

REVISÃO DOS MÉTODOS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE MATERIAIS GEOLÓGICOS COLAPSÍVEIS



JOSÉ AUGUSTO DE LOLLO

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Ilha Solteira – SP, Brasil - lolloja@dec.feis.unesp.br

RESUMO ABSTRACT

Recalques por colapso se manifestam de forma brusca e intensa e normalmente ocasionam danos significativos em edificações podendo vir a comprometer sua estabilidade. Solos colapsíveis ocorrem em diversas condições geológicas em vários locais do mundo e em parcelas significativas do território brasileiro, em particular nas regiões sudeste, centro-oeste e nordeste. Identificar os solos colapsíveis e conhecer sua distribuição espacial constitui o primeiro passo para tratar o problema. A cartografia de tais materiais fornece as informações fundamentais para intervenções visando eliminar ou reduzir os danos oriundos do colapso seja com base em soluções normativas, de projeto, ou construtivas. Em função da disponibilidade de dados, da finalidade pretendida, e da escala de mapeamento, materiais colapsíveis podem ser cartografados com diferentes abordagens. Cartas de suscetibilidade ao colapso de materiais inconsolidados podem ser produzidas em escalas médias (1:100.000 a 1:50.000) para finalidades de planejamento regional ou municipal com base em levantamentos de campo, ensaios de caracterização, e critérios expeditos de identificação de materiais colapsíveis. Abordagem similar pode ser aplicada em áreas urbanas e de expansão urbana em escalas entre 1:25.000 a 1:10.000 associando-se informações de sondagens. Em maiores escalas (maiores que 1:10.000) podem ser produzidas cartas de zoneamento ou cadastramento de risco considerando-se dados de ensaios de campo e condicionantes antrópicos como características e estado de redes de água e esgoto e projetos de fundações usualmente utilizados na área. Este artigo apresenta as alternativas metodológicas para a cartografia de materiais inconsolidados considerando as diferentes abordagens citadas, bem como as propostas de intervenção mais adequadas em cada caso. São apresentados ainda exemplos de aplicação das técnicas e de propostas de intervenção.

Palavras-chave: colapso de solos, cartografia geotécnica, materiais colapsíveis.

ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING OF COLLAPSIBLE MATERIALS

Settlements due to collapses are abrupt and intense and usually cause significant damage to structures, eventually compromising their stability. Collapsible materials could occur in different geological conditions in various parts of the world and in significant parts of Brazil, particularly in the Southeast, Midwest and Northeast. The first task in focusing this problem is to identify the collapsible materials and know their spatial distribution. The process of mapping such materials provides the basic information for interventions in order to reduce or eliminate damages due to collapse, either by legislative, design, or construction solutions. Considering data availability, the intended purpose and mapping scale, collapsible materials can be mapped by different approaches. Susceptibility collapse charts for unconsolidated material can be produced in medium scales (1:100.000 to 1:50.000) for municipal or regional planning, based on field surveys, characterization tests, and expeditious criteria for the identification of collapsible materials. A similar approach could be applied in urban and urban expansion areas at scales of 1:25.000 to 1:10.000 considering also field investigations, as SPT tests. At major scales (larger than 1:10.000) risk charts can be produced considering the data from field tests and man-made determinants such type and state of conservation of water and sewage pipelines and considering the foundation projects commonly used in the area. We discuss the methodological alternatives for the mapping of collapsible materials considering the different approaches mentioned, as well as the most appropriate interventions in each case. Examples of these methodologies application proposed interventions are presented.

Key-words: soil collapse, engineering geological mapping, collapsible soils and sediments.

INTRODUÇÃO

Certos solos e sedimentos quando experimentam aumento da quantidade de água em seus vazios ou são umedecidos após aplicação de sobrecargas, podem sofrer uma redução de volume expressa por variação brusca de seu índice de vazios sem que necessariamente tenha havido aumento das cargas aplicadas. Tal fenômeno é atribuído ao colapso da estrutura dos solos, donde esses solos e sedimentos têm recebido a designação de materiais colapsíveis.

Fisicamente, o fenômeno do colapso está relacionado à perda de resistência do solo não saturado e pode ocorrer em função da perda dos vínculos que mantinham as partículas sólidas unidas ou pela destruição dos efeitos capilares quando da saturação do material.

As condições nas quais o processo se desencadeia podem levar a crer que variados tipos de materiais inconsolidados podem estar sujeitos ao colapso, no entanto algumas condições próprias de ocorrência do processo e características básicas dos materiais devem ser satisfeitas para que o colapso ocorra.

Materiais colapsíveis podem ser encontrados em diversos países como África do Sul, Angola, Argentina, Austrália, Brasil, Espanha, Estados Unidos, Israel, Quênia, Romênia, dentre outros, sendo, no entanto mais comuns em regiões de clima quente (atual ou pretérito). No Brasil, estes materiais cobrem extensas áreas das Regiões Centro-Sul e Nordeste do país, sendo representados por aterros mal compactados, por depósitos aluviais, coluviais e solos residuais muito lixiviados (Lollo, 2007).

Em função da variedade de tipos de origem que materiais colapsíveis possam ter, é natural que as texturas desses solos também possam se apresentar bastante variadas. Tais texturas, no entanto, costumam ter uma relação íntima com o conjunto de processos (naturais ou não) responsável por sua origem.

Assim, materiais colapsíveis formados a partir de sedimentos de origem eólica e fluvial apresentam textura predominantemente arenosa, já os perfis residuais têm sua textura controlada pela rocha matriz que lhes deu origem e pela intensidade dos processos intempéricos aos quais estiveram sujeitos.

Solos originados a partir de rochas sedimentares químicas e detríticas finas e rochas ígneas básicas tendem a proporcionar solos colapsíveis de textura mais argilosa, enquanto solos formados pela alteração de rochas sedimentares de textura mais grosseira e rochas ígneas ácidas tendem a apresentar textura arenosa.

Nos materiais colapsíveis formados a partir de fluxos de lama predominam as frações finas (como argilas). Já no caso de perfis colapsíveis originados a partir de aterros, a textura do perfil vai depender da textura do solo utilizado para confecção do aterro, havendo, no entanto, uma predominância de solos arenosos.

Apesar da diversidade de origem dos materiais inconsolidados já descrita, o comportamento de tais materiais (solos ou sedimentos) é bastante similar, razão pela qual é comum o uso da expressão "solo colapsível", também adotada neste artigo.

A seleção de alternativas de projeto e construção em tais materiais implica, antes de tudo na capacidade de identificá-los e a seu comportamento. No entanto, os estudos para caracterização de materiais colapsíveis têm um caráter essencialmente local o que faz com que a capacidade de representar a distribuição espacial dos mesmos como forma de prover informações que permitam a projetistas e construtores a seleção de técnicas específicas de investigação em tais áreas. A forma mais eficiente de prover essa informação espacial é a cartografia de materiais colapsíveis.

O processo de colapso dos solos provoca deslocamentos nas fundações e, como estas são elementos estruturais que tem por finalidade receber e transferir as cargas da edificação para o solo, tais deslocamentos podem causar danos importantes à edificação e aos elementos de fundação.

Tanto em fundações profundas como fundações superficiais o solo deve ter resistência suficiente ou capacidade de suporte para receber os carregamentos distribuídos oriundos dos elementos de fundação.

Nos solos colapsíveis, o umedecimento do solo (possibilidade mais comum de ocorrência de colapso), provoca uma alteração na estrutura do solo, reduzindo sua capacidade de suporte resultando deslocamentos nos elementos de fundação. Tendo sido projetado corretamente, o elemento estrutural de fundação não sofre dano algum,

havendo apenas o seu deslocamento, o que pode provocar outros danos na edificação.

Os danos maiores ocorrem nas alvenarias, lajes e coberturas. Podem ocorrer danos ao elemento estrutural se a magnitude dos deslocamentos foi muito acentuada, pois aí surgirão tensões para as quais esses elementos não foram projetados, como flexão composta e torção.

As alvenarias funcionam como elemento de fechamento. Podem ser estruturais ou apenas de vedação. Nas alvenarias estruturais, se houver deslocamentos ou recalques de fundação, estas também sofrerão seus efeitos. Podem surgir trincas e até mesmo rachaduras que prejudicam a estética da edificação e às vezes comprometer a estabilidade da estrutura, que neste caso é a própria alvenaria.

