

ANÁLISE DE PARÂMETROS DO SOLO DE UM TERRENO: UMA PESQUISA REALIZADA EM LABORATÓRIO

ANALYSIS OF THE SOIL PARAMETERS OF A LAND: A RESEARCH CARRIED OUT IN THE LABORATORY

DOI: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp3043-3051> Recebido em: 27.11.2023 | Aceito em: 12.12.2023

Raimundo Luna Neres^a, Ótávio Henrique Carvalho Costa^a

Universidade CEUMA
*E-mail: luna.neres@ceuma.br

RESUMO

O solo que habitualmente vemos é uma junção de partes líquidas, sólidas e gasosas, com comportamentos dinâmicos e formas tridimensionais. Formados por matéria orgânica, como restos de plantas e animais, juntamente com minerais. Neste artigo pretende-se mostrar se o solo do terreno situado na rua A, bairro Jardim Renscença da cidade de São Luís/MA reúne condições para a construção de uma casa de alvenaria. Sendo assim, objetiva-se pesquisar em laboratório da Universidade CEUMA se o tipo desse solo é adequado para a referida construção. Para isto, seguiu-se três passos fundamentais: a configuração da amostragem no campo, a determinação dos ensaios em laboratório e a seleção do método apropriado para prever valores em locais não medidos, onde as pequenas parcelas de solo recolhido configurem como sendo um valor absoluto para o entorno estudado. Também foram realizados testes de compactação e de teor de umidade, pois ela influencia diretamente no comportamento da amostra. A pesquisa revelou que o solo estudado é do tipo arenoso e o nível de umidade foi de aproximadamente 8,17% considerada excelente para a referida construção, de acordo com o Manual de Técnicas de Pavimentação. Entretanto, este tipo de pesquisa se faz necessária para se identificar as características dos solos, haja vista que, a estrutura do subleito pode não desempenhar sua função estabelecida no projeto, resultando em custos adicionais com a manutenção.

Palavras-chave: Testes de compactação; Ensaios em laboratório; Tipos de solo.

ABSTRACT

The soil we usually see is a combination of liquid, solid and gaseous parts, with dynamic behavior and three-dimensional shapes. Formed by organic matter, such as plant and animal remains, together with minerals. This article intends to show if the soil of the land located on Rua A, Jardim Renscença neighborhood in the city of São Luís/MA meets conditions for the construction of a masonry house. Therefore, the objective is to research in the laboratory of the CEUMA University if the type of this soil is suitable for the mentioned construction. For this, three fundamental steps were followed: the configuration of the sampling in the field, the determination of the tests in the laboratory and the selection of the appropriate method to predict values in places not measured, where the small parcels of collected soil configure as an absolute value. for the studied environment. Compaction and moisture content tests were also carried out, as it directly influences the behavior of the sample. The research revealed that the studied soil is of the sandy type and the humidity level was approximately 8.17% considered excellent for the mentioned construction, according to the Manual of Paving Techniques. However, this type of research is necessary to identify the soil characteristics, given that the subgrade structure may not perform its function established in the project, resulting in additional maintenance costs.

Keywords: Compression tests; Laboratory tests; Types of soil.

INTRODUÇÃO

O estudo de solos tem sua relevância pois, segundo (VELOSO, 2014), permite a identificação dos diferentes tipos, as causas de ocorrências e às vezes se observar as deformações de construções. Principalmente, das que vem sofrendo modificações por interferências antrópicas. Além de ser considerados como um dos principais insumos para construção.

Na engenharia civil é inegável pois, além de ser utilizado como material de consumo, ele é quem absorve todos os esforços advindos de cargas geradas por construções aponta Zaparte (2014).

Por outro lado, segundo (LEÃO; PAIVA, 2018) as forças geradas nas rodovias são diretamente transferidas para o solo, que deverá ter resistência suficiente para suportar todo essa solicitação. No entanto, ao receberem essas tensões impostas, eles podem sofrer deformações em forma de recalques, obrigando dessa forma, aos profissionais preverem os seus futuros comportamentos, ou seja: construir mapas de identificação do tipo de solo e o tipo de comportamento na região em estudo e assim definir novos parâmetros de viabilidade para poder reorientar novas estratégias de prospecção que seja garantida a segurança e estabilidade para evitar futuros transtorno na construção e perda de dinheiro.

Segundo (LASLETT & McBRATNEY, 1990), para o estudo do solo, é essencial seguir três passos fundamentais: a configuração da amostragem no campo, a determinação dos ensaios de laboratório e a seleção de um método apropriado para determinar os valores em locais não medidos.

