

17° Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental
CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO RESIDUAL
DERIVADO DE ROCHAS GRANÍTICAS NA REGIÃO DE JOAQUIM
EGÍDIO, CAMPINAS (SP).

João Marcos Marquezini Leite¹; Jefferson de Lima Picanço²

Resumo - A caracterização geotécnica de solos é um estudo de extrema importância tanto para a geologia quanto para a engenharia. É também fundamental para identificação das características físicas de um solo. A partir de ensaios geotécnicos é possível compreender o solo segundo parâmetros como granulometria e índices físicos. Assim, este projeto apresenta uma discussão sobre os aspectos geotécnicos de solos residuais de granito na região de Joaquim Egídio, SP. A partir da coleta de amostras deformadas, foram realizados ensaios de laboratório que visaram exclusivamente a caracterização física, dessa forma foram então realizados os ensaios laboratoriais de granulometria conjunta, limites de Atterberg, determinação da massa específica dos sólidos e umidade do solo. A partir deles foram apresentados os resultados na forma de classificação textural, curvas granulométricas e índices físicos do solo. Conclui-se que o estudo apresenta importantes informações geotécnicas sobre a área, capazes de auxiliar no entendimento das características físicas da região e conseqüentemente nas avaliações em relação à expansão urbana da mesma.

Abstract - The geotechnical characterization of soils is an extremely important study for both geology and engineering, it is fundamental for identifying the physical characteristics of a soil. From geotechnical tests, it is possible to understand the soil according to parameters such as grain size distribution and physical indexes. Thus, this project presents a discussion on the geotechnical aspects of residual granite soils in the region of Joaquim Egídio, SP. Field work and sample collection for laboratory tests were performed aiming exclusively the physical characterization, in this way, laboratory tests of particle size, Atterberg limits, determination of the specific mass of solids and soil moisture were carried out. From them, the results were presented in the form of textural classification, granulometric curves and soil physical indexes. It was concluded that the study presents important geotechnical information about the area, being able to help in the understanding of the physical characteristics of the region and, consequently, in the evaluations relating to its urban expansion.

Palavras-Chaves: Solo residual de granito, mecânica dos solos, limites de Atterberg.

¹ Geól., BSc, Universidade Estadual de Campinas, (35) 998218864, jm.leite@hotmail.com

² Geól., PhD, Universidade Estadual de Campinas, (19) 35214576, jeffepi@unicamp.br

1. INTRODUÇÃO

O conceito de solo residual parte do princípio de que sua gênese se dá *in situ*, ou seja, o material gerado no retrabalhamento intempérico de rochas e materiais inconsolidados não sofrem qualquer transporte (Huat, *et al.* 2012), de forma que, tendo determinado um perfil de solo sua divisão é comumente feita a partir do grau de intemperismo em seus horizontes, onde se residual, encontra com frequência as classificações de solo laterítico e solo saprolítico. Enquanto **solos lateríticos** pertencem a um nível superior, bem drenado, com predominância de argilominerais do grupo da caulinita e com óxidos de ferro hidratados que resultam na cor avermelhada característica, os **solos saprolíticos** geralmente apresentam pequenas frações de argila e são considerados jovens, ou seja, mantêm estruturas relíquias da rocha mãe e são depositados logo acima da mesma (Duarte, 2002). Destaca-se então que o estudo do comportamento geotécnico de solos residuais tropicais e subtropicais é complexo, muito devido à grande variedade de classes ou tipos existentes com diferentes características (Bevilaqua, 2004), no entanto, é de grande importância, uma vez que o conhecimento das propriedades geotécnicas de um solo possibilita o entendimento de seu comportamento mecânico e, conseqüentemente, auxilia na eficácia do uso e ocupação do território. Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar métodos geotécnicos de classificação de solos, a fim de se obter as propriedades geomecânicas em três diferentes perfis originados de um regolito granítico no distrito de Joaquim Egídio no município de Campinas, SP.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1 Perfis estudados

A área de estudo se localiza em Joaquim Egídio (Figura 1), distrito do município de Campinas no estado de São Paulo. O distrito faz divisa com quatro municípios do interior de São Paulo: Pedreira, Valinhos, Morungaba e Itatiba. A área se encontra limitada regionalmente entre duas rodovias estaduais. Ao sul pela Rodovia Dom Pedro I (SP – 065) e ao norte pela Rodovia José Bonifácio Coutinho Nogueira (SP – 081) e seu acesso é feito essencialmente pela estrada de Salto Grande, essa, que por sua vez tem início na conexão com a SP – 081 no limiar urbano de Joaquim Egídio, se encontra nas proximidades do Conjunto Arquitetônico da Usina de Salto Grande, ao longo do rio Atibaia, e tem acesso ao lado de um trecho do percurso localmente conhecido como trilha da Bocaina. Seus limites são relativos à encosta, acessível de carro, de forma que verticalmente existe uma ascensão de oitenta metros, tendo como ponto mais baixo a base da vertente a 770 metros de altitude. Horizontalmente, sua extensão é relativa à linha visível do gasoduto Campinas – Rio onde se alonga cerca de vinte metros lateralmente a partir da estrada.

