

Implementação de um Sistema de Automatização e Monitoramento Termográfico em Simulador de Espaço Confinado

Implementation of Automation Systems and Thermographic Monitoring in Confined Space Simulator

João Arzão^a; Marcos Rogério Davanza^a; José Avelino Placca^{b*}

^aFaculdade Anhaguera de Ribeirão Preto, Curso de Engenharia de Controle e Automação, SP, Brasil

^bFaculdade Anhanguera de Ribeirão Preto, Curso de Engenharia de Produção, SP, Brasil.

*-E-mail: jose.placca@anhanguera.com

Resumo

A pesquisa teve como objetivo estabelecer os requisitos mínimos para identificação em espaços confinados, tais como: o reconhecimento, avaliação, monitoramento e controle dos riscos existentes. De modo que ao entrar em um espaço confinado o trabalhador que interage direta ou indiretamente nestes espaços estejam seguros e protegidos. Tendo em vista que, acidentes ocorrem constantemente, inclusive óbitos. Entende-se que a falta e ou falhas de monitoramentos existentes contribuem para aumento destes casos. Diversos exames médicos são obrigatórios para a realização destas tarefas, mas são poucas empresas que cumprem com este procedimento. Outra exigência são as cargas horárias de treinamento, variando conforme o cargo e função. Muitas pessoas apresentam “medo”, algum tipo de fobia como: de altura, de ficar sozinha, de escuro, de lugares fechados, etc., e, com isso, relacionado ao trabalho em espaço confinado, omitem informações relevantes com receio de perderem seus empregos. Ao executar o acesso confinado esta pessoa apresenta medo que prevalece sobre qualquer circunstância, pois seu nível de adrenalina aumenta gradativamente e conseqüentemente, seus batimentos cardíacos. Estas alterações podem desencadear excesso de transpiração, inibição de qualquer ação e reação do colaborador, até mesmo casos mais graves de desmaios, infarto ou óbito. Os empresários, diretores, líderes, chefia, não recebem essas informações omitidas por parte dos colaboradores. A proposta do projeto é minimizar ou neutralizar estas atitudes omitidas e, apresentar a real informação para os empresários sobre esses riscos. Para isto, foi proposto um sistema automatizado de análise e monitoramento termográfico em simulador de espaço confinado, por meios de uma câmera termográfica que fornece as cores para um sistema baseado em processamento digital de imagens, e por fim, com auxílio de um classificador neural, apresentará a condição real de medo ou não desse profissional.

Palavras-chave: Monitoramento em Espaço Confinado. Análise Termográfica. Câmera Termográfica.

Abstract

This project aims to establish minimum requirements for the identification in confined spaces such as: the recognition, assessment, monitoring and control of the risks. So that when entering in a concealed space the worker who interacts directly or indirectly in these spaces are safe and protected. In view of that, accidents occur constantly, including deaths. It is understood that the lack and or - failures of existing monitoring contribute to increase in these cases. To run the access confined, this person presents fear that prevails over any circumstance, because their level of epinephrine increases gradually, consequently its heart beats. These changes may trigger excessive perspiration, inhibition of any action and reaction of the collaborator, even the most serious cases of fainting, infarction or death. The entrepreneurs, directors, leaders, leadership, do not receive this information omitted from employees. The project proposal is to minimize or neutralize these attitudes omitted and, present the real information for entrepreneurs about these risks. For this, was proposed an automated system of thermographic analysis and monitoring in the simulator of the concealed space, by means of a thermography camera that provides the colors for a system based on digital image processing, and finally, with the aid of a neural classifier, present the real condition of fear or not of this professional.

Keywords: *Monitoring in confined space. Thermographic analysis. Thermography camera.*

1 Introdução

Milhares de trabalhadores entram em espaços confinados para a realização de suas atividades laborativas, sejam de construção ou manutenção. Entende-se como espaço confinado como qualquer ambiente ou local de trabalho não construído (não arquitetado) para ocupação humana constante e ininterrupta (POSSEBON, 2009).