Caso a alvenaria não exerça função estrutural, os danos sofridos por ocorrência de colapso de solos têm características eminentemente estéticas, porém podem apresentar danos funcionais em dispositivos de instalações hidráulicas e elétricas e em dispositivos de fechamento como janelas e portas.

As trincas, geralmente inclinadas em ângulo de 45°, são conhecidas como trincas em “V”, ou seja, que apresentam maior abertura na sua parte superior, estreitando-se para a parte inferior.

Além das alvenarias, as lajes também podem sofrer danos, principalmente quando estão apenas apoiadas sobre as paredes ou sobre cintas de amarração. Nestes casos, surgem trincas nas proximidades do encontro das lajes com as alvenarias, ou no prolongamento das trincas existentes nas paredes.

Da mesma forma, o efeito dos recalques pode ser observado nas coberturas, com ocorrência de deformações nos panos dos telhados, com reflexo também em outras paredes não atingidas diretamente pelo recalque da fundação.

Em casos extremos, especialmente quando se tratam de construções antigas e com projetos de fundações inadequados, os danos podem ser tão extensos que a edificação pode ruir.

As intervenções visando à redução de danos a edificações devidos ao processo de colapso podem ser divididas em duas categorias, mudanças em projetos de fundações e mudanças em processos construtivos.

As mudanças de projeto dizem respeito à escolha de tipos de fundações mais apropriados para cada situação. Em geral, se pode dizer que elementos de fundação com maiores diâmetros para estacas cravadas, diminuindo a possibilidade de flambagem na cravação, enquanto para estacas moldadas in situ a adoção de menores diâmetros associados ao lançamento de brita ou de concreto pouco plástico no fundo da escavação, seguido de seu apiloamento, confere a estas estacas um considerável aumento da resistência de ponta, mesmo quando do umedecimento do solo de fundação.

Para minimizar os efeitos da infiltração da água no solo colapsível são recomendados: projetar um sistema adequado de drenagem de águas pluviais; impermeabilizar a área perimetral das casas, com a largura mínima de 1,5 m; e instalar redes de esgoto e de água no interior de dutos de proteção.

Para reduzir a possibilidade de vazamentos em redes de água ou esgoto algumas medidas podem ser tomadas tais como: instalar tais redes no interior de dutos de proteção; remoção (por escavação) de uma camada de solo mais espessa que a necessária à implantação da rede e sua posterior compactação no fundo da vala; substituição das tubulações antigas de fibrocimento ou cerâmica vermelha por tubulações de PVC.

Em qualquer situação, a adoção de medidas de redução de danos pressupõe a capacidade de identificação da ocorrência de solos colapsíveis e representar tal ocorrência na forma de cartas, de tal maneira que os profissionais interessados possam tomar as medidas necessárias.

Nas últimas décadas, alguns critérios e ensaios foram desenvolvidos para o estudo dos solos colapsíveis em campos experimentais e em laboratórios, sendo cada um deles baseado em grandezas diferentes. Os critérios disponíveis são limitados e são geralmente restritos aos solos para os quais foram obtidos ou solos com propriedades muito similares.

Alguns métodos baseiam-se na avaliação de índices físicos e limites de consistência através de ensaios de caracterização, enquanto outros estão baseados em ensaios específicos de compressibilidade e resistência.

Os ensaios e critérios para identificação do colapso e das características de um solo colapsível em

laboratório possibilitam estudar parâmetros específicos como a composição química e o arranjo estrutural dos solos e a suscetibilidade ao colapso.

Os métodos aplicados em laboratório para mensuração do colapso auxiliam na caracterização do colapso com ensaios que retratam condições ideais. Já a aplicação dos ensaios e dos critérios de campo busca a estimativa do colapso em escala real.

A cartografia dos solos colapsíveis pode ser realizada de diferentes formas de acordo com a natureza da informação disponível (ou a capacidade de produção de tal informação) e a finalidade do estudo. Como consequência destas condições, os produtos cartográficos obtidos serão diferentes quanto à escala e permitirão diferentes abordagens no enfrentamento do problema.

Quando o nível de detalhe das informações disponíveis é menor, e se tem os materiais inconsolidados cartografados em escala regional, é comum que a caracterização de tais materiais se restrinja à granulometria, índices físicos e limites de consistência.

Em tal situação a alternativa viável é a produção de cartas de suscetibilidade em escalas regionais (entre 1:100.000 e 1:50.000) que destaquem as ocorrências dos materiais inconsolidados colapsíveis, chamando a atenção de projetistas e sociedade em geral para as áreas onde projetos deverão requerer levantamentos de campo mais detalhados para adoção de critérios para projetos de fundações e de técnicas construtivas mais cuidadosas em aterros, pavimentos, e obras apoiadas em fundação superficiais.

Quando, além de dados de caracterização dos solos, há disponibilidade de informações oriundas de sondagens (especialmente sondagens de simples reconhecimento com realização de ensaios SPT), de ensaios de campo ou informações daí derivadas, a associação de tais informações com dados de caracterização de solos e levantamentos de campo permite a elaboração de cartas em maiores escalas (entre 1:25.000 a 1:10.000) abrangendo áreas urbanas e de expansão urbana.

Nestas cartas, além da delimitação de unidades de materiais inconsolidados com previsão de comportamento colapsível, podem ser incluídas informações a respeito da espessura de tais materiais e de classes de colapsividade em função

da espessura dos mesmos e de variações em suas propriedades. Cartas assim produzidas podem ser usadas não só para alertar o meio técnico para a existência de materiais potencialmente colapsíveis no subsolo como para orientar escolha de parâmetros de projetos de fundações profundas, além de permitir ao poder público a proposição de diretrizes de projeto e construção diferentes para áreas com características específicas.

A terceira opção é a cartografia de risco de colapso de solos. Neste caso, além das informações anteriormente citadas, é preciso contar com ensaios de campo mais extensos e detalhados, tais como levantamentos geofísicos e ensaios que simulem a ocorrência do colapso no campo (tais como provas de carga, ensaios de cone, dilatômetro, pressiómetro, ou outros) além de informações a respeito das condições antrópicas que possam potencializar a ocorrência do colapso, tal como estado de conservação e potencial de ruptura de redes de utilidade (especialmente redes de água e esgoto).

Cartas de zoneamento ou cadastramento de risco produzidas com base nestas informações devem ser elaboradas em escalas mínimas de 1:10.000, sendo recomendáveis escalas superiores à 1:5.000 para retratar com eficiência os riscos. A partir destes documentos, projetistas e construtores terão maior conhecimento das variáveis envolvidas no processo o que pode resultar em obras mais confiáveis, o poder público terá informações valiosas para atuar na redução de riscos, os seguradores terão elementos de avaliação mais eficazes.

CONCEITOS BÁSICOS

Caracterização do comportamento colapsível

Etapa fundamental no processo de cartografia de materiais colapsíveis, a caracterização do comportamento colapsível pode ser feita de duas formas básicas, em laboratório e no campo. Os critérios de caracterização e classificação de solos colapsíveis baseados em ensaios de laboratório podem ainda ser divididos em dois grupos: critérios baseados em ensaios de caracterização e critérios baseados em ensaio de resistência.

Os métodos aplicados em laboratório para mensuração do colapso auxiliam na caracterização do colapso com ensaios que retratam condições

ideais. Já a aplicação dos ensaios e dos critérios de campo busca a estimativa do colapso em escala real.

A identificação do comportamento colapsível em laboratório pode ser feita a partir de investigações de sua estrutura e composição (ensaios de microscopia eletrônica e de transmissão, difratometria de raios X, ensaios de dispersão, caracterização química e granulométrica do solo) ou de ensaios de índices físicos e limites de consistência.

No primeiro caso o principal objetivo é a identificação do estado do solo em diferentes condições, sendo mais comum o estudo de seu estado antes e após o colapso. No segundo caso o que se pretende é obter relações entre índices descritivos do solo que permitam a previsão do comportamento colapsível. Para a cartografia de materiais colapsíveis a segunda opção é mais interessante, pois tem maior potencial de previsão de comportamento com menor custo para realização dos ensaios.

Dentre os critérios de identificação baseados em ensaios de resistência, há evidente predominância daqueles baseados em ensaios edométricos sobre os critérios baseados em ensaios de compressão triaxial. No caso dos ensaios edométricos pode-se ainda considerar duas alternativas: os ensaios denominados duplos (corpos-de-prova diferentes ensaiados com e sem umedecimento) classificando o comportamento colapsível segundo proposta de Reginatto e Ferrero (1973), e os ensaios simples (corpos-de-prova carregados até uma tensão de interesse e posteriormente umedecidos) sendo o colapso classificado segundo Jennings e Knight (1975).

