

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE A DENSIDADE MÁXIMA E O ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA.

ANALYSIS OF LINEAR CORRELATION BETWEEN THE MAXIMUM DENSITY AND CALIFORNIA BEARING RATIO.

Adelson Antônio Costa Rios¹, Airton Teles de Mendonça², Fagner Ismael Teixeira de Santana³, Leonardo Teixeira Rocha⁴, Suzana Russo⁵, Jonas Pedro Fabris⁶

¹Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE – Brasil
adelsonrios57@gmail.com

²Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE – Brasil
airtontelesmendonca@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE – Brasil
fagner_its@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE – Brasil
tr.leonardo@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE – Brasil
suzanarusso@gmail.com

⁶Fabris Industria – Aracaju/SE – Brasil
jpfabris@hotmail.com

RESUMO

Experimentos e testes com os materiais utilizados em pavimentação são de suma importância para o correto dimensionamento e controle na execução de pavimentos rodoviários. Dentre os ensaios normalmente efetuados estão o Ensaio Normal de Compactação e o ensaio de Índice de Suporte Califórnia. A compactação do solo, através do reagrupamento e acomodação das partículas, deve proporcionar a este, para a energia de compactação adotada, a maior resistência estável possível. Diante desse contexto, foi realizado um estudo estatístico através da verificação de correlação entre os resultados obtidos em ensaios de amostras de uma jazida utilizada para compor o material estrutural de um trecho obra de duplicação da BR101/SE. Como resultado, pôde-se perceber que, apesar de a densidade e a resistência possuírem certa relação, neste experimento, o CBR das amostras não possuía correlação linear com as densidades máximas obtidas, concluindo-se que outros fatores característicos do material podem influenciar no comportamento dos solos quando estes são submetidos às tensões.

Palavras-chave: *Pavimentação; Correlação Linear; Densidade do Solo; Índice de Suporte Califórnia.*

ABSTRACT

Experiments and tests on the materials used in pavements are extremely important for correct sizing and control on highways execution. Among the tests typically performed there are Compression Normal Test and California Bearing Ratio. Soil's compaction, through the regrouping of the particles and accommodation, should provide for the compaction adopted, the greater resistance as stable as possible. In this context, was performed a statistical study by verifying the correlation between the results obtained in testing samples from a deposit used to compose the structural material of a BR101/SE's work piece doubling. As a result, we could notice that, although the density and strength have some relationship, in this experiment, the CBR of the samples had no linear correlation with the maximum densities obtained, it was concluded that other material's characteristic factors can influence the behavior of soils when they are subjected to tension.

Keywords: Paving; Linear Correlation; Soil Density; California Bearing Ratio.

1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos rodoviários são estruturas formadas por camadas de resistências variadas que compatibilizam as cargas oriundas do tráfego transmitida através dos pneus em área reduzida no topo da camada de rolamento, com a capacidade de suporte do sub-leito, conforme ilustrado na Figura 1. Por medida de economia e racionalidade, essas camadas vão aumentando a resistência conforme vai se aproximando da superfície. Esta resistência é comumente aferida através do ensaio de Índice de Suporte Califórnia, ou CBR. Por outro lado, sabe-se que quanto menor o volume de vazios, há uma densidade mais elevada, aumentando a capacidade de suporte do solo empregado nas camadas de pavimentação.

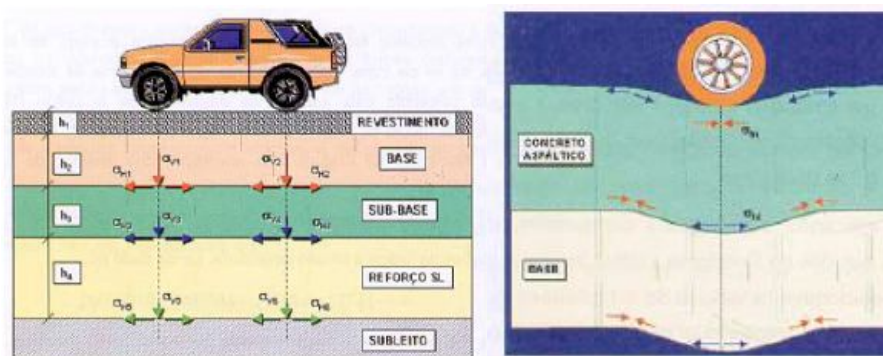


Figura 1 - Estrutura típica de um pavimento e transferência das cargas entre as camadas
Fonte: (PINTO e PREUSSLER, 2002).

