



APLICAÇÃO DO MÉTODO SHERPA NA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE HUMANA DA ATIVIDADE DE CALIBRAÇÃO

Área temática: Gestão de Segurança no Trabalho e Ergonomia

Gilson Lima
glima@id.uff.br

Fernando Ferraz
fernandoferrazuff@yahoo.com

Isaac José Antonio Luquetti
luquetti@ien.gov.br

Suzana Hecksher
suzanahecksher@id.uff.br

Alan Miranda
tavaresalan.sms@gmail.com

Resumo: *Os Riscos De Falhas Humanas Na Interação Homem-Máquina Podem Ser Reduzidos Pela Consideração Dos Fatores Humanos No Projeto Dos Processos, Equipamentos E Demais Condições De Trabalho. Os Objetivos Da Pesquisa Resumida Neste Artigo Foram Selecionar E Aplicar Um Método Para Análise De Potenciais Falhas Humanas Em Uma Atividade De Calibração, Além De Construir Recomendações De Melhoria Nas Condições De Trabalho, Visando Ao Aumento Da Confiabilidade Humana. O Processo Escolhido Se Justifica Pela Sua Contribuição Para A Manutenção Da Operacionalidade E Segurança Dos Sistemas De Proteção Ao Vôo. A Partir De Levantamento Bibliográfico E Análise De Alternativas, O Método SHERPA (Systematic Human Error Reduction & Prediction Analysis) Foi Selecionado Pela Sua Generalidade, Bem Como Viabilidade De Aplicação Na Atividade Selecionada. A Investigação Em Campo Se Deu Através Da Observação Sistemática Da Atividade, Em Interação Constante Com Os Técnicos Responsáveis Pela Calibração, Para Compreender A Atividade Real E Identificar As Dificuldades Que Elevam As Possibilidades De Falhas. O Aplicação Do Método SHERPA Permitiu Levantar 51 Operações Que Compõem A Atividade E Identificar 111 Possibilidades De Erros, Que Foram Avaliadas Em Função De Suas Consequências, Da Existência De Mecanismos De Recuperação, Da Criticidade E Da Probabilidade De Ocorrência. A Pesquisa Traz Como Resultado Uma Reflexão Sobre As Dificuldades E Contribuições Da Aplicação Do Método SHERPA. Sob O Ponto De Vista Prático, Da Engenharia E Ergonomia, Foram Construídas Proposições De Melhorias Em Métodos, Equipamentos, Controle De Condições Ambientais Entre Outros.*

Palavras-chaves: *SHERPA - Systematic Human Error Reduction and Prediction Analysis, AHT - Análise Hierárquica da Tarefa, Ergonomia, Confiabilidade Humana, Erro humano.*

1. INTRODUÇÃO

A ergonomia critica a ideia de que a confiabilidade humana seja uma propriedade invariável do ser humano. Almeida e Jackson Filho (2007) indicam que alguns pesquisadores preferem a expressão componente humano da confiabilidade e enfatizam a necessidade de conhecer o trabalho real, os aspectos de sua variabilidade e as estratégias adotadas pelos operadores para resolver problemas, superar dificuldades e manter o funcionamento do sistema. Novas formas de análise de acidentes enfatizam a importância das condições latentes nas origens de acidentes, sem descuidar de explorar as contribuições do componente humano da confiabilidade (ALMEIDA; JACKSON FILHO 2007).

As falhas humanas são, por diversas vezes, apontadas como causadoras ou consideradas dentre as causas dos acidentes. No entanto, muitas vezes os erros são provenientes das características da situação que não permitiram aos trabalhadores tomar providências corretamente. Os fatores humanos também contribuem positivamente para a segurança, seja pela recuperação de erros ou pelo aprendizado das situações vividas e consequente desenvolvimento de habilidade para superar situações similares. É importante compreender os mecanismos dessa contribuição para que os casos de falhas nesta possam ser analisados (DANIELLOU et al., 2013).