O uso de ensaios de resistência (uniaxial ou triaxial) dos materiais apesar de extremamente útil para compreensão do processo de colapso apresenta limitações de uso para cartografia de materiais colapsíveis, uma vez que as amostras ensaiadas geralmente representam porções limitadas do maciço estudado, razão pela qual a adoção de tais critérios deve estar apoiada em levantamentos prévios de campo e escritório que garantam a representatividade das amostras ensaiadas.

Tal representatividade pode ser buscada identificando-se áreas-chave para amostragem dos materiais com base em levantamento prévios de zoneamento do meio físico apoiados na técnica de avaliação do terreno (identificação de landforms e sua relação com perfis de alteração)

ou em outras técnicas que permitam representar adequadamente a variabilidade do meio natural.

O uso de ensaios de campo para identificação de comportamento colapsível geralmente permite também a quantificação do colapso, o que os torna muito interessante para cartografia de materiais colapsíveis. Dentre os mais comuns podem ser citados os ensaios SPT, CPT e ensaios derivados, ensaios pressiométricos, provas de carga (em placa ou sobre estaca), uso de protótipos (paredes, muros, sapatas), e uso de equipamentos desenvolvidos especialmente para tal finalidade. Contribuições interessantes têm sido propostas tentando-se relacionar levantamentos geofísicos com a caracterização dos perfis de materiais colapsíveis e seu comportamento mecânico avaliado com base em ensaios de campo ou de laboratório.

Se bem assimiladas na cartografia de materiais colapsíveis, as informações advindas de ensaios de campo podem ser de grande utilidade pois permitem à cartografia o zoneamento não só de classes de materiais como de classes de comportamento dos mesmos. Assim como no caso dos ensaios de resistência em laboratório, para que tal associação seja confiável a realização dos ensaios de campo deve estar associada a áreas-chave para permitir a representação espacial com confiabilidade.

Cartografia de materiais colapsíveis

Em função da diversidade de abordagens e escalas já citadas a cartografia de materiais colapsíveis pode ser apresentada de diversas formas.

Nas situações mais comuns, aqui denominadas “cartas de materiais colapsíveis de finalidade geral”, o objetivo principal é informar a existência de materiais com comportamento colapsível na área em estudo. Tal representação geralmente é feita em escalas pequenas a médias (menores ou iguais a 1:50.000) e consiste basicamente numa carta de materiais inconsolidados na qual os comportamentos geotécnicos esperados para cada material são descritos na legenda da carta ou tem texto explicativo em anexo a esta. Também pode acontecer que tais cartas destaquem os materiais inconsolidados colapsíveis e os distingam dos demais (não colapsíveis).

Neste tipo de carta a caracterização do comportamento colapsível geralmente é descrita com

base em ensaios de laboratório, especialmente ensaios de caracterização, e os critérios de identificação são baseados em índices físicos e limites de consistência dos materiais.

As “cartas de materiais colapsíveis de finalidade específica” correspondem à segunda classe de cartas aqui considerada e incluem cartas elaboradas em escalas regionais ou de detalhe (geralmente entre 1:25.000 a 1:10.000) abrangendo áreas urbanas e de expansão urbana e têm como principal objetivo orientar os profissionais e o poder público quanto às condições dos materiais e critérios para soluções de projeto e construção.

Caso clássico deste tipo de carta são as Cartas para Fundações, as quais geralmente se baseiam em ensaios de laboratório (tanto de caracterização como de resistência) e se apóiam fortemente em sondagens de simples reconhecimento com ensaios SPT e técnicas de generalização espacial da informação (especialmente geoestatística) tanto em planta como em profundidade.

Em alguns casos tais cartas se valem de levantamentos geofísicos como apoio na delimitação de perfis de materiais colapsíveis, relacionando informações de resistividade elétrica e propagação de ondas de radar para geração de perfis e caminhamentos geofísicos com o comportamento das camadas do perfil do solo interpretado em função das sondagens mecânicas e ensaios.

O terceiro tipo de carta de materiais colapsíveis corresponde às cartas de risco de colapso de solos, as quais compreendem a associação de informações relativas ao comportamento mecânico dos materiais com informações locais acerca de condicionantes desencadeadores do colapso que não sejam diretamente dependentes do comportamento do solo.

Considerando que a ocorrência de colapso comumente está associada ao umedecimento de solo em função de vazamentos em redes de utilidades ou sistemas de armazenamento de fluidos, ou à influência de carregamentos dinâmicos, a cartografia de risco de materiais colapsíveis só é possível com a caracterização do risco associado às atividades humanas. Além de identificar condições potenciais de desencadeamento do colapso por umedecimento do solo associado a tais ações, a cartografia de risco de colapso inclui a avaliação (absoluta quando possível, ou relativa) dos danos

previstos na edificação ou conjunto de edificações bem como do montante de recursos a ser aplicado para reparo dos danos.

Para que possam representar adequadamente o risco essas cartas devem ser elaboradas em escalas maiores que 1:10.000 quando se tratar de zoneamento de risco e em escalar ainda maiores (ao menos 1:2.000) quando o objetivo for o cadastramento de riscos.

MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE COLAPSIDADE DE MATERIAIS GEOLÓGICOS

Ferreira e Fucale (1999), com base em ensaios de campo (ensaios SPT em sondagens de simples reconhecimento) e laboratório (ensaios edométrico), avaliaram o comportamento colapsível de solos de quatro municípios do Estado de Pernambuco. Os autores destacam a importância da sucção matricial no comportamento colapsível, mostrando que condições de altos valores de NSPT estavam relacionadas a baixos teores de umidade ou altas sucções, e que o comportamento colapsível para tais solos se manifestava em condições específicas de carregamento no campo (comportamento condicionalmente colapsível).

Oliveira e Lollo (2001) realizaram um zoneamento de materiais colapsíveis para a área urbana de Ilha Solteira (SP) tendo como base a identificação de materiais inconsolidados a partir dos landforms identificados na área e o registro de processos de colapso já ocorridos. Os elementos de terreno identificados mostraram forte relação entre perfis de materiais inconsolidados arenosos finos com alta porosidade, espessuras superiores à 20m, e comportamento colapsível, localizados nos topos de colinas amplas, suave onduladas, identificados nos divisores de água na área.

Ferreira et. al. (2002), caracterizaram o colapso a partir de ensaios de campo realizados com o expansocolapsômetro e ensaios edométricos simples e duplos em laboratório em Palmas (TO). Segundo os autores, foi possível verificar que sob a ação de peso próprio das camadas de solo os potenciais de colapso são menores e que o expansocolapsômetro foi eficiente na identificação do colapso em profundidades maiores que 3m e que os potenciais de colapso obtidos no campo são 83 % dos obtidos em laboratório.

Guimarães, Camapum de Carvalho e Pereira (2002), avaliaram a colapsividade de solos porosos do Distrito Federal combinando ensaios de laboratório (edométricos, de caracterização, obtenção da curva característica pela técnica do papel filtro, e ensaios de microscopia eletrônica de varredura). Os autores concluíram que métodos baseados em ensaios de caracterização podem ser aplicados em avaliações preliminares de comportamento colapsível, enquanto as análises feitas utilizando os ensaios edométricos devem ser realizadas considerando-se a inundação e o carregamento aplicado em cada estágio de carga.

Rodrigues, Souza e Lollo (2002), combinaram ensaios de campo (provas de carga em placa) e de laboratório (ensaios edométricos duplos) com medidas de recalques monitorados em dois protótipos de sapatas corridas, com a finalidade de estabelecer, a cada estágio de carregamento, a magnitude dos recalques por colapso em função da profundidade das amostras. Os potenciais de colapso obtidos permitiram a classificação de do solo como condicionalmente colapsível em 80% dos casos e como verdadeiramente colapsível nos outros 20%. A compactação do solo na base das sapatas permitiu reduzir os recalques em 50%.