Os ambientes em espaços confinados apresentam altos índices de acidentes com lesões graves, inclusive de mortes para os trabalhadores. Essas mortes e lesões poderiam ser evitadas por meios do reconhecimento dos riscos e da implantação de medidas de engenharia e ou de medidas técnicas de controles mais rígidas e apropriadas antes do

trabalhador ingressar no espaço confinado. Estatísticas da Occupational Safety and Health Administration - OSHA mostram que anualmente nos Estados Unidos, morrem anualmente em média 50 trabalhadores devido à acidentes em espaços confinados, enquanto cerca de 5.000 sofrem lesões que o deixam incapacitados de exercer suas atividades laborativas. No Brasil, estas estatísticas apontam para outra realidade. Em 2009, o setor de trabalho em espaço confinado, armazenamento, que inclui o trabalho em silos, registrou 2.121 acidentes. Em 2008 foram registrados 2.021 (100 a menos), em 2007 o número foi ainda menor, 1.648 acidentes de trabalho. Estatísticas mostram que o índice de óbitos só é superado pelos números de mortes em acidentes com queda

em altura na construção civil (CARDOSO, 2013).

Nesse sentido o Ministério do Trabalho e Emprego - MTE, publicou a portaria nº 202 em 22/12/2006 a Norma Regulamentadora nº 33. Esta norma tem como objetivo a segurança dos trabalhadores em espaços confinados. Estabelecendo assim, os requisitos mínimos para identificação dos espaços confinados, tais como: o reconhecimento, avaliação, monitoramento e controle dos riscos existentes. De modo que, ao entrar em um espaço confinado, o trabalhador que interage direta ou indiretamente nestes espaços estejam seguros e protegidos. Porém, mesmo assim os óbitos continuam ocorrendo.

As faltas e as falhas de monitoramentos mais rígidos contribuem para estes números alarmantes. Diversos exames médicos são exigidos para a prática da execução do trabalho confinado, mas são poucas as empresas que cumprem com estas normas.

Para especialistas que conhecem a área, como Técnico em Segurança do Trabalho, Auditor Fiscal do Trabalho e Engenheiro em Segurança do Trabalho, sabe-se que isso nem sempre se torna suficiente para evitar os infortúnios. Outra exigência são as cargas horárias de treinamento para vigia e executante, 16 horas para o primeiro treinamento e 8 horas para reciclagem. Quanto aos supervisores de espaço confinado, obrigatoriamente 40 horas de treinamento.

Muitas pessoas apresentam “medo”, fobias de algum tipo, como por exemplo: fobia de altura, fobia de ficar sozinha, fobia de escuro, fobia de lugares fechados, etc.

Neste caso, relacionado ao trabalho em espaço confinado, o trabalhador omite informações relevantes com receio de perder seu emprego. Ao executarem o acesso confinado o medo desta pessoa começa a prevalecer sobre qualquer outra circunstância, pois seu nível de adrenalina aumenta gradativamente, conseqüentemente seus batimentos cardíacos. Estas alterações podem desencadear excesso de transpiração, inibição de qualquer ação ou reação do colaborador, até mesmo casos mais graves de desmaios, infarto ou óbito.

Como os espaços confinados são delimitados de entradas e saída, a circulação de ar dentro de um espaço confinado não é suficiente para expulsar contaminantes ou onde exista a insuficiência ou excesso de oxigênio (POSSEBON, 2009).

Os empresários, diretores, líderes ou chefia, nem sempre ficam sabendo que os colaboradores omitem informações relevantes para sua segurança. Uma proposta para minimizar ou neutralizar estas atitudes omissas e apresentar a real informação para os empresários sobre estes riscos seria a implantação de um sistema automatizado de análise e monitoramento termográfico em simulador de espaço confinado. Isto seria possível por meios de uma câmera termográfica capaz de captar o espectrograma do calor humano emanado por cada pessoa e transferindo as cores do espectro em tempo real para um “decifrador”, que por meios de uma lógica de programação incorporada ao sistema,

apresentará a condição real de medo ou não deste profissional, independentemente da condição de omitir ou não essa fobia.

