

GRACO FERNANDES DE ÁZARA LIRA

Análise de incidentes ocasionados por interferência de terceiros em uma rede de
distribuição de gás natural

São Paulo
2016

GRACO FERNANDES DE ÁZARA LIRA

Análise de incidentes ocasionados por interferência de terceiros em uma rede de
distribuição de gás natural

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Especialista em Engenharia de
Segurança do Trabalho.

São Paulo

2016

RESUMO

O espaço subterrâneo urbano é largamente utilizado na instalação de infraestruturas de serviços públicos, como a distribuição de gás natural. Apesar de avanços recentes no ordenamento deste espaço, permanecem recorrentes os incidentes envolvendo a interferência de terceiros nestas redes. Este trabalho objetivou analisar tais incidentes em uma rede de distribuição de gás natural na Região Metropolitana de São Paulo, sendo justificado pelo elevado risco a que estão expostos os trabalhadores envolvidos em atividades interferentes com o subsolo e pela escassa abordagem da literatura sobre o tema. Para tanto, foram abordados conceitos de segurança do trabalho e métodos de análise, classificação e investigação de incidentes, além de um breve panorama sobre a indústria do gás natural no Brasil. Realizou-se uma análise da base anual de incidentes de uma empresa distribuidora de gás natural sob a ótica do hexágono de falhas, método desenvolvido pelo ergonomista Hudson Couto, apresentando como resultado quatro fatores preponderantes: falta de informação (em 66,6%), motivação incorreta (em 51,8%), condições ergonômicas inadequadas (em 38,7%) e falta de capacidade (em 20,7%). Concluiu-se que, apesar do erro humano ser a causa mais evidente para os incidentes ocasionados por interferências de terceiros nas redes de gás natural, apenas através de melhorias sistêmicas é possível uma redução no risco de acidentes aos trabalhadores em atividades interferentes com o subsolo.

Palavras-chave: Redes subterrâneas. Gás natural. Danos em gasodutos. Interferência de Terceiros. Hexágono de falhas.

ABSTRACT

The urban underground space is widely used in the installation of public service infrastructures such as the distribution of natural gas. Despite recent advances in planning this space, incidents involving third-party interference in these pipelines remain recurring. The objective of this study was to analyze such incidents occurred in natural gas distribution pipelines in the São Paulo Metropolitan Area, being justified by the increased risk to which workers involved in activities interfering with the subsoil are exposed and the sparse approach to literature on the subject. For that, work safety concepts and incidents methods of analysis, classification and investigation were discussed, as well as a brief overview of the natural gas industry in Brazil. An analysis was performed of the incidents annual base of a distributor of natural gas from the perspective of the hexagon of human errors, method developed by the ergonomist Hudson Couto, presenting as a result four major factors: lack of information (by 66.6%), incorrect motivation (by 51.8%), inadequate ergonomic conditions (by 38.7%) and lack of capacity (by 20.7%). It was concluded that while human error is the clearer cause for incidents caused by third-party interference in the natural gas pipelines, only through systemic improvements can happen a reduction in the risk of accidents to workers in activities interfering with the underground.

Keywords: Underground pipelines. Natural gas. Pipeline damage. Third-party interference. Hexagon of human errors.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
EGIG	<i>European Gas Pipeline Incident Data Group</i>
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
FBR	Fatores Básicos de Risco
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GN	Gás Natural
HSE	<i>Health and Safety Executive</i> (Reino Unido)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PPD	Programa de Prevenção de Danos
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
TGF	Tipos Gerais de Falhas
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 OBJETIVO	7
1.2 JUSTIFICATIVA.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 CONDIÇÃO PERIGOSA, PERIGO E RISCO	9
2.2 INVESTIGAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE INCIDENTES.....	9
2.2.1 Métodos baseados em listas de verificação.....	10
2.2.2 Método <i>Tripod</i>.....	10
2.2.3 Hexágono de falhas	11
2.3 O GÁS NATURAL.....	13
2.3.1 Distribuição de gás natural em redes	15
2.3.2 Cadastro de redes.....	19
2.4 DANOS POR INTERFERÊNCIA DE TERCEIROS.....	19
2.5 PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE DANOS (PPD)	23
2.5.1 Sinalização de redes e ramais	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
3.2 COLETA DE INFORMAÇÕES.....	26
3.3 REAVALIAÇÃO PELO HEXÁGONO DE FALHAS.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
5 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O espaço subterrâneo dos centros urbanos tem sido largamente empregado para a instalação de infraestruturas de serviços públicos, como as de distribuição de gás natural. O primeiro registro de comercialização e distribuição deste tipo de produto ocorreu na Inglaterra em 1785 para iluminação pública e residencial (AMERICAN PUBLIC GAS ASSOCIATION, 2015). Desde o século XIX, com a aceleração do processo de internacionalização das economias, as infraestruturas urbanas, em especial as de distribuição de gás e água, passaram a personificar a vida moderna, a popularização da tecnologia e a industrialização da vida cotidiana (SILVA; MATOS, 2000).

Atualmente existe uma perspectiva de aumento na demanda de serviços públicos através de infraestruturas subterrâneas nas áreas urbanas, pois, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2014), projeta-se um crescimento da participação da população urbana no total da população mundial, passando dos atuais 54% para 66% em 2050.

No Brasil, a participação urbana no total da população é ainda maior e atingiu a marca de 84,4% em 2010 (IBGE, 2013). Um importante percentual desta população vive em locais onde a infraestrutura urbana não se encontra minimamente consolidada, e, portanto, sujeitos a obras de expansão dos mais variados serviços, sendo um exemplo deste quadro a constatação de que 43,7% da população urbana do país não é atendida atualmente por rede de coleta de esgoto (BRASIL, 2014).

Além das obras de ampliação de serviços públicos, diversos serviços no subsolo são necessários mesmo em locais com malhas intensamente estabelecidas, tais como os de manutenção, reparo, renovação ou adequação de redes, sendo um exemplo deste último, o Programa de Enterramento de Redes Aéreas de bairros centrais da capital paulista (SÃO PAULO, 2015).

Estas obras, em geral, ocorrem em um espaço urbano cuja ocupação foi historicamente realizada sem políticas públicas específicas de uso e ocupação do subsolo e na ausência de regulamentação e fiscalização adequadas. Até mesmo a indústria cinematográfica já realizou uma crítica sobre a dificuldade de determinação das interferências de infraestruturas subterrâneas em uma produção nacional

(ASSALTO AO BANCO CENTRAL, 2011) que retrata um assalto a banco consumado através da construção de um túnel clandestino, ocorrido em 2005 no município de Fortaleza.

Iniciativas pioneiras de ordenamento e mapeamento do subsolo, como o sistema Geovias, lançado pela Prefeitura do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2011), e o projeto GeoConvias, em implantação pela Prefeitura de São Paulo (SÃO PAULO, 2012), têm contribuído com uma melhora na perspectiva de utilização do subsolo com segurança à população e, em especial, aos trabalhadores envolvidos em serviços que interferem com o subterrâneo dos aglomerados urbanos. Também se destacam positivamente a atuação das agências reguladoras de serviços públicos e a popularização do uso de sistemas de informações geográficas (GIS) em projetos de engenharia e nos cadastros das concessionárias.

Apesar dos avanços recentes citados, permanecem frequentes os incidentes envolvendo interferências nas redes de serviços públicos durante obras no espaço subterrâneo, em especial, nas atividades de escavação e perfuração, fato este observado por Romano *et al.* (2014) que os classificam como recorrentes. Tais incidentes além de afetar o fornecimento adequado dos serviços públicos, expõem os trabalhadores a diversas condições perigosas como, dentre outras, vazamento de gases inflamáveis ou tóxicos, choque elétrico por redes de alta tensão, exposição a microrganismos patogênicos por vazamento de esgoto e movimentação de solo por vazamentos de adutoras gerando instabilidade de taludes.

Na Região Metropolitana de São Paulo, dentre as redes enterradas existentes, as de distribuição de gás natural (GN) apresentam elevado risco aos trabalhadores, pois possuem uma malha abrangente, afetando diretamente no aumento da probabilidade de ocorrência de incidentes, e, pela característica combustível do produto transportado, as consequências ao trabalhador podem ser graves, especialmente nas ocorrências que apresentam ignição do gás vazado.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho possui como objetivo analisar incidentes por interferência de terceiros em uma rede de distribuição de gás natural localizada na Região Metropolitana de São Paulo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Dentre as infraestruturas presentes no subsolo, as de distribuição de gás natural são especialmente críticas pois transportam um produto combustível e inflamável. Estas tubulações ao sofrer interferências de terceiros, podem ser danificadas e apresentar perdas de contenção do material transportado. O gás natural, quando liberado acidentalmente ao ambiente, pode gerar desde incômodos ao trabalhador, pela inalação do odorante presente no gás, até a morte, pois ao atingir concentrações entre os limites inferior e superior de inflamabilidade e em proximidade com uma fonte de ignição pode gerar graves lesões aos trabalhadores em função da alta liberação de radiação térmica.

Diversas ocorrências de lesão a trabalhadores após danos em rede de distribuição de gás são registradas no Brasil, podendo-se citar, como exemplo, um incidente ocorrido em Maceió, no Estado de Alagoas, em setembro de 2015, no qual um funcionário de empresa terceirizada a serviço da empresa de saneamento estadual foi ferido no rosto após a ignição do gás natural vazado, sendo provocadas queimaduras de primeiro e segundo graus pelo jato de fogo formado (TARELLI, 2015).

Esta pesquisa se justifica, pois, apesar dos incidentes em infraestruturas subterrâneas de serviços públicos ocorrerem diariamente e suas consequências apresentarem alto potencial de lesão aos trabalhadores envolvidos em atividade interferentes com o subsolo, o tema apresenta estudos escassos, especialmente no Brasil.

O interesse por este tema também é justificado pela experiência do autor no desenvolvimento do Programa de Prevenção de Danos de uma empresa distribuidora de gás natural.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONDIÇÃO PERIGOSA, PERIGO E RISCO

A fim de estabelecer um padrão de uso dos termos de condição perigosa, perigo e risco neste trabalho, dada as divergências existentes na literatura científica, especialmente em língua portuguesa, serão utilizados como base os termos oriundos da língua inglesa *hazard*, *danger* e *risk* (ESTON *et al.*, 2010 apud USP, 2014; LAPA; GOES, 2011; USP, 2014).

