

CARTA DE RISCO DE DANO POR COLAPSO DE SOLOS PARA A ÁREA URBANA DE ILHA SOLTEIRA (SP), NA ESCALA 1:10.000

Soil collapse damage risk chart for Ilha Solteira urban area (SP) at 1:10.000 scale

Cíntia Magda Gabriel de Oliveira*

Roger Augusto Rodrigues**

José Augusto de Lollo***

RESUMO – Solos de comportamento colapsável cobrem cerca de 70% do território do estado de São Paulo. Em Ilha Solteira a presença de tais solos tem sido responsável por diversos tipos de danos em edificações. Além das características próprias do solo, a ruptura de canos de água e esgoto tem sido o principal evento desencadeador de processos de colapso de solos. Nesse trabalho foram produzidas cartas de cadastramento e zoneamento de risco de colapso de solos com base em fatores naturais e induzidos. Os fatores naturais foram identificados e classificados com base em levantamentos de campo, ensaios in situ (SPT) e ensaios de laboratório (compressão confinada), permitindo a definição da probabilidade de ocorrência de colapso. Fatores induzidos foram avaliados a partir das características dos dutos e sua susceptibilidade à ruptura em termos do material de fabricação do duto, sua idade e pressão submetida. Graus de dano foram identificados com base nos danos sofridos pelas edificações e os custos necessários à sua reparação. Os resultados mostram diferentes graus de risco de colapso de solo para parcelas bem definidas da área urbana de Ilha Solteira (SP).

PALAVRAS CHAVE – solos tropicais, riscos naturais e induzidos, colapso de solos.

ABSTRACT: – More than 70% of São Paulo State territory is covered by collapsible soils. In Ilha Solteira this occurrences has caused significant damages in several buildings along past twenty years. Collapse occurs as a consequence of soil properties and failures in potable water and waste water networks pipes. In this paper register and zoning collapse risk maps produced taking in account natural and man-induced factors are presented. The natural (geological) factors inducing collapse were identified from field surveys (geological and engineering geological mapping), laboratory (compression tests) and in situ (SPT) tests. Man made factors was estimated based on pipe characteristics and their probability of rupture, considering pipes material, its age, and applied pressure in each interval. Degrees of damage were defined based on classes of damage and the costs of its repair. Results show areas with different degrees of soil collapse risk in Ilha Solteira urban area and permits support decision in terms of reduce the risks.

KEY-WORDS: – tropical soils, natural and man made risks, soil collapse.

1 – INTRODUÇÃO

O processo de colapso de solos pode ser considerado hoje um dos maiores problemas geotécnico e ambiental da região sudeste do Brasil, especialmente nas porções central e oeste do Estado de São Paulo.

* M.Sc. UNESP - Ilha Solteira, Autônoma, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira – SP, Brasil.

E-mail: cmgo@dec.feis.unesp.br

** M.Sc. UNESP - Ilha Solteira, Doutorando, USP - São Carlos, Av. Trabalhador Sancarlense, 400, São Carlos – SP, Brasil. E-mail: rogerar@sc.usp.br

*** Livre-docente, Professor Adjunto, UNESP - Ilha Solteira, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira – SP, Brasil. E-mail: lolloja@dec.feis.unesp.br

A cidade de Ilha Solteira é um exemplo típico deste problema, apresentando um longo histórico de processos de colapso do solo, os quais têm ocasionado grandes recalques em elementos de fundação com conseqüentes danos em edificações e prejuízos para sua recuperação.

Os danos podem ser de pequena magnitude, como pequenas trincas em paredes e pisos ou deformações em portas e janelas, ou de maior proporção, afetando redes de serviços públicos ou de abastecimento do imóvel ou causando sérios danos estruturais às edificações, podendo levar à sua ruína total.

Com base em ensaios de campo do tipo SPT e CPT, e em ensaios de compressão confinada e compressão triaxial, Ferreira et al. (1990) descrevem os solos da área urbana de Ilha Solteira como de baixa resistência à penetração, baixa capacidade de carga e alta compressibilidade quando submetidos a cargas verticais.

Muitos outros trabalhos foram conduzidos na cidade de Ilha Solteira e outras cidades brasileiras com o intuito de avaliar o comportamento mecânico dos solos denominados colapsíveis, mas até esse momento não se tinha notícia de algum trabalho brasileiro que tenha tratado da representação espacial dos solos de comportamento colapsível e da avaliação de risco de ocorrência de colapso.

O registro das ocorrências de processos de colapso e o conhecimento das condições que o desencadeiam ou intensificam são fundamentais para uma correta adequação das obras civis.

Uma forma de se atingir este objetivo é o registro e representação especial do risco de ocorrência de tal processo, tanto em termos da localização de cada ocorrência isoladamente como de seu zoneamento em áreas equipotenciais de ocorrência do fenômeno.

Isso só é possível a partir do conhecimento das características dos solos, conhecimento das ocorrências de colapso e avaliação da suscetibilidade natural e induzida do fenômeno.

Este trabalho tem por objetivo avaliar, com base na possibilidade de ocorrência do processo de colapso e nos danos por ele causados, o risco de colapso de solos na área urbana de Ilha Solteira e representar sua distribuição em cartas de cadastramento e zoneamento de risco.

O município de Ilha Solteira está situado na região noroeste do estado de São Paulo, entre os meridianos 51°00' e 51°30' W e os paralelos 20°15' e 20°45' S. A localização do município pode ser observada na Figura 1.

No Sistema de Projeção UTM a área urbana do município pode ser delimitada pelas coordenadas 7740 e 7743kmN e 463 e 467kmE situadas no Fuso 22, meridiano central 48°W.

2 – FATORES NATURAIS DO COLAPSO DE SOLOS

2.1 – Características dos Solos

Lollo (1998) identificou três diferentes perfis de solos na área urbana de Ilha Solteira, perfis esses relacionados a três diferentes formas de relevo identificadas como elementos de terreno, cuja descrição é apresentada no Quadro 1. A distribuição espacial dos perfis de solos pode ser observada na Figura 2.

