



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



**Mateus Verçosa de Carvalho**

**Influência do reuso de amostras no ensaio de compactação de  
dois latossolos de Minas Gerais**

**Ouro Preto**

**2017**

**Mateus Verçosa de Carvalho**

**Influência do reuso de amostras no ensaio de compactação de dois  
latossolos de Minas Gerais**

Monografia apresentada ao Curso  
de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Ouro Preto como parte  
dos requisitos para a obtenção do  
Grau de Engenheiro Civil

Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Prof. Me. Eleonardo Lucas Pereira

**Ouro Preto**

**2017**

C331i Carvalho, Mateus Verçosa de.  
Influencia do reuso de amostras no ensaio de compactação de dois latossolos de Minas Gerais [manuscrito] / Mateus Verçosa de Carvalho. - 2017.

36f.: il.: color; grafs; tabs; mapas; figuras.

Orientador: Prof. Dr. Eleonardo Lucas Pereira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Solos - Compactação. 2. Materiais granulados - Reuso de amostras. 3. Laboratório - Serviços de ensaios. I. Pereira, Eleonardo Lucas. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624

Mateus Verçosa de Carvalho

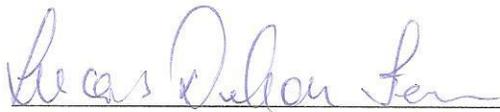
Influência do reuso de amostras no ensaio de compactação de dois latossolos de Minas Gerais

Monografia de conclusão de curso para a obtenção do Título de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto, defendida e aprovada em 11 de maio de 2017, pela banca examinadora constituída por:



---

Prof. Eleonardo Lucas Pereira (M.Sc.) – Orientador – UFOP



---

Prof. Lucas Deleon Ferreira (D.Sc.) –UFOP



---

Eng. Bruno de Oliveira Costa Couto (M.Sc.) – UFOP

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Aldo e Emília, pelo amor incondicional, apoio e incentivo.

A minha companheira, Nancy, pelo amor, companheirismo e ajuda em tudo. Aos meus irmãos, Leonardo, Mariana e Lucas, pelo carinho e amizade. A toda minha família pelo apoio em todas as horas.

Ao professor Eleonardo Lucas Pereira, por todos os ensinamentos, orientação e ajuda para a elaboração desse trabalho .

Agradeço a todos meus professores e amigos que contribuíram para eu alcançar meus objetivos.

À Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, por fornecer toda a estrutura necessária para minha formação.

## RESUMO

Para obtenção da curva de compactação dos solos, de maneira geral, é utilizado o método de Proctor, com base em normas nacionais e internacionais. Com esse método, é possível se obter a massa específica seca máxima e a umidade ótima de um solo, fatores de extrema importância para se realizar a compactação em campo de forma correta. Dentre as vantagens da execução correta desse procedimento, destacam-se a melhora das características de resistência, deformação e permeabilidade de um solo. Para alguns ensaios, a norma brasileira permite o reuso de amostras. Entretanto, a elaboração desta curva a partir do reuso de uma amostra, altera as características do solo, dentre elas a granulometria. Diante disso, foi proposto neste estudo a avaliação da influência deste reuso nos parâmetros de compactação dos solos. Para investigação desta influência, foram coletadas amostras de latossolos na região de Passagem de Mariana, Mariana/MG e na BR251, no trecho da cidade de Unaí/MG e realizado um programa experimental simplificado. Foram realizados ensaios de caracterização das amostras, além da compactação na energia intermediária com e sem reuso das amostras. Os resultados obtidos comprovaram que o reuso altera os valores da massa específica seca máxima e da umidade ótima do solo.

**Palavras-chave:** Compactação dos solos; Reuso de amostras; Ensaio de laboratório.

## ABSTRACT

To draw a compaction curve is usually used the Proctor method, based on national and international standards. With this method it is possible to obtain the maximum specific dry mass and the optimal humidity of a soil, factors of extreme importance to perform compactations correctly. Among the advantages of the correct execution of this procedure, stand out the improvement of the characteristics of resistance, deformation and permeability of a soil. For some tests, the Brazilian standard allows the reuse of samples. However, the elaboration of this curve from the reuse of a sample changes the soil characteristics, especially the granulometry. Therefore, it was proposed the evaluation of the influence of soil samples reuse in the parameters of soil compactation.

In order to investigate this influence, samples from Passagem de Mariana, Mariana/MG and the highway BR251, near the city of Unaí/MG were collected and a simplified experimental program was carried out. Compaction tests were performed on the intermediate energy with and without reuse of the samples. The results obtained showed that the reuse changes the parameters of specific maximum dry mass and optimal soil humidity.

**Keywords:** Soil compaction; Reuse of samples; Laboratory tests.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de compactação genérica.....	6
Figura 2 - Curvas de compactação de solo compactados com a mesma energia .....	2
Figura 3 – Influencia da energia aplicada em uma curva de compactação.....	2
Figura 4 - Ocorrência de solos lateríticos no Brasil .....	2
Figura 5 – Determinação da densidade real dos grãos.....	2
Figura 6 - Aparelho de Casagrande para determinação do LL.....	2
Figura 7 – Equipamento para Ensaio de Compactação .....	2

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metodologia do Ensaio Proctor.....	5
Tabela 2 - Identificação das amostras.....	10
Tabela 3 - Teor de umidade do SL01 .....	11
Tabela 4 - Teor de umidade do SL02.....	11
Tabela 5 - Determinação da massa específica dos grãos - SL01 .....	13
Tabela 6 - Determinação da massa específica dos grãos - SL02 .....	13
Tabela 7 - Frações granulométricas das amostras ensaiadas.....	15
Tabela 8 - LL, LP e IP das amostras .....	17
Tabela 8 - Resultado dos ensaios de compactação do SL01 e SL02 .....	21

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição granulométrica do SL01 .....	14
Gráfico 2 - Distribuição granulométrica do SL02 .....	15
Gráfico 3 - Limite de Liquidez da amostra SL01 .....	16
Gráfico 4 - Limite de Liquidez da amostra SL02.....	17
Gráfico 5 - Curva de compactação sem reuso do SL01 .....	19
Gráfico 6 - Curva de compactação com reuso do SL01 .....	19
Gráfico 7 – Curva de compactação sem reuso do SL02 .....	20
Gráfico 8 – Curva de compactação com reuso do SL02 .....	20

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
2.1 COMPACTAÇÃO DE SOLOS.....	3
2.1.1 ENSAIO PROCTOR.....	4
2.1.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A COMPACTAÇÃO DE UM SOLO.....	6
2.2 SOLOS LATERÍTICOS.....	8
2.3 INFLUENCIA DO REUSO DE AMOSTRAS NA CURVA DE COMPACTAÇÃO.....	9
<b>3. PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>10</b>
3.1 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	10
3.1.1 INTRODUÇÃO.....	10
3.1.2 IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	10
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	11
3.2.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE NATURAL.....	11
3.2.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE REAL DO S GRÃOS.....	12

3.2.3 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA POR SEDIMENTAÇÃO .....	14
3.2.4 DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE PLASTICIDADE E LIQUIDEZ.	15
3.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO .....	17
<b>4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>25</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

O processo de compactação do solo é utilizado e necessário para a construção e controle de várias obras de engenharia. Isso ocorre, pois, na maioria das vezes, o solo não está nas condições mínimas para a execução da obra em termos de resistência e compressibilidade, especialmente.

