

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

ÍCARO GALVÃO DE LIMA JR.

**APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS ÁRVORE DE FALHAS E ÁRVORE DE
EVENTOS NA GESTÃO DE RISCOS DE ACIDENTES EM OBRAS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

São Paulo

2012

ÍCARO GALVÃO DE LIMA JR.

**APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS ÁRVORE DE FALHAS E ÁRVORE DE
EVENTOS NA GESTÃO DE RISCOS DE ACIDENTES EM OBRAS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de Pós-graduação
Lato Sensu da Escola de Engenharia da
Universidade Presbiteriana Mackenzie,
como requisito parcial para a obtenção do
Título de Especialista em Engenharia de
Segurança do Trabalho.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Yara Maria Botti Mendes de Oliveria

São Paulo

2012

Carinhosamente dedico à minha esposa
Marcela, pelo apoio ao longo da
execução desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela harmonia do universo que serve de referência ao meu equilíbrio interior.

À Universidade Presbiteriana Mackenzie, pela oportunidade de trocar experiências com professores de elevada competência técnica e humana.

À Prof^a. Dr^a. Yara Maria Botti Mendes de Oliveria, pela orientação, pelo incentivo e pelas horas dedicadas à construção desse trabalho.

Ao Prof. M.Sc. Armando Augusto Martins Campos, por ter sido meu mentor nesse trabalho e por contribuir intelectualmente com o desenvolvimento conceitual do mesmo.

Ao colega Vitor Bruno, pela importante contribuição com o valor conceitual desse trabalho.

À minha esposa Marcela, por me entender e me motivar durante o curso de especialização.

À Consbem Construções e Comércio Ltda, pelo patrocínio e por acreditar em minha capacidade profissional.

Aos meus colegas de sala, pela a troca de experiências ao longo do curso.

RESUMO

O presente trabalho está contextualizado na identificação de riscos de queda de altura na construção civil através da aplicação das técnicas utilizadas em Mannan (2005) - Árvore de Falhas e Árvore de Eventos - de forma integrada. Tal integração resultou em uma Árvore Híbrida (vide apêndice), a qual serve de ferramenta para modelar riscos em trabalhos em altura. Foi escolhido o cenário operacional da construção civil para o desenvolvimento da análise da exposição de trabalhadores ao risco de queda buscando o melhor entendimento dos aspectos relacionados a esse risco. Os resultados dessa análise facilitam o entendimento do contexto dos acidentes já que são baseados na dinâmica conjunta do sistema de suporte do trabalhador - equipamento onde ele está apoiado - e os equipamentos de proteção individual. A modelagem desse cenário operacional facilita o entendimento dos aspectos relacionados ao risco de queda na execução de trabalhos em altura, o que possibilita a adoção de medidas de controle mais efetivas na prevenção de acidentes. O presente trabalho se limita a propor um modelo de análise. Por outro lado, possibilita a continuidade do estudo já que o resultado das diferentes aplicações pode ser organizado em um manual onde estariam estruturadas diretrizes para a construção da Árvore Híbrida em diferentes cenários operacionais. O conteúdo desse manual possibilitaria o início da análise quantitativa para alguns cenários operacionais onde haja disponibilidade de informações a serem utilizadas no processamento numérico do modelo.

Palavras-chave: Trabalho em altura. Árvore de Falhas. Árvore de Eventos. Queda de altura. Risco de queda. Construção civil.

ABSTRACT

This work is contextualized in identifying risks of falls from height in construction by applying the techniques used in Mannan (2005) - Fault Tree and Event Tree – seamlessly. Such integration resulted in a Hybrid Tree (see Appendix), which serves as a tool to model risks in work at height. It was chosen the operational scenario of the civil construction for the development of the analysis of worker exposure to the risk of fall seeking a better understanding of aspects related to this risk. The results of this analysis facilitate understanding of the context of accidents as they are based on the joint dynamics of the worker support system – equipment on which he is supported – and the personal protective equipment. The modeling of operational scenario facilitates the understanding of aspects related to fall risk in carrying out work at height, which enables the adoption of more effective control measures in preventing accidents. The present work is limited to propose an analysis model. On the other hand, it is possible to study different applications that could be organized into a handbook with guidelines for Hybrid Tree construction in different operational scenarios. This manual would enable the start of quantitative analysis for some operational scenarios where there is availability of information to be used in numerical processing model.

Keywords: Work at height. Fault tree. Event tree. Fall from height. Risk of fall. Civil construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro1: Símbolos utilizados na Árvore de Falhas	13
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição dos óbitos por acidente do trabalho	4
--	---

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
MET	Ministério do Trabalho e Emprego
NR-18	Norma Regulamentadora nº 18 do MET
SFIT	Sistema Federal de Inspeção do Trabalho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO	2
1.2	JUSTIFICATIVA	2
1.2.1	Mais uma morte por queda de altura	5
1.2.2	A nova NR para Trabalho em Altura	5
1.3	METODOLOGIA.....	7
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	8
2.1	O PROCESSO DO ACIDENTE	8
2.2	ÁRVORES LÓGICAS	9
2.3	ÁRVORES DE FALHAS.....	9
2.4	ÁRVORES DE EVENTOS	13
2.5	A NORMA REGULAMENTADORA Nº 18 (NR-18).....	14
3	DESENVOLVIMENTO DO MODELO: ÁRVORE HÍBRIDA	16
3.1	O ANDAIME SOB O PONTO DE VISTA DA ÁRVORE DE FALHAS	16
3.2	OS EPI'S SOB O PONTO DE VISTA DA ÁRVORE DE EVENTOS.....	17
3.3	O CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
3.4	ANÁLISE DE CASO REAL UTILIZANDO O MODELO PROPOSTO.....	18
3.4.1	Antes do início da queda livre do trabalhador	20
3.4.2	Após o início da queda livre do trabalhador	22
4	ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO MODELO	24
4.1	BENEFÍCIOS DO MODELO	24
4.2	RESTRICÇÕES DO MODELO	25
5	CONCLUSÕES	27
	REFERÊNCIAS	29
	APÊNDICE	30

1 INTRODUÇÃO

A construção civil possui características peculiares quando comparada com outras indústrias. A obra tem duração definida, ou seja, após sua finalização não haverá pessoas, ou canteiro de obra naquela localidade, mas somente o produto final do esforço de uma equipe de pessoas de origens diferentes que se reuniram para aquele propósito específico.

Alguns desses trabalhadores trouxeram experiência e conhecimento de outras obras. Outros nunca haviam trabalhado antes na construção civil e, mesmo assim, tiveram a oportunidade de remuneração condizente ao seu baixo nível de qualificação. Muitos deles nunca mais entrarão em um canteiro de obras. Segundo (ARAÚJO, 2008) existe um grande número de fatores que ocasionam a exposição do trabalhador ao risco de acidente. Dentre eles estão os de ordem social como os baixos salários que podem induzir à má alimentação e suas consequências. Dentre elas está degradação da saúde, o que pode aumentar a chance desse trabalhador se envolver em algum acidente.