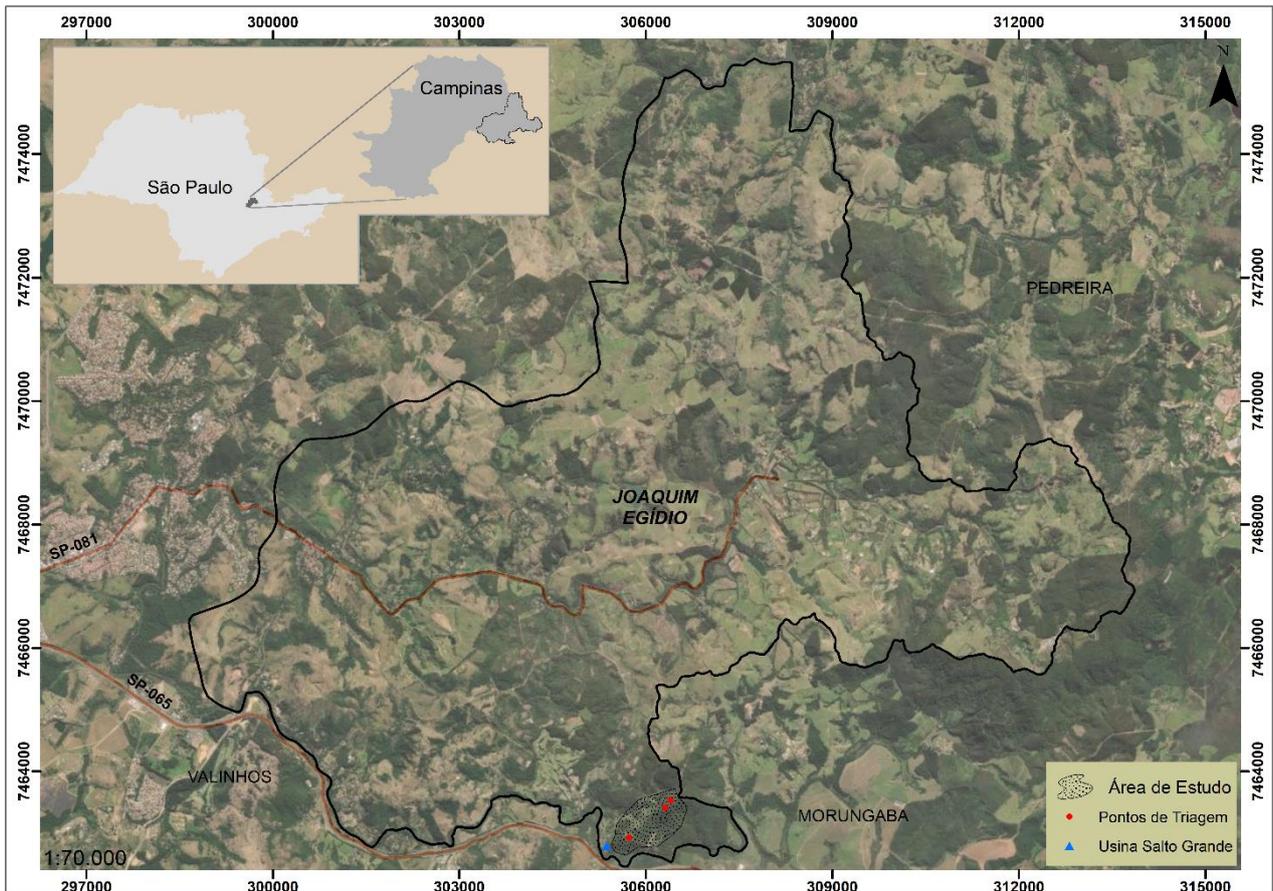


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

Foram então coletadas seis amostras a partir de três diferentes perfis de solo (Figura 2), a separação destes perfis foi feita a partir de uma descrição tátil-visual em campo, para esta descrição os aspectos principais aspectos considerados foram: Cor, estimativa textural e a plasticidade observada em campo. Compreende-se que o perfil de alteração de um solo residual geralmente indica uma mudança gradual de rocha inalterada na base até um solo totalmente intemperizado no topo (Huat, *et al.* 2012), com isso, a classificação dos horizontes procurou agrupar características comuns e manter homogeneidade nas zonas de intemperismo apresentadas no perfil esquemático abaixo.

