

Uso de Tecnologias para o Monitoramento de Ambientes Confinados

Waldek Costa Filho¹

 orcid.org/0000-0002-2685-6061

Felipe Mendes da Cruz²

 orcid.org/0000-0002-2685-465X

¹ Pós-graduando em Engenharia de segurança do trabalho – UPE E-mail: waldekfilho@hotmail.com

² Doutor em Engenharia Industrial e de Sistemas pela Universidade do Minho (UMINHO - PT).

DOI: [10.25286/rep.v8i1.2192](https://doi.org/10.25286/rep.v8i1.2192)

Esta obra apresenta Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

Como citar este artigo pela NBR 6023/2018: Waldek Costa Filho; Felipe Mendes da Cruz. Uso de Tecnologias para o Monitoramento de Ambientes Confinados. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, Recife, v.8, n.1, p.67-76.

RESUMO

O presente estudo objetivou demonstrar a aplicação de algumas tecnologias para o monitoramento de ambientes confinados, com o intuito de garantir maior segurança ao trabalhador que atua nos referidos espaços, através de uma pesquisa bibliográfica. Foram incluídos os artigos, completos originais e de revisão, as teses e as dissertações, além de livros que abordavam a temática, publicados em diferentes bibliotecas virtuais, sem restrição de idiomas, publicados entre 2010 e 2021. Desse modo, observou-se que dentre as inúmeras tecnologias existentes, as que mais se destacam são se o uso das redes sem fio (Wireless), a internet das coisas Industriais (*Industrial Internet of Things - IIoT*) e a inspeção com drones. As redes sem fio podem ser usadas para monitoramento da qualidade do ar, detecção e controle de vazamento de gás e acidentes relacionados a robôs, com prevenções de quedas. Além do suporte e a manutenção de equipamentos, entre outras. A internet das coisas industriais pode integrar inúmeros dispositivos providos de recursos de detecção, identificação, processamento, comunicação; conectando o homem e as máquinas, transferindo e integrando conhecimento entre pessoas e organizações. Por fim, o uso de drones em espaços confinados é uma solução para melhorar a segurança e a eficiência nas operações, uma vez que possibilita acessar locais de difícil chegada, captar imagens de soldas, oxidação, desgastes, limpeza e corrosão. Realizando inspeções termográficas com temperaturas relativamente altas, áreas tóxicas ou com pouco oxigênio.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiente Confinado; segurança do trabalho; tecnologia de monitoramento.

ABSTRACT

The present study aimed to demonstrate the application of some technologies for the monitoring of confined environments, in order to guarantee greater safety to the worker who works in these spaces, through a bibliographic research. Full original and review articles, theses and dissertations were included, as well as books that addressed the theme, published in different virtual libraries, without language restriction, published between 2010 and 2021. Thus, it was observed that among the numerous existing technologies, the ones that stand out are the use of wireless networks, the Industrial Internet of Things (IIoT) and inspection with drones. Wireless networks can be used for air quality monitoring, detection and control of gas leaks and robot-related accidents, with fall prevention. In addition to the support and maintenance of equipment, among others. The industrial internet of things can integrate numerous devices provided with detection, identification, processing, communication resources; connecting man and machines, transferring and integrating knowledge between people and organizations. Finally, the use of drones in confined spaces is a solution to improve safety and efficiency in operations, as it makes it possible to access hard-to-reach places, capture images of welds, oxidation, wear, cleaning and corrosion. Performing thermographic inspections with relatively high temperatures, toxic or low oxygen areas.

KEY-WORDS: Confined Environment; Workplace Safety; Monitoring Technology.

1 INTRODUÇÃO

A Norma Regulamentadora 33 (NR 33) aprovada em 2006 define espaço confinado como sendo

[...] qualquer área não projetada para a ocupação humana contínua, que possua meios limitados de entrada e de saída, cuja ventilação existente é insuficiente para remover contaminantes ou onde possa existir a deficiência ou o enriquecimento de oxigênio [1].

Ou seja, são espaços fechados e considerados perigosos, como por exemplo, túneis, cisternas e poços, esgotos, poços de válvulas, silos, tanques, lavadores de ar, galerias, elevadores de caneca, reatores, dutos, entre outros, nos quais podem representar potenciais riscos de acidentes ao trabalhador que labora nos referidos locais.

