

Metodologia alternativa para coleta de amostras de solo residual quasi-indeformadas em áreas de risco densamente ocupadas

Kurt André Pereira Amann

Coordenador de Geotecnia do PMRR, FDTE, São Paulo, Brasil, kurtapamann@gmail.com

Flávio Leal Maranhão

Coordenador Geral do PMRR, FDTE, São Paulo, Brasil, flavio.maranhao@geovista.com.br

Odailson Haas

Coordenador de Projetos, Sondenge Engenharia, São Paulo, Brasil, ohaas@sonddenge.com.br

Mauro H. Lozano

Responsável Técnico, Dýnamis Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, mauro@dynamisbr.com.br

RESUMO: Realizar coletas de amostras indeformadas em áreas de risco densamente ocupadas mostrou-se um grande desafio no âmbito da elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) do Município de São Paulo, conduzido pela FDTE para a Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras (SIURB). A dificuldade de acesso, vielas estreitas, escadarias extensas e a dependência da colaboração da comunidade local inviabilizam a escavação de poços e a mobilização de equipamentos de amostragem Shelby ou Denison, e impõem limitações à quantidade e localização das amostras, exigindo da Coordenação de Geotecnia do projeto e das empresas parceiras o desenvolvimento de uma metodologia alternativa de amostragem, chamada aqui de quasi-indeformada. O objetivo do presente artigo é apresentar a metodologia de amostragem empregada nessas condições limitantes e apresentar a experiência de sua aplicação bem como os resultados de amostragem obtidos, propondo futuras melhorias e avaliação da qualidade dessa amostragem alternativa em comparação com amostras indeformadas normatizadas. Conclui-se que a metodologia usada permite uma avaliação objetiva do solo com uma estimativa razoável dos seus parâmetros de resistência, contudo, uma pesquisa objetiva da perturbação das amostras desses solos residuais no processo de cravação à baixa energia deve ser procedida para a melhoria da qualidade dos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Amostragem indeformada, Áreas de risco, Sondagem SPT.

ABSTRACT: Undisturbed sampling in densely populated risk areas proved to be a major challenge in developing the Municipal Risk Reduction Plan (PMRR) for the São Paulo city, conducted by FDTE for the Department of Urban Infrastructure and Public Works (SIURB). Difficult access, narrow alleys, long staircases and the dependence on collaboration from the local community make it impossible to excavate exploration pits or mobilize Shelby or Denison sampling equipment and impose limitations on the sample quantity and location, requiring the Project Geotechnical Coordination and the partner companies to develop an alternative sampling methodology, herein referred to as quasi-undisturbed sampling. The article's aim is to present the sampling methodology used in these limiting conditions and its application experience as well as the sampling results obtained, proposing future improvements and evaluating the quality of this alternative sampling in comparison with undisturbed samples. It is concluded that the methodology used allows an objective evaluation of the soil with a reasonable estimate of its resistance parameters; however, an objective investigation of the samples disturbance on these residual soils in the low-energy driving process should be carried out to improve the quality of the results.

KEYWORDS: Undisturbed sampling, Risk areas, SPT sounding.

1 INTRODUÇÃO



O Plano Municipal de Redução de Riscos, ou PMRR, é um instrumento de planejamento para o diagnóstico e redução de risco de deslizamentos diante dos eventos climáticos que têm culminado em desastres de grandes proporções e o Ministério das Cidades tem firmado parcerias com Universidades para o seu desenvolvimento nas cidades por ele habilitadas (TOTE, 2023). No âmbito do PMRR do município de São Paulo, coube à FDTE – Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia a sua elaboração para a Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras (SIURB), com propostas para enfrentar os desafios da cidade informal, melhorando a infraestrutura para tornar a cidade mais resiliente (PMSP, 2024).

Nesse âmbito, o presente artigo objetiva apresentar a metodologia de amostragem de solo proposta pela equipe de Geotecnia e Geologia da FDTE para proceder às análises geotécnicas da estabilidade de taludes considerando as condições de acesso restritas encontradas nas comunidades vistoriadas para elaboração deste plano municipal.