A confiabilidade humana vem sendo tratada em diversas pesquisas relacionadas a fatores humanos (BUBB 2005, KIRWAN 1994, ONISAWA 2003). De acordo com Borges (2012), uma das definições mais utilizadas para confiabilidade humana é a citada na Norma Técnica de Prevenção (NTP-360) do Centro Nacional de Condiciones de Trabajo (CNCT), situado na Espanha, que define a Confiabilidade Humana como o corpo de conhecimentos que se referem ao prognóstico, análise e redução do erro humano, focando-se sobre o papel da pessoa nas operações de projeto, de manutenção, de uso e gestão de um sistema sociotécnico.

Nos últimos cinquenta anos observa-se um decréscimo de acidentes, devido a falhas técnicas, fato proporcionado através do desenvolvimento tecnológico de redundâncias de proteção que, por sua vez, elevaram a confiabilidade dos sistemas (DI PASQUALE et al., 2013). Os métodos de identificação de erros humanos são utilizados para apontar as falhas que podem surgir a partir do resultado da interação homem-máquina, podendo ser utilizados em sistemas complexos e dinâmicos a fim de explicitar a natureza das falhas do operador, estratégias de recuperação e consequências geradas. As informações obtidas podem ser utilizadas para propor medidas corretivas para mitigar ou eliminar tais erros, além de estimar sua probabilidade de ocorrência e criticidade.

A aplicação de métodos de análise de confiabilidade pode contribuir para redução de acidentes na medida em que apoiam a identificação de condições de trabalho que podem comprometer a confiabilidade de sistemas sócio-técnicos.

1.1 Situação-problema

As máquinas e sistemas para operarem com segurança, em geral, precisam de manutenções preventivas e ocasionalmente corretivas. A manutenção corretiva objetiva retomar o equipamento as suas funções, enquanto a preventiva visa reduzir a probabilidade de falha deste. No entanto, quando as leis de degradação do sistema são desconhecidas, a intervenção é feita baseando-se no acompanhamento dos parâmetros de relevância em relação aos padrões pré-estabelecidos, sendo este método de manutenção preventiva conhecido por manutenção assistemática ou preditiva (FURMANN, 2002). A confiabilidade das manutenções além de estar diretamente relacionada ao conhecimento técnico e ao ferramental empregados depende, em muitos casos, da precisão dos instrumentos utilizados que é garantida também pela correta calibração destes.

Esta pesquisa trata da análise e prevenção de falhas humanas na atividade de calibração de detectores de radio frequência em um laboratório de calibração de instrumentos de medida elétrica. Neste laboratório são calibrados de diversos tipos de equipamentos dentre estes, analisadores de espectro de potência, terrômetros, megômetros, multímetros, geradores de sinais, contadores, osciloscópios e detectores de radiofrequência (RF). Estes últimos, dentre outras aplicações, são empregados em wattímetros que, por sua vez, são instrumentos de medição de potência elétrica.

A calibração destes sensores é importante para a proteção ao voo, devido a sua empregabilidade na manutenção de sistemas e equipamentos utilizados no auxílio à navegação aérea. Pode-se citar como exemplo de aplicação destes detectores o sistema de pouso e aterrisagem por instrumentos, usualmente denominado pela sigla ILS (*Instrument Landing System*) e o VOR (*Very High Frequency Omnidirectional Range*) utilizado para orientação da aeronave nas aerovias.

É fundamental atentar que os acidentes não são produtos isolados de falhas humanas, mas a compreensão e a redução dos erros humanos na calibração é um dos itens que favorece a qualidade e a segurança do processo, contribuindo, desta forma, para a redução da probabilidade de eventos que podem colaborar para o acontecimento de acidentes aéreos. A calibração dos detectores de RF foi escolhida pelo seu contexto na manutenção de sistemas de

proteção ao vôo e por ser uma atividade de curta duração, mas repetitiva dada à demanda numérica de calibrações que pode ser requisitada em períodos de pico.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é selecionar e aplicar um método capaz de identificar os possíveis erros humanos no processo de calibração de sensores de RF, bem como elencar as suas causas raízes. Após a revisão bibliográfica sobre métodos de análise de confiabilidade humana, resumida no item 2 deste artigo, o método *Systematic Human Error Reduction & Prediction Analysis* (SHERPA) foi selecionado para aplicação no caso em estudo.