O monitoramento que será apresentado neste trabalho oferece condições de verificar por meios do espectro de cores emanado na imagem do corpo em questão se as características fisiológicas emocionais do trabalhador estão dentro ou fora de uma normalidade. Sabe-se que o medo causa ao organismo humano uma reação de estímulo de estresse e em seguida libera vários compostos químicos. Devido a essa reação ocorre um aumento da frequência cardíaca, respiração ofegante e, conseqüentemente estimulando a musculatura a se energizar (enrijecimento da musculatura). A imagem captada pela câmera termográfica apresentará o resultado de acordo com estas condições fisiológicas humanas.

O sistema de monitoramento apresentará ao vigia a imagem em tempo real, auxiliado por um computador, convertida em linguagem computacional por meios de um conjunto de técnicas de Processamento Digital de Imagens, assim como Redes Neurais Artificiais, informando estados de normalidade ou não do trabalhador. Esta proposta de análise será capaz de identificar se os colaboradores que em treinamento não demonstraram quaisquer reações negativas e ou que foram omissos de maneira refutável.

2 Desenvolvimento

Para a realização deste trabalho seguiram-se alguns passos necessários para obtenção dos resultados. O primeiro passo foi realização de uma pesquisa bibliográfica sobre a legislação pertinente à segurança do trabalhador em espaços confinados.

Esta pesquisa pode ser classificada como exploratória, de modo a proporcionar maior familiaridade com a temática da segurança em espaços confinados e a aplicação da Termografia como instrumento de identificação das condições de saúde do trabalhador.

Os dados utilizados foram obtidos em fontes secundárias como o Ministério do Trabalho e Emprego – MTE e revistas e bases de dados específicas de Termografia.

2.1 Espaço confinado

Conforme a NR 33, espaço confinado é qualquer ambiente ou local de trabalho não construído (não arquitetado) para ocupação humana constante e ininterrupta.

Os espaços confinados são delimitados de entradas e saídas. A circulação de ar dentro de um espaço confinado não é suficiente para expulsar contaminantes ou onde exista a insuficiência ou excesso de oxigênio (MTE – NR 33, 2006).

2.1.1 Características espaço confinado

O ambiente não prevê ocupação humana continua; As aberturas para entrada e saída são restritas, limitadas, parcialmente obstruídas ou providas de “bloqueios” que atrapalham tráfego livre dos trabalhadores; As movimentações no seu interior são muitas vezes difíceis, podendo ocorrer o

aprisionamento do colaborador devido à disposição complexa da geometria, como inclinação do ambiente, paredes em conjunção, pisos escorregadios, seção reduzida e outras; A ventilação natural inexistente ou é deficiente; (NR 33, 2006).

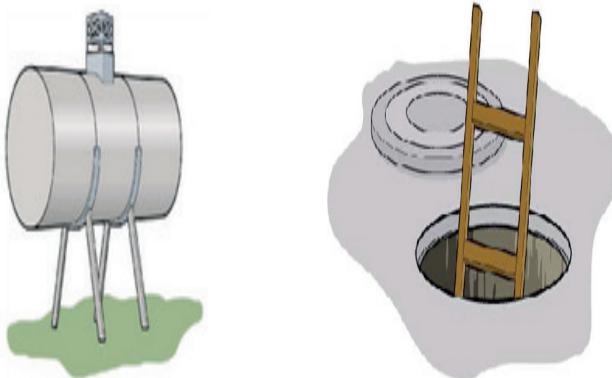
2.1.2 Onde encontramos espaço confinado

Indústria de papel e celulose; Indústria gráfica; Indústria alimentícia; Indústria da borracha, do couro e têxtil; Indústrias químicas e petroquímicas; Serviços de gás; Serviços de água e esgoto; Serviços de Eletricidade; Telefonia; Construção civil, etc. (POSSEBON, 2009).

2.1.3 Alguns exemplos espaço confinado

Tubulações; tanques de armazenamento; biodigestores; galerias; silos (PETIT; LINN, 1987). Exemplos de espaço confinado podem ser observados na Figura 1.

Figura 1: Tanque de armazenamento e galerias



Fonte: Petit e Linn (1987, p.8).