Os elementos de terreno foram definidos segundo sistemática proposta por Lollo (1996) e são entendidos pelo autor como “parte de uma feição individual do relevo distinguível das demais

partes em termos de inclinação ou forma da vertente, posição ou forma topográfica, a que deve refletir condições diferenciadas de materiais inconsolidados em termos de sua espessura ou de variações laterais no perfil de alteração”.



Fig. 1 – Localização da cidade de Ilha Solteira (Oliveira, 2002).

A caracterização geotécnica dos perfis de solos se deu com base em ensaios de campo e laboratório levantados de investigações anteriores e efetuados por Oliveira (2002) e Rodrigues (2003) a partir de amostras obtidas de doze poços de investigação perfurados em pontos-chave da área, definidos com base nos trabalhos de Lollo (1998).

Os ensaios de caracterização indicaram que cada perfil de solo identificado era composto por duas camadas de solos, os quais foram assim divididos: Perfil A – camada superior com profundidade de 0 a 8m (A1) e camada inferior de 8 a 20m (A2); Perfil B – camada superior de 0 a 4m (B1) e camada inferior de 4 a 13m (B2); Perfil C – camada superior de 0 a 2m (C1) e camada inferior de 2 a 7m (C2). Os valores médios dos índices físicos destas seis camadas de solos são apresentados no Quadro 2.

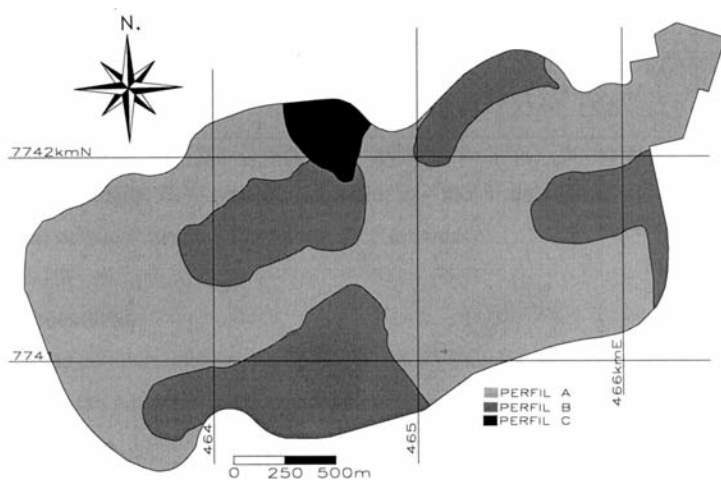


Fig. 2 – Perfis de solos identificados na área urbana de Ilha Solteira (Lollo, 1998).

Quadro 1 – Descrição dos elementos de terreno presentes na área (Rodrigues, 2003)

| Perfil | Elemento de Terreno | Solo | Ocorrência |
|--------|--------------------------------|---|---|
| A | Topo plano e encostas convexas | SC (SUCS) – espessura superior a 20m. | Sudoeste, nordeste e centro da área urbana (2,5 km ²) |
| B | Encostas côncavas | SC (SUCS) – espessura do solo menor que 13m | Sul e centro da área (2,0 km ²) |
| C | Encostas retilíneas | SM (SUCS) – espessura menor que 7m | Porção Norte (0,4 km ²) |

Quadro 2 – Índices físicos e parâmetros de plasticidade por camada de solo (Oliveira, 2002)

| Solo | ρ_o (g/cm ³) | ρ_d (g/cm ³) | ρ_s (g/cm ³) | w_o (%) | S_r (%) | e_o | w_L (%) | w_P (%) | IP (%) |
|------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-----------|
| A1 | 1,65 | 1,52 | 2,67 | 10,2 | 30,2 | 0,80 | 24,2 | 15,3 | 8,9 |
| A2 | 1,72 | 1,56 | 2,71 | 12,2 | 45,4 | 0,72 | 27,5 | 18,7 | 8,8 |
| B1 | 1,62 | 1,52 | 2,64 | 6,3 | 25,8 | 0,74 | 25,2 | 17,2 | 8,0 |
| B2 | 1,69 | 1,55 | 2,67 | 9,1 | 33,9 | 0,70 | 25,2 | 17,5 | 7,7 |
| C1 | 1,55 | 1,47 | 2,69 | 5,8 | 22,5 | 0,85 | 27,9 | 15,7 | 12,2 |
| C2 | 1,68 | 1,56 | 2,72 | 8,8 | 32,8 | 0,75 | 27,9 | 15,0 | 12,9 |

ρ_o – massa específica do solo de campo; ρ_d – massa específica aparente seca;
 ρ_s – massa específica dos sólidos; w_o – teor de umidade de campo;
 S_r – grau de saturação; e_o – índice de vazios de campos;
 w_L – limite de liquidez; w_P – limite de plasticidade;
IP – índice de plasticidade.

2.2 – Ensaios de Laboratório

A caracterização do comportamento colapsível dos solos presentes na área se deu com base em ensaios realizados em amostras indeformadas coletadas a cada metro nos doze poços de inspeção escavados na área.

A caracterização do comportamento colapsível foi feita preliminarmente com base em métodos expeditos de caracterização do comportamento colapsível do solo e detalhada com ensaios duplos de compressão confinada.

Os métodos expeditos testados por Oliveira (2002) foram os métodos de Denisov (1951), Prilonskij (1952), Gibbs & Bara (1967), Código de Obras da URSS apud Feda (1966), os quais são ilustrados no Quadro 3.

Os resultados da aplicação destes critérios expeditos não permitiram a definição precisa do comportamento colapsível dos solos estudados, uma vez que as condições às quais os solos são expostos para que se efetive a determinação de tais critérios superam de longe os graus de saturação necessários para desencadear o processo de colapso.

Em outras palavras, nas condições estabelecidas para determinar os critérios expeditos, qualquer solo brasileiro arenoso com elevada porosidade (sem componente de coesão significativa em sua envoltória de resistência ao cisalhamento) estaria sujeito ao processo de colapso.

