

Influência de algumas variáveis geo-ambientais no comportamento das razões q_c/N em solos de Porto Alegre

Influence of some variable environmental and geological in the behavior of ratio q_c/N in the soils of Porto Alegre

Roberto Naime¹; Alberto Pio Fiori²

Resumo: A verificação da influência de algumas variáveis geo-ambientais no comportamento de parâmetros de SPT e CPT é feita através do agrupamento dos dados das investigações geotécnicas seguindo critérios de influência de fatores identificados. A partir da localização dos dados em mapas, foram identificadas influências de diferentes unidades lito-estratigráficas, zonas com diferentes estágios de maturação dos solos, áreas de domínio de diferentes condições geomorfológicas, ações de uma zona de falha e perfis diferenciados de aluviões. A partir destes agrupamentos, são efetuados estudos sobre as influências no comportamento da razão q_c/N em terrenos de Porto Alegre. O presente trabalho descreve os critérios utilizados nesta diferenciação, apresentado os gráficos de correlação entre q_c e N , e diagramas mostrando o comportamento de $K (q_c/N)$ em relação à profundidade, fazendo algumas considerações a respeito dos resultados encontrados.

Palavras-chave: geotécnica, geologia das fundações, geologia das construções.

Abstract: The gathering of geotechnical investigation by SPT and CPT follow geological and environmental criteria, observed in maps, allowed identify different units, influence zones of degree of maturity or geomorphological conditions, influence of failed zone and different alluvial areas, allowed to see different behavior of ratio q_c/N in soils of Porto Alegre. This work presents the criteria utilized for this differentiation, showing the graphics of correlation between q_c and N , and graphics showing the behavior of $K (q_c/N)$ in relation of the depth, with considerations about the results.

Key words: geotechnical process, foundation geology, building geology.

1 Introdução

O presente trabalho avalia e mostra os resultados da influência de alguns fatores geo-ambientais sobre os dados de investigação geotécnica por SPT (Standard Penetration Test) e CPT (Cone Penetration Test), basicamente a relação entre q_c (resistência de ponta do cone) e N (número de golpes para cravação dos últimos 30cm) e o comportamento de $K (q_c/N)$ em relação à profundidade.

Assim, são desenvolvidos estudos comparativos da aplicação de dados de SPT e CPT em função de variáveis geo-ambientais consideradas, e se estabelecem diretrizes para agregar novos fatores de controle aos dados que são utilizados para a estimativa das capacidades de carga dos terrenos para fundações.

A área de estudos é a cidade de Porto Alegre, onde foram executados os ensaios aqui separados.

A geologia de Porto Alegre é constituída por um conjunto de rochas granitóides mais antigas, agrupadas dos granitos tipo Cerro Grande; outro grupo de rochas

mais antigas incluídas nos granitos tipo Pinheiro Machado, sobre as quais não existem muitos dados e um conjunto de granitos mais jovens conhecidos como granitos tipo Morrinhos, e aluviões diversos. O mapa geológico da área é apresentado na Figura 1.

2 Materiais e Métodos

Os dados foram obtidos a partir de 370 relatórios de perfis de sondagens a percussão de Porto Alegre, compilados de Azevedo (1990) totalizando 45.264m e 49 sondagens a percussão e de cone do arquivo pessoal do autor, totalizando 2.459,85m, todos da região de Porto Alegre.

Em Porto Alegre, os perfis foram separados em 4 tipos de solos residuais, conforme sua natureza geológica e para um mesmo tipo de solo foram avaliados o estágio de maturidade, as condições geomorfológicas e a influência de uma zona de falha. Para cada tipo foram consideradas duas condições mais comuns. O mesmo procedimento foi realizado para os terrenos aluvionares, testando 2 perfis característicos.

¹ Professor Assistente do Departamento de Engenharia Civil FENG/PUCRS. Professor Assistente do Departamento de Mecânica dos Solos FEAR/UPF.

² Professor Titular do Departamento de Geologia, Centro Politécnico, UFPR.

MAPA GEOLÓGICO DE PORTO ALEGRE

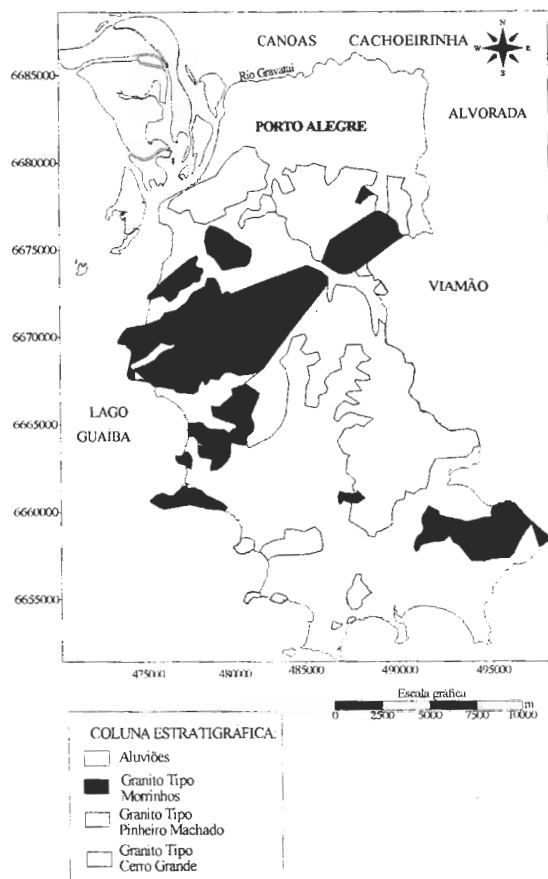


Figura 1 – Mapa geológico da região de Porto Alegre (CARRARO, 1974; RAMGRAB et al. 1997) compilado da Carta Geológica do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (CPRM 1997).

Os solos residuais foram subdivididos nos 4 tipos, considerando a modelagem numérica do terreno e os mapas de contorno elaborados com base no agrupamento de descrições e curvas de resistência ao **SPT** e **CPT** semelhantes.

As médias das resistências obtidas em cada área determinada pelos critérios usados, foram utilizadas para aferição da variável analisada.

Os mesmos procedimentos foram utilizados nos aluviões.

