

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS
PÓS-GRADUAÇÃO (LATO-SENSU) EM GERENCIAMENTO DE
SEGURANÇA PÚBLICA

MICKÉYAS PEREIRA DE PAULA LEITE

**ANÁLISE DA SEGURANÇA NO SALVAMENTO POR ESCAVAÇÃO DE POÇO
PARALELO REALIZADO POR BOMBEIROS MILITARES DO CORPO DE
BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO GOIÁS**

GOIÂNIA – GO

2013

MICKÉYAS PEREIRA DE PAULA LEITE

**ANÁLISE DA SEGURANÇA NO SALVAMENTO POR ESCAVAÇÃO DE POÇO
PARALELO REALIZADO POR BOMBEIROS MILITARES DO CORPO DE
BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO GOIÁS**

Artigo apresentado em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Especialista em Gerenciamento de Segurança Pública no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerenciamento em Segurança Pública sob orientação da Professora Mestra Kesia Rodrigues dos Santos.

GOIÂNIA – GO

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS
PÓS-GRADUAÇÃO (LATO-SENSU) EM GERENCIAMENTO DE
SEGURANÇA PÚBLICA

MICKÉYAS PEREIRA DE PAULA LEITE

**ANÁLISE DA SEGURANÇA NO SALVAMENTO POR ESCAVAÇÃO DE POÇO
PARALELO REALIZADO POR BOMBEIROS MILITARES DO CORPO DE
BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO GOIÁS**

Artigo apresentado em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Especialista em Gerenciamento de Segurança Pública no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerenciamento em Segurança Pública sob orientação da Professora Mestra Kesia Rodrigues dos Santos.

Avaliado em ____ / ____ / ____

Nota Final: ())

Professora-Orientadora: Mestra Kesia Rodrigues dos Santos

GOIÂNIA – GO

2013

RESUMO

Para realizar o salvamento de crianças e animais de pequeno porte que caem em poços ou buracos com estreito diâmetro, os bombeiros militares do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, quando não tem acesso à vítima de outra maneira, utilizam a técnica de escavação de poço paralelo e túnel de ligação. Essa operação envolve vários riscos, por vezes desconhecidos, às vítimas e aos bombeiros militares. Assim, esse trabalho científico se propôs a hierarquizar esses riscos com o uso da ferramenta da gestão de qualidade denominada Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos – FMEA de modo a verificar quais são os riscos prioritários durante essa operação. Para tanto, foi realizada pesquisa bibliográfica, em especial, na área de segurança do trabalho, geotecnia e engenharia civil. Por fim, como resultado principal foram apresentadas recomendações de segurança a cada risco com os cuidados primordiais que devem ser realizados no intuito de minimizá-los.

Palavras-chave: Segurança. Salvamento. Gestão da Qualidade. Poço.

ABSTRACT

To make the rescue of children and small animals falling into pits or holes with small diameter, the firefighters of the Fire Brigade of the State of Goiás, when the victim does not have access to otherwise, use the technique of excavation parallel shaft and connecting tunnel. This operation involves various risks, sometimes unknown, to the victims and firefighters. Thus, this scientific work proposes to prioritize the risks with the use of quality management tool called Failure Mode and Effects Analysis - FMEA to ascertain what are the priority risks during this operation. For this, was performed bibliographical research, in particular in the area of workplace safety, geotechnical and civil engineering. Finally, the main result were recommendations of safety for each risk with the primary care that must be undertaken in order to minimize these were presented.

Keywords: Safety. Rescue. Quality Management. Hole.

INTRODUÇÃO

Quando crianças e animais de pequeno porte caem em poços com estreito diâmetro de perfuração, inacessíveis para pessoas adultas pelo próprio poço onde estejam confinadas, há de se buscar técnicas e métodos seguros para executar o salvamento.

Em geral, é realizada escavação de poço paralelo e túnel de ligação objetivando o resgate, porém essas escavações emergenciais precisam ser realizadas sem estudos prévios das condições geotécnicas do local por conta da necessidade de resposta imediata, colocando em possível risco a vida da vítima e do socorrista, profissional que prestará o socorro.

Sobre este tipo de ocorrência, o cinema americano produziu um filme baseado em fato verídico denominado “O Resgate de Jéssica” (1989) que demonstrou quão difícil e complicado é a atuação nesse tipo de salvamento e, na mesma intensidade, o quanto é importante (EVERYBODY’S, 1989). Portanto, o tema de estudo do trabalho refere-se às ocorrências que solicitem escavação de poço paralelo e túnel de ligação para acesso às vítimas.

As escavações subterrâneas provocam alterações na estrutura do solo ou maciço rochoso. Estas alterações, principalmente nos estados de tensões, algumas vezes chegam a limites críticos, causando rompimento da obra subterrânea e refletindo-se na estabilidade do maciço de diferentes maneiras, podendo propagar-se por subsidências na superfície do terreno e por convergência no interior da obra subterrânea (CAPUTO, 1988).

A técnica de salvamento por escavação de poço paralelo e túnel de ligação vem sendo aplicada pelo Corpo de Bombeiro Militar do Estado de Goiás – CBMGO –, instituição legalmente responsável em realizar salvamentos e resgates em ocorrências com as características supracitadas, no entanto, sem prévia metodologia de estudo adequada sobre a segurança das vítimas e dos socorristas envolvidos na atividade (GOIÁS, 1991).