Quadro 3 – Critérios expeditos de identificação de solos colapsíveis usados por Oliveira (2002)

| Critério | Método de Cálculo | Identificação do comportamento colapsível |
|--|--------------------------------|---|
| Denisov (1951) | $K = e_L/e_0$ | $0,5 < K < 0,75$ |
| Prklonskij (1952) | $Kd = (w_L - w_0)/(w_L - w_p)$ | $Kd < 0$ |
| Gibbs & Bara (1967) | $R = w_{sat}/w_L$ | $R > 1,0$ |
| Código de Obras da URSS (apud Feda, 1966) | $CI = (e_0 - e_L)/(1 + e_0)$ | $CI < 24$, para $IP < 22$ |
| e_L – índice de vazios no limite de liquidez; e_0 – índice de vazios de campo; w_L – teor de umidade no limite de liquidez; w_0 – teor de umidade de campo; w_p – teor de umidade no limite de plasticidade; w_{sat} – teor de umidade correspondente ao grau de saturação de 100%; IP – índice de plasticidade. | | |

É importante ressaltar que os critérios expeditos muitas vezes restringem-se aos solos para os quais foram desenvolvidos, pois resultados obtidos para uma determinada região tornam-se, às vezes, inválidos para outras. Deste modo, a aplicação desses critérios é relevante apenas numa fase de constatação dos solos dessa natureza, mas não para a caracterização do colapso.

Por esta razão, neste campo de investigação os ensaios de compressão confinada são mais confiáveis, pois além de identificar os solos colapsíveis, eles são capazes de caracterizar o colapso sob diferentes níveis de carregamento.

Assim, Rodrigues & Lollo (2004) conduziram ensaios duplos de compressão confinada com estágios de carregamento desde 1kPa para as amostras a cada metro, para caracterizar o comportamento colapsível dos perfis de solos.

Os resultados obtidos permitiram definir, com boa precisão, o comportamento colapsível ou não colapsível dos horizontes de solos estudados para os três perfis de solos identificados, permitindo a classificação destes horizontes com base em seu comportamento mecânico. Alguns dos resultados de tais ensaios são apresentados nas Figuras 3 a 8.

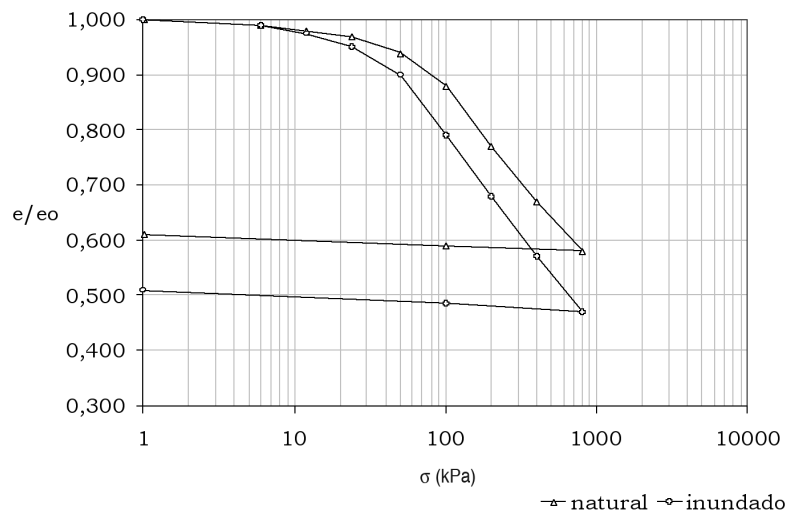


Fig. 3 – Ensaio duplo de compressão confinada – Camada A1 (Rodrigues & Lollo, 2004)

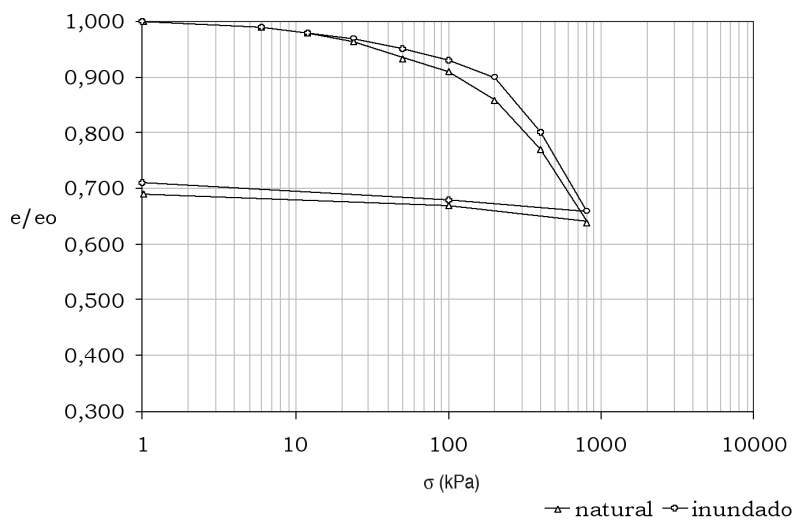


Fig. 4 – Ensaio duplo de compressão confinada – Camada A2 (Rodrigues & Lollo, 2004)

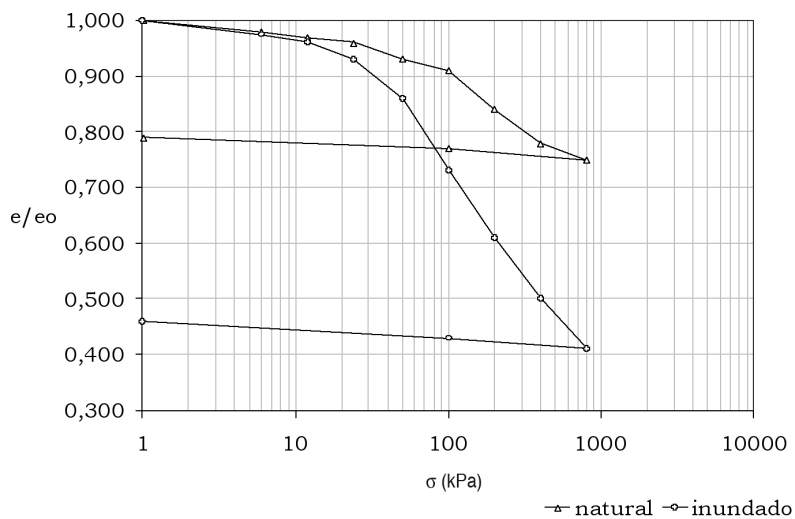


Fig. 5 – Ensaio duplo de compressão confinada – Camada B1 (Rodrigues & Lollo, 2004)

