

ANÁLISE DE PERFIS DE SONDAÇÃO SPT E CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE SOLOS DO MUNICÍPIO DE NATAL

Kadson Ranniere da Rocha Câmara¹ Alexandre da Costa Pereira²

¹Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Produção na Construção Civil (CEFET-RN);

krrcamara@yahoo.com.br

²Professor do CEFET-RN (UNED), Engenheiro Civil, D.Sc.;

alexandre@cefetrn.br

Recebido em março de 2005 e Aceito em abril de 2005

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização geotécnica de solos do município de Natal para fins de obtenção de parâmetros de resistência ao cisalhamento e de deformabilidade do material. Quatro zonas foram definidas para a compilação de resultados de relatórios de sondagens tipo SPT (*Standard Penetration Test*), buscando-se destacar aspectos que diferenciem geotecnicamente as zonas consideradas. Campanhas de ensaios de laboratório foram realizadas para a identificação de características geotécnicas (perfil de umidades e granulometria, densidade das partículas e deformabilidade) de solo definido como referência para as análises. Parâmetros de resistência ao cisalhamento e de deformabilidade dos solos encontrados foram determinados mediante emprego de equações empíricas. Os resultados encontrados indicam haver importante variabilidade nas propriedades geotécnicas dos solos analisados, tanto para solos pertencentes a uma mesma zona como para solos de zonas distintas. O posicionamento das unidades geotécnicas e o estado de compactação das mesmas consistem em variáveis destacadas no estudo realizado.

Palavras-chaves: Mecânica dos Solos; Ensaios *In Situ*; Perfis SPT; Caracterização Geotécnica.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objeto la caracterización geotécnica de suelos de la provincia de Natal para fines de obtención de parámetros de resistencia al corte y de deformación del material. Cuatro zonas fueron definidas para la selección de resultados de informes de prospección tipo SPT (*Standard Penetration Test*), buscándose destacar aspectos que diferencien geotecnicamente las zonas consideradas. Campañas de ensayos de laboratorio fueron realizadas para la identificación de características geotécnicas (perfil de humedades e granulometría, densidad de las partículas e deformabilidad) del suelo definido como referencia para los análisis. Parámetros de resistencia al corte y de deformabilidad de los suelos se determinaron mediante el empleo de ecuaciones empíricas. Los resultados encontrados indican haber importante variabilidad en las propiedades geotécnicas de los suelos analizados, tanto para suelos pertenecientes a una misma zona como para suelos de zonas distintas. El posicionamiento de las unidades geotécnicas y el estado de compactación de las mismas consisten en variables destacadas en el estudio realizado.

Palabras-llave: Mecánica de los Suelos; Ensayos *In Situ*; Perfiles SPT; Caracterización Geotécnica.

1. INTRODUÇÃO

O adequado conhecimento das características e parâmetros geotécnicos dos solos locais, principalmente daqueles relacionados com a resistência e a deformabilidade dos solos, conduz a uma maior probabilidade de otimização dos projetos de natureza geotécnica (fundações de edifícios, estrutura de contenção de terras, pavimentação,...). Considerando que o ensaio SPT consiste no recurso experimental mais utilizado no mundo para a realização de sondagens geotécnicas (notadamente para os solos granulares), o adequado conhecimento das potencialidades deste ensaio de campo representa fator importante dentro do processo de concepção e projeto das obras em geral.

Assim sendo, buscou-se neste trabalho apresentar os resultados de pesquisa sobre a caracterização geotécnica de solos do município de Natal, no qual quatro zonas foram definidas para a compilação de resultados de relatórios de sondagens tipo SPT (*Standard Penetration Test*), buscando-se destacar aspectos que diferenciem geotecnicamente as zonas consideradas. Campanhas de ensaios de laboratório foram realizadas para a identificação de características geotécnicas (perfil de umidades e granulometria, densidade das partículas e deformabilidade) de solo definido como referência para as análises. Parâmetros de resistência ao cisalhamento e de deformabilidade dos solos encontrados foram determinados mediante emprego de equações empíricas.

Cientes da relevância do método de ensaio em questão e da importância que o fator confiabilidade e a correta interpretação dos resultados do mesmo, o conhecimento prévio das características gerais dos solos regionais pode vir a ser de muita utilidade quando se buscam soluções geotécnicas visando conciliar níveis aceitáveis de segurança à economia e praticidade sempre buscados.

2. METODOLOGIA UTILIZADA

Para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa, recorreu-se nas primeiras etapas do projeto à compilação bibliográfica relativa ao tema e ao levantamento de dados. O levantamento de dados consistiu na coleta de relatórios de ensaios SPT realizados em diversas regiões do município de Natal. Após esta primeira etapa, relacionada à coleta de dados e à definição de subgrupos de amostras representativas para as análises subsequentes, buscou-se tratar estatisticamente a variável de estudo N_{SPT} para os diversos perfis localizados no zoneamento considerado. Buscou-se definir perfis N_{SPT} para as diversas unidades geotécnicas identificadas (Tabela I), bem como, para os perfis médios de cada zona.

Tabela I – Descrições das unidades geotécnicas.

Unid. Geotécnica	Descrição
1º	Solos arenosos, com matéria orgânica e resto de metralha, aterros não controlados.
2º	Areia fina e média com ou sem pedregulho.
3º	Areia fina e média, pouco siltosa, com ou sem pedregulho.
4º	Areia fina e média, silto-argilosa.
5º	Argila siltosa, com areia fina e média, com pedregulho.
6º	Turfa, argila orgânica.