Condição perigosa, do inglês *hazard*, é definida como uma fonte com potencial de geração de dano, lesão ou doença, sendo assim é uma característica intrínseca que pode gerar um incidente.

Por sua vez, o conceito perigo, do inglês *danger*, se caracteriza como a exposição à condição perigosa. Porém, em diversas publicações em língua portuguesa o termo *hazard*, conceituado pelos autores supracitados como condição perigosa, tem sido traduzido como perigo, o que conforme Lapa e Goes (2011) é uma impropriedade.

Finalmente, o risco (*risk*) é um valor numérico, não podendo ser identificado, apenas calculado. Seu valor é obtido pela multiplicação da probabilidade de ocorrência de um evento pela consequência do mesmo.

2.2 INVESTIGAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE INCIDENTES

Os conceitos relativos à segurança do trabalho introduzidos por Henrich, por Bird e por Fletcher e Douglas na segunda metade do século XX, associados a ocorrência de desastres tecnológicos como os de Flixborough em 1974, de Seveso em 1976, e os de Cubatão, da Cidade do México e de Bhopal, todos em 1984, levaram as empresas a considerar a abordagem da prevenção de acidentes em seus sistemas de gestão, dentro dos quais passou a exercer importante papel a investigação de incidentes (TOMAZ, 2013; USP, 2014; USP, 2015).

Apesar das diversas nomenclaturas adotadas por autores e empresas, neste trabalho convencionou-se incidente como um evento indesejável com potencial para ocorrência de uma lesão, doença ou fatalidade, independentemente da sua

consequência. O termo acidente ficará reservado para eventos que resultaram em morte, doença, dano ou lesão (LAPA E GOES, 2011; USP, 2015).

Lapa e Goes (2011) reportam a existência de diversos métodos para investigação de acidentes, cada qual com suas características, e que usualmente são baseados em diferentes modelos que tentam explicar ou representar a ocorrência de um incidente. Neste trabalho detalham-se duas metodologias aplicadas nas análises de danos por interferência nas tubulações de gás natural, os baseados em lista de verificação e o *Tripod*.

Os autores acima citados também afirmam que não há como abordar a investigação de incidentes sem considerações sobre o erro humano, dado que em todos os incidentes haverá pessoas envolvidas, seja na interface homem-máquina ou homem-processo. Neste trabalho, a abordagem do erro humano seguirá o conceito do hexágono de falhas.

2.2.1 Métodos baseados em listas de verificação

As listas de verificação, ou em língua inglesa, *check lists*, são meios de registro guiado para avaliar determinados procedimentos, equipamentos e locais de trabalho, a fim de verificar e constatar o cumprimento dos requisitos de segurança. De acordo com o propósito, cada profissional ou empresa adequa modelos pré-existentes à realidade a ser confrontada, geralmente através de uma coluna com a descrição dos itens de verificação e as demais com alternativas de resposta e campos reservados para observações.

Lapa e Goes (2011) citam que os métodos classificados como baseados em listas de verificação requerem pouco treinamento para sua aplicação, mas apesar de simples derivam de um modelo conceitual mais complexo que tenta explicar a gênese de um incidente.

2.2.2 Método *Tripod*

O desenvolvimento do método *Tripod* originou-se de um programa de pesquisa sobre fatores humanos desenvolvido por pesquisadores das universidades de Leiden e Manchester a partir de 1988, incorporando as teorias de James Reason e John Rasmussen (MIRANDA et al., 2002; LAPA; GOES, 2011).

Segundo Miranda *et al.* (2002), a adoção do *Tripod* em empresas contribui com a quebra de paradigma de que os incidentes têm como única causa o erro humano, pois sua metodologia conduz a uma postura de investigação das causas subjacentes, denominadas como falhas latentes, e que ocorrem muitas vezes em local e data bem distantes da ocorrência, corroborando com os princípios levantados por Heinrich.

As falhas latentes são classificadas em tipos gerais de falhas (TGF), conforme Miranda *et al.* (2002) ou fatores básicos de risco (FBR), conforme Lapa e Goes (2011), ambas sendo representadas por um conjunto de onze categorias: organização, alvos ou metas incompatíveis, comunicação, procedimentos, projeto, equipamentos, manutenção, ordem e limpeza, treinamento, defesas e condições que induzem a erro.

A técnica de análise do *Tripod* consiste em um método de causalidade partindo do incidente investigado às direções dos dirigentes, tendo como resultado principal da investigação a construção de uma árvore de investigação que perpassa os seguintes pontos: incidente e suas consequências, defesas e barreiras vencidas, falhas ativas ou atos em desacordo com o padrão¹, pré-condições ou precursores psicológicos, falhas latentes e tomada de decisões ou decisões falíveis (MIRANDA *et al.*, 2002; LAPA; GOES, 2011).

2.2.3 Hexágono de falhas

O hexágono de falhas, apresentado na Figura 1, segundo Lapa e Goes (2011), foi desenvolvido pelo ergonomista Hudson de Araújo Couto como uma alternativa de classificação de incidentes e, segundo Barros e Scandelari (2006), baseado em Trevor Kletz. Albuquerque (2010) classifica esta ferramenta como uma excelente alternativa de substituição ao obsoleto “ato inseguro”, porém considera que é pouco divulgada e aplicada.

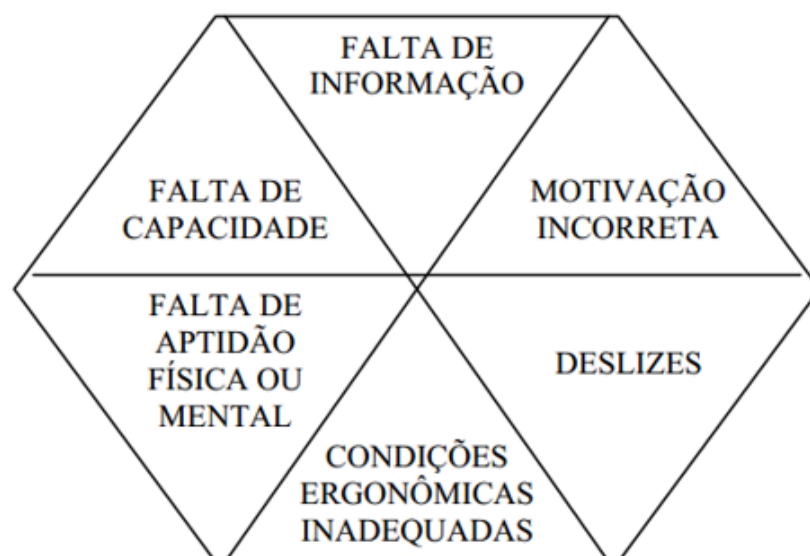
¹ Miranda *et al.* (2002) utiliza o conceito de “ato inseguro” nesta categoria, porém a utilização deste termo não é recomendada por USP (2014), que sugere a utilização de erro humano em sua substituição. Dentre os motivos apontados para esta substituição é que termo “ato inseguro” é genérico, existem movimentos no meio técnico contra sua utilização e o Ministério do Trabalho e Emprego brasileiro eliminou oficialmente sua utilização desde março de 2009.

Para Barros e Scandelari (2006) todas as seis dimensões do hexágono de falhas são importantes na visão da Ergonomia Cognitiva, ressaltando que a falha humana é algo complexo, multicausal e multideterminado, e a ferramenta desenvolvida por Couto destina-se a investigação do erro humano após sua ocorrência, não a tratando como causa, mas sim como efeito de situações que podem comprometer a confiabilidade humana no trabalho.

Couto apud Lapa e Goes (2011) descreve que cada um dos fatores pode contribuir com os incidentes e que, na maior parte dos casos, esta ocorrência é combinada.

As definições apresentadas, na sequência, para cada um dos fatores componentes do hexágono de falhas humanas seguem o descrito por Albuquerque (2010) e Lapa e Goes (2011).

Figura 1 – Hexágono das causas da falha humana.



Fonte: Couto (1996) apud Barros e Scandelari (2006).

Primeiramente, a falta de informação é um fator que contribui para a ocorrência de incidentes nas situações em que o executante da tarefa não possui as informações necessárias para sua realização. Além da inexistência de informações, também pode ocorrer por falhas na comunicação, erros de interpretação ou dados desatualizados.

A falta de capacidade, por sua vez, se caracteriza quando o executante da tarefa não possui a devida qualificação, resultando desta forma em falhas grosseiras,

podendo ocorrer também em função de improvisações organizacionais. Ressalta-se que este fator pode ocorrer independentemente da realização de treinamentos, visto que, em muitos casos, estes significam aporte de conhecimento, prevalecendo conteúdo empírico ministrado em sala de aula, não significando habilidade em executar a tarefa.

O perfil do executante da tarefa é determinante para a ocorrência do fator falta de aptidão física ou mental, pois algumas atividades exigem determinadas características físicas ou mentais, sendo que o não preenchimento de um perfil mínimo pode contribuir com a ocorrência de um incidente. Fatos circunstanciais também podem influenciar momentaneamente na aptidão do executante da tarefa, como utilização de medicamentos e problemas emocionais, familiares ou financeiros.

As condições ergonômicas inadequadas caracterizam-se com um fator relacionado ao ambiente, às máquinas e aos equipamentos, resultando em situações que contribuem decisivamente com a ocorrência do incidente. Instrumentos de leitura não apropriados, comandos confusos, além de espaço e dispositivos inadequados são exemplos de condições que propiciam este fator.

A tomada de atalhos, ignorando-se procedimentos de segurança conhecidos para a execução da tarefa, é caracterizada pelo fator motivação incorreta. Em linhas gerais, esse fator ocorre com a intenção de reduzir-se o tempo necessário para a execução da tarefa, também contribuindo, isoladamente ou em conjunto, a pressão pelo término da tarefa, incentivos produtivos pela liderança, excesso de confiança, negligência com as possíveis consequências ou descrédito e decepção no trabalho.

Quando o executante da tarefa possui a informação, a capacitação, as aptidões, as condições e a motivação necessárias, mas ao realizá-la esquece-se de alguma etapa importante, caracteriza-se este fator como um deslize.

2.3 O GÁS NATURAL

A participação do gás natural na matriz energética brasileira alcançou o patamar de 13,5% no ano de 2014, sendo a média diária de produção nacional deste

combustível de 87,4 milhões de m³/dia e o volume importado de 52,9 milhões de m³/dia (BRASIL, 2015).

