

Estudo da Caracterização e Comportamento Mecânico dos Solos da UFERSA- Campus Angicos

Alisson Cabral Barreto
UFERSA, Angicos-RN, Brasil, alissomcb@hotmail.com

Arthur Gomes Dantas de Araújo
UFERSA, Angicos-RN, Brasil, arthur.araujo@ufersa.edu.br

Deize Daiane Pinto Guilherme
UFERSA, Angicos-RN, Brasil, deize_daiane@hotmail.com

Milány Kárcia Santos Medeiros
UFERSA, Angicos-RN, Brasil, milanymedeiros@gmail.com

Paulo Leite Souza Júnior
UFERSA, Angicos-RN, Brasil, paulo.leite@ufersa.edu.br

Alyne Karla Nogueira Osterne
UFERSA, Angicos-RN, Brasil, alyne_osterne@hotmail.com

RESUMO: O trabalho apresenta a caracterização geotécnica e o estudo do comportamento mecânico do solo da UFERSA- Campus Angicos, para fins de utilização em pavimentos. A importância de conhecer as propriedades do solo local é significativa, uma vez que, a quantidade de dados que caracterizem o solo da região é muito escassa. A estrutura do pavimento é dividida em várias camadas construídas sobre a terraplanagem, que são destinadas a resistir aos esforços provenientes do tráfego e a aperfeiçoar as condições de rolamento. Essas camadas são divididas em espessuras finitas, determinadas a partir das propriedades e do comportamento mecânico dos solos e dimensionadas através de métodos consagrados na literatura. As espessuras das camadas estão diretamente relacionadas às condições do subleito. Com isso, o conhecimento, a identificação e a determinação das características do subleito, através dos estudos geotécnicos, são importantes. Para a determinação desses estudos foram coletadas sete amostras deformadas de solos em pontos distintos no terreno da UFERSA, Campus Angicos. Para cada amostra, foram executados ensaios de granulometria, limites de liquidez e limite de plasticidade para a caracterização física e ensaios de compactação com energia normal e intermediária e Índice de Suporte Califórnia (ISC) para o estudo do comportamento mecânico dos solos. Ao analisar os resultados dos ensaios, constatou-se que há heterogeneidade nas amostras estudadas. Na análise granulométrica, a maioria das amostras apresentaram frações significantes de areia e pedregulho. Algumas amostras apresentaram plasticidade, devido à fração de finos presentes em sua composição. Ao analisar os resultados do ISC concluiu-se que os valores, em geral, foram baixos. Apenas para duas amostras o valor do ISC foi maior que 20%. Contudo, mesmo com os valores baixos de ISC obtidos, o solo do subleito pode ser considerado como favorável, conforme o manual de pavimentação do DNIT. Em todas as amostras a expansão medida no ensaio de ISC obteve resultados dentro do recomendado. A amostra AM 03 apresentou expansão igual a 1,4%, sendo o maior valor de expansão dentre todas as amostras. Com os resultados adquiridos, mesmo com um número restrito de amostras, os registros

sobre o solo local são de suma importância para auxílio em futuros estudos e projetos de pavimentação desenvolvidos dentro do espaço físico do Campus.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação, Subleito, Índice de Suporte Califórnia.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um material heterogêneo utilizado durante toda a história da humanidade para diversos fins, principalmente em obras de construção civil. Nessas obras, o solo pode ser usado como material de construção, camadas do pavimento, suporte para fundação, ou na produção de peças cerâmicas – tijolos, telhas, manilhas, pisos, dentre outros artefatos.

O pavimento é dividido em várias camadas de solo para que o subleito não receba toda a tensão exercida na superfície, portanto, torna-se necessário um estudo das propriedades geotécnicas através de ensaios de laboratório, para realizar a classificação do solo e verificar suas propriedades para uso em subleito.

A classificação do solo local é de suma importância na engenharia geotécnica, pois através dessas informações é possível prever os seus comportamentos para realizar projetos eficientes, seguros e econômicos. A classificação dos solos pode ser obtida através dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade.

