

19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

# CONTROLE TECNOLÓGICO DA COMPACTAÇÃO DE SOLOS DE UMA OBRA NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: ESTUDO DE CASO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Camila Miotto da Silva<sup>1</sup>; Wesley Chimento<sup>1</sup>*

### RESUMO

A compactação dos solos sempre acompanhou a sociedade, se faz presente atualmente como uma das principais aplicações a grandes obras da engenharia civil, é um processo mecânico ou manual onde sua função é a redução dos vazios do solo melhorando as propriedades mecânicas do mesmo. É importante salientar a diferença entre compactação e adensamento, sendo a principal diferença a expulsão de ar durante a compactação e a expulsão de água durante o processo de adensamento. Na compactação a expulsão do ar é conseguida de imediato, enquanto no adensamento a expulsão de água ocorre ao longo do tempo. Esse trabalho teve como o objetivo comparar os dados obtidos dos ensaios realizados em laboratório com os encontrados em campo em uma obra situada no Município de Santo Augusto/RS. Foram realizados ensaios de proctor normal para a determinação da umidade ótima e a massa específica aparente máxima seca, e em campo foram realizados ensaios de cilindro de cravação para obtenção da umidade do solo, a massa específica seca e posterior calculado o grau de compactação. Em alguns locais, houve problemas em decorrência da realização dos ensaios em campo alguns dias após a compactação do local, resultando na alteração da umidade do solo, tornando-o mais seco, porém, mesmo assim, atingindo o grau de compactação solicitado pela empresa contratante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaio de cilindro cortante; Ensaio de campo; Teor de umidade.

### ABSTRACT

Soil compaction has always accompanied society and is currently present as one of the main applications in large civil engineering projects. It is a mechanical or manual process whose function is to reduce the voids in the soil, improving its mechanical properties. It is important to emphasize the difference between compaction and consolidation, with the main difference being the expulsion of air during compaction and the expulsion of water during the consolidation process. In compaction, the expulsion of air is achieved immediately, while in consolidation, the expulsion of water occurs over time. This study aimed to compare the data obtained from laboratory tests with those found in the field at a construction site located in Santo Augusto/RS Municipality. Standard Proctor tests were performed to determine the optimum moisture content and the maximum dry bulk density. In the field, cone penetration tests were conducted to obtain the soil moisture content, dry bulk density, and subsequently calculate the degree of compaction. In some locations, there were issues due to conducting field tests several days after the compaction, resulting in a change in soil moisture, making it drier. However, even so, the desired degree of compaction specified by the contracting company was achieved.

**KEY WORDS:** Shear cylinder test; Field tests; Moisture content.

<sup>1</sup> Faculdade CESURG Marau, Professor(a) da Faculdade CESURG Marau, [camilamiotto@cesurg.com](mailto:camilamiotto@cesurg.com); [wesleychimento@gmail.com](mailto:wesleychimento@gmail.com)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## INTRODUÇÃO

Uma das funções do solo é dar a sustentação de toda estrutura de uma obra, é ele quem vai suportar todas as cargas impostas pela mesma, tornando uma das partes mais importantes de uma construção. Ruptura de barragens de terra e recalques em edificações são alguns exemplos de problemas em grandes obras de engenharia, quando mal dimensionados por falta de conhecimento do solo ou também pela falta de um controle tecnológico dos ensaios tanto em campo como em laboratório. O objetivo da pesquisa foi comparar os dados obtidos dos ensaios realizados em laboratório com os encontrados em campo em uma obra situada no Município de Santo Augusto/RS.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Compactação de solos

No ano de 1933, o engenheiro norte-americano Proctor criou a técnica de compactação do solo, ele concluiu que se aplicarmos uma certa energia de compactação, ou seja, em obra um equipamento tiver certo número de passadas e no laboratório, certo número de golpes em um determinado solo, obtém-se uma massa específica que é em função da umidade em que o solo se encontra naquele momento. Para resultar num arranjo mais compacto, a umidade precisa ser mais elevada, pois a água funciona como um lubrificante e as partículas se acomodam melhor, preenchendo melhor os vazios. Do contrário, o atrito das partículas é alto ocasionando o efeito contrário (PINTO, 2006). Se acordo com Caputo (1975), “entende-se como compactação de um solo, o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios e, assim aumentar sua resistência, tornando-o mais estável”.