O gás natural distribuído no Brasil é regulado pela agência federal responsável, por meio da Resolução ANP n° 16, de 17 de junho de 2008 (ANP, 2008), que especifica, dentre outros, o poder calorífico superior da mistura, a porcentagem molar mínima de metano (85% no Sudeste do Brasil) e as porcentagens máximas de etano (12% em todo o Brasil), propano (6% no Sudeste) e butano ou frações mais pesadas do petróleo (3% no Sudeste).

É considerado um gás extremamente inflamável, de categoria 1 (conforme as Recomendações para o Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas e com base no tipo de perigo que oferecem), e que pode causar asfixia em elevadas concentrações através da redução da concentração de oxigênio no ar (PETROBRAS, 2014).

Além disso, por ser um gás inodoro e possuir densidade menor que do ar, gera a necessidade de ser odorado artificialmente a fim de que eventuais vazamentos do produto possam ser detectados pelo trabalhador ou usuário antes que a mistura alcance um quinto do limite inferior de inflamabilidade, cujo valor é 6,5% de volume de GN no ambiente (ABNT, 2002; MONTEIRO; DA SILVA, 2010; PETROBRAS, 2014). Para tanto, são utilizados compostos organossulfurados denominados mercaptanos.

Nesse contexto, a resolução supracitada da ANP determina que o gás natural deve receber odor antes do processo de distribuição, atendendo também às exigências específicas de cada agência reguladora estadual.

O gás natural, dentre os combustíveis fósseis, é o que apresenta a queima mais limpa, contribuindo com a manutenção da qualidade do ar e da água, quando utilizado em substituição a outras fontes de combustíveis fósseis. Isto ocorre, pois, apesar de ser uma mistura de hidrocarbonetos, apresenta como seu principal constituinte o metano (CH₄), que apresenta um átomo de carbono e quatro átomos de hidrogênio por molécula. Os principais produtos da combustão deste componente são o dióxido de carbono (CO₂) e o vapor d'água, praticamente não resultando em

emissão de poluentes como dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO) e óxidos de enxofre (NO_x) (MONTEIRO; DA SILVA, 2010).

2.3.1 Distribuição de gás natural em redes

Existem registros do transporte de gás na China desde 500 a.C. por dutos rudimentares feitos em bambu, sendo este combustível utilizado na dessalinização térmica de água em regiões costeiras. O início da comercialização deste produto se iniciou apenas em 1785, na Inglaterra, com a distribuição de gás produzido a partir de carvão, sendo que, ao longo do século XIX, o gás natural foi empregado quase que exclusivamente na iluminação pública e de residências. Durante o século XX seu uso foi amplamente diversificado em aplicações industriais e residenciais, além da geração termoelétrica, sendo acompanhado por um aumento efetivo das redes de distribuição (AMERICAN PUBLIC GAS ASSOCIATION, 2015).

No Brasil, a história do gás canalizado começou no século XIX, mais precisamente em 1851 no Rio de Janeiro com a assinatura de um contrato para iluminação a gás pelo Barão de Mauá, enquanto que na cidade de São Paulo teve início em 1872, com a fundação da *San Paulo Gas Company* (MONTEIRO; DA SILVA, 2010).

Atualmente, o gás natural é conduzido por meio de empresas transportadoras das áreas produtoras (nacionais e internacionais) para as concessionárias estaduais distribuidoras de gás canalizado, onde são entregues em locais denominados como Estações de Transferência de Custódia de Gás Natural ou *City Gates* (ANP, 2001).

A partir da transferência de custódia, o gás natural é odorado para distribuição, conforme citado no item anterior, e a distribuidora exerce os serviços locais de gás canalizado previstos na Constituição Federal como responsabilidade dos Estados, sendo considerados atividades de interesse regional e local (BINENBOJM, 2006). Desta forma, as empresas distribuidoras conectam os clientes e seus respectivos ramais às Estações de Transferência de Custódia por meio de redes de diferentes pressões e diâmetros construídas, normalmente, em aço carbono com pressões acima de 700 kPa, ou polietileno em pressões de até 700 kPa (MONTEIRO; DA SILVA, 2010).

Para a construção de novas redes de distribuição de gás natural é necessário que se sigam as diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicadas por meio da NBR 12712 (ABNT, 2002).

Esta norma prevê um critério de segurança denominado “classe de locação” o qual deve ser utilizado para classificar uma área geográfica conforme o grau de atividade humana capaz de expor o gasoduto a danos causados por terceiros, sendo esta última determinada pelo número de edificações presentes. A classe de locação determina a espessura da parede do gasoduto, a pressão de ensaio e a distribuição de válvulas intermediárias (ABNT, 2002).

Além de tomar como base normas técnicas para construção de redes, é ainda necessário realizar o processo de licenciamento ambiental destas, no qual se exige a análise quantitativa de risco. Esta ferramenta, apesar de apresentar uma abordagem relativamente recente no Brasil, é utilizada largamente pela indústria do gás natural que a emprega também para classificação de áreas e como apoio na gestão das áreas de segurança ocupacional e operacional (MONTEIRO; DA SILVA, 2010).

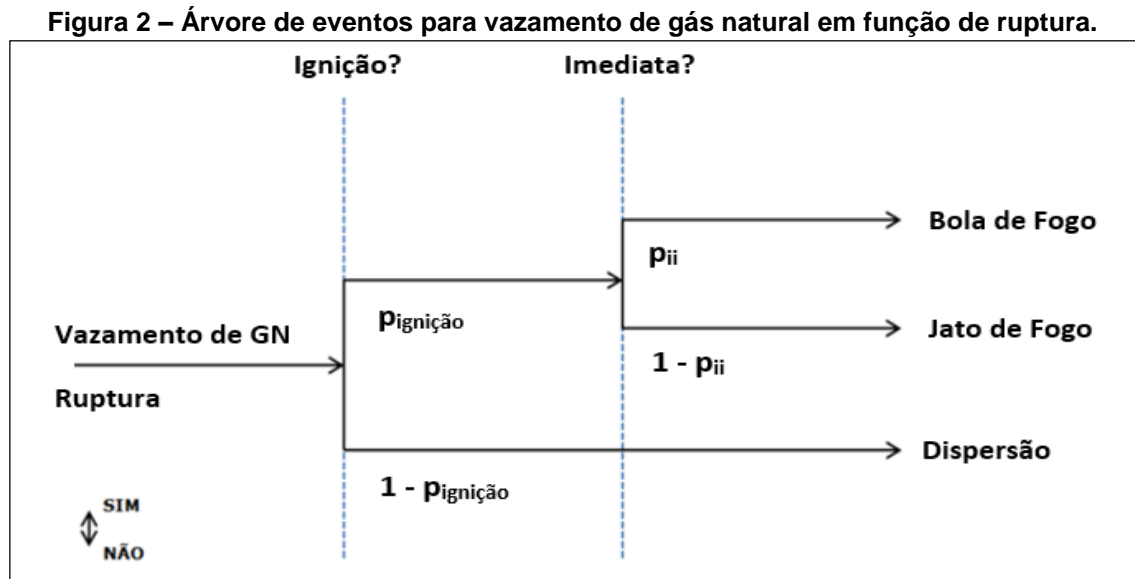
No caso do Estado de São Paulo, os estudos para o licenciamento devem seguir a norma da agência ambiental estadual (CETESB, 2011), a qual apresenta uma seção dedicada aos Estudos de Análise de Risco para dutos, devendo constar obrigatoriamente: a caracterização do empreendimento, a identificação das condições perigosas, a estimativa dos efeitos físicos, a avaliação de vulnerabilidade, a estimativa das probabilidades de ocorrência e a avaliação de risco quantitativa.

A análise de risco, conforme o procedimento desta norma, foca na segurança da comunidade circunvizinha, sendo as duas principais informações deste estudo os resultados do risco individual e social, por meio dos quais o empreendimento é avaliado em comparação com métricas de risco pré-estabelecidas.

Especificamente para dutos, o risco é expresso pela probabilidade, representada pela frequência de ocorrência de perda de contenção nas tubulações, multiplicada por sua consequência, representada através da árvore de eventos dos efeitos físicos para vazamento.

Sendo assim, é usual a probabilidade ser estimada pelas taxas de falhas calculadas por EGIG (2015), com base no banco de dados europeu de incidentes.

Por sua vez, a árvore de eventos (Figura 2) demonstra graficamente as consequências da perda de contenção conforme indicado por Cetesb (2011).

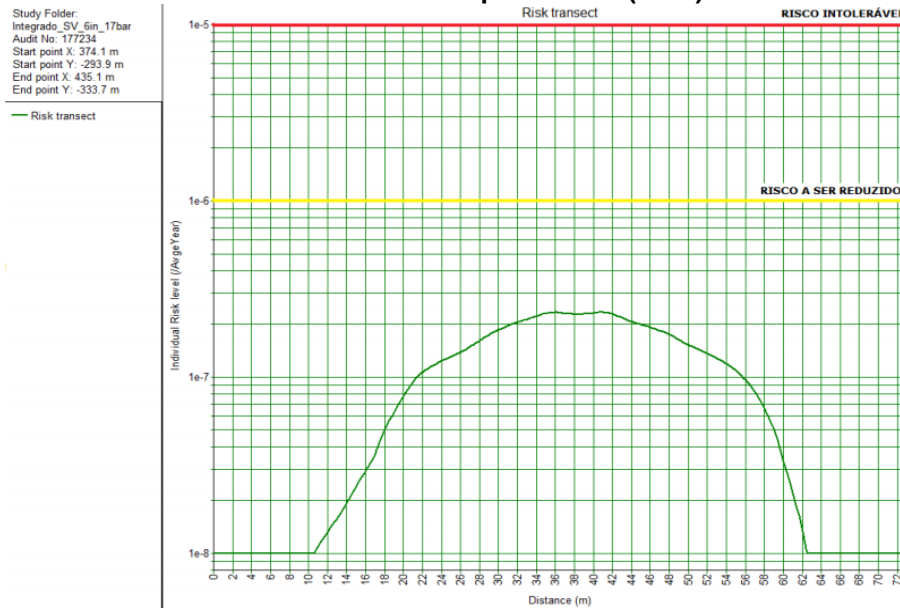


Conforme EGIG (2015) a probabilidade de ignição ($p_{\text{ignição}}$) do gás natural em caso de ruptura do duto é de 13%, implicando, para o caso das interferências de terceiros, que os trabalhadores envolvidos na atividade estarão expostos, nesta porcentagem, à radiação térmica e, em 87% dos casos, expostos a dispersão de gás natural.