Esse processo traz melhorias nas características e propriedades do solo, como: aumento da sua capacidade de suporte, aumento do peso específico, redução do adensamento do solo e, conseqüentemente, aumento de sua estabilidade.

Para determinar e/ou quantificar as propriedades do solo necessárias para a compactação na obra é imprescindível a comparação entre a compactação no campo à compactação do solo em laboratório (BROWNE, 2006).

O ensaio utilizado neste trabalho foi apresentado pelo americano Ralph R. Proctor, e é caracterizado pela obtenção da correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia. O ensaio é realizado através de sucessivos impactos de um soquete padronizado na amostra, objetivando a obtenção da chamada curva de compactação.

A elaboração da curva da compactação, através de procedimentos descritos pela NBR 7182 (ABNT, 1986), permite o reuso de amostras durante o procedimento dos ensaios e não impõe limitações para tanto. No entanto, o reuso, que por um lado, pode contribuir com a homogeneização, também pode trazer modificações na amostra com obtenção de curvas distintas de compactação. Diante disso, o trabalho incorpora o estudo de dois solos, de diferentes regiões de Minas Gerais, visando avaliar e comparar a influência do reuso uma amostra nesse processo.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Tendo em vista a importância da obtenção de parâmetros confiáveis para se realizar uma compactação, o objetivo dessa pesquisa é comparar os efeitos das compactações por impacto a partir do reuso ou não de amostras de solos.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

De maneira específica, o presente trabalho objetiva comparar as curvas de compactação de dois solos lateríticos coletados na cidade de Mariana e Unaí, em Minas Gerais.

Realizando, para tanto, um programa experimental simplificado para a caracterização geotécnica desses solos e o estudo realizado baseou-se na análise de resultados de ensaios de compactação na energia intermediária.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são abordados assuntos importantes sobre a pesquisa desenvolvida. Primeiramente, é destacado o objetivo de se fazer uma compactação e como ela é feita. Em seguida, o histórico sobre o Ensaio Proctor, sua normatização, bem como fatores que interferem na compactação de um solo e os solos lateríticos, utilizados nesta pesquisa. Finalmente, é destacada a relação entre o reuso ou não de amostras no traçado de uma curva de compactação.

### **2.1. Compactação de solos**

A compactação de solos é realizada com o intuito de se evitar problemas diversos, como recalques excessivos em rodovias e aterros, ruptura de taludes e de barragens, permeabilidade excessiva, dentre outros. No caso da pavimentação, o procedimento de compactar solos normalmente é guiado pelas especificações de projeto, que determinam as características construtivas para cada uma das camadas constituintes do pavimento. Estas especificações recomendam propriedades geotécnicas desejáveis aos solos constituintes das camadas, tais como, granulometria, índices de consistência, umidade, massa específica seca, etc. (DANTAS, 2013).

O solo não saturado é constituído por três componentes: partículas do solo, água e ar. O processo de compactação visa o aumento da união de suas partículas expulsando o ar presentes entre elas, através da aplicação repetida de cargas (FERNANDES, 2014).

Os objetivos de uma compactação consistem em melhorar as propriedades mecânicas do solo, como módulo de resiliência, resistência a compressão diametral, deformação permanente, entre outras (DANTAS, 2013). Em síntese, os efeitos principais da compactação são o aumento da resistência do solo e a redução da sua compressibilidade e permeabilidade.

Entre as características do solo que são alteradas durante a compactação, destacam-se:

- a redução da permeabilidade
- o aumento da resistência (capacidade de suporte)
- a redução da compressibilidade do material
- a redução da absorção de água

Os seguintes fatores são representativos na execução da compactação:

- tipo de solo
- teor de umidade do solo
- energia de compactação (determinada pelo tipo de compactador)
- espessura da camada compactada.

Diferentes tipos de compactação são indicados para diferentes situações, em especial, tipos de solos. A Compactação dinâmica (por impacto) ocorre pela queda de um soquete; a compactação estática se dá pela colocação de um peso sobre a amostra. Existe ainda a compactação por amassamento e por vibração, esta última mais indicada para solos arenosos.

### **2.1.1. Ensaio Proctor**

A primeira pessoa a desenvolver um método de determinação do ponto ótimo de compactação dos solos foi Porter, da *Califórnia Division of Highways*, na década de 1930. Em 1933, Proctor aprimorou os estudos sobre o assunto e chegou à conclusão que a umidade dos solos interferia no resultado da compactação. Com isso, os ensaios que até naquele momento eram realizados de forma empírica, começaram a ter embasamento técnico e deu início a formulação de uma técnica de compactação (MASSAD, 2003).

O método de compactação por impacto é a forma mais empregada em ensaios de laboratório. O ensaio de compactação Proctor Normal foi normatizado no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR

7182 (ABNT, 1986), sob o nome Solo – ensaio de compactação, e pelo DNIT (DNER - ME 129/94), sob o nome de Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas; sendo possível nas duas normas, o ensaio ser realizado nos três níveis de energia: normal, intermediário e modificado (SOBREIRA, 2014).

A compactação do corpo de prova consiste em compactar diferentes camadas, dependendo do tamanho do cilindro. Para o cilindro maior, por exemplo, trabalha-se com cinco camadas, atingindo uma altura total de solo de cerca de 12,5cm, deixando cair um soquete cilíndrico (12, 26 ou 56 vezes) a uma altura de 45,7cm em cada camada. Detalhes dos ensaios em cada energia são mostrados na Figura 1.

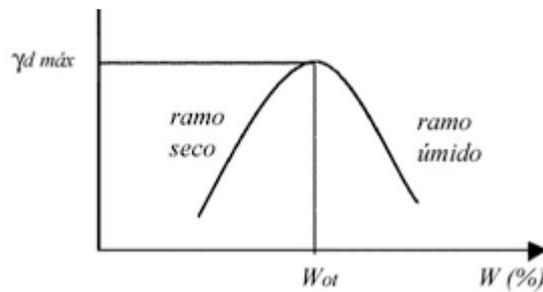
TABELA 1 - METODOLOGIA DO ENSAIO PROCTOR

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

Fonte: NBR 7182 (ABNT, 1986)

Com a compactação realizada, são encontrados pares de pontos, em que são definidos um teor de umidade para cada massa específica do solo. É recomendado que se defina ao menos 5 pontos (dois pontos no ramo seco – parte ascendente do gráfico –, um ponto próximo a umidade ótima e dois pontos no ramo úmido – parte descendente do gráfico) (CAPUTO, 1983).