O comportamento mecânico do solo mede a resistência e verifica a possibilidade de uso do solo na pavimentação. Esses dados podem ser obtidos através do ensaio de compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Essas informações ajudam a garantir um projeto adequado e evitar futuros danos. Na cidade de Angicos, há poucos registros que indiquem o tipo e a resistência do solo da região, portanto este estudo é de grande importância para a comunidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Solos

Segundo Caputo (1988), o solo é um material composto por um conjunto de partículas sólidas,

que apresentam entre si vazios que poderão estar parcialmente ou totalmente preenchido pela água. Sua caracterização pode ser definida por ensaios de granulometria, que determina as dimensões das partículas do solo e as proporções relativas em que elas se encontram.

Para os solos cuja textura tenha certa porcentagem de fração fina, não basta a granulometria para caracterizá-los, pois suas propriedades plásticas dependem do seu teor de umidade, da forma das partículas e da sua composição química e mineralógica.

2.1.1 Classificações dos solos

Devido à diferença e os diversos comportamentos dos solos diante de um dado interesse, originou-se um agrupamento natural em conjuntos distintos, em que podem ser atribuídas algumas propriedades, surgindo assim um sistema de classificação dos solos. Entretanto, com tantas peculiaridades dos solos, para que houvesse uma classificação com um nível de conhecimento adequado, seria necessária uma grande quantidade de índices, deixando de ser uma aplicação prática. Porém, esses sistemas ajudam a orientar os estudos, organizar as ideias e os planejamentos das investigações para obter parâmetros mais importantes (PINTO, 2006).

2.1.2 Compactação dos solos

De acordo com Pinto (2006) compactar um solo é densificá-lo através de um equipamento mecânico, normalmente, um rolo compactador ou até mesmo soquetes manuais. O tipo de solo disponível e o tipo de obra irá determinar o processo executivo de compactação, a densidade a ser atingida e a umidade em que o solo deve se encontrar.

Para Machado e Machado (2009) a compactação é um método para conseguir estabilizar o solo e também para melhorar o

solo por processo mecânico. Esta melhoria das propriedades do solo é utilizada para adequar o solo local da obra às exigências para torná-lo mais resistente, diminuindo sua compressibilidade.

A Figura 1 apresenta uma curva de compactação de um solo para diferentes níveis de energia, em que a massa específica aparente seca varia em função da umidade do solo.

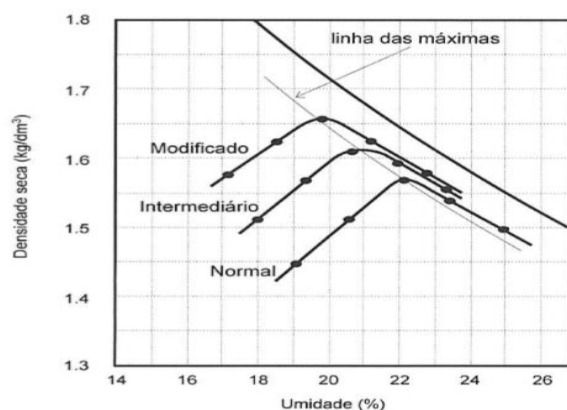


Figura 1. Curva típica de compactação do solo para diferentes energias, PINTO (2006)

2.1.3 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de ISC consiste em determinar a relação entre a pressão necessária para introduzir um pistão num corpo-de-prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração em uma brita padronizada. A partir dos valores dessa relação, expresso em percentagem, pode-se determinar, através de equações empíricas, a espessura de pavimento flexível necessária, de acordo com o tráfego. (DNIT, 2006)

2.2 Pavimentação

De acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) pavimentação é uma estrutura constituída por camadas sobrepostas, construídas sobre a terraplenagem, que possuem espessuras e materiais, determinadas por um dos inúmeros métodos de dimensionamento e que exercem a função de fundação.