Inferese que as pequenas parcelas de solo recolhido configurem como sendo um valor absoluto para todo o estudo. Testes como o de compactação (proctor) está relacionado com a porosidade e densidade de um solo, onde, dependendo do tipo de energia, quantidade de passadas ou golpes o mesmo terá diferentes valores de compactação. O teor de umidade e umidade ótima de um solo tem grande influência no processo de compactação, uma vez que, quanto maior a energia de compactação menor será a quantidade de água para que ele atinja níveis de resistência desejados no projeto (PINTO, 2000).

Dessa forma, o volume total de um solo é constituído da porção de partículas minerais e orgânicas encontradas no torrão e da quantidade de poros entre os grãos no qual podem ser ocupados por ar e água. Pode-se afirmar ainda, que ele está bem compactado quando a proporção de vazios em sua grande parte é expulsa da amostra total, afirma (VANI, 1987). O processo de compactação leva em conta a grande influência que a água

exerce sobre os grãos.

De acordo com a ABNT (1986) no ramo seco da curva de compactação, parte na qual possui pouco índice de umidade, a água dos seus poros está retida por forças de absorção e pelo efeito capilar, a tensão da água tende a solidificar o solo mediante a coesão dificultando sua desagregação e o movimento das partículas para um novo rearranjo e como consequência apresentando uma redução da porosidade.

À medida que o percentual de umidade aumenta, esta água irá servir como um lubrificante para que as partículas deslizem entre si acomodando-se em um arranjo mais compacto e denso. A partir de certo teor de água a compactação não consegue mais expulsar o ar dos poros, bem como a presença de água livre, que absorve parte considerável da energia aplicada e dificulta a compactação, como aponta Barden e Sides (1970).

Outra variável a ser considerada no processo de compactação é a granulometria dos solos (CRISPIM, 2007), os quais cuja constituição seja de partículas de mesma dimensão, são menos passíveis ao processo de compactação, em comparação com aqueles que possui um solo bem graduado, onde há mistura de argila, silte e areia, ou seja: se deve ao fato de que as partículas de tamanhos diferentes têm maior probabilidade de se arranjar e preencherem os poros, quando submetidas a uma determinada pressão no solo.

Quanto aos aspectos de solos de tipos diferentes deve-se levar em consideração a faixa de abrangência de comportamentos que essas deformações podem ocasionar em algumas construções. Conforme Batista (2022) os transtornos causados por uma má gestão e trabalhabilidade dos solos impactam na economia, segurança, conforto, principalmente, no uso e ocupação do espaço, seja como base das potencialidades econômicas, lugar de lazer e/ou moradia.

Portanto, antes de qualquer trabalho de pavimentação, um diagnóstico consubstanciado em laboratório, realizado por meio de análise de todas as variantes envolvidas no processo, deve ser feita de tal forma que os valores obtidos se possam comparar com os dados convencionados pelos órgãos competentes. E, assim classificaremos o tipo solo desejado, observando se os valores associados as suas características não alteram totalmente o projeto de pavimentação em estudo.

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi investigar se o tipo de solo em estudo é propício à construção de uma casa de alvenaria, bem como o teor de umidade desse solo, seus comportamentos e suas utilidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

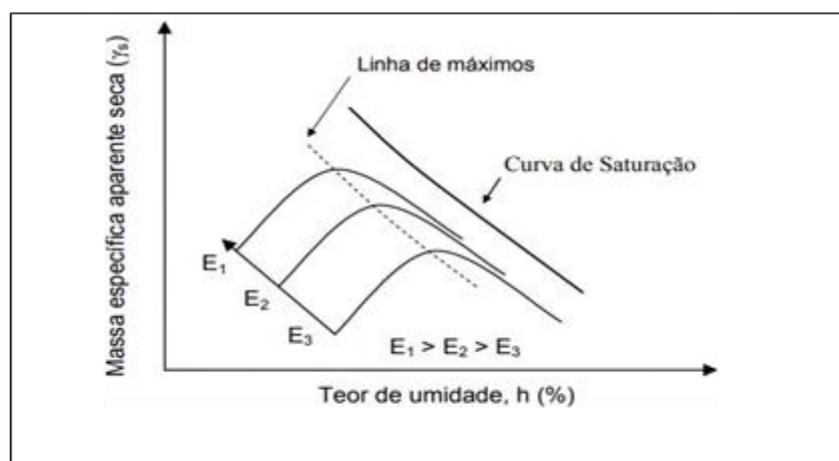
Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo, segundo (RICHART; FILHO et al, 2005) precisam ser quantificados, para isso utiliza-se diferentes propriedades físicas relacionadas com a forma e com a estabilidade estrutural do solo. Para esses autores, a compactação do solo se faz necessária pois, pode ter partes constituídas de vazios entre as camadas e, de acordo com estes autores ao submeter-se a compactação acaba reduzindo-se a sua porosidade total, tamanho e continuidade dos poros.