Nos casos de ignição é possível verificar dois efeitos distintos, o jato de fogo e a bola de fogo, sendo o fator determinante de ocorrência destes a probabilidade de ignição imediata (p_{ii}), dependente, por sua vez, da massa de gás natural vazada.

O primeiro resultado do estudo de risco é expresso na forma de risco individual, que pode ser entendido como o risco para uma pessoa decorrente de um ou mais cenários acidentais, no intervalo de um ano (CETESB, 2011), conforme exemplo apresentado na Figura 3.

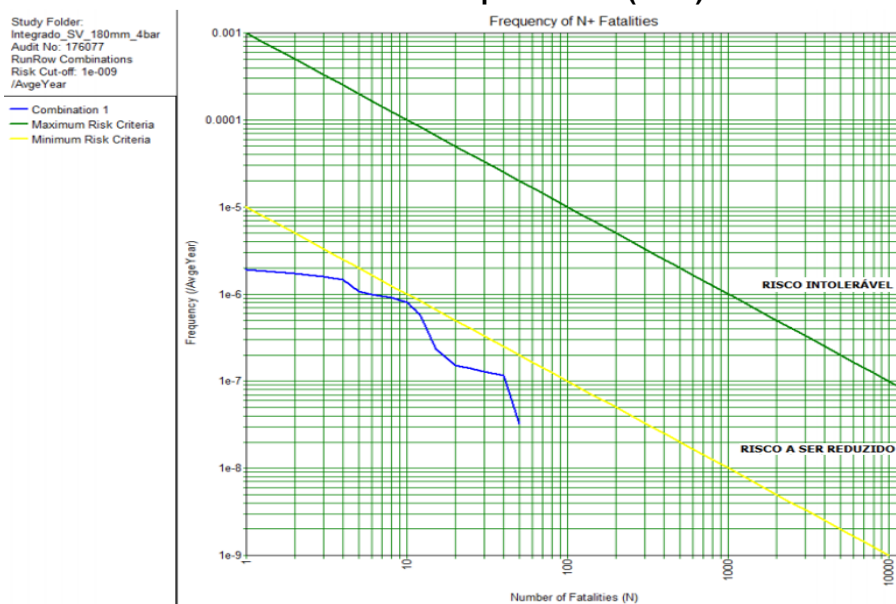
Figura 3 – Exemplo de resultado expresso na forma de risco individual em comparação com os limites estabelecidos por Cetesb (2011).



Fonte: Dados da empresa distribuidora.

Outro resultado apresenta-se expresso na forma de risco social, que se trata do risco para um determinado agrupamento de pessoas expostas aos efeitos físicos estudados (CETESB, 2011). É expresso na forma de uma curva F-N, onde F representa a frequência acumulada dos cenários acidentais e N o número de vítimas fatais de cada cenário, conforme exemplo apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de resultado expresso na forma de risco social em comparação com os limites estabelecidos por Cetesb (2011).



Fonte: Dados da empresa distribuidora.

2.3.2 Cadastro de redes

A fim de manter a gerência sobre o subsolo, as distribuidoras de gás devem garantir a elaboração de documentos de cadastro das redes tal como foram construídas, com a inclusão de informações como coordenadas geográficas e profundidades. É recomendado que estas informações sejam cadastradas em um sistema de georreferenciamento (ABEGÁS, 2012).

Este tipo de informação cadastral remonta às primeiras instalações de distribuição de gás natural do país. Romano *et al.* (2014) cita que a antiga *San Paulo Gas Company* possuía na época um dos cadastros mais qualificados, sendo estes desenhados manualmente em papel pergaminho, com qualidade e detalhamento surpreendentes.

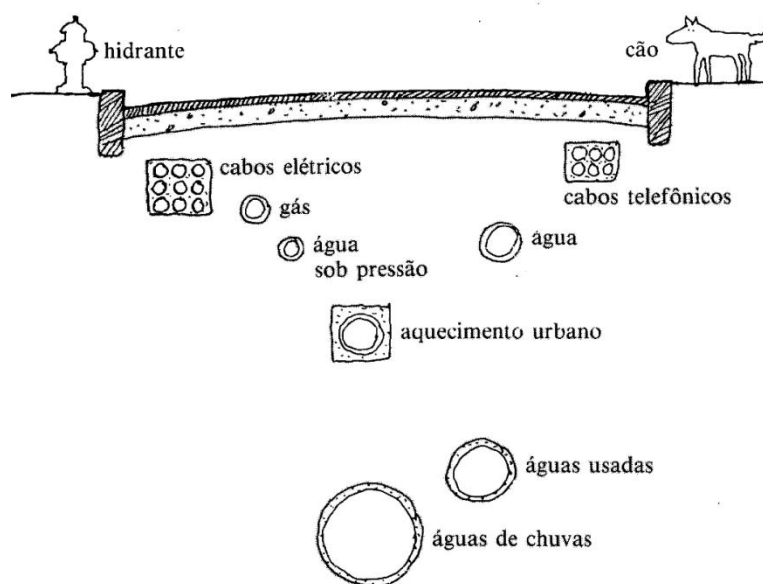
No Brasil, é de responsabilidade das concessionárias de utilidades a manutenção dos cadastros de redes e ramais, havendo projetos pioneiros para envolvimento do poder público nesta questão. Internacionalmente, existem experiências diversas de gestão cadastral do subsolo, que passam por cadastros públicos unificados de forma obrigatória na China, aqueles feitos por agências de controle de informações integradas no Japão e nos Estados Unidos e, por empresas com autonomia submetidas a uma norma cadastral nacional na Suécia (ROMANO *et al.*, 2014).

2.4 DANOS POR INTERFERÊNCIA DE TERCEIROS

Conforme Macaulay (1988) é difícil imaginar a complexidade das redes subterrâneas que, apesar de indispensáveis, funcionam tão discretamente que a população tende a ignorá-las.

Este mesmo autor afirma que apesar da previsão de localização adequada em projetos de novas ruas, exemplificada na Figura 5, quanto maior a cidade, maior a complexidade destas redes, pois dificilmente uma nova via irá se ajustar completamente à disposição ideal. Desta forma, as redes subterrâneas tendem a se desenvolver de maneira desordenada ao longo do tempo, sendo etapas críticas a ampliação de serviços ou a substituição de instalações antigas.

Figura 5 – Disposição teórica de redes de serviços públicos no subsolo de uma via.



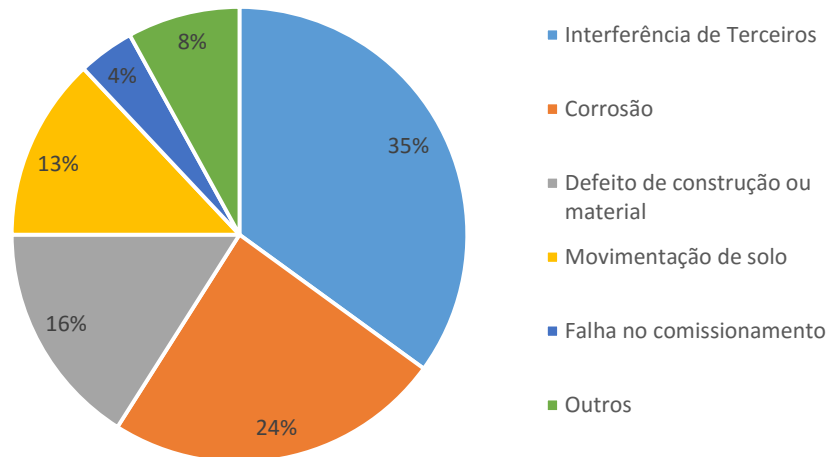
Fonte: Macaulay (1988).

Considera-se como interferência de terceiros todas as atividades realizadas no subsolo que possam provocar danos aos ativos das distribuidoras de gás, sendo que estas atividades podem ser executadas por órgãos governamentais, concessionárias de serviços públicos, construtoras e população.

A Abegás (2012) elenca, dentre as ameaças à rede de distribuição de gás, a interferência de terceiros como a de maior relevância.

Estas atividades interferentes com o subsolo executadas por terceiros também são uma das principais causas de danos aos ativos no cenário internacional. Este fato pode ser observado estatisticamente nas redes de transporte de gás natural europeias, por meio dos dados reportados pelo EGIG (2015), conforme Figura 6, onde 35% dos incidentes nestas redes são devido a interferência de terceiros. Nos Estados Unidos, Simonoff *et al.* (2010) demonstra que entre 2002 e 2009 a interferência de terceiros foi a principal causa de 12,5% dos incidentes em redes de transporte neste país, ficando atrás apenas dos incidentes envolvendo corrosão interna (15,4%).

Figura 6 – Distribuição dos incidentes nas redes de transporte de gás natural europeias de 2004 a 2013.



Fonte: EGIG (2015).

As interferências podem ocorrer com a utilização de ferramentas diversas e pelos mais variados métodos construtivos, um dos principais utilizados é a escavação mecânica (representada na Figura 7), necessários para a abertura de valas, cuja aplicação pode ser realizada ao longo de todo o traçado do projeto, na implantação de infraestrutura pelo método destrutivo ou em pontos específicos, no caso de intervenções pontuais de manutenção, poços para implantação pelo método não destrutivo ou outras atividades de construção civil e demolição.

Figura 7 – Duto de gás natural avariado durante escavação mecânica.



Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora.

Avárias ocasionadas por terceiros também podem ocorrer em escavações realizadas por ferramentas manuais como a representada na Figura 8, que também apresenta uma tipologia do dano causado à rede de distribuição por este tipo de ferramenta.

Figura 8 – Ferramenta manual próxima ao local de avaria no duto de gás natural (a) e tipologia da avaria por esta ferramenta (b).



Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora.

Outra forma comum de danos às redes de gás ocorre durante a implantação de infraestruturas pelo método não destrutivo de construção, representado na Figura 9, o qual simplificadamente utiliza uma perfuratriz como guia para o assentamento da rede em construção.

Figura 9 – Avaria em duto de gás natural ocasionado por atividade de perfuração.



Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora.

2.5 PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE DANOS (PPD)

Um programa de prevenção de danos visa prevenir incidentes ocasionados durante a execução de obras ou serviços na faixa da rede de distribuição, buscando estabelecer recomendações e critérios para orientar as providências a serem adotadas quanto às ações de interferentes com as redes das distribuidoras de gás, perpassando as etapas de projeto, construção, operação e manutenção das redes de distribuição (ABEGÁS, 2012).