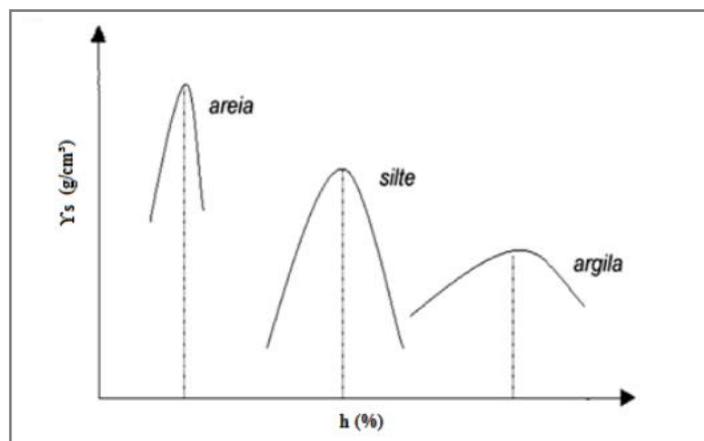
FIGURA 1 - CURVA DE COMPACTAÇÃO GENÉRICA



### 2.1.2. Fatores que influenciam a compactação de um solo

Em função da heterogeneidade de comportamento dos solos, torna-se necessário a realização de ensaios de laboratório para se conhecer as características do solo que será utilizado em uma obra. Entretanto, sabe-se que alguns fatores influenciam diretamente na compactação de um solo, como: teor de umidade, equipamento utilizado, número e espessura das camadas e energia de compactação, conforme já destacado anteriormente. Em relação ao tipo de solo, as curvas de compactação, tendem a ser mais abertas para solos argilosos e mais fechadas para os solos arenosos. Da mesma forma, há variação em relação a massa específica seca máxima obtida e a umidade ótima. Solos mais arenosos, quando compactados, atingem maiores valores de massa específica seca máxima ( $\rho_{dmax}$ ) e menores valores de umidade ótima ( $W_{ot}$ ).

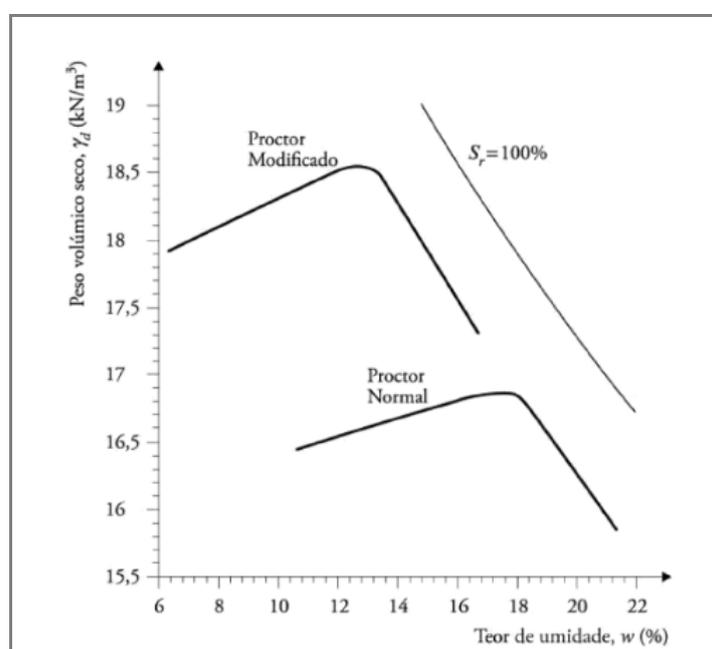
FIGURA 2 - CURVAS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO COMPACTADOS COM A MESMA ENERGIA



FONTE: SOBREIRA, 2014

Em relação a energia de compactação, sabe-se que o seu aumento resulta no aumento da massa específica seca máxima e na diminuição do teor de umidade ótimo, independentemente do tipo de solo (Figura 3). Por outro lado, em campo, ao mesmo tempo que maior número de passadas de um rolo compactador aumentam a energia transmitida ao solo, maiores velocidades do equipamento e maiores espessuras de camadas diminuem a energia transmitida (DHAWAN E BAHRI,1957; BAPTISTA, 1976; RICARDO E CATALANI, 1990).

FIGURA 3 – INFLUENCIA DA ENERGIA APLICADA EM UMA CURVA DE COMPACTAÇÃO



FONTE: MANUEL DE MATOS FERNANDES, 2014.

Em relação ao teor de umidade, Baptista (1983), Ricardo e Caralani (1990) e Senço (1997) descreveram que em um solo seco os poros se encontram preenchidos com ar, que dificulta a redução de seu volume ao ser compactado. Para solos arenosos, o aumento da umidade do solo ocorre uma lubrificação das partículas, permitindo que elas se aproximem mais quando o solo é compactado e, conseqüentemente, aumentando a massa específica do solo. Entretanto, ao continuar aumentando o teor de umidade, a água passa a ocupar os poros anteriormente preenchidos com ar, o que dificulta que as partículas se aproximem quando o solo está sendo compactado. Este

comportamento de um solo ao ser compactado com maior ou menor teor de umidade justifica a parte crescente e decrescente de uma curva de compactação. Cada solo apresenta uma curva de compactação específica para cada energia de compactação aplicada.

## **2.2. Solos lateríticos**

É fato de que o Brasil é um país de clima tropical úmido e apresenta grande parte dos solos com características deste clima. Entretanto, segundo Nogami e Villibor (1995), não basta que um solo tenha sido formado em uma região de clima tropical para ser caracterizado desta forma. Para receber esta caracterização é necessário que o solo apresente características geotécnicas específicas.

O solo laterítico é um dos tipos de solos tropicais. De acordo com Dias (2007), “solos lateríticos são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, altamente intemperizados e lixiviados...” podendo ter espessuras de até 10 metros e possuem cores vermelha e amarelas. As frações grossas do solo e o silte dos solos lateríticos são compostas especialmente por quartzo, magnetita, ilmenita e zircão. Já na parte argilosa, é comum encontrar argilominerais do grupo das caulinitas e óxidos e hidróxidos de ferro e/ou alumínio. Estes solos possuem, normalmente, a maior parte de sua granulometria menor que 2mm. No Brasil, este solo ocorre em diversas partes do território (Figura 4).

Um solo laterítico, quando bem compactado, adquire alta resistência e capacidade de suporte. Além disso, na presença de água, apresenta baixa permeabilidade e deformabilidade, e perde pouca capacidade de suporte (OLIVEIRA, 2011).

FIGURA 4 - OCORRÊNCIA DE SOLOS LATERÍTICOS NO BRASIL



FONTE: VILLIBOR ET AL., 2000

### 2.3. Influencia do reuso de amostras na curva de compactação

Como já foi dito anteriormente, é sabido que cada solo apresenta uma curva de compactação específica para cada energia de compactação. Além disso, outro fator é determinante para traçar a curva. (MASSAD, 2003) observou que o reuso de uma mesma amostra de solo para traçar os pontos de compactação altera a estrutura original do solo pois altera a sua granulometria.

Ou seja, são obtidas diferentes curvas de compactação ao se fazer um ensaio de compactação com reuso e sem reuso da amostra. Outro ponto que foi observado é que o reuso da amostra leva a obtenção de valores de  $\gamma_d$  maiores e umidades ótimas menores (RAMOS et al, 2013).

### **3. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

#### **3.1. Preparação de amostras de solo para ensaios de caracterização**

##### **3.1.1. Introdução**

A preparação das amostras objetivou a obtenção de uma quantidade suficiente para realizar os ensaios e que essa amostra fosse homogênea e representativa do solo a ser analisado.

##### **3.1.2. Identificação das amostras**

A primeira amostra é oriunda do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, da região de Passagem de Mariana, Mariana, MG. A segunda amostra é oriunda da BR251 no trecho da cidade de Unaí, MG.

Os dois solos foram escolhidos por se caracterizarem como solos lateríticos e pela disponibilidade no laboratório de Mecânica dos Solos do NUGEO e foram identificados em conformidade com a Tabela 1.