Se as condições e meio ambiente de trabalho entre diferentes obras de edificações verticais podem mudar sensivelmente, é razoável esperar que tal mudança seja ainda mais marcante entre obras de maior complexidade como aquelas que atualmente acontecem no Brasil como obras de estádios, ferrovias, hidrelétricas, portos entre outros. Dessa forma, mesmo os trabalhadores mais experientes poderão se deparar com situações novas e poderão ser expostos a riscos ainda não conhecidos.

Empresas que executam obras estão sujeitas a riscos de acidentes que podem comprometer seus objetivos em relação à segurança do trabalho. As técnicas de gerenciamento de risco possibilitam tomadas de decisão baseadas na possibilidade de ocorrência de eventos e seus impactos sobre os objetivos de segurança da empresa (INTERNATIONAL, 2009).

Tais técnicas consistem na aplicação lógica e sistemática de métodos que cuidam da identificação, análise, avaliação, e tratamento de riscos associados à ocorrência de acidentes. Além de outros aspectos que abordam comunicação, monitoramento e registro de resultados.

O estudo sistemático dos riscos busca resposta para algumas questões. Que tipo de acidente pode acontecer? Quais as possíveis consequências? Existe alguma forma de

eliminar os riscos, ou minimizar a chance dele ocorrer? Como minimizar o impacto de um acidente caso ele ocorra?

As respostas para as questões acima podem ser obtidas através da utilização de ferramentas e técnicas apropriadas. A Árvore de Falhas e a Árvore de eventos são ferramentas que auxiliam no entendimento da relação causa – consequência que existe nos acidentes do trabalho na construção civil.

O trabalho propõe a análise de situações de risco através da utilização conjunta de duas ferramentas: Árvore de Falhas e Árvore de Eventos. Sendo que a primeira é focada no equipamento sobre o qual o trabalhador fica apoiado ao longo da execução do trabalho em altura. A Árvore de Eventos auxilia o estudo da prevenção da queda caso o trabalhador perca a sustentação durante o serviço.

Busca-se dessa maneira extrair os benefícios da superposição das duas ferramentas para a estruturação de uma análise que leva em consideração o equipamento que suporta o trabalhador e os equipamentos de proteção individual e coletiva necessários à execução das tarefas com segurança. Tal superposição objetiva auxiliar tanto os estudos preliminares à execução do trabalho em altura como as atividades de montagem e operação de todo o sistema de suporte e proteção do trabalhador.

1.1 OBJETIVO

Aplicar as técnicas Árvore de Falhas e Árvore de Eventos de forma integrada na análise da exposição de trabalhadores ao risco de queda de altura no contexto operacional da construção civil objetivando o melhor entendimento dos aspectos relacionados a esse risco.

1.2 JUSTIFICATIVA

O Brasil passa por uma época de intensa atividade no setor de construção civil. É grande o número de canteiros de obra no país para a construção de edifícios, infraestrutura e empreendimentos de grande porte como é o caso dos estádios de

futebol. Conseqüentemente o risco de ocorrer acidente do trabalho aumenta. O setor da Construção Civil é responsável por parcela considerável dos acidentes por queda de altura. Dessa forma, melhorias na gestão de saúde e segurança nesse setor são bem vindas.

Junia Maria de Almeida Barreto, Diretora do Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho da Secretaria de Inspeção do Trabalho em Brasília, citou no prefácio do livro (ANÁLISES ... 2008) que “...a morte por acidente do trabalho está distribuída em todas as faixas etárias, sendo o setor de maior incidência o da Indústria da Construção...”

Ela ainda enfatiza a falta de eficácia na prevenção de acidentes que envolvem queda. “...A prevalência das quedas e da exposição a forças mecânicas inanimadas como fatores relacionados à tarefa, nos indica que ainda são precárias as medidas de proteção para eventos simples e conhecidos...”.

As estatísticas de acidentes do trabalho são complementadas por relatórios de Auditores produzidos a partir da base de dados do SFIT. Tais relatórios trazem em seu conteúdo, além da experiência profissional da equipe de auditores, aspectos diretamente ligados à circunstância do acidente tais como testemunhos de quem presenciou o ocorrido e detalhes do cenário do acidente.

Dessa forma, é possível perceber aspectos causais dos acidentes. Conforme destacado em SEGUR (2008), constatou-se que as formas de organização do trabalho mesmo são os principais causadores de acidente. Sendo assim, ferramentas que auxiliam na identificação das possíveis causas de acidentes trazem importante contribuição nesse aspecto.

Tabela 1 :Distribuição dos óbitos por acidente do trabalho, segundo grupos da CBO (1994), analisados pela SEGUR/RS, agosto de 2001 a dezembro de 2007 . Fonte: SFIT

Grupo CBO	Descritor do Grupo de CBO (1994)s	Número de Óbitos AT	Frequência %
95	Trabalhadores da construção civil e assemelhados	75	33,63
85	Eletricistas, eletrônicos e assemelhados	19	8,52
62	Trabalhadores agropecuários polivalentes e assemelhados	13	5,83
99	Trabalhadores não-classificados sob outras epígrafes	13	5,83
72	Trabalhadores metalúrgicos e siderúrgicos	12	5,38
87	Encanadores, soldadores, chapeadores, caldeireiros e montadores de estruturas metálicas	9	4,04
55	Trabalhadores de serviços administrativos, conservação, manutenção, limpeza de edifícios, empresas comerciais, indústrias, áreas verdes, logradouros públicos e trabalhadores assemelhados.	8	3,59
97	Trabalhadores da movimentação e manipulação de mercadorias e materiais, operadores de máquinas de construção civil, mineração e assemelhados	8	3,59
93	Pintores	7	3,14
98	Condutores de veículos de transporte e assemelhados	6	2,63
65	Trabalhadores florestais	5	2,24
84	Ajustadores mecânicos, montadores e mecânicos de máquina, veículos e instrumentos de precisão	5	2,24
67	Operadores de máquinas e implementos de agricultura, pecuária e exploração florestal	4	1,79
77	Trabalhadores de preparação de alimentos e bebidas	4	1,79
83	Trabalhadores da usinagem de metais	4	1,79
	Outros	31	13,90
Total		223	100,00

Na Tabela 1, as atividades relacionadas à Construção Civil (CBO 95) trazem a maior contribuição para o número total de óbito no período analisado (33,63%), porém

esse valor aumenta se for considerada a influência de outros grupos que se encontram separados na tabela acima.

O Brasil passa por período de intensa atividade na construção civil. Conforme relatado em (REHDER, 2012), 40.779 trabalhadores sofreram acidente de trabalho grave no Brasil no período de janeiro a outubro de 2011. Esse valor representa um acréscimo de 10% no número de casos quando comparado com o mesmo período em 2010. Faleceram 1.143 do total de acidentados.

1.2.1 Mais uma morte por queda de altura

A construção civil tem importante contribuição nesse cenário segundo Rehder (2012, p C7): “... até meados de dezembro, 14 trabalhadores do setor morreram na cidade de São Paulo, mais que o dobro do número de todo o ano anterior (6).” A mesma fonte noticia a morte de um trabalhador que participava da obra de expansão do Hospital Oswaldo Cruz localizado no bairro da Bela Vista na cidade de São Paulo. O fato ocorreu no dia 30 de novembro de 2011. Enquanto executava serviço sobre andaime suspenso, o trabalhador caiu de uma altura de 8 andares. A vítima usava cinto de segurança, porém o mesmo não estava preso em um cabo de segurança.