Diante disso, torna-se latente o presente estudo tanto para a instituição, quanto para a comunidade, devido à necessidade de garantir cada vez mais segurança às pessoas envolvidas em situações como as descritas. Assim, o maior interesse desse trabalho científico é verificar, segundo parâmetros de segurança testáveis e observáveis, com o uso da ferramenta de gestão

da qualidade denominada FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*, ou Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos), os riscos potenciais e, conseqüentemente, os itens críticos de segurança.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse trabalho apoia-se em conceitos relativos a segurança do trabalho, salvamentos, engenharia civil, geotecnia, práticas seguras e gestão da qualidade que estudados juntos podem estabelecer conceitos e parâmetros adequados e suficientes para diminuir os riscos nas ocorrências de salvamento por escavação de poço paralelo e túnel de ligação, e por fim constituir-se material de consulta complementar.

SEGURANÇA DO TRABALHO EM ESCAVAÇÕES

Dentre as regras existentes para o aumento na segurança do trabalho e conseqüente diminuição de acidentes, algumas encontradas na NR-18 são aplicáveis, mas não muito específicas à atividade de escavação de poços. Observa-se também que muitas empresas preocupadas com a segurança de seus trabalhadores confeccionam seus próprios manuais da Construção Civil, tal como o Manual de Segurança e Saúde do Trabalho no SESI (2008), onde se verifica diversas regras de segurança em canteiros de obras perfeitamente aplicáveis à atividade de escavação.

Yazigi (2000) cita algumas boas práticas importantes para a segurança em escavações: trabalhar utilizando equipamentos de proteção individual, não improvisar ferramentas, sempre procurar uma que seja adequada para seu serviço, utilizar em seus trabalhos ferramentas em bom estado de conservação para prevenir possíveis acidentes, sempre trabalhar com atenção, pois a distração é um dos maiores fatores de acidente, sendo assim, conversar e discutir durante o trabalho predispõe a acidentes, visto que gera desatenção.

Silva *et al* (2002) afirmam que o local onde serão desenvolvidas as atividades de escavação deve ser previamente limpo, além de serem desobstruídas as áreas de circulação, retirando ou escorando árvores, rochas, equipamentos, materiais e objetos de qualquer natureza. Também diz, que muros, construções vizinhas e todas as estruturas que possam ser afetadas pela escavação devem obrigatoriamente ser escoradas.

Quando existir cabo subterrâneo de energia elétrica nas proximidades das escavações, elas só poderão ser iniciadas quando o cabo estiver desligado, e quando da impossibilidade de interrupção do fornecimento, faz-se necessário o contato com a concessionária para tomada das atitudes necessárias (YAZIGI, 2000).

Todas as obras de caráter preventivo, como escoramento, reforços e coberturas plásticas protetoras, precisam ser inspecionadas freqüentemente por pessoa habilitada. Deverá ser feita nova inspeção de escavações depois da ocorrência de chuvas, ventania ou quaisquer fenômenos que possam aumentar os riscos (YAZIGI, 2000).

Yazigi (2000) afirma que as escavações com mais de 1,25m (um metro e vinte e cinco centímetros) de profundidade têm de dispor de escadas ou rampas a fim de permitir, se houver desmoronamentos ou outras emergências, saída rápida dos trabalhadores. Os montantes das escadas deverão estar apoiados no fundo da escavação e ultrapassar a borda superior em pelo menos 1m (um metro). Ainda, se existir a possibilidade de infiltração ou vazamento de gás ou água, a escavação precisa ser devidamente ventilada e monitorada. O monitoramento tem de ser feito enquanto o serviço for executado para, em caso de emergência, serem rapidamente avisados.

Sempre lembrando que para não haver ameaça de desmoronamentos das bordas, a Norma Reguladora nº 18 – NR-18 recomenda que os materiais retirados da escavação devem ser depositados a distância superior à metade da profundidade, medida a partir da borda.

Em relação à escavação, Yazigi (2000) ainda afirma que:

- Antes de se iniciar uma escavação, o responsável precisa de informações a respeito da existência de galerias, canalização e cabos elétricos, na área onde serão realizados os trabalhos, bem como estudar o risco de impregnação do subsolo por emanções ou produtos nocivos;
- Cargas e sobrecargas ocasionais, bem como possíveis vibrações, têm de ser levadas em consideração para determinar a inclinação das paredes do talude (denominação dada a quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha ou de ambos), a execução do escoramento e o cálculo dos elementos necessários;

- O tráfego próximo às escavações necessita ser desviado e, na sua impossibilidade, reduzida a velocidade dos veículos.

Qualquer possível perturbação oriunda dos fenômenos de deslocamentos de terra que possa agredir vias públicas e prédios devem ser evitadas durante as escavações, Yazigi (2000) cita algumas, tais como, escoamento ou ruptura do terreno das fundações, descompressão do terreno da fundação e descompressão do terreno pela água.

Equipamentos de Proteção Individual em escavações de salvamento

A empresa que efetiva o serviço é obrigada a fornecer aos trabalhadores, gratuitamente, Equipamentos de Proteção Individual adequados ao risco do serviço e em perfeito estado de conservação (YAZIGI, 2000).

Segundo o Manual de Segurança e Saúde no Trabalho do SESI (2008) deve-se utilizar capacete de segurança, óculos de proteção ou protetor facial, respirador contra poeira, luvas de raspa de couro, máscara descartável e calçado de segurança tanto nas atividades de escavação, quanto na remoção de entulhos, sobra de materiais e limpeza do local da atividade.

Ainda, conforme o Manual de Segurança e Saúde do Trabalho do SESI (2008) cabe ao trabalhador: utilizar os Equipamentos de Proteção Individual necessários de acordo com a tarefa a ser realizada; zelar pela sua guarda, limpeza e conservação; solicitar a substituição, quando necessário; atentar que o Equipamento de Proteção Individual é de uso exclusivo, devendo ser fornecido a cada trabalhador, não podendo haver empréstimos.