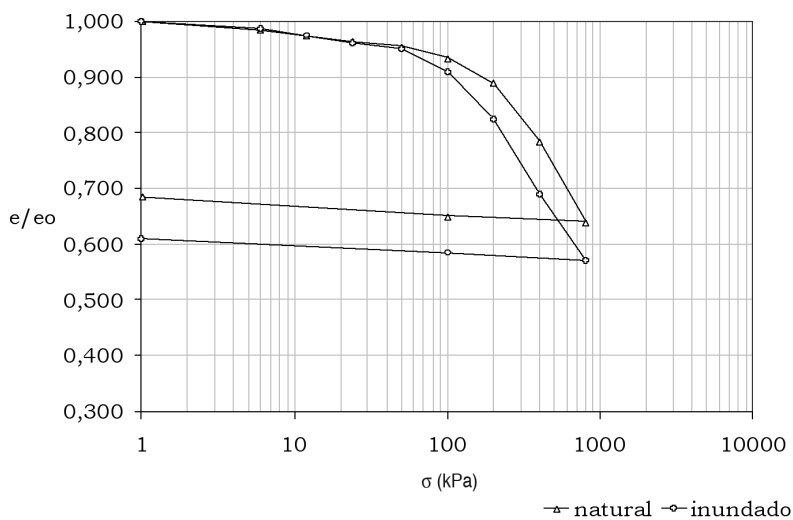


Fig. 6 – Ensaio duplo de compressão confinada – Camada B2 (Rodrigues & Lollo, 2004)

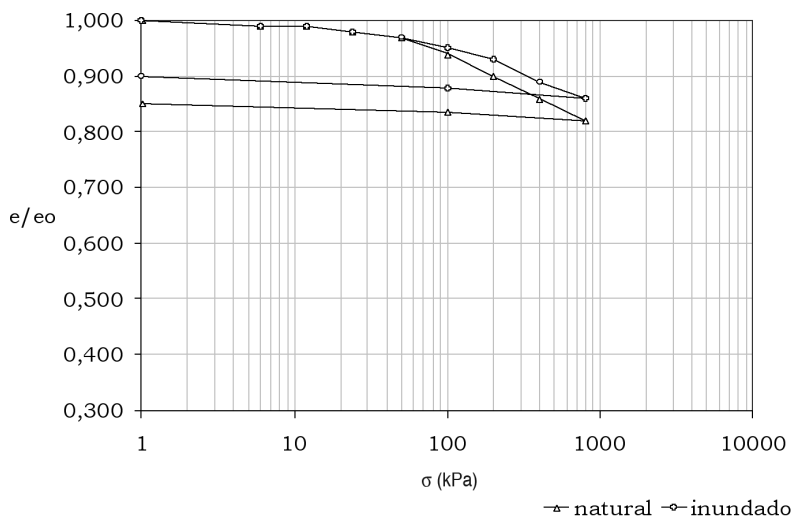


Fig. 7 – Ensaio duplo de compressão confinada – Camada C1 (Rodrigues & Lollo, 2004)

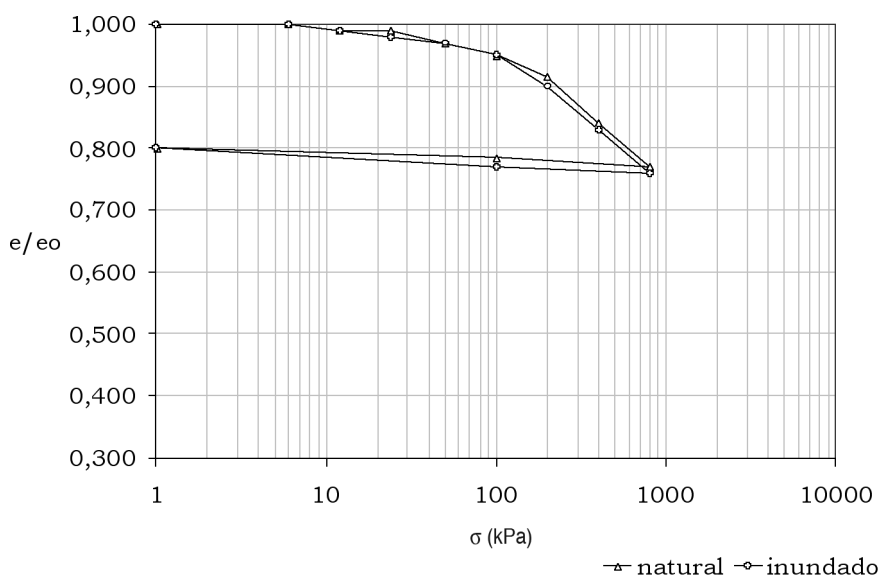


Fig. 8 – Ensaio duplo de compressão confinada – Camada C2 (Rodrigues & Lollo, 2004)

Na Figura 9 são mostradas tensões geostáticas e de pré-adensamento dos solos saturados e não saturados de perfis representativos de cada local (Perfis de alteração A, B e C). Nessa figura as tensões de pré-adensamento foram calculadas com base nos ensaios de compressão confinada.

Na camada superior do Perfil A, nota-se que as tensões de pré-adensamento obtidas para amostras saturadas são da mesma ordem de grandeza das tensões geostáticas. A mesma situação ocorre com as camadas superior e inferior do Perfil B. É importante destacar que não se considerou no cálculo das tensões geostáticas da Figura 9 nenhum acréscimo de carga na superfície devido à instalação de alguma estrutura, ou seja, trata-se de um terreno natural sem obras civis.

