



A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS EXAUSTORES NO PROCESSO DE REFORMA DE TANQUES RODOVIÁRIOS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS EM FEIRA DE SANTANA - BA

THE IMPORTANCE OF USING EXHAUST EXHAUSTS IN THE RENOVATION PROCESS OF ROAD TANKS: A CASE STUDY AT A ROAD IMPLEMENT COMPANY IN FEIRA DE SANTANA - BA

Matheus Ramos de Andrade¹
Thayan Antonelli Lacerda Magalhães²
Luccas Barbosa Carneiro³

¹ Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana; Feira de Santana; Bahia;
matheurandrade1@gmail.com

² Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana; Feira de Santana; Bahia;
thayanantonelli01@gmail.com

³ Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial (Senai CIMATEC; Feira de Santana; Bahia;
professor.luccasbarbosa@gmail.com

RESUMO

Tomando como direcionamento o desenvolvimento de algumas atividades em espaços confinados que apresentam riscos para o operador, devido às condições de execução as quais são expostos, como uma atmosfera contaminante e em muitos casos insuficiência de ventilação. Neste trabalho, foi realizado um estudo de caso, com o objetivo de efetuar uma análise sobre a importância dos exaustores, avaliando a eficiência do sistema de exaustão na reforma de tanques rodoviários, no qual foram avaliados os níveis de insalubridade e toxicidade que são dispersados por processos de soldagens no espaço confinado. Após análise dos dados coletados na empresa Beatriz Implementos Rodoviários, com o auxílio do detector de gases para confirmação da contaminação, constatou-se concentrações de oxigênio, explosividade, gases inflamáveis, monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e fumos metálicos. Sendo necessário um meio de descontaminação ou redução dos contaminantes presentes no ambiente para níveis de tolerância aceitáveis conforme a Norma Regulamentadora 15, com propósito de preservar os trabalhadores. Confirmou-se a necessidade de regulamentar o procedimento de descontaminação do espaço confinado através da aplicação de ventiladores mecânicos que tem a função de exaustão e insuflação, conforme Norma Regulamentadora 33 e a Norma Brasileira 16.577 (NBR 16.577). O qual permitiu efetuar uma sistematização do processo, e a partir disso foi gerado um cálculo de renovação de ar conforme guia técnico da Norma Regulamentadora 33, no equipamento tanque rodoviários de 25.000L, deixando o espaço confinado com níveis aceitáveis. Os resultados obtidos satisfazem o estudo proposto, já que a teoria junto com a prática aplicada nesse trabalho resultou na eficiência dos testes em espaços confinados.

Palavras-chave: Espaço Confinado. Exaustores. Descontaminação. Tanques rodoviários.

ABSTRACT

Taking as direction the development of some activities in confined spaces that present risks for the operator, due to the execution conditions to which they are exposed, such as a contaminating atmosphere and in many cases insufficient ventilation. In this work, a case study was carried out, with the objective of carrying out an analysis on the importance of exhausters, evaluating the efficiency of the exhaust system in the renovation of road tanks, in which the levels of insalubrity and toxicity that are dispersed by confined space welding processes. After analyzing the data collected at Beatriz Implementos Rodoviários, with the aid of a gas detector to confirm contamination, concentrations of oxygen, explosives, flammable gases, carbon monoxide, hydrogen sulfide and metallic fumes were found. It is necessary a means of decontamination or reduction of contaminants present in the environment to acceptable tolerance levels according to Regulatory Norm 15, with the purpose of preserving workers. The need to regulate the confined space decontamination procedure was confirmed through the application of mechanical fans that have the function of exhaustion and insufflation, according to Regulatory Standard 33 and Brazilian Standard 16,577 (NBR 16,577). 0 which made it possible to systematize the process, and from that a calculation of air renewal was generated according to the technical guide of Regulatory Norm 33, in the 25,000L road tank equipment, leaving the confined space with acceptable levels. The results obtained satisfy the proposed study, since the theory together with the practice applied in this work resulted in the efficiency of tests in confined spaces.

Keywords: Confined Space. Exhausters. Decontamination. Road Tanks.

INTRODUÇÃO

Para a Norma Regulamentadora 33, que diz sobre o espaço confinado, em definição se caracteriza por ser qualquer área ou ambiente que não foi projetado para ocupação humana contínua, sendo escasso o nível de ventilação, possuindo pouca entrada e saída de ar, tornando-se necessária uma extração dos contaminantes presentes para uma qualidade significativa de oxigênio, sendo essencial existir um procedimento que garanta a execução das atividades humanas dentro do espaço confinado (NR 33, 2019).

Ratifica a importância dos espaços confinados na rotina industrial e no setor de serviços, podendo ser encontrados em segmentos diversos, portanto não sendo unicamente uma característica exclusiva de segmentos específicos, mas observando as características construtivas, bem como os maquinários e equipamentos disponíveis (NETO; POSSEBON; AMARAL, 2009).

Define os sistemas mecânicos de ventilação que é entendida como a operação realizada para controlar a temperatura, a distribuição do ar, a umidade e a eliminação de agentes poluidores do ambiente, tais como gases, vapores, poeiras, fumos, névoas, microrganismos e odores, designados por contaminantes ou poluentes (MACINTYRE, 1990).