Estruturalmente têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento e comparação de métodos de análise de confiabilidade humana, bem como a seleção do método mais adequado aos recursos disponíveis e ao processo;
- Mapeamento do procedimento de calibração de detectores de radio frequência, através do método de Análise Hierárquica da Tarefa (AHT) ou ;
- Aplicação do método SHERPA para avaliação e prevenção de falhas humanas; e
- Reflexão participativa sobre a aplicação do método, para análise dos resultados, e para construção de propostas de melhorias.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

No processo de pesquisa bibliográfica foram utilizadas, em separado ou com diferentes agrupamentos, as seguintes palavras-chaves: SHERPA; *Systematic Human Error Reduction & Prediction Analysis*; *human error identification*; *human reliability*; *human factors*; *accidents*; *risk assessment*; *error classification*; *taxonomy*; *Hierarchical Task Analysis*; HTA; *Performance Shapping Factors*; PSF; confiabilidade humana e erro humano.

Os métodos de análise de erros humanos, citados neste trabalho, podem ser categorizados em três grupos: quantitativos, identificadores de erro e taxonômicos (STANTON et al, 2013).

No primeiro grupo, a metodologia é utilizada para determinar numericamente a probabilidade de ocorrência dos erros (DI PASQUALE et al. 2013). Por exemplo, pode-se citar os métodos quantitativos JHEDI (*Justified Human Error Data Information*) e HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*), (KIRWAN, 1990 apud BELL; HOLROYD, 2009) e (WILLIAMS, 1988 apud BELL; HOLROYD, 2009), respectivamente.



Os métodos citados são utilizados em Análises de Segurança Probabilística (*Probabilistic Safety Assessments*– PSA) em plantas de processamento nuclear. A principal vantagem deste grupo é a existência de probabilidades numéricas para os erros, no entanto sua aplicação é geralmente complexa e requer elevado conhecimento matemático.

Já os métodos identificadores de erro utilizam avisos ou perguntas para auxiliar o analista na identificação dos potenciais erros humanos. Dentre essas questões, pode-se citar: “é possível que o trabalhador erre no tempo de execução da tarefa?”, “é possível que a ordem de execução seja alterada?”, “existe a chance de a tarefa ser desempenhada antes do previsto?”. As técnicas THEA (*The Technique for Human Error Assessment*) e HEIST (*Human Error Identification in Systems Tool*), (POCOCK et al, 2001 apud STANTON et al, 2013) e (KIRWAN, 1994 apud STANTON et al, 2013) respectivamente, são exemplos de ferramentas que utilizam esta metodologia.

Por fim, têm-se os métodos cuja detecção de erros é baseada em taxonomia pois utiliza classificações de erro na análise da tarefa. Métodos, como por exemplo, TRACER (*Technique for the Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors*) (SHORROCK; KIRWAN, 2000 apud STANTON et al, 2013), CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) (HOLLNAGEL, 1998 apud BELL; HOLROYD 2009), e HET (*Human Error Template*) (MARSHALL et al., 2003 apud STANTON et al., 2013), bem como a metodologia escolhida para aplicação no presente estudo de caso, SHERPA (EMBREY, 1986 apud STANTON et al., 2005), utilizam a técnica taxonômica para auxiliar o analista na detecção dos erros.

Análises com base na taxonomia do erro, em geral, fornecem ao analista maior sensibilidade na detecção, além de serem mais simples de aplicar. No entanto este tipo de metodologia pode ser muito dependente do julgamento dos analistas, sendo possível que diferentes analistas obtenham diferentes resultados a partir do mesmo método. Analogamente, um determinado analista, em diferentes momentos pode obter resultados diferentes para a mesma metodologia (STANTON et al., 2013).