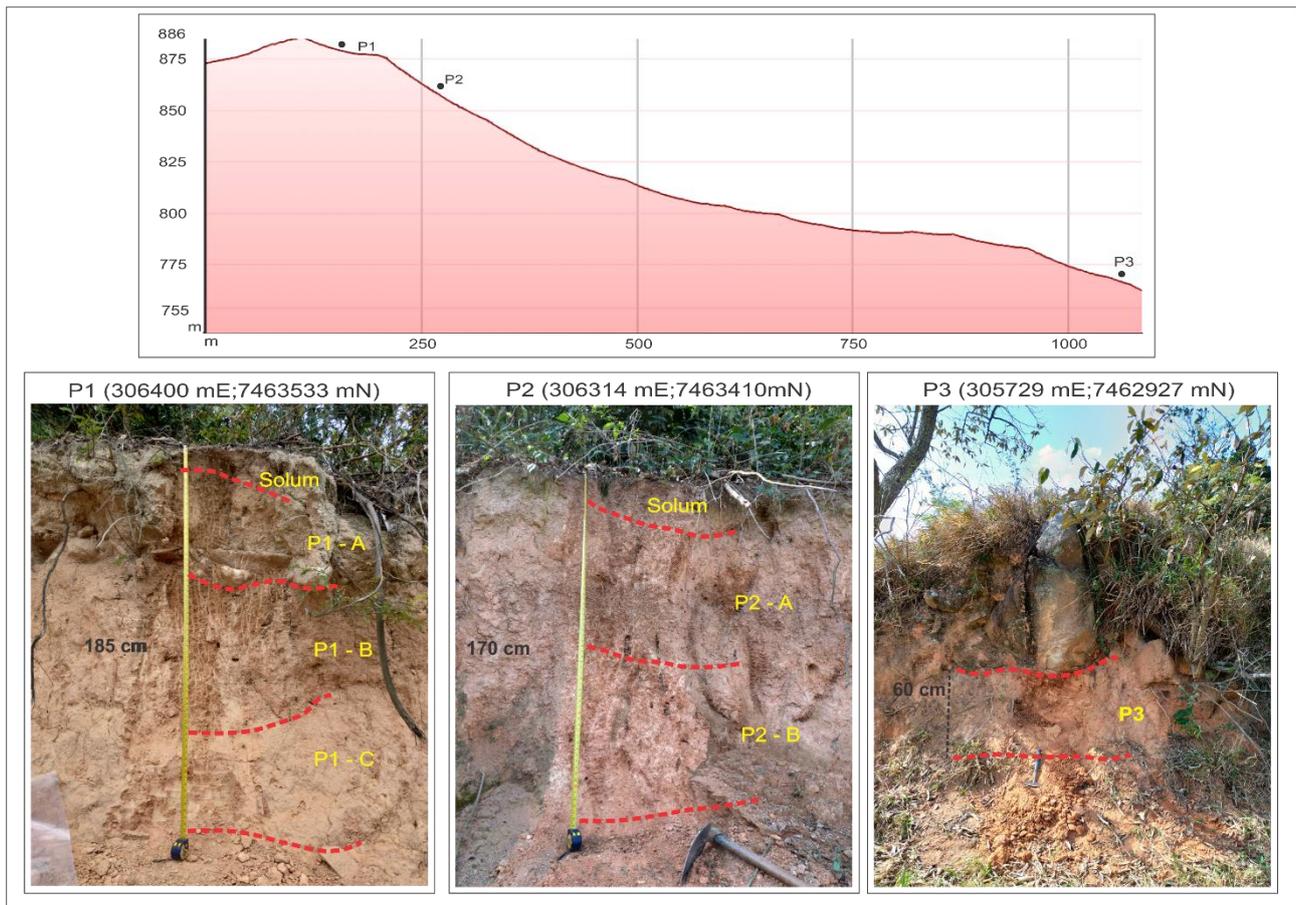


Figura 2: Posicionamento geográfico dos perfis estudados ao longo da encosta e sua separação tátil-visual.

2.2 Aspectos fisiográficos

O município de Campinas está localizado no limite entre dois compartimentos geomorfológicos do estado de São Paulo, de forma que além da zona de transição se encontra o Planalto Atlântico, a leste e a Depressão Periférica, a oeste. A disposição do relevo no primeiro domínio vincula-se à ocorrência de rochas gnáissicas do Complexo Itapira, das suítes graníticas Jaguariúna e Morungaba e das rochas miloníticas associadas à ZCC (Zona de Cisalhamento Campinas). Já as rochas do segundo domínio geomorfológico são representadas pelos arenitos, ritmitos e lamitos do Subgrupo Itararé, junto com diabásios da Formação Serra Geral (Yoshinaga *et al.* 1995). Ademais, o município é subdividido em cinco diferentes tipos de terreno que são caracterizados pela presença de formas, tipos e padrão de distribuição dos solos e processos superficiais uniformes (Yoshinaga *et al.* 1995). Destaca-se então que a área de estudo se encontra nos terrenos amorceados de inclinação moderada, que de forma geral, são caracterizados por um solo podzólico vermelho amarelado, com textura grossa e de cascalhos nos horizontes superiores nos quais é vista uma alta susceptibilidade à erosão, devido principalmente ao tipo de solo e às altas declividades encontradas (12 a 30%).