TABELA 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS UTILIZADAS

Amostra	Origem
SL01	Mariana, MG
SL02	Unaí, MG

##### **3.1.3. Procedimentos da preparação das amostras**

A preparação das amostras foi feita com base nos procedimentos prescritos pela NBR 6457 (ABNT, 1986). Esta norma é voltada para a preparação de solos tanto para ensaios de caracterização quanto para a compactação.

### 3.2. Caracterização dos solos

#### 3.2.1. Determinação do teor de umidade natural

O método utilizado para a determinação do teor de umidade foi o de secagem em estufa e foram realizados de acordo com os procedimentos do anexo da NBR 6457 (ABNT, 1986).

Foram feitas três determinações do teor de umidade da amostra natural e tomou-se a média delas como valor final. Os valores obtidos e a memória de cálculo para as duas amostras estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

TABELA 3 - TEOR DE UMIDADE - SL01

Teor de umidade			
Cápsula nº	13	37	51
solo úmido + tara(g)	13,92	14,49	16
tara(g)	4,32	4,45	4,25
solo seco + tara(g)	12,28	12,84	14,01
solo seco(g)	7,96	8,39	9,76
água(g)	1,64	1,65	1,99
umidade(%)	21%	20%	20%
umidade média(%)	20,22%		

TABELA 4 - TEOR DE UMIDADE - SL02

Teor de umidade			
Cápsula nº	74	47	3
solo úmido + tara(g)	18,43	19,74	16,18
tara(g)	4,5	4,38	4,42
solo seco + tara(g)	17,99	19,5	16,01
solo seco(g)	13,49	15,12	11,59
água(g)	0,44	0,24	0,17
umidade(%)	3,3%	1,6%	1,5%
umidade média(%)	2,11%		

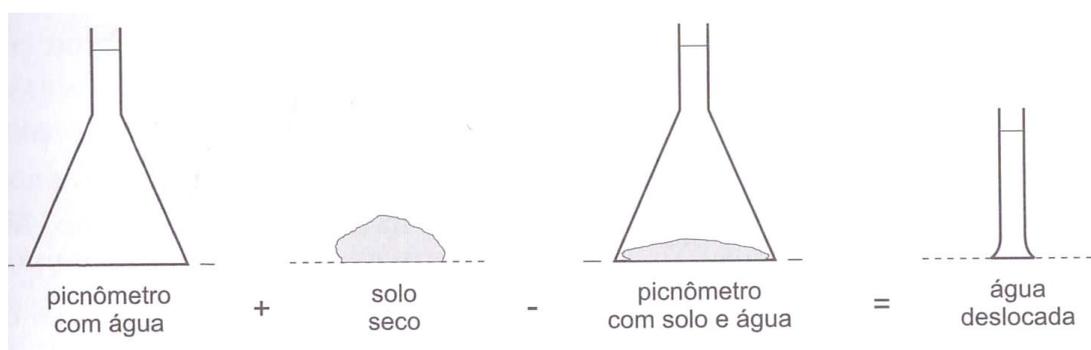
### 3.2.2. Determinação da densidade dos grãos

Esse ensaio tem como objetivo determinar a relação entre a massa de solo e o seu volume. O valor da massa específica dos grãos dividido pelo peso específico da água é a densidade dos grãos. A densidade dos grãos é necessária para outros ensaios que serão feitos posteriormente.

Para se determinar a massa específica dos grãos é necessário que se saiba o volume das partículas de solo, retirando-se o volume ocupado pelos vazios entre as partículas. Dessa forma, existem alguns métodos para determinação destes valores. O método utilizado foi o do picnômetro, de acordo com procedimentos internos do laboratório de Mecânica dos Solos do NUGEO.

Tomaram-se duas amostras com mais de 50g do solo passante pela peneira de 2,00mm e secos em estufa elétrica até o peso se manter constante. A amostra foi transferida para o picnômetro com ajuda de um funil, com cuidado para não se perder material e complementada com água destilada até se cobrir com excesso a amostra. Em seguida, aplicou-se o vácuo por 15 minutos, agitando o picnômetro para auxiliar a saída dos gases. Em seguida o picnômetro é completado com água até a marca indicada, e o vácuo aplicado novamente. Após isso, é feita a pesagem do conjunto, para se determinar a massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ). A Figura 5 destaca a linha de vácuo que é aplicada ao picnômetro. Os resultados obtidos são mostrados nas Tabelas 4 e 5.

FIGURA 5 – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE REAL DOS GRÃOS



FUNTE: SOUZA PINTO (2000)

TABELA 5 – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS - SL01

<b>DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS</b>			
Determinação N°		1	2
Picnômetro	N°	42	44
Massa picnômetro+solo+água	(g)	384,65	391,36
Temperatura – T	(°C)	22,00	22,00
Massa picnômetro+água a T°C	(g)	350,55	353,94
Massa picnômetro	(g)	101,59	104,51
Fator de correção	-	0,9973	0,9973
Massa solo	(g)	53,11	58,32
Densidade dos grãos	(g/cm <sup>3</sup> )	2,787	2,783
Desvio máximo admissível (d≤0,02)		S	S
Densidade dos grãos média	(g/cm <sup>3</sup> )	2,785	

TABELA 6 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS - SL02

<b>DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS</b>			
Determinação N°		1	2
Picnômetro	N°	3	5
Massa picnômetro+solo+água	(g)	703,45	747,56
Temperatura - T	(°C)	28,80	23,80
Massa picnômetro+água a T°C	(g)	666,34	713,81
Massa picnômetro	(g)	170,29	137,05
Fator de correção	-	0,9973	0,9973
Massa solo	(g)	59,98	54,75
Densidade dos grãos	(g/cm <sup>3</sup> )	2,616	2,600
Desvio máximo admissível (d≤0,02)		S	S
Densidade dos grãos média	(g/cm <sup>3</sup> )	2,608	

### 3.2.3. Análise granulométrica

As análises granulométricas são importantes para escolha de solos para construção de aterros, barragens, camadas de pavimentos rodoviários, fitos, drenagens, etc.

Existem dois processos para se obter a distribuição granulométrica de um solo. A análise granulométrica por peneiramento, utilizada para solos retidos na peneira nº 200, e a por sedimentação utilizada para solos mais finos. Com a combinação desses processos, obtem-se a composição granulométrica de um solo, chamada de análise granulométrica conjunta. A análise é nomatizada pela NBR 7181 (ABNT 1984a).

Os Gráficos 1 e 2 destacam a distribuição granulométrica das amostras SL01 e SL02, respectivamente.

A Tabela 6 apresenta as frações granulométricas de cada amostra, considerando a escala da ABNT (ABNT, 1995).