Os espaços confinados estão presentes em quase todos os serviços industriais, desde uma usina petroquímica ou um fábrica de laticínios, uma refinaria de açúcar, ou uma ferrovia, um poço de inspeção numa indústria química. Cabe mencionar que inúmeros produtos e processos utilizados frequentemente ficam em espaços confinados [2].

Baleotti [3] aponta que os EC costumam permanecer fechados por longos períodos, sendo abertos eventualmente por profissionais para inspeção, limpeza, manutenção ou resgate podendo expô-los a riscos de acidentes e óbito. De acordo com Brevigliero et al. [2] e Nunes [4], cabe ao empregador indicar formalmente o responsável técnico pelo cumprimento da norma; identificar os espaços confinados existentes no estabelecimento; identificar os riscos específicos de cada espaço confinado; implementar a gestão em segurança e saúde no trabalho em espaços confinados; e adotar todas as medidas de prevenção necessárias para garantir permanentemente ambientes com condições adequadas de trabalho.

Desse modo, ao se realizar um trabalho em espaço confinado, deve-se considerar que mesmo apresentando elevado risco de acidentes, muitas vezes passam despercebidos pela maior parte das pessoas, podendo, com isso provocar acidentes em série [5].

Os principais acidentes em espaços confinados são os riscos atmosféricos, químicos, físicos, biológicos, mecânicos, elétricos e ergonômicos. Grande parte dos acidentes que ocorrem são mortais devido à falta de oxigênio, em virtude do desconhecimento dos riscos presentes. Por esta

razão, 60% das mortes ocorrem durante o auxílio imediato às primeiras vítimas [6].

Para a garantia da proteção e integridade física dos trabalhadores nas operações do espaço confinado, deve-se: realizar o DDS (Diálogo Diário de Segurança); desenvolver procedimentos de bloqueios elétricos de equipamentos; realizar o *Checklist*; e, preenchimentos de APR's (Avaliação Preliminar de Risco) e PPT's (Permissão Para Trabalho) [7].

Outro recurso que pode ser utilizado em benefício da segurança do trabalhador em ambientes confinados são os tecnológicos, como o sensoriamento remoto, os drones (que podem acessar e vistoriar locais de extremo risco ao ser humano) e a internet.

Um dos principais riscos em ambientes confinados são os atmosféricos, uma vez que nem sempre é possível manter a atmosfera interna respirável. Desse modo, quando a condição ideal não for possível pelas características do local ou processo, criar procedimentos seguros que controlem os níveis de exposição pelo uso de dispositivos e equipamentos de proteção individual. A condição de trabalho aceitável deve estar em sintonia com as normativas e tecnologias conhecidas.

Assim, o presente estudo objetivou demonstrar a aplicação de algumas tecnologias para o monitoramento de ambientes confinados, com o intuito de garantir maior segurança ao trabalhador que atua nos referidos espaços, através de uma pesquisa bibliográfica.

Desse modo, o desenvolvimento desse artigo encontra-se estruturado da seguinte maneira:

A fundamentação teórica buscou definir ambientes (ou espaços) confinados evidenciando os principais riscos ocupacionais dos trabalhos nestes ambientes, assim como a estatística de acidentes na referida ocupação. Ainda nessa seção são apresentadas as principais tecnologias de monitoramento de espaços confinados. Na seção destinada a metodologia, foi relatada a trajetória para a elaboração do presente estudo, desde a formulação da pergunta norteadora aos critérios de inclusão e exclusão das pesquisas utilizadas para a efetivação deste artigo. Na seção destinada aos resultados e discussão, buscou-se demonstrar a aplicação de algumas tecnologias para o monitoramento de ambientes confinados, com o intuito de garantir maior segurança ao trabalhador que atua nos referidos espaços, destacam-se o uso das redes sem fio (Wireless), a internet das coisas

Industriais (*Industrial Internet of Things* - IIoT) e a inspeção com drones. Por fim foram elencadas algumas considerações finais a título de conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Barroso [8] cita a definição dada pela Revista Segurança e Medicina do Trabalho que define ambiente confinado como o local com meios limitados de acesso, ventilação insuficiente para remoção dos contaminantes ou com deficiência / enriquecimento de oxigênio e impróprio para contínua ocupação humana.

Lima [9] vai além e diz que qualquer ambiente fechado possui potencial para se tornar um EC, o que corrobora uma problemática levantada por Moraes Junior [10] e outros autores [9] [11]: a incapacidade de identificação de EC por algumas pessoas bem como a distinção das demais áreas de trabalho e avaliação dos riscos dos trabalhos nestes ambientes.