Dessa forma, A compactação é entendida como ação mecânica por meio da qual se impõe uma especificidade dos ramos da engenharia ao solo uma redução de seu índice de vazios. Embora seja um fenômeno similar ao do adensamento, pois ambos se manifestam na compressibilidade dos solos, no adensamento a redução de vazios é obtida pela expulsão

da água intersticial, num processo natural ou artificial, que ocorre ao longo do tempo, e que pode durar centenas de anos. Na compactação esta redução ocorre, em geral, pela expulsão do ar dos poros, num processo artificial de pequena duração (TRINDADE, T.P; CARVALHO, C.A.B.; LIMA, D.C.; SILVA, C.H.C.; BAROSA, P.S.A, 2002).

Estudos geotécnicos abordando a compactação, com embasamento na Teoria de Compactação de Ralph Proctor (1993) é um indicativo que serve de controle de compactação. Haja vista que, pode-se concluir o nível com que a densidade do solo é compactada, conforme uma determinada energia de compactação, dependente do teor de umidade do solo. Nessa linha de pensamento, quanto maior a energia de compactação menor será os valores referentes a umidade ótima de um solo, em contrapartida o seu valor para a densidade aumenta. Na figura 1, mostra-se esse aspecto de influência de energia de compactação.

Figura 1. Influência da energia de compactação nas curvas de densidade



Fonte: Adaptado de (DNIT, 2006), 2023.

Em geral, o ramo seco da curva de compactação, por forças de atrito entre partículas criadas por tensões capilares existentes, opõe-se a resistência aos esforços de compactação, resultando em índices de vazios relativamente elevados e massas específicas aparentes secas baixas; porém, na medida em que se acrescenta água ao solo ocorrem efeitos de lubrificação entre suas partículas que produzem arranjos mais compactos (PROCTOR, 1933).

Além disso, produzindo-se incrementos sucessivos no teor de umidade implicam em diminuição de vazios até um ponto em que eles são mínimos e a

densidade é máxima, alcançando-se, portanto, o par de valores massa específica aparente seca máxima e umidade ótima. Esses acréscimos no teor de umidade além deste ponto, segundo Proctor (1993) é que caracterizam em redução das forças capilares e afastamento inter partículas, ficando o solo menos denso e mais plástico.

A compactação tem por objetivo a transformação do solo in natura em um material com uma densidade mais elevada, ou seja, aumentar o peso específico aparente. Como consequência, ocorrem melhorias substanciais nas propriedades de interesse da engenharia, tais como: aumentar a resistência ao cisalhamento, reduzir

a compressibilidade e aumentar a resistência à erosão. Várias são as obras civis nas quais se empregam solos compactados afirma Moreno (1996). Como por exemplo:

- a) os aterros compactados na construção de estradas;
- b) o solo de apoio de fundações do tipo sapata. os terraplenos dos muros de arrimo;
- c) os reaterros das valas escavadas a céu aberto;
- d) aterros sanitários; e
- f) instalações temporárias.

Conseqüentemente, a compactação visa melhorar as características dos solos aplicados em obras de engenharia civil. Sob esse ponto de vista, pode-se dizer que cabe ao projetista de uma obra de terraplenagem especificar qual a diminuição necessária do índice de vazios para um determinado projeto de engenharia, com isso é possível definir a melhor forma de reduzi-lo, após a obtenção dos parâmetros de projeto, como destacam Rico e Del Castillo (1976). Em geral, isso é feito por meio de ensaios de compactação realizados em laboratório.

Para esta solução deve-se incluir não só a seleção dos equipamentos de compactação, mas também a definição das etapas do processo construtivo e a gestão da compactação em obra (CRISPIM, 2007). Assim, deve-se seguir rigorosamente os seus números, dado que, se esse limite for ultrapassado, além de gerar gastos econômicos, o solo perderá a sua capacidade de carga.

Em qualquer tipo de construção, o solo pode influenciar na curva de compactação, pois, a granulometria bem graduada tem a característica de apresentar menores valores de umidade ótima, quando comparados aos solos argilosos. Em geral, os solos argilosos apresentam umidades ótimas mais elevadas e específicas aparentemente secas e máximas menores do que os solos siltosos e arenosos (LAMBE, 1979).