Em função da geologia de Porto Alegre, da localização das amostras e do comportamento dos perfis, adotou-se os seguintes critérios de agrupamento dos dados de sondagens:

- Nas zonas baixas, em geral em cotas inferiores a 20m, os solos foram interpretados como aluvionares;
- Nas zonas com cotas aproximadas entre 20 e 40m definiu-se a influência da condição geomorfológica, testada apenas nos solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande;
- Em cotas aproximadas entre 40 e 60m avaliou-

se a influência do estágio de maturidade, considerando apenas amostras localizadas sobre os granitos tipo Cerro Grande, para que influências de outros fatores não interferissem;

- Testou-se ainda a influência de uma zona de falha sobre os solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande, e,
- Finalmente, em cotas superiores a 60m foi avaliada a influência dos diferentes substratos geológico, considerando a unidade litológica Cerro Grande e o Complexo Granítico Pinheiro Machado.

O comportamento geotécnico dos perfis sempre foi considerado critério hegemônico sobre a modelagem numérica para a separação e classificação por grupo. Os perfis foram agrupados pelo comportamento geotécnico, (variação da curva de resistência e descrição sucinta dos solos), pois este fator se mostrou predominante sobre classificações de levantamentos de solos, que foram incapazes de agrupar materiais com o mesmo comportamento geotécnico quanto aos métodos de investigação.

Na cidade de Porto Alegre, os aluviões da região norte são tipicamente de planície de inundação, integrantes da bacia do rio Gravataí, tendo por característica a presença de uma espessa e bem definida ocorrência de argila orgânica (podendo ser definidas como silicatos cristalinos com material húmico e amorfo) em profundidade rasa.

Ao sul são depósitos interdigitados, que por estarem inseridos entre morros de composição granítica, apresentam camadas arenosas intercaladas com as argilas e ausência de matéria orgânica. (Tabela 1)

Na área de influência das condições geomorfológicas, testada nos solos derivados dos granitos do tipo Cerro Grande, as características consideradas estão apresentadas na Tabela 2.

Na zona considerada de influência da maturidade, também avaliada nos solos derivados dos granitos do tipo Cerro Grande as características utilizadas estão apresentadas na Tabela 3.

Os solos jovens têm menor profundidade, nos locais onde foram identificados pelos perfis como aflorantes. Por isso, a profundidade de comparação foi limitada a aproximadamente 10m. Neste horizonte, a observação das curvas de resistência dos perfis e as descrições dos terrenos indicam passagem para terrenos saprolíticos ou rochas alteradas.

Na Tabela 4 são apresentadas as características da influência de uma zona de falha sobre os solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande.

Na zona classificada como de influência da natureza geológica, testados para solos derivados de granitos tipo Cerro Grande em relação aos solos derivados de granitos do tipo Morrinhos, cujas características estão resumidas na Tabela 5.

Tabela 1 – Principais características dos solos aluvionares de Porto Alegre.

Solos Aluvionares	
<i>Planícies de Inundação</i>	<i>Depósitos Interdigitados</i>
<p>Predominam nos aluviões da porção norte da cidade, em amplas bacias hidrográficas que se unem para formar o lago Guaíba.</p> <p>Caracterizam-se por apresentar normalmente uma camada de argila com impregnação de matéria orgânica e baixa resistência, com espessuras variáveis, mas ocorrência consistente em toda a zona de abrangência.</p>	<p>Predominam nos aluviões do centro-sul de Porto Alegre, sendo contornados por morros.</p> <p>São caracterizados pelas intercalações interdigitadas entre camadas arenosas e argilosas ou argilo-arenosas, sem a ocorrência importante de matéria orgânica.</p>

Tabela 2 – Fatores considerados para determinar a zona de influência das condições geomorfológicas sobre as curvas de resistência dos solos residuais de Porto Alegre.

Condições geomorfológicas	
<i>Taludes Côncavos</i>	<i>Taludes Convexos</i>
<p>São áreas onde predominam os processos repletivos sobre a evolução dos solos, ocorrendo inversão de perfis, com conseqüências sobre as resistências e composições.</p> <p>As curvas de resistência aferidas alternam intervalos de maior ou menor resistência de acordo com as reptações identificadas e conseqüência deste fenômeno sobre as densidades e composições do solo.</p> <p>Os perfis apresentam composições muito variadas, em geral alternando horizontes de granulação mais fina, argilo-siltosa, com níveis onde ocorrem materiais de granulometria maior (areno-siltosa, pouco argilosa).</p> <p>Os perfis são influenciados por migrações laterais de solo e movimentações argilosas muito variadas, de acordo com a encosta, lençol freático e outros fatores.</p>	<p>São áreas de declividades menores, que não influenciam na evolução dos perfis de solos originados dos substratos rochosos.</p> <p>As curvas de resistência à penetração do amostrador-padrão de Terzaghi, mostram incremento contínuo a partir da superfície de início da medição.</p> <p>Tendem a composições granulométricas com maior contribuição areno-siltosa a medida em que se espessam os perfis pesquisados.</p> <p>Perfis pouco influenciados por migrações laterais.</p>

3 Resultados

Os gráficos de $q_c \times N$ e de $K (q_c/N) \times$ profundidade, para as médias de todas as sondagens **SPT** e **CPT** agrupadas em cada domínio são apresentados a seguir.

Em todos os gráficos de $K \times$ profundidades, para os solos derivados de cada unidade litoestratigráfica diferenciada considerada, ocorre um registro típico e próprio para os patamares médios de cada 5m, formando "escadarias" ascendentes, descendentes ou mistas, diferenciadas de acordo com o agrupamento de perfis representado, em função da natureza da variável geológico-ambiental considerada.

A simples comparação entre estes gráficos, muito utilizados por Danziger e Velloso (1986) para separar "formações" geológicas diferentes, permite observar

a influência das variáveis geológico-ambientais consideradas.

Nos aluviões de planície de inundação, as médias de K aumentam com a profundidade e depois diminuem constantemente até o diástema com o embasamento cristalino. (Vide Figura 2).

A correlação entre número de golpes e resistência de ponta, para os solos aluvionares de planície de inundação é bastante significativa, superior a 0,7, sendo apresentada na Figura 3.

Nos, aluviões de depósitos interdigitados, o valor de K se mantém quase constante, com pequenas variações em função da profundidade (Figura 4).

As correlações entre número de golpes e resistência de ponta são significativas para estes tipos de solos (Figura 5).

Tabela 3 – Fatores considerados para determinar a zona de influência do estágio de maturidade dos solos sobre as curvas de resistência aferidas para os solos residuais de Porto Alegre.