Tosin [12] ressalta que o não reconhecimento do espaço confinado culmina em uma subavaliação dos riscos existentes, além de uma percepção reduzida dos mesmos e a ausência de preparo no que concerne aos casos em que sejam necessários resgates.

Uma atmosfera é considerada deficiente quando contém menos de 20,9 % de oxigênio em volume na pressão atmosférica normal, a não ser que a redução do percentual seja devidamente monitorada e controlada [1].

Como os riscos ocupacionais existentes em um ambiente confinado podem ter origem variada (química, física, ergonômica, mecânica ou biológica), o estudo de prevenção de acidentes deve atentar para todos os aspectos mencionados. Assim, é imprescindível que o ambiente de trabalho esteja em condições adequadas, além da emissão da Permissão de Entrada e Trabalho (PET) e da correta sinalização, proteção individual e coletiva determinadas em Norma Regulamentadora específica.

Toda Instituição e/ou empresa é obrigada a fornecer, sem custos, EPI adequado ao risco correspondente a qual o funcionário será exposto, em perfeito estado de conservação e funcionamento, nas seguintes circunstâncias: a) sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes do trabalho ou de doenças profissionais e

do trabalho; b) enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas; e, c) para atender a situações de emergência [13].

Segundo Hytorc [14] e Campos [15], no que se refere aos Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC), recomendados dentro do Sistema de segurança de espaços confinados, destacam-se os exaustores.

Para Céspedes e Rocha [16] e Campos [15], os trabalhadores devem receber treinamento e capacitação adequados para prevenir acidentes; ou seja, precisam ser informados e conscientizados sobre os riscos e a melhor maneira de evitar acidentes nesse tipo de espaço; sendo dever do empregador planejar, desenvolver e implantar a capacitação para todos os trabalhadores envolvidos, como supervisores de entrada, vigilantes e trabalhadores autorizados.

Em 2017, de acordo com números preliminares do Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS), foram concedidos 196.754 benefícios a trabalhadores que precisaram ser afastados das atividades profissionais, a média foi de 539 por acidentes só em 2018. Dentre os afastamentos por acidentes do trabalho, os ocorridos em espaços confinados chegam a ser aproximadamente 50% dos casos gerais de acidentes, sendo estes corriqueiros, em sua maioria, precedidos de morte, apontam até 90% [17].

No que se refere a legislação regulamentadora no Brasil, a Organização Internacional do Trabalho avalia como sendo a melhor dentre todos os países desenvolvidos. Contudo não é eficaz, ou mesmo aplicada [18]. Desse modo, a Figura 1 apresenta a estatística de acidentes na referida ocupação em 2018, fornecidas pelo MTE.

Figura 1 - Estatística de acidentes com causa morte



Fonte: Hermanson [18].

De acordo com dados fornecidos pelo MTE, não existe uma classificação específica para acidentes de trabalho ocorridos em espaços confinados, não há estatísticas precisas em relação à quantidade desse tipo de acidente. Apesar disso, trata-se de um alto número de acidentes nesse tipo de ambiente [17].

A pesquisa realizada pela CBIC [19] evidenciou que os acidentes de trabalho fazem parte da rotina industrial do Brasil. Nesse contexto, é preciso discutir de forma mais específica sobre o tema para que esse número reduza, sendo um bom exemplo o debate sobre a promoção de EPI para espaço confinado.

Para se ter um controle operacional deve-se priorizar a eliminação dos perigos ou evitar a existência deles, pois não existindo o perigo, não ocorrerá o acidente. Esta forma de controle pode implicar na aplicação de novas tecnologias, mudanças nos processos e investimentos maiores para a obtenção de resultados satisfatórios. A empresa deve identificar quais os processos mais eficientes para eliminação dos perigos ou redução dos riscos, e estabelecer os controles necessários levando em consideração os fatores: a fonte, o meio e o indivíduo, o nível de risco existente, a praticidade do controle e a possibilidade de não gerar novos perigos. Para que sejam eficientes e efetivos as fontes e os controles devem caminhar juntos [7] [20].

E, uma estratégia de avaliação e monitoramento atmosférico eficiente passa pela seleção adequada dos aparelhos de detecção e o conhecimento de suas limitações. Os instrumentos de detecção devem ser protegidos por rádio frequência, possuir segurança intrínseca para áreas classificadas, ter leitura direta, alarmes sonoros e luminosos quanto aos limites de concentração de contaminantes. Assim como os sensores de inflamabilidade e toxicidade, que devem estar zerados e a leitura de oxigênio estar em 20,9% de O₂ [5] [21].