ESCAVAÇÕES E ESCORAMENTOS

As escavações de poços e taludes podem ser realizadas com escoramentos ou não, levando em consideração principalmente a segurança e economicidade de tempo. Quando as paredes das escavações forem instáveis ou houver a presença de água nas escavações com profundidade superior a 1,25m (um metro e vinte e cinco centímetros), Yazigi (2000) afirma que devem ter sua estabilidade garantida por meio de escoramento com estrutura dimensionada para esse fim.

Na prática, as profundidades de escavação admissíveis em argila, sem perigo nítido de ruptura, segundo Yazigi (2000), são:

- Para as argilas moles é inferior a 1m (um metro);
- Para as argilas médias é de 1m (um metro) a 2m (dois metros);
- Para as rijas é de 2m (dois metros) a 3,5m (três metros e cinquenta centímetros).

Ainda segundo Yazigi (2000), nas areias, as profundidades admissíveis de escavação são muito incertas devido aos valores esporádicos da coesão que a areia pode apresentar. Entretanto, a areia seca ou, pelo contrário, completamente submersa, perde inteiramente qualquer possibilidade de se sustentar em taludes verticais. Assim sendo, na escavação em areia, quando não se pretende usar escoramento, é conveniente a abertura de valas sob taludes com inclinação de, no mínimo, dois (vertical) para três (horizontal), ou, 66,7%.

Métodos de escavação

Apesar de ser comum construir poços cavados à mão, pouco se sabe sobre as características realmente necessárias para que se efetue um trabalho com todas as condições de segurança adequadas.

Os “projetos” variam com as preferências, as condições do local e também de acordo com as características de cada especialista que detém uma perícia própria desenvolvida ao longo de anos de experiência. Na região de Borana, Etiópia, por exemplo, existem relatos de poços cavados à mão com mais de 100 (cem) metros de profundidade (SCHOTANUS, 2005).

Schotanus (2005) destaca que o mais importante nesse tipo de atividade é a segurança, já que a escavação pode oferecer diversos riscos para as pessoas que nela trabalham e para os observadores, tais como: desmoronamento das laterais, queda de objetos e pessoas da superfície, falta de oxigênio no poço, risco de queda durante a entrada e saída do poço e desmaio do operário por exaustão.

Consegue-se encontrar alguns manuais da Construção Civil relacionados a critérios de segurança em canteiros de obras criados por empresas do setor. Esses manuais visam estabelecer o menor nível de risco possível durante a execução de determinado projeto e algumas estão intimamente relacionadas com escavação, como no Manual de Segurança e

Saúde do Trabalho do SESI (2008) que relata a necessidade de se tomar alguns procedimentos antes, durante e após a escavação, tais como: viabilizar ventilação mecânica, com ar filtrado, no local da escavação; tornar obrigatório o uso de cinturão de segurança, dupla trava de segurança no sarilho e cabo de fibra sintética para uma ação rápida de socorro, em caso de emergência; instalar escadas para abandono rápido do local; promover revezamento de atividades entre os perfuradores de poço a cada hora trabalhada; elaborar procedimento para resgate, disponibilizar equipamentos e ministrar treinamento para todos os envolvidos, com simulação de emergência.

Silva *et al* (2002) corrobora o referencial acima ao discorrem sobre algumas recomendações técnicas, antes de se iniciar os serviços de escavação, tais como certificar-se da existência de redes de água, esgoto, tubulação de gás, cabos elétricos e de telefone, devendo ser, conforme cada caso, providenciada a sua proteção, desvio ou interrupção.

Dentre os riscos existentes, destacam-se a ruptura ou desprendimento de solo e rochas, que, dentre outros, podem ser devidos ao aumento da umidade do solo, às vibrações na obra e adjacências, à realização de trabalhos de escavações sob condições meteorológicas adversas e à interferência de cabos elétricos, cabos de telefone e de redes de água potável e de sistema de esgoto (SILVA *et al*, 2002).

Importante salientar que, para projetos executivos de escavações, as condições geológicas e os parâmetros geotécnicos específicos do local da obra, tais como coesão e ângulo de atrito, assim como as variações paramétricas em função de alterações do nível da água e as condições geoclimáticas, sempre deverão ser levados em consideração (SILVA *et al*, 2002).

Silva *et al* (2002) cita que nos casos de risco de queda de objetos de qualquer natureza, o escoramento, a amarração ou a retirada do objeto é necessária, observando-se que essa ação jamais pode obstruir o fluxo de ações emergenciais e que o material retirado das escavações deve ser depositado a uma distância que garanta a segurança. Tal distância deve ser no mínimo igual à metade da profundidade para a colocação do material retirado da escavação (solo) e ao dobro para o estacionamento de veículos. Outra recomendação, por ele citada, trata do diâmetro em escavações a céu aberto, que deverá ser de no mínimo 0,60m (sessenta centímetros).

A execução de trabalho manual ou a permanência de observadores dentro do raio de ação das máquinas em atividade de movimentação de terra sempre deve ser evitada, lembrando que nas escavações em vias públicas ou em canteiros, é obrigatória a utilização de sinalizações de advertência e barreiras de isolamento, além de que o tráfego próximo às escavações deve ser desviado (YAZIGI, 2000).

Por questões de segurança, proíbe-se a utilização de equipamentos acionados por combustão ou explosão no interior dos poços e a presença de pessoas estranhas junto aos equipamentos. Recomenda-se que a comunicação do trabalhador no fundo do poço com a equipe de superfície seja sempre observada e que durante a execução da escavação, os poços e/ou buracos existentes que estejam na área de movimentação dos trabalhadores e próximos ao local da escavação sejam imediatamente protegidos e sinalizados, para evitar riscos de queda destes (SILVA *et al*, 2002).

