente a pressão a vácuo. Ato contínuo, o conjunto foi deixado em repouso até que a temperatura entrasse em equilíbrio com a temperatura ambiente. Ao final, com auxílio de um conta gota, foi adicionada água destilada até que a base do menisco coincidissem com a marca de referência do picnômetro, enxugando a parte externa do balão e a parte interna acima da marca de referência. Pesou-se o conjunto balão, solo e água das 3 amostras utilizadas. Determinou-se também, a temperatura na qual o picnômetro se encontrava no ensaio, e, utilizando a sua curva de calibração correspondente, foi obtida a massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência do mesmo.

Para o cálculo final da massa específica dos grãos do solo, é necessário que se tenha a massa específica da água correspondente a temperatura na qual o ensaio foi realizado. A tabela 1 apresenta os valores de massa específica da água em função da sua temperatura.

Tabela 1 – Massa específica da água em função da temperatura

Massa específica da água em função da temperatura (g/cm³)										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9991	0,9990	0,9988	0,9986	0,9984
20	0,9982	0,9980	0,9978	0,9976	0,9973	0,9971	0,9968	0,9965	0,9963	0,9960
30	0,9957	0,9954	0,9951	0,9947	0,9944	0,9941	0,9937	0,9934	0,9930	0,9936
40	0,9922	0,9919	0,9915	0,9911	0,9907	0,9902	0,9898	0,9894	0,9890	0,9885

Fonte: Materiais (2015)

Conhecendo os dados extraídos do ensaio, utilizou-se a equação 2 para a determinação da massa específica dos grãos do solo, onde M1 representa a massa do solo, M2 a massa do conjunto balão, água e solo, M3 a massa do balão com água na temperatura do ensaio, w a umidade inicial encontrada e  $\rho_w$  a massa específica da água.

$$\rho_s = \frac{M_1 \times 100 / (100 + w)}{[M_1 \times 100 / (100 + w)] + M_3 - M_2} \times \rho_w \quad [2]$$

O cálculo apresentado acima foi feito para as três amostras preparadas, e ao final foi retirada uma média dos valores. É recomendado que se utilize pelo menos 2 amostras no ensaio, e que os resultados tenham uma diferença de no máximo 0,02 g/cm³.

### 3.2 Ensaio Proctor

Por conseguinte, foi realizado o ensaio de Proctor com o solo recolhido. O ensaio foi realizado com reuso de material, sobre amostras preparadas a 5% abaixo da umidade ótima presumível. Toda a amostra preparada foi passada integralmente na peneira 4,8 mm. O ensaio com reuso do material permite que a cada aumento de umidade e etapa de compactação, o solo seja destorroado e passado na peneira novamente para que o procedimento seja repetido.

Para a realização do ensaio foi usado um cilindro pequeno de 1000 cm³ e um compactador pesando 2,5 kg. A altura de queda do compactador foi de 30,5 cm e a compactação foi feita em 3 camadas de solo com 26 golpes em cada camada, conforme NBR 7182.

Primeiramente, foi fixado o molde cilíndrico à sua base e acoplado o colarinho ao conjunto. Em uma bandeja metálica foi preparado o solo, adicionando água e homogeneizando a amostra até que a umidade de 5% abaixo da ótima fosse uniformizada. Após a homogeneização foi iniciado o processo de compactação em cada camada e, ao final da compactação da terceira camada, foi retirado o colarinho, regularizando a superfície com o auxílio de uma espátula e uma régua biselada e pesando o conjunto com subtração da massa do molde cilíndrico, obtendo assim, ao final, a massa

úmida do solo compactado. Com auxílio de um extrator, o corpo de prova foi retirado do cilindro para reiniciar o procedimento. Em cada processo feito foi retirada uma amostra do centro do molde para determinação da umidade. Todo o material foi destorroado até que passasse integralmente na peneira 4,8 mm, adicionado água e homogeneizando de forma que a umidade fosse aumentando uniformemente. O ensaio foi repetido alguma vezes, até que, ao chegar no ponto de densidade máxima, a mesma descaísse por 2 vezes seguidas.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a retirada das cápsulas para umidade e cálculos para sua determinação, chegou-se aos resultados apresentados na tabela 2, exposta abaixo.