1.2.2 A nova NR para Trabalho em Altura

Em breve, o Ministério do Trabalho e Emprego publicará Norma Regulamentadora sobre Trabalho em Altura. O texto técnico básico, (PORTARIA Nº 232, 2011), esteve em consulta pública o ano passado. Apesar de ainda não ser a Norma oficial, o texto traz aspectos importantes. A Norma objetiva garantir a segurança e saúde dos trabalhadores através do estabelecimento de requisito mínimos e medidas de proteção no planejamento, na organização, e na execução do trabalho em altura.

Dentre as responsabilidades que cabem ao empregador estão: assegurar a realização da Análise de Risco antes do início do trabalho em altura, monitorar as empresas contratadas em relação ao cumprimento das medidas de proteção, assegurar a

suspensão dos trabalhos em altura em situações de risco não previstas, e garantir a supervisão em todo trabalho em altura.

O material publicado ainda traz a exigência de carga horária mínima de 16 horas de treinamento prático e teórico com conteúdo mínimo. Esse treinamento deve ser reciclado a cada dois anos, ou em situações de afastamento por mais de 90 dias, nos casos de mudança nas condições operacionais, ou evidente necessidade de treinamento. Os instrutores devem comprovar proficiência no assunto. Profissionais qualificados em segurança no trabalho devem ser responsáveis pelo treinamento e pela emissão de certificado em nome do trabalhador.

A Análise de Risco deve considerar a necessidade de sistema de comunicação, deve reduzir o tempo de suspensão inerte do trabalhador pelo planejamento do resgate, deve prever autorização dos envolvidos, e, quando aplicável, considerar as condições meteorológicas. O texto também traz o conteúdo das Permissões de Trabalho a serem emitidas nos casos de atividades não rotineiras.

Foi definido o Fator de Queda como sendo a relação entre a distância que o trabalhador percorreria na queda e o comprimento do equipamento capaz de detê-lo (talabarte, por exemplo). Sendo assim, é obrigatória a utilização de amortecedor de queda quando o Fator de Queda for maior que um. Trata-se de uma novidade em relação ao antigo enfoque do trabalho em altura descrito na NR-18.

A criação de uma Norma Regulamentadora específica para trabalho em altura comprova a gravidade do problema de queda na construção civil conforme destacado por Gianfranco Pampalon em (PROTEÇÃO, 2011), “essa norma veio a calhar porque trabalho em altura é uma atividade de alto risco. Na construção civil corresponde a 49% do total de fatalidades...”. Hélio Carvalho, também em (PROTEÇÃO, 2011), destaca os bons resultados obtidos no setor elétrico após a adoção de métodos e equipamentos para trabalhos em altura. Segundo ele, “ essa prática precisa ser disseminada para outros tipos de trabalhos em altura e também por todo Brasil.”

1.3 METODOLOGIA

O cenário da construção civil é utilizado para identificar os aspectos que mais contribuem com o risco de queda ao qual um trabalhador está exposto durante a execução de tarefa em altura.

Tais aspectos são analisados conforme as técnicas da Árvore de Falhas e Árvore de Eventos que são combinadas possibilitando uma visão integrada entre o equipamento utilizado para posicionar o trabalhador no local da realização da tarefa e os equipamentos de proteção aplicados à situação em estudo.

O resultado dessa análise possibilita identificar possíveis causas de acidentes, o que facilita a estruturação de medidas de controle eficazes, pois são baseadas na dinâmica conjunta do sistema de suporte do trabalhador, que é composto pelo equipamento onde ele está apoiado e os equipamentos de proteção por ele utilizados.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Não há significado em atribuir uma única causa ao acidente em uma investigação segundo Mannan (2005). O acidente principal normalmente é precedido por quase acidentes. Diferentes técnicas podem ser muito úteis nesse contexto. As árvores lógicas podem ser utilizadas nas fases iniciais da investigação. Evidências são obtidas para confirmar, ou eliminar um cenário proposto. A Árvore de Falhas é um tipo de árvore lógica. Sua construção se inicia com o evento a ser estudado que é desenvolvido do topo para baixo. Outro tipo é a Árvore de Eventos onde o evento inicial é o ponto de partida para o estudo das consequências a partir desse evento. As duas técnicas são utilizadas tanto com enfoque qualitativo como quantitativo. Ambas estão contextualizadas na Norma Regulamentadora nº 18 do Ministério do Trabalho e Emprego que trata das condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Ela estabelece a identificação dos riscos aos quais os trabalhadores estão envolvidos no cenário operacional da Indústria da Construção.

2.1 O PROCESSO DO ACIDENTE

Existem alguns temas recorrentes na investigação de acidentes que revelam muito sobre o processo do acidente, observa Mannan (2005). Primeiramente, apesar de em alguns relatórios de investigação de acidente, ser requerida a causa do acidente, parece não ter significado atribuir uma única causa ao acidente já que o mesmo pode ter ocorrido devido a uma particular combinação de circunstâncias. Em segundo lugar, é frequente perceber que o acidente principal foi precedido por quase acidentes.

Segundo Campos (2011, pg 157), “os riscos de acidentes são representados por armadilhas (deficiências) nas instalações ou em máquinas e equipamentos”. É importante modelar o processo do acidente para o melhor entendimento dos fatores que possam contribuir para o mesmo e as medidas a serem tomadas para evitá-lo. São necessários modelos que evidenciem os diferentes aspectos do acidente com maior clareza. Dessa forma, independente do modelo de análise do acidente utilizado, é

fundamental que a investigação resulte na identificação da causa raiz e que recomendações sejam definidas e implementadas.

2.2 ÁRVORES LÓGICAS

Árvores lógicas possibilitam diferentes aplicações em investigações de acidentes. São geralmente desenvolvidas de forma iterativa segundo Mannan (2005). Elas podem ser utilizadas nas fases iniciais da investigação. Possíveis razões, condições e eventos podem ser esquematizados para auxiliar a identificação do cenário que causou o acidente. Tais informações podem sinalizar quais informações adicionais ou evidências devem ser obtidas para confirmar, ou eliminar um cenário proposto.

2.3 ÁRVORE DE FALHAS

Em Mannan (2005) é possível constatar que uma Árvore de Falhas é utilizada para conhecer as causas de um evento. Ela começa com o evento a ser estudado, que pode ser uma situação perigosa ou uma falha em equipamento, por exemplo. A partir daí o evento é desenvolvido do topo da árvore para baixo. A Árvore de Falhas é uma técnica tanto qualitativa como quantitativa. É utilizada de forma qualitativa para identificar os possíveis caminhos que podem conduzir ao evento topo. Sua utilização quantitativa se dá através da possibilidade de estimar a frequência, ou probabilidade do evento topo ocorrer.

O método da Árvore de Falhas pode ser utilizado como complemento de outros métodos que objetivam a identificação de perigos. Além disso, pode ser utilizado no desenvolvimento de projeto que exigem alta confiabilidade - usinas nucleares, por exemplo - já que são necessárias várias camadas de proteção a serem incorporadas em sua construção.