Profundidade Crítica de uma Escavação

Caputo (1988) relata que teoricamente demonstra-se que uma escavação em solos permanece verticalmente, sem suporte, até que a profundidade atinja a chamada profundidade crítica. Dentre as fórmulas existentes para se calcular a profundidade crítica (H_{cr}) cita-se a de Frohlich, dada em centímetros:

$$H_{cr} = (\pi \cdot c \cdot \cotg \phi) / \gamma \cdot \{ \cotg \phi - [(\pi/2) - \phi] \} \quad (1)$$

Com:

H_{cr} = Profundidade crítica de uma escavação em centímetros;

π = número PI com valor numérico aproximado a 3,14159;

c = coesão do solo (Kg/cm^2);

\cotg = função trigonométrica do tipo cotangente;

γ = peso específico do solo (Kg/cm^3);

ϕ = ângulo de atrito interno do solo.

Para solos não coesivos ($c = 0$), $H_{cr} = 0$, pois a areia escoar-se para dentro da escavação.

No caso de solo puramente coesivo ($\phi = 0$), obtém-se matematicamente que:

$$H_{cr} = (\pi \cdot c) / \gamma \quad (2)$$

Com:

H_{cr} = Profundidade crítica de uma escavação em centímetros;

π = número PI com valor numérico aproximado a 3,14159;

c = coesão do solo (Kg/cm^2);

γ = peso específico do solo (Kg/cm^3).

Em se tratando de escavações em rochas, a permanência de taludes verticais vai depender da inclinação dos planos de estratificação e do material de preenchimento das zonas fraturadas ou de descontinuidade.

COMPORTAMENTO DO SOLO NAS ESCAVAÇÕES

Segundo Pinto (2006), os solos são materiais constituintes essenciais da crosta terrestre provenientes da decomposição das rochas por diversos agentes, ou pela sedimentação não consolidada dos grãos elementares constituintes das rochas, com adição eventual de partículas fibrosas de material carbonoso e matéria orgânica no estado coloidal. Caputo (1988) afirma que “os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou química”, condicionados pelo fator tempo.

Os solos são identificados por sua textura, composição granulométrica, plasticidade, consistência ou compacidade, citando-se outras propriedades que auxiliam sua identificação, como: estrutura, forma dos grãos, cor, cheiro, friabilidade, presença de outros materiais (conchas, materiais vegetais, mica etc.) (PINTO, 2006).

Os objetivos da classificação dos solos é o de poder estimar o provável comportamento, ou pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema, no presente estudo, de escavações em trabalhos de emergência.

Yazigi (2000) divide os tipos de solo em: pedregulho, areia, silte, argila. Esta divisão é a melhor para o estudo de escavações por tratar a matéria de maneira mais abrangente, podendo rapidamente diagnosticar o solo por suas características observáveis sem tantos equipamentos e sem muito tempo, fatores importantes para escavação em salvamentos emergenciais.

A ruptura dos solos é quase sempre um fenômeno de cisalhamento. Isto acontece, por exemplo, quando uma sapata de fundação é carregada até a ruptura ou quando ocorre o escorregamento de um talude. Só em condições especiais ocorrem rupturas por tensões de tração. A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser definida como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura estiver ocorrendo (PINTO, 2006).

Para Caputo (1988), “a propriedade dos solos em suportar cargas e conservar sua estabilidade, depende da resistência ao cisalhamento do solo; toda massa de solo se rompe quando esta resistência é excedida”. Segundo Pinto (2006), critérios de ruptura são formulações que procuram refletir as condições em que ocorre a ruptura dos materiais.

A determinação exata da resistência ao cisalhamento dos solos é uma das dificuldades mais complexas da Mecânica dos Solos. O assunto é discutível e, por isso, ainda em fase de estudos e pesquisas. Este é verificado pelos trabalhos que são publicados, visando esclarecer um ou outro aspecto da questão, até que, no futuro, se apresente definitivamente resolvido, teórica e praticamente.

Sob a denominação genérica de atrito interno de um solo, inclui-se não só o atrito entre suas partículas, como o “atrito fictício” proveniente do entrosamento das partículas; nos solos, não existindo uma superfície nítida de contato, ao contrário, há uma infinidade de contatos pontuais.

Quanto à coesão, distingue-se a “coesão aparente” e a “coesão verdadeira”. A primeira, resultante da pressão capilar da água contida nos solos, age como se fosse uma pressão externa. A segunda é devida às forças eletroquímicas de tração das partículas de argila; ela depende de vários fatores e seu estudo levar-nos-ia à física dos solos e à química coloidal (CAPUTO, 1988).

A coesão aparente é reconhecida em solos com areia fina interligadas por argila coloidal e óxido de ferro, tal fato é justificado no momento em que ocorre aumento do teor de umidade, que sob tensão, dissolvem ou lixiviam os agentes cimentantes, reduzindo sua resistência ao cisalhamento e provocando reduções em seu volume, devido ao escorregamento das partículas maiores (LOBO *et al*, 2004).

Na determinação experimental da resistência ao cisalhamento dos solos, há, pois, em cada caso, que se reproduzir, tanto quanto possível, as condições a que ele ficará submetido na prática, pela obra que se esteja estudando.

Segundo Medero *et al* (2004) o solo colapsível apresenta uma estrutura fraca e aberta. Esta estrutura é mantida por uma cimentação química e pela sucção do solo e de partículas secas. Para LOBO *et al* (2004), um solo é colapsível quando possui muitos poros e o nível do lençol freático é profundo, visto que apresenta uma alta mudança de volume e diminuição na capacidade de carregamento quando umedecido. O equilíbrio metaestável e a presença de substância cimentante, como os carbonatos e os óxidos de ferro, são os principais fatores responsáveis por esse temporário aumento da resistência do solo.

