

O EFEITO DA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO NAS PROPRIEDADES DOS SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ UTILIZADOS EM PAVIMENTAÇÃO

Joacy Demétrio de Souza Junior

Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes do Estado do Ceará (DERT-CE)

Suely Helena de Araujo Barroso

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes (PETRAN-UFC)

RESUMO

Em 1994, O Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes do Estado do Ceará (DERT-CE) regulamentou uma energia de compactação, chamada de intermodificada, que consiste na aplicação de 39 golpes por camada compactada. A utilização dessa energia vem sendo muito discutida no meio técnico rodoviário do Estado do Ceará, no que diz respeito à eficácia de sua aplicação para determinados tipos de materiais. Tendo em vista essa realidade, o objetivo principal da dissertação é avaliar o efeito de algumas das propriedades geotécnicas de interesse à pavimentação em função das energias de compactação normal, intermediária, intermodificada e modificada. Para definição do universo amostral, pesquisou-se nos arquivos de projetos do DERT-CE 418 jazidas oriundas de 106 projetos rodoviários distribuídos em todo o Estado. Decidiu-se, então, coletar-se 31 amostras distribuídas por classe HRB, que serão submetidas aos ensaios de caracterização e granulometria e aos ensaios de compactação, CBR, expansão e módulo de resiliência.

ABSTRACT

In 1994, The Department of Constructions, Highways and Transports of the State of Ceará (DERT-CE) established a new a standard energy for laboratory compaction tests, (called intermodified), that consists of the application of 39 blows for each layer. The use of this energy has been argued among the technicians of road of the State of Ceará, concerned about the effectiveness of its application for certain type of materials. In view of this reality, the main objective of this work is to evaluate the effect of the compaction energy - normal, intermediary, intermodified and modified-, on some geotechnical properties of soil related to pavement design and construction. For defining the sample space, after a research on the files of the design section of the DERT-CE, 418 sites were identified from 106 selected road designs. From these sites 31 samples will be collected, divided by HRB classes. The samples will be submitted to characterization and granulometric analysis. Compacted specimens will be tested for determination of California Bearing Ratio (CBR), expansion and resilient modulus.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As energias de compactação usualmente utilizadas no Brasil geralmente seguem as especificações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) para obras de pavimentação rodoviária. A norma técnica DNER-ME 129/94 estabelece as energias de compactação normal, intermediária e modificada para se determinar a correlação entre o teor de umidade e a massa específica aparente do solo seco. Segundo esse método, para se obter a energia normal, em laboratório, é necessária a aplicação de 12 golpes (soquete de $4,536 \pm 0,01\text{kg}$, com altura de queda de $45,72 \pm 0,15\text{cm}$) em cada uma das cinco camadas a serem compactadas no Cilindro Califórnia do DNER (molde cilíndrico metálico de $15,24 \pm 0,05\text{ cm}$ de diâmetro interno e $17,78 \pm 0,02\text{ cm}$ de altura). Para a aplicação das energias intermediária e modificada, repetem-se as mesmas operações realizadas para a obtenção da energia normal, alterando-se somente a quantidade de golpes aplicados durante o ensaio. Na energia intermediária são aplicados 26 golpes, enquanto que na energia modificada utilizam-se 55 golpes por camada.

No Estado do Ceará existe uma prática, nas obras de construção rodoviária, de se aplicar uma energia de compactação diferente das energias estabelecidas pelas normas do DNER. Esta energia, denominada “intermodificada”, é obtida através da aplicação de 39 golpes por camada compactada no Cilindro Califórnia. Esta prática, quase sempre aplicada para camadas de base de pavimentos, tem sido decorrente da dificuldade de se conseguir materiais que

satisfaçam às condições geotécnicas exigidas pelas normas do DNER, quando compactados na energia intermediária, bem como pelo fator econômico associado à execução das obras.

Os autores do presente trabalho verificaram, de acordo com os levantamentos realizados nos arquivos de projetos do DERT-CE, que a energia intermodificada vem sendo utilizada nos projetos rodoviários do Estado do Ceará desde 1991. Observou-se também que, a partir de setembro de 1994, o DERT-CE regulamentou esta energia de compactação nas suas Especificações Gerais para Serviços e Obras Rodoviárias, através das normas DERT-ES-P 03/94 (Sub-base Granular) e DERT-ES-P 04/94 (Base Granular).