Santorio e Diniz (2002) relacionam dados de levantamentos de potencial espontâneo segundo alinhamentos na área urbana de Taubaté (SP) com valores de N_{SPT} obtidos de sondagens de simples reconhecimento realizadas na área para diagnosticar a natureza dos recalques ocorridos na área. Os resultados mostraram que as edificações com ocorrências de colapso devidas à ruptura da rede de esgoto tinham seus elementos de fundação apoiados em camadas do subsolo que apresentavam baixos valores de N e valores negativos de SP (potencial espontâneo) que indicavam a presença de depósitos de textura arenosa e estrutura porosa.

Smith e Devine (2002) utilizaram dados de ensaios pressiométricos pré-furo para prever o recalque por colapso de materiais de granulometria variada (desde solos argilosos até depósitos de cascalho) em sete localidades de três estados dos Estados Unidos com vistas a projetos de fundação rasa. Os autores puderam identificar três níveis de recalque (pré-colapso, durante o colapso, e pós-colapso) e o confronto dos recalques previstos com aqueles posteriormente medidos em campo

mostraram variações insignificantes (máximo de 10% para recalques da ordem de 250 mm).

Su e Zhu (2002) aplicaram análise multivariada para caracterizar os perigos geológicos relacionados à implantação de uma rodovia na China considerando um conjunto de fatores considerados importantes na caracterização dos perigos geológicos. Os resultados mostraram que dentre os fatores considerados o comportamento colapsível das camadas de loess na área foi determinante para compor as condições que resultavam em áreas com os níveis de perigos geológicos mais expressivos.

Benkadja (2006) avaliou a ação de hidrocarbonetos oriundos de vazamentos de tanques de armazenamento como fluidos de umedecimento no desencadeamento do colapso e comparou a intensidade do colapso devido ao umedecimento do solo com água e com hidrocarbonetos a partir de ensaios simples de adensamento, segundo proposta de Jennings e Knight (1975), verificando maiores recalques quando o solo foi umedecido com água.

Rodrigues (2007) modelou as deformações por colapso devidas à ascensão do lençol freático na área de influência do reservatório de Três Irmãos (SP) valendo-se de ensaios de campo e laboratório prévios, de dados de monitoramento recalques em edificações na área, e ensaios com sucção controlada, realizados com vistas a caracterizar o comportamento não saturado do solo. O autor conclui que as deformações por colapso aumentaram com a redução da sucção (sem saturação), que os colapsos mais intensos ocorriam em condições de submersão gradual do solo, e que muitas das deformações por colapso ocorridas se deram sob a ação do peso-próprio do solo.

Rodrigues e Lollo (2007) discutem a influência do esgoto doméstico na ocorrência de colapso com base em ensaios de laboratório (edométricos simples e duplos), parâmetros físicos e químicos do esgoto percolado, e avaliação da microestrutura do solo via microscopia eletrônica de varredura e de variações na composição do mesmo via ensaios de energia dispersiva. Os autores concluem que a presença de sódio na composição de sabões e detergentes existentes no esgoto doméstico tem influência significativa no processo de colapso, independentemente de condições de pH e viscosidade do fluido.

Gutierrez, Nóbrega e Vilar (2009) discutem a influência da microestrutura de um material residual argiloso em seu comportamento colapsível. O comportamento colapsível foi caracterizado a partir de ensaios edométricos simples e duplos e correlacionado com a estrutura interna do solo, a natureza dos poros e sua porosidade interconectada, indicando influência da variação da estrutura com a profundidade no comportamento colapsível do material.

Zhang, Zhang e Qi (2010) avaliaram a colapsibilidade de um depósito quaternário de loess na China sob a ação de peso próprio utilizando ensaios de laboratório e de campo (em cava) visando determinar os graus de saturação do material por imersão. Os resultados mostraram menores taxas de deformação (sem recalques por colapso) nos ensaios de campo durante a imersão e deformações mais intensas após a imersão fatos que os autores atribuem à estrutura interestratada dos depósitos (com alternância de lentes mais arenosas e mais finas).

Lollo et. al. (2011) correlacionam potenciais de colapso definidos a partir de ensaios de laboratório para diferentes perfis de alteração de solos segundo a profundidade com resultados de sondagens elétricas verticais que foram interpretados com apoio em ensaios SPT e CPT realizados na área urbana de Ilha Solteira (SP). Os resultados mostraram relação entre o comportamento condicionalmente colapsível dos materiais e a variação da resistividade elétrica com a profundidade, indicando bom potencial de uso de levantamentos geo-elétricos para identificação preliminar de camadas do subsolo com comportamento colapsível de forma a orientar amostragem e realização de ensaios de laboratório.

Os exemplos apresentados nesse tópico dão uma ideia da diversidade de alternativas possíveis para caracterizar o comportamento colapsível de materiais inconsolidados. A escolha entre uma ou alternativa depende do interesse da carta a ser produzida, porém se verifica que algumas abordagens são mais comuns.

Dentre os ensaios de laboratório, é comum o uso de ensaios de caracterização para obtenção de classificações expeditas de materiais colapsíveis e de ensaios edométricos quando se pretende classificações mais confiáveis que correlacionem condições de campo dos materiais com solicitações previstas (tensões de projeto ou tensões devidas a peso próprio).

No caso dos levantamentos de campo, é muito comum o uso de dados de sondagens de simples reconhecimento, especialmente ensaios SPT. Tal uso se justifica em função da grande tradição de uso de dados de ensaios SPT em projetos de fundações, da relativa simplicidade e baixo custo da técnica, além da possibilidade de uso de sondagens pré-existentes em muitos locais.

MAPEAMENTO DE MATERIAIS COLAPSÍVEIS

Cartas de materiais colapsíveis de finalidade geral

Nessa categoria são incluídas as cartas produzidas em menores escalas e que têm por objetivo representar a ocorrência de materiais colapsíveis e descrever suas principais características.

Jefferson et. al. (2002) apresentam um estudo comparativo do comportamento dos materiais loéssicos identificados na Grã-Bretanha e na Bulgária e discutem as similaridades e as diferenças entre tais materiais.

Os materiais foram caracterizados segundo sua natureza, distribuição, e controle geomorfológico. O estudo do comportamento enfatizou o processo de colapso por se tratar do principal perigo geológico nas áreas.

Os depósitos de loess britânicos tem sua origem em depósitos glaciais finos e ocorrem em áreas limitadas à região sul do território (Figura 1) e são bastante homogêneos em termos de composição e granulometria, apresentando texturas finas (siltos-argilosos). Nesses materiais o colapso ocorre em condições mais severas de sobrecarga (geralmente acima de 200 kPa quando umedecidos).

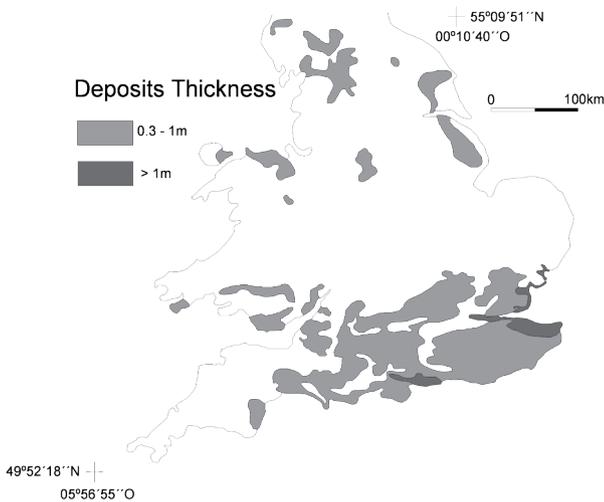


Figura 1 - Ocorrências de depósitos de Loess colapsíveis na Grã-Bretanha. Modificado de Jefferson et. al. (2002).

Os depósitos loéssicos mapeados na Bulgária têm origem tipicamente fluvial sendo encontrados na porção norte do território. Os materiais exibem grande variabilidade, mostrando mudanças bruscas em distâncias relativamente pequenas. A textura dos materiais varia desde francamente arenosa até francamente argilosa (Figura 2), e o comportamento colapsível também é variado, havendo ocorrência de colapso sob ação de peso próprio (materiais mais grosseiros) e processos de colapso devidos a sobrecargas variadas (desde 100 até mais de 300 kPa).