Passada a fase da análise da variabilidade e medida da dispersão de N_{SPT} , determinou-se parâmetros de resistência (ângulo de atrito interno, ϕ) e de deformabilidade (módulo oedométrico, E) mediante correlações de natureza empírica. Para a determinação do ângulo de atrito interno consideraram-se as expressões propostas por TERZAGHI (1946), GIBBS & HOLTZ (1957) e DE MELO (1971; 1967). Para a determinação do módulo de compressibilidade dos solos estudados, foram utilizadas as correlações propostas no método de Young de areias e o SPT determinado por D'APPOLLONIO (1970) e por BOWLES (1987) para o módulo oedométrico. Para a verificação da adequação das correlações empíricas consideradas às condições dos solos estudadas, foram realizadas campanhas de ensaios de laboratório onde se avaliaram a relação entre os valores de N_{SPT} e da densidade relativa (D_r) dos solos estudados e os correspondentes valores para os parâmetros geotécnicos avaliados.

Visando uma melhor distinção da classificação geotécnica retirada dos relatórios de sondagem SPT, definiram-se quatro zonas para o município de Natal (Figura 1). Convém destacar que o zoneamento não se estendeu a zona norte do município de Natal (N. Sra. da Apresentação, Potengi, Pajuçara, ...) devido a não dispormos de relatórios de furos de sondagem SPT nesse local.

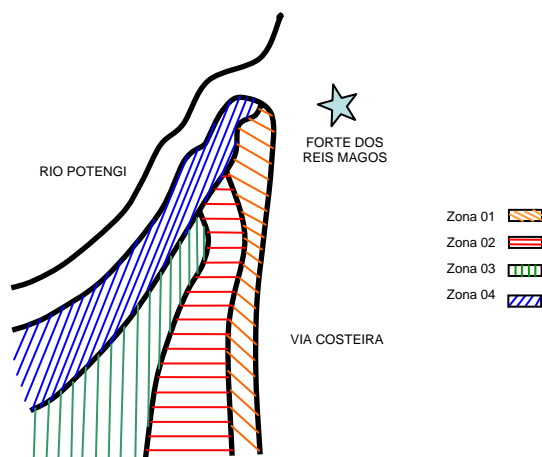


Figura 1 – Mapa das distinções das quatro zonas de estudo.

A Tabela II apresentada abaixo indica o quantitativo de furos de sondagem correspondentes a cada Zona de estudo.

Tabela II: Número de furos de sondagem por Zona de estudo.

Zona	Número de furos
01	28
02	30
03	31
04	07

Realizou-se um furo de sondagem nas instalações do CEFET-RN, correspondente a uma das zonas de estudo (zona 02), para a coleta de amostras de solo com o intuito de efetuar ensaios de laboratório (granulometria, densidade real, umidade e deformabilidade) e correlacioná-los com as outras zonas em questão e realizar a verificação da adequação das correlações empíricas.

Nos ensaios de laboratório, o de granulometria foi por peneiramento, o da densidade real pelo método do picnômetro, o de deformabilidade por meio do ensaio oedométrico e o da umidade por meio da pesagem da amostra úmida coletada no local (*in situ*) e o da amostra seca em estufa a 110° C por 24 horas. Todas as experiências realizadas foram com a amostra coletadas no furo de sondagem realizado nas instalações do CEFET-RN, correspondendo à Zona 02.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Através da análise dos perfis de sondagem SPT conseguimos classificar o solo das zonas de estudos em seis unidades geotécnicas. São elas: Aterro e matéria orgânica; Areia fina e grossa com ou sem pedregulhos; Areia siltosa; areia silto-argilosa; Argila siltosa; e Turfa. Com esses perfis de sondagem SPT (101 perfis), também conseguimos determinar, além da sua estratigrafia, o N_{SPT} máximo e o mínimo, as unidades geotécnicas características (Figuras 2, 3, 4 e 5) e o nível d'água (quando existente) presente para cada zona estudada. Desse modo, conseguimos traçar um perfil geotécnico característico de cada zona.

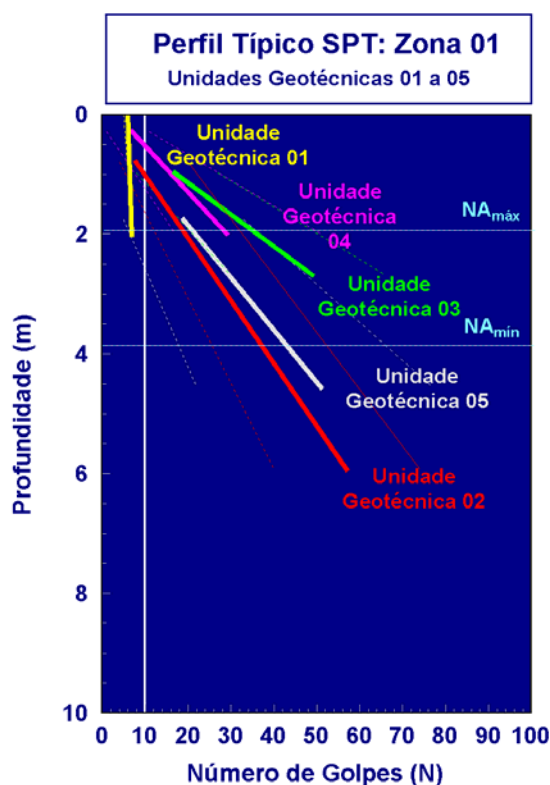


Figura 2 – Unidades Geotécnicas da Zona 01.