Os primeiros projetos, encontrados nos arquivos do DERT-CE, que apresentaram estudos de solos utilizando a energia intermodificada foram os projetos da CE-216, trecho CE-178 – Marco, localizado no norte do Estado, e do Acesso Beberibe - Morro Branco, que se situa na zona leste do Estado do Ceará, ambos executados em abril de 1991. No primeiro projeto, as jazidas foram apenas estudadas. Já no acesso ao Morro Branco, as jazidas foram aplicadas, com a energia intermodificada, na construção da camada de base do pavimento, cuja obra foi concluída em março de 1994. Além do Acesso Beberibe - Morro Branco, outros projetos, como o da CE-085, trecho Camocim-Divisa CE/PI (52,8 km de extensão), concluído em Fevereiro de 1998, também aplicaram esta energia de compactação na construção de seus pavimentos. Segundo os últimos levantamentos realizados pelos técnicos do DERT-CE, em 2002, ambas as vias estão em bom estado de conservação.

O efeito da energia de compactação na estrutura e nas propriedades geotécnicas dos solos compactados é essencial para o entendimento do comportamento dos materiais durante a vida útil dos pavimentos e tem sido muito estudado por alguns autores.

Chaves (2000) e Barroso (2002) realizaram ensaios de CBR para vários tipos de solos do Estado do Ceará, utilizando as energias de compactação normal e intermediária. O primeiro autor teve como objetivo a caracterização geotécnica dos solos pertencentes à formação Barreiras, estudando as energias de compactação normal e intermediária. Esse pesquisador encontrou valores de módulos de resiliência relativamente elevados para os materiais em estudo, possibilitando o uso desses materiais em camadas de base e sub-base. Barroso (2002), estudou os solos da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), comparando parâmetros geotécnicos obtidos através dos ensaios de compactação Proctor, CBR, Mini-CBR, expansão e contração para diferentes energias. Concluiu que é possível se prever os resultados de algumas das propriedades obtidas na energia de compactação intermediária, quando se tem os resultados obtidos em laboratório para a energia de compactação normal.

O módulo de resiliência também é bastante susceptível à variação da energia de compactação, uma vez que a rigidez aumenta significativamente com o crescimento da energia. Bernucci (1995) utilizou as energias de compactação normal e modificada para avaliar o módulo resiliente de solos lateríticos e demonstrou a viabilidade da aplicação desses materiais em vias de baixo volume de tráfego. Parreira *et al* (1998) mostram, através de resultados de ensaios triaxiais dinâmicos, que a energia intermediária conduz a valores de módulo de resiliência bem mais elevados do que os correspondentes à energia normal.

Em geral, quanto maior a rigidez de um solo maior a sua resistência ao cisalhamento e mais susceptível à expansão é este solo quando em contato com a umidade (Ooi e Pu, 2002). Para

se verificar as características de permeabilidade e consolidação, em função da energia, Ogunsanwo (1989) analisou dois tipos de solos lateríticos, derivados de rochas de gnaiss e anfibolito, compactados em diferentes energias. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que é necessária a aplicação de energias de compactação diferentes para se obter as mesmas características supracitadas, para cada um dos solos analisados.

É importante se conhecer até que ponto é possível se tirar proveito da quantidade de energia aplicada na compactação dos materiais utilizados em pavimentação. Adu-Osei *et al* (2000) comentam que uma considerável parcela da energia de compactação adicional utilizada para se obter maiores densidades e, conseqüentemente, melhorar as características geotécnicas do solo, pode ser desperdiçada mais em degradar o material do que em comprimi-lo.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

O uso da energia intermodificada vem sendo muito discutido no meio técnico rodoviário do Estado do Ceará, no que diz respeito à eficácia de sua aplicação para determinados tipos de materiais. Tendo em vista essa realidade, o objetivo principal da dissertação em andamento é verificar a variação de algumas das propriedades tecnológicas de interesse à pavimentação, como CBR, umidade ótima, massa específica, expansão, contração e módulo resiliente, em função da energia de compactação normal, intermediária, intermodificada e modificada.

Pretende-se também, a partir de estudos efetuados nos diversos projetos rodoviários do DERT/CE, conhecer os diferentes materiais que são aplicados para pavimentação no Estado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estabelecimento do programa experimental, foram realizadas pesquisas nos arquivos de projetos rodoviários do DERT-CE. Foram estudadas 474 jazidas pertencentes a 106 projetos distribuídos em todo o Estado do Ceará. Foram selecionadas 418 jazidas com potencialidade de serem aplicadas em base de pavimentos. Nos estudos dessas jazidas, apresentadas nos projetos rodoviários, levantaram-se parâmetros geotécnicos de maior relevância a projetos de pavimentos, tais como granulometria, limites de liquidez e de plasticidade, umidade ótima, densidade máxima, CBR e expansão.

A partir desse primeiro trabalho, gerou-se um arquivo de dados visando conhecer as características dos materiais ocorrentes em todo o Estado do Ceará, no que diz respeito às propriedades obtidas em projeto. De posse dos dados de projeto, todas as amostras pertencentes às jazidas estudadas foram classificadas pela classificação HRB (Highway Research Board). Elaborou-se, assim, um gráfico (ver figura 1) que permite avaliar a variação de CBR por faixa (variando desde 26 % até valores superiores a 65 %) em função das classes HRB de todas as 418 jazidas estudadas.