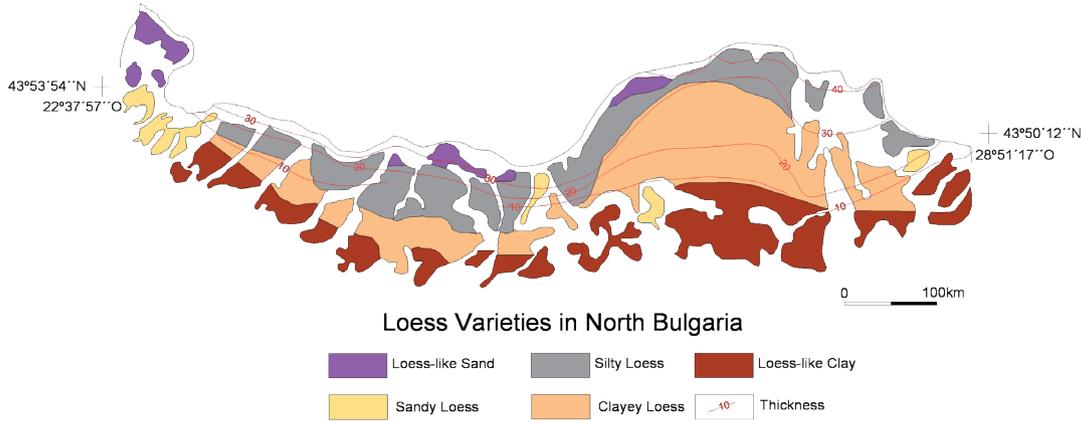


Figura 2 - Depósitos de Loess colapsíveis no norte da Bulgária. Modificado de Jefferson et. al. (2002).

Gao (2002), considerando as vastas áreas do território Chinês com ocorrências de materiais colapsíveis, apresentou uma síntese dos conhecimentos à época, contendo informações a respeito das características microestruturais, composicionais, propriedades físico-químicas e geotécnicas dos depósitos de Loess naquele país.

Segundo o autor, tais materiais exibem comportamento colapsível até profundidades de 20m e podem ser divididos em duas categorias, materiais colapsíveis sob ação de peso próprio e aqueles colapsíveis com aplicação de sobrecarga.

O mapa apresentado delimita a ocorrência do Plateau Loéssico na China (Figura 3) e indica os locais de amostragem para ensaios de laboratório. Os depósitos de loess na China apresentam comportamento predominantemente colapsível e foram classificados pelo autor em quatro categorias: alta,

média, baixa suscetibilidade e não suscetíveis, no entanto o mapa não delimita as áreas de ocorrência destas classes.

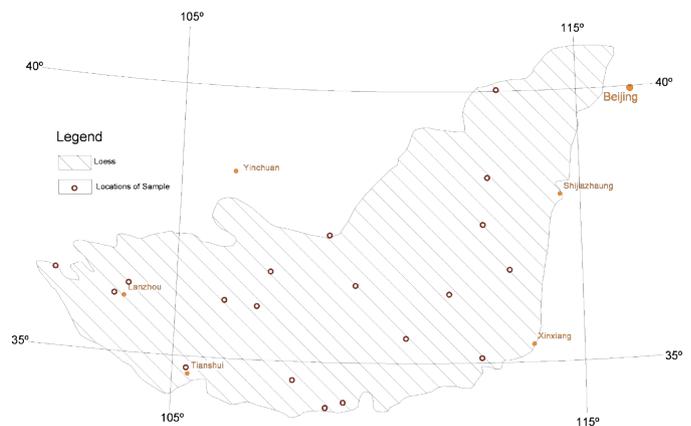


Figura 3 - Distribuição dos depósitos de loess colapsível na China. Modificado de Gao (2002).

Cartas de materiais colapsíveis de finalidade específica

Rodrigues e Lollo (2002) apresentam um zoneamento de materiais colapsíveis para a área urbana de Ilha Solteira (SP) com ênfase nas áreas de aterro situadas na porção sul da área (Figura 4). Tais aterros não foram lançados e compactados adequadamente, gerando camadas de materiais colapsíveis de origem antrópica.

Os autores realizaram ensaios edométricos em amostras indeformadas obtidas de poços de inspeção. O potencial de colapso foi definido com base na proposta de Luttenegger e Saber (1988) com o uso de ensaios duplos, sendo os materiais classificados nas categorias alto, moderado e leve potencial.

Os perfis de materiais colapsíveis foram inicialmente identificados com base em avaliação do terreno ao nível hierárquico elemento de terreno. As porções mais elevadas no relevo (topos de colinas e terço superior com perfil convexo) apresentaram os perfis mais espessos (espessuras maiores que 20m para os topos e menores que 12m para as encostas convexas) exibindo comportamento naturalmente colapsível, enquanto as áreas de encostas côncavas e retilíneas exibiram perfis menos espessos (raramente superiores à 6m) e baixos valores de potencial de colapso.

Nas áreas de aterro o alto potencial colapsível se deveu mais ao estado fofo dos materiais compactados com baixa energia que às propriedades intrínsecas dos depósitos.

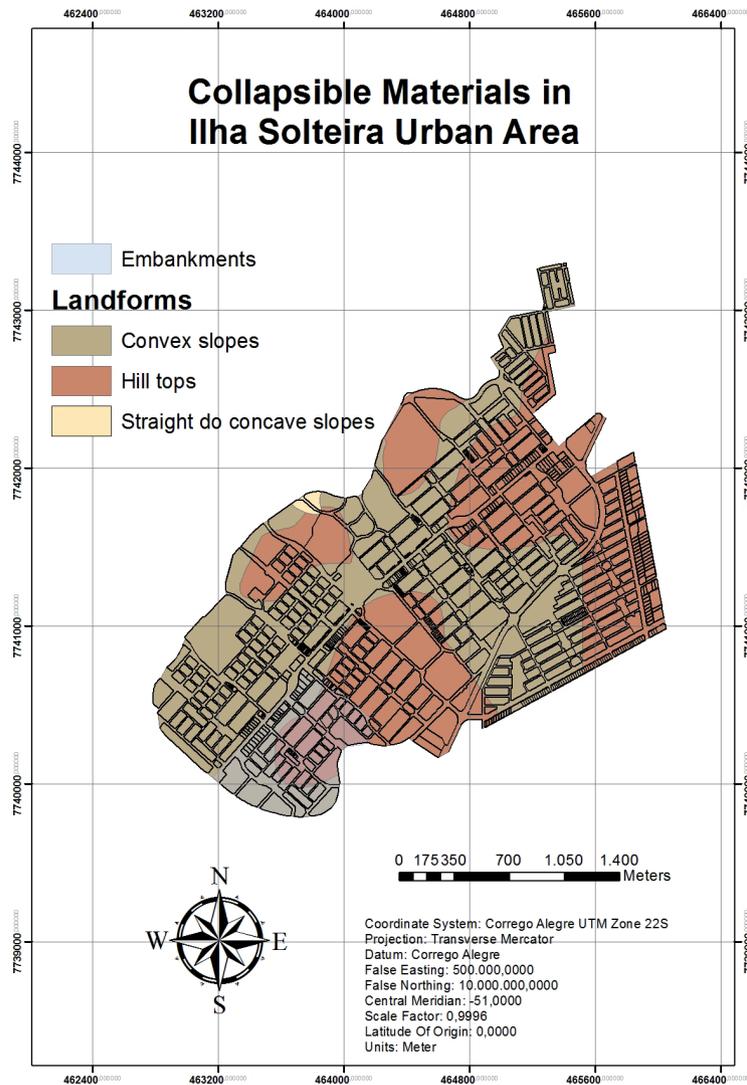
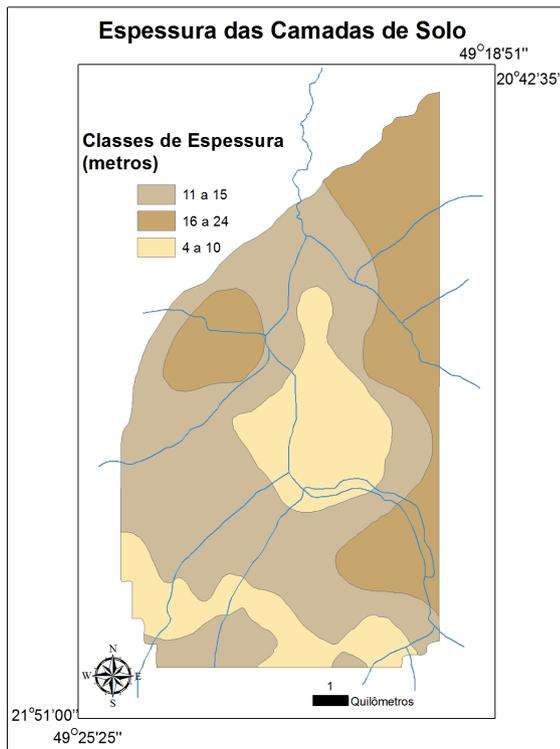


Figura 4 - distribuição espacial dos perfis de solos colapsíveis na área urbana de Ilha Solteira (SP). Modificado de Rodrigues e Lollo (2002).