Uma das possibilidades mais convencionais de pavimentação é o pavimento constituído por camadas, denominadas: Revestimento; Base;

Sub-base; Reforço de subleito e subleito. O revestimento tem a função de impermeabilizar e oferecer o acabamento final melhorando o conforto e a resistência à derrapagem. A base alivia as tensões nas camadas inferiores distribuindo-as, além de resistir às deformações. A sub-base tem as mesmas funções da base e a complementa, reduz a espessura e promove economia. As camadas da estrutura do pavimento assentam-se sobre o subleito. (ROCHA; COSTA, 2011). A Figura 2 apresenta uma seção transversal típica de um pavimento.

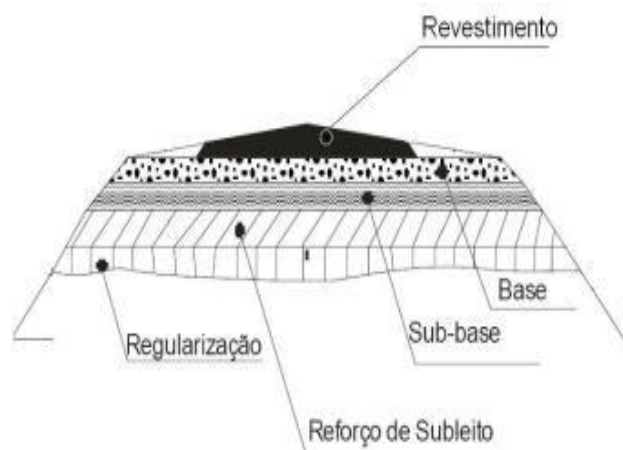


Figura 2. Seção transversal de um pavimento, DNIT (2006)

2.2.1 Dimensionamento de Pavimentos

Para Soares (2014) o dimensionamento dos pavimentos pode ser abordado fundamentalmente através de dois métodos: mecanísticos e empíricos. O primeiro aborda a análise das deformações e das tensões em meios que não sejam perfeitamente elásticos e comparam estas respostas da estrutura com critérios pré-estabelecidos para determinar as espessuras das camadas. O segundo é baseado em repetidas experiências de campo, baseando-se no ensaio de CBR.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no laboratório de construção civil do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, campus Mossoró e no

Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

As amostras foram coletadas no terreno do Campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, na cidade de Angicos. Foram coletadas sete amostras deformadas de solo, chamadas nesse trabalho por: AM 01, AM 02, AM 03, AM 04, AM 05, AM 06 e AM 07. A Figura 3 representa a localização da cidade de Angicos no mapa do Rio Grande do Norte.



Figura 3. Localização da cidade de Angicos no mapa do Rio Grande do Norte, (IBGE, 2016).

3.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica das amostras foi realizada de acordo com as premissas da ABNT NBR 7181/1984. Foi realizado o ensaio de granulometria conjunta que é dividido em duas fases, o peneiramento e a sedimentação. Para realizar a sedimentação é necessário obter o valor da massa específica dos sólidos (ρ_s). Para todas as amostras foi considerado o valor de massa específica dos sólidos igual a $2,65 \text{ g/cm}^3$.

A Figura 4 apresenta a sequência de peneiras utilizadas no peneiramento.



Figura 4. Sequência de peneiras usada no peneiramento grosso.

Com os resultados obtidos no ensaio é gerada a curva granulométrica. Esta curva apresenta na abscissa valores de diâmetro das partículas, em mm, e na ordenada a porcentagem passante do material.

3.2 Limites de Consistência

O limite de liquidez (LL) representa a passagem do solo do estado plástico para o estado líquido, conforme o aumento de umidade. A Figura 5 apresenta o detalhe da amostra inserida na concha do aparelho Casagrande, com sulco executado pelo cinzel padrão.



Figura 5. Detalhe do aparelho Casagrande usado no ensaio de limite de liquidez.

Este ensaio é procedido pela ABNT NBR 6459/1984 e foi possível ser realizado com as amostras AM 03 e AM 05.