Na análise de confiabilidade humana, é importante identificar e quantificar os PSF (*Performance Shapping Factors*) corretamente, pois estes podem afetar os resultados da análise consideravelmente. Exemplos de PSF encontrados em (LINDNER et al., 2014) e/ou (BORING et al., 2007): treinamento, experiência, procedimentos, tempo disponível, complexidade, carga de trabalho, qualidade da interface homem-máquina, distrações, condições de visibilidade, fadiga, trabalho noturno etc.

3. MÉTODOS

Em relação aos procedimentos técnicos, este trabalho se utiliza principalmente de pesquisa bibliográfica e um estudo de caso para responder às questões propostas. O procedimento de calibração dos detectores de RF foi mapeado, através de observação sistemática, questionários e levantamento de dados. O levantamento de informações foi realizado através de interação com os técnicos e, à medida que estas foram obtidas e interpretadas, novas questões foram levantadas até que nível de compressão da atividade fosse considerado suficiente para aplicação do método SHERPA.

A metodologia de análise de confiabilidade humana denominada SHERPA foi escolhida por poder ser utilizado em processos genéricos, suas etapas de aplicação podem ser encontrada em referências bibliográficas não restritas. Ademais, para processos simples, segundo o referencial teórico, este método pode ser implementado, por um único analista, sendo, desta forma, viável para a elaboração deste trabalho.

A seguir tem-se um resumo da descrição procedimental, em etapas, do SHERPA (STANTON et al. , 2005).

- a) Realização da AHT: A Análise Hierárquica da Tarefa baseia-se na noção de que a tarefa pode ser expressa em termos de uma hierarquia de objetivos de alto nível, objetivos intermediários, até as operações de mais baixo nível. Na AHT, as restrições sobre o sequenciamento das operações são simbolizadas por codificações como as apresentadas na tabela 1.
- b) Classificação da Tarefa: Cada operação do nível hierárquico mais baixo é considerada e classificada, de acordo com a taxonomia a seguir: AÇÃO; VERIFICAÇÃO; AQUISIÇÃO; COMUNICAÇÃO OU SELEÇÃO. A ação é o ato ou efeito de agir, como por exemplo, pressionar botões, abrir porta, girar chave etc. A aquisição da informação consiste na captação de uma informação pelos sentidos, como por exemplo, visualização de números num visor, percepção de sons, percepção de luzes coloridas etc. Já a verificação, em geral acontece na sequência e/ou em alternância com a aquisição, quando a informação captada é comparada com algum padrão esperado, aprendido, disponível em alguma norma, manual dentre outros. A seleção consiste na escolha de uma alternativa em relação a outra e a comunicação de informação refere-se a transmissão de informações entre indivíduos.

- c) Identificação do Erro Humano: O analista deve eleger quais os erros potenciais estão associados a cada operação, utilizando a taxonomia do erro para cada classe de tarefa, conforme tabela 2.
- d) Análise das Consequências: Conhecer a consequência de cada erro é fundamental, uma vez que esta implica diretamente na criticidade das falhas.
- e) Análise de Recuperação: Caso exista algum passo posterior que possibilite a recuperação do erro, este deve ser considerado e descrito.
- f) Análise de Probabilidade Ordinária: A probabilidade de ocorrência de determinada falha depende de históricos e/ou entrevistas com especialistas no assunto, sendo determinada qualitativamente nos seguintes níveis: Baixa (B): Se o erro nunca foi observado na atividade; Média (M): Se o erro já foi observado em situações anteriores e Alta (A): Se o erro ocorre frequentemente.
- g) Análise de Criticidade: Os erros serão classificados em críticos e não críticos. Uma determinada consequência é considerada crítica, caso seu erro gerador tenha potencial de provocar grande perda.
- h) Análise de Soluções: A etapa final da análise consiste na proposição de estratégias de redução dos erros, sejam estas preventivas ou mitigadoras. Essas estratégias podem ser aplicadas, como por exemplo em equipamentos, procedimentos e treinamentos. Algumas soluções podem ser onerosas, então deve haver análises considerando-se as consequências, criticidade, probabilidade de ocorrência e custos. Além do exposto é imprescindível considerar a praticidade, viabilidade técnica, bem como a aceitação do usuário as mudanças.