Para a NBR 6502/1995, a compactação do solo é o processo artificial de aumento da massa específica de um dado solo, por redução do seu volume de vazios, através de aplicação de energia mecânica.

Segundo Pinto (2006), o objetivo da compactação é aumentar a homogeneidade do aterro, reduzindo o índice de vazios que resulta no melhoramento de diversas propriedades do solo. Portanto, o ensaio de compactação ou Proctor, busca conhecer o teor de umidade do solo, mais conhecido como umidade ótima, ou seja, ponto máximo da curva. A Figura 1 abaixo mostra a curva de compactação que corresponde a umidade ótima:

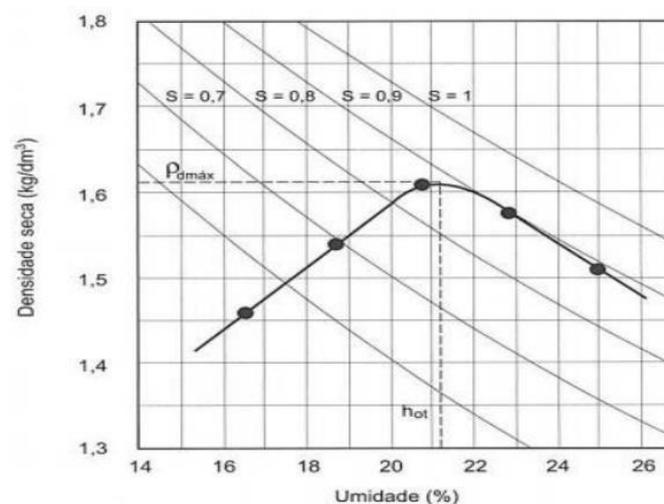


Figura 1 – Curva de compactação obtida em ensaio (PINTO, 2006).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## Ensaio de Campo

O controle tecnológico em campo é fundamental para garantir a execução correta do trabalho. Teles *et al* (2022) relatou a dificuldade de trabalhar em obras geotécnicas em períodos de inverno e ocorrência de chuvas intensas. Em sua pesquisa apresentou a ocorrência de fenômeno de borrachudo, tendo de ser removida as camadas de solo já compactadas e substituindo por solo de outra jazida e feito uma mistura de 50% de solo e 50% de pó de brita, conseguindo assim, trabalhar com a umidade mais próxima da umidade ótima. A Figura 2 mostra o acúmulo de água ocasionado pelas fortes chuvas e do mal drenagem na obra, afetando diretamente na umidade do solo.



Figura 2 – Camada compactada após chuva (TELES *et al.*, 2022).

## METODOLOGIA DOS ENSAIOS

### Local da Pesquisa

O local da pesquisa foi realizado em uma concessionária que presta serviço de distribuição de energia elétrica do Município de Santo Augusto/RS conforme mostra a Figura 3. Não foram realizados ensaios de caracterização do solo local, mas regionalmente há a incidência predominante de um Nitossolo vermelho. Posteriormente na região de estudo serão executadas pavimentações que terão influência significativa para os ensaios realizados durante esse estudo.



Figura 3 – Local da obra (Google Maps, 2023)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## Ensaio de Proctor

O ensaio de Proctor Normal do solo utilizado na obra foi realizado no laboratório de engenharia civil da cidade de Passo Fundo conforme a NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação. A massa específica aparente máxima seca foi de  $1,590 \text{ g/cm}^3$  e umidade ótima de 26,0%.