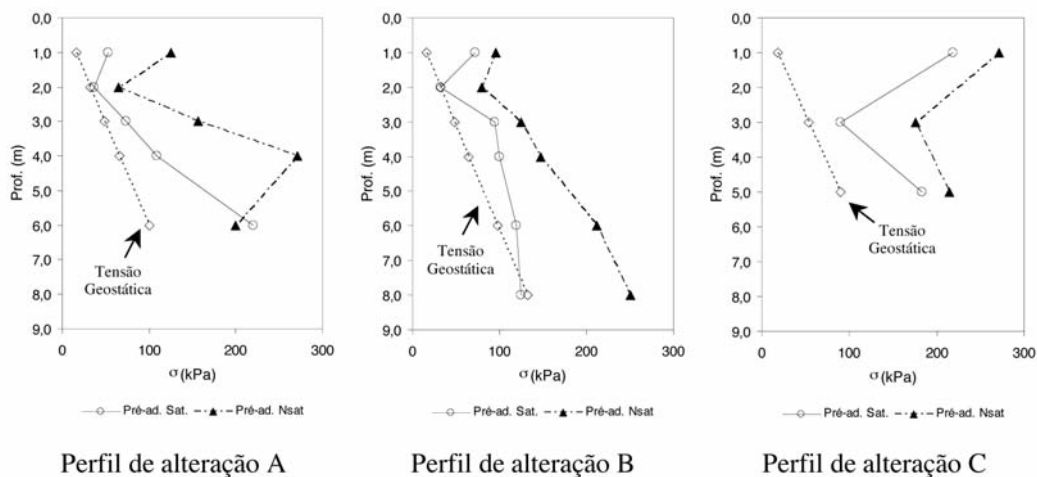


Fig. 9 – Tensões geostáticas e de pré-adensamento dos solos saturados e não saturados.

Ao construir sobre o terreno as tensões geostáticas se alterarão, devido a um acréscimo de tensão. Isto poderá implicar numa mudança do estado de tensões, sobretudo na superfície do terreno. Nesta nova situação, o solo poderá sofrer colapso se o conteúdo de água nos seus vazios aumentar significativamente. Isto não ocorre para o Perfil C, pois até 3m de profundidade as tensões geostáticas são muito menores que as tensões de pré-adensamento dos solos saturados. Mesmo construindo sobre o terreno, aumentando, desta forma, as tensões aplicadas, dificilmente ocorrerá colapso, visto que o solo está fortemente pré-adensado em condições de saturação.

Em relação às tensões de pré-adensamento dos solos não saturados, como esperado, estas são maiores que as tensões obtidas para os solos saturados. As tensões de pré-adensamento variam sazonalmente devido aos ciclos de umedecimento e secagem que ocorrem ao longo do ano. Como as camadas superiores são mais susceptíveis aos efeitos climáticos, tais como, chuva, radiação, umidade relativa, dentre outros, as tensões de pré-adensamento do solo não saturado podem variar indefinidamente.

Em linhas gerais, os resultados indicam que os solos dos Perfis A (superior) e B (superior e inferior) são colapsíveis, enquanto os resultados obtidos para as amostras dos perfis de alteração C (C1 – camada superior e C2 – camada inferior) não indicaram deformações adicionais devidas ao umedecimento do solo. Como este perfil não mostrava comportamento colapsível característico, tal perfil foi desconsiderado no presente estudo.

2.3 – Ensaios de Campo

Além dos ensaios de laboratório, foram utilizados resultados de ensaios de campo (SPT) para estabelecer a relação entre os ensaios duplos de compressão confinada e o comportamento dos solos no campo.

Com base em 146 sondagens de simples reconhecimento realizadas em 37 diferentes pontos da área foram definidas seções-tipo de ensaios SPT para os perfis de alteração A e B. Os ensaios de campo indicaram comportamento colapsível dos solos identificados em ensaios de laboratório. Tais perfis são ilustrados na Figura 10.

Para o perfil A, os resultados de ensaios SPT mostram uma camada superior de menor compacidade até 8m de profundidade, com valores menores que sete golpes, que representa a camada A1. Na região, valores de N_{SPT} abaixo de sete geralmente representam o horizonte de solo de comportamento colapsível.

Em profundidades maiores que 8m, os resultados de N_{SPT} crescem com a profundidade até impenetrável a 17 ou 18m, onde geralmente ocorre uma linha de seixos composta de seixos de quartzo com diâmetro equivalente da ordem de 10mm.

Para o perfil de solo B, a camada superior com baixos valores de compacidade (menores que sete golpes), tem espessura menor (5m em média), sendo seguida por uma linha de seixos com altos valores de compacidade composta por seixos de quartzo de diâmetro equivalente de 20mm.

A camada inferior deste perfil apresenta um rápido aumento dos valores de N_{SPT} , atingindo valores da ordem de dezesseis a vinte golpes logo abaixo da linha de seixos.

| N SPT | Descrição do Material | Prof (m) | N SPT | Descrição do Material | Prof (m) |
|---|--|----------|---|---|----------|
| 3 | Areia fina pouco argilosa, fofa a medianamente compacta, marrom avermelhada. | 1 | 2 | Areia fina muito argilosa, fofa a pouco compacta, marrom avermelhada. | 1 |
| 2 | | 2 | 3 | | 2 |
| 2 | | 3 | 4 | | 3 |
| 3 | | 4 | 5 | | 4 |
| 3 | | 5 | * | Areia fina muito argilosa com seixos de quartzo, Ø até 2cm | 5 |
| 4 | | 6 | * | | 6 |
| 4 | | 7 | 18 | Areia fina argilosa, compacta | 7 |
| 5 | | 8 | 16 | | 8 |
| 7 | | 9 | 16 | | 9 |
| 8 | | 10 | 18 | | 10 |
| 9 | | 11 | 25 | | 11 |
| 10 | | 12 | 20 | | 12 |
| 12 | | 13 | | | |
| 15 | Areia fina pouco argilosa, pouco compacta a medianamente compacta, marrom amarelada, laterizada. | 14 | | | |
| 8 | | 15 | | | |
| 9 | | 16 | | | |
| 51/30 | Areia fina, compacta com seixos de quartzo, Ø 1cm | 17 | | | |
| Perfil de sondagem SPT para o perfil A. | | | Perfil de sondagem SPT para o perfil B. | | |

Fig. 10 – Resultados típicos de perfis de sondagens SPT (Lollo, Elis & Prado, 2003)

2.4 – Distribuição dos perfis de solo na área

O perfil de solo C, que em ensaios de laboratório não apresentou comportamento colapsível, ocorre numa pequena parcela da área, a qual não possui ocupação até o momento, podendo-se considerar, que toda a área urbana apresenta solos com o mesmo grau de suscetibilidade natural de ocorrência de colapso.