Segundo Souza Neto (2004), há resultados que mostram que a granulometria nem sempre é um indicador eficiente da colapsibilidade de um solo, assim para que ocorra esse fenômeno é necessário ou a existência de um solo não saturado potencialmente instável com estrutura aberta (porosa); ou que as tensões totais sejam grandes o suficiente para causar o colapso; ou ainda que ocorra uma ruptura por cisalhamento das ligações intergranulares (forças capilares, pontes de argila, agentes cimentantes químicos) e redução de ligações cimentantes pelo efeito da água.

O solo saturado e o não saturado diferenciam-se principalmente pela sucção, grande responsável pelo aumento da tensão entre os grãos e, com isso, da resistência e rigidez do solo (SOUZA NETO, 2004).

Rodrigues (2003) destaca que ao umedecer um solo colapsível, pode ter início o seu colapso, devido a uma falta de equilíbrio na estrutura que ocorre pela diminuição da capacidade de vinculação entre as partículas, resultando na redução dos mecanismos de

suporte. Este tipo de solo apresenta certas características que o predispõe ao colapso: uma estrutura com poros (caracterizada por um alto índice de vazios) e metaestável e um grau de saturação menor que o necessário para sua completa saturação.

Segundo Barden *et al* (1973), para ocorrer o colapso, existem três condições necessárias: existência de uma estrutura parcialmente saturada porosa e potencialmente instável; existência de uma pressão aplicada que aumenta a instabilidade; e presença de um alto valor de sucção (ou agente cimentante), que estabiliza os contatos intergranulares e que são susceptíveis de enfraquecimento quando umedecidos.

Os solos colapsíveis apresentam uma série de comportamentos (SULTAN, 1971):

- Alguns solos sofrem colapso instantaneamente quando se aumenta o seu grau de saturação por umedecimento. Isso foi observado tanto para formações superficiais, quanto para formações profundas;
- Alguns solos experimentam colapso após rebaixamento do nível d'água. A retirada de água do subsolo provoca o rebaixamento do lençol freático e, conseqüentemente, essas camadas profundas têm suas tensões efetivas, devido ao peso do solo sobrejacente, aumentadas, o que pode causar colapso do esqueleto sólido desses solos;
- Alguns solos sofrem expansão depois de saturados e após a aplicação das cargas externas sofrem substanciais recalques. Essa situação deve ser atribuída à presença de argilo-minerais altamente expansivos, como por exemplo, a montmorilonita;

Ao contrário dos solos colapsíveis, de acordo com Pinto (2006), certos solos não saturados, denominados expansivos, quando submetidos à saturação, apresentam expansão. Esta expansão é devida à entrada de água nas interfaces das estruturas mineralógicas das partículas argilosas, ou à liberação de pressões de sucção a que o solo estava submetido, seja por efeito de ressecamento, seja pela ação de compactação. A expansibilidade é muito ligada ao tipo de mineral presente no solo, sendo uma das características mais marcantes das argilas do tipo esmectita. Mas solos essencialmente siltosos e micáceos, geralmente decorrentes de desagregação de gnaiss, apresentam-se expansivos quando compactados com umidade abaixo da umidade ótima.

Quando pequenas construções são feitas em solos expansivos, o efeito da impermeabilização do terreno pela própria construção pode provocar uma elevação do teor de umidade, pois, antes da construção, ocorria evaporação da água que ascendia por capilaridade. Este aumento de umidade pode provocar expansões que danificam as estruturas, provocando trincas ou ruínas (PINTO, 2006).

METODOLOGIA

Segundo Oakland (1994) FMEA é o estudo das possíveis falhas de um produto, serviço ou de um processo e também de seus efeitos, podendo os resultados ser classificados por criticidade. O objetivo principal dessa ferramenta é diminuir a probabilidade de falhas e foi com o uso desse instrumento que se hierarquizou os riscos.

O método de investigação utilizado foi o indutivo onde a partir da experiência, do conhecimento adquirido em observações da realidade concreta sobre escavações em poços e seus riscos potenciais pôde-se generalizar (GIL, 1994).

Assim, do ponto de vista de sua natureza, a pesquisa é considerada aplicada, visto que objetiva gerar conhecimentos para uma solução prática a um determinado problema específico, ou seja, a minimização dos riscos durante a escavação de poços. Do ponto de vista da forma de abordagem ao problema, a pesquisa classifica-se como qualitativa, já que os dados serão analisados por meio de revisão bibliográfica (GIL, 1994).

Ainda, em relação ao que se espera, aos objetivos pretendidos, a pesquisa é considerada exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, já do ponto de vista dos procedimentos técnicos, diz-se que ela é bibliográfica porque é elaborada a partir de matéria já publicada e experimental, já que alguns dos riscos (variáveis) foram selecionados para se observar o resultado que os mesmos produzem no problema (GIL, 1994).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a utilização do FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha - é possível antever algumas falhas sistêmicas de nível crítico (e também as mais leves), assim como seu efeito sobre o conjunto. Portanto, a ferramenta cria a possibilidade de se minimizar as falhas

potenciais e evitar seus efeitos. Assim, inicialmente, como pode ser visto na Tabela 1, devem ser destacados os riscos em potencial, ou possíveis falhas da atividade de escavação.

Tabela 1 – Riscos associados à operação de salvamento por escavação de poço paralelo.