Cabe observar que nos procedimentos descritos para a aplicação do SHERPA (STANTON *et al.*, 2005; STANTON, 2006) não contemplam os Performance Shapping Factors (PSF).



Tabela 1: Exemplos comuns de planos e suas sintaxes.

Codificação	Tipo de Plano	Descrição	Sintaxe
SQ1	Sequência Fixa	Faça em ordem 1, 2,3 e 4	(1 > 2 > 3 > 4)
SQ2	Sequência Livre	Faça em qualquer ordem 1,2,3 e 4	(1/2/3/4 ou N/A)
SQ3	Sequência Paralela	Faça simultaneamente 1,2,3 e 4	(1+2+3+4)
SQ4	Sequência Condicional	Se condição X, então faça 2, senão, faça 3.	X ? S > 2, N > 3
SQ5	Sequência Cíclica	Repetir em ordem 1,2,3 e 4 até um determinado critério ser atingido	(1>2>3>4>1...)
SQ6	Seleção exclusiva	Escolher um dentre 1,2,3 e 4	(1:2:3:4)

Fonte: Adaptado pelos autores

Tabela 2 - Taxonomia do Erro

AÇÃO		VERIFICAÇÃO		AQUISIÇÃO		COMUNICAÇÃO		SELEÇÃO	
A1	Operação muito longa ou curta	V1	Verificação omitida	R1	Informação não obtida	C1	Informação não comunicada	S1	Seleção omitida
A2	Operação realizada em momento inapropriado	V2	Verificação incompleta	R2	Informação incorreta obtida	C2	Informação incorreta comunicada	S2	Seleção incorreta realizada
A3	Operação na direção errada	V3	Verificação correta em objeto errado	R3	Aquisição de informações incompleta	C3	Informação comunicada incompleta		
A4	Operação demasiada ou muito comedida	V4	Verificação incorreta em objeto correto						
A5	Desalinhamento	V5	Verificação realizada em momento inapropriado						
A6	Operação correta em objeto errado	V6	Verificação incorreta em objeto errado						
A7	Operação incorreta em objeto correto								
A8	Operação omitida								
A9	Operação incompleta								
A10	Operação errada em objeto errado								

Fonte: STANTON *et al.* (2005), adaptado pelos autores

4. RESULTADOS

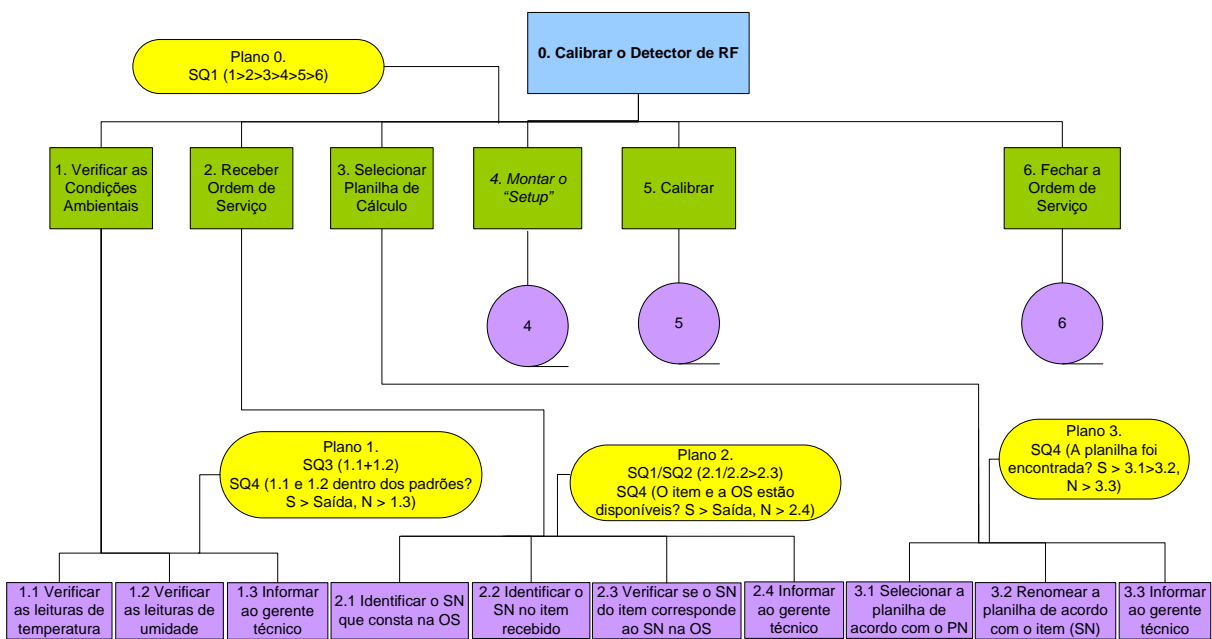
Os objetivos do estudo foram atingidos com a identificação dos possíveis erros humanos na atividade, bem como a proposição de melhorias no processo. Foi aplicado o método SHERPA na atividade de calibração de detectores de radiofrequência, importante dispositivo utilizado na manutenção de sistemas de proteção ao voo. A revisão bibliográfica balizou a seleção da técnica, através da comparação entre uma série de métodos, considerando-se suas principais vantagens e desvantagens, como por exemplo, o tempo de treinamento necessário, o campo de aplicação e a existência de validação. O método selecionado teve todas as suas etapas exploradas, incluindo a Análise Hierárquica de Tarefa.