Os instrumentos de detecção de gás são responsáveis pelo monitoramento da atmosfera; são necessários para monitorar continuamente a atmosfera nos espaços confinados nas áreas onde os trabalhadores autorizados estiverem desempenhando as suas tarefas, para verificar se as condições de acesso e permanência são seguras. Geralmente são utilizados aparelhos eletrônicos de leitura direta que utiliza método físico, portáteis que apresentam resultados instantâneos. Esses equipamentos podem monitorar um ou mais gases

simultaneamente (multigás), com O₂, CO H₂S, como contaminantes tóxicos juntamente com oxigênio e atmosferas inflamáveis. Existem aparelhos eletrônicos de leitura direta que utilizam método químico, os mais utilizados são indicadores colorimétricos, cuja concentração de agentes químicos no ambiente é obtida através da alteração da cor proveniente de uma reação química. Utiliza-se um aparelho detector de gás no qual os tubos são inseridos, assim o ar com o contaminante é bombeado para os tubos colorimétricos. Também se utiliza tubos colorimétricos passivos onde a passagem do contaminante é feito através de difusão [22] [23].

O uso de drones para inspeção em espaço confinado, pode ser a solução para melhorar a segurança e a eficiência nas operações. Com este equipamento, projetado especialmente para ser resistente as colisões, é possível acessar locais de difícil acesso de forma rápida e obter imagens precisas de soldas, oxidação, desgastes, limpeza e corrosão além a possibilitar a realização inspeção termográfica. Pode ser usando em condições de temperaturas relativamente altas (não extremas), áreas tóxicas ou ainda com pouco oxigênio. No entanto, o uso deste equipamento também requer a avaliação do ambiente que vai ser acessado, principalmente envolvendo a presença de agentes inflamáveis ou explosivos pois não se trata de equipamento intrinsecamente seguro [24] [25].

3 METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão integrativa. De acordo com Soares et al. [26] a revisão integrativa objetiva agrupar e resumir achados de estudos realizados anteriormente como intuito de colaborar para o aprofundamento do conhecimento relativo ao tema investigado.

A pesquisa baseou-se nas etapas propostas pelo *Joanna Briggs Institute* [27], com formulação da pergunta norteadora: Qual a importância do uso de tecnologias para o monitoramento de ambientes confinados?

As demais etapas propostas foram a especificação dos métodos de seleção dos estudos; procedimento de extração dos dados; análise e avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa da literatura; extração dos dados e apresentação da revisão/síntese do conhecimento produzido e publicado [27].

Para efetivar a presente revisão de literatura foram incluídos os artigos, completos originais e de

revisão, as teses e as dissertações, além de livros que abordavam a temática, publicados em diferentes bibliotecas virtuais, sem restrição de idiomas, publicados entre 2010 e 2021, utilizando-se os descritores: Ambiente Confinado, segurança do trabalho e tecnologia de monitoramento, combinados entre si com o operador booleano "AND" (Tabela 1).

Cruzamentos em Inglês	Cruzamentos em Espanhol	Cruzamentos em Português
Confined Environment AND Work Safety	Entorno confinado AND seguridad laboral	Ambiente Confinado AND Segurança do Trabalho
Confined Environment AND Monitoring Technology	Ambiente confinado AND tecnología de monitoreo	Ambiente Confinado AND Tecnologia de monitoramento
Confined Environment AND Monitoring Technology	Ambiente confinado AND tecnología de monitoreo	Segurança do Trabalho AND Tecnologia de monitoramento

Tabela 1 - Consulta na base de dados e biblioteca virtual.

Fonte: O autor (2021).

Excluíram-se as publicações fora do período especificado, repetidos e com resumos indisponíveis. Foi realizada a leitura dos títulos; em seguida, a leitura dos resumos. As publicações que se enquadraram foram lidas e utilizadas na elaboração da pesquisa. Utilizou-se WW artigos em português, em inglês e livros em português, além da legislação pertinente ao assunto. Realizou-se a análise e interpretação dos resultados para ordenar as informações contidas nos textos selecionados para obter dados, que levou a elaboração das considerações finais sobre a análise do referencial teórico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o objetivo do presente estudo foi o de demonstrar a aplicação de algumas tecnologias para o monitoramento de ambientes confinados, com o intuito de garantir maior segurança ao trabalhador que atua nos referidos espaços, destacam-se o uso das redes sem fio (Wireless), a internet das coisas Industriais (*Industrial Internet of Things* - IIoT) e a inspeção com drones.