Quanto a litologia (Figura 3) pode se dizer que a área está inserida no contexto do Proterozóico no município, de forma que se estabelecem a suíte granítica Morungaba no leste do território e as rochas metamórficas de média a alto grau com migmatização parcial datadas do Proterozóico Médio referentes ao Complexo Itapira. A faixa central pertencente ao Complexo Itapira é limitada a oeste pela Zona de Cisalhamento Campinas (ZCC) e a leste pela Zona de Cisalhamento

Valinhos (ZCV). Em uma análise de menor escala, a área se encontra unicamente em litologias pertencentes à Suíte Granítica Morungaba, esta que em mapeamento regional (1:50.000) é descrita como corpos associados de Biotita-granito 3b (família dos monzogranitos) e Granodioritos com granada ambos maciços com granulação fina a média e variação de 5 a 10% de minerais máficos. Complementarmente existe em pequenas porções da área uma associação de Biotita-granito 3b e quartzo-monzonito, maciços com granulação média a grossa e máficos variando entre 5 a 15% (Fernandes, *et al.* 1993).

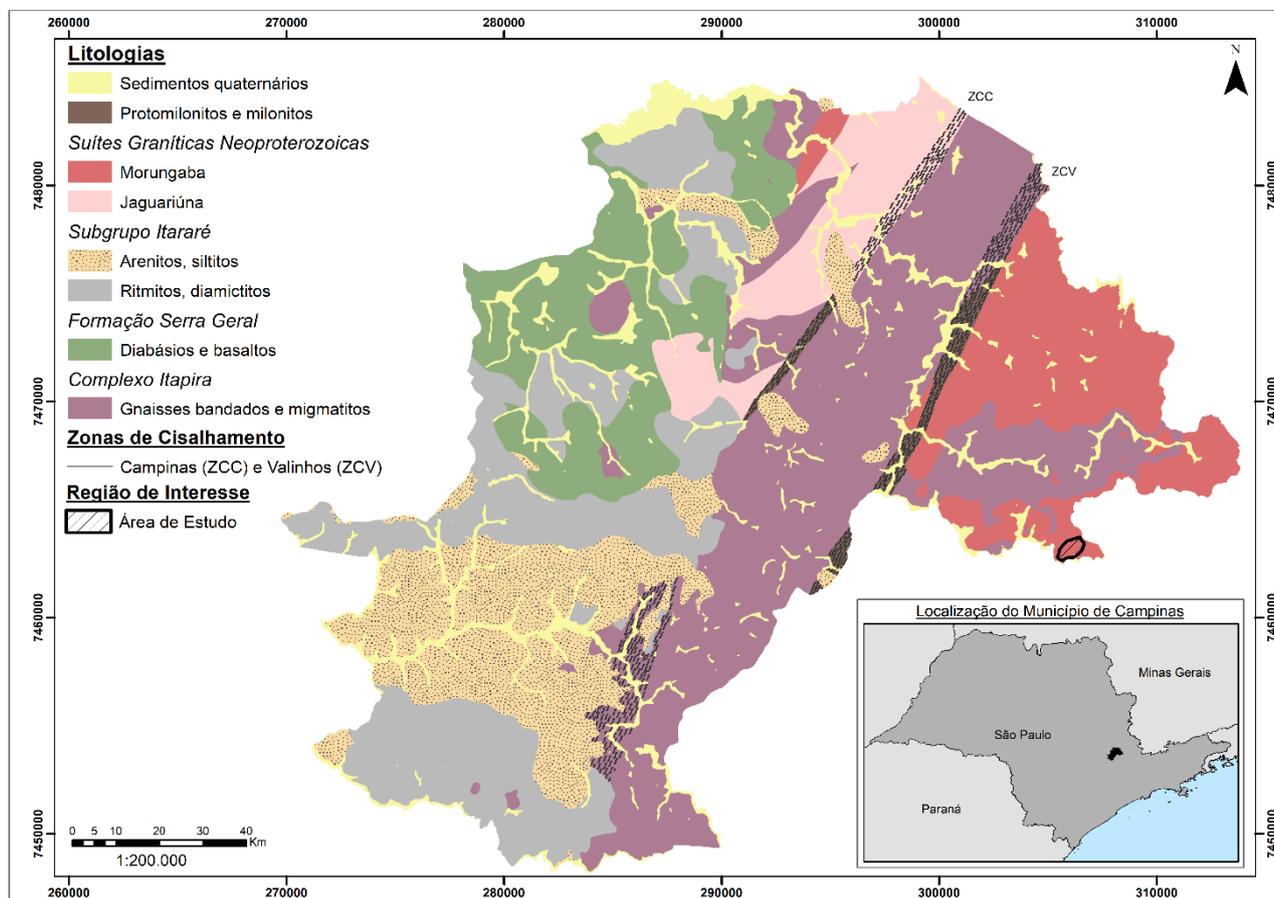


Figura 3: Mapa resumido de contextualização geológica da área.