Podem ser utilizados dados históricos nas análises quantitativas da Árvore de Falhas. As informações numéricas inexistentes em trechos da árvore podem ser então obtidas através de cálculo que consideram como entrada os dados históricos

provenientes de estatísticas de acidentes ocorridos em cenários semelhantes ao estudado.

O conceito original da Árvore de Falhas foi desenvolvido no Laboratório “Bell Telephone” durante trabalho na avaliação de segurança do sistema de controle “Minuteman Launch” na década de 60 como descrito em Mannan (2005). A técnica começou a despertar maior interesse a partir de um simpósio em 1965 onde trabalhadores da “Bell Telephone” e da Companhia Boeing descreveram o trabalho desenvolvido por eles.

Ocorreram desenvolvimentos na síntese da árvore, e na análise da mesma para produzir o mínimo de ramificações até o evento topo. Além de melhorias na avaliação da frequência e probabilidade de ocorrência do evento topo. Foram também desenvolvidas ferramentas relacionadas à manutenção, falhas secundárias, aspectos de tempo, entre outros.

Segundo Fussell (1976) o método da Árvore de Falhas é uma valiosa ferramenta por:

- a) Auxiliar na identificação de uma falha de forma dedutiva;
- b) Apontar os aspectos importantes do sistema em relação à falha em estudo;
- c) Oferecer auxílio gráfico aos gestores do sistema que não puderam participar das mudanças de projeto que ocorreram;
- d) Oferecer opções para análise qualitativa, ou quantitativa de confiabilidade de sistemas;
- e) Possibilitar o foco em uma possível falha do sistema por vez;
- f) Possibilitar o entendimento do comportamento do sistema;

Existem algumas dificuldades para se trabalhar com a Árvore de Falhas. São necessários analistas capacitados e grande dedicação para a obtenção de bons resultados. Apesar dela ser uma excelente ferramenta, ela não garante a identificação de todas as falhas.

O estudo do comportamento de um sistema pode utilizar uma árvore lógica como ferramenta orientada sob o ponto de vista do sucesso, ou da falha do mesmo. Uma Árvore de Falhas faz parte do último tipo onde são considerados eventos indesejáveis que são estudados objetivando a identificação de suas causas.

É importante considerar a distinção entre falha e defeito no sistema em estudo. Segundo Mannan (2005), a falha é um estado incorreto que pode ter sido ocasionado por um defeito em componente ou ter sido induzido por alguma influência externa.

Sendo assim, a falha é mais abrangente que o defeito. Todo defeito é uma falha, mas nem toda falha se dá por um defeito. Um componente de uma Árvore de Falha tem estados binários: correto ou no incorreto. O estado do componente que constitui uma falha é essencialmente aquele estado (situação) que induz a falha em estudo.

Por ser uma árvore lógica, a Árvore de Falhas é uma representação do conjunto de situações do sistema que são consistentes com o evento topo em um determinado instante. Na prática, uma Árvore de Falhas é geralmente usada para representar uma situação do sistema que se desenvolveu durante um período finito de tempo, mesmo que tenha sido curto. Esse instante é importante para a aplicação da álgebra Booleana. A aplicação da álgebra Booleana requer a consideração de situações contemporâneas do sistema.

Falhas são classificadas por Mannan (2005) como primárias, secundárias, ou mandatórias. Uma falha primária é aquela que ocorre quando um componente está sob condições para as quais ele foi projetado, ou qualificado. Uma falha secundária ocorre quando o componente fica sob condições para as quais não é qualificado. Uma falha mandatória envolve a operação apropriada do componente no período de tempo errado, ou no local inadequado.

Existe diferença entre mecanismo de defeito, modo de defeito e efeito do defeito. O mecanismo do defeito é a causa do defeito em um modo particular e o efeito do defeito é o próprio efeito. Por exemplo, o defeito de um interruptor de lâmpada pode ocorrer da seguinte forma:

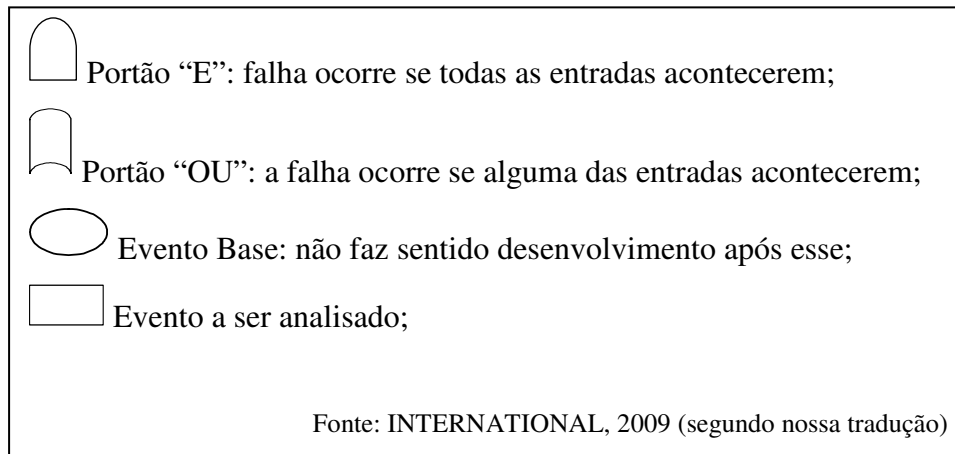
- a) Modo de defeito: alta resistência de contato;
- b) Mecanismo do defeito: corrosão;
- c) Efeito do defeito: interruptor na faz contato;

Alguns componentes são passivos e outros ativos. Itens como tanques e dutos são passivos enquanto outros, como válvulas e bombas, são ativos. Um componente passivo em um transmissor ou receptor em um processo de propagação de falha, o ativo pode ser um iniciador. Em geral, a taxa de defeito de um componente passivo é normalmente duas ou três ordens de grandeza menor que a de um componente ativo.

Existe uma distinção a ser feita entre a ocorrência de uma falha e a existência de uma falha. Atenção deve ser voltada para a frequência com a qual, ou a probabilidade de que, uma falha ocorra, ou seja, atenção deve ser dada a não confiabilidade, ou à probabilidade de que, em algum dado momento, o sistema esteja em um estado de falha, ou seja, indisponível.

O caso mais simples é a definição da confiabilidade de um sistema irreparável. Isso, às vezes, é conhecido como o problema da missão: o sistema foi enviado para uma missão em que componentes que falham não são consertados. O exemplo óbvio são as missões espaciais, mas existem casos nas indústrias de processo que podem se aproximar disso, como é o caso das estações remotas ou módulos submarinos de mar aberto. A disponibilidade de sistemas irreparáveis pode também ser determinada, mas a disponibilidade de longo prazo tende a zero.

Contudo, sistemas de processo são geralmente reparáveis. Dessa forma, confiabilidade e disponibilidade podem ser importantes. Se a preocupação estiver centrada na frequência de ocorrência de um perigo, a confiabilidade é relevante. Se, por outro lado, a preocupação for o fracionamento do tempo de operação de algum equipamento, é a disponibilidade que acarreta maior preocupação.