4.1 REDES SEM FIO (WIRELESS)

Para Engst e Flsieshman [28], o termo Wireless significa sem fio; ou seja, são redes cujos cabos são substituídos por ondas de rádio. Sua utilização é muito simples, assim como sua instalação, o que ajuda a proporcionar seu crescente uso nos dias de hoje. Cabe ressaltar que de acordo com Patrick [29], o uso das redes sem fio tem se multiplicado cada vez mais à medida que a qualidade das mesmas vai melhorando e os valores dos equipamentos vão se tornando mais acessíveis.

No que se refere as aplicações de segurança de pessoal, para Candell et al. [30] as redes sem fio podem ser utilizadas em ambientes confinados com o objetivo de evitar acidentes ou ferimentos como monitoramento da qualidade do ar, detecção e controle de vazamento de gás e acidentes relacionados a robôs, com prevenções de quedas, dentre outras.

Wang et al. [31] usaram uma rede de sensores sem fio baseada em ZigBee para realizar a detecção remota dos parâmetros de qualidade da água e a função de monitoramento em tempo real, o que favorece a segurança de colaboradores que atuam em ambientes confinados.

Candell et al. [30] apontam o suporte e a manutenção como outras formas de aplicação de redes sem fio. Nelas incluem a comunicação da integridade e monitoramento de um equipamento, verificando o controle ambiental, como aquecimento e refrigeração e atualizações de software e firmware de componentes. Eles descrevem as principais métricas consideradas no momento de avaliar uma rede sem fio para ser implantada em um ambiente confinado. São elas:

- Confiabilidade (a introdução do sistema sem fio deve melhorar a capacidade da planta de se adaptar à função ou missão exigida sob as condições de produção especificadas);
- Segurança (as pessoas ou equipamentos devem estar mais seguros, a tecnologia sem fio melhora a capacidade dos funcionários de executar seus trabalhos sem riscos reconhecidos, incluindo quedas, energia perigosa, espaços confinados, ergonomia ou materiais perigosos);
- Eficiência (a tecnologia deve melhorar a capacidade de reduzir os custos operacionais e de produção ou reduzir os custos de manutenção);
- Qualidade (a tecnologia sem fio deve ser usada para melhorar a capacidade da fábrica de

produção dentro das tolerâncias de projeto especificadas ou para demonstrar a conformidade do projeto);

- Meio ambiente (a introdução da tecnologia melhora a administração ambiental, monitorando melhor o processo industrial e prevenindo acidentes industriais ou minimizando a poluição);
- Regulamentação governamental (a tecnologia sem fio permitirá demonstrar a conformidade com as leis ambientais e de segurança aplicáveis).

Supramaniam et al. [32] desenvolveram uma rede WirelessHART para o monitoramento de temperatura de líquidos. Os dados foram enviados pelo gateway a um servidor e nesse servidor foi desenvolvido uma aplicação para a leitura da temperatura. Convém mencionar que de acordo com Nixon [33], o WirelessHART é uma extensão do protocolo HART e foi projetado especificamente para monitoramento e controle de processos industriais. A tecnologia usa rádio baseado em IEEE 802.15.4, salto em frequência, caminhos de dados redundantes e mecanismos de repetição. As redes WirelessHART utilizam redes em malha, nas quais cada dispositivo é capaz de transmitir seus próprios dados, além de retransmitir informações de outros dispositivos na rede.

Song [34] acrescenta que os elementos básicos de uma rede WirelessHART incluem: dispositivos de campo conectados aos processos industriais, um dispositivo portátil habilitado para WirelessHART usado para configurar dispositivos, executar diagnósticos e realizar calibrações, um gateway que conecta os gerentes de rede e segurança a dispositivos de campo e roteadores de rede responsáveis por configurar a rede, agendar e gerenciar a comunicação entre dispositivos WirelessHART.

Nixon [33] aponta outra tecnologia de rede sem fio que pode ser usada em ambientes confinados é o ISA100.11a. A referida tecnologia foi desenvolvida através da Sociedade Internacional de Automação (ISA) e faz parte de uma família de padrões projetados para suportar uma ampla gama de necessidades de indústrias, incluindo automação de processos e automação de fábricas. Os critérios de design para ISA100.11a incluem: suporte à flexibilidade para vários protocolos, uso de padrões abertos, suporte à segurança com detecção de erros, salto de canal e determinismo.