Segundo recomendação da Abegás (2012) um programa adequado deve gerir a relação das distribuidoras com os demais atores, abordando, principalmente, aspectos de informações de cadastro, sinalização, inspeção de faixas, comunicação, treinamentos e estruturação de acordos de cooperação.

Padula Filho (2008) demonstra que um acordo de cooperação entre uma empresa de saneamento e uma de distribuição de gás, iniciado em 2003, com a adoção de ações de parceria e cooperação mútua, tendo respaldo da alta administração de ambas as companhias e principalmente focado em aumento dos indicadores de treinamento e capacitação dos funcionários, resultou em uma redução de 38% na frequência de danos entre estas empresas entre os anos de 2007 e 2008.

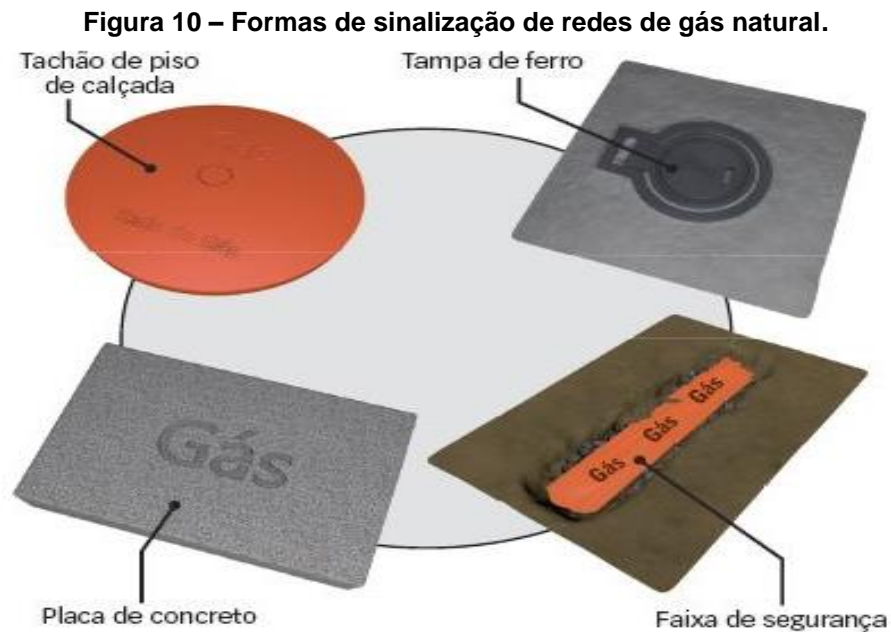
A prevenção de danos está, portanto, apoiada na mudança de comportamento, capacitação, conhecimento das condições perigosas e cumprimento dos procedimentos de segurança (ABEGÁS 2012).

Por fim, a Abegás (2012) afirma que um PPD só é eficaz quando atua sobre as causas dos incidentes, buscando a redução ou eliminação destas, através do envolvimento de toda a estrutura organizacional, sendo, desta forma, a investigação e análise dos incidentes de fundamental importância para alcançar este objetivo.

2.5.1 Sinalização de redes e ramais

Uma das formas de se evitar interferências nas redes de gás ocorre através da instalação de dispositivos sinalizadores, como os exemplificados na Figura 10, que permitam a identificação da existência de rede por traçado a pé, em viatura ou, até mesmo, através da realização de voos ao longo da faixa. É utilizada para informar e advertir sobre a presença de gasodutos quando da realização de serviços que

possam avariar estas redes, ajudando a prevenir incidentes causados por terceiros, seja por desconhecimento ou imprudência de órgãos públicos, empresas privadas, concessionárias ou munícipes. A sinalização pode ser aparente, acima do nível do solo, ou oculta, abaixo da superfície (ABEGÁS, 2012).



Fonte: Revista Infraestrutura Urbana, Edição 24, Março/2013.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise dos incidentes por interferência de terceiros em uma rede de distribuição de gás natural será realizada a partir do banco de dados anual de uso interno de uma empresa de distribuição de gás natural atuante na Região Metropolitana de São Paulo.

Como ferramenta de análise de incidentes aplicou-se o conceito de hexágono de falhas a esta base de dados, com o intuito de identificar os principais fatores contribuintes com os incidentes em estudo, além de possibilitar elencar alternativas que contribuam com um incremento na segurança dos trabalhadores envolvidos em atividade de escavação ou perfuração do subsolo urbano.

3.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Como área geográfica de estudo deste trabalho foi considerada a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), área legalmente regulamentada pela Federação através da Lei Complementar nº 14, de 8 de junho de 1973 (BRASIL, 1973), sendo sua regulamentação complementada pelas leis estaduais nº 94, de 29 de maio de 1974 (SÃO PAULO, 1974), e nº 1.139, de 16 de junho de 2011 (SÃO PAULO, 2011).

Composta por 39 municípios, conforme apresentado na Figura 11, possuía em 2015 uma população de 20,4 milhões de habitantes, abrangendo uma área de 7,9 mil km², sendo 2,2 mil km² de área urbanizada, algo em torno de 221 mil quarteirões. É considerada o maior polo de riqueza nacional, tendo alcançado em 2012 um PIB correspondente a 17,91% do total nacional (EMPLASA, 2016; EMTU, 2016; SÃO PAULO, 2016; SEADE, 2016).

Os primeiros registros de ocupação do subsolo nesta região são do município de São Paulo e datam de meados do século XVIII, para implantação de rede de adução e abastecimento de água (ROMANO *et al.*, 2014).

Romano *et. al.* (2014) também verifica que na capital do Estado de São Paulo e principal município da RMSP, a Prefeitura não dispõe de um sistema com os cadastros consolidados das instalações subterrâneas existentes, sendo estes

registros quase inexistentes e os incidentes em redes de empresas concessionárias de serviços públicos recorrentes e frequentes.

Figura 11 - Região Metropolitana de São Paulo.



Fonte: EMTU (2016).

3.2 COLETA DE INFORMAÇÕES

O banco de dados utilizado neste estudo consiste na compilação das ocorrências reportadas ao canal de atendimento de emergência da empresa no ano de 2015 e registradas conforme a respectiva categoria.

Para a análise deste trabalho, foram considerados apenas os incidentes registrados como redes e ramais de gás avariados por interferência de terceiros. O banco de dados também adota como interferência de terceiros eventuais incidentes ocasionados por equipes da própria empresa distribuidora em atividades de escavação e perfuração, além das empresas de outros ramos de atuação, órgãos públicos e munícipes.

Importante ressaltar que vazamentos de gás natural não provocados por interferência de terceiros, ou seja, ocasionados por outros agentes, como corrosão, falha de material e movimentação de solo, não serão passíveis de avaliação neste trabalho.

Nos eventos em que ocorrem as interferências de terceiros, além da equipe responsável pelo atendimento de emergência, também é encaminhada uma equipe

de técnicos para elaboração de um relatório com informações coletadas no local do incidente, sendo estas baseadas em listas de verificação. A Figura 12 demonstra um ambiente de atendimento de emergência gerada por interferência de terceiro, onde técnicos da distribuidora e bombeiros militares discutem sobre as possíveis causas do incidente.

Figura 12 – Técnicos da distribuidora e bombeiros militares averiguando fatos sobre o incidente durante ocorrência envolvendo interferência de terceiro na rede de gás natural.



Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora.

As listas de verificação elaboradas pelos técnicos são baseadas no registro dos incidentes através de entrevistas com os envolvidos, evidências coletadas, como as amostras dos tubos avariados, e presença de documentação no local, como as documentações de cadastro. Também é elaborado um relatório fotográfico do cenário do incidente.

Por fim, a área responsável pela gestão do Programa de Prevenção de Danos realiza uma consolidação dos dados reportados à sala de emergência, dos registros das listas de verificação, das fotografias do local e de informações complementares cedidas pelas empresas terceiras causadoras dos danos, quando disponíveis.

Não há uniformidade na aplicação de método para avaliação dos incidentes quando o dano é gerado por empresas terceiras, podendo ser aplicados formulários e metodologias próprias ou métodos já consolidados na literatura. A exceção ocorre

nas interferências geradas por equipes próprias, onde, por procedimento interno, é recomendada a aplicação do método *Tripod*.

3.3 REAVALIAÇÃO PELO HEXÁGONO DE FALHAS

A metodologia aplicada neste trabalho consiste na revisitação do banco anual de incidentes do ano de 2015 da empresa distribuidora de gás em estudo, sendo criada uma lista de verificação própria baseada no conceito de hexágono das falhas de erro humano para aplicação na análise de todos os 305 incidentes deste período.

Para o preenchimento das listas de verificação baseado no hexágono de falhas, buscou-se reavaliar as evidências coletadas ao longo do processo descrito no item anterior e verificar quais fatores indicados por Couto apud Lapa e Goes (2011) estavam presentes em cada incidente.

A compilação destas listas de verificação permitiu a formação de um novo banco de dados formado pelas informações de identificação dos incidentes, somado a seis colunas com um campo de checagem da aplicabilidade de cada um dos fatores do hexágono de falhas. A Figura 13 apresenta uma demonstração do conteúdo através dos primeiros registros do referido banco de dados, sendo que a avaliação deste novo de banco de dados permitiu o desenvolvimento dos resultados apresentados neste trabalho.

Figura 13 – Primeiros registros do banco de dados formado com o acréscimo dos fatores do hexágono de falhas.