Tabela 2 – Determinação da umidade nas amostras do plantio

Nº TUBO	TIPO DE GRAMÍNEA	AMOSTRA 1				AMOSTRA 2				AMOSTRA 3				TOTAL w (%) média
		Mcap (g)	MU + Mcap (g)	MS + Mcap (g)	w (%)	Mcap (g)	MU + Mcap (g)	MS + Mcap (g)	w (%)	Mcap (g)	MU + Mcap (g)	MS + Mcap (g)	w (%)	
1	CAPIV VETIVER	11,60	19,07	18,00	15,64	12,12	19,63	18,20	23,51	12,56	19,71	19,00	11,02	16,72
2	CAPIV VETIVER	12,00	19,02	18,02	16,61	13,03	20,98	20,00	14,10	9,00	17,10	16,00	15,71	15,47
3	CAPIV VETIVER	11,12	21,96	20,93	10,50	12,00	21,05	20,03	12,70	10,02	26,15	24,32	12,80	12,00
4	CAPIV VETIVER	12,05	21,90	21,00	10,06	12,00	22,15	20,97	13,15	11,07	18,02	17,20	13,37	12,16
5	CAPIV VETIVER	11,35	20,22	19,07	12,96	9,33	18,32	17,41	11,26	9,28	18,36	17,43	11,41	11,87

NOMENCLATURAS	
Mcap	Massa da cápsula
MU	Massa do solo úmido
MS	Massa so solo seco
w (%)	Umidade

Fonte: Autoria própria (2018)

Os resultados da umidade inicial retirada e do ensaio da massa específica dos grãos estão apresentados abaixo, nas tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3 – Determinação da umidade no ensaio de massa específica dos grãos

AMOSTRA 1				AMOSTRA 2				AMOSTRA 3				TOTAL w (%) média
Mcap (g)	Mu + Mcap (g)	MS + Mcap (g)	w (%)	Mcap (g)	Mu + Mcap (g)	MS + Mcap (g)	w (%)	Mcap (g)	Mu + Mcap (g)	MS + Mcap (g)	w (%)	
12,12	17,75	17,02	14,89	11,09	17,71	16,90	13,94	12,29	17,86	17,15	14,61	14,48

Fonte: Autoria própria (2018)

Tabela 4 – Determinação da massa específica dos grãos

ENSAIO MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2
M1 - MASSA DO SOLO ÚMIDO (g)	50,00	50,00
M2 - MASSA BALÃO + ÁGUA + SOLO (g)	709,91	709,81
M3 - MASSA BALÃO + ÁGUA (g)	678,60	678,60
TEMPERATURA (°C)	22	22
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,68	2,66
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		2,67

Fonte: Autoria própria (2018)

A tabela 5 apresentada abaixo contém os resultados da determinação dos índices de vazios da compactação de cada tubo para o plantio das gramíneas. A massa úmida apresentada na tabela representa a massa do conjunto subtraída do peso do molde do corpo de prova. Dessa forma foi determinado a massa específica natural e o massa específica seca do solo, esta última determinada a partir da umidade encontrada em cada corpo de prova.

O cálculo da massa específica natural, massa específica natural seca, e do índice de vazios foram obtidos pela equação 3, 4 e 5, respectivamente.

$$\rho_n = \frac{M_T + M_U}{V_T}$$

[3]

$$\rho_d = \frac{\rho_n}{1+w}$$

e

=

$$\frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

[5]

Tabela 5 – Determinação do índice de vazios

Nº TUBO	TIPO DE GRAMÍNEA	MU (g)	DT (cm)	HT (cm)	VT (cm <sup>3</sup> )	pn (g/cm <sup>3</sup> )	w(%)	ρs (g/cm <sup>3</sup> )	ρd (g/cm <sup>3</sup> )	e
1	CAPIM VETIVER	1003,70	10,00	10,00	785,40	1,28	16,72	2,67	1,10	1,43
2	CAPIM VETIVER	999,00	10,00	10,00	785,40	1,27	15,47	2,67	1,10	1,43
3	CAPIM VETIVER	982,00	10,00	10,00	785,40	1,25	12,00	2,67	1,12	1,38
4	CAPIM VETIVER	978,00	10,00	10,00	785,40	1,24	12,16	2,67	1,11	1,40
5	CAPIM VETIVER	986,00	10,00	10,00	785,40	1,25	11,87	2,67	1,12	1,38

NOMENCLATURAS	
CP	Corpo de Prova
MT	Massa do tubo(CP)
MU	Massa úmida (CP)
DT	Diâmetro do Tubo (CP)
HT	Altura do tubo (CP)
VT	Volume do tubo (CP)
pn	Massa específica natural do solo
ρd	Massa específica natural do solo seco
e	Índice de vazios
ρs	Massa específica dos grãos do solo seco
	PESO COMPACTADOR = 1492 g
	ALTURA DE QUEDA = 50 cm
	NÚMERO DE CAMADAS = 8 camadas
	QUANTIDADE DE GOLPES POR CAMADA = 5 golpes

Fonte: Aatoria própria (2018)

Após dez meses do plantio, pode-se perceber um crescimento favorável das mudas nos cinco corpos de prova feitos. Além disso, também pode-se verificar uma uniformidade nos 5 corpos de prova feitos. O crescimento das mudas se deu de forma igualitária.