Em um exemplo de aplicação, Chen [35] descreve a utilização de uma rede ISA100.11a para

fazer o monitoramento da pressão e temperatura de uma refinaria em um raio de 300m, dividida em duas sub-redes, substituindo leituras manuais que eram passíveis de erro.

A rede ISA100.11a é composta, segundo Rezha e Shin [36], pelos seguintes componentes: gerente de segurança, gerente do sistema, gateway, roteador e aparelhos de campo. O gerente do sistema é responsável por toda a organização da rede, como gerenciar os aparelhos, as comunicações e os serviços de sincronização. Os roteadores encaminham os pacotes de dados recebidos pelos aparelhos de campo ao gateway e esse é responsável por passar as informações a outras redes como internet ou servidor privado onde atua o controle do sistema com os gerenciadores de risco e sistema.

4.2 INTERNET DAS COISAS INDUSTRIAIS (INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS – IIOT)

De acordo com Lu [37], o desenvolvimento da Internet das Coisas está associado ao desenvolvimento da Indústria 4.0 e representa uma forte tendência na direção da nova revolução industrial. Pasinato e Campana [38] destacam que esse termo é creditado a Kevin Ashton em 1999 para descrever um sistema em que a Internet está conectada ao mundo físico por meio de sensores e, desde então, enormes contribuições, como segurança, conectividade e eficiência energética foram feitas sobre o tema.

Gokhale [39] e Al-Fuqaha [40] destacam que o IIoT integra vários dispositivos providos de recursos de detecção, identificação, processamento, comunicação; e, ao conectar seres humanos e máquinas, a IIoT transfere e integra conhecimento entre pessoas e organizações.

Lu [37] complementa informando que, ao gerar grande quantidade de informações e conhecimento, a IIoT proporciona um melhor entendimento de padrões de comportamento e busca o aumento da eficiência e eficácia nos processos de negócio.

Para Al-Fuqaha [40] e Xu et al. [41], sistemas IIoT podem ser alcançados pelos

últimos desenvolvimentos em RFID, sensores, tecnologias de comunicação e protocolos de Internet. A base da IIoT pode ser considerada uma infraestrutura de rede global composta por vários dispositivos conectados que dependem de tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações. A premissa básica é ter sensores colaborando diretamente sem o envolvimento humano para fornecer uma nova classe de aplicações.

Segundo Liu et al. [42], nas implantações da IIoT, os dispositivos sem fio são cada vez mais usados para melhorar a conectividade operacional dos serviços de dados industriais, como a coleta maciça de dados de processos, a comunicação com robôs industriais e o rastreamento de máquinas, peças e produtos.

Embora as tecnologias celulares, como as tecnologias 3/4/5G, prometam conectar dispositivos a longas distâncias, elas exigem suporte de infraestrutura e banda com propriedade licenciada. Os aplicativos IIoT geralmente exigem taxa de transferência relativamente pequena por nó e a capacidade não é uma preocupação importante. Em vez disso, a latência, a eficiência energética, o custo, a confiabilidade e a segurança e privacidade recursos são recursos mais desejados vista a necessidade de conectar um número muito grande de dispositivos à Internet a baixo custo, com recursos limitados de hardware e recursos energéticos (por exemplo, baterias pequenas)[43].

Observa-se que o sistema IIoT permite que o setor industrial colete e análise uma grande quantidade de dados, que podem ser usados, monetizados e melhorar o desempenho geral dos sistemas para fornecer novos tipos de serviços. A IIoT também oferece oportunidades para melhorar a eficiência, a segurança e as condições de trabalho dos trabalhadores, o que se mostra de suma importância em ambientes confinados [42] [44].

4.3 INSPEÇÃO COM DRONES

De acordo com Morais [45], existe uma maior segurança nas inspeções visuais com uso de drones em indústrias que contém atmosferas explosivas, já que seu funcionamento é controlado a uma longa distância da zona classificada, permitindo a chegada em locais de difícil acesso, por possibilitar alcançar locais onde a habitação humana seria perigosa além de melhorar na obtenção das informações desejadas. Assim como em atmosferas explosivas, o uso dos drones em espaços confinados é uma solução para melhorar a segurança e a eficiência nas operações. Pois ele possibilita acessar locais de difícil chegada, captar imagens de soldas, oxidação, desgastes, limpeza e corrosão. Realizando inspeções termográficas com temperaturas relativamente altas, áreas tóxicas ou com pouco oxigênio.