No Brasil é preocupante o aumento de acidentes nestes locais citados. As estatísticas mostram que de 2007 à 2008 houve um aumento de 22,63% dos acidentes em silos, já entre 2008 e 2009, houve um pequeno recuo, cerca de 4,94% de acidentes, mas no acumulado dos três anos, somam-se 27,57%. Porém, não há um controle específico sobre as fiscalizações direcionadas aos espaços confinados e, sim como acidentes de trabalhos comuns conforme ilustrados no Quadro 1.

Quadro 1: Acidentes em silos (espaços confinados): dados por situação do registro e motivo, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas CNAE 2007 / 2009

| Atividades | Nº de Acidentes | Ano |
|------------|-----------------|------|
| Silos | 2121 | 2009 |
| Silos | 2021 | 2008 |
| Silos | 1648 | 2007 |

Fonte: Dados da pesquisa.

Tratando-se das disposições das Normas Regulamentadoras (NR) existentes hoje no Brasil, totalizando-se 36, a NR-18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, tornou-se pública em 08 de junho de 1978, por meio da Portaria GM n.º 3.214, iniciando-se a partir desta data, regulamentação da Norma de proteção e bem-estar do trabalhador a tratar dos espaços confinados, por meios

da publicação da Portaria N° 04, de 04 de julho de 1995. O item 18.20 (locais confinados) da NR-18 (1978) determina regras de proteção e segurança nas atividades da construção que comprometa o trabalhador aos mais diversos riscos à sua integridade física, por exemplo, asfixia, intoxicação, explosão e doenças laborais.

2.2 Termografia

De acordo com o físico Max Planck (1900) existe correlação entre a temperatura de um corpo e a intensidade da radiação infravermelha que este emite. A radiação é absorvida ou emitida por um corpo aquecido, por meio de pequenas frações de energia. Uma câmera termográfica mede uma longa onda de radiação infravermelha recebida dentro do seu campo de visão. A partir disso calcula-se a temperatura do corpo a ser medido. O cálculo dessa temperatura leva em consideração os fatores de emissividade da superfície do corpo medido e a compensação da temperatura refletida, essas variáveis podem ser definidas manualmente nas câmeras termográficas.

A termografia infravermelha - TIV pode ser definida como uma técnica não invasiva de mapeamento térmico de um corpo, a partir da radiação infravermelha normalmente emitida pela superfície deste corpo.

Esta radiação pode ser capturada em um termograma que expressa o gradiente térmico em um padrão de cores (EDDY; VANHOOGMOED; SNYDER-JUNIOR, 2001).

Várias são as definições observadas para a técnica. Williams Junior, Masouri e Lee (1980) afirmaram que a termografia pode ser descrita como sendo um ensaio térmico não destrutivo, utilizado na obtenção do perfil de temperatura superficial em estruturas e, subsequentemente a correlação da informação obtida com algumas imperfeições internas. De acordo com Giorleo e Meola (2002), a termografia é uma técnica não destrutiva, bidimensional, utilizada na medição do campo de temperatura da superfície de todos os tipos de materiais.

O calor ou energia térmica, ou ainda luz infravermelha, é um tipo de energia emitida pelos corpos e invisível ao olho humano.

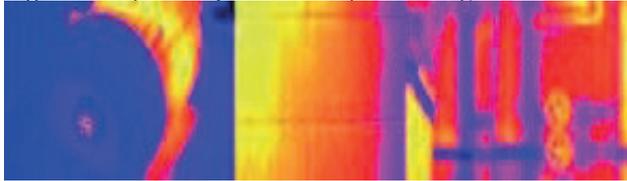
Todo “corpo” com temperatura acima do zero absoluto (0 Kelvin = -273.12 °C) emite radiação eletromagnética e a termografia é a técnica de medição baseada na detecção do espectro infravermelho (AVDELIDIS; MOROPOULOU, 2003).

Esta radiação é invisível ao olho humano. Cada pixel do detector representa um ponto térmico que é mostrado no display da câmera termográfica em uma cor simulada. A TERMOGRAFIA (medição de temperatura em imagem térmica) é um método de medição passiva e sem contato. A imagem térmica mostra a distribuição de temperatura na superfície de um corpo em foco. O corpo ao absorver a radiação infravermelha converte esta radiação em aumento de temperatura (OCAÑA; GUERREIRO; REQUENA, 2004).