Data	Local do dano	Ramo do Interferente	Falta de Informação?	Falta de Capacidade?	Falta de Aptidão ?	Motivação Incorreta?	Deslize?	Condição Ergonômica Inadequada?
02/01/15	Estrada da Cooperativa, 44X	Saneamento	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
06/01/15	Rua Antonio Ferreira de Souza, 1X	Órgão Público	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não
07/01/15	Rua Carlos Lamarca, 4X	Saneamento	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
07/01/15	Rua Duval Fontoura Castro, 17X	Saneamento	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
07/01/15	Rua José Moutinho, 4X	Saneamento	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
07/01/15	Rua Martinho Guedes, 7X	Saneamento	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
08/01/15	Rua da Consolação, 31XX	Órgão Público	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim
10/01/15	Rua Pedralia, 4X	Órgão Público	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
12/01/15	Rua Damiana da Cunha, 17X	Saneamento	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
14/01/15	Rua Manoel Duarte, 6X	Telefonia	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
15/01/15	Rua Pedro SantaLúcia, 14X	Órgão Público	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
21/01/15	Av. Pres. Juscelino Kubitschek, 15XX	Construção Civil	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não
22/01/15	Rua Euclides Pinheiro, 14X	Saneamento	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
23/01/15	R. Aragão, 45X	Saneamento	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
24/01/15	Rua Vicente de Paula Barão, 9X	Município	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não

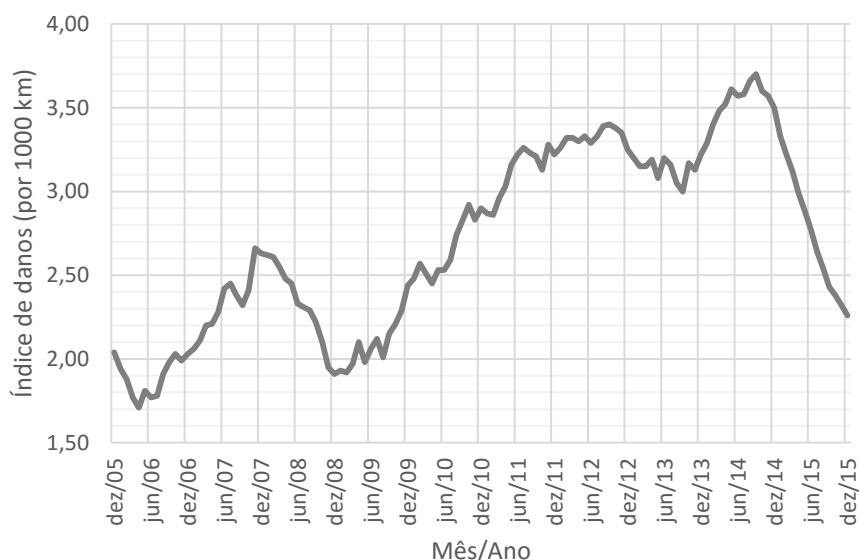
Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora, adaptado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os incidentes em redes de distribuição de gás natural ocasionados por interferência de terceiros trazem prejuízos à segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos em obras, especialmente as de infraestrutura, à dinâmica dos centros urbanos, por interromper o trânsito de veículos em locais atingidos, aos cidadãos atendidos que tem o suprimento de gás interrompido e ao meio ambiente pela emissão de metano, um gás de efeito estufa.

Por estes motivos, as distribuidoras de gás mantêm registros dos números de incidentes em seus bancos de dados, como os apresentados na Figura 14, a qual apresenta a evolução do índice de danos por interferência de terceiros na última década para toda sua área de atuação, que compreende quatro regiões administrativas do Estado de São Paulo (incluindo a RMSP). Os resultados são apresentados em número de incidentes por mil quilômetros.

Figura 14 - Evolução do índice de danos por interferência de terceiros na última década.



Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora.

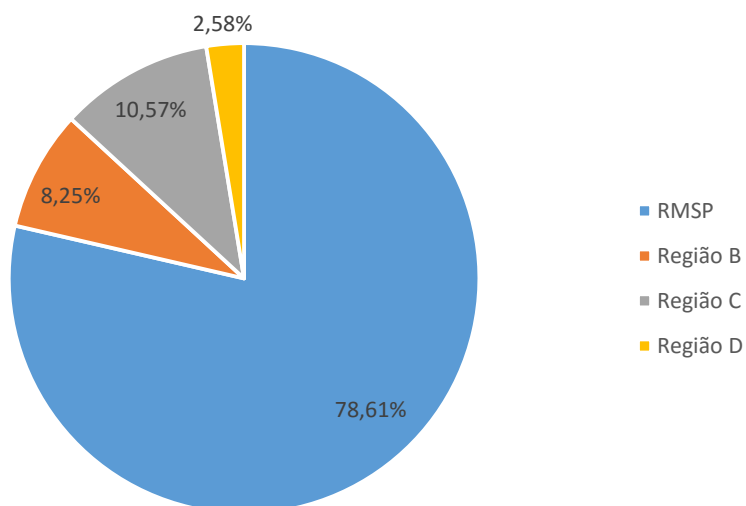
Nesse contexto, Rodrigues (2012) buscou obter um método de se predizer períodos onde a ocorrência de incidentes de danos às redes de gás por interferência de terceiros poderia ser mais intensa através da análise espectral de séries históricas, sendo o resultado expresso por meio de um modelo de harmônicas de diferentes

frequências e amplitudes, de forma a se conseguir agir adequadamente para prevenção dos mesmos.

Na pesquisa deste autor, conseguiu-se identificar que a série histórica analisada, a mesma apresentada na Figura 14, porém avaliada até novembro de 2010, era regida por quatro funções que seguiam ciclos de 64, 32, 8 e 7 meses, com confiança de 95%. Também foram observadas correspondências entre variáveis econômicas e o índice de danos, sendo sugerida a relação entre estes indicadores, dado que um maior desenvolvimento econômico gera necessidades de investimentos em infraestrutura que implica em um maior número de intervenções no subsolo.

A metodologia deste trabalho, apresentada no item anterior, prevê a avaliação dos incidentes apenas na Região Metropolitana de São Paulo. É importante ressaltar, que apesar do recorte realizado, esta região administrativa é a que apresenta o maior número de incidentes absolutos e a maior extensão de rede desta empresa distribuidora, sendo a evolução apresentada na Figura 14 representativa desta região, apesar de contemplar outras três regiões administrativas. Esta argumentação pode ser respaldada ao analisar a participação da RMSP no total de incidentes envolvendo interferências de terceiros no ano de 2015, apresentada na Figura 15.

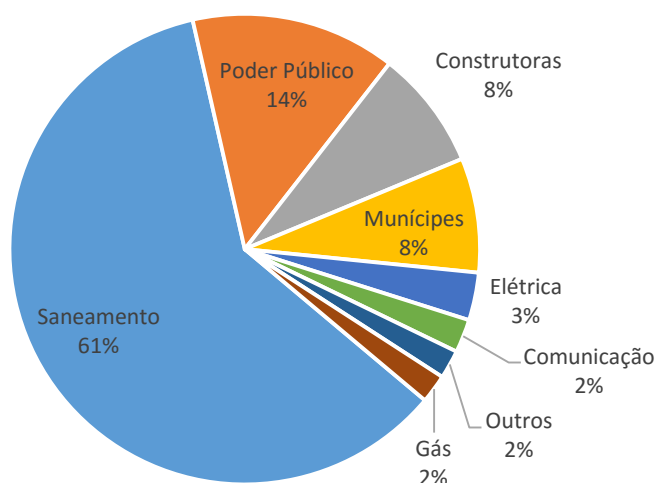
Figura 15 - Participação das diferentes regiões administrativas no total de incidentes envolvendo interferência de terceiros no ano de 2015.



Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora, adaptado.

Também foi avaliada a participação das diversas empresas interferentes no ano de 2015, sendo estas categorizadas por ramo de atuação, conforme apresentado na Figura 16. Destaca-se a prevalência dos danos causados às redes de gás por interferência de empresas atuantes no setor de saneamento, que somam 61% do total de incidentes registrados.

Figura 16 – Participação nas interferências ocorridas em 2015 por ramo de atuação



Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora, adaptado.

Este resultado antecipa, conforme observado pelo governo federal canadense (CANADA, 2013), que a prevenção de incidentes nas redes de distribuição de gás natural é uma responsabilidade compartilhada entre a empresa responsável pela distribuição de gás, as demais empresas interferentes no subsolo, o governo e a população, devendo todos antecipar, prevenir, gerenciar e mitigar as condições que podem gerar incidentes com estas infraestruturas.

Como forma de prevenção destes incidentes, Ribeiro (2003) elaborou um documento denominado como Procedimento de Segurança em Trabalhos de Escavação, que reúne conceitos técnicos e de segurança para os trabalhos de escavação, e dentre as condições mínimas citadas para atividades em locais públicos, a primeira é a pesquisa e identificação de interferências, como as redes de gás natural. Este autor cita que, mesmo em locais onde for realizada sondagem manual, devem ser consultados os órgãos que possam ter instalações subterrâneas presentes na área, e caso não seja possível a determinação destas infraestruturas

em campo, recomenda a utilização de equipamentos de detecção, como o georadar e o *pipe locator*.

Fora estas recomendações, as empresas distribuidoras de gás investem em Programas de Prevenção de Danos, cuja grande parte das práticas e ações é voltada para treinamento de funcionários de empresas interferentes com o subsolo, fornecimento de informações sobre o posicionamento dos gasodutos e métodos *in situ* de identificação da presença das redes de distribuição. Sendo assim, as ações de prevenção são extremamente dependentes da atuação dos funcionários diretamente envolvidos nas atividades operacionais de escavação e perfuração do solo.

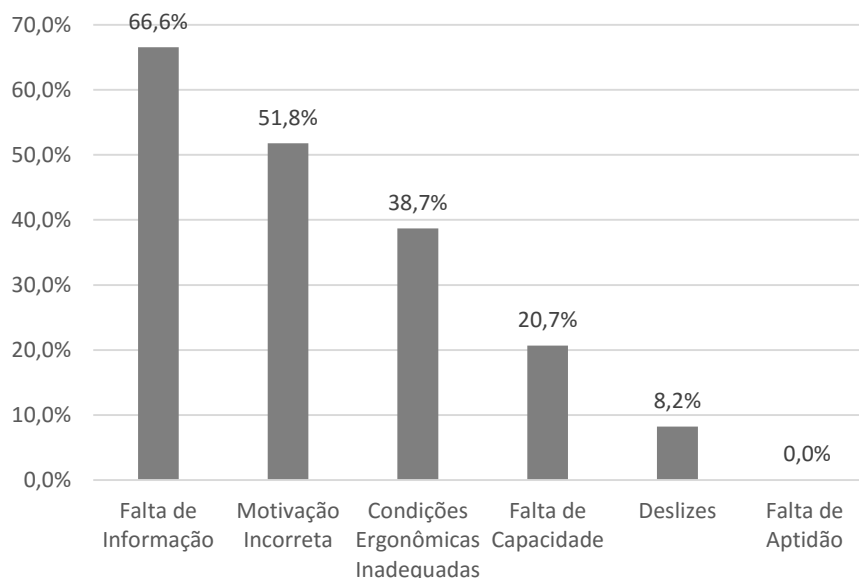
Entretanto, estes funcionários estão no local para execução de um serviço diverso da localização de redes de gás natural, sendo esta uma atividade secundária necessária para o desempenho de sua função com segurança. Todavia, os funcionários das empresas interferentes com o subsolo muitas vezes têm metas ligadas a produtividade, elevando o nível de tensão durante a atividade.