A geotecnia dos solos por apresentarem comportamentos não lineares e pela sua composição química conter diversos minerais, em locais relativamente próximos, eles se distinguem um dos outros (HOFFMANN, 2004). Logo torna-se uma tarefa difícil de analisar e categorizar o solo. Esse tipo de estudo baseia-se em técnicas do tipo semiempíricas realizadas por meio de observações, com esse procedimento consegue-se analisar e classificar o comportamento do solo de forma clara e concisa.

Caminho Metodológico

Inicialmente escolheu-se, aleatoriamente, para realizar o estudo do solo definido nesta pesquisa uma área localizada ao noroeste da ilha de São Luís, na rua A no

bairro Jardim Renascença que apresenta as seguintes coordenadas 2°30'19" S de latitude sul e 44°17'10" de longitude oeste. Dista de 1,77 km do bairro São Francisco, cercada pelos bairros Cohafuma, Ponta D'areia e Ponta D'farol em São Luis/MA.

Essa área se tornou de interesse por apresentar solos instáveis para construção, haja vista que possui grandes quantidades de manguezais, num perímetro de aproximadamente 2,1 km, e com aproximadamente 76% recoberta por vegetação.

Devido a sua localização em zona de baixa latitude, esse ambiente está sujeito a intensas irradiações solares que é responsável pelo aquecimento de massas de ar, dos solos e marés, fenômeno esse que ocorre de forma heterogeneia devido as diferenças de latitude.

Para isso, fizemos o levantamento da temperatura e da umidade do ar nessa região e constatou-se que as temperaturas médias variam entre 30 °C e 24 °C. Assim como, a umidade relativa do ar fica aproximadamente em 80%.

Com a amostra ainda in natura, foi realizado um preparo da amostra para os ensaios, com o objetivo de retirar os meterias estranhas, como por exemplo, os compostos orgânicos. Com isso, poderíamos eliminar possíveis interferências nos resultados.

Primeiramente o solo foi submetido ao processo de secagem a uma temperatura de aproximadamente 60° celsius. Após a secagem, com o solo seco, ele passou por um peneiramento em duas peneiras: uma maior e outra menor, com as métricas das aberturas correspondentes a 19 mm e 4,8 mm, respetivamente. Esse procedimento se fez necessário pois, desejávamos que todo o material retido na primeira peneira fosse classificado como grosso, em contrapartida os ficassem na segunda peneira fossem categorizados como material médio. Além disso, definimos que todo o material que ficasse retido no fundo do jogo de peneiras fosse categorizado como material fino.

Esse procedimento foi preciso ser definido, uma vez que a fração que compunha o solo fino apresenta uma grande facilidade de aderir em grãos maiores.

Após o peneiramento todo o material grosso e médio fica apiloado no almofariz de forma que apenas os grãos finos se desagreguem. Isso evitaria que os grãos grossos não fossem aplastados.

Com as frações granulométricas obtidas de cada material, retirou-se uma primeira amostra para que fosse coletado a umidade hidrosópica, para isso colocou-se numa estufa por 24 horas, a fim de que realizássemos o encapsulamento e pesagem.

Depois realizou-se o peneiramento com aberturas

de 2 mm no qual foi recolhido 2 kg, que representou a amostra total, tendo-se desta amostra obtido como resultado uma granulometria variada e proporcional.

Desta amostra total se separou 200 g de solo para ser passada novamente numa peneira de 0,75 mm, com o objetivo de se compor uma amostra parcial.

Após esta fase e dando-se prosseguimento ao estudo, as duas frações, amostra total e amostra parcial ficaram imersas em água por 24 horas, pois, com isso, após serem lavadas se teria a condição de que toda a silte e argila fossem expulsas. Novamente foi realizado o peneiramento para se obter a determinação da curva granulométrica.

Após essa etapa de separação dos materiais: grossos, médios e finos, ambos foram colocados em um cilindro metálico para a realização do ensaio de proctor.

Depois, o solo foi compactado com exatamente 26 golfe a uma altura de 30,5 cm, pois, queríamos verificar se a compactação atendia aos nossos objetivos de estudo. Além disso, realizou-se também a coleta dos torrões das amostras selecionadas afim de se medir o teor de umidade. Nessa teia de investigação, observou-se que, cada amostra possui diferentes teores de umidade, fator esse que determina o gráfico da curva da umidade considerada ótima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período climatérico é onde ocorre a fase de transição na fisiologia feminina, favorecendo assim uma redução das Na umidade higroscópica, quando certa quantidade de solo é coletada e deixada para ser seca, ela terá o pendor de perder água até um certo limite, ou seja, mesmo deixando a amostra secando por longos períodos esse torrão ainda terá umidade residual. De acordo com o tipo de solo essa umidade terá valores maiores, como por exemplo, os solos argilosos, já em solo de granulometria grossa, como no caso das areias essa umidade terá valores menores.