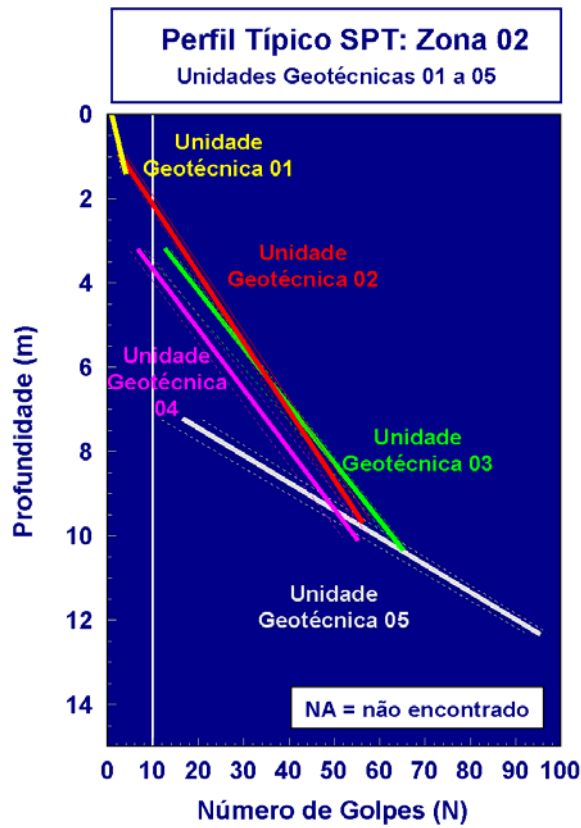


Figura 3 – Unidade geotécnica da Zona 02.

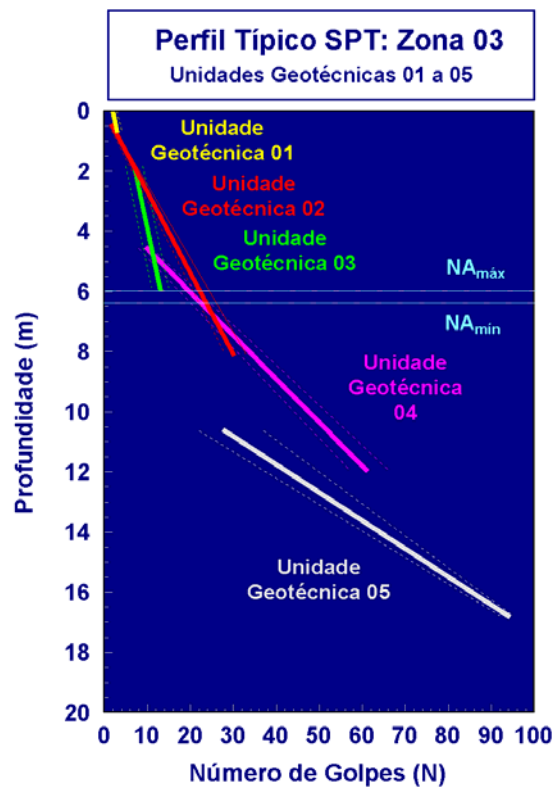


Figura 4 – Unidade geotécnica da Zona 03.

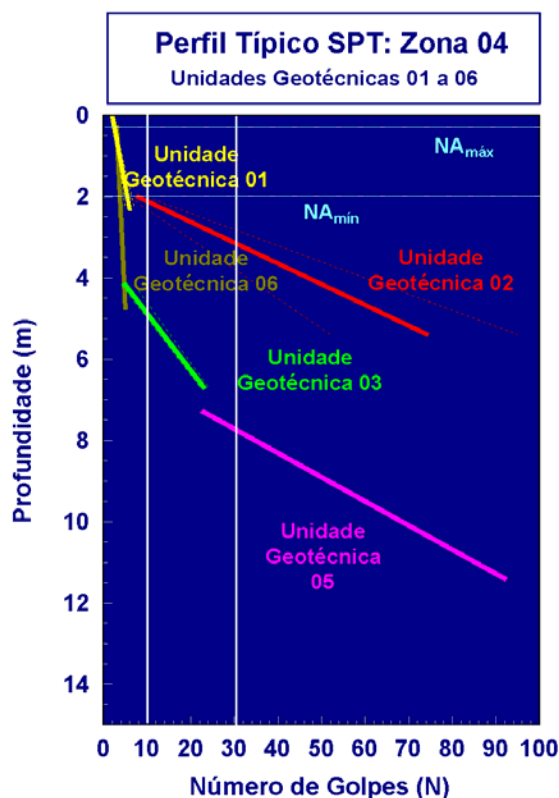


Figura 5 – Unidade geotécnica da Zona 04.

Com os resultados da experiência realizada com a amostra de solo coletada no CEFET-RN (correspondente à Zona 02) obtivemos a curva granulométrica, o perfil de umidade, a densidade real das partículas e a deformabilidade do solo, o que nos forneceu parâmetros necessários para efetuarmos a classificação do solo pelo método HRB (*Highway Research Board*) e pelo sistema unificado U.S.C.S. (*Unified Soil Classification System*).

Através da densidade relativa e do ângulo de atrito, obtidos através de expressões empíricas, conseguimos determinar os parâmetros de resistência do solo onde serão correlacionados com o resultado do ensaio oedométrico. Mediante o ensaio da densidade real pelo método do picnômetro, conseguimos obter a densidade real das partículas e usá-la como um dado no ensaio oedométrico para determinar a capacidade de carga e bem como para previsão de recalques do solo.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da análise das unidades geotécnicas apresentadas nos perfis de sondagem para cada furo de sondagem possibilitou-se projetar perfis médios para a variável N_{SPT} bem como a classificação geotécnica do solo para cada zona de estudo. As Figuras 6, 7, 8 e 9, portanto, apresentam os perfis representativos para as diversas unidades geotécnicas definidas, bem como a posição do nível d'água presente para cada zona estudada.