Os estudos relacionados às propriedades de materiais empregados nas camadas de pavimentos podem ser avaliados a partir de dados de ensaios realizados em amostras de jazidas. Através desses valores e, diante desse contexto, o uso da estatística experimental torna-se uma ferramenta importante de verificação da correlação entre estes.

O aumento da densidade ou redução do índice de vazios é desejável não por si, mas porque diversas propriedades do solo melhoram com isto. A densidade de um solo está relacionada ao grau de confinamento entre os grãos nele presentes e, conseqüentemente, quanto melhor esse arranjo, maior será o desempenho estrutural do pavimento onde esse material será empregado, aumentando a rigidez e a resistência do solo.

Apesar dessas duas propriedades, densidade e resistência, possuem relação direta, outros fatores poderão interferir nesse comportamento. Diante desse fato, o estudo da verificação de correlação entre esses dois fatores torna-se de suma importância para um melhor conhecimento dessa área.

2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é verificar a correlação linear entre a densidade máxima de compactação de um solo com o seu respectivo Índice de Suporte Califórnia, também conhecido como CBR.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ENSAIO NORMAL DE COMPACTAÇÃO

Em condições reais de execução de pavimentos, o solo precisa ser compactado, pois quando é transportado e depositado em camadas de estruturas de pavimentação este se encontra relativamente fofo e heterogêneo, pouco resistente e muito deformável. Para melhorar as propriedades dos solos empregados, faz-se necessário realizar a compactação, que, conseqüentemente, diminui o índice de vazios, torna o material mais homogêneo e aumenta a intimidade entre os grãos (PINTO, 2002).

Segundo Pinto (2002), “o tipo de obra e de solo disponível vão ditar o processo de compactação a ser empregado, a umidade em que o solo deve se encontrar na ocasião e a densidade a ser atingida, tendo como objetivos reduzir futuros recalques, aumentar a rigidez e a resistência”, além de reduzir a permeabilidade.

O processo de compactação se dá pelo efeito de lubrificação entre as partículas de solo, permitindo o deslizamento entre estas e a conseqüente acomodação, tudo isso pela contribuição da água utilizada no processo. Quando a umidade está baixa, percebe-se um aumento no atrito entre as partículas, dificultando na acomodação dos grãos. Nesse processo, as quantidades de partículas e de água permanecem constantes; o aumento da massa específica corresponde à eliminação de ar dos vazios. Há, portanto, para a energia aplicada, um certo teor de umidade, denominado umidade ótima, que conduz a uma massa específica máxima, ou uma densidade máxima.

Idealizado por Proctor, o ensaio de compactação permite que, para uma determinada energia aplicada, o solo obtenha uma massa específica seca máxima através de umidade ótima. A ABNT, através da NBR 7182/86 padroniza os ensaios de compactação, apresentando alternativas para a realização destes, sendo mais utilizado o Ensaio Normal de Compactação (PINTO, 2002).

Com os dados obtidos, desenha-se a curva de compactação, que consiste na representação da densidade seca em função da umidade. No campo, à proporção em que o aterro for sendo executado, deve-se verificar, para cada camada compactada, qual o teor de umidade empregado e compará-lo com a umidade ótima determinada em laboratório. Determina-se também o peso específico seco do solo no campo, comparando-o com o obtido no laboratório. A estabilidade dos materiais utilizados nos pavimentos é função da densidade e, portanto, a compactação deve ser adequada (VARGAS, 1977).

3.2 ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA

A resistência do solo utilizado em camadas de pavimentação e aterros pode ser medida através do método de Índice de Suporte Califórnia, ou CBR (California Bearing Ratio). Neste experimento, é determinada a relação entre a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente. Essa resistência é uma resposta que combina indiretamente a coesão com o ângulo de atrito do material. No Brasil, o ensaio ISC é regulamentado pela norma DNER-ME 049/94.

4 METODOLOGIA

4.1 Ensaios

Para a verificação do estudo de correlação linear entre densidade máxima e o CBR obtidos, foram selecionadas 37 amostras de solo da jazida Feijão, que está sendo utilizado na obra de duplicação da BR-101/SE. Essas amostras foram obtidas através de ensaios efetuados pela Engesur, empresa contratada pelo DNIT e responsável por esse projeto.