Quando se trata de “áreas de risco densamente ocupadas” os equipamentos mecanizados de amostragem encontram uma impossibilidade prática de mobilização na fase inicial de investigação para elaboração de projeto básico de estabilização de encostas, pois nessa fase não se executou ainda a remoção de moradias para garantir o livre acesso aos locais de interesse para amostragem. Isso exigiu da Coordenação de Geotecnia da FDTE e das empresas parceiras o desenvolvimento de uma metodologia alternativa de amostragem, chamada aqui de quasi-indeformada.

A metodologia deste trabalho envolve: a) a análise da norma brasileira de estabilidade de encostas, NBR11682, de projeto geotécnico, NBR8044 e das normas de métodos de amostragem indeformada NBR9820; b) proposta de adaptação do amostrador e sua metodologia de cravação para as condições de acesso mencionadas; c) apresentação das condições das amostras extraídas; d) apresentação dos resultados de ensaios de caracterização e de resistência ao cisalhamento executados; e) comparação dos resultados com valores de referência da bibliografia técnico-científica; f) proposta de melhorias do procedimento adotado. Ao final apresentam-se as conclusões sobre as análises efetuadas.

2 PROPOSTA DE AMOSTRAGEM QUASI-INDEFORMADA

Como já introduzido acima, as dificuldades para escavação de poço exploratório e para o acesso dos equipamentos para execução de amostragem indeformada levaram a equipe geotécnica da FDTE a propor um amostrador adaptado e a adequação do procedimento de amostragem contando com os recursos possíveis de se transportar para os locais de amostragem, ou seja, basicamente o equipamento de sondagem SPT.

Apresentam-se aqui as etapas do procedimento proposto, desde a definição da profundidade da amostragem quasi-indeformada até a escolha do amostrador a ser adaptado e seu procedimento de amostragem adotado.

A escolha da camada de solo a ser amostrada foi feita com base na seção 6.3.1 e 6.3.5 da NBR11682, que preconiza que “as amostras devem ser representativas das camadas de solo envolvidas nas proximidades das superfícies potenciais de ruptura”. Assim, pelos resultados das sondagens SPT previamente realizadas, identificam-se as camadas de menor resistência relativa à penetração do amostrador padrão SPT, as quais são consideradas as mais suscetíveis ao escorregamento.

Nos estudos de caso desse artigo, tais camadas de interesse para amostragem compõem-se de silte areno-argiloso medianamente compacto a compacto ou silte argilo-arenoso rijo a duro, sendo ambas de solos residuais.

Para a definição do tipo de amostrador a ser adaptado, primeiramente considerou-se o tipo de solo a ser amostrado, no caso, solo residual, e sua resistência média à penetração do amostrador SPT como base de análise. Assim, conforme indicado na seção 6.3.2 da NBR11682 e na 6.3.4.e da NBR8044, quando não for possível a execução de poços exploratórios para extração de amostras indeformadas, devem ser utilizados amostradores de parede fina tipo Shelby para solos coesivos (NBR 9820), ou do tipo Denison, a partir de barriletes triplos de sondagem rotativa, para solos duros ou contendo fragmentos de rocha.

Segundo essa proposição normativa, o amostrador adequado para o solo residual do tipo silte areno-argiloso medianamente compacto a compacto e silte argilo-arenoso, em questão, deveria ser o amostrador tipo Denison com barrilete triplo. Contudo, uma análise das seções 3.7 e 5.3 da norma rodoviária nacional DNER-PRO 002/94-Coleta de amostras indeformadas de solo (não há norma ABNT para o amostrador Denison), mostra que a cravação normatizada do barrilete deve ser feita por rotação do tubo externo, entre 40 e 125 rpm, exigindo equipamento rotativo para esse procedimento. Considerando as dificuldades já descritas

de acesso desse tipo de equipamento aos locais em questão, esse tipo de amostragem foi descartada mesmo para uma possível tentativa de adaptação do sistema rotativo, desenvolvimento que demandaria um tempo não disponível para o prazo de entrega do plano de ação do PMRR de São Paulo.