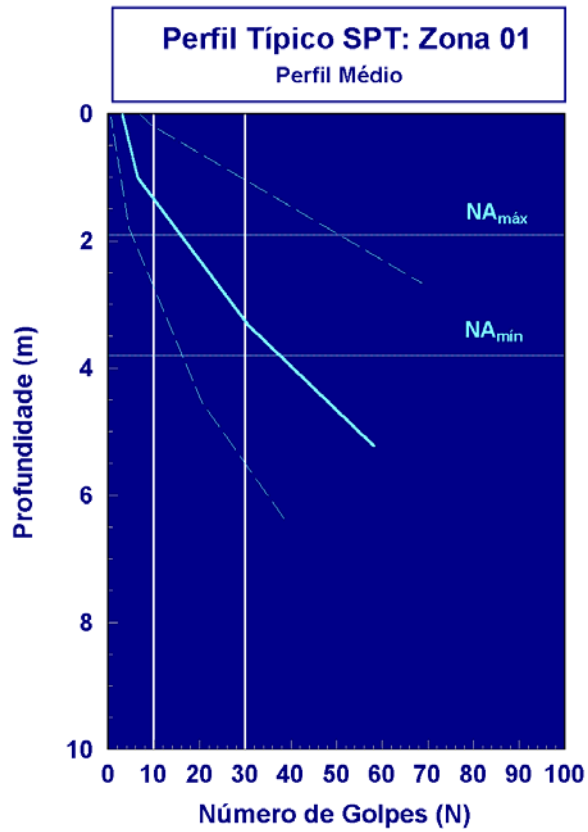


Figura 6 – N_{SPT} médio para a Zona 01

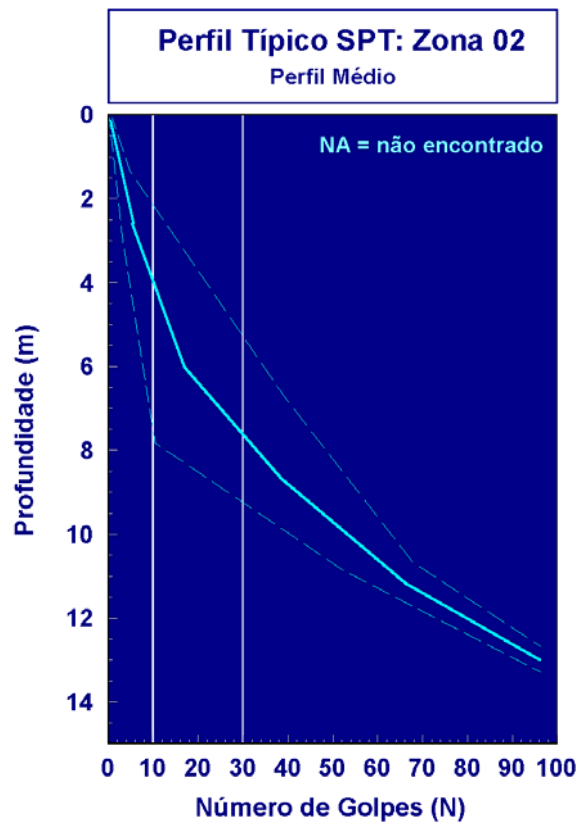


Figura 7 – N_{SPT} médio para a zona 02

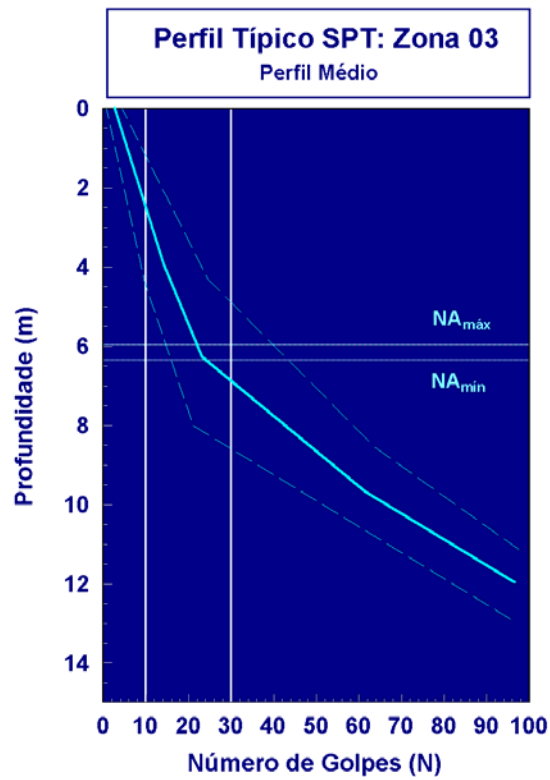


Figura 8 – N_{SPT} médio para a zona 03

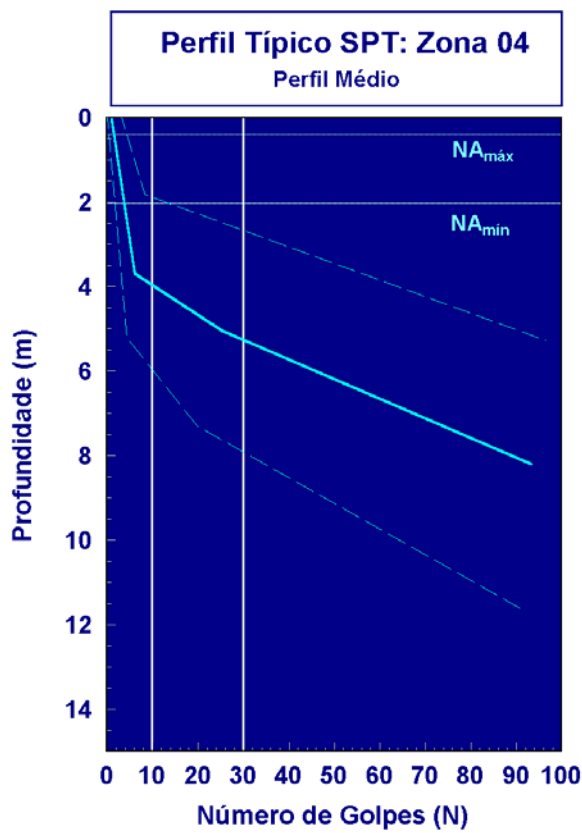


Figura 9 – N_{SPT} médio para a zona 04

Com os resultados obtidos no ensaio de granulometria por peneiramento, possibilitou-se adquirir dados suficientes para realizar a classificação do solo, quanto ao seu uso, pelo método dos sistemas de classificação do solo. Pelo sistema de classificação HRB o solo classificou-se como Solo Granular; A-3; compostos de areia fina; não-plástico (NP). Para o sistema unificado U.S.C.S. o solo classificou-se como uma areia limpa mal graduada (SP).

Através das experiências desenvolvidas no laboratório (análise tátil-visual, perfil de umidade, a distribuição granulométrica e a densidade real das partículas da amostra de solo coletada no CEFET-RN) comprovamos a classificação típica do solo apresentada no