GRÁFICO 1 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA SL01

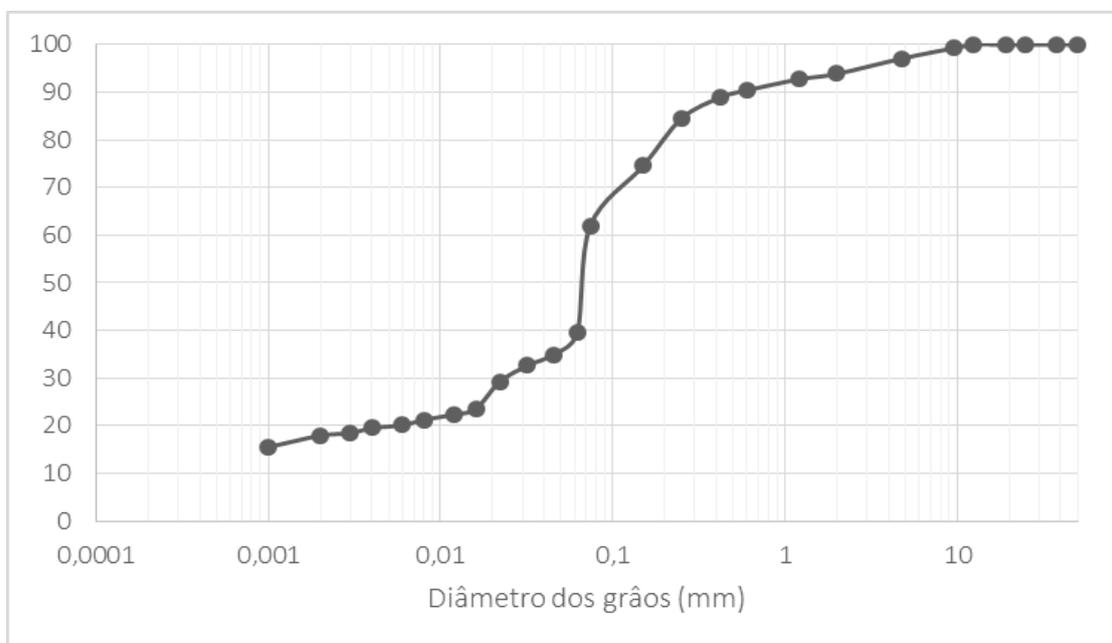


GRÁFICO 2 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA SL02

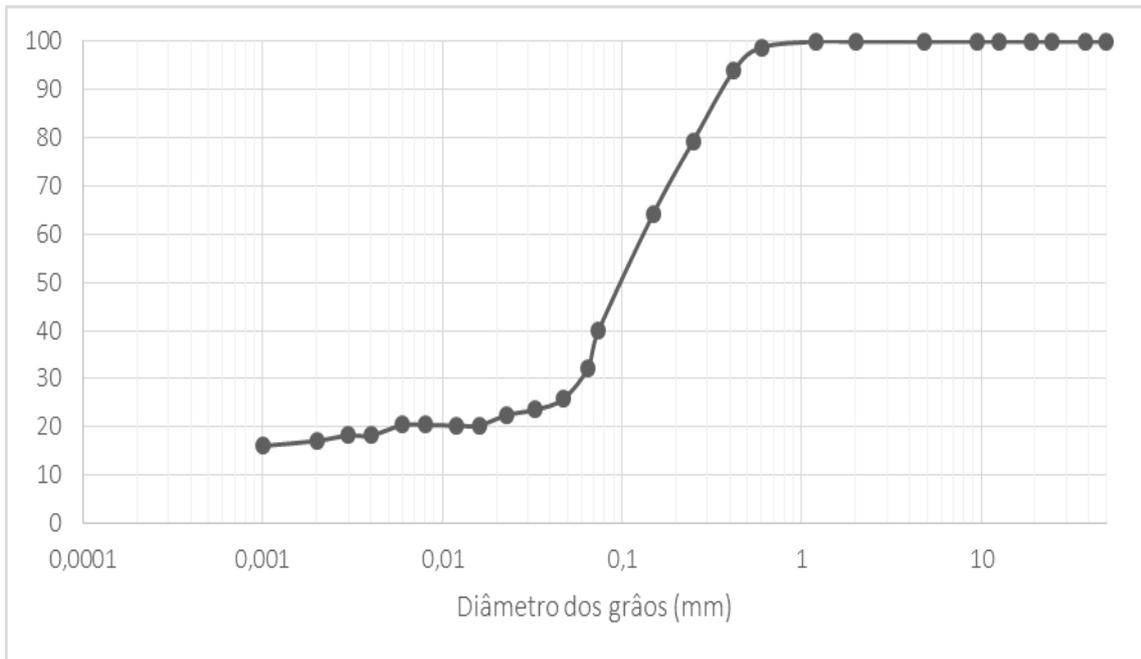


TABELA 7 – FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS ENSAIADAS

Amostra	SL01	SL02
Argila	17,9	17,1
Silte	21,0	13,4
Areia Fina	40,6	41,4
Areia Média	10,9	26,9
Areia Grossa	3,5	1,2
Pedregulho	6,1	0,0

### 3.2.4. Determinação dos limites de plasticidade e liquidez

O limite de liquidez, plasticidade e o índice de plasticidade foram determinados para as amostras de solo de acordo com as normas NBR 6459 (ABNT 1984a) e NBR 7180 (ABNT 1984a).

A determinação do limite de liquidez foi também realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos do NUGEO, com o Aparelho de Casagrande (Figura 6). Os resultados são expressos nos Gráficos 3 e 4 e na Tabela 7.