Algumas alternativas de amostradores do mercado, como o de “corte contínuo” para solos compactados, foram estudadas, porém, foi adotada a ideia inicial de se adaptar um amostrador normatizado similar ao tubo Shelby do tipo aberto, conforme a seção 4.1.4.1 da NBR9820, com características que permitissem sua inserção nesse tipo solo mediante também a uma modificação da sua forma de cravação e extração. Decidiu-se inicialmente testar a retenção da amostra do solo residual sem recursos adicionais como o pistão estacionário (seção 5.5 da DNER-PRO 002/94).

O primeiro protótipo do amostrador adaptado proposto pela equipe de Geotecnia e Geologia da FDTE juntamente com a empresa parceira Sondenge (figura 1), foi encomendado para se enquadrar o melhor possível na seção 4.1.1 da NBR9820, sendo um amostrador aberto composto por tubo de aço galvanizado sem costura, atendendo também as condições da seção 4.1.1.2, tendo superfícies externa e interna lisas e sem ranhuras. Com relação às dimensões para este primeiro amostrador desenvolvido como protótipo, tem-se:

- diâmetro externo $D_2 = 75\text{mm}$ (atendendo à situação excepcional da seção 4.1.1.3 da NBR 9820);
- diâmetro interno $D_3 = 73\text{mm}$;
- diâmetro interno do bisel de corte $D_1 = 72\text{mm}$;
- espessura da parede do tubo $e = (D_2 - D_3)/2 = 1\text{mm}$;
- comprimento: 760mm;
- comprimento útil: 700mm;
- comprimento máximo da amostra coletada: 650mm.

Este primeiro amostrador adaptado apresenta os seguintes valores de Índice de área e de Relação de folga interna (respectivamente, C_a e C_i , das seções 3.2 e 3.3 da NBR9820):

- $C_a = (D_2^2 - D_3^2) / D_3^2 = (75^2 - 73^2) / 73^2 = 0,0555 = 5,55\% < 10\%$ (atende à especificação da seção 4.1.1.4);
- $C_i = (D_3 - D_1) / D_1 = (73 - 72) / 72 = 0,0139 = 1,39\% > 1,0\%$ (não atende a especificação de estar entre 0,5% e 1,0%).

Para que se atendesse à especificação de $0,5\% < C_i < 1,0\%$, a conformação aplicada ao biselado da ponta deveria ser aliviada, resultando um maior valor de $D_1 = 72,3\text{mm}$:

- $C_i = (73 - 72,3) / 72,3 = 0,0096 = 0,96\% < 1,0\%$ (atende a especificação de estar entre 0,5% e 1,0%).



a)



b)

Figura 1. a) Amostrador adaptado. b) Detalhe da extremidade biselada e solo residual amostrado.

Fonte: Autores.

Para a relação do comprimento pelo diâmetro do tubo tem-se:

- $L/D_2 = 760 / 75 = 10,13 \approx 10$, conforme o limite superior da seção 4.1.1.5 da NBR 9820.

Novos ajustes num segundo protótipo do amostrador adaptado proposto devem permitir melhoria contínua do processo, que será documentado em outras oportunidades.



2 0 2 5

Para o procedimento de amostragem, seguiu-se as seções 4.1.3.1 e 4.1.3.2 da NBR9820 onde verifica-se que para a perfuração do solo até a profundidade de amostragem podem ser empregados quaisquer dos equipamentos usuais na execução de sondagens de simples reconhecimento (SPT), o qual estaria disponível nos casos em estudo, pois são desmontáveis e podem ser transportados até os locais de amostragem.

Essa perfuração deve ser exclusiva para a amostragem, não se usando os mesmos furos feitos nas sondagens SPT. Por isso estabeleceu-se o aproveitamento do equipamento de sondagem SPT já mobilizado para o local da sondagem de difícil acesso deslocando-o num raio de 1,0 a 2,0m da sondagem SPT cujo perfil de solo foi usado como referência para definição da profundidade de amostragem quasi-indeformada.