perfil dos relatórios de sondagem SPT correspondente à Zona 02. Com esses resultados, conseguimos classificar o solo da Zona 02, quanto as suas unidades geotécnicas e sua estratigrafia, como um solo de característica arenosa, com pouca presença de finos (silte e argila) e rápida absorção de água nas camadas iniciais de solo (os primeiros 50cm), de acordo com o perfil de umidade, evidenciando uma elevada permeabilidade do solo (Figura 10).

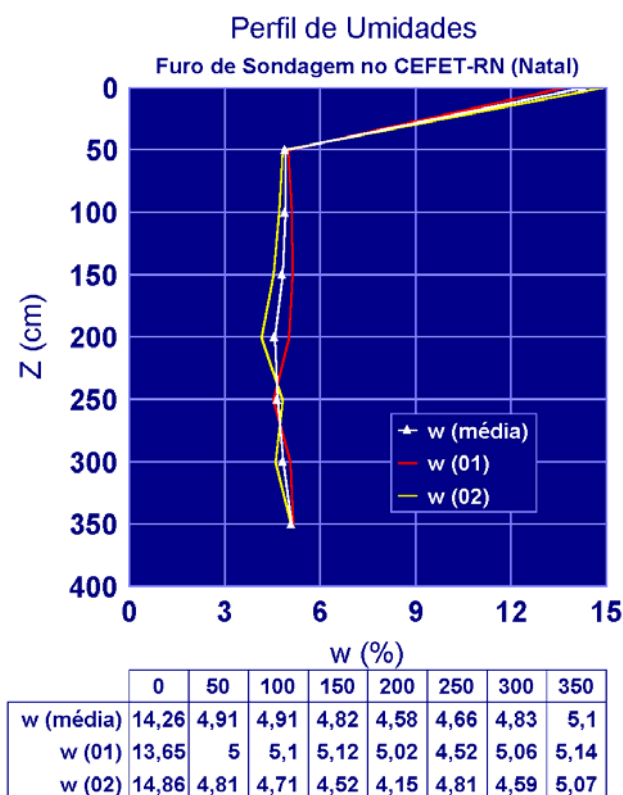


Figura 10 – Perfil de umidades do solo.

Com o perfil de umidades obtido dos ensaios experimentais, conseguimos identificar a pouca presença de finos na camada inicial do solo, em torno dos primeiros 50cm, o que é típico de solos arenosos. Como após os primeiros 50cm o perfil de umidade manteve-se constante, classificou-se como uma presença maior de finos do que na camada inicial. Essas análises foram comprovadas com os resultado do ensaio de granulometria que apresentaram uma maior quantidade de finos após o primeiro metro de profundidade (Figura 11).