Em termos de espessura da camada de solo com comportamento colapsível, embora os perfis A e B apresentem valores diferentes (8 a 9m para o perfil A, e 4 a 5m para o perfil B), a grande maioria das edificações na área usam elementos de fundação com profundidades inferiores a 5m, ou seja, apoiados na camada superior dos dois perfis. Esta é outra razão pela qual se pode considerar a suscetibilidade natural de ocorrência de colapso uniforme em toda a área.

3 – FATORES INDUZIDOS

3.1 – Sistemas urbanos de água e esgoto

A ocupação da área urbana de Ilha Solteira se deu a partir do início da década de setenta, com a construção de edificações (casas e alojamentos) destinadas a abrigar os trabalhadores responsáveis pela construção da UHE de Ilha Solteira. Dado seu caráter temporário, a ocupação se deu sem a consideração das limitações impostas pelo solo.

Também em consequência do caráter provisório da ocupação, os sistemas públicos de água e esgoto instalados no início da ocupação, bem como aqueles implantados nas edificações indivi-

duais, fizeram uso de tubulações feitas com materiais que não apresentam grande vida útil, o que fez com que, transcorridas duas décadas, tais dutos passassem a sofrer rupturas, as quais geram vazamentos que umedecem o solo e desencadeiam o processo de colapso.

3.2 – Levantamentos e Resultados

Considerando que a suscetibilidade natural (devida às características do solo) é a mesma para toda a área, e a suscetibilidade induzida depende da idade e tipo dos dutos de água e esgoto, foram selecionadas para estudo parcelas da área nas quais as redes públicas (de água e esgoto) são constituídas de dutos metálicos ou cerâmicos.

Na Figura 11 estão destacadas as áreas selecionadas (representadas em cinza). As áreas de ocupação mais recente, nas quais foram usados dutos de outros materiais (como PVC) apresentam menor suscetibilidade, razão pela qual foram desconsideradas no presente estudo.

A primeira etapa do levantamento na área correspondeu à identificação, em cada edificação existente, de trincas ou outras evidências de ocorrências anteriores de processos de colapso.

Tal levantamento se deu no campo com entrevistas a proprietários ou moradores dos imóveis, com a aplicação de um questionário contendo questões acerca da existência de trincas, suas características geométricas, idade, possível origem, recorrência, reparos feitos (tipos e custos) e possíveis informações sobre ocorrências nas edificações vizinhas.

Além das informações escritas, solicitava-se aos moradores autorização para conhecer o interior do imóvel de forma a complementar o levantamento de dados, tendo-se o cuidado de verificar quais trincas tinham se originado de ocorrências de colapso.

Para caracterização da suscetibilidade induzida, foram levantadas (junto aos moradores e a órgãos públicos) informações de casos anteriores de ruptura de dutos de água e esgoto, fazendo-se uso do questionário padrão e de entrevistas com profissionais.

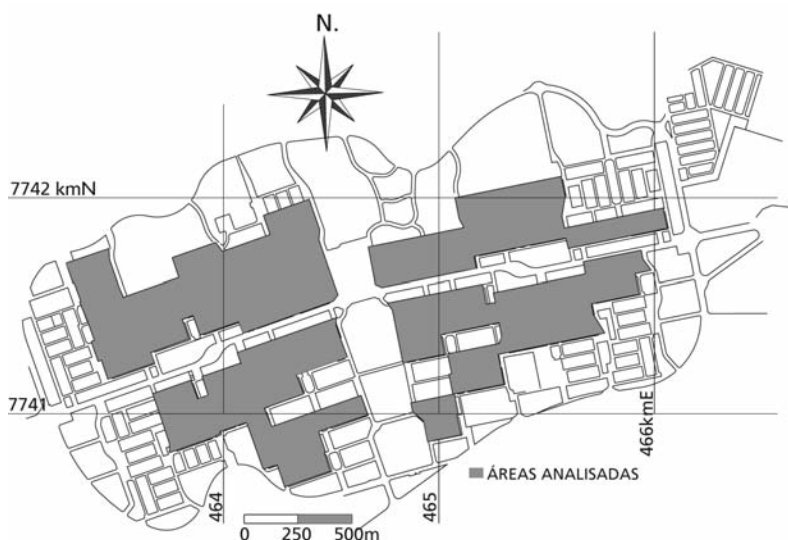


Fig. 11 – Áreas selecionadas para o estudo (Oliveira, 2002).

Para identificar locais potenciais quanto à ruptura de redes de água e esgoto foram analisados os projetos hidráulicos e sanitários das edificações estudadas, de forma a identificar os pontos com maior probabilidade de ruptura das redes internas, pontos estes sujeitos a maiores pressões, tais como conexões dos dutos.

Tal tarefa só foi possível para o grande número de edificações estudadas porque as edificações da área urbana original da cidade de Ilha Solteira foram construídas segundo seis padrões de projeto. Assim, foi necessário avaliar somente seis tipos de projetos de água e esgoto e identificar e classificar os pontos com maior probabilidade de ruptura.

As condições peculiaridades do processo analisado e a impossibilidade de quantificação das suscetibilidades (natural e induzida) fizeram com que a avaliação dos riscos fosse conduzida de forma exclusivamente qualitativa.

A associação das informações de indícios de ocorrência do processo de colapso e oriundas da análise dos projetos das edificações permitiu a identificação dos fatores responsáveis pelas ocorrências de colapso.

Como todas as edificações com registros de colapso contavam com redes de água e esgoto de cerâmica com mais de trinta anos de implantação, a influência dos dutos das redes das residências foi considerada igualmente importante em todos os casos, fazendo com que a extensão dos danos ocorridos nas edificações passasse a ter papel predominante na definição da suscetibilidade.