FIGURA 6 - APARELHO DE CASAGRANDE PARA DETERMINAÇÃO DO LL



FONTE: AUTOR

GRÁFICO 3 – LIMITE DE LIQUIDEZ DA AMOSTRA SL01

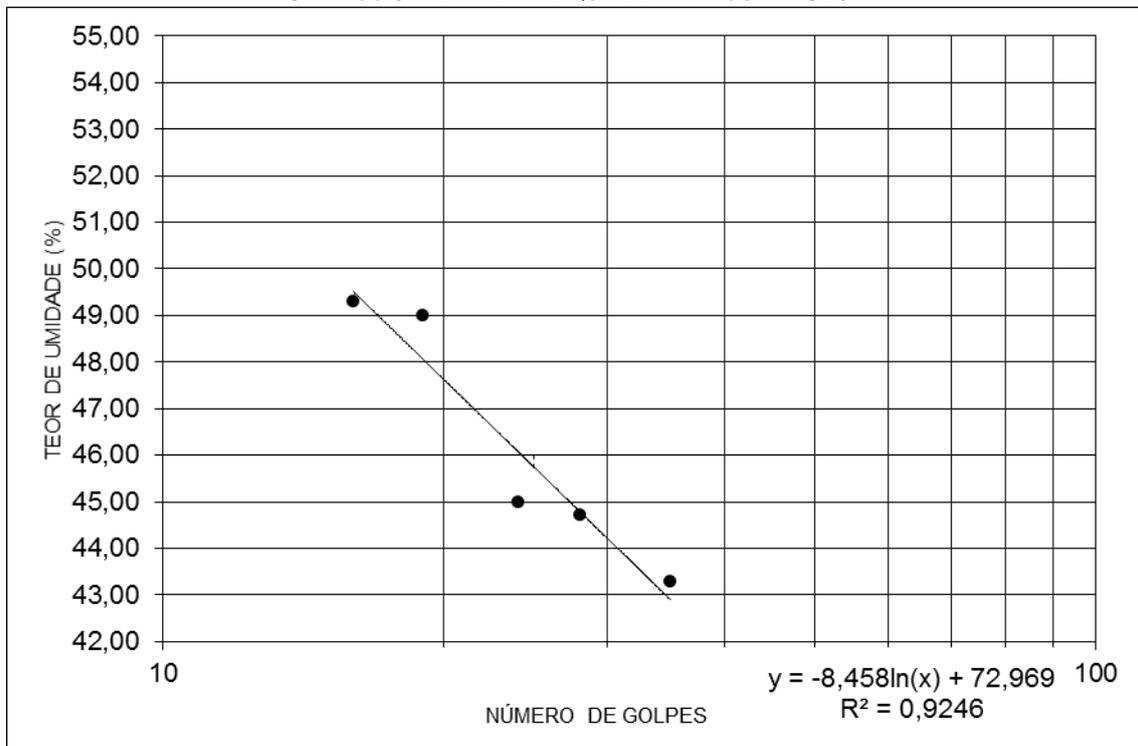


GRÁFICO 4 - LIMITE DE LIQUIDEZ DA AMOSTRA SL02

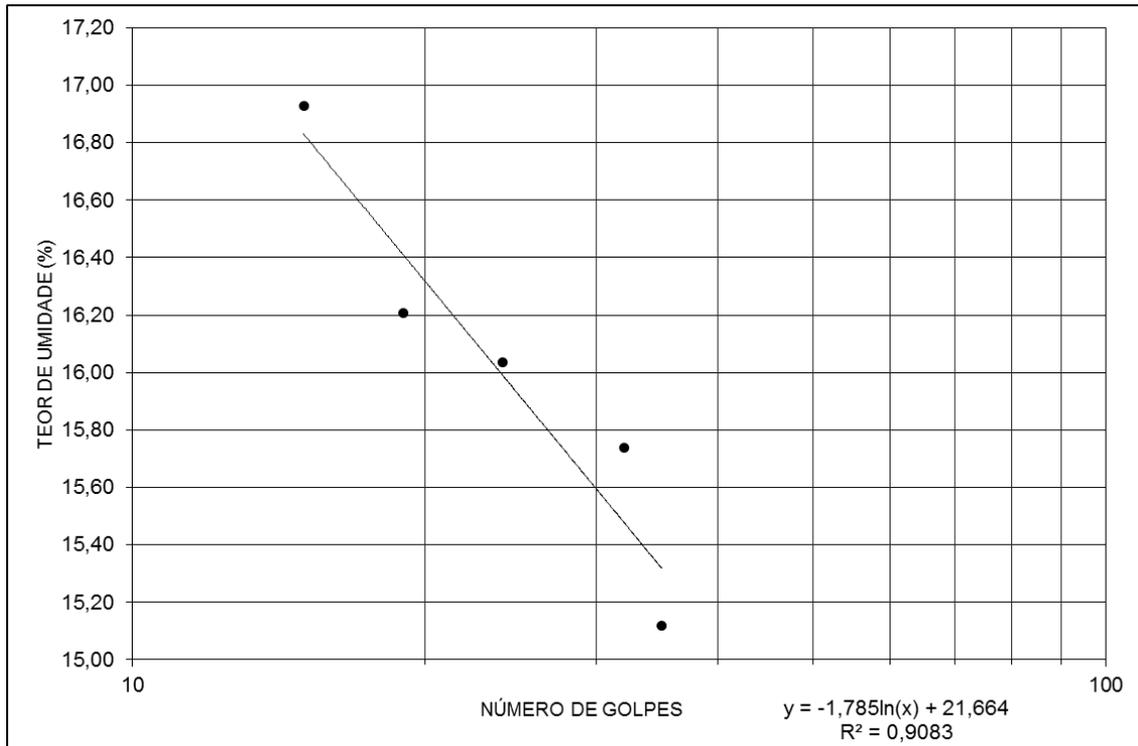


TABELA 7 - LL, LP E IP DAS AMOSTRAS

Limite ou Índice	SL01	SL02
LL	46,0	16,0
LP	33,8	13,4
IP	12,2	2,6

### 3.3. Ensaio de compactação

O ensaio de compactação é um processo manual que tem o objetivo de diminuir o volume de vazios entre as partículas do solo. Com este ensaio é possível determinar a variação das massas específicas secas em função da umidade e, com isso, se determinar a curva de compactação do solo. Com esta curva é possível determinar qual a massa específica seca máxima do solo e qual a umidade correspondente (umidade ótima).

A energia de compactação utilizada foi a intermediária - Proctor (AASHTO Intermediário), que baseia-se em moldar um corpo de prova com dimensões de 15,2cm de diâmetro por 12,2cm de altura (2084 cm<sup>3</sup>), em 5 camadas sucessivas, aplicando 26 golpes em cada camada com energia de compactação de 12,9 Kg.cm/cm<sup>3</sup>. O equipamento é mostrado na Figura 7, cujo ensaio foi realizado seguindo os procedimentos da NBR 7182 (ABNT, 1986).

FIGURA 7 – EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE COMPACTAÇÃO



FONTE: AUTOR

Para a correta avaliação do efeito do reuso na compactação das amostras, foram inicialmente realizados ensaios sem o reuso do material, ou seja, com 5 diferentes amostras para cada ponto compactado, colocadas em cura 24 horas antes do procedimento de compactação.

Posteriormente, foram realizados os mesmos procedimentos com o uso da mesma amostra para todos os pontos da curva de compactação, visando a comparação com o ensaio realizado em amostras virgens. Os resultados são mostrados nos Gráficos 5 a 8 e na Tabela 8.