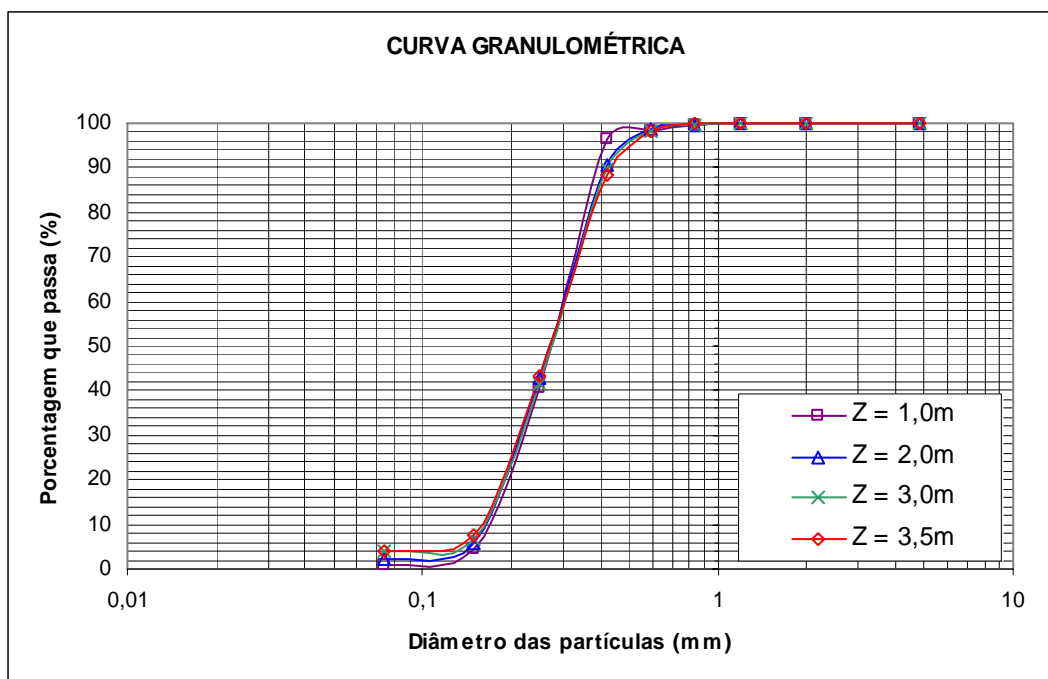


Figura 11 – Distribuição granulométrica do solo.

Tabela III – Porcentagens passando na peneira N°200 ($\phi < 75\mu\text{m}$).

Profundidade (m)	% passando na peneira N°200
1,0	1,08
2,0	2,33
3,0	4,08
3,5	4,13

Através de expressões empíricas aplicados nos resultado de N_{SPT} obtidos dos relatórios de sondagens, conseguimos obter a tensão admissível (Equações 1 e 2) do solo na seção entre as zonas, para seis primeiros metros de profundidade, densidade relativa e o ângulo de atrito do solo.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Areias} \rightarrow \sigma_{\text{adm}} = N / 4 + \gamma \cdot h \\ \text{Argilas} \rightarrow \sigma_{\text{adm}} = N / 6 + \gamma \cdot h \end{array} \right. \quad (1)$$

(2)

Para o emprego das Equações 1 e 2 citadas, o valor do peso específico dos solos (γ), em tf/m^3 , foi tomado como função do índice de penetração N_{SPT} (Tabela IV), e o valor “h” corresponde à profundidade dos pontos estudados, em metros. O valor resultante de σ_{adm} seria dado em tf/m^2 .

Tabela IV – Valores de pesos específicos em função de N_{SPT} .

Solos Arenosos						
N_{SPT}	< 4	4 - 10	10 - 30	30 - 50	> 50	---
γ (t/m ³)	< 1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	---
Solos Argilosos						
N_{SPT}	< 2	2 - 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30	> 30
γ (t/m ³)	---	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8

Quanto à determinação dos parâmetros relacionados com a deformabilidade e resistência dos solos estudados, temos as Equações 3 e 4 (densidade relativa) e a Equação 5 (ângulo de atrito do solo) para a análise dos mesmos. Convém que se destaque que as propostas apresentadas neste trabalho consistem em formulações baseadas em métodos empíricos, sendo necessária a confrontação dos resultados obtidos a partir das mesmas mediante a realização de ensaios de laboratório.

$$Dr = \frac{N}{(0,23 \sigma + 16)^{1/2}} \quad (\text{GIBSS e HOLTZ, 1957}) \quad (3)$$

$$Dr = \frac{N}{(0,28 \sigma + 27)^{1/2}} \quad (\text{SKEMPTON, 1967}) \quad (4)$$

$$(1,49 - Dr) \times \text{TAN}\phi = 0,712 \quad (\text{DE MELLO, 1971}) \quad (5)$$

Pode-se observar na Figura 12 que o perfil para o parâmetro densidade relativa para cada Zona apresenta-se com comportamento bastante diferenciado para as regiões estudadas, tanto em relação às magnitudes dos valores encontrados como também em relação à forma como o parâmetro estudado evolui com a profundidade. Para as Zonas 02 e 03 se observa comportamento bastante similar para a evolução do parâmetro, o que também se observa comparando-se os perfis representativos das Zonas 01 e 04, embora este último se apresente na forma de valores bastante diferenciados em relação às magnitudes encontradas.

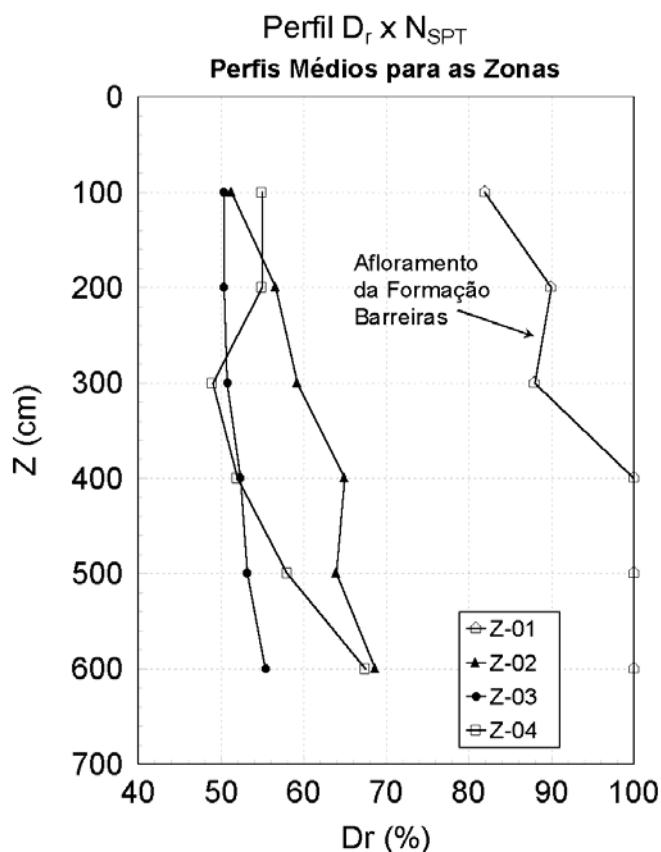


Figura 12 – Variação da densidade relativa D_r em função da profundidade para cada Zona.