<i>Estágio de maturidade dos solos</i>	
<i>Solos Maduros</i>	<i>Solos Jovens</i>
<p>Solos que já se encontram totalmente formados, com toda a rocha original decomposta, sem fragmentos pétreos relictos da rocha original, pouco granulares.</p> <p>Curvas de resistência à penetração do amostrador-padrão de Terzaghi, com crescimento contínuo, mas a partir de profundidades médias ou elevadas, ou seja, com permanentes e baixas resistências iniciais.</p> <p>Constituem solos freqüentemente de granulação mais fina, silto-argilosos, pouco arenosos.</p> <p>Maior influência da matriz argilo-siltosa sobre a aferição de resistência dos solos, em qualquer situação de densidade dos terrenos, e conseqüentemente, sobre os índices de resistência.</p>	<p>Solos muito granulares, com muita influência das texturas e composição original das rochas, com fragmentos relictos da rocha original e matacões diversos.</p> <p>Curvas de resistência à penetração do amostrador-padrão de Terzaghi com oscilações entre resistências baixas e elevadas a partir de profundidades médias, crescendo abruptamente em profundidade, nas proximidades dos níveis de impenetrabilidade à ferramenta de percussão.</p> <p>Apresentam misturas de composições granulométricas, com grande influência dos materiais arenosos e de granulação mais grosseira.</p> <p>Maior influência do arcabouço formado por diversos tipos de grãos ou fragmentos pétreos, sobre os mecanismos de aferição de resistência dos solos, mesmo quando a baixa densidade dos solos permite o deslocamento lateral dos grãos.</p>

Tabela 4 – Principais características da influência da zona de falha sobre os solos derivados dos granitos do tipo Cerro Grande de Porto Alegre.

<i>Zona de Falha</i>	
<i>Adjacências da zona de falha</i>	<i>Zona de falha</i>
<p>Perfis de solos pouco espessos, com rápida passagem para horizontes saprolíticos.</p> <p>Curvas de resistência dos solos com incremento contínuo e em profundidades pequenas</p>	<p>Perfis de solo muito espessos, com horizontes de transição para rocha em grandes profundidades.</p> <p>Curvas de resistência dos solos com pequeno aumento em superfície, crêscendo apenas com o aumento da profundidade.</p>

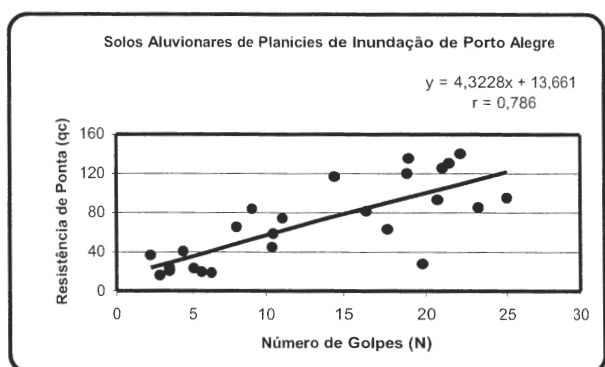
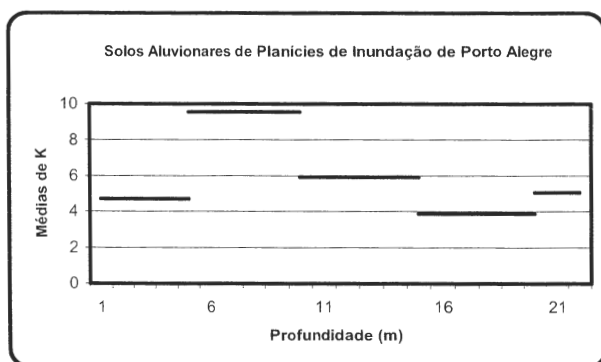


Figura 2 – Médias das razões K em função da profundidade para aluviões de planície de inundação, com a base da camada se situando entre 16 e 19m, e os cascalhos que representam o diastema entre 19 e 21m.

Figura 3 – Correlações entre número de golpes (N) e resistência de ponta (q_c) para os solos aluvionares de planície de inundação.

Tabela 5 – Fatores considerados para determinar a zona de influência da natureza geológica sobre solos residuais de Porto Alegre.

<i>Natureza geológica dos terrenos</i>	
<i>Granitos tipo Cerro Grande</i>	<i>Granitos tipo Morrinhos</i>
São monzogranitos mais antigos, com texturas médias a grosseiras, com grãos de quartzo grandes.	São sienogranitos, de granulação mais fina, feldspáticos, com grãos de quartzo pequenos, localmente cisalhados.
Produzem solos granulares, de espessura mediana, com aferição de resistência muito influenciada pelos grãos.	Produzem solos mais finos, com influência dos vênulos nas matrizes silto-argilosas, com pouco quartzo de granulação pequena.
Curvas de resistência à penetração do amostrador-padrão de Terzaghi com crescimento contínuo com a profundidade, desde a superfície.	Curva de resistência à penetração do amostrador-padrão de Terzaghi com crescimento acelerado em profundidades médias ou elevadas.
Constituem saibros grosseiros, pouco influenciados na aferição da resistência pela presença de vênulos de quartzo.	Constituem terrenos mais argilo-siltosos, com pouco arcabouço quartzoso, que é suscetível à interferência de vênulos de quartzo quando ocorrem.
Baixa interferência da matriz silto-argilosa, de pequena quantidade sobre a aferição da resistência.	Grande influência da matriz argilo-siltosa, sobre os mecanismos de aferição da resistência.

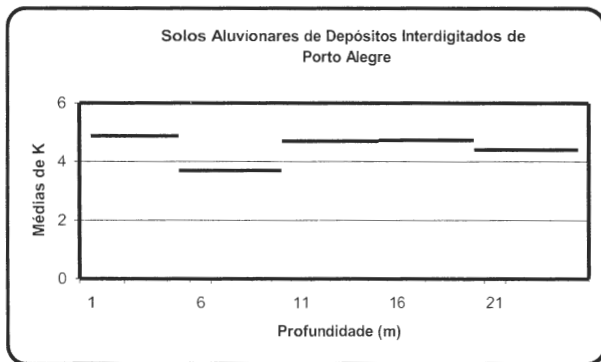


Figura 4 – Médias das razões de K em função da profundidade nos aluviões de depósitos interdigitados.