Ao ser atingida com a essa perfuração a profundidade de 1,0m acima da profundidade escolhida de amostragem quasi-indeformada, procede-se a uma amostragem deformada a trado, conforme a NBR9603, cuja amostra obtida se destina à realização de ensaios de caracterização do solo (conforme seção 6.3.3 e 6.3.5 da NBR11682 e 6.3.6 da NBR8044). Avança-se em seguida a perfuração até a profundidade da amostragem quasi-indeformada.

Após a escavação (atendendo à seção 4.1.3.2 da NBR 9820) buscou-se seguir as orientações da seção 4.1.4.1.1 da NBR9820 para limpeza e posicionamento do amostrador adaptado no fundo do furo.

A etapa seguinte é a cravação propriamente dita do amostrador adaptado no solo, o que se tornou um grande desafio, pois as seções 4.1.4.1.2 e 4.1.4.1.3 da NBR9820 especificam que a cravação no solo deve ser feita “de maneira contínua e rápida a velocidade de 15 cm/s a 30 cm/s, sem interrupções ou rotação”, e se proíbe o uso de percussão para cravação do amostrador.

Considerando a compacidade ou consistência elevadas dos solos residuais em estudo realizar essa cravação “estática” do amostrador exige um sistema de reação contra o solo, que normalmente é feito pelo peso próprio do equipamento ou pela cravação de hastes helicoidais para ancoragem no solo superficial. Sem esse equipamento, resta como único recurso para cravação aplicar energia por percussão, da mesma forma que se faz na sondagem SPT. O eventual desenvolvimento de um sistema portátil de reação para ancoragem não foi aventado pelo tempo necessário para isso.

Diante dessa circunstância, decidiu-se realizar a tentativa de cravação dinâmica com baixa energia, utilizando-se a massa de 65 kg do SPT alçada continuamente e sem interrupção a pequena altura, definida como sendo $10 \pm 5,0$ cm (64 ± 33 J), dentro das condições reais de controle da altura de levantamento da massa pelos colaboradores. Dessa forma, espera-se perturbar o mínimo possível a estrutura dos solos residuais a serem amostrados.

A decisão aqui tomada de se empregar a percussão para cravação dinâmica do amostrador adaptado nos solos residuais, infringindo a seção 4.1.4.1.2, se justifica como única alternativa viável sem um equipamento com reação para cravação estática num solo residual cuja estrutura original é bem menos sensível do que nas argilas moles. Daí o nome de amostragem quasi-indeformada. Novos ajustes no protótipo de amostrador adaptado proposto devem permitir melhoria contínua do processo, que será documentado conforme seja oportuno.

Após a cravação dinâmica a baixa energia aqui descrita, seguem-se os procedimentos das seções 4.1.4.1.4 a 4.1.4.1.6 da NBR9820, girando-se o amostrador adaptado e retirando-o do furo. Seguem-se os procedimentos da seção 4.2 da mesma norma para manuseio da amostra.

Ainda que essa metodologia de amostragem adaptada não resulte amostra indeformada como pretende a NBR9820, as amostras quasi-indeformadas assim obtidas foram submetidas a ensaios triaxiais rápidos (seção 6.3.6.4, da NBR8044) e/ou de cisalhamento direto (seção 6.3.6.3, da NBR8044) para auxiliar na tomada de decisão dos valores dos parâmetros de resistência do solo em estudo.

Um ponto importante a se destacar de antemão aqui é quanto à quantidade de amostras extraídas nos estudos de caso, pois, devido às dificuldades de acesso já apresentadas, locais dessa natureza tornam quase impraticável atender-se à seção 6.3.5 da NBR 11682 em relação à quantidade mínima de 12 ensaios (corpos-de-prova) em amostras coletadas em três locais do mesmo tipo de solo. Ainda assim, os ensaios realizados serão comparados com valores da bibliografia técnica para análise crítica do procedimento adotado.

Os resultados obtidos com esse procedimento serão apresentados para dois estudos de caso a seguir.