Quadro 1: Símbolos utilizados na Árvore de Falhas

2.4 ÁRVORE DE EVENTOS

Uma árvore de eventos é utilizada para estudar as conseqüências de um evento. Ela começa a ser construída a partir de um evento inicial como uma queda de energia, ou a ruptura de uma tubulação, por exemplo, e é construída de baixo para cima, ou da esquerda para a direita. A Árvore de Eventos é uma técnica tanto qualitativa como quantitativa segundo Tavares (2010). Ela é utilizada de forma qualitativa para identificar as decorrências do evento inicial. O enfoque quantitativo é utilizado para estimar a freqüência ou probabilidade de cada decorrência.

Uma Árvore de Eventos é construída através da definição de um evento inicial e suas conseqüências. O evento inicial geralmente é posicionado ao lado esquerdo e as ramificações da árvore são desenhadas na direita. Cada ramo representa as diferentes sequências de eventos e termina em uma conseqüência. Segundo Mannan (2005), os principais elementos da árvore são as definições dos eventos e os pontos de ramificação. Tais pontos também são conhecidos como vértices lógicos. O evento inicial normalmente é expresso na forma de freqüência de ocorrência e as ramificações como probabilidades. Sendo assim, as implicações finais são também expressas como freqüência.

Cada ramificação da Árvore de Eventos representa uma situação definida. A árvore é um meio para se estimar a freqüência da implicação para aquela situação. Ela é utilizada com um conjunto de modelos de acidentes para o estudo das conseqüências

naquele cenário. É comum utilizar-se a ramificação binária ao invés das múltiplas ramificações. Nesse caso são utilizadas as respostas “SIM” e “NÃO” nessas ramificações para representar cada implicação do evento inicial

2.5 A NORMA REGULAMENTADORA Nº 18 (NR-18)

A Norma Regulamentadora nº 18 do Ministério do Trabalho e Emprego trata das condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Ela estabelece diretrizes que auxiliam o planejamento de medidas de controle e sistema de prevenção a serem implementados na Indústria da Construção.

O item 18.13 (NR-18) trata das medidas de proteção contra quedas de altura. É citada a obrigatoriedade da instalação de proteção coletiva caso exista risco de queda da pessoa que estiver executado um serviço, ou de material utilizado nesse serviço. São definidas as principais características do guarda corpo utilizado como anteparo rígido:

- a) Altura do travessão superior: 1,20m;
- b) Altura do travessão intermediário: 0,70m;
- c) Altura do rodapé: 0,20m;
- d) Fechamento resistente dos vãos entre os travessões;

O item 18.15 (NR-18) trata de andaimes e plataformas de trabalho. É clara a exigência de profissional legalmente habilitado capaz de desenvolver o projeto do andaime a ser utilizado levando-se em conta sua estrutura de sustentação e fixação. A norma também evidencia a necessidade do andaime suportar com segurança as cargas de trabalho às quais está sujeito na execução do serviço.

Nas atividades de montagem e desmontagem do andaime são exigências: qualificação do montador no tipo de andaime a ser operado; uso de cinto de segurança; utilização exclusiva de ferramentas manuais e identificação da data do exame ocupacional e treinamento em montagem e desmontagem de andaime.

A norma trata da importância da operação adequada do andaime. Não devem ser utilizadas escadas e outros meios para chegar a locais mais altos apoiados no piso do andaime. Além disso, o acesso ao andaime deve ser feito de maneira segura. Podem ser utilizadas escadas metálicas, escadas do tipo marinheiro, ou escadas para uso coletivo.

Todas elas devem ser especificadas e montadas visando acesso seguro ao local de trabalho.

Os andaimes suspensos devem ser identificados com placas contendo informações sobre a carga máxima de trabalho permitida. A instalação e manutenção desse equipamento deve ser feita por trabalhador qualificado e supervisionada por técnico legalmente habilitado, o qual deve também garantir a obediência às especificações técnicas do fabricante. Procedimentos operacionais, dispositivos e equipamentos específicos devem garantir a estabilidade do andaime.

O item 18.23 (NR-18) trata dos EPI's. É obrigatório o fornecimento gratuito do EPI adequado ao risco que o trabalhador estiver exposto. Deve ser utilizado cinto de segurança tipo pára-quedista na execução de serviços que a mais de 2,00m de altura do piso em situações onde haja risco de queda. O cinto deve possuir trava-quezas e estar ligado a cabo de segurança independente da estrutura do andaime.

3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO: ÁRVORE HÍBRIDA

Este trabalho busca propor um modelo de identificação de riscos de queda de altura no contexto da construção civil através do desenvolvimento de uma Árvore Híbrida (vide apêndice) obtida a partir da utilização conjunta das técnicas Árvore de Falhas e Árvore de Eventos. A Árvore Híbrida proposta pretende sugerir uma forma estruturada de análise preventiva para trabalhos em altura. Pretende-se com isso auxiliar a modelagem das situações de risco que o trabalhador fica exposto na execução de trabalhos em altura. As árvores apresentadas nesse trabalho não são esquemas fixos a serem utilizados em operações semelhantes às ilustradas. Elas representam um método de modelagem dos riscos de queda presentes em trabalhos em altura. Sendo assim, o que vale é o método de análise proposto e não os esquemas gráficos em si. Eles são importantes somente na ilustração da aplicação do método.

Tanto a Árvore de Falhas como a Árvore de Eventos possibilitam análise qualitativa e quantitativa do cenário estudado. Este trabalho busca estudar a identificação dos riscos aos quais os trabalhadores ficam expostos ao executar serviços em altura. O modelo proposto possibilita a análise estruturada do comportamento do sistema onde está inserido o trabalhador. Dessa forma, é possível perceber a relação entre os vários elementos que podem implicar na queda de altura. O estudo desenvolvido ao longo do trabalho utiliza somente a análise qualitativa proposta pelos métodos adotados como referencial teórico. A análise quantitativa não é considerada nesse trabalho, mas pode ser tema para continuidade do estudo.

A construção da Árvore Híbrida (vide apêndice) é iniciada pela identificação do evento fundamental. No presente trabalho esse evento é representado pelo início da queda livre do trabalhador. O evento fundamental é aquele do topo do diagrama sob o ponto de vista da Árvore de Falhas. Já no desenvolvimento da Árvore de Eventos, o evento fundamental coincide com o evento inicial.

3.1 O ANDAIME SOB O PONTO DE VISTA DA ÁRVORE DE FALHAS

Mannan (2005) classifica os modos de falha mais comuns em grupos conforme a similaridade de ocorrência na indústria química e petroquímica. Tal classificação leva em conta dois grandes grupos de modos de falha: engenharia e operações. O primeiro é subdividido em projeto e construção. O segundo em procedimental e ambiental. A partir daí são identificados os diferentes modos. Essa estrutura foi utilizada como referência no desenvolvimento da árvore lógica desse trabalho.

A construção do modelo começa com o início da queda livre do trabalhador (vide apêndice). A partir daí são desenhadas as ramificações da Árvore de Falhas, a qual é utilizada no estudo do andaime. Ela é desenvolvida de cima para baixo até chegar ao evento base, que é representado por uma figura arredondada. A partir dela, a análise não agregada ganhou expressivos nesse estudo específico, mas poderia fazer sentido em outras situações. São utilizados os portões lógicos “OU” / “E” na representação das relações entre os eventos ao longo da árvore.