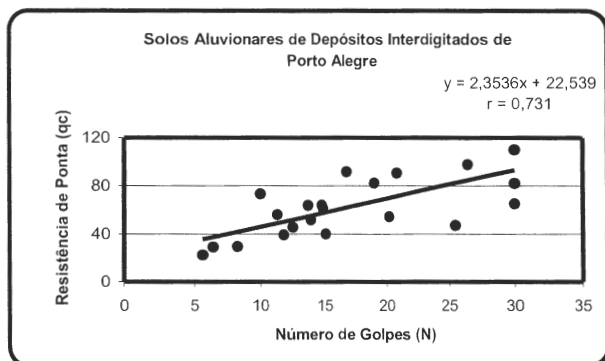


Figura 5 – Correlações entre número de golpes (N) e resistência de ponta (q_c) nos aluviões de depósitos interdigitados.

Nos gráficos de K x profundidade nos aluviões, é possível observar que, nos solos das planícies de inundação, as razões de K oscilam entre 4 e 10, apresentando um desenvolvimento característico (Figura 2). Nestes terrenos, a correlação entre q_c x N é elevada (Figura 3).

Nos solos aluvionares dos depósitos interdigitados, as oscilações na razão de K são muito pequenas, entre aproximadamente 3,8 e 5, com o desenvolvimento de K , em função da profundidade exibindo uma evolução mais uniforme (Figura 4). As correlações entre q_c x N são significativas, porém mais baixas.

As características destes terrenos, ressaltadas na Tabela 1 determinam os comportamentos observados. Nos materiais mais argilosos com impregnação de matéria orgânica, são encontradas as maiores relações de q_c/N .

Nos materiais com maior influência de misturas entre argilas e areias, nos depósitos interdigitados, a razão K (q_c/N) é mais constante e uniforme, com desenvolvimento de pequenas oscilações.

Nos taludes convexos sobre solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande, a média de K decresce inicialmente, com o aumento de profundidade, e depois aumenta continuamente (Figura 6).

A correlação entre o número de golpes e a resistência de ponta é pobre (Figura 7).

Para os conjuntos de dados de sondagens agrupados em função da tipologia dos taludes, a variação de K com a profundidade, está apresentada na Figura 8, para os taludes côncavos

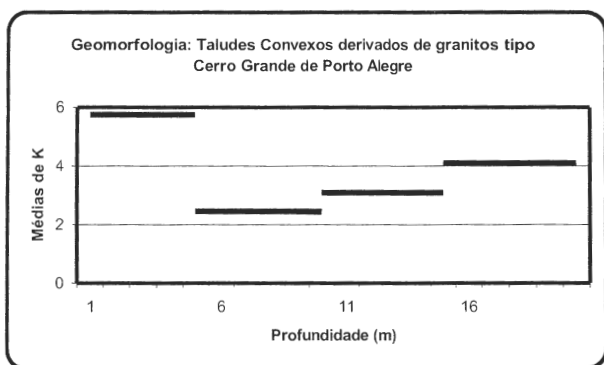


Figura 6 – Médias das razões de K em função da profundidade nos taludes convexos sobre solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande.

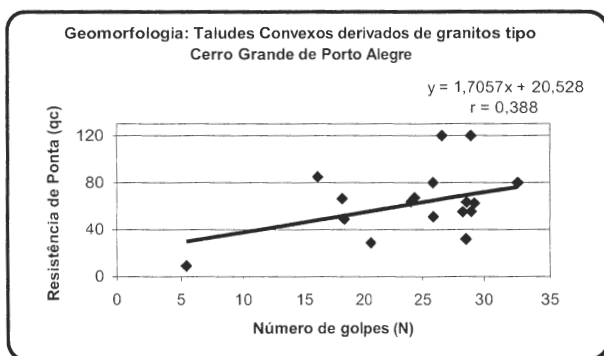


Figura 7 – Correlações entre número de golpes (N) e resistência de ponta (q_c) nos taludes convexos sobre solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande.

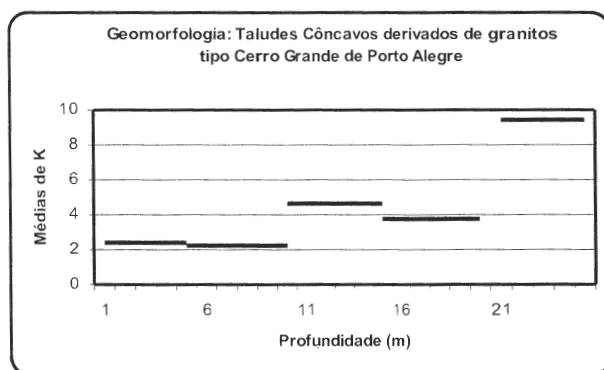


Figura 8 – Médias de K contra a profundidade para os taludes côncavos derivados de granitos tipo Cerro Grande.

A correlação entre número de golpes e resistência de ponta é exibida na Figura 9 para os conjuntos de dados agrupados para os taludes côncavos.

Nos taludes convexos, a Razão K oscila entre 2 e 6, começando elevando, sofrendo uma redução e crescendo até o horizonte de transição saprolítico. (Figura 6). As razões entre q_c e N são baixas. Nos taludes côncavos, as razões de K oscilam entre 2 e 10 e começam baixas, crescendo quase de forma

contínua até o nível de impenetrabilidade (Figura 8). As razões $q_c \times N$ são representativas (Figura 9).

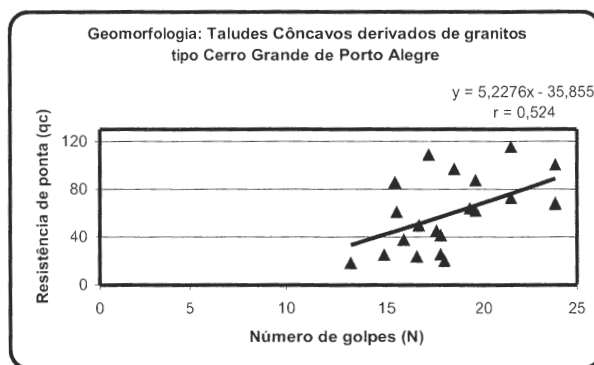


Figura 9 – Correlações entre número de golpes (N) e resistência de ponta (q_c) para os taludes côncavos derivados de granitos tipo Cerro Grande.

Este comportamento decorre das características compiladas na Tabela 2.

Nos solos de maturidade jovem testados nos terrenos derivados dos granitos tipo Cerro Grande (Figura 10), as razões são quase constantes, sofrendo pequena redução apenas no horizonte saprolítico.