Item	Riscos associados
1	Solo arenoso
2	Existência de lençol freático
3	Chuva em solo comum
4	Chuva em solo colapsível
5	Existência de trepidação próxima (obra ou trânsito)
6	Existência de sobrecarga próxima (estacionamento de viaturas/ bota-fora)
7	Edificações próximas
8	Existência de sistemas próximos (abastecimento de água, energia, esgoto e pluvial)
9	Problemas de execução do poço (torto; inclinado)
10	Estado atual do solo (verificar se o mesmo já foi removido; se há outros buracos em volta; se é próximo a algum barranco)

Fonte: o autor, LEITE (2013)

Após a determinação dos riscos, são definidos os índices de ocorrência (O), detecção (D) e severidade (S) para cada causa de falha, de acordo com os critérios propostos abaixo.

Ocorrência

A probabilidade de ocorrência está relacionada à chance da falha ocorrer. Os pesos atribuídos para ocorrência devem ser impostos seguindo-se a regra da Tabela 2:

Tabela 2 – Critérios de ocorrência de causa

Probabilidade de Falha	Critérios: ocorrência de causa – PFMEA (incidente por itens)	Classificação
Muito Alta	≥ 1 em 2	10
Alta	1 em 3	9
	1 em 5	8
	1 em 10	7
Moderada	1 em 20	6
	1 em 50	5
	1 em 100	4
Baixa	1 em 500	3
	≤ 1 em 1.000	2
Muito baixa	A falha é eliminada através de controle preventivo	1

Fonte: o autor, Leite (2013).

É importante ressaltar que esse tipo de ocorrência/ situação – salvamento por escavação de poço paralelo - ocorre com razoável frequência, mas não há registro de erros em atividades práticas, por isso, a probabilidade de ocorrência está baseada em experiência prática. Dessa forma, a quantificação das falhas por ocorrência justificam-se conforme pode ser visto na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Motivo da atribuição dos valores de ocorrência

Nº	Possível Falha	Ocorrência	Motivo
1	Solo arenoso	1	Poços de pequeno diâmetro dificilmente se sustentam em solos arenosos, logo, como não são encontrados poços em solos desse tipo, não há registro de ocorrência com risco dessa natureza.
2	Lençol freático	1	Em engenharia civil, não convém que as fundações alcancem o lençol freático. As vítimas, em geral, caem em poços perfurados para realização de fundação tipo estaca, como os poços para salvamento são escavados ao lado destes, a probabilidade dessa ocorrência é mínima.
3	Chuva em solo comum	5	Não há data certa para evento, contudo, no Centro-Oeste temos dois climas bem definidos, um chuvoso e outro seco.
4	Chuva em solo colapsável	5	Não há data certa para evento, contudo, no Centro-Oeste temos dois climas bem definidos, um chuvoso e outro seco.
5	Trepidação próxima (obra ou trânsito)	9	Em geral, vítimas nessa situação caem em poços perfurados para realização de fundação de obra do tipo estaca, logo, área habitada.
6	Sobrecarga próxima (estacionamento de viaturas/ bota-fora)	10	Por falta de conhecimento e justificando economia de energia e tempo, nas ocorrências investigadas, o transbordo do poço escavado era colocado a uma distância inferior à recomendada.
7	Edificações próximas	9	Em geral, vítimas nessa situação caem em poços perfurados para realização de fundação de obra do tipo estaca, logo, área habitada.
8	Sistemas próximos (água, energia, esgoto e pluvial)	9	Em geral, vítimas nessa situação caem em poços perfurados para realização de fundação de obra do tipo estaca, logo, área habitada.
9	Problemas de execução do poço (torto e/ou inclinado)	1	Devido ao constante treinamento para esse fim, pouca, ou nenhuma, ocorrência desse tipo.
10	Estado do solo	2	Antes de se realizar a fundação do tipo estaca, poços são perfurados em terreno compactado, já preparado para receber a fundação.

Fonte: o autor, Leite (2013).

Detecção

Segundo Oakland (1994) detecção refere-se à dificuldade de detectar a falha antes que ela ocorra. Caso a falha se manifeste de maneira que essa possa gerar falhas subsequentes, antes mesmo de ser determinada, diz-se que essa é uma falha de difícil detecção e que deve ser priorizada em relação às demais. Os pesos atribuídos para detecção devem ser atribuídos seguindo-se a regra da Tabela 4, abaixo:

Tabela 4 – Capacidade de detecção através do controle

Probabilidade de Detecção	Capacidade de detecção através do controle – PFMEA	Classificação
Sem probabilidade de detecção	Nenhum controle. Não se pode detectar.	10
Muito remota	Fraca capacidade de detecção	9
Remota	Detecção de modo de falha com o uso de mapas e equipamentos específicos.	8
Muito baixa	Detecção de modo de falha pelo operador, através de meios táteis, visuais, audíveis.	7
Baixa	Detecção de modo de falha com equipamentos simples e/ou improvisados.	6
Moderada	Detecção de modo de falha na estação, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou por controles automáticos (sonoros ou luminosos).	5
Moderadamente alta	Detecção de modo de falha após o processamento, por controles automáticos que impedirão processamento subsequente.	4
Alta	Detecção de modo de falha na operação, por controles automáticos que impedirão processamento subsequente.	3
Muito alta	Forte capacidade de detecção.	2
Praticamente certa	Prevenção do erro.	1

Fonte: o autor, Leite (2013).

Severidade

A severidade, também conhecida como gravidade, está relacionada aos efeitos gerados, caso a falha ocorra. Assim, na Tabela 5, observam-se os critérios do efeito de falha.