Como exposto na tabela 5, obteve-se uma uniformidade no índice de vazios, apresentando valores entre 1,38 e 1,43 com uma diferença máxima de 0,05, o que comprova uma compactação padronizada. Além disso, esses valores encontrados permitiram a efetivação do plantio, visto que um solo extremamente compactado apresenta uma maior resistência às raízes.

Com os valores de umidade, massa específica natural e massa específica seca encontrados com o ensaio de Proctor, foi possível que se fizesse a curva de compactação para determinação da

umidade ótima e densidade seca máxima. Além disso, para maiores análises, também foram traçadas as curvas de saturação. A tabela 6 apresenta os resultados numéricos do ensaio.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de Proctor

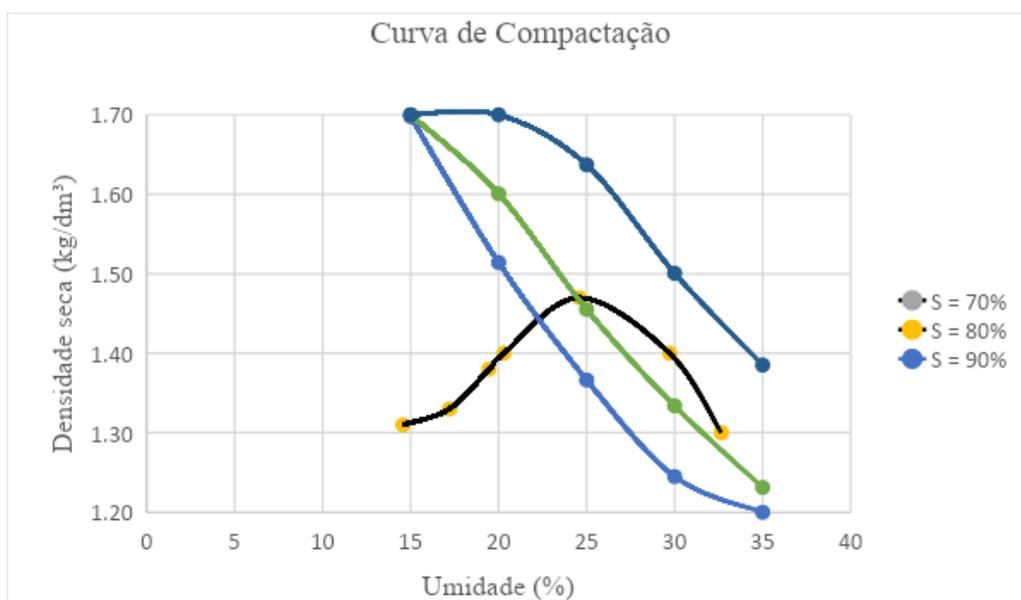
Nº	UMIDADE				$\rho_n$ (g/cm³)	$\rho_d$ (g/cm³)
	Mcap (g)	Mu + Mcap (g)	MS + Mcap (g)	w (%)		
1	10,19	13,81	13,35	14,56	1,51	1,31
2	10,92	17,73	16,73	17,21	1,56	1,33
3	10,49	18,78	17,43	19,45	1,65	1,38
4	12,73	17,65	16,82	20,30	1,69	1,40
5	10,50	17,09	15,79	24,57	1,83	1,47
6	11,47	18,06	16,55	29,72	1,81	1,40
7	10,47	17,62	15,86	32,65	1,72	1,30

Fonte: Autoria própria (2018)

A curva de compactação, demonstrada na figura 6, foi traçada interpolando os dados de umidade e massa específica seca obtidos. Para o traçado das curvas de saturação, foi utilizada a equação 6, na qual o grau de saturação, a massa específica seca, a massa específica dos grãos, a umidade e a massa específica da água representam S,  $\rho_d$ ,  $\rho_s$ , w,  $\rho_w$ , respectivamente.

$$\rho_d = (S \cdot \rho_s \cdot \rho_w) / (S \cdot \rho_w + \rho_s \cdot w) \quad [6]$$

Figura 6 – Curva de Compactação



Fonte: Autoria própria (2018)

De acordo com o comportamento apresentado na curva, pode-se atestar que o solo estudado tem uma umidade ótima de 24,57 % e sua densidade seca máxima de 1,47 kg/dm<sup>3</sup>, e que esse ponto se situa entre as curvas de 80% e 90% de saturação. Com base nesses dados e na figura 1, que representa as curvas de compactação dos diversos solos brasileiros, o solo foi classificado como uma argila siltosa, o que também foi atestado pelas características do maciço de granulometria muito fina.