A Tabela 1 relaciona os resultados obtidos nos ensaios de compactação e CBR.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios

Nº do furo	Dens.	CBR	Nº do furo	Dens.	CBR
1	2060	60,00	21	1930	33,00
2	2072	48,00	22	1968	32,00
3	1922	33,00	23	2010	38,00
4	2008	51,00	24	2110	39,00
5	2108	47,00	25	2020	41,00
6	2048	32,00	26	1990	39,00
7	2070	33,00	27	2093	39,00
8	2100	35,00	28	2100	39,00
9	2088	38,00	29	2080	46,30
10	2070	35,00	30	2060	39,00
11	2055	41,00	31	2055	41,00
12	2080	46,30	32	2090	44,00
13	2060	43,30	33	2055	36,00
14	2055	41,00	34	2065	37,20
15	2090	48,50	35	2070	43,00
16	2055	41,00	36	2055	41,00
17	2065	46,20	37	2055	40,00
18	2070	43,50			
19	2055	41,00			
20	1978	41,00			

Fonte: DNIT(2012)

4.2 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS

Para verificar a relação entre duas variáveis e o grau de associação entre elas, faz-se necessário realizar um estudo de correlação linear. Na análise em questão, procurou-se verificar se existe correlação entre a densidade máxima de um solo e seu respectivo CBR.

Na análise da correlação linear, foram utilizados os seguintes procedimentos:

- Cálculo do coeficiente de correlação amostral (r):

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

onde:

- O valor de r estar sempre entre 1 e -1, ou seja $-1 \leq r \leq 1$
- Teste para o coeficiente de correlação:

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_1: \rho \neq 0$$

A estatística do teste é:

$$tc = r \frac{\sqrt{n-m}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Onde n = número total de amostras e m = número de variáveis (x,y)

A hipótese H_0 é rejeitada se o valor de observação da estatística de teste $tc > t^{\alpha/2}$ ou $tc < -t^{\alpha/2}$.

5 RESULTADOS

De posse dos dados obtidos, foram efetuados os cálculos com o auxílio do software Microsoft Excel 2007, cujos resultados seguem abaixo relacionados (Tabela 2).

Tabela 2 - Planilha de cálculo.

Nº do furo	X- Dens. (kg/m³)	Y - CBR (%)	X- \bar{X}	Y- \bar{Y}	(X- \bar{X})(Y- \bar{Y})	(X- \bar{X})²	(Y- \bar{Y})²
1	2060	60,00	8,243	19,127	157,669	67,951	365,843
2	2072	48,00	20,243	7,127	144,274	409,789	50,795
3	1922	33,00	-129,757	-7,873	1021,571	16836,816	61,984
4	2008	51,00	-43,757	10,127	-443,126	1914,654	102,557
5	2108	47,00	56,243	6,127	344,604	3163,302	37,540
6	2048	32,00	-3,757	-8,873	33,334	14,113	78,730
7	2070	33,00	18,243	-7,873	-143,629	332,816	61,984
8	2100	35,00	48,243	-5,873	-283,331	2327,411	34,492
9	2088	38,00	36,243	-2,873	-104,126	1313,573	8,254
10	2070	35,00	18,243	-5,873	-107,142	332,816	34,492
11	2055	41,00	3,243	0,127	0,412	10,519	0,016
12	2080	46,30	28,243	5,427	153,277	797,681	29,453
13	2060	43,30	8,243	2,427	20,007	67,951	5,890
14	2055	41,00	3,243	0,127	0,412	10,519	0,016
15	2090	48,50	38,243	7,627	291,682	1462,546	58,172
16	2055	41,00	3,243	0,127	0,412	10,519	0,016
17	2065	46,20	13,243	5,327	70,547	175,383	28,377
18	2070	43,50	18,243	2,627	47,925	332,816	6,901
19	2055	41,00	3,243	0,127	0,412	10,519	0,016
20	1978	41,00	-73,757	0,127	-9,369	5440,059	0,016
21	1930	33,00	-121,757	-7,873	958,588	14824,708	61,984
22	1968	32,00	-83,757	-8,873	743,171	7015,194	78,730
23	2010	38,00	-41,757	-2,873	119,966	1743,627	8,254
24	2110	39,00	58,243	-1,873	-109,088	3392,275	3,508
25	2020	41,00	-31,757	0,127	-4,034	1008,492	0,016
26	1990	39,00	-61,757	-1,873	115,669	3813,897	3,508
27	2093	39,00	41,243	-1,873	-77,247	1701,005	3,508
28	2100	39,00	48,243	-1,873	-90,358	2327,411	3,508
29	2080	46,30	28,243	5,427	153,277	797,681	29,453
30	2060	39,00	8,243	-1,873	-15,439	67,951	3,508
31	2055	41,00	3,243	0,127	0,412	10,519	0,016
32	2090	44,00	38,243	3,127	119,588	1462,546	9,778
33	2055	36,00	3,243	-4,873	-15,804	10,519	23,746
34	2065	37,20	13,243	-3,673	-48,642	175,383	13,491
35	2070	43,00	18,243	2,127	38,804	332,816	4,524
36	2055	41,00	3,243	0,127	0,412	10,519	0,016
37	2055	40,00	3,243	-0,873	-2,831	10,519	0,762
TOTAL	75915	1512,30			3082,26	73736,8108	76819,0676
MÉDIA	2.051,757	40,87297297					