Executado o ensaio, é traçada a curva de fluidez. Esta curva apresenta valores de umidade no eixo das ordenadas e valores de número de golpes no eixo das abscissas. A umidade correspondente a um número de golpes

igual a 25 corresponde ao limite de liquidez da amostra de solo.

O limite de plasticidade (LP) é o limite de umidade do estado semissólido para o estado plástico do solo, e seu ensaio é regido pela ABNT NBR 7180/1984. Este ensaio foi possível de ser realizado para as AM 03 e AM 05. Na Figura 6, pode-se observar o solo moldado e as fraturas que foram observadas no ensaio.



Figura 6. Detalhe do ensaio de limite de plasticidade.

As amostras AM 01, AM 02, AM 04, AM 06 e AM 07 não apresentaram plasticidade, com isso não foi possível realizar os ensaios dos limites de consistência.

Encontrado os valores do LL e LP é preciso calcular o índice de plasticidade (IP), conforme a Equação 1.

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

3.3 Ensaio de Compactação

Este ensaio é normatizado pela ABNT NBR 7182/1986 que tem como principal objetivo indicar o teor de umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima de uma amostra de solo.

Nas amostras AM 01 a AM 05 foram utilizadas energia de compactação Proctor normal. Já nas AM 06 e AM 07 foram utilizadas energia de compactação Proctor intermediária.

Os golpes foram distribuídos uniformemente na superfície da camada e entre as camadas foram realizadas ranhuras para facilitar a aderência. Esse procedimento foi repetido cinco

vezes, adicionando 2% de umidade a cada repetição. Assim foram obtidos pontos antes da umidade ótima (ramo seco), e pontos após a umidade ótima (ramo úmido).

A Figura 7 apresenta os aparelhos utilizados no ensaio de compactação.



Figura 7. Soquete e cilindro usados na compactação.

3.5 Ensaio de ISC (Índice De Suporte Califórnia).

O ensaio tem como principal objetivo determinar os valores do ISC e da expansão das amostras de solo, sendo este ensaio normatizado pela ABNT NBR 9895/87.

Cada corpo-de-prova permaneceu imerso em água durante quatro dias, sendo realizadas leituras de expansão a cada 24 horas. Após a última medida de expansão, o corpo de prova foi retirado do tanque.

No ensaio de penetração, os corpos-de-prova foram colocados em uma prensa hidráulica. O pistão de penetração da prensa aplica uma carga no corpo de prova.

Com esses dados é gerado o gráfico, pressão aplicada pelo pistão versus penetração do pistão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados do ensaio de granulometria

Com a curva granulométrica, é possível obter as classes do solo, como também determinar o

coeficiente de não uniformidade (CNU) e o coeficiente de curvatura (CC). As curvas granulométricas são apresentadas na Figura 8. As Tabelas 1 e 2 apresentam as classes dos materiais de cada amostra e os coeficientes de não uniformidade e coeficientes de curvatura, respectivamente.

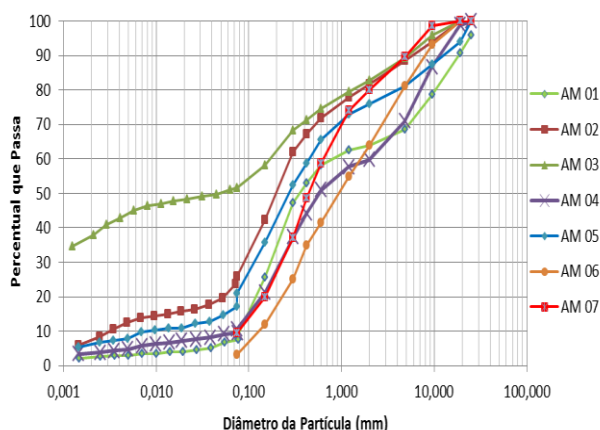


Figura 8. Curvas granulométricas das amostras.

Tabela 1. Classes dos materiais de cada amostra (%).