GRÁFICO 5 – CURVA DE COMPACTAÇÃO SEM REUSO DO SL01

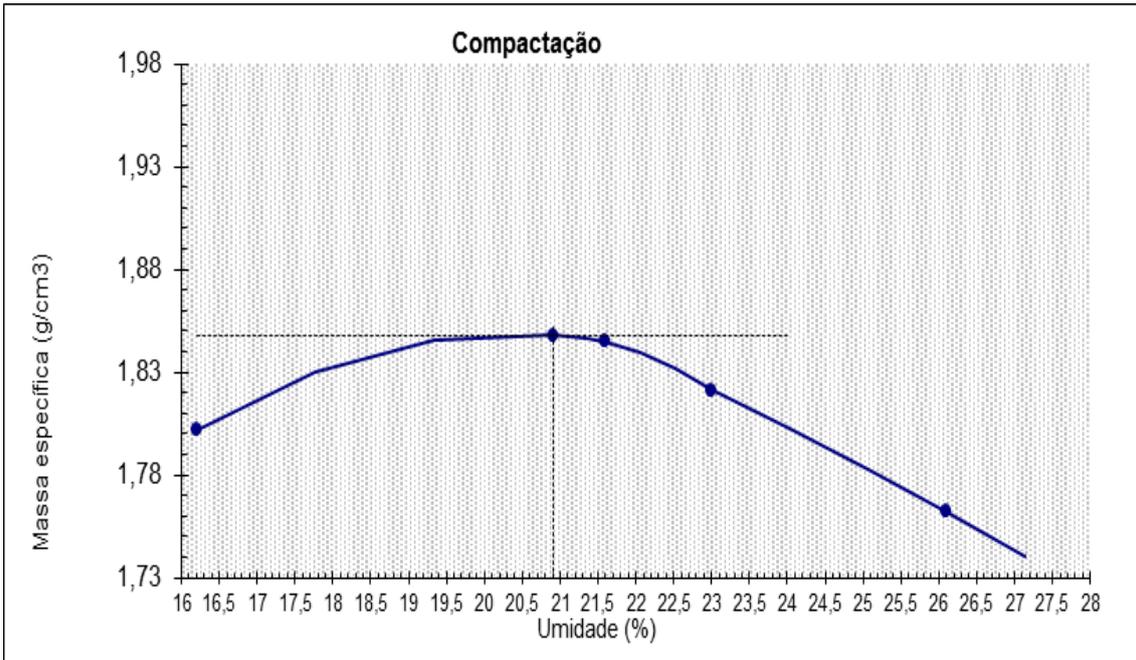


GRÁFICO 6 - COMPACTAÇÃO COM REUSO DO SL01

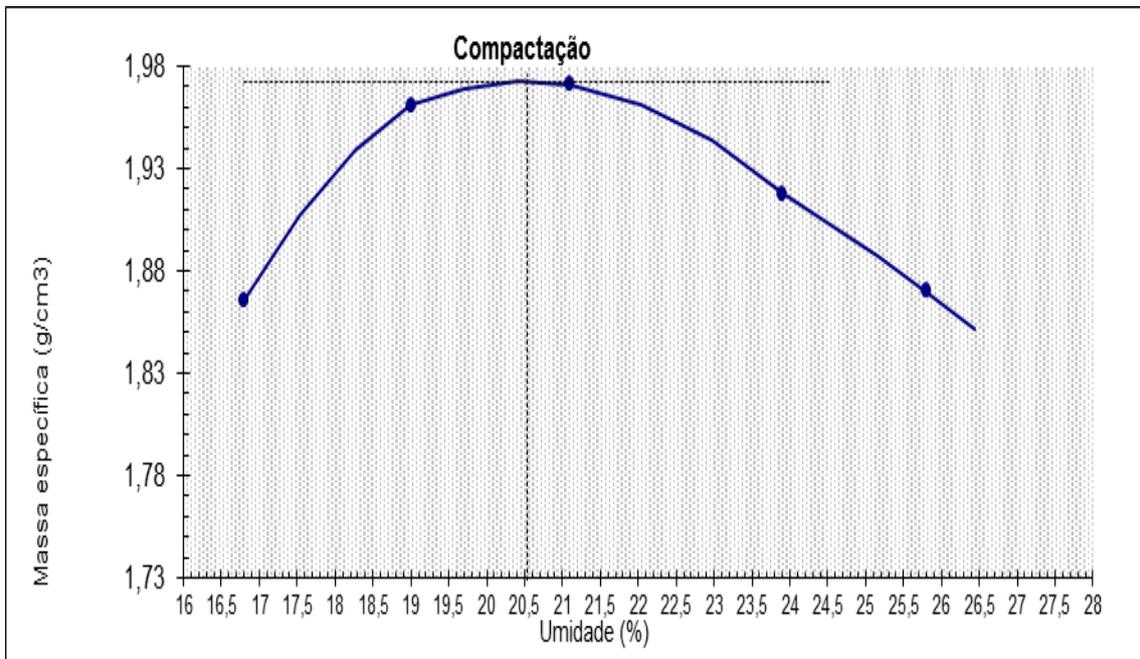


GRÁFICO 7 – COMPACTAÇÃO SEM REUSO DO SL02

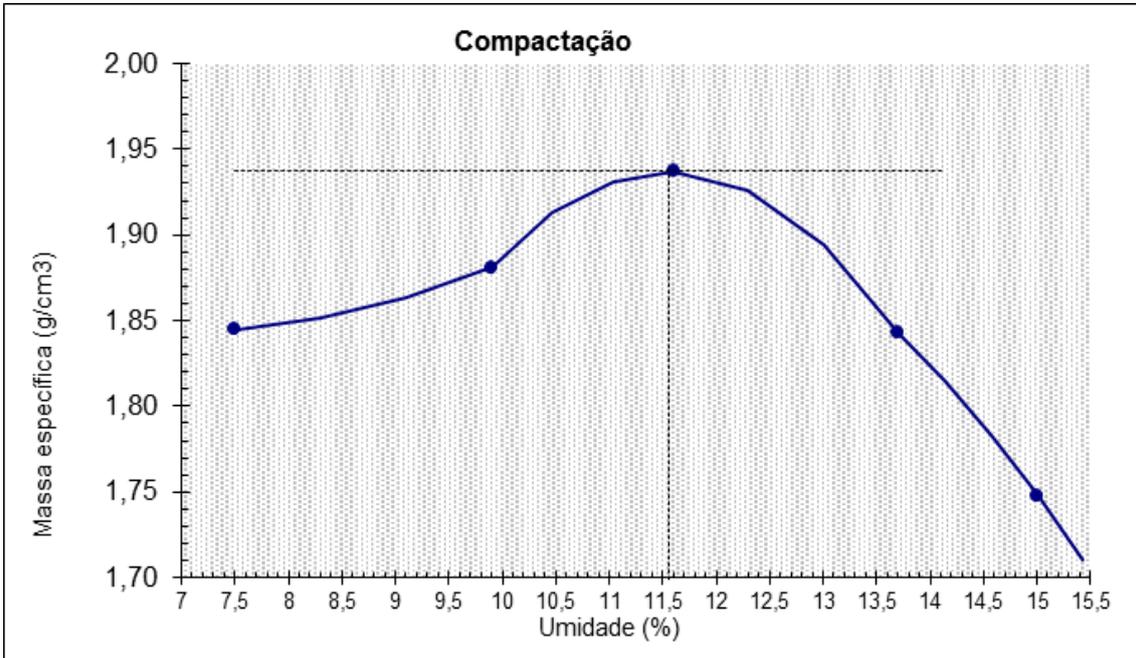


GRÁFICO 8 – COMPACTAÇÃO COM REUSO DO SL02

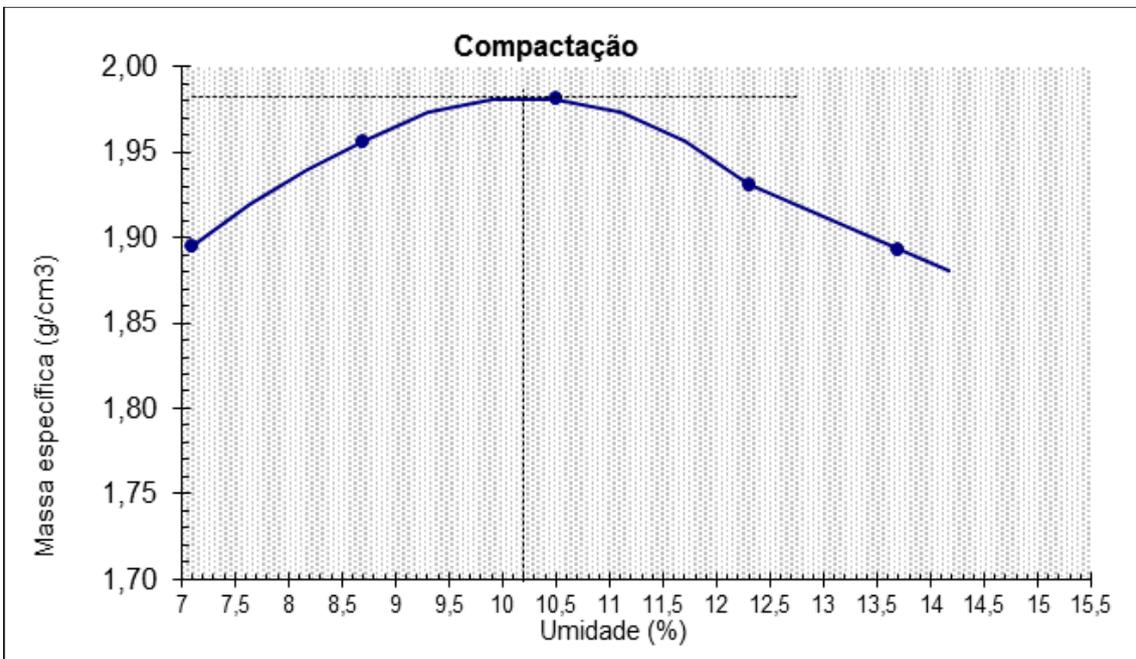


TABELA 8 - RESULTADO DOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO DO SL01 E SL02

Amostras	Metodologia do ensaio	Massa específica seca máxima ( $\rho_{dmax}$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade ótima ( $w_{ot}$ ) (%)
SL01	Sem reuso	1,848	20,9
	Com reuso	1,973	20,5
SL02	Sem reuso	1,937	11,6
	Com reuso	1,982	10,2

#### 4. Discussão dos resultados

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar os solos e analisar a influência do reuso de amostras em suas curvas de compactação.