Fonte: Adaptado de Mapa Geológico do Município de Campinas (Fernandes, *et al.* 1993)

3. METODOLOGIA

Os solos residuais encontrados na área de estudo foram submetidos a ensaios geotécnicos no laboratório de solos da Faculdade de Engenharia Civil (FEC) dentro da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Estes ensaios foram executados para obtenção de parâmetros de comportamento geotécnico com interesse na caracterização física e mecânica dos solos residuais estudados, de forma que não foram realizados ensaios com intuito de análise química. Os procedimentos de análise geotécnicas propostos no trabalho foram escolhidos conforme as amostras coletadas, interesse em seus resultados e disponibilidade de equipamentos no momento, aplicando-os à todas as amostras. Nesta etapa, foram feitos então os seguintes estudos: Análise granulométrica conjunta, Umidade do solo, determinação da Massa específica e limites de Atterberg. Deve ser ressaltado que todos os procedimentos foram efetuados segundo as normas propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), respectivamente NBR 7181; NBR 16097; NBR 6508 e NBR 7180/NBR 6459. Por fim, destaca-se que os índices físicos:

Porosidade (n), índice de vazios (e) e grau de saturação (Sr) foram calculados a partir de relações matemáticas envolvendo o teor de umidade (w), peso específico dos sólidos (Ys) e peso específico aparente natural (Yn), onde os dois primeiros foram obtidos nas análises laboratoriais e o último foi encontrado a partir da análise de bibliografia para este mesmo índice em solos saprolíticos derivados de granito/gnaiss (Machado, 2012; Futai, *et al.* 2012; Oliveira, 2006 ; Duarte, *et al.* 2000).

4. COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DOS SOLOS

A Tabela 1 apresenta de forma resumida os resultados obtidos nestes ensaios e são representados em termos de índices físicos, Limites de Atterberg e caracterização textural. Ademais, apresentam-se também as curvas obtidas através do ensaio de granulometria conjunta (Figura 4), a carta de plasticidade para solos finos (Figura 5) e na os triângulos texturais (Figura 6) empregados no estudo.

Tabela 1: Índices físicos, parâmetros de consistência (limites de Atterberg) e classificação textural.

		P1 - A	P1 - B	P1 - C	P2 - A	P2 - C	P3
Índices Físicos	Yn (kN/m ³)	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3
	Ys (g/cm ³)	2,560	2,680	2,670	2,630	2,620	2,610
	w (%)	5,46	5,87	5,32	8,74	8,67	4,79
	e	0,63	0,71	0,69	0,72	0,72	0,65
	n (%)	38,51	41,49	40,97	41,96	41,70	39,31
	Sr (%)	22,09	21,96	20,26	31,49	31,45	19,11
Limite de Atterberg	LP	24,30	27,70	24,30	30,50	30,50	25,00
	LL	42,70	49,30	33,60	49,60	40,90	35,80
	IP	18,40	21,60	9,30	19,10	10,40	10,80
	Skempton's Activity	0,60	0,57	0,47	0,63	0,57	0,56
	Classificação	Altamente Plástico	Altamente Plástico	Médiamente Plástico	Altamente Plástico	Médiamente Plástico	Médiamente Plástico
Classificação textural	EMBRAPA	Média	Média	Média	Média	Média	Média
	USDA	Franco Argilosa Aronosa	Franco Argilosa	Franco Argilosa	Franco Argilosa Aronosa	Franco Arenosa	Franco Arenosa

Onde: Yn – peso específico aparente natural³; Ys – Peso específico dos sólidos; w – teor de umidade; e – índice de vazios; n – porosidade; Sr – grau de saturação; LP – limite de plasticidade; LL – limite de liquidez; IP – índice de plasticidade.

³ O peso específico utilizado no cálculo dos demais índices não foi obtido através de ensaios, porém, foi usado uma média obtida através de comparação bibliográfica. (Machado, 2012; Futai, *et al.* 2012; Oliveira, 2006; Duarte, *et al.* 2000)