3 ESTUDOS DE CASO

As duas áreas de risco onde foram experimentados os procedimentos descritos foram a Perda-sobre-pedra e Jardim São Jorge, ambas na região da subprefeitura de Cidade Ademar. A primeira encontra-se no

contexto geológico das rochas graníticas, com exemplares de matacão e blocos de rocha visíveis em alguns pontos. A segunda, próxima da primeira, encontra-se entre o substrato metamórfico pertencente a rochas do Complexo Embu e os Granitoites do Neoproterozoico.

Apresenta-se na figura 2 uma visão aérea da encosta subvertical da área de risco Pedra-sobre-pedra onde se vê a distribuição das sondagens SPT (SP) e a posição das duas sondagens a trado (ST), de onde também foram coletadas as amostras aqui denominadas como quasi-indeformadas.



Figura 2. Vista aérea da área de risco Pedra sobre Pedra e locais das sondagens SPT.

Fonte: Adaptado de Google Earth e Relatório de Vistoria, FDTE (2023).

Como já mencionado, as condições de difícil acesso incluem um pequeno portão e corredores estreitos com esquinas fechadas, além do espaço restrito onde é montado o tripé, fatores estes limitantes para escolha da posição na qual serão feitos os furos de sondagem, inclusive contando-se totalmente com a colaboração e permissão dos moradores para que seja feito o transporte e montagem do equipamento SPT desmontável, que é transportado manualmente pelos colaboradores, por vezes passando por dentro das moradias.

Pelos resultados da SP-03 e SP-04, identificou-se como de interesse para a tentativa de amostragem quasi-indeformada aqui proposta a camada superficial mais suscetível ao escorregamento composta de silte areno-argiloso com SPT médio de 5 golpes por 30 cm de penetração do amostrador padrão, respectivamente até 5,94m e 8,10m, pois logo abaixo se seguia uma camada mais resistente de silte arenoso residual com SPT médio de 15 a 18 golpes.

Dessa forma, a posição escolhida para a amostragem foi 1,0m afastada da posição da SP-04 (local com mais espaço de manobra do tripé do que na SP-03), num furo novo feito exclusivamente para essa coleta de amostra, na profundidade de 4,00 a 4,70m. Apesar de não ter sido encontrado o nível d'água nos furos de sondagem, a abertura de poço para retirada de bloco indeformado, conforme indica a seção 6.3.2 da NBR11682, foi descartada devido à proximidade da crista e a possibilidade de ocorrência de ruptura do solo durante a sua escavação, colocando em risco os colaboradores e a moradias próximas. Foi também coletada amostra deformada com trado, representativa dessa camada, entre 3,00m e 4,00m de profundidade (logo acima da amostras quasi-indeformada coletada), para realização dos ensaios de caracterização indicados na seção 6.3.6.1 da NBR8044 e de resistência ao cisalhamento da seção 6.3.5 da NBR11682. Um segundo ponto de amostragem foi definido no pé da encosta, denominado ST-02 (figura 2), seguindo-se a mesma metodologia aqui proposta.

Para o caso da área de risco do Jardim São Jorge, resume-se o plano de sondagens a 3 furos SPT, os quais indicaram camada de solo superficial de silte areno-argiloso com espessura 5,30m a 6,0m, com SPT médio de 30 golpes por 30 cm de penetração do amostrador padrão, reduzindo-se para 16 a 19 golpes na região do N.A e crescendo com a profundidade a partir daí. O N.A. variou de 7,55m a 2,23m de

profundidade, respectivamente da crista para o pé da encosta. Definiu-se a extração ST-01 na posição próxima da SP-01 (crista) e como camada de interesse para amostragem o silte argilo-arenoso entre 5,40m e 6,45m, procedendo-se à coleta de amostra deformada a trado também.