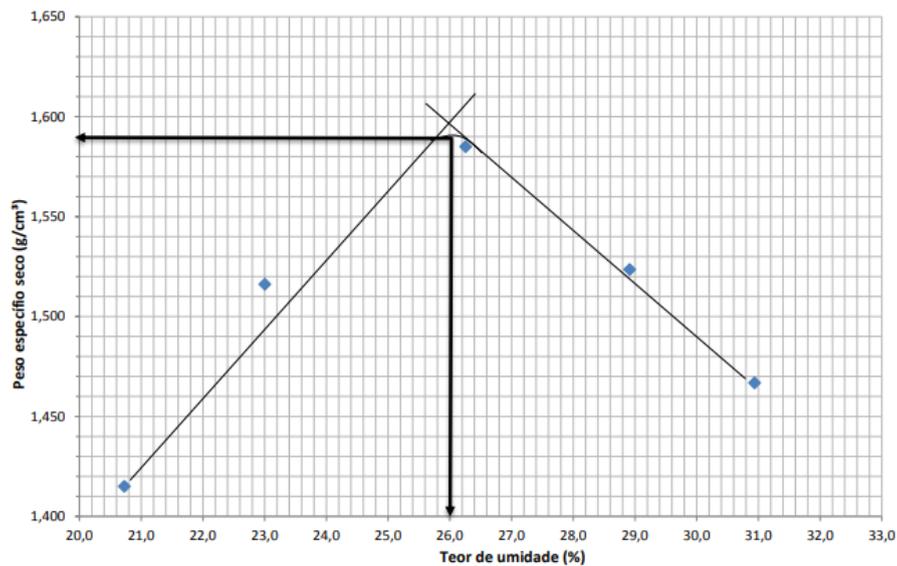


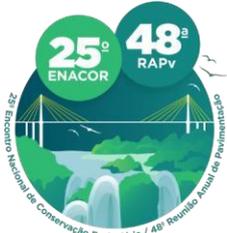
Figura 3 – Ensaio de Proctor normal

## Ensaios de Campo

Em campo foram realizados ensaios de cilindro de cravação conforme a NBR 9813: Solo – Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação, 2016. Com a amostra retirada do solo foi possível calcular a umidade do solo, a massa específica seca e com esses dados foi possível calcular o grau de compactação. Em campo admite-se uma variação na porcentagem de 2 para mais e 2 para menos a umidade do solo, quando comparada com a umidade obtida em laboratório. A Figura 4 mostra o operador realizando o ensaio.



Figura 4 – Ensaio de cilindro de cravação (Autores, 2023).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Para a compactação do solo foram utilizados equipamentos como o compactador de percussão a gasolina, mais conhecido como “sapo”. A Figura 5 mostra o operador realizando o trabalho.



Figura 5 – Compactação do solo (Autores, 2023).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

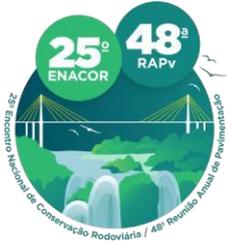
A seguir são apresentadas as tabelas demonstrando os dados obtidos através das análises efetuadas para os pontos de ensaio estudados.

Tabela 01 – Dados Boca de Lobo 01 (Autores, 2023).

Boca de lobo 01					
Ponto	Elevação (cm)	Umidade (h) %	Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)
1	30	22	1,662	1,658	104,29
2	60	25,5	1,639	1,635	102,85

Tabela 02 – Dados Boca de Lobo 02 (Autores, 2023).

Boca de lobo 02					
Ponto	Elevação (cm)	Umidade (h) %	Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)
1	30	26,7	1,72	1,715	107,89
2	60	27,1	1,654	1,649	103,72
3	90	24	1,72	1,716	107,92
4	120	29,4	1,655	1,65	103,76
5	150	27,4	1,703	1,699	106,84



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Tabela 03 – Dados Boca de Lobo 03 (Autores, 2023).

Boca de lobo 03					
Ponto	Elevação (cm)	Umidade (h) %	Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)
1	30	27	1,674	1,67	105,02
2	60	27,5	1,745	1,741	109,47

Tabela 04 – Dados Boca de Lobo 04 (Autores, 2023).

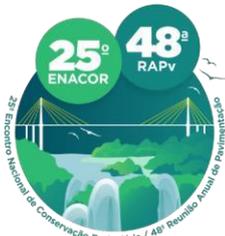
Boca de lobo 04					
Ponto	Elevação (cm)	Umidade (h) %	Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)
1	30	24	1,638	1,635	102,8
2	60	25	1,732	1,727	108,64
3	90	26	1,724	1,72	108,15
4	120	24,5	1,619	1,615	101,58

Tabela 05 – Dados Caixa de Passagem Pluvial (Autores, 2023).