3.2 OS EPI'S SOB O PONTO DE VISTA DA ÁRVORE DE EVENTOS

O desenvolvimento das ramificações para analisar os EPI's, se dá a partir do início da queda livre do trabalhador (vide apêndice). A Árvore de Eventos é construída da esquerda para a direita a partir desse evento. São estudadas as possíveis decorrências do início da queda. Ramificações binárias, cujas respostas são “SIM”, ou “NÃO”, são esquematizadas a partir de eventos relevantes para o estudo desenvolvido. O resultado dessa construção é o conjunto das possíveis consequências do evento inicial.

3.3 O CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A análise de acidentes ocorridos é uma importante ferramenta para o aperfeiçoamento dos sistemas de gestão de saúde e segurança das empresas, pois serve de referência para melhorias na concepção e projeto de máquinas, equipamentos e produtos visando a execução de tarefas com mínimo risco de acidentes. A experiência

acumulada a partir da análise de acidentes melhora o resultado da reflexão sobre a prevenção.

O estudo desenvolvido em (ANÁLISE ... 2008) tomou como base o SFIT no período de agosto de 2001 a dezembro de 2007. Além disso, tomou como referência a revisão de grande acervo documental. O SFIT é uma base informatizada com abrangência nacional e acesso restrito. Ele armazena informações referentes às ações fiscais com estrutura codificada. A partir de agosto de 2001 o MTE incluiu relatórios de análise de acidentes nessa base de dados. Foi definida estruturação padrão mínima para os relatórios visando facilitar a consulta desses trabalhos. Sendo assim, Auditores-Fiscais do MTE e outros profissionais podem ter contato com informações capazes de otimizar o tempo na obtenção de conclusões referentes a acidentes ocorridos. Os relatórios tomam como base as seguintes diretrizes:

- a) Variação das atividades desenvolvidas pelas empresas ao longo do tempo de forma planejada, ou não;
- b) Consideração da importância da diferença entre o trabalho que deve ser realizado segundo instruções pré definidas e a real execução do mesmo;
- c) Acidente como consequência do mau desempenho de um sistema de gestão que não consegue garantir a prevenção após mudanças ocorridas pela interação de diversos fatores;
- d) A culpa atribuída às vítimas de acidentes é criticada;

Esses relatórios são referência para ações preventivas, mas também são utilizados em ações regressivas movidas pelo INSS, em apuração de responsabilidades executadas pela Coordenadoria das Promotorias Criminais, em instrução de inquéritos nas Delegacias de Polícia e em ações cíveis movidas por vítimas, familiares, sindicatos, entre outros.

3.4 ANÁLISE DE CASO REAL UTILIZANDO O MODELO PROPOSTO

A análise do caso descrito abaixo – publicada em (ANÁLISE ... 2008) - objetiva oferecer um cenário real para a busca de elementos que possam dar subsídios à construção da árvore lógica objeto desse trabalho (vide apêndice). A utilização do embasamento teórico exposto anteriormente e a percepção promovida a partir da leitura

da análise de um caso real, proporcionam boa contextualização para o desenvolvimento de modelo capaz de auxiliar o estudo da dinâmica dos riscos de queda aos quais ficam expostos os trabalhadores que executam tarefas em altura.

O serviço de pintura de fachada de um prédio de doze andares em construção foi terceirizado. Um dos trabalhadores dessa empresa caiu do andaime enquanto executava o serviço. No dia 20 de abril de 2005, os dois trabalhadores designados para executar o serviço de pintura entraram no andaime a partir da cobertura do edifício. O trabalhador que sobreviveu relatou que ambos prenderam o cinto de segurança no trava quedas quando já estavam dentro do andaime.

Finalizado o serviço no 12º andar o andaime foi posicionado no andar inferior e fizeram uma pausa para o café. Na ocasião, um deles saiu do andaime durante a pausa e retornou logo em seguida, mas não engatou o cinto de segurança no trava queda. Seu colega não saiu do andaime e continuou conectado ao trava-quedas pelo cinto de segurança. Ele foi até o lado onde estava seu companheiro para pegar uma espátula. Nesse instante, viu seu colega cair através do piso do andaime.

Conforme analisado em (ANÁLISE ... 2008), os fatores que contribuíram para o acidente foram:

- a) Montagem incorreta do andaime;
- b) Equipamento mal projetado;
- c) Não havia manual de operação, ou instruções do fabricante;
- d) Não havia supervisão durante a operação;
- e) Não houve treinamento suficiente;
- f) O cinto de segurança não foi fixado no trava quedas;

O acidente ocasionou a interdição dos andaimes. Os Auditores Fiscais fizeram exigências para suspender a interdição. Tais exigências foram baseadas nos itens da NR-18 conforme indicado entre parênteses abaixo:

- a) ART de fixação e sustentação dos andaimes (18.15.1);
- b) Correta utilização dos contrapesos para fixação do andaime (18.15.32.4);
- c) Piso sem aberturas, fixo e resistente (18.15.3);
- d) Correta instalação de guarda corpo e rodapé (18.15.6);
- e) Cinto de segurança tipo pára-quedista conectado a trava-quedas (18.23.3.1);
- f) Tela arame do guarda-corpo fixada pela parte de dentro do andaime (18.13.5.c);
- g) Cabo de segurança adicional do andaime fixado de forma correta (18.15.44);
- h) Proteção instalada na caixa do equipamento de içar (18.15.42);

Principais fundamentos, conforme NR-18 (itens citados entre parênteses), para o auto de infração lavrado contra o Contrate:

- a) Não existência de contraventamento para impedir deslocamento horizontal dos contrapesos do andaime (18.15.32.4);
- b) Piso de trabalho sem forração completa e fixado de forma segura (18.15.3);
- c) Guarda corpo e rodapé deficientes (18.15.6);
- d) Contrapeso sem marcação indelével de peso (18.15.32.4-c);
- e) Contrapeso possibilita variação de forma ou peso (18.15.32.4-a);

3.4.1 Antes do início da queda livre do trabalhador

Conforme o modelo de Árvore Híbrida proposto (vide apêndice), a sustentação do andaime depende de sua operação, das condições ambientais do local onde o serviço está sendo executado, do projeto do andaime e de sua construção. A falha em um desses aspectos pode fazer com que o trabalhador fique sem sustentação. O que pode ocasionar o início de sua queda livre.

A correta operação do andaime depende da correta execução dos procedimentos de serviço. Alterar a posição de trabalho do andaime conforme práticas de segurança é um exemplo de procedimento adequado. A correta operação também depende de supervisão eficaz (vide apêndice). O Técnico de Segurança do Trabalho também tem essa função. O modelo proposto considera a manutenção do andaime um item da operação. Pequenos reparos, substituição de componentes danificados, proteção da superfície de peças e lubrificação são alguns exemplos de ações de manutenção importantes para a prevenção de falhas na operação.

O andaime pode perder sustentação caso fique sob a influência de condições ambientais desfavoráveis. Vento forte, altas ou baixas temperaturas, chuva intensa, vibração ou instabilidade da estrutura onde está fixado (vide apêndice). Além da influência direta dessas forças sobre a estrutura do andaime, elas também atuam sobre o trabalhador. O contato direto do andaime com a estrutura onde está fixado resulta na propagação da vibração. Essa vibração pode comprometer a estabilidade de algum elemento do andaime.