Para esse solo rijo a duro, com o amostrador adaptado e o método de cravação a baixa energia utilizado, a extração da amostra chegou apenas a cerca de 30 cm dentro do amostrador, praticamente metade do seu comprimento útil, ocorrendo embuchamento do solo no seu interior. Desse modo, identifica-se que o amostrador adaptado com a cravação a baixa energia apresenta um limite de amostragem para solos com SPT superiores a 25 golpes.

As amostras deformadas, coletadas por trado 1,0m acima das amostras quasi-indeformadas, foram ensaiadas para caracterização, cujos resultados de granulometria por peneiramento e sedimentação indicaram para a Pedra-sobre-pedra uma fração de areia de 61,21% e 66,01% para as amostras quasi-indeformadas ST-01 e ST-02, respectivamente, e fração de silte de 25,73% e 20,52%. Para o Jardim São Jorge, resultou fração argila de 74,13% e 20,63% de silte, indicando também uma granulometria areno-siltosa. Todas as amostras resultaram solo não plástico (limites de liquidez e plasticidade não definidos).

Das amostras ST-01 e ST-02 quasi-indeformadas coletadas da área Pedra-sobre-pedra com a metodologia acima descrita, foram ensaiados 4 corpos de prova (CPs) de cada, compondo um total de 8 corpos de prova para a camada de interesse dessa encosta, quantidade ainda inferior aos 12 corpos de prova definidos na seção 6.3.5 da NBR 11682, devido às dificuldades de acesso para amostragem já mencionadas, pois não havia como deslocar o equipamento para realizar uma terceira amostragem nos demais pontos de sondagem SPT.

Para tentar contornar o melhor possível a influência da eventual desestruturação do solo pela cravação dinâmica do amostrador adaptado à baixa energia, avaliou-se visualmente a condição de contato da amostra com a face interna do tubo do amostrador adaptado após o corte do mesmo, como se mostra na figura 3a.



a)



b)

Figura 3. a) Avaliação da condição de contato solo-tubo. b) Corpo de prova talhado.

Fonte: Autores.

A partir dessa avaliação visual considerou-se que a estrutura aparente do solo se mostrava homogênea a cerca de 10mm da face interna do tubo, de modo que ao se talhar o corpo de prova com o diâmetro de 35mm (cerca de 48% do diâmetro interno do tubo), retirando-se 19mm de solo do seu entorno, reduz-se o efeito total da desestruturação imposta pela deformação devido ao atrito solo-tubo e à vibração da cravação a baixa energia.

A figura 3b mostra um corpo de prova talhado com 35mm de diâmetro nominal e 70mm de altura nominal, atendendo à proporção de 1:2 do corpo de prova (CP), sendo que as dimensões médias medidas nos CPs resultaram, respectivamente, 35,6mm e 70,8mm.

Embora o solo amostrado seja residual com frações de areia e silte significativas, optou-se pelo ensaio triaxial do tipo Q, ou UU, sem saturação dos CPs, por ser um ensaio mais rápido, de menor custo e pelo fato de que as amostras foram coletadas acima do N.A., portanto, sendo não-saturadas. Assim, realizaram-se 3

ensaios triaxiais UU em corpos de prova não-saturados, com tensões confinantes de 50, 100 e 200 kPa, de modo que esses valores crescentes demonstrassem a envoltória de resistência em termos de tensões totais, não-saturada, para a condição natural da encosta, e 1 ensaio com corpo de prova saturado por percolação, com tensão confinante de 50 kPa, afim de se verificar a redução de resistência do solo na condição saturada.

A figura 4 apresenta os resultados dos ensaios triaxiais da amostra quase-indeformada ST-01, a partir dos quais pode-se definir a envoltória de tensões totais como tendo intercepto de coesão de 22,5 kPa e ângulo de atrito de 21,6°. Para o CP saturado, verificou-se que a tensão cisalhante na ruptura teve redução com a saturação, passando de 58 kPa para 50 kPa, ou seja, 13,7% menor, indicando o efeito da água no comportamento do solo. A pressão neutra máxima medida durante o ensaio saturado foi de 4,18 kPa.