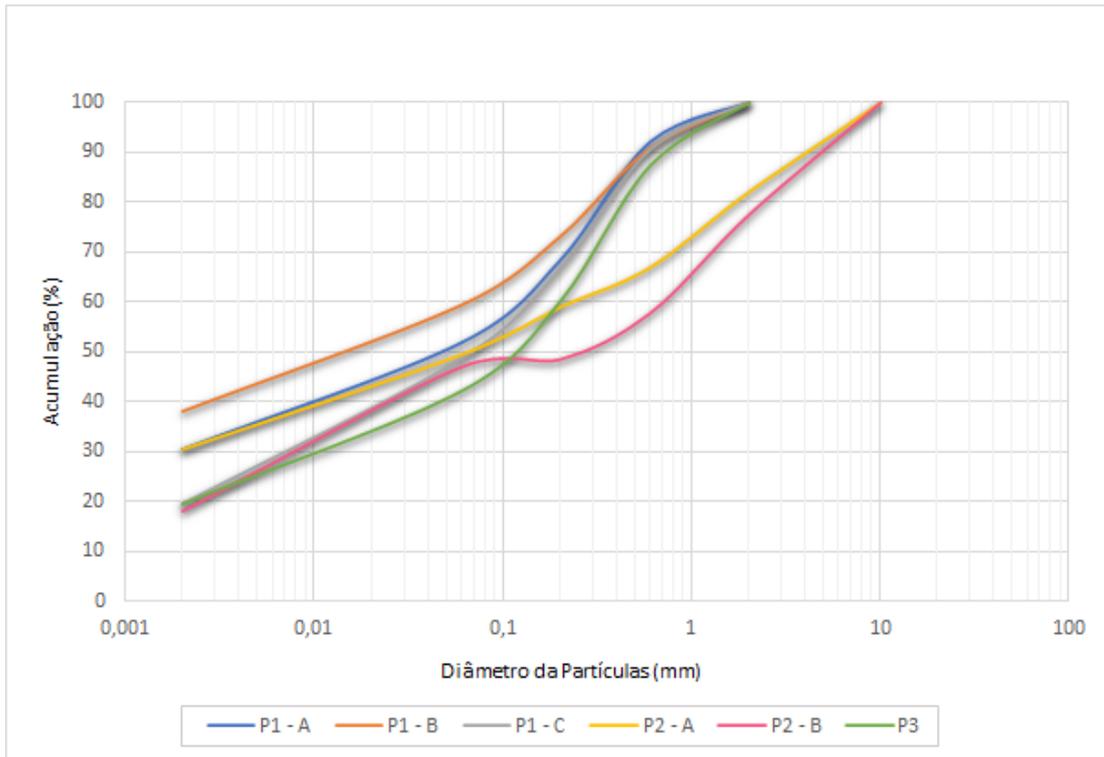


Figura 4: Distribuição granulométrica dos perfis estudados.

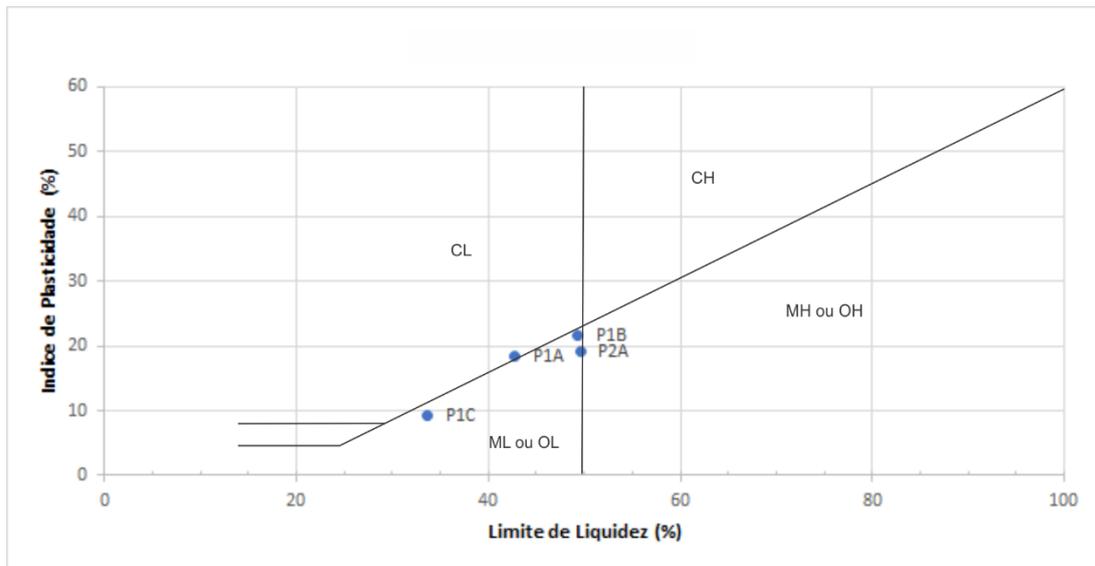


Figura 5: Classificação Unificada para solos finos.

Onde: C – Argila; M – Silte; O – Orgânico⁴ e H – Alta compressibilidade; L – Baixa compressibilidade.

⁴ A distinção ente silte (M) e orgânico (O) é feita visualmente, onde os solos orgânicos apresentam coloração mais escura e típica, às vezes até preta. No estudo, os solos analisados são todos “silte”.