Sobre este tema, Lafraia (2008) apresenta a influência da tensão no erro humano, mostrando que o desempenho humano começa a declinar a partir de uma tensão moderadamente alta, também citando que o efeito de vigilância começa a declinar exponencialmente a partir da primeira meia hora. Os fatores causadores de tensão, segundo este autor, podem ser externos, como as horas de trabalho e descanso, além dos internos, como personalidade e as condições físicas.

Dado este cenário, todas as ocorrências de interferência de terceiros na rede de distribuição de gás envolvem diretamente o erro humano, porém a gênese deste erro em muitos casos é diversa.

Kletz (2001) sumariza, no tema do livro referenciado, que a mudança deve ser focada em situações, e não em pessoas. Com base neste paradigma, este trabalho buscou aplicar o conceito de hexágono de falhas como um meio de se detalhar as causas contribuintes e determinantes dos erros humanos observados nos incidentes envolvendo interferência de terceiros nas redes de distribuição de gás natural, por meio da análise dos casos registrados por uma empresa distribuidora de gás no período de um ano. Os resultados desta análise encontram-se expostos na Figura 17.

Figura 17 – Resultado da aplicação do hexágono de falhas aos incidentes registrados em 2015.



Fonte: Banco de dados de uso interno da empresa distribuidora, adaptado.

Primeiramente, foi verificado que em 76,4% dos 305 incidentes analisados em 2015 ocorreu multicausalidade de fatores, conforme previsto por Couto apud Lapa e Goes (2011).

Do total de incidentes, em 66,6% dos casos verificou-se a presença do fator relacionado à falta de informação. Foram classificados desta forma todos os incidentes em que foi constatada a inexistência de informações que permitiriam aos envolvidos nas obras conhecimento sobre o posicionamento do gasoduto. Considerou-se como tais situações a não presença de documento impresso do cadastro técnico das redes de gás no local da obra, a falta de demarcação com tinta no pavimento da indicação do posicionamento das interferências com a rede de gás ou a não solicitação de orientação técnica sobre a localização das redes à empresa distribuidora de gás.

Em 51,8% dos incidentes foi verificada a atuação do fator ligado à motivação incorreta. Classificaram-se nesta categoria as obras executadas por funcionários com ciência expressa dos procedimentos de segurança para atividades próximas às redes de gás, mas que não os executaram. Exemplos destas situações estão relacionadas à falta de identificação das redes de gás em campo e o descumprimento de procedimentos de orientação técnica, como solicitação de sondagens.

Os incidentes com a presença de motivação incorreta neste trabalho se assemelham com os incidentes por erro humano classificados por Kletz (2001) como causados por falhas no cumprimento de orientações, sendo que este autor levanta duas hipóteses para estes casos: o descumprimento de regras por gestores e o descumprimento de regras pelos operadores. Foge do âmbito deste trabalho, e também não se encontram subsídios nas informações coletadas para sua realização, a avaliação da gênese desta motivação incorreta, se oriunda da gestão das empresas, ou ações deliberadas dos funcionários empregados em atividades operacionais.

O terceiro fator de maior relevância nos incidentes avaliados foi o correlacionado às condições ergonômicas inadequadas, com presença em 38,7% dos casos. Encontram-se abrangidos nesta categoria os incidentes em que foram registradas informações incorretamente cadastradas pela distribuidora de gás como uma profundidade incorreta da rede de distribuição, utilização de equipamentos inadequados como barras de sondagem extremamente pontiagudas que perfuram a tubulação em polietileno, cadastros impressos pelas empresas em tamanho de folha reduzido e fornecidos às equipes de campo, impossibilitando a correta leitura dos mesmos, ou informações dúbias.

A agência britânica *Health and Safety Executive* (2014) elenca três níveis para a identificação e localização de interferências: estudo com informações documentais, estudo documental com visita de campo e visita com identificação física através da utilização de dispositivos de detecção para confirmação do posicionamento e profundidade das redes. Verifica-se que a aplicação destes três níveis de detecção de interferências é fundamental para a redução dos incidentes envolvendo as condições ergonômicas inadequadas, pois na maior parte dos casos avaliados, a identificação das interferências foi realizada no momento da atividade, sem projeto prévio de engenharia e apoiando-se exclusivamente em cadastros e sondagens manuais.

O fator relacionado à falta de capacidade esteve presente em 20,7% dos casos e foram classificados nesta categoria os incidentes envolvendo obras tocadas por funcionários autônomos não habilitados em intervenções no logradouro público e por empresas que desconheciam os procedimentos de segurança em intervenções com

vias que apresentam gás natural. Em todos os casos em que foi verificada a presença de falta de capacidade, também foi evidenciada falta de informação.

Empresas de infraestrutura com alto volume de obras e, conseqüentemente, alto número de incidentes por interferências na rede de gás, como as de determinados ramos de atuação evidenciados na Figura 16, são frequentemente visitadas por instrutores do Programa de Prevenção de Danos da distribuidora de gás. Estes instrutores realizam treinamentos de longa duração, inclusive práticos, e participam em diálogos diários de segurança destas empresas e contratadas, o que implicou na desconsideração da influência da falta de capacidade nos incidentes que envolvem tais empresas.

Evidenciou-se ainda que, na maior parte dos incidentes avaliados, os técnicos responsáveis pelo registro do incidente questionaram os funcionários envolvidos sobre o conhecimento dos procedimentos, sendo confirmado pelos mesmos o conhecimento prévio das informações passadas, caracterizando-se claramente que se trata de motivação incorreta.

Na categoria de deslizos foram enquadrados os incidentes em que a rede de gás mesmo identificada, sinalizada e, em alguns casos, visualmente exposta, o trabalhador ao realizar atividade próxima a ela causou um dano. Estes casos ocorrem, por exemplo, por utilização de ferramentas pontiagudas em uma atividade próxima ao gasoduto, em geral com uso de força excessiva, corte de raízes, escavação manual com auxílio dos pés ou barras de sondagem sem ponteiras plásticas.

Também existem casos em que os trabalhadores ao executarem ligação de ramal para saneamento (água ou esgoto) se confundem e iniciam a furação no ramal de gás. Estes casos ocorrem especialmente em locais antigos onde a rede de gás foi construída em ferro fundido, mesmo material das redes antigas das empresas de saneamento. Nestes locais os incidentes foram classificados como uma combinação de falta de informação (pois os trabalhadores em todos os casos não possuíam cadastro da rede de gás ou da de água), condições ergonômicas inadequadas (pela semelhança entre as tubulações) e deslizos (pois apesar disto, as tubulações possuem outras características que permitem sua diferenciação).

Os dados disponíveis capturados pela equipe da empresa de distribuição de gás no local do incidente não permitem uma avaliação do estado psicológico do trabalhador nem do histórico comportamental do mesmo, sendo assim, não foi possível classificar os trabalhadores envolvidos conforme a aptidão permanente ou temporária.

Sobre as responsabilidades e respostas do poder público enquanto responsável pelo subsolo urbano e muitas vezes autor das obras (diretamente ou através de contratadas), Silva e Machado (2001) defendem que este está longe de incorporar efetivamente suas competências no processo de regulação dos serviços em rede, exercendo suas prerrogativas, por exemplo, no que tange à segurança das instalações subterrâneas, e mesmo de conhecer o que existe em sua jurisdição. Propõem, desta forma, que devem existir duas alternativas de gestão para o setor: a primeira, através do fortalecimento dos órgãos municipais de controle dentro das administrações municipais e a segunda, através de um organismo privado que se responsabilize por manter atualizada uma base georreferenciada do subsolo conforme modelos já utilizados internacionalmente.

Verifica-se, dessa forma, uma coexistência de múltiplas causas que induzem a incidentes envolvendo a infraestrutura subterrânea e que expõem os seres humanos a diversas condições perigosas, principalmente no que tange ao dano envolvendo gasodutos. As possibilidades de atuação na busca de minimizar causas e efeitos desses eventos perpassam pela necessidade da elaboração de estudos e análises mais detalhados e baseados em ferramentas de segurança adequadas, além do envolvimento de múltiplos atores, o que torna mais dificultoso e moroso este processo.

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interferência de terceiros nas redes de gás natural, causando a perda de contenção deste produto, é uma condição perigosa presente diariamente em obras de infraestrutura realizadas nas vias públicas dos centros urbanos brasileiros, que, porém, é pouco estudada ou abordada em nosso país. Esta condição perigosa não afeta exclusivamente os trabalhadores envolvidos diretamente nos serviços de distribuição de gás natural, e sim, todos os que executam atividades que interferem

com o subsolo, como funcionários de empresas de saneamento, órgãos públicos e construtoras. Em geral, este segundo grupo de trabalhadores está menos preparado para um vazamento de gás natural do que os trabalhadores das empresas distribuidoras de gás, os quais dispõem de recursos e conhecimento para contornar tais situações de exposição.

Esta falta de interesse sobre o assunto no Brasil se reflete, por exemplo, na ausência de uma entidade que sistematize as informações sobre incidentes com redes de gás natural, como os relatórios elaborados pelo EGIG (2015) na Europa. Tais dados seriam fundamentais para que os estudos de análise de risco para implantação de redes de gás refletissem com fidelidade a realidade nacional.

Como abordado ao longo do trabalho, para a prevenção dos incidentes envolvendo interferência nas redes de distribuição de gás é necessária uma atuação compartilhada entre as empresas que prestam este serviço, os órgãos públicos, as demais empresas interferentes e a população. Um importante exemplo de atuação neste sentido são as ações constantes dos Programas de Prevenção de Danos executados por estas empresas distribuidoras.

Apesar destas ações terem contribuído com a disseminação dos procedimentos de segurança em atividades próximas às redes de gás, foi verificado neste trabalho, que na maior parte dos incidentes do ano de 2015, houve mais de um fator do conceito de hexágono de falhas que contribuiu para a ocorrência destes incidentes por meio de erro humano.

Em geral, estes fatores estão relacionados a falhas sistemáticas que contribuem com o erro humano dos trabalhadores envolvidos nas obras de infraestrutura, destacando-se os quatro mais recorrentes verificados neste trabalho: falta de informação, motivação incorreta, condições ergonômicas inadequadas e falta de capacidade.