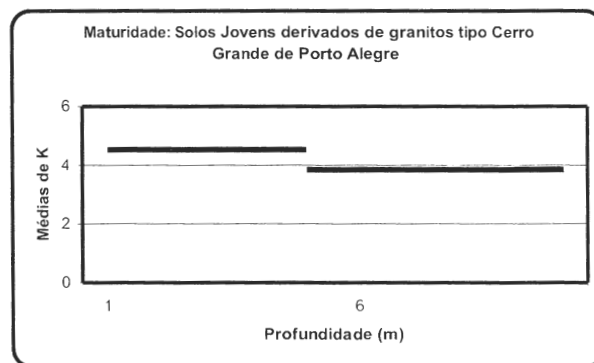


Figura 10 – Médias de K pela profundidade para solos jovens derivados de granitos tipo Cerro grande.

As correlações para estes solos, estão apresentadas na Figura 11 e são razoáveis, apresentando índice em torno de 0,6.

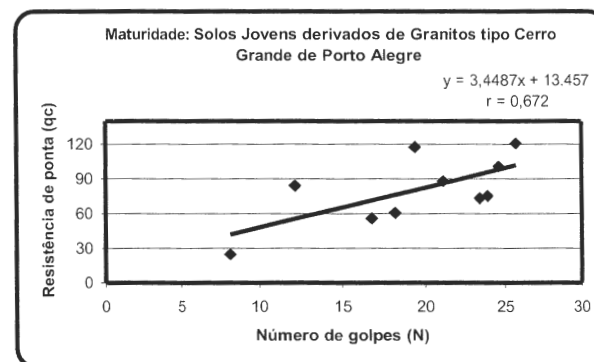


Figura 11 – Correlações entre número de golpes(N) e resistência de ponta (q_c) para solos jovens derivados de granitos tipo Cerro grande.

Nos terrenos maduros sobre os solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande, a razão K diminui com a profundidade, aumentando apenas no horizonte saprolítico, conforme se observa na Figura 12.

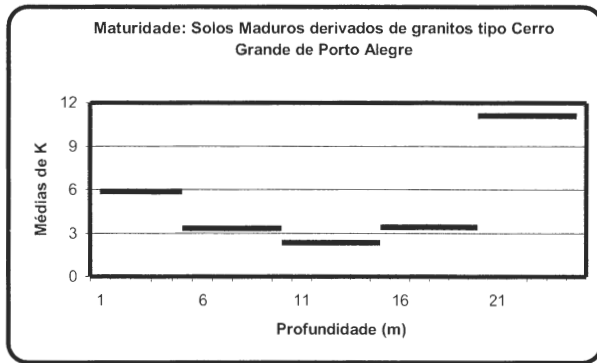


Figura 12 – Médias de K contra a profundidade nos terrenos maduros sobre os solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande.

A correlação entre número de golpes e resistência de ponta é baixa nestes terrenos (Figura 13).

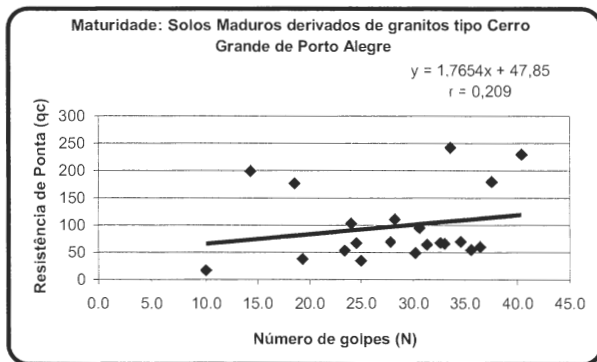


Figura 13 – Número de golpes *versus* (N) resistência de ponta (q_c) nos terrenos maduros sobre os solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande.

Lunne *et al.* (1997), citando Ajayi e Bologun (1988), observam que são grandes as dispersões entre número de golpes e resistência de ponta em solos residuais.

Os solos maduros têm maior profundidade e os solos jovens menor. Por isso são apresentados gráficos até 10m dos solos jovens e superiores a 20m para os terrenos maduros. Ambos se encontram em área de influência dos solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande.

A influência de uma zona de falha foi testada nos solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande. Considerou-se uma área adjacente à zona de falha e uma zona interior da mesma falha.

Nas adjacências da zona de falha, K varia de 4 nos primeiros metros a menos de 2 nos metros finais (Figura 14).

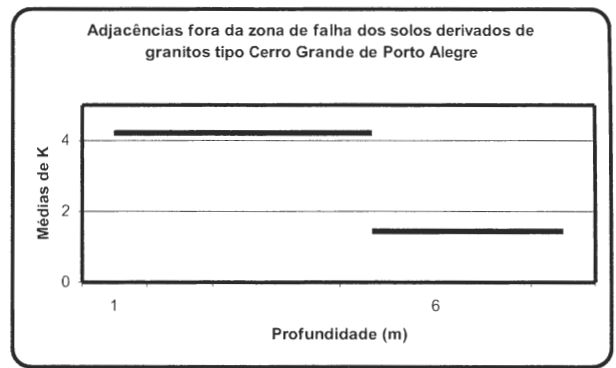


Figura 14 – Médias de K com a profundidade nas adjacências fora da zona de falha nos solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande.

As correlações entre N e q_c são baixas nestes terrenos, conforme se observa na Figura 15.

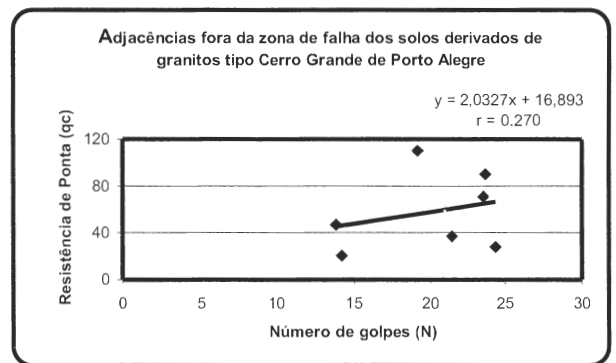


Figura 15 – Número de golpes *versus* (N) resistência de ponta (q_c) nas adjacências fora da zona de falha nos solos derivados dos granitos tipo Cerro Grande.

No interior da zona de falha, as razões de K oscilam em torno de 2, subindo no horizonte mais profundo. (Figura 16).