Em ambos os solos houve um deslocamento das curvas ascendente e para a esquerda. Ou seja, o reuso das amostras levou a um aumento da massa específica seca máxima e a uma diminuição da umidade ótima, como pode ser observado nos gráficos 5, 6, 7 e 8.

No solo SL01, a umidade ótima de compactação sem reuso e com reuso teve uma pequena queda de 20,9% para 20,5%, respectivamente. Apesar da pequena redução, que pode ser atribuída a erros operacionais, esta tendência é relativamente esperada, pois o próprio reuso do material caracteriza-se como um processo de homogeneização do solo. Conseqüentemente, o solo precisará de menores umidades para a compactação, em função da lubrificação dos grãos.

Por outro lado, a massa específica seca máxima sem reuso e com reuso da mesma amostra passou de 1,848 g/cm<sup>3</sup> para 1,973 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. A maior parcela deste solo é composta por areia e pedregulho e o impacto da compactação levou, provavelmente, a uma quebra destes grãos. Essa quebra justifica o aumento da massa específica, visto que partículas menores ocupam melhor os espaços vazios do solo, facilitando a expulsão do ar.

Já no solo SL02, a umidade ótima de compactação sem reuso e com reuso teve uma queda maior, passando de 11,6% para 10,2%, respectivamente, enquanto, a massa específica seca máxima sem reuso e com reuso teve um pequeno aumento, passando de 1,937 g/cm<sup>3</sup> para 1,982 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Esse aumento sutil da massa específica, quando comparado à amostra SL01 se deve, provavelmente, ao fato de este solo não possuir pedregulhos, tendo menor quebra de grãos.

Uma outra observação nas diferentes amostras é a influência da composição granulométrica na curva de compactação. A amostra SL02 apresentou menores teores de umidade ótimos, em relação ao solo SL01. Apesar da proximidade das duas curvas, a amostra SL02 possui maior fração

de areia. No entanto, seria importante uma verificação das características de laterização das amostras, para verificar outras influências.

De maneira geral, a vantagem do reuso de amostras é a necessidade de menor quantidade de solo para a realização do ensaio, que é um limitante em muitos casos. No entanto, tal procedimento impõe limitações, visto que ele altera a granulometria original do solo com os impactos da compactação. A quebra das partículas do solo leva a um melhor preenchimento dos vazios, justificando as maiores massas específicas encontradas. Com isso, os resultados encontrados reutilizando as amostras se distanciam da realidade.

Por outro lado, o ensaio sem reuso de amostra não desfaz, provavelmente, tantas partículas do solo dificultando que o ar entre as partículas fosse expulso. Dessa forma, ensaios sem reuso de amostras propiciam amostras mais condizentes com a realidade em campo, chegando a resultados mais confiáveis.

## 5. CONCLUSÃO

Dentro das metodologias adotadas para se realizar um ensaio de compactação, foram coletadas amostras de dois latossolos oriundos de regiões diferentes do estado de Minas Gerais. Primeiramente, realizou-se a caracterização geotécnica dos solos, que constatou que os solos SL01 é predominantemente arenoso (55% de areia), mas possui quase 40% de silte e argila. Já o SL02 também é predominantemente arenoso (68% de areia) variando sua granulometria entre areia fina e média, mas possui menor parte de sua granulometria variando entre argila a silte (30%).

Posteriormente, realizou-se ensaios de compactação em ambos os solos sem e com reuso das amostras. Avaliando os resultados obtidos com os ensaios, constatou-se que ao se reutilizar um solo para traçar uma curva de compactação são encontrados valores diferentes de massa específica seca máxima e umidade ótima de quando não se reutilizam as amostras.

Apesar da avaliação deste comportamento para apenas dois tipos de solos, afirma-se que para solos arenosos e com mais pedregulhos esta mudança é mais significativa, provavelmente relacionada a quebra de grãos. Neste contexto, são sugeridas avaliações para outros tipos de solos num programa experimental mais completo, condiderando: solos de diferentes formações; compactação para mais quantidades de pontos (além dos 5 sugeridos); realização de ensaios na metodologia MCT e caracterização do solo após a compactação (visando comparar e verificar a quebra de grãos).

Diante disso, caso se tenha solo suficiente, a realização de ensaios sem o reuso de amostras leva a obtenção de dados mais confiáveis.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. NBR 6457. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986. 9p

\_\_\_\_\_. Solo – Determinação do limite de liquidez. NBR 6459. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.

\_\_\_\_\_. Solo – Determinação do limite de plasticidade. NBR 7180. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.

\_\_\_\_\_. Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio. NBR 16097. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986. 9p

\_\_\_\_\_. Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. NBR 6508. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984a. 8 p.

\_\_\_\_\_. Solo – Análise granulométrica. NBR 7181. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984b. 13 p.

\_\_\_\_\_. Solo – Ensaio de Compactação. NBR 7182. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988.

BAPTISTA, C de F Nogueira. Pavimentação. Editora Globo 1976

BROWNE, M. (2006). Feasibility of Using a Gyrotory Compactor to Determine Compaction Characteristics of Soil. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Montana, Bozeman, Montana.

DANTAS, G. H. S. Estudo do emprego do compactador giratório Superpave na compactação de um solo argiloso. Dissertação de Mestrado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.

DIAS, I.M. Estudo de solos tropicais para uso em pavimentação de ensaios triaxiais estáticos. Dissertação de Mestrado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

FERNANDES, M. M. 2014. Mecânica dos Solos: Introdução à engenharia geotécnica, volume 2. São Paulo, Oficina de textos.

MASSAD, F. 2003. Obras de terra: Curso Básico de Geotecnia. São Paulo, Oficina de Textos. 170p

OLIVEIRA, R.F.V. Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos. Dissertação de Mestrado Profissional apresentada a Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

RAMOS, F.T.; MAIA, J.C.S.; SERAFIM, M.E; AZEVEDO, E.C. & ROQUE, M.W. 2013. Curvas de Compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo: com e sem reuso de amostras. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17(2): 129-137

SOBREIRA, D. S. V. Comparação entre os métodos de compactação de solos por impacto e por amassamento. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2014.

VILLIBOR, D. F., NOGAMI, J. S., BELIGNI, M. & CINCERRE, J. R. Pavimento com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas. ABPv, São Paulo, SP, 2000, 138p.