Para a determinação a partir de qualquer amostra seca, numa razão entre peso do solo úmido (P_w) com peso com solo seco (P_s) resultando em um percentual, utiliza-se a equação:

$$W = \frac{P_w - P_s}{P_s - P_{cápsula}} \times 100$$

Este procedimento é definido na norma NBR 6457/86, em que o resultado deve ser expresso com apenas uma casa decimal. Embora na norma não cite, deve-se desprezar os valores destoante, como observa-se na tabela 1.

Tabela 1. Teor de umidade higroscópica

CÁPSULA N°	59	60
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	151,1	152,7
PESO BRUTO SECO (g)	150,6	151,7
TARA DA CÁPSULA (g)	27,2	27,0
TEOR DE ÚMIDADE (g)	0,51	1,02

Fonte: os autores (2023)

Como a umidade higroscópica relaciona-se com as condições atmosféricas, faz-se a análise do que esse solo vinha sofrendo com intensas precipitações, uma vez que durante determinados meses do ano são frequentes fortes chuvas na cidade de São Luís, o que resulta em solo com altos teores de umidade.

Quanto a análise granulométrica, consiste na

determinação do diâmetro de diversas partículas existentes no solo. Em que a maneira mais direta de se obtê-la é passando-as por várias peneiras predeterminadas, ou seja, realizando o peneiramento de forma combinada, separando em etapas: peneiramento fino e grosso.

Dando prosseguimento ao estudo, construiu-se as tabelas 2 e 3 com os dados obtidos do peneiramento.

Tabela 2. Peneiramento dos grãos finos

PENEIRA		PESO RETIDO	ACUMULADO	% PASSANTE
POL.	MM	COL.1	COL.2	COL.3
N° 40	0,42	24,8	173,6	73,7
N° 90	0,16	*	*	*
N° 200	0,074	131,9	41,7	17,7

Fonte: os autores (2023)

Vale ressaltar que os valores que estão com o asterisco (*), significa que não foi possível realizar o peneiramento com o número respectivo da peneira.

Tabela 3. Peneiramento dos grãos grossos

PENEIRA		PESO RETIDO	ACUMULADO	% PASSANTE
POL.	MM	COL.1	COL.2	COL.3
3"	76,2	*	*	*
2" 1/2	63,5	*	*	*
2"	50,22	*	*	*
1" 1/2	38,1	*	*	*
1"	25,4	0	1986,4	100,0
3/4"	19,1	100,4	1886,0	94,9
1/2"	12,7	0	1886,0	94,9
3/8"	9,5	49,6	1836,4	92,4
4"	4,8	116,3	1720,1	86,6
10"	2,0	47,1	1673,0	84,2

Fonte: os autores (2023)

Após os resultados exemplificados nas tabelas 2 e 3, procedemos, o processamento dos dados por meio de um software, com o objetivo de obter os percentuais que determina a faixa granulométrica de solo, conforme mostra-se na tabela 4.

Tabela 04. Percentuais de grãos

PED. %	15,8
AREIA %	66,5
SIL. + ARG. %	17,7

Fonte: os autores (2023)

Solos de grãos grossos do tipo pedregulho e de areia, indica que menos de 50% da amostra total passaram pela peneira Nº 200. Os símbolos dos grupos iniciam-se com um prefixo 'G' ou 'S', em que, o 'G' representa pedregulho ou solo pedregulhoso e 'S' representa areia ou solo arenoso.

Pedregulhos têm diâmetros máximos entre 2,0 mm e 60 mm e podem ser identificados visualmente. Seu comportamento geral pouco varia com a quantidade de água que envolve os grãos. São solos praticamente desprovidos de coesão, além disso, sua resistência à deformação depende fundamentalmente de entrosamento e atrito entre os grãos e da pressão normal (à direção da força de deformação) que atua sobre o solo (PINTO, 2006).

Já os solos de granulação fina, com grãos de formas lamelares, alongadas e tubulares (de elevada superfície específica), cuja constituição principal é de

minerais argílicos (caulinita e ilita) que formam aglomerados cristalinos (KÄMPF; MARQUES, 2012). Devido à finura, forma e composição mineralógica de seus grãos, o comportamento geral das argilas varia sensivelmente com a quantidade de água que envolve tais grãos. Esses solos apresentam determinada gama de umidade, características marcantes de plasticidade, permitindo a mudança de forma (moldagem) sem variação de volume, sob a ação de certo esforço.