A atividade tem a duração de aproximadamente 30 minutos, podendo ser repetida aproximadamente 20 vezes por dia. Foram realizadas 21 observações da atividade completa, além de entrevistas e consultas a manuais de equipamentos.

4.1. Análise da atividade e identificação de possíveis erros

O nível de detalhamento da AHT permitiu a identificação de 51 operações de nível hierárquico inferior. A figura 1 apresenta, como exemplo, parte da árvore construída com o método AHT.

Figura 1 - Parte da árvore construída com o método AHT



Fonte: Elaborado pelos autores

O método SHERPA permitiu classificar essas operações (Tabela 3), sendo 61% ações, 13% verificações, 15% aquisições, 5% comunicações de informação e 6% seleções. Em conjunto com os técnicos, as possibilidades de erros em cada operação foram analisadas e classificadas, totalizando 111 possibilidades de erros, sendo 28,8% críticos e 7,2% de alta frequência. Nas observações sistemáticas do processo, considerou-se para avaliação da criticidade de cada erro o produto dos valores estimados para probabilidade e custo da falha.

Tabela 3: Exemplos de resultados da aplicação do método SHERPA

Operação	Classificação da Tarefa	Identificação dos Erros Humanos	Cód.	Consequências	Recuperação	Prob.	Crit.
1.1 Verificar as leituras de temperatura	VERIFICAÇÃO	Verificação omitida	V1	Comprometimento da confiabilidade da calibração.	nenhuma	A	!
		Verificação realizada em momento inapropriado	V5		nenhuma	M	!
1.3 Informar ao gerente técnico	COMUNICAÇÃO	Informação não comunicada	C1	O problema relacionado às condições ambientais não será solucionado ou não será solucionado por completo.	Imediata	B	-
		Informação comunicada incompleta	C3		Imediata	B	-
4.1.1.1 Observar o modelo do DRF	AQUISIÇÃO	Informação não obtida	R1	Não será possível selecionar o amplificador.	Operação 4.1.1.2	B	-
		Informação incorreta obtida	R2	Seleção incorreta do amplificador	nenhuma	B	-
		Aquisição de informações incompleta	R3		Operação 4.1.1.2	B	-
4.1.1.2 Selecionar o Amplificador com base no modelo de detector de RF	SELEÇÃO	Seleção omitida	S1	Não será possível selecionar o(s) filtro(s), atenuador, bem como realizar a calibração propriamente dita.	Operação 4.1.2.3	B	-
		Seleção incorreta realizada	S2	Comprometimento da confiabilidade da calibração.	nenhuma	B	!
4.2.4 Realizar a conexão "3" em "6" entre o AMP e o WTM por rosqueamento	AÇÃO	Operação demasiada ou muito comedida	A4	Comprometimento da confiabilidade da calibração.	nenhuma	B	!
		Operação omitida	A8	Não será possível realizar a calibração.	nenhuma	B	-
		Operação correta em objeto errado	A6	Comprometimento da confiabilidade da calibração ou não será possível realizá-la, dependendo do erro de interligação entre equipamentos.	Imediata	B	-