A falta de informação ser o fator mais recorrente é uma situação crítica, pois os principais investimentos de prevenção das empresas de distribuição de gás são voltados à sinalização das redes, fornecimento de cadastro e orientação técnica, além de treinamentos às equipes operacionais de outras empresas de serviços públicos. Isto demonstra que esforços voluntários podem não ser suficientes para a

resolução deste quadro, sendo necessário, a exemplo de outros países, a implantação de estruturas unificadas para fornecimento de cadastros de todas as interferências e maior fiscalização do poder público sobre obras em vias públicas.

Com relação à motivação incorreta e à falta de capacidade, ambas envolvem questões culturais e comportamentais, a primeira sendo relacionada diretamente ao nível de maturidade da cultura de segurança das empresas que atuam em infraestrutura e a segunda à cultura do país em empregar funcionários não capacitados em obras que exigem capacitação mínima, como as intervenções em vias e passeios públicos.

Quanto às condições ergonômicas inadequadas foi evidenciado que as três etapas sugeridas pelo órgão britânico HSE, necessárias para a identificação de redes, não são completamente realizadas na maior parte das obras brasileiras, em especial, a terceira que recomenda a utilização de equipamentos para confirmação das informações indicadas nos cadastros, sendo esta, quando presente na obra, a única informação disponível.

A multicausalidade exposta também infere na necessidade de que sejam empregados métodos de análise e investigação de incidentes mais adequados ao cenário de intervenções no subsolo, explicitando as reais causas desses eventos, a fim de melhor direcionar ações de prevenção. Além disso, a questão exposta corrobora para a hipótese de que, sem colaboração mútua entre os diversos atores envolvidos neste cenário, as ações de prevenção serão deficientes em obter resultados efetivos.

Por fim, este trabalho buscou expor através da análise de uma fração dos incidentes ocasionados por interferências de terceiros nas redes de gás natural ocorridos em âmbito nacional que, apesar do erro humano ser a causa mais evidente e de percepção mais imediata, quatro fatores relacionados ao hexágono de falhas são os mais relevantes para a deflagração destes. Uma melhora neste panorama será significativamente percebida quando implantadas melhorias sistêmicas no processo de execução de obras em vias públicas, representando uma redução do risco de acidente ao trabalhador por exposição a vazamento de gás.

5 CONCLUSÃO

Os resultados expostos neste trabalho, as discussões realizadas e as considerações finais apresentadas subsidiam a conclusão de que o trabalho cumpriu com o objetivo de analisar os incidentes causados pela interferência de terceiros em redes de distribuição de gás na RMSP.

Conclui-se também que a utilização da ferramenta conceitual do Hexágono de Falhas demonstrou ser uma metodologia adequada e satisfatória para o cumprimento deste objetivo, recomendando-se, portanto, sua utilização em análises de incidentes análogos nesta e em outras regiões atendidas por redes de distribuição de gás natural.

REFERÊNCIAS

ABEGÁS. Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado. **Manual de boas práticas para prevenção de acidentes por interferência de terceiros em redes de distribuição de gás.** Rio de Janeiro, 2012. 41 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12712:** projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás natural. Rio de Janeiro, 2002. 78 p.

ALBUQUERQUE, V. A análise do acidente de trabalho e o fantasma do ato inseguro. **Jornal do Sintesp**, São Paulo, Sindicato dos Técnicos de Segurança do Trabalho no Estado de São Paulo – Sintesp, n. 28, 2010. p. 12-13.

AMERICAN PUBLIC GAS ASSOCIATION. **A brief history of natural gas.** Washington, 2015. Disponível em: < <http://www.apga.org/aboutus/facts>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Guia dos royalties do petróleo e do gás natural.** Rio de Janeiro, 2001. 156 p.

_____. Resolução ANP nº 16, de 17 de junho de 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 jun. 2008.

ASSALTO AO BANCO CENTRAL. Direção: Marcos Paulo. Produção: Walkiria Barbosa, Vilma Lustosa e Marcos Didonet. Rio de Janeiro: Total Entertainment, 2011. 1 DVD (104 min.), son., color. 14:26-14:58

BARROS, M. H. B.; SCANDELARI, L. Confiabilidade humana no trabalho: uma abordagem ergonômica na prevenção da falha humana em um processo de reestruturação produtiva. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. **Anais.** Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/878.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2016.

BINENBOJM, G. Transporte e distribuição do gás natural no Brasil. Delimitando as fronteiras entre as competências regulatórias federais e estaduais. **Revista**

Eletrônica de Direito Administrativo Econômico, Salvador, Instituto Brasileiro de Direito Público, n. 7, ago. 2006.

BRASIL. Lei Complementar nº 14, de 8 de junho de 1973. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 jun. 1973.

_____. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013**. Brasília, 2014. 181 p.

_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015**: ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 291 p.

CANADA. National Energy Board. **Excavation and construction near pipelines**. Calgary: NEB Library and Publication Services, 2013. 36 p.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma Técnica P4.261**: Risco de acidente de origem tecnológica – método para decisão e termos de referência. 2 ed. São Paulo, 2011. 140 p.

EGIG. **Gas pipeline incidents**: Ninth report of the European gas pipeline incident data group (period 1970-2013). Groningen (Netherlands), 2015. 61 p.

EMPLASA. **Indicadores**: Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <<http://www.emplasa.sp.gov.br/Emplasa/Indicadores/gsp.asp>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

EMTU. **Institucional**: Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/institucional/quem-somos/sao-paulo.fss>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **Avoiding danger from underground services**. 3 ed. Liverpool: HSE, 2014. 40 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2013. 156 p.

KLETZ, T. **An engineer's view of human error**. 3 ed. New York: Taylor & Francis, 2001. 281 p.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 4ª reimpressão. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008. p. 154-155.

LAPA, R. P.; GOES, M. L. S. **Investigação e análise de incidentes**: conhecendo o incidente para prevenir. São Paulo: Edicon, 2011. 367 p.

MACAULAY, D. **Subterrâneos da cidade**. 1 ed. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora, 1988. 109 p.

MIRANDA, V. A. A.; CABRAL, S. D.; HADDAD, A. N. TRIPOD: uma ferramenta de identificação e análise de riscos baseada nos acidentes. **Ação Ergonômica**, Associação Brasileira de Ergonomia – ABERGO, vol. 01, n. 03, set. 2002. p.9-20.

MONTEIRO, J. V. F.; DA SILVA, J. R. N. M. **Gás natural aplicado à indústria e ao grande comércio**. São Paulo: Blucher, 2010. 182 p.

ONU. United Nations Department of Economic and Social Affairs. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights**. New York, 2014. 32 p.

PADULA FILHO, H. N. **Prevenção contra danos**. São Paulo, Associação Brasileira de Tecnologia não Destrutiva, 14 fev. 2008. Palestra proferida no III Congresso Brasileiro de MND e I No-Dig Edição Latino-Americana, São Paulo, fev. 2008.

PETROBRAS. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ: Gás Natural (BR0404)**. Versão 4. Rio de Janeiro, 2014. 9 p.

RIBEIRO, W. M. Segurança em escavações. In: RIO PIPELINE CONFERENCE AND EXPOSITION, IBP475/03, 2003, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, 2003. 8 p. 1 CD-ROM.

RIO DE JANEIRO (Município). Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. **Rio começa a construir mapa do subsolo inédito no Brasil**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp/exibeconteudo?id=1712753>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

RODRIGUES, S. **Análise espectral de uma série histórica de danos sobre uma rede subterrânea de distribuição de gás natural em regiões metropolitanas no Estado de São Paulo**. 2012. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

ROMANO, M. A. S.; HATORI, A. C. A.; TUPINAMBÁ, N.; PALLAZO, S. **Proposta para o cadastro de interferências em São Paulo**. São Paulo, Companhia do Metropolitano de São Paulo, 28 Abr. 2014. Palestra proferida no Comitê Brasileiro de Túneis, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, São Paulo, 2014.

SÃO PAULO (Estado). Lei Complementar nº 94, de 29 de maio de 1974. Dispõe sobre a Região Metropolitana da Grande São Paulo. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 30 mai. 1974. Caderno Executivo, p. 9.

_____. Lei Complementar nº 1.139, de 16 de junho de 2011. Reorganiza a Região Metropolitana da Grande São Paulo, cria o respectivo Conselho de Desenvolvimento e dá providências correlatas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 17 jun. 2011. Seção 1, p. 1.

_____. Subsecretaria de Assuntos Metropolitanos. **Unidades Regionais: Região Metropolitana de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.sdmropolitano.sp.gov.br>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

SÃO PAULO (Município). MundoGEO#Connect Latin America recebe workshop da Siurb amanhã. **Diário Oficial [da] Cidade de São Paulo**, São Paulo, 30, mai. 2012. Capa.

_____. Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras. **Corredores, avenidas e ruas terão fios enterrados**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/convias/noticias/?p=190907>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

SEADE. Informações dos Municípios Paulistas. **Região Metropolitana de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/>>. Acesso em: 08 fev. 2016.

SILVA, A. F.; MATOS, A. C. Urbanismo e modernização das cidades: o “embellazamento” como ideal, Lisboa, 1858-1891. **Scripta Nova**: revista electrónica de geografía y ciencias sociales, Universidad de Barcelona, n. 69 (30), ago. 2000.

SILVA, R. T.; MACHADO, L. Serviços urbanos em rede e controle público do subsolo: novos desafios à gestão urbana. **São Paulo em Perspectiva**, Fundação Seade, vol.15, n. 01, jan. 2001. p.102-111.

SIMONOFF, J. S.; RESTREPO, C. E.; ZIMMERMAN, R. Risk management of cost consequences in natural gas transmission and distribution infrastructures. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Elsevier, vol. 23, n.2, mar. 2010. p. 269-279.

TARELLI, T. Tubulação de gás é perfurada durante obra e fere trabalhador. **Gazeta de Alagoas**, 04 set. 2015. Caderno Cidades. Disponível em: <<http://gazetaweb.globo.com/gazetadealagoas/noticia.php?c=272629>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

TOMAZ, S. R. Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos e Licenciamento Ambiental. In: CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Licenciamento Ambiental no Estado de São Paulo**: Cadernos da Gestão do Conhecimento. São Paulo: CETESB, 2013. p. 531-593.

USP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. **Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho**. São Paulo: Epusp/PECE, 2014. 173 p. Apostila para disciplina do curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, eST-101/STR-101 – Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho.

USP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. **Gerência de Riscos**. São Paulo: Epusp/PECE, 2015. Apostila para disciplina do curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, eST-701 – Gerência de Riscos.