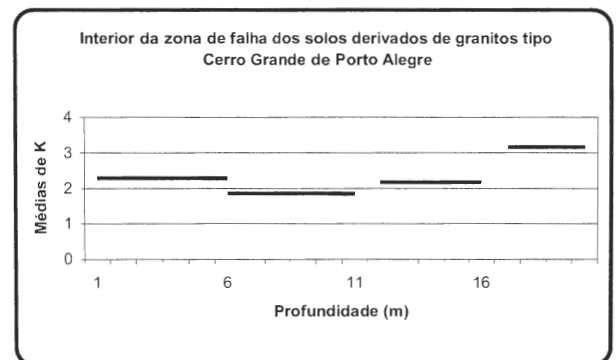


Figura 16 – Médias de K *versus* a profundidade no interior da zona de falha dos solos derivados de granitos tipo Cerro Grande.

A correlação entre resistência de ponta do cone e Número de golpes do SPT é boa nestes terrenos (Figura 17).

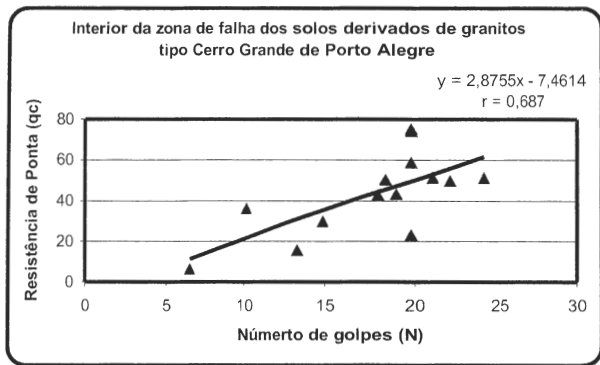


Figura 17 – Número de golpes *versus* (N) resistência de ponta (q_c) no interior da zona de falha dos solos derivados de granitos tipo Cerro Grande.

Na comparação entre a influência das litologias graníticas, para as amostras dos terrenos provenientes das rochas dos Granitos tipo Cerro Grande, as médias de K sofrem pequena elevação e depois decrescem até ser encontrado o nível saprolítico de transição entre solos e rochas, quando a razão K cresce (Figura 18).

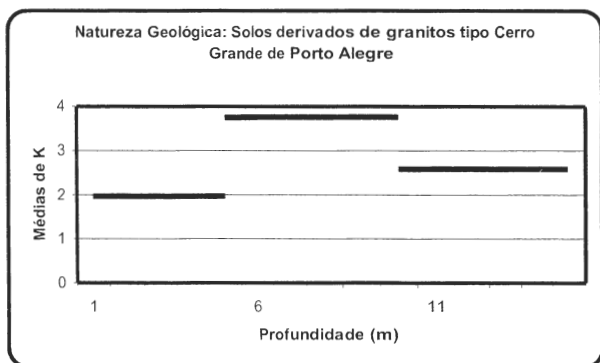


Figura 18 – Médias das razões K em função da profundidade dos terrenos derivados das rochas de granitos tipo Cerro Grande.

As correlações entre número de golpes (N) do SPT e a resistência de ponta (q_c) são exibidas na Figura 19, apresentando uma baixa correlação entre os dois valores, com a dispersão crescendo com a profundidade.

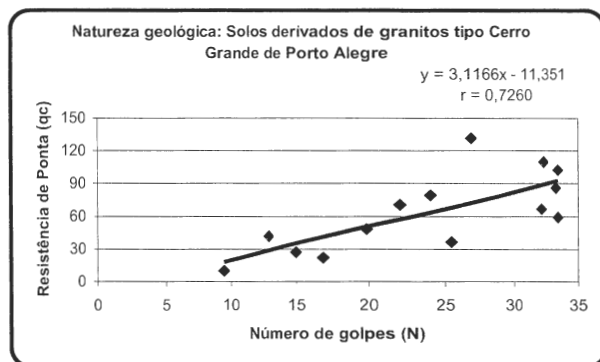


Figura 19 – Correlações entre número de golpes (N) e resistência de ponta (q_c) dos terrenos derivados das rochas de granitos tipo Cerro Grande.

A correlação entre $q_c \times N$ se mostra boa até o número de golpes 30, quando então as dispersões produzidas pelos aumentos randômicos de q_c , tornam as correlações baixas.

Sobre os solos de alteração das rochas granitóides do tipo Cerro Grande, as médias de K oscilam entre 2 e valores pouco superiores a 3 (Figura 14). Para os terrenos de alteração sobre os granitos tipo Morrinhos, K varia entre 1 e 5, com um desenvolvimento característico em função da profundidade (Figura 16).

O comportamento observado reflete as diferenças ressaltadas na Tabela.5, lembrando que em última análise, fatores vinculados à história geológica e a fatores genéticos dos solos, não passíveis de observações visuais e mecânicas, estão sendo preponderantes a influenciar os dados obtidos.

Para os terrenos derivados dos granitos tipo Morrinhos, as médias de K em função da profundidade decrescem constantemente a partir da superfície, sofrendo uma elevação apenas no horizonte de transição saprolítica (Figura 20).

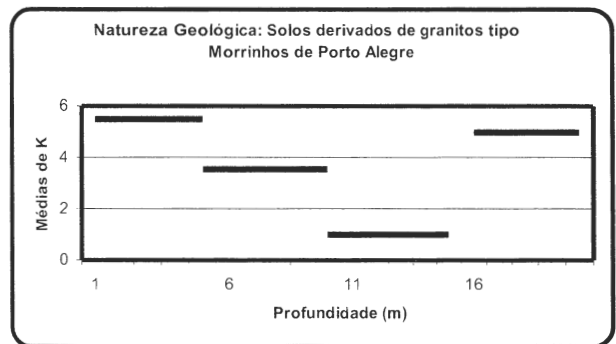


Figura 20 – Média das razões de K em função da profundidade nos terrenos derivados dos granitos tipo Morrinhos.

O diagrama de dispersão entre número de golpes e resistência de ponta dos terrenos derivados dos Granitos tipo Morrinhos não apresenta correlação, conforme se observa na Figura 21.

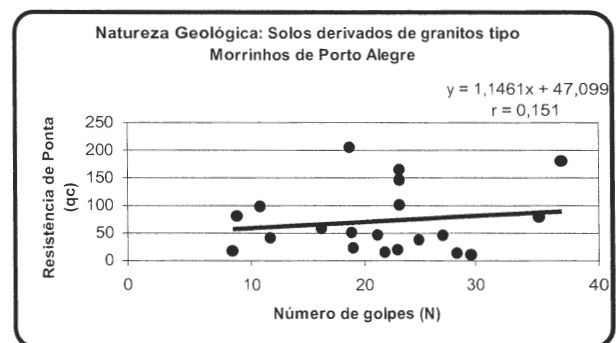


Figura 21 – Correlações entre número de golpes (N) e resistência de ponta (q_c) nos terrenos derivados dos granitos tipo Morrinhos.