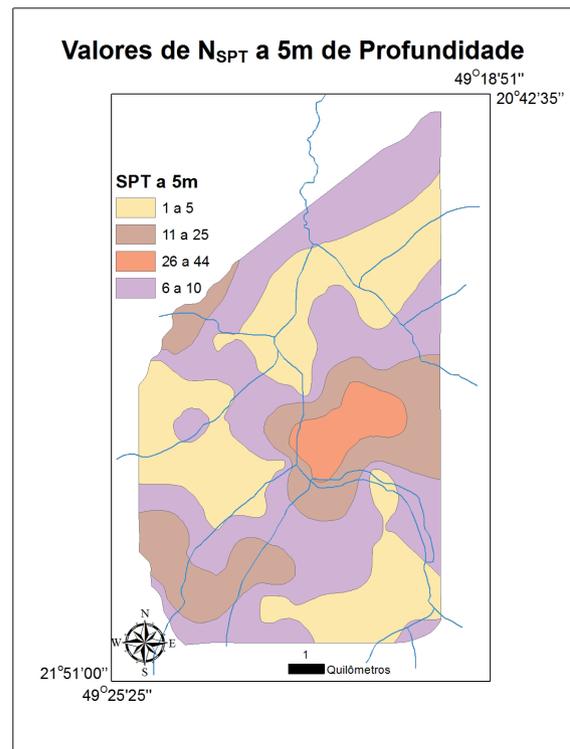
Augusto Filho e Ridente Júnior (1999) se valeram de krigagem de dados de sondagens de simples reconhecimento e ensaios SPT oriundos de 64 locais prospectados para projetos de fundações na área urbana de São José do Rio Preto para elaborar cartas contendo representações das espessuras de solos da área (Figura 5a) e de resistência à penetração segundo número de golpes do SPT (Figura 5b).

A abordagem inicial visava correlacionar os dados regionalizados com o processo erosivo na

área de forma a elaborar um plano de controle de erosões. Apesar desta abordagem, o estudo permitiu interpretações voltadas para a área de fundações, já que os resultados mostraram a predominância de baixos valores de compacidade para os materiais inconsolidados segundo os resultados de SPT (80% da área apresentando valores de N_{SPT} menores que 10 golpes na profundidade de 5m) o que levou os autores a indicarem a utilização de fundações profundas em obras que implicassem maiores carregamentos nas camadas do subsolo.



5a - Espessura das camadas de solo.



5b - Valores de NSPT a 5m de profundidade.

Figura 5 - Compartimentação geotécnica de São José do Rio Preto (SP). Modificado de Augusto Filho e Ridente Júnior (1999).

Mendes e Lorandi (2002) elaboraram uma carta para fundações rasas como subsídio para o planejamento urbano em São José do Rio Preto (Figura 6). Os autores se basearam em dados de sondagens de simples reconhecimento (profundidade do nível d'água e índice N_{SPT}) associados a declividades dos terrenos e informações de ensaios de penetração de cone (CPT).

Com base nestes quatro atributos foram definidas as classes de adequabilidade: favorável (os quatro atributos favoráveis); moderada (80% ou

mais dos atributos classificados como favorável ou moderado); severa (15% dos atributos classificados como moderado e favorável e no máximo 15% classificados como restritivo); e restritiva (20% dos atributos classificados como favorável, moderado, e severo).

A carta mostra grandes porções da área urbana com ocorrência de materiais colapsíveis, com mais de 70% da área classificada nas classes moderada e severa, associadas à ocorrência de índices N_{SPT} menores que 6 golpes.

Chart of shallow foundations for residential buildings

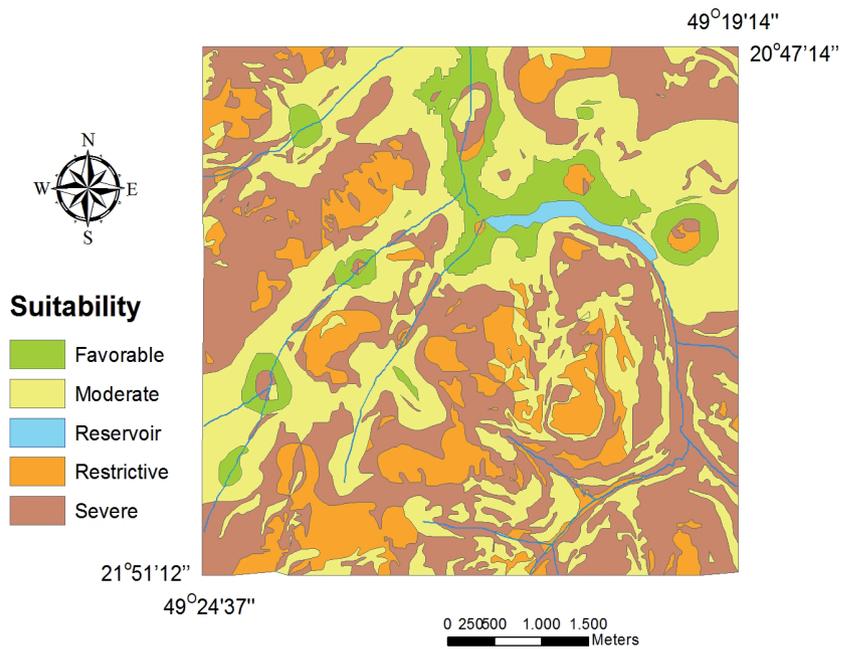


Figura 6 – Carta para fundações superficiais em para obras residenciais. Modificado de Mendes e Lorandi (2002).

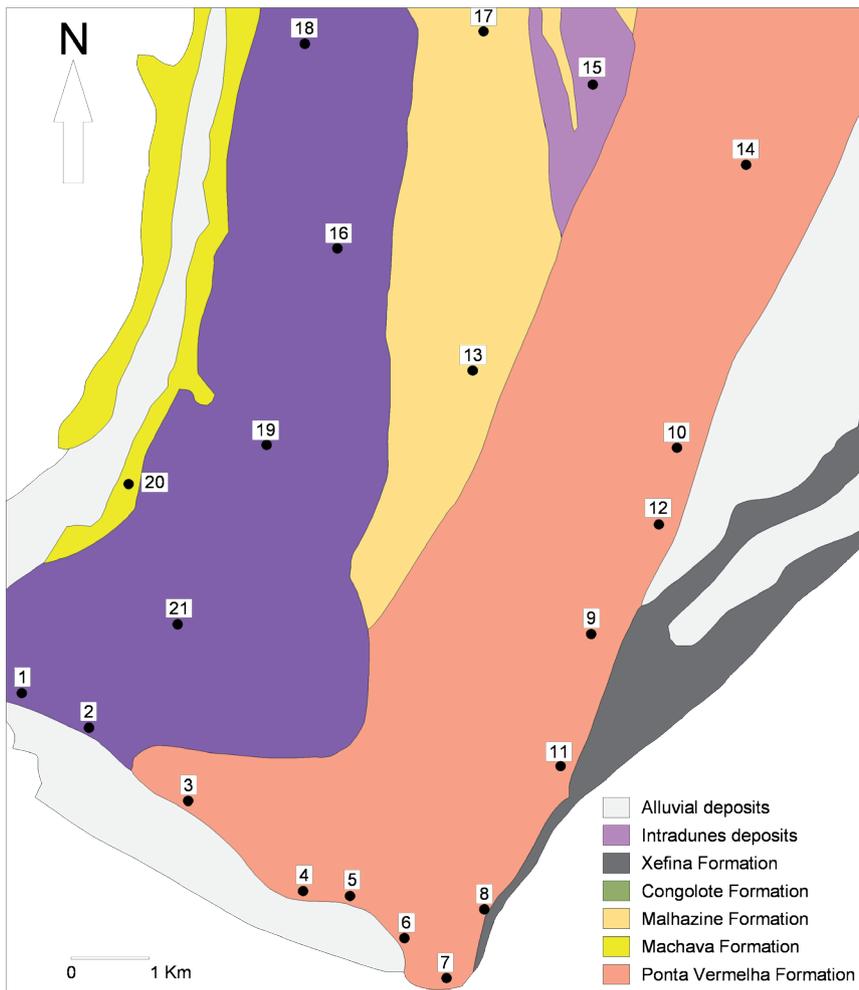


Figura 7 – Mapa geológico de Maputo e distribuição dos pontos de amostragem. Modificado de Vicente, Jermy, Schreiner (2006).