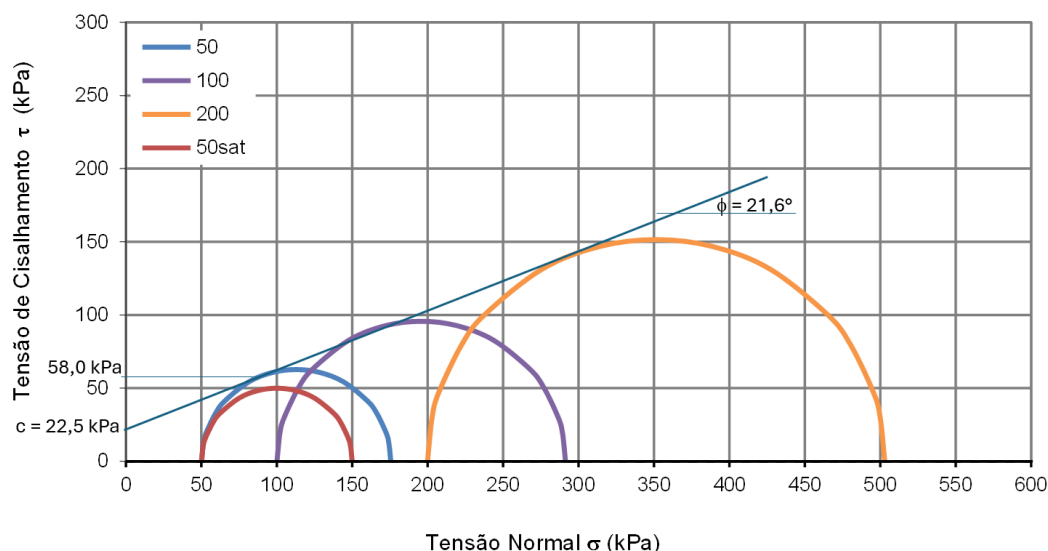


Figura 4. Círculos de Mohr e envoltória de resistência em termos de tensões totais, amostra 2308-008 (ST-01).

Fonte: Adaptado de Relatório 7434 Dýnamis (2023)

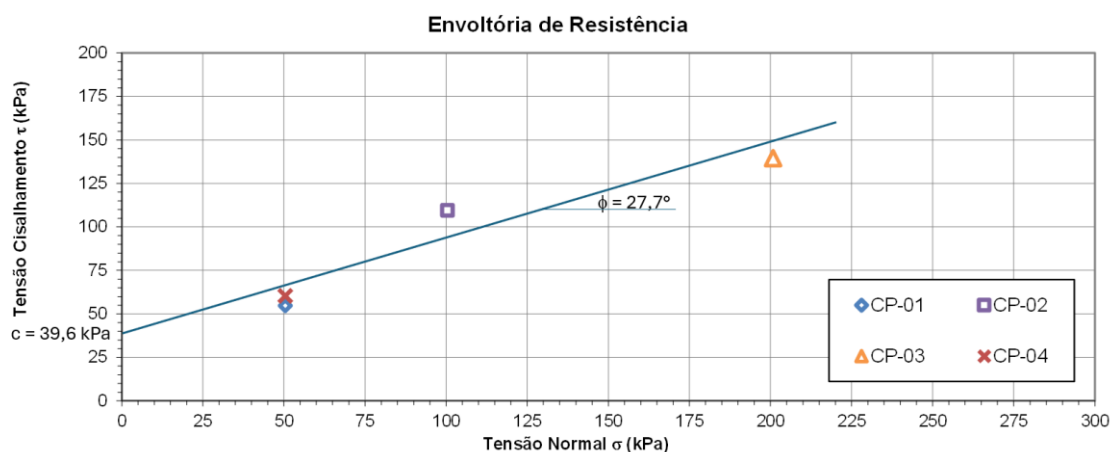


Figura 5. Pontos de ensaio de cisalhamento direto e envoltória de resistência, amostra 2308-012 (ST-01).