Amostras	Argila	Silte	Areia	Pedregulho
AM 01	3,0	4,0	56,9	36,1
AM 02	7,0	15,0	59,6	18,4
AM 03	37,0	14,0	31,7	17,3
AM 04	4,0	5,0	50,8	40,2
AM 05	6,0	9,0	60,8	24,2
AM 06	0,0	0,0	64,0	36,0
AM 07	0,0	0,0	79,94	20,06

Tabela 2. Coeficientes CNU e CC das amostras.

Amostras	CNU	CC
AM 01	10,0	0,5
AM 02	93,33	9,64
AM 03	-	-
AM 04	28,6	0,3
AM 05	7,0	0,4
AM 06	12,5	0,6
AM 07	8,4	1,1

4.2 Resultados dos Limites de Consistência

Os ensaios de limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP) só foram possíveis de realizar para as amostras AM 03 e AM 05. A Tabela 3 representa os resultados dos limites de consistência.

Tabela 3. Resultados dos limites de consistência.

Amostras	LL (%)	LP (%)	IP (%)
AM 01	-	-	NP
AM 02	-	-	NP
AM 03	37,91	18,95	18,95
AM 04	-	-	NP
AM 05	15,51	10,67	4,84
AM 06	-	-	NP
AM 07	-	-	NP

De acordo com os valores de índice de plasticidade encontrados pode-se considerar que a amostra AM 03 é altamente plástica. Já a amostra AM 05 é considerada não plástica.

4.3 Classificação dos Solos

O solo local foi classificado por meio de dois métodos de classificação consagrados na literatura. O sistema unificado de classificação dos solos (SUCS) e o método rodoviário (HRB) foram usados para classificar as amostras de solo. A Tabela 4 apresenta a classificação dos solos locais.

Tabela 4. Classificação das amostras do solo local pelos Métodos Unificados e Rodoviários.

Amostras	SUCS	HRB
AM 01	SP-SM	A-3
AM 02	SM	A-2-4
AM 03	CL	A-6
AM 04	SP-SM	A-1-b
AM 05	SC	A-2-4
AM 06	SP	A-1-b
AM 07	SW-SM	A-1-b

No método rodoviário, por não ter sido possível determinar os limites de consistência de algumas amostras, o índice de grupo (IG) foi considerado igual à zero. Isso é válido para as amostras AM 01, AM 02, AM 04, AM 06 e AM 07. A amostra AM 05 apresentou IG de valor negativo, portanto o IG também será igual à zero. Na amostra AM 03, o valor do IG foi igual a 6,5.

4.4 Resultados do ensaio de Compactação dos Solos

Finalizado o ensaio de compactação das amostras, foram geradas as curvas de compactação. Esta curva é traçada a partir de pontos obtidos da relação entre teor de umidade e massa específica aparente seca dos corpos de prova compactados.

A Figura 9 apresenta as curvas de compactação das amostras.

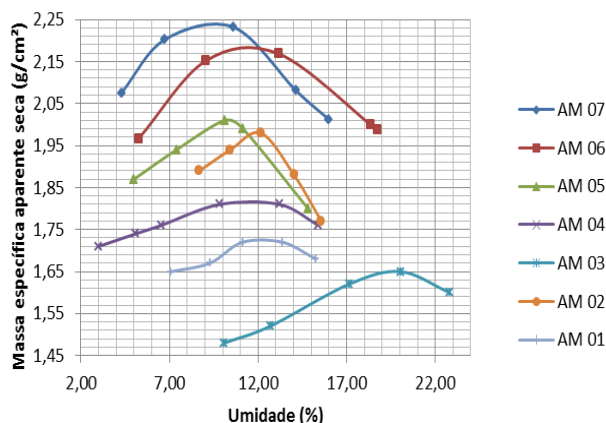


Figura 9. Curvas de compactação das amostras.

Os valores das massas específicas aparentes secas máximas e das umidades ótimas são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados do ensaio de compactação.