Vicente; Jermy; Schreiner (2006) apresentam a geologia urbana de Maputo (Moçambique) e a relação das unidades geotécnicas presentes com problemas geotécnicos como erosão, estabilidade de taludes, e comportamento colapsível (Figura 7), numa área com alta densidade demográfica e carente de planejamento urbano.

A compressibilidade dos materiais inconsolidados foi avaliada a partir de ensaios edométricos, sendo o potencial de colapso definido com base em ensaios duplos segundo proposta de Jennings e Knight (1975) com estágios de carregamento até 400 kPa.

Os recalques diferenciais mais acentuados se concentraram nos materiais da Formação Ponta Vermelha afetando edifícios de 8 a 10 pavimentos com deflexões horizontais de até 400mm no topo dos edifícios. A ocorrência do colapso foi relacionada principalmente á vazamentos em tanques enterrados de armazenamento de água.

Cartas de risco

Pode-se dizer que a elaboração de cartas de risco de colapso de solos segue as mesmas etapas comuns a outras cartografias de risco. Caracterizar os materiais e o fenômeno representa a etapa inicial para estabelecimento da suscetibilidade natural para ocorrência de recalques por colapso.

Como a maior parte dos materiais colapsíveis é caracterizada como condicionalmente colapsível, ou seja, dependente do umedecimento e do nível de carregamento ao qual a camada está submetida, a tarefa mais difícil é estabelecer a suscetibilidade induzida, relacionada quase sempre a condicionantes de origem antrópica, como vazamentos em redes de utilidade (Oliveira e Lollo, 2007).

Outra dificuldade inerente ao processo é a avaliação dos danos decorrentes do colapso. Assim como em outros casos de avaliação de risco, a quantificação dos danos depende de um banco de dados de ocorrências prévias e conhecimento dos condicionantes locais a da reação das obras ao colapso. Pelas razões expostas, a cartografia de riscos de colapso de solos ainda não se encontra tão desenvolvida como a cartografia de risco para outros processos geológicos naturais ou induzidos.

Oliveira; Rodrigues e Lollo (2006) apresentam uma Carta de Risco de Colapso de Solos para a área urbana de Ilha Solteira (SP) com base nas características dos materiais inconsolidados levantadas com trabalhos de campo, ensaios de laboratório e consulta a investigações do subsolo (especialmente sondagens com ensaios SPT e CPT) para caracterizar a suscetibilidade natural dos materiais ao colapso.

Os condicionantes decorrentes da ação humana foram definidos com base nas características das redes de utilidade na área (rede de água e de esgoto) considerando a suscetibilidade de ruptura dos dutos em função do material utilizado (cerâmica, metal, concreto ou PVC), idade das tubulações e histórico de degradação e rupturas, e locais críticos do ponto de vista de solicitações internas às redes (conexões e pontos de maior vazão).

Os dados de campo e laboratório indicaram que quase toda a área urbana apresentava materiais condicionalmente colapsíveis, passíveis de colapso quando sujeitos a sobrecargas desde 50 kPa.

As redes de utilidade existentes na área, especialmente nas parcelas da área urbana ocupadas há mais tempo foram implantadas com dutos de cerâmica ou metal, materiais com vida útil mais limitada, especialmente em se tratando de redes de esgoto.

Levantamentos de campo foram efetuados nas regiões de ocupação mais antiga de forma a identificar as ocorrências de colapso pretéritas e verificar a natureza dos danos e das intervenções necessárias para recuperação dos imóveis.

Isso possibilitou o estabelecimento de classes de danos e classes de custos associados em função das obras necessárias, as quais variavam desde simples reparos na alvenaria até reforços de fundações e reconstrução de parte de imóveis.

A combinação das informações de suscetibilidade e histórico de rupturas de redes com as informações relativas aos danos permitiu a elaboração da cartografia de riscos que resultou numa carta de zoneamento de risco (Figura 8a), representando as áreas com maior potencial de ocorrências de colapso associadas a danos mais significativos, e outra de cadastramento de riscos (Figura 8b) indicando os imóveis sujeitos a danos mais significativos e maiores custos de recuperação.



8a – Zoneamento de Risco.

8b – Cadastramento de Risco.

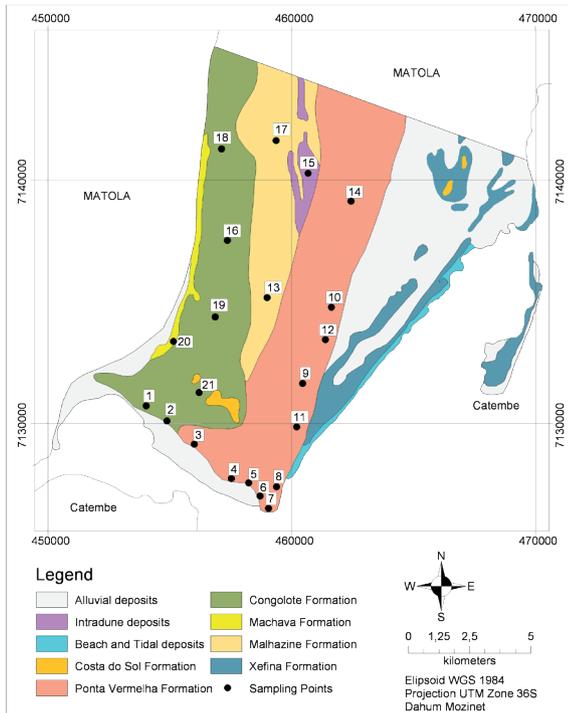
Figura 8 – Carta de Risco de Colapso de Solos para a área urbana de Ilha Solteira (SP). Modificado de Oliveira, Rodrigues e Lollo (2006).

Vicente e Amurane (2010) estudaram os perigos e riscos devidos a processos de colapso nos materiais da Formação Ponta Vermelha em Maputo (Moçambique). O comportamento colapsível foi caracterizado a partir de cinco critérios expeditos e de ensaios edométricos aplicados a 21 amostras cuja localização pode ser observada na Figura 9a.

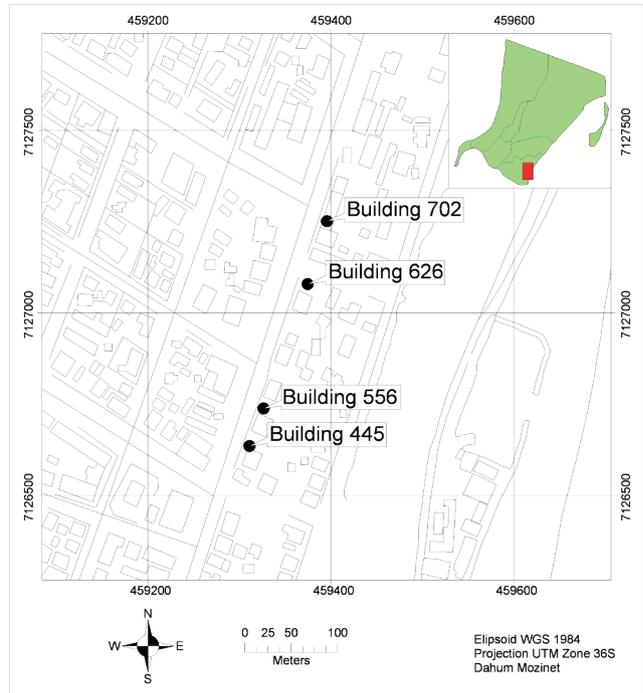
Os critérios expeditos permitiram a divisão dos materiais estudados em duas categorias, colapsíveis e não colapsíveis. Os resultados dos ensaios edométricos com carregamento até 400 kPa mostraram diferentes intensidades de colapsos para os materiais, porém todos podem ser considerados condicionalmente colapsíveis.