Na figura 13, temos o parâmetro da tensão admissível para cada Zona. Na Zona 01, observa-se um comportamento diferenciado em relação as Zonas 02, 03 e 04 que apresentam comportamento, praticamente, semelhante para evolução do parâmetro de acordo com a profundidade.

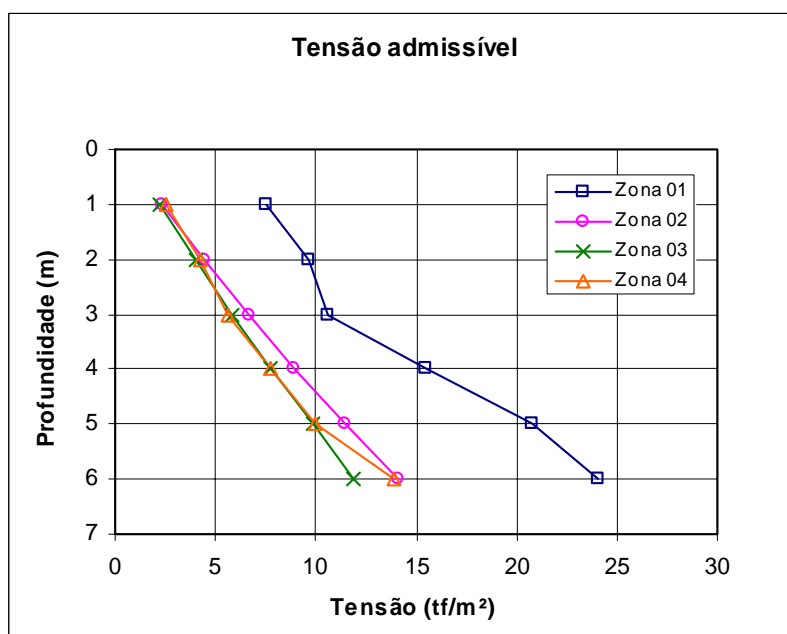


Figura 13 – Tensão admissível em função da profundidade para cada Zona.

Em relação ao estudo da compressibilidade do solo, teremos o parâmetro de compressibilidade E' (módulo de Young) como objeto de estudo a partir de correlações empíricas referenciadas a resultados de ensaios de sondagem a percussão (N_{SPT}). Convém que se destaque que expressões propondo as correlações entre o valor de compressibilidade e o número de golpes N obtido no ensaio SPT devem, necessariamente, estar referenciados ao local de estudo, tipo de solo em questão e do modo de obtenção do valor representativo da compressibilidade do solo, de forma que os erros envolvidos na utilização generalizada dessas correlações possam ser minimizadas.

Pela correlação entre o módulo de Young para as areias e o SPT, conseguimos determinar o módulo de deformação para as distintas Zonas de estudo, com referências nas análises propostas por D'APPOLLONIO (1970) (Figura 14) e BOWLES (1987) (Figura 15), nas quais o módulo E' se apresenta como função linear de N_{SPT} na forma $E' = E'_o + tg\alpha \cdot N_{SPT}$, sendo E'_o tomado igual a 196 e 80 kgf/cm^2 , e o coeficiente linear da reta de regressão tomado igual a 7,9 e 4, respectivamente para as expressões propostas por D'APPOLLONIO (1970) e por BOWLES (1987).

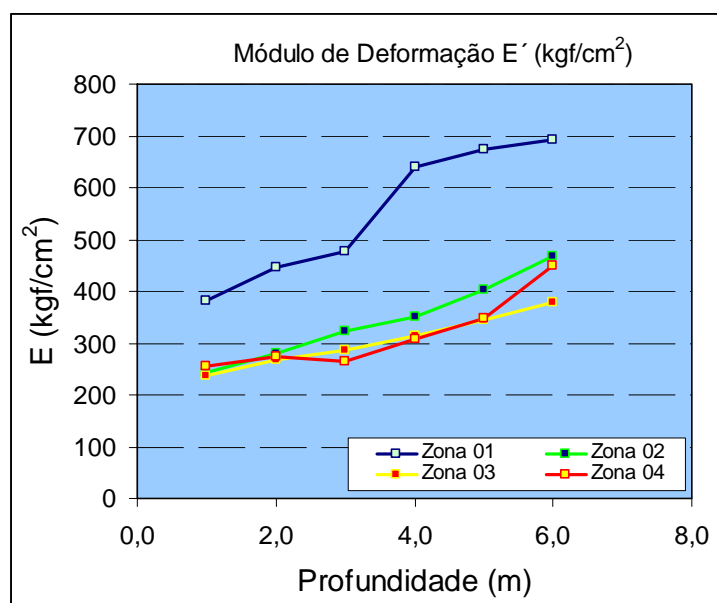


Figura 14 – Módulo de deformação para cada Zona de acordo com D'Appollonio (1970).