Fonte: Adaptado de Relatório 7434 Dýnamis (2023)

Similarmente, obtiveram-se os resultados dos ensaios triaxiais da amostra ST-02, a partir dos quais pode-se definir a envoltória de tensões totais como tendo intercepto de coesão de 10,0 kPa, menor do que a da amostra ST-01, e ângulo de atrito de 23,8°, pouco maior do que o da amostra ST-01, estando na mesma ordem de grandeza. Também para esta amostra, no CP saturado, verificou-se que a tensão cisalhante na ruptura teve redução com a saturação, passando de 48 kPa para 39 kPa, ou seja, 18,7% menor, indicando também o efeito da água de redução média de 16,2% na resistência, considerando-se as duas amostras. A



pressão neutra máxima medida durante este ensaio saturado foi de 7,58 kPa, maior do que na amostra ST-01, embora essa segunda amostra tenha apresentado grau de saturação de apenas 81,5% ao final do ensaio.

É evidente que as diferenças encontradas são oriundas de diversas causas, desde a heterogeneidade natural do solo da crista em relação ao do pé da encosta, profundidade de coleta (e tensão efetiva original) de cada amostra, e também as diferentes perturbações durante o processo de amostragem.

Para a área do Jardim São Jorge optou-se pelo ensaio de cisalhamento direto, com 4 CPs, com as tensões normais iguais às confinantes do Pedra-sobre-pedra, sendo 1 dos CPs saturado e os demais não-saturados, na condição natural. Na figura 5 vê-se que o ensaio de cisalhamento direto do CP-04 foi realizado inundado. Para esse ensaio de cisalhamento direto, a coesão em condição não saturada resultou da ordem de 39,6 kPa e o ângulo de atrito aproximado pela inclinação da reta ajustada aos pontos de ensaio não saturados resultou 27,7°.

É interessante notar na figura 5 que o resultado de tensão de cisalhamento na ruptura do CP-04, inundado, resultou 60 kPa, um pouco maior do que os 55 kPa do CP-01, o qual não foi inundado. Isso mostra que, para esse solo mais argiloso, guardada a representatividade restrita dessa única amostra coletada, a saturação interfere pouco na sua resistência final.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação dos resultados obtidos para as envoltórias de resistência com os da bibliografia técnica dos solos residuais de São Paulo publicadas por Pinto et al (1993) e Futai et al (2011) indica coerência na ordem de grandeza dos parâmetros de resistência, indicando que o método de amostragem proposto para solos residuais em condições de difícil acesso pode ser promissor se for refinado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da FDTE e à equipe de geotecnia e geologia: Vitor E. S. dos Anjos, Igor M. B. A. Souza, Gisely M. da Silva e Glenda L. Santos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 8044. *Projeto geotécnico - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). NBR 9820. *Coleta de Amostras Indeformadas de Solos de Baixa Consistência em Furos de Sondagem - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ASTM International (2025). ASTM D2850: *Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils*.
- DNIT (1994). DNER-PRO 002/94. *Coleta de amostras indeformadas de solo*. Disponível em <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dner-pro002-94.pdf>. Acessado em 08-07-2025.
- Futai, M. M.; Cecílio Jr., M. O.; Abramento, M. (2011). *Resistência ao Cisalhamento e Deformabilidade de Solos Residuais da Região Metropolitana de São Paulo*. in: Solos da Região Metropolitana de São Paulo. 30pp.
- Pinto, C.S. ; Gobara, W. ; Peres, J.E.E.P e Nader, J.J. (1993). *Propriedades dos solos residuais*. In: Solos do Interior de São Paulo. São Paulo: ABMS, pp.95-142.
- PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo (2024). *Plano Municipal de Redução de Riscos de São Paulo*. Disponível em: https://drive.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/obras/arquivos/PMRR-01-2a-versao-miolo_R02.pdf. Acessado em: 29-06-2025.
- Totes, N. (2023) *Unicamp sela parceria com Ministério das Cidades*. JORNAL DA UNICAMP. Disponível em “<https://jornal.unicamp.br/noticias/2023/12/22/unicamp-sela-parceria-com-ministerio-das-cidades/>”. Acessado em 29-06-2025.