Tabela 5 – Critérios do efeito de falha (severidade)

Severidade	Descrição do efeito de falha	Índice
Perigoso sem avisos	Ranking de severidade muito alto quando um efeito de modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera sem avisos (compromete a segurança da vítima e do socorrista)	10
Perigoso com aviso	Ranking de severidade muito alto quando um efeito de modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera com avisos (compromete a segurança da vítima e do socorrista)	9
Muito Alto	Inoperável sem riscos à segurança	8
Alto	Operável com risco iminente da segurança da vítima e do socorrista	7
Moderado	Operável com risco iminente da segurança do socorrista	6
Baixo	Operável com interferência significativa do risco à vítima e ao socorrista	5
Muito baixo	Operável com interferência significativa do risco ao socorrista	4
Mínimo	Operável com interferência mínima à segurança da vítima e do socorrista	3
Quase nulo	Operável com interferência mínima à segurança do socorrista	2
Nulo	Sem problemas à segurança	1

Fonte: o autor, Leite (2013).

Número de Prioridade de Risco - NPR

O produto da multiplicação dos três índices: detecção, ocorrência e severidade denomina-se coeficiente de prioridade de risco, ou números de prioridade de risco (NPR). Assim, com base nas tabelas supracitadas, as possíveis falhas podem ser classificadas por índice e logo em seguida, obtém-se o NPR, conforme se pode observar na Tabela 6, em seguida.

Tabela 6 – Coeficientes de Prioridade de Risco (NPR)

Item	Possível Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
1	Solo arenoso	10	1	1	10
2	Lençol freático	7	1	8	56
3	Chuva/ solo comum	9	5	7	315
4	Chuva/ solo colapsível	10	5	7	350
5	Trepidação próxima (obra ou trânsito)	6	9	1	54
6	Sobrecarga próxima (estacionamento de viaturas/ bota-fora)	8	10	1	80

7	Edificações próximas	4	9	1	36
8	Sistemas próximos (água, energia, esgoto e pluvial)	4	9	8	288
9	Problemas de execução do poço (torto e/ou inclinado)	7	1	6	42
10	Estado do solo	3	2	7	42

Fonte: o autor. Leite (2013).

Dessa forma, observa-se que um socorrista acionado para atuar em uma operação de salvamento por escavação de poço paralelo deve preocupar-se inicialmente com os riscos priorizados conforme hierarquizado na Tabela 7:

Tabela 7 – Prioridade dos riscos envolvidos no salvamento por escavação de poço paralelo

Prioridade	Possível Falha	NPR
1	Chuva em solo colapsível	350
2	Chuva em solo comum	315
3	Sistemas próximos (abastecimento de água, energia, esgoto e pluvial)	288
4	Sobrecarga próxima (estacionamento de viaturas/ bota-fora)	80
5	Lençol freático	56
6	Trepidação próxima (obra ou trânsito)	54
7	Problemas de execução do poço (torto e/ou inclinado)	42
8	Estado do solo	42
9	Edificações próximas	36
10	Solo arenoso	10

Fonte: o autor, Leite (2013).

Diante disso, algumas ações de redução de riscos devem ser levadas em consideração objetivando aumentar a segurança da atividade e, conseqüentemente, minimizar a probabilidade de acidentes.

Prioridade 1 e 2 – As condições climáticas devem ser constantemente monitoradas. Em caso de chuvas previstas ou que estejam acontecendo, devem ser adotadas proteções com lonas, tendas, ser confeccionadas valas e barreiras e, se necessário, usar bombas hidráulicas elétricas para esgotamento da água;

Prioridade 3 – Quando existir cabo subterrâneo de energia elétrica nas proximidades das escavações, elas só poderão ser iniciadas quando o cabo estiver desligado, logo, quando não for possível a interrupção do fornecimento, é necessário o contato com a concessionária para tomada das atitudes necessárias (YAZIGI, 2000).

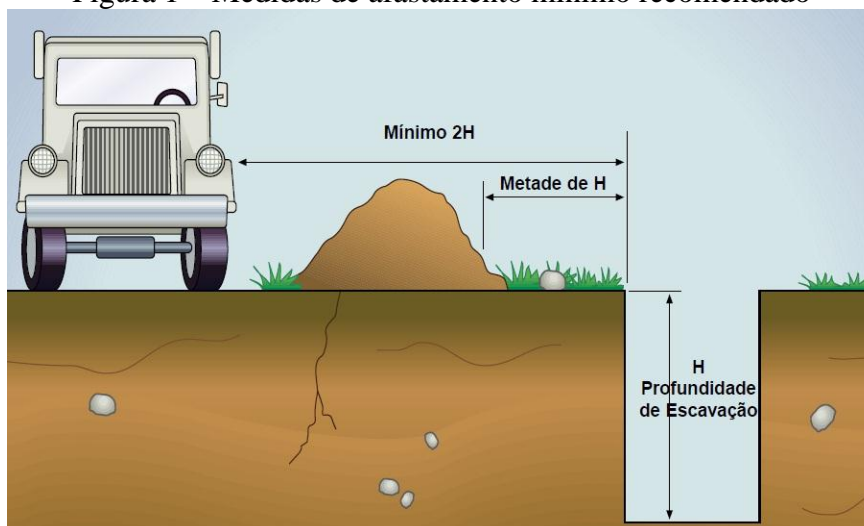
Ainda, se existir a possibilidade de infiltração ou vazamento de gás ou água, a escavação precisa ser devidamente ventilada e monitorada. O monitoramento tem de ser feito ininterruptamente, ou seja, enquanto o serviço estiver sendo executado para que em caso de emergência, o aviso seja imediato (YAZIGI, 2000).

Também é importante, sempre que possível, procurar um mapa de sistemas da região, especialmente, das redes de água potável, esgoto e pluvial devido a saturação que pode advir dos mesmos, aumentando o risco de colapso.