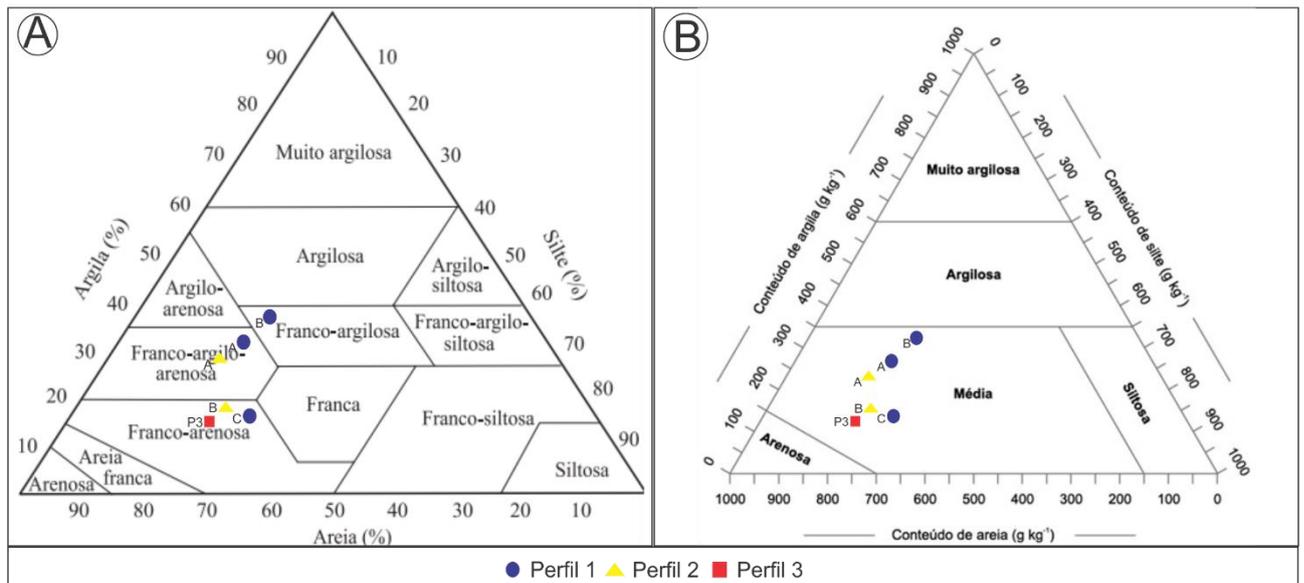


Figura 6: Classificação textural.

Triângulos texturais: A – USDA; B – EMBRAPA.

5. DISCUSSÕES

Foram analisados três perfis de solo residual próximos um do outro em um relevo levemente ondulado com substrato granítico. Nota-se que, apesar do segundo perfil ser muito próximo do primeiro, analisando a elevação do terreno percebe-se que este se encontra em um declive mais acentuado que o anterior (Figura 2), de forma que pode existir uma relação entre esta inclinação acentuada e a ausência de um horizonte intermediário mais argiloso, como visto no primeiro perfil, associa-se tal característica com a diminuição do processo de iluviação. Os ensaios laboratoriais tiveram os resultados consistentes com o esperado, uma vez que se encontrou homogeneidade entre eles, apresentando algumas particularidades pontuais. Dos índices físicos verificou-se os valores de teor de umidade (w), grau de saturação (S_r), índice de vazios (e), porosidade (n) e massa específica dos sólidos (γ_s). Encontrou-se regularidade nos valores obtidos, de forma que grande parte das grandezas se apresentam homogeneamente entre os perfis, porém, no segundo perfil se observou alguns valores marginais. O grau de saturação e umidade deste perfil apresenta-se levemente superior aos outros, no entanto, preserva-se a ordem de grandeza e não devem considerados discrepantes em relação aos demais. Dito isso, observa-se que todas as amostras apresentaram um baixo grau de saturação e teor de umidade, nenhuma acima de 35% ou 10% respectivamente. Os demais parâmetros se encontram em maior concordância entres os perfis, destaca-se ainda que porosidade encontrada varia muito pouco de 38 a 43% e tais valores se assemelham a solos derivados rochas graníticas e o índice de vazios encontram-se entre 0,63 e 0,72, ou seja, são solos que possibilitam o acúmulo de água em seu interstício.

No que diz respeito ao ensaio de massa específica dos sólidos obteve-se resultados homogêneos e condizentes com a literatura e geologia do local. Com exceção do horizonte superior do primeiro perfil, que apresenta uma densidade de partículas de $2,56 \text{ g/cm}^3$, todos os outros valores são próximos a $2,65 \text{ g/cm}^3$. A correlação mineralógica dada por tais resultados é devida ao fato de que os principais constituintes minerais nos solos são quartzo, feldspatos e silicatos gerais, os quais apresentam uma Densidade de partícula média de $2,65 \text{ g/cm}^3$. Apesar de estar mais distante desta média o primeiro valor pode sofrer influência de maior quantidade de matéria orgânica, de modo

que a massa específica no determinado horizonte se apresente um pouco mais baixa que nos demais.

Quanto às análises granulométricas, os resultados dos ensaios revelaram pequena variedade textural, sendo que na classificação de EMBRAPA todos apresentaram textura média, enquanto na classificação da USDA variaram dentro da categoria de solos Francos. Assim, entende-se por estas classificações que existem porções significativas de areia, silte e argila nos solos analisados, porém variando a concentração de determinada fração entre as camadas. Exemplifica-se então as camadas basais dos perfis, estas que apresentam maior teor de areia e, portanto, são classificadas como franco-arenosa. Nota-se ainda que existe uma tendência dentro dos perfis de apresentar uma relação inversa entre profundidade e porcentagem de argila, ou seja, é possível identificar que quanto mais próximo à porção rochosa, menor é o teor da fração argilosa na camada. Nos dados analisados, a camada intermediária do primeiro perfil é exceção desta relação, uma vez que apresenta a maior porcentagem de argila entre todas as amostras. Entende-se isso como resultado do processo de iluviação da argila no que pode ser considerado horizonte B textural do perfil.