Aplicando a fórmula do coeficiente de correlação amostral, encontrou-se $r=0,326$. Através desses dados, também foi gerado o gráfico de dispersão usando o Software Statistica, conforme a Figura 2, o que nos confirma o valor do $r=0,326$.

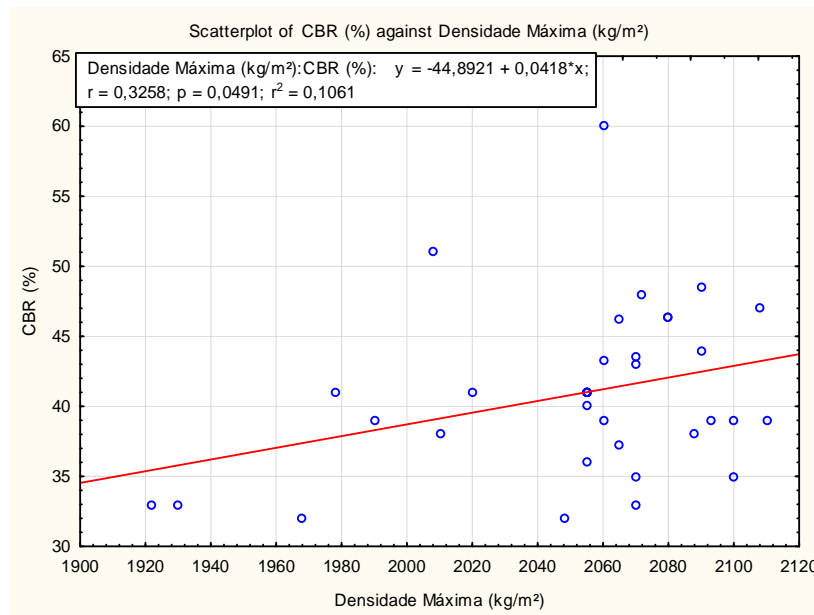


Figura 2 - Gráfico de Dispersão.

Teste para o nível de 5%:

1) Hipótese 0 : $\rho = 0$ Hipótese 1: $\rho \neq 0$

2) $t_{n-2}; 0,05 \implies t_{37-2}; 0,05 \implies t_{35; 0,05} \rightarrow 2,7239$ (na tabela Student)

Para a realização do teste de significância da correlação, foi obtido o valor de teste (t_c), cujo valor calculado é $t_c = 2,038$.

3) Visualização Gráfica (Figura 3):

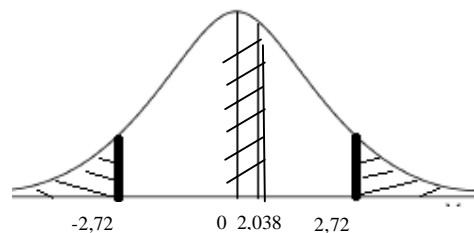


Figura 3 - Gráfico de teste.

4) Aceita-se o $H_0 : \rho = 0$

6 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos, o CBR das amostras não possui correlação linear com as densidades máximas obtidas no ensaio de compactação. Este fato indica que outros fatores característicos do material, tais como o atrito interno dos grãos, a granulometria e a plasticidade influenciam no comportamento dos solos quando estes são submetidos às tensões.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo -Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 049: Solo - Determinação do Índice de Suporte Califórnia Usando Amostra Não Trabalhada**. Rio de Janeiro, 1994.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

PINTO, Salomão;PREUSSLER, Ernesto. **Pavimentação Rodoviária: Conceitos Fundamentais Sobre Pavimentos Flexíveis**. 2 ed. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002.

VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: MCgraw-Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.