5 CONCLUSÕES

O estudo evidenciou que os recursos tecnológicos, como o sensoriamento remoto, os drones (que podem acessar e vistoriar locais de extremo risco ao ser humano) e a internet se apresentam como importante instrumento na segurança do trabalhador em espaços confinados.

As redes sem fio podem ser utilizadas em ambientes confinados com o intuito de evitar acidentes ou ferimentos como monitoramento da qualidade do ar, comunicação da integridade e monitoramento de um equipamento, verificação do controle ambiental, detecção e controle de vazamento de gás, entre outros.

No que se refere a internet das coisas industriais, esta favorece a coleta maciça de dados de processos, a comunicação com robôs industriais e o rastreamento de máquinas, peças e produtos.

Por fim, a inspeção com drones permite maior segurança nas inspeções visuais em indústrias dotadas de atmosferas explosivas, uma vez que seu funcionamento é controlado a uma distância segura.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Normas Regulamentadoras 33: Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados. Brasília - DF: Ministério do Trabalho e emprego, 2006.
- [2] BREVIGLIERO, E. et al. Higiene Ocupacional: Agentes biológicos, químicos e físicos. São Paulo: Editora SENAC, 2013.
- [3] BALEOTTI, L. A galinha dos ovos seguros. Alcoolbras. v. 9, n. 108, p. 36-41, 2017.
- [4] NUNES, M. B. Segurança do Trabalho em Espaços Confinados. Dossiê Técnico. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro - REDETEC. Rio de Janeiro: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2011.
- [5] REKUS, J. F. Complete Confined Spaces Handbook. National Safety Council. Lewis Publishers, 2014.
- [6] PEREIRA, A. D. Tratado de segurança e saúde ocupacional: aspectos técnicos e jurídicos, NR-29 a NR-36. São Paulo: Saraiva, 2015.
- [7] ARAUJO, R. P.; SANTOS, N.; MAFRA, W. J. Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho. Rio de Janeiro: Gerenciamento Verde Editora e Livraria Virtual, 2020.
- [8] BARROSO, M. P. B. S. Acidente em espaço confinado. Artigo. Curso de Especialização em Medicina do Trabalho. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.
- [9] LIMA, D, C. Recomendações necessárias para trabalhos em espaços confinados. Revista INOVAE- Journal of Engineering and Technology Innovation, v.4, n.1, p.87-103. 2016.
- [10] MORAES JÚNIOR, G. Normas Regulamentadoras Comentadas. Rio de Janeiro: Verde Editora e Livraria Virtual, 2018.
- [11] RANGEL, A. T. et al. Análise de risco num espaço confinado na PURAC sínteses. Perspectivas Online, Campo dos Goytacazes, v. 4, n. 13, 2010.
- [12] TOSIN, F. Aplicação da NR-33: segurança e saúde no trabalho em espaços confinados - silos graneleiro. 2017. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- [13] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Portaria nº 25, de 15 de outubro de 2001. Altera a Norma Regulamentadora que trata de Equipamento de Proteção Individual - NR6 e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. 2001.
- [14] HYTORC. Uso de EPIs na indústria de mineração. 2019. Disponível em: <https://hytorcmg.com.br/epi-na-mineracao/>. Acesso em janeiro de 2021.
- [15] CAMPOS, A. A. M. Espaço Confinado - Processo Seguro: A gestão de segurança e saúde deve ser planejada. Programada, implementada e avaliada. Revista Proteção, n. 182, p. 122-132, 2017.
- [16] CÉSPEDES, L.; ROCHA, F. D. Segurança e Medicina do Trabalho. São Paulo: Saraiva, 2018.
- [17] BRASIL. Ministério da Economia e Trabalho. LER/Dort afastaram 22 mil trabalhadores das atividades profissionais em 2017. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.trabalho.gov.br/noticias/6194-ler-dort-afastaram-22-mil-trabalhadores-das-atividades-profissionais-em-2017>. Acesso em fevereiro de 2021.
- [18] HERMANSON, M. Doenças, morte e descaso: por dentro da vida dos trabalhadores da mineração. São Paulo, Revista eletrônica Brasil de Fato, 2019. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2019/02/07/doencas-morte-e-descaso-por-dentro-da-vida-dos-trabalhadores-da-mineracao/>. Acesso em: 18 fev 2021.
- [19] CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Segurança e saúde na indústria da construção: prevenção e inovação. Brasília, 2019. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2019/04/SEGURANCA_E_SAÚDE_NA_INDUSTRIA_DA_CONSTRUCAO_Prevencao_e_Inovacao_v2.pdf. Acesso em março de 2021.
- [20] DIAS, S. S. Análise dos riscos de espaço confinado: estudo de caso do reservatório de água inferior do campus do vale da UFRGS. Porto Alegre: 2011. 46 p. Monografia (Especialização). Curso de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho.

- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.
- [21] MCMANUS, N. Safety and health in confined spaces. Boca Raton: CRC, 2019.
- [22] KULCSAR NETO, F.; POSSEBON, J.; AMARAL, N. C. do. Espaços confinados: livreto do trabalhador. São Paulo: FUNDACENTRO, 2019.
- [23] JORDÃO, D. M. Atmosferas Explosivas: Manual de instalações elétricas em indústrias químicas, petroquímicas e de petróleo. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2012.
- [24] WILSON, M.; MADISON, H.; HEALY, S. Confined Space Emergency Response: Assessing Employer and Fire Department Practices. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9, 120-128, 2012.
- [25] WILSON, P.; WANG, Q. Development of a protocol for determining confined space occupant load. *Proc. Safety Prog*, 2013.
- [26] SOARES, J. C. et al. Método para identificação dos fatores que influenciam na segurança do trabalho em espaços confinados: Estudo de caso na construção de embarcações. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.
- [27] JBI. Joanna Briggs Institute reviewers manual: 2011 edition. Adelaide, Australia: Author, 2011.
- [28] ENGST, A.; FLEISHMAN, G. Kit do Iniciante em Redes Sem Fio: O guia prático sobre redes Wi-Fi para Windows e Macintosh. São Paulo. Ed.: Pearson Makron Books. 2015.
- [29] PATRICK, R. História e Perspectivas, O Início da Tecnologia Wireless. 2016. Disponível em: <http://www.mundowifi.com.br/forum/thread63.html>. Acesso em: 25 dez 2021.
- [30] CANDELLI, R. et al. Industrial Wireless Systems Guidelines. *IEEE Industrial Electronics Magazine*. v. 12, n. 4, p. 6-17, 2018.
- [31] WANG, Z.; WANG, Q.; HAO, X. The Design of the Remote Water Quality Monitoring System Based on WSN. Beijing: International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2019.
- [32] SUPRAMANIAM T. et al. Development of WirelessHART adapter with industrial transmitter for process monitoring. Kuching: IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA), 2017.
- [33] NIXON, M. A Comparison of WirelessHART™ and ISA100.11a. *Emerson Process Management*. p. 1-39, 2012.
- [34] SONG, Y. et al. WirelessHART: Applying Wireless Technology in Real-Time Industrial Process Control. *Proceedings of the IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium*. 2018.
- [35] CHEN, P. Using ISA100.11a Wireless Technology to Monitor Pressure and Temperature in a Refinery. Yokogawa, 2011. Disponível em: <https://www.yokogawa.com/library/resources/media-publications/using-isa10011a-wireless-technology-to-monitor-pressure-and-temperature-in-a-refinery/> Acesso em: 20 dez 2021.
- [36] REZHA, F. P.; SHIN, S. Y. Performance Analysis of ISA100.11a Under Interference From an IEEE 802.11b Wireless Network, in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014.
- [37] LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, p. 1-10, 2017.
- [38] PASINATO, D.; CAMPANA, F. L. IIoT: análise de aspectos tecnológicos, desafios e tendências para definições de diretrizes de implementação na indústria. *Scientia cum Industria*, v. 8, n. 2, p. 123-134, 2020.
- [39] GOKHALE, P.; BHAT, O.; BHAT, S. Introduction to IOT. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, v. 5, p. 41-44, 2018.
- [40] AL-FUGAHA, A. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.
- [41] XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.
- [42] LIU, Y. et al. Wireless Network Design for Emerging IIoT Applications: Reference

Framework and Use Cases. Proceedings of the IEEE, v. 107, n. 6, p. 1166-1192, 2019.

- [43] SISINNI, E. et al. Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. IEEE Transaction on Industrial Informatics, v. 14, n. 11, p. 4724-4734, 2018.
- [44] KHAN, W. Z. *et al.* Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. Computers and Electrical Engineering, v. 81, p. 1-13, 2020.
- [45] MORAIS, L. F. N. Estudo da aplicação de drones para inspeção de linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Ceará: UFERSA, 2020.