Imagem térmica é imagem que mostra a distribuição de

temperatura na superfície dos corpos usando cores diferentes para diferentes valores de temperatura. Imagens térmicas capturadas por meios de um TERMOVISOR – captura de imagem termográfica (Figura 2).

Figura 2: Representação de uma captura termográfica



Fonte: O autor.

2.2.1 Metodologia

A metodologia utilizada foi a coleta de informações sobre acidentes ocorridos em espaços confinados, sobre os riscos que os trabalhadores que exercem suas profissões nesses espaços estão sujeitos; Informações sobre os procedimentos dos empregadores em relação às normas regulamentadoras; Coleta de informações sobre os meios utilizados para se evitar acidentes; Informações sobre os equipamentos utilizados e se existem algum tipo de controle automatizado no sentido de se evitar entrada não autorizada nestes locais; Foi utilizada a coleta de informações sobre o uso da “termografia” para coleta de imagens nas áreas industriais, área médica e, principalmente o uso desta tecnologia em espaço confinado que com base em diversas pesquisas, até o momento não existe nada relativo ao assunto.

Os meios utilizados foram pesquisas científicas ligados de alguma forma ao tema em questão; Pesquisas bibliográficas em livros com estudos científicos sobre captura de imagens por meios da termografia.

A metodologia de treinamentos para obtenção de resultados com imagens apresentando uma emissão de radiação eletromagnética por estar muito carregadas, pouco carregadas ou não de tensão provocado pelo medo, será feita por meios de RNA (PMC) em trabalhos futuros.

De acordo com a metodologia utilizada para elaboração desse trabalho, nesse tópico serão apresentados os resultados com as possíveis reações que o organismo humano pode apresentar em forma de imagens térmicas devido aos estresses que um trabalhador com medo pode causar inconscientemente. São divididas em três possibilidades: a de que um trabalhador está em condições de trabalho (por não passar por estresse algum), esta seria uma imagem mais próxima possível do desejado dentro do treinamento por meios do método matemático (Perceptron Múltiplas Camadas) (R.N.A) e as reações de luta ou fuga (reações com pouco ou muito estresse) seriam as imagens mais distantes sucessivamente da desejada.

Após a captura das imagens pela câmera termográfica para a composição dos conjuntos para treinamento, as amostras passam por um pré-processamento de seleção, definição do espectro capturado, a rede detecta as cores emanada pela radiação, identifica e compara os valores dessas cores com

valores de imagens desejadas e, para saída classifica as amostras com valor de cor amarela estresse moderado (classe A), amostras com valores de cor vermelha estresse muito alto (classe B) e amostras com valores de cor verde estresse quase nulo (classe C). Verifica-se abaixo a descrição das classes:

- Imagem classe A (estresse moderado): classe de imagens onde o sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha é moderado.
- Imagem classe B (estresse muito alto): classe de imagens onde o sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha é muito alto.
- Imagem classe C (estresse próximo de nulo): classe de imagens onde o sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha próximos de nulo (próximo do desejado).

O treinamento de imagens por meios da Rede Perceptron - RP possibilita a obtenção de resultados apenas por uma reta de separabilidade onde um conjunto de imagens de classe A ou B não indicam com precisão sua posição em relação ao modelo desejado. Ou seja, o RP é capaz de indicar um conjunto de imagem de um corpo que ao ser capturado pela câmera termográfica esteja emitindo radiação ou não. Porém, não oferece uma saída indicando a “distância” que A ou B está do modelo desejado. Já o treinamento de um conjunto de imagens por meios da Rede Perceptron Múltiplas Camadas - PMC usando o Modelo Matemático por Múltiplas Camadas - MMMC, identifica cada conjunto de imagens, compara e mede as diferenças entre os resultados obtidos pela camada de neurônios de saída, com o conjunto de amostras do modelo desejado (conjunto de imagem com emissão de radiação quase nulo). No entanto, esse modelo oferece a possibilidade de dar um resultado que identifica um conjunto de imagem com estresse moderado (classe A), um conjunto de imagem com estresse muito alto (classe B) e um conjunto de imagem estresse quase nulo (classe C):

- Imagens treinadas (trabalho futuro): embora exista uma complexidade enorme de classificação padrão do modelo matemático de um neurônio (graficamente falando). O Perceptron em apenas 1 ou -1 para a saída. Classifica-se como resultados, A saída de classe A (estresse moderado $Y=A$), classe B (estresse muito alto $Y=B$) e classe C como classe saídas de imagens próximo do desejado. Ou seja, classe C é aquela onde o Y é diferente de A e diferente de B ().