Caixa de Passagem Pluvial					
Ponto	Elevação (cm)	Umidade (h) %	Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)
1	30	20	1,588	1,584	99,65
2	30	18	1,578	1,575	99,07

Tabela 06 – Dados Muro de Contenção C1 (Autores, 2023).

Muro de Contenção C1					
Ponto	Elevação (cm)	Umidade (h) %	Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)
1	30	27,8	1,702	1,698	106,77
2	30	28,6	1,704	1,699	106,83
3	30	29,2	1,666	1,661	104,47
4	30	30,5	1,646	1,641	103,18



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Tabela 07 – Dados Muro de Contenção C2 (Autores, 2023).

Muro de Contenção C2					
Ponto	Elevação (cm)	Umidade (h) %	Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)
1	60	16,1	1,607	1,604	100,88
2	60	28,2	1,702	1,697	106,92
3	60	27,8	1,674	1,67	105

Tabela 08 – Dados Valetas (Autores, 2023).

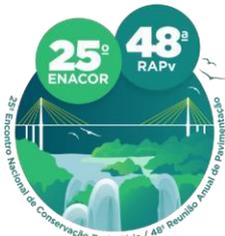
Valetas					
Ponto	Elevação (cm)	Umidade (h) %	Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)
1	30	28,9	1,664	1,659	104,35
2	30	27,5	1,71	1,705	107,23
3	60	21	1,596	1,592	100,14
4	60	18	1,614	1,611	101,32
5	60	20	1,617	1,613	101,47

Durante a execução dos ensaios citados anteriormente, houve alguns pontos que apresentaram discrepâncias quanto às margens estimadas para o grau de umidade, essas inconsistências aconteceram principalmente por dois motivos. O primeiro motivo foi a realização dos ensaios em alguns pontos ocorrendo no período de uma semana após a compactação do solo, o que resultou valores abaixo das margens definidas, e o segundo motivo de inconsistências foi a adição de uma quantidade excessiva de água para a compactação do solo, o que resultou em valores extrapolando as margens definidas.

O grau de compactação para todos os ensaios foi atingido, pois a empresa contratante solicitava que o mesmo fosse de 98% do Proctor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle tecnológico para ensaios de compactação de solo é de extrema importância para evitar problemas e tomada de decisões equivocadas em obra. No decorrer da pesquisa foi detectada a diferença significativa da umidade do solo quando não realizado o ensaio logo ao final da compactação do mesmo, como também a dificuldade de acertar a quantidade de água a ser adicionada quando o solo estiver seco. O grau de compactação para todos os ensaios foi atingido, pois a empresa contratante solicitava que o mesmo fosse de 98% do Proctor, também se concluiu a importância de compactar o solo com sua umidade mais próxima da umidade ótima (26,0%) para evitar a ocorrência do fenômeno do borrachudo no solo.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

\_\_\_\_\_. **NBR 9813**: Solo – Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação, 2016.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos**. Volume I, Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S.S., 1975.

EMBRAPA. Circular Técnica 39: Manejo e conservação do solo e da água. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/41476/1/Trab225-04CircularTec39-SantoAugusto.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2023.

GOOGLE MAPS. Escala variável. São Paulo: Google, 2023. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Subesta%C3%A7%C3%A3o+RGE+Santo+Augusto/@-27.8612006,-53.7867192,576m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x94fc0dfdc13371ff:0x159985a987bca85e!8m2!3d-27.8615207!4d-53.7859879!16s%2Fg%2F11f17q503z?entry=tu>>. Acesso em: 02 jun. 2023

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos solos em 16 aulas**. 3 ed São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

TELES, Esther C. F. *et al*. Compactação de solos de uma obra do município de Marau/RS: estudo de caso. In: Anais da II Mostra de Iniciação Científica da Faculdade CESURG Marau. Marau, 2022.