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2. Recomendações de melhorias

As recomendações apresentadas são algumas das que foram construídas e validadas com trabalhadores e o gerente técnico, apenas em nível conceitual. Não houve ainda estudo de viabilidade, nem projeto básico ou detalhado para nenhuma das recomendações. Em relação à verificação das condições ambientais na pré-calibração, referentes as operações 1.1 a 1.3, a omissão e a checagem tardia podem comprometer a confiabilidade da calibração. A probabilidade de ocorrência deste erro pode ser reduzida através da realocação do termohigrômetro para um local que pudesse ser visualizado diretamente pelo técnico, sem a necessidade deste ausentar-se do seu posto de trabalho. Outra solução seria a substituição do sensor por algum modelo que seja habilitado a emitir algum sinal sonoro a fim de alertar a todos acerca do problema. Atualmente apenas um sinal luminoso discreto é emitido nesta situação, podendo ser ignorado pelos trabalhadores.

Uma alternativa mais robusta, que possui o potencial de eliminar o erro, seria o projeto de um sistema eletrônico de interligação entre o gerador de sinais elétrico (GSE) e o termohigrômetro, de tal maneira que, quando as condições ambientais forem inadequadas à calibração, o sistema não permita o acionamento do GSE, impedindo o início da calibração. Poderia ainda ser introduzido um módulo que enviasse para o computador do gerente técnico, os registros de data, horário e valores de temperatura e umidade, destacando aqueles fora dos padrões. Isso tornaria desnecessária a operação 1.3, eliminando os possíveis erros desta operação.

A fim de minimizar os erros de seleção e nomeação das planilhas (operações 3.1 e 3.2), estas poderiam ser inseridas num banco de dados que exigisse dupla confirmação de PN e SN para que o arquivo pudesse ser acessado.

A probabilidade de seleção incorreta do atenuador pode ser reduzida pela criação de um sistema de numeração neste equipamento e nos amplificadores a fim de indicar a utilização correta.

Com o objetivo de minimizar a probabilidade de ocorrência de erros em todas as operações que envolvam interconexões, poderia ser introduzido sistema de cores, de modo que num dado cabo e nas proximidades do conector correspondente, cores iguais sejam um indicativo da ligação correspondente.

Quanto aos erros relativos a consulta em tabela de atenuador errada, é recomendada a inserção das tabelas dentro da própria planilha de cálculo, associada a criação de rotinas de programação que sejam capazes de resgatar informações das tabelas automaticamente.

5. CONCLUSÕES

A compreensão da atividade através do método de avaliação sistemática AHT (Análise Hierárquica da Tarefa), sob o ponto de vista do detalhamento e organização, contribuiu para a compreensão da atividade. No entanto, este método mostrou-se dispendioso em termos de tempo, mesmo para uma tarefa de baixa complexidade. A exigência de identificar e codificar as regras de sequenciamento das operações na AHT, conforme Tabela 1, toma mais tempo na etapa de análise, mas pode ser útil quando as recomendações de melhoria incluírem automação de alguns conjuntos de operações.

Sob o ponto de vista dos analistas e trabalhadores, a classificação baseada em taxonomia de erro (Tabela 2) do método SHERPA, contribuiu positivamente, reduzindo o tempo e melhorando a qualidade da análise e identificação dos possíveis erros. O uso da taxonomia de erro durante as observações e interações com trabalhadores serviu de orientação, uma vez que os tipos de erros possíveis já estavam previstos pelo método. Foi encontrada dificuldade na classificação de probabilidade de ocorrência dos erros. O método prevê uma avaliação qualitativa mas, no caso estudado, esta poderia ser melhorada através do aumento do número de observações ou pela construção de um histórico documentado de erros. Da mesma forma, o julgamento sobre criticidade poderia ser desenvolvido, através de testes controlados com indução proposital de erros e mensuração da alteração provocada por esses na confiabilidade e no tempo da calibração.