Amostras	pd máx. (g/cm³)	w (%)
AM 01	1,73	12,57
AM 02	1,98	11,60
AM 03	1,66	19,20
AM 04	1,83	11,40
AM 05	2,02	9,80
AM 06	2,18	12,10
AM 07	2,23	9,02

Em relação à diferença de energia de compactação utilizada nas amostras, percebe-se que as amostras compactadas com energia intermediária tiveram massa específica aparente seca máxima maiores que as amostras compactadas com energia normal. Assim, as curvas de compactação das amostras apresentaram o comportamento previsto em PINTO (2006).

Quanto ao tipo de solo, a amostra AM 03 por ser argilosa, apresentou maior umidade ótima e menor massa específica seca máxima que as demais amostras.

4.5 Resultados do Ensaio de ISC.

Finalizado o ensaio de ISC é gerado o gráfico pressão x penetração. O ISC é a relação entre a pressão calculada no ensaio e uma pressão padrão. A pressão para obter o ISC é o maior valor de pressão para as penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm. A Tabela 6 apresenta os resultados do ISC e da expansão do solo.

Tabela 6. Resultados do ISC e da expansão do solo.

Amostras	ISC (%)	Expansão (%)
AM 01	23,66	0,01
AM 02	3,68	0,00
AM 03	2,87	1,40
AM 04	6,56	0,02
AM 05	3,21	0,00
AM 06	3,29	0,49
AM 07	31,28	0,34

Em relação à expansão obtida nos ensaios, de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), para solos utilizados como subleito a expansão deve ser menor ou igual a 2%. Com os resultados obtidos nos ensaios, foi encontrado que todas as amostras estavam adequadas a esta condição. Além disso, para solos utilizados no subleito, o ISC tem que atender valor igual ou maior que 2%. Apesar dos valores obtidos do ISC não terem sido muito elevados, as amostras de solos foram favoráveis para serem utilizadas como subleito.

A amostra AM 03 apresentou menor valor de ISC e maior expansão. Este resultado se deve a elevada fração de partículas finas, acarretando em maior plasticidade. As amostras AM 01 e AM 07 apresentaram maior ISC.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É perceptível que, no geral, as amostras apresentaram características semelhantes. Contudo, algumas propriedades dos solos foram distintas de uma amostra para outra. Grande parte das amostras apresentou pouca ou nem uma plasticidade e foram classificadas como areia, sendo característica predominante da região em que se encontrava. Apesar dessa

classificação, os valores de CBR ficaram abaixo do esperado.

Assim, os estudos realizados são necessários e importantes para evitar problemas que possam ocorrer nos pavimentos. Além do mais, os registros sobre os estudos dos solos são de suma importância para a comunidade, promovendo conhecimento sobre o assunto e auxiliando em futuros estudos sobre a pavimentação na região do semiárido potiguar.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR– 6459/1984: *Solo - determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 6 p.
- _____. NBR – 7180/1987: *Solo - determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 3 p.
- _____. NBR – 7181/1984: *Solo - análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 13 p.
- _____. NBR – 7182/1986: *Solo - ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 10 p.
- _____. NBR – 9895/1987: *Solo - índice de suporte Califórnia*. Rio de Janeiro, 14 p.
- Caputo, H. P. (1988) *Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 234 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT (2006) (Brasil). *Manual de pavimentação*. 3. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 274 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, *Cidades*. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240080&search=rio-grande-do-norte|angicos>>. Acesso em 10 de maio de 2016.
- Machado, S. L. e Machado, M. de F. C. (2009) *Mecânica dos solos I: Bahia*: Universidade Federal da Bahia, 113 slides, color.
- Pinto, C. de S. (2006) *Curso básico de mecânica dos solos*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 367p.
- Rocha, R. S. e Costa, E. A. L. (2011) *Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações: estudo de caso da avenida pinto de aguiar*. Artigo (Engenharia Civil) - Universidade Católica do Salvador.
- Soares, J. *Mecânica dos pavimentos*. Disponível em: <http://www.det.ufc.br/jsoares/super/9_Dimensionamento_pvts_asfalticos.pdf> Acesso em: 26 mar. 2015.