A análise dos projetos e de sua relação com os danos ocorridos nas edificações permitiu a definição de três classes de suscetibilidade induzida: baixa (trincas apenas em um cômodo da edificação); média (ocorrência de trincas em dois cômodos); e alta (trincas em mais de dois cômodos).

A partir destas classes se deu a definição de três classes probabilidade de ocorrência de colapso: baixa probabilidade - 1; probabilidade média - 2; e alta probabilidade - 3, já que a extensão dos danos e sua recorrência são as evidências mais marcantes do colapso.

4 – ANÁLISE DE RISCOS

Cerri & Amaral (1998) consideram que riscos geológicos podem ser espacialmente representados de duas formas diferentes: cartas de cadastramento de risco – representação dos pontos sujeitos aos riscos; e cartas de zoneamento de risco - nas quais são delimitadas as áreas uniformes com relação ao grau de risco.

Na visão dos autores, a alternativa mais comum de avaliação do risco (R) é sua composição com base na combinação da probabilidade de ocorrência do processo (P) e as consequências (C) de sua ocorrência.

No presente caso, a probabilidade de ocorrência foi definida com base na suscetibilidade induzida e as consequências com base nos custos necessários para reparar os danos havidos nas edificações em função do colapso.

Na definição das classes de custos de reparos de danos, foram utilizados dois grupos de informações: um grupo advindo dos questionários aplicados com proprietários e ocupantes dos imóveis e outro proveniente de entrevistas e questionários aplicados a profissionais (engenheiros) responsáveis por obras de reparo dos danos.

As categorias de reparos foram definidas com base em informações obtidas junto a profissionais e que descreviam os reparos em termos de tipo, custos e eficácia.

Os dados levantados permitiram a proposição de quatro grupos de custos: (1) reparos somente em paredes, portas e janelas; (2) reparos em paredes, portas e janelas, somados a reparos nas instalações de água e esgoto; (3) reparos em paredes, portas e janelas, reparos nas instalações de água e esgoto, e recuperações na estrutura da edificação; e (4) reparos em paredes, portas e janelas, reparos nas instalações de água e esgoto, recuperações na estrutura e nas fundações da edificação.

Estes quatro grupos foram reclassificados em três classes em termos dos custos dos serviços. Como os custos com reparos, recuperações ou novas obras em estruturas e fundações apresentavam custos muito superiores aos dos demais grupos eles influenciaram sobremaneira a redefinição das classes.

As três classes adotadas então foram: (1) reparos em paredes, portas e janelas e nas instalações de água e esgoto; (2) reparos nos itens anteriores mais serviços em reforço estrutural; e (3) reparos nos itens listados na classe “2”, mais reparos ou reforço nas fundações.

A avaliação dos riscos foi então obtida da combinação (por somatório - P+C) e reclassificação dos resultados destas combinações. Assim, somatórios com resultados iguais ou inferiores a dois receberam a denominação “baixo risco”; combinações que resultaram em somas com valores três ou quatro receberam a denominação “risco médio”; e somatórios com valores superiores a quatro foram denominados “alto risco”. Tal processo é ilustrado na Figura 12.

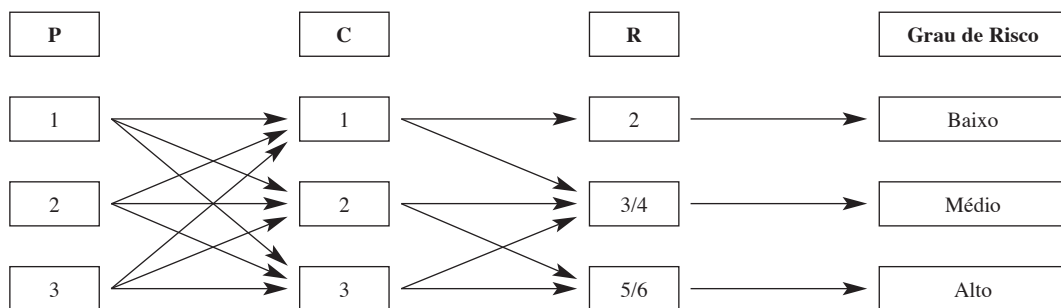


Fig. 12 – Composição das classes de risco (Oliveira, 2002)

5 – MAPAS PRODUZIDOS

5.1 – Carta de cadastramento de colapso

A combinação, para cada edificação levantada na área, das classes de suscetibilidade induzida e de danos ocorridos permitiu a definição do cadastro de risco para cada edificação e sua classificação. Tal resultado é apresentado na Figura 13.

5.2 – Carta de zoneamento de risco de colapso

Essa carta foi elaborada a partir da generalização da carta de cadastramento, considerando-se a distribuição estatística dos riscos registrados para as edificações. Tal carta é ilustrada na Figura 14. Assim, a classe de risco estatisticamente dominante (moda) para cada grupo de edificações (quadra) na avaliação de cadastramento, foi adotada como classe de risco para efeito de zoneamento.