Com os resultados demonstrados, conclui-se que em uma compactação em campo, o rolo pé de carneiro seria o equipamento mais adequado para a situação. Isso se deve ao fato de que o equipamento consegue penetrar na parte inferior das camadas nas primeiras passadas, evitando que se forme uma placa na superfície do solo, dificultando a compactação na profundidade.

Comparando os resultados de umidade e densidade seca do plantio com os resultados do ensaio de Proctor, percebe-se que o solo utilizado nos tubos para o plantio foram compactados abaixo da umidade ótima, obtendo valores de densidade seca bem menores do que a densidade seca máxima, o que favoreceu a efetividade do plantio.

## **5 CONCLUSÃO**

O referido trabalho teve como objetivo o estudo do solo do Parque São Bartolomeu, localizado na região de Salvador-BA. Esse estudo foi realizado com base nos ensaios padronizados de compactação e adequações feitas voltadas especificamente para a pesquisa. Para tal, foi utilizado o espaço laboratorial da Universidade Salvador – UNIFACS, com o auxílio de técnicos que se disponibilizaram para auxiliar nos procedimentos.

Com essa pesquisa, pretende-se, futuramente, que por meio de um permeâmetro adequado, as amostras passadas pelo processo de plantio, passem por testes de permeabilidade, visto que as gramíneas Vetiver, implantadas no solo, irão aumentar a permeabilidade do mesmo. Essa pesquisa têm uma grande relevância nos estudos de contenção de taludes nas grandes metrópoles, que, com o passar do tempo, tiveram seus territórios ocupados de maneira desordenada pela população menos favorecida, o que põe em risco, diariamente, a vida de milhares de brasileiros. Além disso, e de contribuir para o crescimento acadêmico dos alunos, os equipamentos desenvolvidos e resultados alcançados do presente trabalho poderão subsidiar as futuras pesquisas desenvolvidas pelos alunos na área da mecânica dos solos. Dessa forma, ao final das análises feitas, o trabalho poderá perpassar pelas aulas práticas da disciplina.

Sendo assim, foram obtidos resultados satisfatórios, tanto em relação a efetivação do plantio das gramíneas de Vetiver no solo, quanto em relação a uniformização do índice de vazios nas

amostras estudadas. As cinco amostras produzidas no trabalho poderão perpassar por análises futuras de permeabilidade com a garantia de êxito dos estudos feitos anteriormente e aqui descritos.

## REFERÊNCIAS

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

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 1984.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 2016.

ANDRADE, A. G.; CHAVEZ, T. A. Vetiver, o capim campeão contra a erosão. **AGRO DBO**, Rio de Janeiro, maio. 2014. p. 36. Infoteca.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 244 p.

DEFLOR. **Capim Vetiver**. Disponível em: <<http://deflor.com.br/produtos-2/capim-vetiver/>>. Acesso em: 6 jan. 2019.

DNER (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM). **DNER-ME 092/94**: Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 1994.

DNER (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM). **DNER-ME 052/94**: Solo e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy”. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 1994.

MATERIAIS. **Massa específica da água**. Disponível em: <<https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/massa-especifica-da-agua.html>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 363 p.

PIRES, Patrício. **Controle de compactação de solos e Índice Suporte Califórnia**. Espírito Santo. 26 fevereiro 2013. 25 slides. Apresentação em Power-point.

RICCI MÁQUINAS. **A importância da compactação adequada do solo – Parte 1**. Disponível em: <<http://www.riccimaquinas.com.br/noticias/12012016-importancia-da-compactacao-adequada-do-solo-parte-1/>>. Acesso em: 6 dez. 2018.

SANTOS, J. A. **Compactação**: Elementos teóricos. Lisboa. Fev 2008. Disponível em:  
<[http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/Compacta\\_T.pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/Compacta_T.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

TORRES GEOTECNIA. **Ensaio de compactação Proctor**. Disponível em:  
<<http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/ensaio-de-compactacao-proctor/>>. Acesso em:  
20 nov. 2018.

WERK, Sirlei Maribel Siconi. **Estudo da influência dos métodos de compactação resiliente de solos**. 2000. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.