Algumas amostraram apresentaram colapso devido exclusivamente a alterações estruturais em níveis de carregamento mais elevados (acima de 100 kPa) enquanto outros mostraram colapsos parciais por perda de cimentação em carregamentos entre 25 e 50 kPa.

Os materiais ensaiados foram classificados em três grupos; (1) totalmente colapsíveis (5 amostras, sendo três oriundas da Formação Ponta Vermelha – pontos 3, 10, e 12); parcialmente colapsíveis (pontos 4, 5, 8, 9 e 11); e não colapsíveis. Os registros de ocorrências de danos significativos em edificações (Figura 9b) se localizam em materiais da Formação Ponta Vermelha, na área dos pontos de amostragem 6, 7 e 8.



9a – Unidades geológicas e pontos de Amostragem.



9b – Construções com registros de ocorrências.

Figura 9 – Cartografia de Riscos para a área urbana de Maputo (Moçambique). Modificado de Vicente e Amurane (2010).

CONCLUSÕES

As informações representadas nas cartas de materiais colapsíveis dependem dos dados disponíveis e do interesse que motivou a cartografia. Em função disso, adequações de escala e forma de representação são necessárias para aumentar o potencial de uso dos documentos.

A previsão de comportamento colapsível, como qualquer previsão de comportamento de materiais naturais, depende de informações detalhadas e confiáveis, é fundamental que os dados anteriores utilizados sejam avaliados quanto a sua confiabilidade e que dados produzidos no decorrer do projeto sejam obtidos com técnicas adequadas para garantir sua qualidade.

Quando os dados e informações existentes e obtidos são de natureza genérica as análises devem ressaltar este fato. Nesse caso, a cartografia tem a finalidade apenas de alertar para a existência do fenômeno e recomendar a natureza das informações adicionais a serem obtidas para análises mais acuradas e tomada de decisão.

A cartografia de riscos em materiais colapsíveis pode ser considerada algo incipiente até o

presente havendo necessidade de avanços no processo de caracterização dos materiais, processos, e avaliação de riscos para tal finalidade.

Correlações com levantamentos ágeis de campo, como métodos geofísicos e ensaios in situ, precisam ser desenvolvidas como alternativas para acelerar o processo de caracterização dos materiais com menor custo e ensaios de laboratório devem ser usados com critério e possibilidade de generalização de áreas-chave ou perfis tipos.

Métodos expeditos de caracterização do meio físico, como a técnica de avaliação do terreno podem ser de grande valia em zoneamentos preliminares e orientação para estudos posteriores mais detalhados.

Estudos mais avançados visando à cartografia de materiais colapsíveis requerem a montagem e frequente atualização de bancos de dados geotécnicos de forma a proporcionar o dinamismo adequado à descrição do processo, sua relação com o avanço do conhecimento, e avaliação atualizada de riscos. Só assim as informações advindas da cartografia de materiais colapsíveis poderão ser usadas com eficiência no Planejamento Urbano e na Gestão dos Recursos Naturais.

BIBLIOGRAFIA

- Augusto Filho, O.A.; Ridente Júnior, J.L. 1999. Compartimentação geotécnica da área urbana do Município de São José do Rio Preto (SP) com base na generalização espacial de dados de sondagens a percussão. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, Anais, São Pedro. CD-ROM.*
- Benkadja, R. 2006. Influence de l'essence sur le degré de l'affaissement des sols. *In: IAEG Conference, 10, Proceedings, London. CD-ROM. Paper Number 742.*
- Ferreira, S.R.M.; Fucale, S.T.; 1999. Características de variação de volume em solos colapsíveis do Estado de Pernambuco. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, Anais, São Pedro. CD-ROM.*
- Ferreira, S.R.M.; Fucale, S.T.; Amorim, S.F.; Lacerda, W.A. 2002. Comportamento de variação de volume em solo colapsível da cidade de Palmas - Tocantins. *In: Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica, 12, Anais, CD-ROM.*
- Gao, G. 2002. The collapsing loess in China. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings, Cape Town. CD-ROM.*
- Guimarães, R.C.; Camapum de Carvalho, J.; Pereira, J.H.F. 2002. Contribuição à análise da colapsividade dos solos porosos do Distrito Federal. *In: Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica, 12, Anais, CD-ROM.*
- Gutierrez, N.H.M.; Nóbrega, M M.T.; Vilar, O.M. 2009. Influence of the microstructure in the collapse of a residual clayey tropical soil. *Bull. Eng. Geol. Environ., 68:107-116.*
- Jefferson, I.F.; Smalley, I.J.; Karastanev, D.; Evistatiev, D. 2002. Comparison on the behaviour of British and Bulgarian loess. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings, Cape Town. CD-ROM.*
- Jennings, J.E.; Knight, K. 1975. A guide to construction on or with material exhibiting additional settlement due to collapse of grain-structure. *In: Regional Conf. for Africa, 6, Proceedings, p. 99.*
- Lollo, J.A. (Org.) 2007. *Solos Colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas.* Cultura Acadêmica, São Paulo, 260p.
- Lollo, J.A.; Rodrigues, R.A.; Elis, V.R.; Prado, R. 2011. Use of electrical resistivity to identify collapsible soils in Brazil. *Bull. Eng. Geol. Environ., 66:215-223.*
- Lutenegger, A.J.; Saber, R.T. 1988. Determination of Collapse Potential of Soils. *Geotechnical Testing Journal, 11(3): 173-178.*
- Mendes, R.M.; Lorandi, R. 2002. Engineering geology mapping of the urban center area of São José do Rio Preto (Brazil) as an aid to urban planning. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings, Cape Town. CD-ROM.*
- Oliveira, C.M.G.; Lollo, J.A. 2001. Uso da Avaliação do Terreno para o zoneamento de solos colapsíveis na área urbana de Ilha Solteira (SP). *In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Anais, Brasília, CD-ROM.*
- Oliveira, C.M.G.; Lollo, J.A. 2007. Avaliação de riscos em solos colapsíveis. *In: Lollo, J.A. (Org.) Solos Colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas.* Cultura Acadêmica, São Paulo, p.: 217-238.
- Oliveira, C.M.G.; Rodrigues, R.A.; Lollo, J.A. 2006. Soil collapse risk map for Ilha Solteira, Brazil. *In: IAEG Conference, 10, Proceedings, London. CD-ROM. Paper Number 196.*
- Reginatto, A.R.; Ferrero, J.C. 1973. Collapse potential of soils and soil-water chemistry. *In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 8, Proceedings, Moscow, vol. 2.2, p. 177-183.*
- Rodrigues, R.A. 2007. Modelação das deformações por colapso devidas à ascensão do lençol freático. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 262p.
- Rodrigues, R.A.; Lollo, J.A. 2002. Evaluation of collapse process in embankment areas of municipal district of Ilha Solteira, Brazil. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings, Cape Town. CD-ROM.*

- Rodrigues, R.A.; Lollo, J.A. 2007. Influence of domestic sewage leakage on the collapse of tropical soils. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 66:215-223.
- Rodrigues, R.A.; Souza, A.; Lollo, J.A. 2002. Estudo da colapsibilidade dos solos de Ilha Solteira (SP) para projetos de fundações rasas e profundas. *In: Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica*, 12, *Anais*, CD-ROM.
- Santoro, J.; Diniz, H.N. 2001. Análise da colapsibilidade de solos a partir do Método Geofísico do Potencial Espontâneo e Sondagens Geotécnicas SPT. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 10, *Anais*, Ouro Preto. CD-ROM.
- Smith, T.D.; Devine, H. 2002. Collapsible soil settlement predictions using pressuremeter measured strains. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings*, Cape Town. CD-ROM.
- Su, S.; Zhu, H. 2002. The application of a multi-index synthetic evaluation method in the assessment of geological hazards. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings*, Cape Town. CD-ROM.
- Vicente, E.M.; Jermy, C.A.; Schreiner, H.D. 2006. Urban geology of Maputo, Mozambique. *In: IAEG Conference, 10, Proceedings*, London. CD-ROM. Paper Number 338.
- Vicente, E.M.; Amurane, D.P. 2010. Hazard and risk associated to collapse settlement of soil formations of Maputo City, Mozambique. *In: IAEG Conference, 11, Proceedings*, Auckland. p. 1475.
- Zhang, W.; Zhang, S.; Qi, C. 2010. Research on loess collapsibility of medio-pleistocene (Q2) loess under self weight. *In: IAEG Conference, 11, Proceedings*, Auckland. p. 919.