A compreensão detalhada da atividade, através do SHERPA, possibilitou a elaboração de propostas de melhorias para a redução dos riscos de erro humano, como por exemplo: Alteração do sistema de informação das condições ambientais; Unificação das tabelas de filtro e atenuadores ou automatização da inserção de dados, eliminando a consulta; Criação de um banco de dados para as planilhas de cálculo; Numeração dos amplificadores e correlação com os atenuadores; Sistema de cores para facilitar a identificação das conexões etc.

A análise sistemática, orientada pelo método SHERPA elevou a compreensão da equipe (técnicos, analista e gerente técnico) sobre a atividade de calibração de sensores RF, possibilitando a identificação de riscos de erros, associados a dificuldades enfrentadas pelos trabalhadores em função de condições atuais de trabalho (equipamentos, informações etc.). A análise embasou a construção participativa de um conjunto de recomendações a fim de reduzir as falhas humanas, elevando a confiabilidade do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I. M.; JACKSON FILHO, J. M. Acidentes e sua prevenção. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 32, n. 115, p. 7-18, 2007.

BELL, J.; HOLROYD, J. **Review of human reliability assessment methods**. 1. ed. Harpur Hill: HSE Books, 2009.

BORGES, F. M. **Confiabilidade humana e o funcionamento normal de uma refinaria de Petróleo**. 208f. Tese de Doutorado (Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

BORING, R.L.; GRIFFITH, C.D.; JOE, J.C. The measure of human error: Direct and indirect performance shaping factors. In: **8th IEEE Conference on Human Factors and Power Plants and 13th Conference on Human Performance, Root Cause and Trending (IEEE HFPP & HPRCT)**. Idaho Falls, 2007.

BUBB, H. Human reliability: a key to improved quality in manufacturing. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 15, n. 4, p. 353-368, 2005.

DANIELLOU, F.; SIMARD, M.; BOISSIÈRES, I. **Les cahiers de la sécurité industrielle**. Toulouse:FONCSI, 2013.

DI PASQUALE, V.; IANNONE, R.; MIRANDA, S.; RIEMMA, S. An overview of human reliability analysis techniques in manufacturing operations. In: SCHIRALDI, M. **Operations management**. 2013. Disponível em <<http://www.intechopen.com/books/>>. Acesso em: 20 maio 2015.

EMBREY, D. Application of SHERPA to predict and prevent use error in medical devices. **International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care: Advancing the Cause**, v. 3, n. 1, p. 246-253, 2014.

FURMANN, J. C. **Desenvolvimento de um modelo para a melhoria do processo de manutenção mediante a análise de desempenho de equipamentos.** 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

HOLLNAGEL, E. **Cognitive task design, human factors and ergonomics.** Mahwah:Taylor & Francis e-Library, 2008.

HOSSEINI, A.R.H.; JAFARI, M.J.; MEHRABI, Y.; HALWANI, G.H.; AHMADI, A. **Factors influencing human errors during work permit issuance by the electric power transmission network operators.** Indian Journal of Science and Technology, v.5, n.8, p. 3169-3173, 2012.

LINDNER, T.; MILIUS, B.; SCHWENCKE, D.; LEMMER, K. Influential factors on human performance in railways and their Interrelations. In: STEENBERGEN, R. D. J. M.; VAN ONISAWA, T. An approach to human reliability in man-machine systems using error possibility. **Fuzzy Set and Systems**, v. 27, n. 2, p. 87-103, 2003.

STANTON, N. A. Hierarchical task analysis: Developments, applications and extensions. **Applied Ergonomics**, v. 37, n. 1, p. 55-79, 2006.

STANTON N.; HEDGE, A.; BROOKHUIS, K; SALAS, E.; HENDRICK, H. **Handbook of human factors and ergonomics methods.** 1. ed. Nova York: CRC Press, 2005.