Nos solos finos sua coesão é função do teor de umidade: quanto menos úmidas (mais secas), maior a coesão apresentada, podendo variar o valor da coesão (do estado úmido ao seco), numa dada argila, entre limites bem afastados.

Nessa teia de investigação, seguindo a tabela TRB, classificamos o solo estudado de acordo com seus percentuais, como mostrados na tabela 5.

Tabela 5. Tabela TRB adaptada

Classificação Geral	SOLOS GRANULARES (P200 < 35 %)							SOLOS SILTO-ARGILOSOS (P200 > 35%)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
P10	< 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P40	< 30	< 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-
P200	< 15	< 25	< 10	< 35	< 35	< 35	< 35	> 35	> 35	> 35	> 35
LL	-	-	-	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40
IP	< 6	< 6	NP	< 10	< 10	> 10	> 10	< 10	< 10	> 10	> 10
Índice de grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		areia fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Classificação como subleito	Excelente a bom						Regular a mau				
Podemos acrescentar à estes o tipo A-8:solos orgânicos/turfas, imprestáveis como bases de pavimentos											

Fonte - Manual de Técnicas de Pavimentação, 2023.

Exemplificações dos dados da tabela 5:

- 1) P10, P40 e P200 são os % que passam nas peneiras #10, #40 e #200;
- 2) LL e IP referem-se à fração passando na # 40;
- 3) Para o subgrupo A-7-5: IPLL-30;
- 4) A classificação é feita da esquerda para a direita, razão por que o A-3 é colocado antes do A-2, sem que isso signifique superioridade.

Nessa classificação os solos são reunidos em grupos e subgrupos. Os "solos granulares" compreendem os grupos A - 1; A-2, A-3 e os "solos finos" os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, três dos quais divididos em subgrupos. Na "tabela TRB" são indicados os tipos de material e a forma de identificação e classificação.

Classificamos o solo estudado, de acordo com a tabela TBR do Manual de Técnicas de Pavimentação, como sendo um solo A-2-4, ou seja: do tipo arenoso, com umidade em torno de 8,17 %, P200< 35% uma vez que apresenta materiais granulares com 35% ou menos. Sendo, portanto, recomendado para ser utilizados em subleitos de pavimentações, pois apresenta excelentes módulos de dissipação de energia, tornando-os estáveis. Outro fator abordado é o grau de compactação de um solo, pois ele

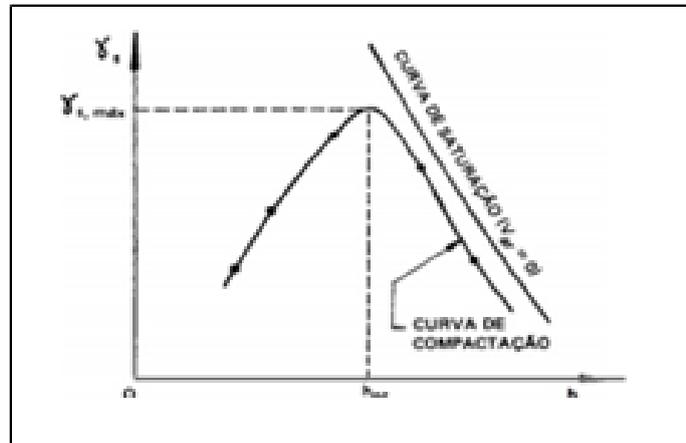
pode interferir diretamente no comportamento de um subleito (BRASIL, 2006).

Quanto a compactação é definida como o aumento da densidade do solo em um mesmo volume com a redução da sua porosidade. Isso ocorre quando o solo é submetido a um grande esforço ou compressão, expulsando o ar dos poros e rearranjando as partículas (LAMBE; WHITMAN, 1979).

Construímos a curva de compactação a partir de valores da umidade ótima e o peso específico seco do solo. Nesse caso, cada condição de umidade e cada determinada energia de compactação foi representado na tabela 5 de modo que se pôde estabelecer uma umidade ótima.

Na curva de compactação cada ponto representado indica um teste com umidade diferente, que após traçar uma curva interpolando esses pontos descrevem aproximadamente um formato de parábola com concavidade voltada para baixo indicando que há um ponto de peso específico máximo para uma umidade ótima. Como sempre fica um pouco de ar existente nos vazios, a curva de compactação nunca será igual para cada tipo de solo. A curva de compactação em relação à curva de saturação é representada na figura 2.