Acredita-se que a classificação HRB tem se mostrado adequada para caracterizar materiais correspondentes às jazidas selecionadas. Esse sistema de classificação também se mostrou apto para estimar, preliminarmente, o comportamento dos solos da RMF (Barroso, 2002).

Conforme se observa na Figura 1, 97,8% dos solos aplicados nas camadas de base dos pavimentos do Estado do Ceará estão divididos entre os grupos A-1 (A-1-a e A-1-b) e A-2 (A-2-4). Apenas 2,2% correspondem aos outros grupos da classificação HRB (A-3, A-2-6 e A-4).

Tendo em vista os resultados apresentados na figura 1, e a possibilidade de se empregar a classificação HRB para se obter uma previsão razoável do comportamento dos solos do Estado, resolveu-se coletar materiais em função do percentual das principais classes HRB usadas nos projetos rodoviários do DERT/CE. Serão, então, coletadas 31 amostras de solos, sendo 4 pertencentes ao sub-grupo A-1-a, 16 ao sub-grupo A-1-b, 1 ao subgrupo A-3, 8 ao sub-grupo A-2-4, 1 ao sub-grupo A-2-6 e 1 pertencente ao sub-grupo A-4. Essas amostras serão submetidas aos ensaios de caracterização e granulometria, bem como aos ensaios de compactação, CBR, expansão e módulo de resiliência nas energias de compactação normal, intermediária, intermodificada e modificada.

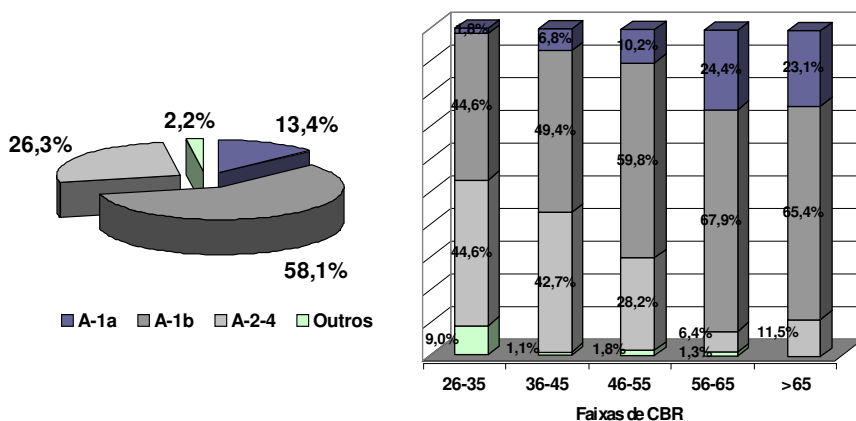


Figura 1: distribuição dos solos utilizados em bases de pavimentos rodoviários do Estado do Ceará, por faixa de CBR e em função da Classificação HRB

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barroso, S. H. A (2002) *Estudo dos Solos da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação em Engenharia Rodoviária*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, SP.
- Bernucci, L. B. (1995) *Considerações sobre o Dimensionamento de Pavimentos Utilizando Solos Lateríticos para Rodovias de Baixo Volume de Tráfego*. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 237p. Tese de Doutorado. São Paulo, SP.
- Chaves, J. F. (2000) *Caracterização Geotécnica de Solos da Formação Barreiras da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação em Obras Rodoviárias*. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER-ME 129-94 (1994) *Solos – Compactação Utilizando Amostras não Trabalhadas*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- DERT/CE. (1994) Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes. *Especificações Gerais para Serviços e Obras Rodoviárias*. Fortaleza.
- Osei, A., Dallas, N. L., Tutumleu, E. (2000). *Effect of Compaction on Orthotropic Properties of Unbound Aggregate Bases*. European Workshop On Compaction of Soils and Granular Materials, pp. 17-26 Paris, France.
- Ogunsanwo, O. (1989) *Some Geotechnical Properties of Two Laterite Soils Compacted at Different Energies*. Engineering Geology, 26: 261-269. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Netherlands.
- Ooi, P. S., Pu, J. (2002) *Use of Stiffness for Evaluating Compactness of Cohesive Pavement Geomaterials*. Transportation Research Board - TRB 2003 Annual Meeting, pp 03-4052.
- Parreira, A.B.; Carmo, C. A.T.; Cunto, F.J.C.; (1998) *Estudo do Módulo Resiliente de Materiais Usados em Pavimentação*. 31ª Reunião Anual de Pavimentação, RAPv, São Paulo, SP.