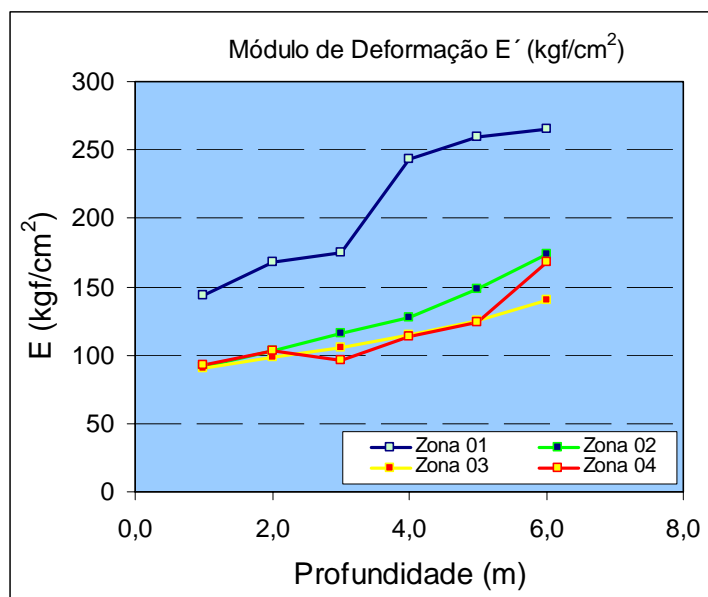


Figura 15 – Módulo de deformação para cada Zona de acordo com Bowles (1987).

Como se pode observar nos gráficos apresentados nas figuras 14 e 15, temos uma variação nos valores para o citado parâmetro da ordem do dobro da sua magnitude, o que reforça a importância da análise criteriosa de resultados obtidos a partir de correlações empíricas. É interessante que se busque sempre a comparação entre valores obtidos e valores típicos esperados para o solo em questão, bem como mediante a comprovação com programas experimentais em laboratório ou em campo (ensaios *in situ* tipo prova de carga). Como valores típicos para o módulo de deformação (E') em solos arenosos de compactidade muito fofa a fofa ($N_{SPT} \leq 10$) se situam na faixa entre 100 e 250 kgf/cm², e para solos arenosos compactos temos o parâmetro em questão variando entre 500 e 1000 kgf/cm² (BOWLES, 1977), podemos verificar que a proposta de BOWLES (1987) como mais conservadora para o solo estudado, sendo conveniente ressaltar que a correlação proposta por D'APPOLLONIO (1970) refere-se a resultados experimentais obtidos mediante o procedimento do ensaio de placa. Para a validação dos valores encontrados seria conveniente a análise contrastada com resultados de provas de carga.

5. CONCLUSÃO

Qualquer que seja o porte da obra, a sondagem à percussão com SPT representa um valioso recurso para ser empregado na tomada de decisões como a escolha do tipo de fundação que será utilizado, com influência direta nos padrões de segurança, qualidade e economia.

A grande vantagem de localizar num mapa geotécnico, uma base de dados de sondagens SPT, é a possibilidade de comparação do tipo de solo em que ela se enquadra pelo mapa e suas características indicadas pela sondagem. O terreno fica melhor representado em superfície e também em profundidade, permitindo uma melhor visualização e interpretação do relevo, podendo, assim, analisar a ocorrência dos diversos tipos de solo conforme a morfologia do terreno. Assim, esta base de dados muitas vezes pode auxiliar na estimativa do tipo e características da fundação a ser usada. Entretanto,

como o solo varia de um ponto de estudo para outro, é sempre necessária a execução de sondagens em projetos de fundações.

Se os Municípios processassem desta forma o seu volume de informação, certamente melhorariam significativamente a qualidade das construções nas suas áreas de influência. Embora o custo inicial de adaptação deste modelo não seja agradável, as vantagens subjacentes a ele, são bastante compensatórias e óbvias. Além disso, depois as entidades competentes poderiam recolher de cada uma destas as informações que depois de processada permite construir mapas geotécnicos de âmbito regional e nacional.

6. AGRADECIMENTOS

Somos gratos primeiramente a Deus que nos concedeu vida, saúde e sabedoria para a realização desse trabalho, a nossa equipe executora que sempre nos ajudou esclarecendo dúvidas e nos fornecendo suporte técnico necessário para o bom andamento e rendimento desse trabalho, ao CEFET-RN por nos ceder os seus laboratórios para a realização das campanhas de ensaios e aprimoramento do estudo e aos nossos pais por sempre ter nos apoiados e nos dado força nos momentos difíceis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - D1586-58. *Standard method for penetration test and split barrel sampling of soils*. USA, 1958.

De Mello, V.F.B. *The Standard Penetration Test State-of-the-Art Report*. 4th Pan-American Conf. Soil Mech. Found. Eng., Puerto Rico, 1, 1-86, 1971.

Decourt, L. e Quaresma, A. R. **Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT**. Proc. VI COBRAMSEF, Rio de Janeiro, 45-53, 1978.

Gibbs, H.J. & Holtz, W.G. *Research on determining the density of sands by spoon penetration testing*. Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engineering, London, 1, 35-39, 1957.

NBR 6484-1980. **Execução de Sondagens de simples reconhecimento dos solos**. NBR. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR – 7250/1982. **Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Abril de 1982.

NBR – 8036/1983. **Programação de sondagens de simples reconhecimento**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Junho de 1983.

NBR – 6484/2001. **Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Schnaid, F. **Considerações sobre o uso do ensaio SPT na engenharia de fundações.** Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural, Montevideo, Vol 4, 111-124, 1993.

Velloso, D.A. & Lopes, F.R. **Fundações.** COPPE/UFRJ. p 290, 1996.