No que se refere a consistência dos solos, as amostras foram submetidas aos ensaios de Atterberg onde se obteve os limites de liquidez e plasticidade. A partir dos dados foram calculados o índice e o grau de plasticidade, onde se obteve a relação gráfica entre o Índice de Plasticidade (ordenadas) e o Limite de Liquidez (abscissas) para a realização da carta de plasticidade aqui apresentada. Verificaram-se limites de plasticidade no intervalo de 24 a 31% e limites de liquidez que não ultrapassaram 50%. Dessa forma, os índices de plasticidade se mantiveram próximos, porém não dentro dos valores de um solo com composição granítica característico, estes que apresentam IP entre 14 e 18% (Pinto, 2006). Verificou-se que são encontrados menores índice e grau de plasticidade nos horizontes saprolíticos de cada perfil e maior índice de plasticidade nas camadas superiores. Deve se atentar ao fato de que a segunda camada do primeiro perfil apresenta o maior índice de plasticidade (IP = 21,60), levando à associação deste horizonte B textural do primeiro perfil com um acúmulo de argila inexistente nos demais perfis. Assim, com exceção de P1 – B, enquanto P1 – A e P2 – A possuem alto grau de plasticidade e IP entre 18 e 20 as demais amostras apresentam média plasticidade e IP por volta de 10. Tais resultados corroboram as curvas granulométricas e sua relação inversa de profundidade e porcentagem de argila.

6. CONCLUSÕES

A caracterização geotécnica é de fundamental importância para entender o comportamento físico do solo assim como a evolução do mesmo, de forma que a conclusão se dá no entendimento do comportamento do solo, sua origem em relação aos processos intempéricos e o papel fundamental da água em sua evolução. Dessa forma, a caracterização dos horizontes nos perfis estudados apresentou valores condizentes com a literatura e entre eles pode se perceber homogeneidade. Destaca-se a predominância de horizontes bem graduados com textura variando dentro da classe de solos francos e quando reconhecidos como solos finos apresentam classificação relativa a siltes de baixa compressibilidade. De forma geral se entende que os ensaios aqui realizados fazem parte de uma caracterização física e, portanto, podem ser entendidos como parte de uma etapa introdutória no entendimento do comportamento mecânico do solo, podendo então apresentar como limitação esta mesma característica. Dentro disso, entende-se que o estudo cumpre com o proposto, no entanto, percebe-se que os resultados poderiam ser otimizados quando associados a ensaios de outra natureza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos técnicos do Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Civil (FEC) da Universidade Estadual de Campinas, em especial, Reinaldo Leite, quem supervisionou os ensaios realizados neste projeto.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 – *Solo: Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 1984.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508 – *Grãos de solos que passam na peneira de 4, 8 mm: determinação da massa específica: método de ensaio*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 1984.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180 – *Solo: Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 1984.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181/84 - *Solo: Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 1984.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16097 – *Solo: Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2012.
- BEVILAQUA, F. Z. et al. *Estudo do comportamento geomecânico de solos residuais de granito de Florianópolis*. 2004.
- DUARTE, I. M. R. *Solos residuais de rochas granitoides a sul do Tejo: características geológicas e geotécnicas*. 2002.
- DUARTE, I. M. R.; LADEIRA, F. L.; GOMES, C. F. *Características geológico-geotécnicas do solo residual do granito de Marvão (Portalegre)*. In: Actas do VII Congresso Nacional de Geotecnia. 2000. p. 151-60.
- FERNANDES, A.J.; AZEVEDO SOBRINHO, J.M.; TEIXEIRA, A, L. *Mapa Geológico do Município de Campinas*. In: INSTITUTO GEOLÓGICO. *Subsídios do meio físicogeológico ao planejamento do município de Campinas (SP)*. São Paulo. Relatório Técnico IG, 3 v. 1993
- FUTAI, M. M.; CECÍLIO JR, M. O.; ABRAMENTO, M. *Resistência ao cisalhamento e deformabilidade de solos residuais da região metropolitana de São Paulo*. In; NEGRO et al. (Ed.). *Twin Cities: solos das regiões metropolitanas de São Paulo e Curitiba*. São Paulo: ABMS, p. 155-187, 2012.
- HUAT, B.K; TOLL, D.G.; PRASAD, A. (Ed.). *Handbook of tropical residual soils engineering*. CRC Press, 2012
- MACHADO, D. L. *Comportamento geomecânico de estruturas reliquiares de um solo residual de gnaiss de ahe simplício*. COPPE UFRJ. 2012.
- OLIVEIRA, E. P. *Caracterização bio-físico-químico-mineralógica e micromorfológica de um perfil de alteração de granito-gnaiss de Curitiba, PR*. Rio de Janeiro, PUC-Rio, 2006. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, PUC, Rio de Janeiro.
- PINTO, C.S. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*. 3ª Edição, São Paulo, Oficina dos textos, 2006
- YOSHINAGA, S.; FERNANDES, A. J.; NOGUEIRA, S. A. A.; HASSUDA, S.; & PIRES NETO, A. G. (1995). *Subsídios ao planejamento territorial de Campinas: a aplicação da abordagem de tipos de terreno*. Revista IG São Paulo, Volume Especial.