Falhas de projeto podem comprometer a capacidade de suporte do andaime. Elas podem ocorrer devido a falhas na modelagem de cargas para as diferentes configurações do andaime ao longo da execução do serviço. Por outro lado, mesmo que a modelagem tenha sido correta, a incorreta especificação de componentes pode ocasionar alguma falha (vide apêndice).

Falhas na construção podem ocorrer devido à fabricação inadequada, ou pela instalação (montagem) incorreta do andaime. O processo produtivo dos componentes do andaime pode apresentar não conformidades. Ou seja, alguns elementos podem não atender aos requisitos definidos (vide apêndice). A solda incorreta é um exemplo desse tipo de problema. Por outro lado, a montagem do andaime no local onde do serviço contribui com o bom desempenho do item construção. A correta supervisão durante a montagem (vide apêndice) é importante para assegurar sua capacidade de suporte. O Técnico de Segurança do Trabalho é um profissional importante nessa operação. O projeto do andaime pode trazer diretrizes para o teste de estabilidade a ser feito antes da liberação para utilização.

O bom desempenho de um guarda corpo garante que o trabalhador seja mantido sobre a superfície do andaime caso alguma força o jogue para fora (vide apêndice). Ou seja, caso o trabalhador perca o equilíbrio ao longo da execução do serviço, o guarda corpo deve funcionar para evitar que o mesmo ultrapasse o limite imposto por esse EPC.

O modelo proposto (vide apêndice) analisa o guarda corpo em uma ramificação da árvore diferente daquela que considera o andaime propriamente dito. As considerações acima não levaram em conta nenhum EPC. Dessa forma, busca-se dar mais evidência a esse tipo de equipamento de proteção. Vale observar que o portão lógico “E” aparece nessa ramificação da árvore. O trabalhador ultrapassa o limite do guarda corpo somente se ele perder o equilíbrio e o guarda corpo não funcionar.

Conforme representado no modelo (vide apêndice), o guarda corpo não funciona se ocorrer falha de projeto, ou se a manutenção for inadequada, ou se houver falha na construção do mesmo. Falhas de projeto podem comprometer a estabilidade do guarda corpo. Elas podem ocorrer devido a falhas na modelagem dos esforços para diferentes configurações ao longo da execução do serviço. Por outro lado, mesmo que a modelagem tenha sido correta, a incorreta especificação de componentes pode ocasionar alguma falha. Pequenos reparos, substituição de componentes danificados, proteção da

superfície de peças e lubrificação são alguns exemplos de ações de manutenção importantes para garantir o bom funcionamento do guarda corpo.

Falhas na construção podem ocorrer devido à fabricação inadequada, ou pela montagem incorreta do guarda corpo (vide apêndice). O processo produtivo do guarda corpo pode apresentar falhas. A montagem do guarda corpo contribui com o bom desempenho do mesmo. A correta supervisão durante a montagem é importante para assegurar sua estabilidade. A supervisão de montagem pode ser realizada por um Técnico de Segurança do Trabalho. O projeto do andaime pode trazer diretrizes para o teste de estabilidade do guarda corpo a ser feito antes da liberação para utilização.

Foi desenvolvida uma ramificação específica para a análise dos aspectos de saúde no contexto em estudo (vide apêndice). A execução de serviço em posição inadequada ou a condição física debilitada podem fazer com que o trabalhador perca o equilíbrio. Diabetes e pressão alta são doenças que podem ocasionar vertigens e até desmaios. Da mesma forma, o consumo de álcool, ou drogas também pode ter esses efeitos no trabalhador. Além disso, condições ambientais como vento forte, altas ou baixas temperaturas, e chuva intensa podem ter efeito negativo na condição física da pessoa que está executando um serviço ao ar livre sobre um andaime.

3.4.2 Após o início da queda livre do Trabalhador

A árvore híbrida do modelo proposto (vide apêndice) adota a Árvore de Eventos como base teórica na modelagem dos riscos a partir do início da queda livre do trabalhador. O início da queda livre é o evento inicial dessa árvore. Ele era o evento topo para a análise do ponto de vista da Árvore de Falhas. O EPI é o único recurso que o trabalhador possui nesse instante para protegê-lo contra a queda. Conforme visto anteriormente ao longo da análise da Árvore de Falhas, a condição de queda livre do trabalhador se deu pela perda de sustentação do andaime, ou pelo fato de o trabalhador ultrapassar o limite do guarda corpo (vide apêndice). Dessa forma, é possível utilizar a Árvore de Eventos sob o ponto de vista dos equipamentos que o trabalhador utiliza para sua proteção.

São considerados os seguintes EPI's para o caso em estudo: cabo de segurança, trava-quedas, e cinto de segurança. O esquema proposto na árvore lógica organiza da esquerda para a direita a ordem de importância do EPI em relação à dinâmica lógica que

protege o trabalhador contra a queda. Ou seja, de nada adianta a eficácia do cinto de segurança, e do trava-quedas se o cabo de segurança não funcionar bem (vide apêndice). Da mesma forma, a queda não é evitada se o cinto de segurança apresentar bom desempenho e o trava-quedas não funcionar.

A utilização da técnica da Árvore de Eventos objetiva propor uma forma estruturada de análise de risco de queda de altura observando-se a dependência relativa dos EPI's na configuração utilizada para a proteção do trabalhador nesse tipo de serviço.

4 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo proposto neste trabalho (vide apêndice) herda os pontos fortes e fracos das técnicas Árvore de Falhas e da Árvore de Eventos. A utilização de esquemas gráficos facilita o entendimento do comportamento do sistema em estudo. Dessa forma, é possível o direcionamento da análise para a investigação das falhas do sistema segundo Tavares (2010). Por outro lado, o modelo proposto (vide apêndice) depende da boa identificação do evento fundamental, a partir do qual são iniciadas as análises de ambas as técnicas. Sendo assim, essa identificação tem grande influência na qualidade das conclusões obtidas.

4.1 BENEFÍCIOS DO MODELO

Dentre os principais benefícios do modelo de Árvore Híbrida, que encontra-se ilustrado no apêndice, estão:

- a) A modelagem de uma situação de risco utilizando as técnicas Árvore de Falhas e Árvore de Eventos possibilita o estudo da sequência de acontecimentos no cenário definido, o que não é possível utilizando-se somente a Árvore de Falhas;
- b) O modelo possibilita análise sistemática e ao mesmo tempo flexível por considerar variados aspectos como interações humanas e fenômenos meteorológicos;
- c) A construção de cima para baixo da árvore proporciona foco nas possíveis falhas diretamente relacionadas ao evento topo;
- d) A árvore de falhas é especialmente útil para analisar sistemas com muitas interfaces e interações;
- e) A representação gráfica leva a um fácil entendimento do comportamento do sistema, mas como as árvores são geralmente grandes, seu processamento

pode requerer software específico; por outro lado, o processamento possibilita a inclusão de relações lógicas mais complexas;