O resultado final e desejado para trabalhos futuros, apresentado nesse artigo, é exatamente a classificação que o MMMC é capaz de fazer. A classe B será o conjunto de imagem dos trabalhadores que realmente serão indicados e mostrado no painel de controle do vigia como sendo as imagens de trabalhadores que realmente não estão em condições físicas e/ou psicológicas para exercer as funções em espaços confinados; A classe A será o conjunto de imagens de trabalhadores que embora apresente um resultado mais

próximo do desejado, serão imagens de trabalhadores que deverão ser reavaliados por uma equipe especializada em simulador em espaço confinado; Finalmente a classe C será a classe indicada como sendo o conjunto de imagens de trabalhadores aptos a exercer a função sem objeção alguma.

3 Conclusão

Conforme a metodologia e os meios utilizados para elaboração desse trabalho, pode-se concluir que: uma imagem de um corpo capturada por uma câmera termográfica num simulador em espaço confinado, selecionada para análise e indicada para treinamentos por uma RNA, será comparada com valores de uma imagem de um corpo, cujos valores são próximos de um modelo desejado e transmitido em tempo real à equipe de monitoramento. Isso ajudará a equipe decidir se a imagem recebida é de um trabalhador apto a exercer aquela tarefa e qual será o melhor procedimento a tomar para sua segurança.

A hipótese de que um trabalhador entra em um espaço confinado sem as condições físicas e psicológicas ideais para exercer suas tarefas, apenas isso não se sustenta. No entanto, o monitoramento, a classificação, a separação e indicação dos colaboradores com condições ideais para função fará com que acidentes sejam evitados.

A contribuição desse trabalho é mostrar que acidentes acontecem em espaços confinados por falha de monitoramento, falta de treinamento e avaliação dos colaboradores em simulador em espaço confinado. Com isso abre a possibilidade de novos estudos na área de segurança no trabalho principalmente em espaços confinados. Para trabalhos

futuros abre a possibilidade de estudos com imagens reais de colaboradores que exercem tarefas em espaços confinados.

Referências

- AVDELIDIS, N.P.; MOROPOULOU, A. Emissivity considerations in building thermography. *Energy Buildings*, v.35, n.7, p.663-667, 2003.
- CARDOSO, M. Perigo no silo. *Revista Proteção*, 2013. Disponível em: <http://www.protecao.com.br/edicoes/2/2013/AJjy>. Acesso em: 13 jun. 2016.
- EDDY, A.L.; VAN HOOGMOED, L.M.; SNYDER J.R. The role of thermography in the management of equine lameness. *Vet. J.*, v.162, n.3, p.172-181, 2001.
- GIORLEO, G.; MEOLA, C. Comparison between pulsed and modulated thermography in glass-epoxy laminates. *NDT & E International*, v.35, n.5, p.287-292, 2002.
- OCAÑA, S.M.; GUERRERO, I.C.; REQUENA, I.G. Thermographic survey of two rural buildings in Spain. *Energy Buildings*, v.36, n.6, p.515-523, 2004.
- PETIT, T.; LINN, H. *A Guide to Safety in confined spaces*. Washington: NIOSH. Government Print Office, 1987
- PLANCK, M. Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum. In: *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft im Jahre 1900*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1900. p.237-245.
- POSSEBON, J. *Curso de segurança química. Acidentes e riscos químicos em espaços*. São Paulo: FUNDACENTRO – CTN, 2009.
- WILLIAMS JUNIOR, J.H.; MASSOURI, S.H.; LEE, S.S. One-dimensional analysis of thermal nondestructive detection of delamination and inclusion flauwa. *British J. Non-Destructive Testing*, v.22, 1980.