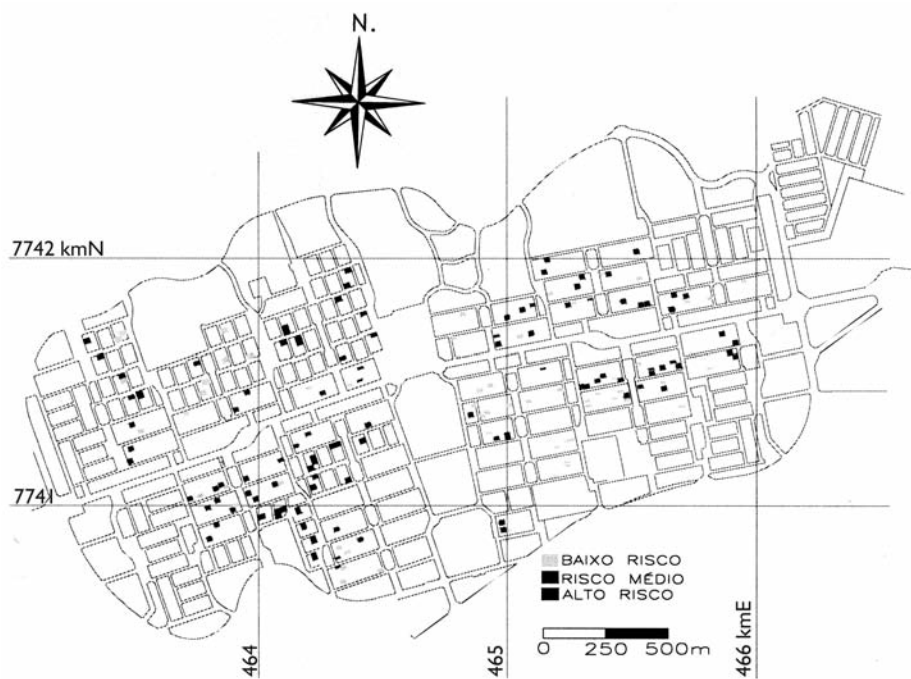


Fig. 13 – Carta de cadastramento de risco de colapso de solos

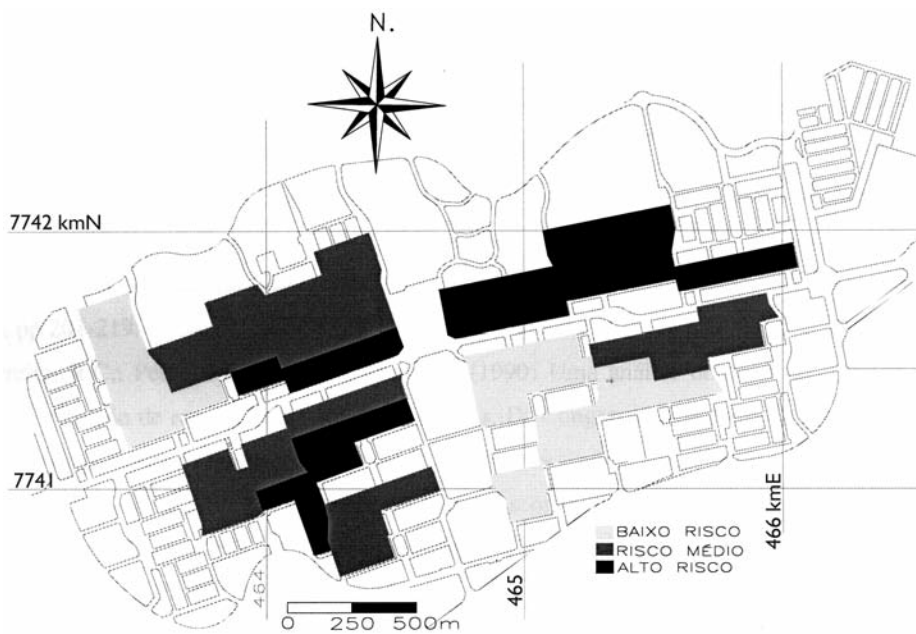


Fig. 14 – Carta de zoneamento de risco de colapso de solos

6 – CONCLUSÕES

Os perfis de solos presentes na área, especialmente em seus horizontes mais superficiais, apresentam comportamento colapsível quando umedecidos, resultando recalques importantes em elementos de fundações e conseqüentes danos a edificações, com prejuízos significativos para a população e o poder público.

Tais efeitos são ainda mais marcantes quando o processo de colapso é desencadeado pela ruptura de dutos antigos de água e esgoto, de material cerâmico.

A distribuição espacial das classes de risco obtida no mapa de zoneamento de risco permite ao poder público priorizar determinadas parcelas da área urbana quanto à substituição dos dutos cerâmicos em redes de água e esgoto, de forma a reduzir seletivamente (priorizando as áreas de maior risco) a probabilidade de ocorrência do processo.

7 – AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fapesp (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro, na forma de auxílio à pesquisa (Processo 99/12555-2) e bolsas (Processos 00/02639-9 e 00/14406-9), sem o qual o desenvolvimento do presente trabalho não teria sido possível.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cerri, L.E.S. & Amaral, C.P. (1998) Riscos Geológicos. Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N. (eds.) Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, p. 301-310.
- Denisov, N.Y. (1951) The Engineering Properties of Loess and Loess Loams. Gosstroirzdat, Moscow, 136p (em russo), apud Feda (1966).
- Feda, J. (1966) Structural Stability of Subsident Loess from Preha-Dejvice. Eng. Geol. 1v, n.3, pp 201-219.
- Ferreira, R.C.; Peres, J.E.E. & Benvenuto, C. (1990) Uma análise de modelos geotécnicos para a previsão de recalques em solos colapsíveis. IX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, ABMS, v. 2, p. 73-79.
- Gibbs, H.J. & Bara, J.P. (1967) Stability Problems of Collapsing Soil. Journal of the Soil Mech. and Found. Div. Vol.93, n.SM4, pp 577-594.
- Lollo, J.A. (1996) Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração do Mapeamento Geotécnico: sistematização e aplicação na Quadricula de Campinas. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, USP – Campus de São Carlos, 2v.
- Lollo, J.A. (1998) Caracterização geotécnica da área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP). III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, ABGE, CD-ROM.
- Lollo, J.A.; Elis, V.R. & Prado, R. (2003) *Carta de solos colapsíveis para a área urbana de Ilha Solteira (SP)*. Ilha Solteira, Relatório Técnico do Projeto 99/12.551-2, FAPESP, 44p.

- Oliveira, C.M.G. (2002) Carta de risco de colapso de solos para a área urbana do município de Ilha Solteira (SP). Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UNESP – Campus de Ilha Solteira, 93p.
- Priklonskij, V.A. (1952) Groutovedenie – Vtoraira Chast. Gosgeolizdat, Moscow, 371p. (em russo), apud Feda (1966).
- Rodrigues, R.A. (2003) A influência do esgoto doméstico como fluido de saturação no colapso de um solo arenoso. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UNESP – Campus de Ilha Solteira, 115p.
- Rodrigues, R.A. & Lollo, J.A. (2004) Características estruturais, fisiográficas e mecânicas de perfis de solos colapsáveis de Ilha Solteira - SP. Solos e Rochas, v. 27:2, p. 131-146.