4 Discussão

Sergeev (1980) em seu clássico artigo "Engineering Geology and Protection of Environmental" destaca que os solos não são simples sistemas mecânicos de elementos granulométricos, ligados ou não por forças coesivas, com propriedades constantes, ressaltando a importância da consideração dos fatores genéticos e pós-genéticos que influenciaram a formação das propriedades e determinaram sua evolução.

Schnaid (2000), Terzaghi e Peck (1967), Gibbs e Holtz (1957), Holubeck e D'Appolonia (1973), Marcusson e Bieganousky (1977), citam a influência do índice de vazios, cuja redução aumenta a resistência à penetração; (Schultze e Miezenback (1961)).

Skempton (1986) destaca a influência do tamanho médio das partículas, cujo aumento eleva a resistência à penetração e citando a DIN 4.094 refere que solos uniformes apresentam menor resistência à penetração.

Terzaghi e Peck (1967), Bazaraa (1967), de Mello (1971) e Rodin *et al.* (1974) referem a influência da pressão neutra, que em solos finos densos produz dilatação, aumentando a resistência.

Holubec e D'Appolonia (1973), citam a angulosidade das partículas, cujo aumento eleva a resistência à penetração; referindo Zolkov e Wiseman (1965).

Por último, Schnaid e Houlby (1994) refere a influência do nível de tensões, cujo ampliação vertical ou horizontal aumenta a resistência, registrando ainda a influência da idade dos depósitos já referida anteriormente.

O trabalho apresentado comprova que algumas variáveis geo-ambientais, como natureza geológica dos terrenos; e para um mesmo tipo de solo, a maturidade, as condições geomorfológicas e a influência de uma zona de falha influenciam. A tipologia dos aluviões também produz modificações na aferição das resistências dos terrenos e, particularmente nas razões e relações encontradas a partir dos 2 métodos mais comuns de investigação geotécnica dos terrenos para estimativa de carga.

Fatores como a influência geomorfológica e o grau de maturidade já são descritos e demonstrados há muito tempo por autores como Berry e Ruxton (1959) e Vargas (1953). Oliveira (1975), discutindo a origem dos materiais para formação dos solos, já descreve a importância que estes processos determinam como herança nas características dos materiais, e que portanto acabam tendo influência sobre os métodos de aferição de resistência. De Mello (1971) já fazia algumas observações neste sentido também.

A influência da natureza dos solos e, em consequência, do volume de vazios sobre a densidade (resistência) e a presença de lençol freático livre ou confinado, determinam variações no comportamento das forças de inércia que influem nas aferições dos equipamentos de **SPT** e **CPT**.

A interferência destes fatores pode explicar discrepâncias e anomalias das principais correlações efetuadas para o **SPT**, como as de Gibbs e Holtz (1957), Berberian (1986), Peck *et al.* (1953) e De Mello (1967). O mesmo pode ser dito para as correlações de **CPT**, como as de Meyerhof (1974), Trofimenkov (1974), Begeman (1974), Schmertmann (1978), Burmister (1948), Janbu e Senneset (1974), Baldi *et al.* (1981) e Robertson e Campanella (1983), Jamiolkowski *et al.* (1985) e Meigh (1987).

Danziger e Velloso (1986) pela primeira vez destacam que "a idéia de se agrupar os solos de mesma formação parece representar a situação ideal". De fato, sempre transparece na discussão entre engenharia e geologia, na interface da geotecnia ou da mecânica dos solos, uma visão mais materialista, na aceção de tipo de material (granulometria) por parte da engenharia, com a visão da geologia contrapondo uma visão geneticista, em função da origem e formação dos solos.

Danziger *et al.* (1998) citando Vargas (1953) e Sandroni (1985) observam a influência da maturidade dos solos para introduzir correlações entre **SPT** e **CPT**, adotando classificações de solos para agrupar diferentes razões entre q_c/N . Estes autores concluem que são estabelecidas correlações para diferentes tipos de solos residuais derivados de diferentes tipos de rochas, assinalando que diferentes tipos de rochas produzem diferentes correlações para o mesmo tipo de solo.

5 Conclusões

Os estudos comparativos comprovam a influência da natureza geológica dos terrenos e dos estágios de maturidade, das condições geomorfológicas e da influência de uma zona de falha sobre solos derivados da mesma origem geológica. A tipologia da natureza aluvionar também influencia no comportamento das razões entre resistência de ponta do cone e número de golpes da sondagem a percussão.

A determinação da magnitude das influências destes fatores e sua importância somente poderão ser mensuradas com a execução de estudos de investigação geotécnica, seguidos de execução de cálculos de capacidade de carga dos terrenos e a execução de estacas instrumentadas e provas de carga sobre as estacas, com a elaboração de retro-análises estatísticas, considerando os diferentes elementos influentes, conforme as situações de campo existentes e demonstradas.

Agradecimentos

A Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, ao Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná pelo apoio na realização do trabalho, e à FAPERGS, pelas inúmeras

bolsas de iniciação científica fornecidas desde 1992, quando este projeto foi iniciado.