Figura 2. Curva de compactação



Fonte: adaptado de CAPUTO (2010).

Denomina-se ramo seco a curva abaixo da umidade ótima (hot) representada na figura 6, pela curva ascendente e ramo úmido acima da umidade ótima representada pela curva descendente. No ramo seco há um acréscimo da massa específica aparente seca devido ao rearranjo das partículas lubrificadas pela água. Já no ramo úmido, com uma concentração maior de água, a água passa a amortizar a compactação levando a um decréscimo da massa específica aparente seca.

Neste ensaio para a determinação da curva, utilizamos do ensaio de proctor onde foram usados 26 golpes. A depender da quantidade de golpes os valores para os gráficos podem alterar. Para isso, usamos 5 cilindros com volumes e pesos determinados variando o percentual de umidade. Dessa forma, foi possível estabelecer o gráfico para a determinação da umidade ótima conforme dados apresentados na figura 3.

Figura 3. Determinação da umidade
Umidade (%) vs. Densidade Aparente Seca Máx. (g/cm³)

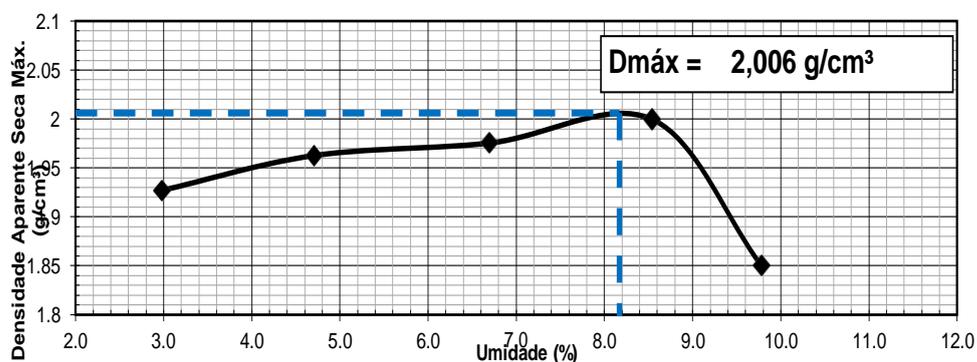


Figura 3: Umidade ótima

Fonte: os autores (2023)

Os valores destacados na figura 3 mostram que o nível de umidade ótima varia em torno de 8,17%, o que significa que se necessita de 907 ml para que a amostra atinja o seu valor ideal. Dessa forma, valores acima de

8,17% tornam o solo líquido, ou seja: ele não irá ter capacidade de resistir a qualquer esforço que seja solicitado. A menor resistência encontrada nos corpos de prova compactados em cinco camadas (no ponto 03) se deveu, provavelmente, à heterogeneidade do grau de compactação ao longo da altura desses corpos e a pouca quantidade de água, uma vez que na sua ausência, não foi possível expulsar completamente os vazios.

Devido ao atrito das partículas, com as paredes do cilindro de compactação e entre si, parte da energia de compactação pode ter sido absorvida ao longo do ensaio pelas camadas superiores do corpo de prova, produzindo-se, então, grau de compactação maior no seu topo e menor na sua base. Próximo ao ponto 08, obtivemos o maior grau de densidade, que confere ao solo uma quantidade menor de vazios, uma vez que se torna menos permeável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa revelou quanto aos resultados analisados que independentemente do tempo de estudo, obtivemos um índice bom, em relação à qualidade do solo para o uso em subleito segundo a tabela TBR, isso demonstra que os nossos objetivos foram alcançados. Por outro lado, o tipo a classificação e o local analisado exemplificam com um certo grau de certeza os resultados obtidos de solos com um percentual diversificado de grãos, conforme se observa nas tabelas apresentadas ao longo do texto.

A pesquisa revelou ainda, que as características dos solos podem influenciar seus comportamentos, caso não se realize uma análise apurada do tipo de solo, haja

vista que uma estrutura de um subleito pode não desempenhar sua função estabelecida no projeto, resultado em custos adicionais com manutenção, aliando-se como aprendizado para uma contribuição de investigação do funcionamento dessas características.

Constatou-se que a área estudada se encontra em um cenário estável quando se relaciona as questões dos parâmetros referentes ao solo, justificando – se, portanto, a necessidade da importância da pesquisa.