Prioridade 4 – Para segurança na escavação, para não haver ameaça de desmoronamentos das bordas, a Norma Reguladora nº 18 do Ministério do Trabalho e Emprego recomenda que os materiais retirados da escavação devem ser depositados a distância superior à metade da profundidade, medida a partir da borda.

Silva *et al* (2002) corrobora acrescentando que para o estacionamento de veículos a distância mínima de segurança deve ser igual ao dobro da profundidade da escavação.

Figura 1 – Medidas de afastamento mínimo recomendado



Fonte: Silva *et al* (2002).

Prioridade 5 – Devido a possibilidade de existência de lençol freático, a observação constante é crucial, além de estar disponibilizada uma bomba de esgotamento para utilização imediata em caso de alagamento.

Prioridade 6 – Qualquer obra nas imediações deve ser interrompida e o trânsito nas vias próximas deve ser obstruído.

Prioridade 7 – É necessário que o poço seja sempre circular e para escavações a céu aberto seu diâmetro deve ser de no mínimo 60cm (sessenta centímetros) (SILVA et al, 2002). Assim, um gabarito e um prumo deve ser utilizado para que a confecção do poço seja efetuada adequadamente.

Prioridade 8 – O bombeiro militar responsável pela operação deve verificar se o solo nas proximidades já foi removido, se há outros buracos em volta e se é próximo a algum barranco. Havendo algum desses indícios de movimentação do solo, ele deve utilizar de sua experiência, e sempre que possível convocar um engenheiro civil para o local, preferencialmente especializado em geotecnia, para que analisando as condições do solo possa dizer se é possível realizar a escavação e qual a técnica mais adequada.

Prioridade 9 - Silva *et al* (2002) afirma que muros, construções vizinhas e todas as estruturas que possam ser influenciadas pela escavação devem obrigatoriamente ser escoradas. A amarração e escoramento das edificações circunvizinhas é importante, especialmente, pela sobrecarga que as mesmas podem realizar sobre o poço em escavação, logo, essa medida preventiva além de distribuir as cargas, garante mais segurança em caso de desmoronamento.

Prioridade 10 - Havendo vítimas em poço de estreito diâmetro em um local de solo arenoso, a utilização da técnica de salvamento por escavação de poço paralelo não é recomendável devido à severidade. Assim, deve-se procurar outra técnica, ou meio, de salvamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enfim, essas recomendações não somente acrescentam segurança à operação, mas tornam-se necessárias para consecução da mesma, pois garante à atividade a minimização dos riscos com atitudes moderadamente simples, por isso, os socorristas devem sempre estar atentos a essas prioridades e a esses critérios adicionais de segurança. Assim, sugere-se que a

Tabela 7 e as recomendações constantes para cada prioridade sejam divulgadas pela corporação entre os bombeiros militares e ensinadas em seus cursos.

Além disso, é importante que, periodicamente, se revise a análise realizada confrontando as falhas potenciais descritas aqui com as que realmente vêm ocorrendo no dia-a-dia da atividade, de forma a permitir a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação, com base em dados objetivos, das falhas anteriormente previstas.

Dessa forma, especificamente, para a atividade de salvamento com o uso de escavação por poço paralelo poder-se-á obter ações de melhoria contínua na segurança da escavação, afora o benefício de incorporar dentro do CBMGO a atitude de prevenção de falhas e a preocupação com a perfeita satisfação da sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARDEN, L.; McGOWN, A.; COLLINS, K. The collapse mechanism in partly saturated soils. **Engineer Geology**, v.7, p. 49-60, 1973.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18**: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, 1978. Atualizado em mar. 2008.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro/DF: LTC, 1988. 2v.

EVERYBODY'S Baby: The Rescue of Jessica McClure. Direção de Mel Damski. EUA: ABC, 1989. 1 DVD (90 min).

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GOIÁS. **Lei nº 11.416**, de 05 de fevereiro de 1991. Baixa o Estatuto dos Bombeiros Militares do Estado. Disponível em: <www.gabinetecivil.goias.gov.br/pagina_leis.php?id=4726>. Acesso em: 6 set. 2013.

LOBO, A. S. et al. **Danos em Edificações Apoiadas em Solo Colapsível**. pp 357 a 362. V Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. São Carlos: Vilar, O. M., 2004.

MANUAL de Segurança e Saúde no Trabalho: Dicas de Segurança no Canteiro de Obras. São Paulo: SESI, 2008.

MEDERO, G. M. et al. **Fatores que Comandam o Comportamento Mecânico de um Material Colapsível**. pp 83 a 87. V Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. São Carlos: Vilar, O. M., 2004.

OAKLAND, John. **Gerenciamento da Qualidade Total**. São Paulo: Nobel, 1994.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2006. 355 p.

RODRIGUES, R. A. **A influência do Esgoto Doméstico como fluido de saturação no colapso de um solo arenoso**. 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2003.

SCHOTANUS, D. **Projeto de poços cavados à mão**. [S.l.], dez. 2005. Disponível em: <http://tilz.tearfund.org/pt-pt/resources/publications/footsteps/footsteps_51-60/footsteps_51/design_of_handdug_wells/>. Acesso em: 10 set. 2013.

SILVA, O. F. et al. **Recomendação Técnica de Procedimentos**: Escavações, Fundações e Desmonte de Rochas. FUNDACENTRO. São Paulo, 2002.

SOUZA NETO, J. B. **Comportamento de um Solo Colapsível Avaliado a partir de Ensaios de Laboratório e Campo, e Previsão de Recalques devidos à Inundação (Colapso)**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2004.

SULTAN, H.A. **Some Engineering Aspects of Collapsing Soils**. The University of Arizona, Tucson, 35p, 1971.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2000.