- f) O desenvolvimento de ramificações é útil para identificar caminhos de falha em um sistema muito complexo, ou seja, particulares combinações de eventos que conduzem ao evento topo podem surgir;
- g) É possível analisar potenciais cenários a partir de um evento inicial, de forma clara e esquemática, além da influência de sistemas de mitigação;
- h) O modelo considera o tempo, a dependência e o efeito dominó que são difíceis de modelar somente com Árvores de Falha;
- i) A árvore híbrida representa graficamente as possíveis consequências a partir de um evento inicial, o que não é possível representar somente com Árvores de Falha;

4.2 RESTRIÇÕES DO MODELO

Dentre as principais restrições do modelo de Árvore Híbrida, que encontra-se ilustrado no apêndice, estão:

- a) É necessário melhorar o modelo através da sua aplicação em diversas situações reais que envolvam trabalhos em altura; dessa forma, a qualidade das conclusões obtidas a partir dele é melhor;
- b) A qualidade das conclusões obtidas a partir do modelo depende da adequada definição do evento fundamental, o qual coincide com o evento topo da Árvore de Falhas e com o evento inicial da Árvore de Eventos; dessa forma, um evento fundamental não representativo pode induzir conclusões equivocadas;
- c) Em algumas situações é difícil assegurar que todas as ramificações para o evento topo foram incluídas;
- d) A Árvore de Falha é um modelo estático; não é possível representar relações temporais, mas somente sequências lógicas;
- e) Árvores de Falha só podem representar estados binários onde ocorreu, ou não ocorreu falha;

- f) A Árvore de Falha não possibilita considerar efeitos dominó ou falhas condicionais;
- g) A definição do evento inicial na Árvore de Eventos é fundamental para o desenvolvimento das possíveis consequências a partir dele; existe a possibilidade de um importante evento inicial não ser reconhecido;
- h) Cada evento posterior ao inicial considerado na Árvore de Eventos depende da sequência de ocorrências até ele; entretanto outras dependências como componentes dos equipamentos, sistemas de apoio e ações de operadores, podem passar despercebidos e levar a estimativas otimistas de risco;

5 CONCLUSÕES

A Árvore Híbrida proposta nesse trabalho (vide apêndice) representa o resultado da aplicação das técnicas Árvore de Falhas e Árvore de Eventos de forma integrada. O modelo híbrido possibilita a análise da exposição de trabalhadores ao risco de queda na execução de serviços em altura no contexto da construção civil. Foi considerada uma operação que utilizou um andaime suspenso na execução de serviço de pintura em um edifício. A modelagem desse cenário operacional facilitou o entendimento dos aspectos relacionados ao risco de queda na execução de trabalhos em altura, o que possibilita a adoção de medidas de controle mais efetivas na prevenção de acidentes.

O modelo proposto nesse trabalho pode ser aplicado em diversas situações que envolvam trabalhos em altura. Atualmente existe grande variedade de equipamentos e soluções no mercado. Necessidades técnicas podem ser supridas em diferentes cenários operacionais. Sendo assim, é possível aplicar a Árvore Híbrida na análise de risco de queda de altura relacionada à utilização de diferentes equipamentos existentes no mercado. O resultado das diferentes aplicações pode ser organizado em um manual onde estariam estruturadas diretrizes para a construção da Árvore Híbrida em diferentes cenários operacionais. Esse manual poderia então servir de ferramenta para diferentes profissionais em diversas fases dos trabalhos em altura.

O item 18.15 da NR-18 cita diversos equipamentos utilizados como suporte para trabalhos em altura. Dentre eles estão: andaimes simplesmente apoiados, andaimes fachadeiros, andaimes móveis, andaimes em balanço, andaimes suspensos, andaimes suspensos motorizados, plataforma de trabalho com sistema de movimentação vertical em pinhão e cremalheira e plataformas hidráulicas, plataforma por cremalheira, cadeira suspensa, e plataformas de trabalho aéreo.

Tais equipamentos poderiam estruturar o manual citado acima utilizando o modelo híbrido aqui proposto (vide apêndice). O evento fundamental (início da queda livre do trabalhador) continua sendo o mesmo. Por outro lado, as ramificações das Árvores de Falha e Eventos devem ser revistas para que possam retratar as características intrínsecas de cada equipamento no contexto operacional a ser estudado. Uma vez estruturado o manual para os tipos mais usuais de andaimes e plataformas de

trabalho, o próximo passo seria iniciar a análise quantitativa para alguns tipos de equipamento de sustentação.

A escolha do tipo de equipamento para o desenvolvimento da análise quantitativa deve também levar em conta a disponibilidade de informações a serem utilizadas no processamento numérico do modelo. Frequência de ocorrência de eventos e probabilidades relacionadas aos estados binários das ramificações da árvore híbrida tem relevante importância na qualidade das conclusões obtidas. As indústrias químicas e petroquímicas tem tradição na utilização das técnicas Árvore de Falhas e Árvore de Eventos. Elas possuem registros históricos de ocorrência de acidentes. Isso auxilia a montagem de modelos numéricos capazes de oferecer resultados consistentes.

REFERÊNCIAS

ANÁLISES de acidentes do trabalho fatais no Rio Grande do Sul: a experiência da Seção de Segurança e Saúde do Trabalhador – SEGUR. Porto Alegre: Superintendência Regional do Trabalho e Emprego do Rio Grande do Sul Seção de Segurança e Saúde do Trabalhador/segur, 2008. 337 p.

ARAÚJO, Nelma Mirian Chagas de. **Custos da Implantação do PCMAT na Ponta do Lápis**. São Paulo: Fundacentro, 2008.

CAMPOS, Armando. **Cipa - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes: uma nova abordagem**. 17ª São Paulo: Senac, 2011. 361 p.

ECHER, Isabel Cristina. A REVISÃO DE LITERATURA NA CONSTRUÇÃO DO TRABALHO CIENTÍFICO. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, Porto Alegre, n. , p.5-20, 01 jul. 2001.

FUSSELL, J B. **Fault tree analysis: concepts and techniques**. Nordoff: E J Henley And J W Lynn, 1976. 133-162 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª edição São Paulo: Atlas, 2009.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION **IEC/ISO 31010:2009(E)**: risk management – risk assessment techniques

LACAZ-RUIZ, Rogério. **Notas e Reflexões sobre Redação Científica**. Disponível em: <<http://www.hottopos.com.br/vidlib2/Notas.htm>>. Acesso em: 19 fev. 2012.

MANNAN, Sam. **Lee's Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control**. 3. ed. Texas: Elsevier Butterworth-heinemann, 2005.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (Brasil). **Norma Regulamentadora N° 18**. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-18-1.htm>>. Acesso em: 25 fev. 2012.

PORTARIA N° 232: Texto técnico básico de criação de Norma Regulamentadora sobre Trabalho em Altura. Diário Oficial da União - Seção 1 - Pg 92, 10 jun. 2011.

PROTEÇÃO. São Paulo: Proteção Publicações, v. 240, dez. 2011. Mensal. Pg. 32.

REHDER, Marcelo. Cresce acidente de trabalho com volta das obras. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, p. C7-C7. 21 jan. 2012.

TAVARES, José da Cunha. **Noções de Prevenção e Controle de Perdas**. São Paulo: Senac, 2010. 165 p.

APÊNDICE

Árvore Híbrida