No entanto, vale ressaltar que, caso ocorra modificações por intermédio humano ou natural, a área poderá sofrer alterações nos seus parâmetros abordados uma vez que configure o avanço destas aparições outros estudos deverão ser feitos. Considerando que nesta pesquisa se buscou analisar apenas o efeito do diâmetro e número de camadas nos parâmetros de compactação, adotou-se a compactação estática como referência para a confecção dos corpos de prova, obtendo-se a respectiva energia de compactação do modo estático a partir do modo dinâmico convencional, dessa forma, consideramos que os resultados da pesquisa foram exitosos e atendeu às nossas expectativas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade CEUMA por oportunizar seus laboratórios de ensino e pesquisa para que pudéssemos realizar esta pesquisa. Agradecemos também ao PIBIC/CEUMA/FAPEMA pela bolsa de Iniciação Científica recebida durante a realização do Projeto de Pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 6457, preparo das amostras para ensaios de compactação e caracterização, 1986.

ABNT. NBR 7182, ensaios de compactação, 1986.

ABNT. NBR 6508, grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm – determinação da massa específica, 1986.

BARDEN, L.; SIDES, G. R. Engineering behavior and structure of compacted clay.

BATISTA, Larissa Santana Batista. **Efeitos da incorporação de resíduos da mineração nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade em pavimentos intertravados.** São Paulo, 2022.

BERNUCCI, Liedi Bariani, et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros** – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BRASIL. **Departamento Nacional de Infra-estrutura De Transportes.** Manual Restauração de Pavimentos Asfálticos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006, 310 p

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações.** 6.ed. Vol. 1. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro; GB/2010.

CRISPIM, Flavio Alessandro Crispim. **Compactação de solos.** Minas Gerais, Brasil. 2007.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under**

long-term tillage and wheeltraffic. 1994. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Science) – Michigan State University, East Lansing, EUA.

GUIA MAPA: Mapa do Bairro Jardim Renascença, São Luís - Maranhão, 2022

HOFFMANN, Marcelo Vieira H. Efeito dos Argilo-Mineirais do solo na matéria prima dos sistemas construtivos com solo cal. Salvador – Bahia, 2004.

KÄMPF, N.; MARQUES, J.J.; CURI, N. Mineralogia dos solos brasileiros. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; Pedologia: fundamentos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. Soil mechanics. New York, USA: John Wiley, 1979, 582 p.

LASLETT, G.M. & McBRATNEY, A.B. Estimations and implications of instrumental drift, random measurement error and nugget variance of soil attributes - a case study for soil. **Journal of SoU Science**, Oxford, 41: 451-471, 1990.

LEÃO; PAIVA. Marcio F. L.; Guilherme V. C. de Paiva. Mecânica dos Solos Avançada e Introdução a Obras de Terra, Londrina - Paraná, Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2018.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. Rede viária florestal. Curitiba: UFPR – Fundação de pesquisas florestais do Paraná. 1986. 157 p.

MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).

MORENO, Rafael Gracia. Empleo de la cal en el mejoramiento de los suelos arcillosos. Tesis de graduación, Universidad de Sonora, México, 1996, 118p.

PINTO, C. S. Curso básico de mecânica de solos. São

Paulo, SP: Oficina de Textos, 2000, 247.

PINTO, Carlos de Souza. Curso básico de mecânica dos solos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PROCTOR, R. R. The design and construction of rolled earth dams. Engineering News-Record, III, August 31, September 7, 21, and 28. 1933.

REINERT, Juliana; et al. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS, unidade curvelo. Minas gerais, 2015.

RICHART, Alfredo; FILHO, João Tavares; et al. COMPACTAÇÃO DO SOLO: causase efeitos. Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

RICO, A.; DEL CASTILLO, H. La ingeniería de suelos en las vías terrestres. México: Editorial Limusa, 1976, vol. 1, 459 p.

TRINDADE, T.P; CARVALHO, C.A.B.; LIMA, D.C.; SILVA, C.H.C.; BAROSA, P.S.A. Estudo dos módulos de Resiliências no Estado Natural e Quando Estabilizados com Cimento. **Revista Engenharia Civil-Um**, n. 17, p.19-30, 2002.

VANI, Evandro Chartuni Manto. Manejo dos solos, Inf, Agropec., Belo Horizonte, p.147, 1987

VELOSO, Guilherme V. Dos santos. PATOLOGIAS DEVIDO AO RECALQUE DIFERENCIAL EM FUNDAÇÕES, Brasília, 2014.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in SoilScience. New York**, 3:1-70, 1985.

ZAPARTE, Taiara Aparecida Zaparte. Estudo e adequação dos principais elementos do modelo canadense de construção em wood frame para o brasil. Pato Branco, 2014