Referências

- AJAYI, L. A.; BALOGUN, L. A. Penetration testing in tropical lateritic and saprolitic soils – Nigerian Experience. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING, 1, 1988, ORLANDO. *Proceedings...* Orlando, 1988. v.1, p. 315-328.
- AZEVEDO, S. L. *Sistematização dos Resultados de sondagens de simples reconhecimento dos solos de Porto Alegre*. 1990. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BALDI, G.; BELOTTI, R.; GHIONNA, V.; JAMIOLKOWSKI, M.; PASQUALINI, E. Cone resistance of dry medium sand. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 10, 1981, STOCKHOLM. *Proceedings...* Rotterdam: A. A. Balkema, 1981. v. 2, p. 427-432.
- BAZARAA, A. R. S. S. *Use of the Standard Penetration Test for Estimating Settlement of Shallow Foundations on Sand*. Chicago: Univ. of Illinois, 1967.
- BEGEMANN, H. K. S. P. Central and Western Europe - General Report. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING, 1974, STOCKHOLM. *Proceedings...* Stockholm National Swedish Building Research, 1974-75. v. 2, p. 29-39.
- BERBERIAN, D. *Sondagens do subsolo para fins de engenharia*. Brasília: Infrasoil / UnB, 1986. v. 1.
- BERRY, L.; RUXTON, B. P. Notes on Weathering zones and soils on granitic rocks in two tropical regions. I. *Soil Sci.*, v.10, p. 54-63, 1959.
- BURMISTER, D. M. The importance and practical use of relative density in soil mechanics. *ASTM*, v. 48, p.1249, 1948.
- CARRARO, C. C. et al. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul* (Escala 1:1.000.000), Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 1974.
- DANZIGER, B. R.; VELLOSO, D. de A. Correlações entre SPT e os resultados de ensaios de penetração contínua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8., 1986, PORTO ALEGRE. *Anais...* Porto Alegre, 1986, p. 103-113.
- DANZIGER, F. A. B.; POLITANO, C.R.; DANZIGER, B. R. CPT-SPT Correlations for some Brazilian residual soils In: ROBERTSON & MAYNE (Ed.). *Geotechnical site Characterization*. Rotterdam: Bakema, 1998. p. 907-912.
- DE MELLO, V. F. B. *Considerações sobre Ensaios de Penetração e suas Aplicações a Problemas de Fundações Rasas*. 1967. Tese. Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- _____. The Standard Penetration Test. In: PANAMERICAN CONGRESS ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4th, 1971, PUERTO RICO. *Proceedings...* Puerto Rico, 1971. v. 1, p. 1-86.
- DIKRAN, S. S. *Some Factors Affecting the Dynamic Penetration Resistance of a Saturated Fine Sand*. University of Surrey, 1983.
- DIN 4094, Part 2. *Dynamic and Static Penetrometers: Application and Evaluation*. Berlin, 1980.
- DURGUNOGLU, H. T.; MITCHEL, J. K. Influence of penetrometer characteristics on static penetration resistance. I- Analysis. II-Evaluation of theory and implications for practice. In: SPECIALTY CONFERENCE ON IN SITU MEASUREMENT OF SOIL PARAMETERS, 1975, RALEIGH. *Proceedings...* New York: ASCE, 1975. v. 1, p. 172-189.
- GIBBS, H. J.; HOLTZ, W. C. Research of Determining the Density of Sand by Spoon Penetration Test. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4ST, 1957, LONDRES. *Proceedings...* Londres, 1957. v. 1. p.35-39.
- HOLUBEC, L.; D'APPOLONIA, E. Effect of particle shape on the engineering properties of granular soils. In: *ASTM SPT 523*, p. 304-318, 1973.
- JAMIOLKOWSKI, M.; LADD, C. C.; GERMAINE, J. T.; LANCELLOTTA, R. New Developments in field and laboratory testing of soils. State of the art report. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 11., 1985, SAN FRANCISCO. *Proceedings...* Rotterdam: Balkema, 1985. v. 1, p. 57-153.
- JANBU, N.; SENNESET, K. Effective stress interpretation of in situ static penetration tests. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING, 1974, STOCKHOLM. *Proceedings...* Stockholm: National Swedish Building Research, 1974-75. v. 2, p. 181-193.
- LUNNE, T.; ROBERTSON, P. K.; POWELL, J. J. M. *Cone Penetration Test in Geotechnical Practice*. London: Blackie Academic & Professional, 1997. 312 p.
- MARCUSON, W. F.; BIEGANOUSKY, W. A. Laboratory Standard Penetration Tests on Fine Sands. *Journ. Geol. Engng.*, Div. V. 103, GT, p. 565-580. New York: ASCE, 1977.
- MEIGH, A. G. *Cone penetration testing: methods and interpretation*. London: Butterworths, 1987. (CIRIA ground engineering report: In-situ testing).
- MEYERHOF, G. G. Outside Europe - general report. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING, 1974, STOCKHOLM. *Proceedings...* Stockholm National Swedish Building Research, 1974-75. v. 2, p. 40-48.
- OLIVEIRA, I. B. In: MUNIZ, A. (Coord.). *Elementos de pedologia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 351-353.
- PECK, R. B.; HANSON, W. E.; THORBURN, J. H. *Foundation Engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1953.
- RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W.; CAMOZZATO, E. In: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. *Porto Alegre Folha SH.22-Y-B. Estado do Rio Grande do Sul*. Brasília: CPRM, 1997.
- ROBERTSON, P. K.; CAMPANELLA, R. G. Interpretation of cone penetration tests. Part I: sand; Part II: clay. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 20, n. 4, p. 718-745, 1983.
- RODIN, S.; CORBETT, B. O.; SHERWOOD, D. E.; THORNEBURN, S. Penetration testing in United Kingdom. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING, 1st, 1974. *Proceedings...* v.1 p.139-146, 1974.

- SANDRONI, S. S. Sampling and testing for residual soils in Brazil. *Sampling and Testing of Residual Soils – a Review of International Practice*. Technical Committee on Sampling and Testing of Residual Soils, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1985. *Proceedings...* 1985, p.31-50.
- SCHMERTMANN, J. H. *Guidelines for cone penetration test: performance and design*. Washington: U.S. Department of Administration, Federal Highway Administration, 1978.
- SCHNAID, F. *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- SCHNAID, F.; HOULSBY, G. T. Measurement of the properties of sand in a calibration chamber by the cone pressuremeter test. *Géotechnique*, v. 42, p. 587-601, 1994.
- SCHULTZE, E.; MIEZENBACK, E. Stand Penetration Test and Compressibility of Soils. In: 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1961, Paris. *Proceedings...* 1961, v.1. p.527-532.
- SERGEEV, E. M. Engineering Geology and Protection of the Environment. *Bull. IAEG.*, n. 22, 1980.
- SKEMPTON, A. W. Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing, and overconsolidation. *Géotechnique*, v. 36, n. 3, p. 425-447, 1986.
- TERZAGHI, K.; PECK, R. B. *Soil mechanics in Engineering Practice*. New York: John Wiley, 1967.
- TROFIMENKOV, J. G. Penetration Test in URSS - State-of-the-Art-Report. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING, 1., 1974, STOCKHOLM. *Proceedings...* Stockholm National Swedish Building Research, 1974-75. v. 1, p. 147-154.
- VARGAS, M. Some engineering properties of residual clay soils occurring in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 3., 1953, ZURICH. *Proceedings...* Zurich, 1953, v. 1, p.67-71.
- ZOLKOV, E.; WISEMAN, G. Engineering Properties of Dune and Beach Sands and the Influence of Stress History. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 6TH, 1965, MONTREAL. *Proceedings...* Montreal, 1965, v. 1, p. 134-138.