Nessa perspectiva, diante dos trabalhos em ambientes confinados ter elevados riscos ao trabalhador, em diversas formas como: físico, ergonômicos e químicos, podendo causar insuficiência de ventilação e em muitos casos uma atmosfera contaminante, ficando com níveis superiores de tolerância permitidas conforme a norma regulamentadora 15, sendo esse o objetivo de minimizar o impacto ao trabalhador, em uma forma simples de descontaminação, através de ventiladores mecânicos. Percebe-se a importância da utilização dos exaustores no processo de reforma de tanques rodoviários para este estudo de caso em uma empresa de implementos rodoviários em Feira de Santana – Bahia.

Portanto, indaga-se: os sistemas de exaustão implementados nas empresas atendem as normas exigidas, é eficiente na retirada dos contaminantes?

Então, o objetivo geral da presente pesquisa é efetuar uma análise sobre a importância dos exaustores, avaliando a eficiência do sistema de exaustão na reforma de tanques rodoviários.

Para tanto, foram delineados os seguintes objetivos específicos: descrever o sistema de exaustão implementado na reforma de tanques rodoviários; determinar taxa de renovação de ar necessário para o tanque de acordo com as normas regulamentadoras e avaliar se o sistema de exaustão implementado atende as normas regulamentadoras.

Parte da hipótese de que as empresas ou gestores, não tenha o conhecimento de qual modelo de exaustor industriais utilizar, de qual vazão de ar seja necessária para renovação do ambiente na retirada dos contaminantes, ou que estejam somente evitando gastos para algo que jugam desnecessário.

Assim, para viabilizar o teste da hipótese, realiza-se uma pesquisa de finalidade estudo de caso, utilizando de referências teóricas e normativas para a construção científica do estudo proposto no qual aborda um tipo de sistema de exaustão implementado na reforma de tanques rodoviários, além disso, classifica como pesquisa descritiva, para poder efetuar o levantamento da coleta de dados no espaço confinado contaminado.

Ao final, conclui-se que os objetivos são atendidos e a pergunta, resta respondida com a confirmação da hipótese, indicando que se faz necessário a adoção de uma nova estratégia para renovação de ar.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Efetuar uma análise sobre a importância dos exaustores, avaliando a eficiência do sistema de exaustão na reforma de tanques rodoviários.

Objetivos específicos

- Descrever o sistema de exaustão implementado na reforma de tanques rodoviários;
- Determinar taxa de renovação de ar necessário para o tanque de acordo com as normas regulamentadoras;
- Avaliar se o sistema de exaustão implementado atende as normas regulamentadoras.

REFERENCIAL TEÓRICO

Espaço Confinado

Espaço confinado é definido como um espaço com limites de acesso para entrada e saída, local ou área que não foi feito para o ser humano ficar por longo período (ocupação contínua). Além disso, outro fator danoso é a ventilação

inadequada ou insuficiente, que visa a retirada dos contaminantes presentes ou até mesmo a baixa eficiência ou enriquecimento de oxigênio que talvez venha se desenvolver no local, e que tem vários riscos à saúde do trabalhador (MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA, 2019).

Para caracterizar um espaço confinado de fato precisa ter as 4 características conforme demonstrados no quadro 1:

Quadro 1: Características do espaço confinado

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
1	O espaço que não foi projetado para a ocupação humana, ocupação contínua. Exemplo a Carreta tanque, projetado para uma ocupação de inspeção veicular, para uma verificação e não contínua.
2	Espaço com limites de acesso para entrada e saída do local. Não é uma regra que o mesmo local de entrada seja o mesmo de saída, segundo a NR-33. Está escrito no plural “Meios Limitados de entrada e saída”.
3	A ventilação inadequada ou insuficiente para retirada dos contaminantes. Imagina-se que dentro da carreta tanque, existe uma atmosfera explosiva, tóxica, e que tenha contaminantes. Ela torna-se uma atmosfera insuficiente para remover os contaminantes, não tem um fluxo adequado de ar para remoção deles.
4	Baixa eficiência ou enriquecimento de oxigênio que talvez se desenvolver no local. É mais comum a deficiência do oxigênio por conta dos outros gases presentes que podem reduzir a concentração de oxigênio. Para ter um enriquecimento de oxigênio acontece quando você injeta na linha do sistema o oxigênio por isso é proibido a ventilação direta com o oxigênio puro, tornando complicado e difícil esse acontecimento.

Fonte: Norma Regulamentadora 33 (2019)

Legislação/ Normas Regulamentadoras

A regulamentação dos trabalhos em espaços confinados, tem relevante importância, sob aspectos de saúde, segurança, penalidades legais e diretrizes no assunto espaços confinados (GONÇALVES, 2018).

A Norma Regulamentadora 33 (Saúde e Segurança em Espaços Confinados) caracteriza os requisitos mínimos para verificar e identificar o espaço confinado para evitar e garantir possíveis acidentes, auxiliando não só o empregado, mas o empregador, definindo assim suas responsabilidades e garantindo segurança e saúde na atividade exercida nos espaços confinados (CAMPOS, TAVARES E LIMA, 2006).

Segundo a NR 33, as medidas administrativas diante da norma caracterizam medidas de segurança através de procedimentos que exponham o trabalhador a

mais organização corporativa, dispondo de documentos que corroboram com a eficiência da segurança como preencher o modelo de permissão de entrada e trabalho (PET), antes da entrada do local, destinando a um trabalhador autorizado e ao vigia da empresa.

De acordo com as conclusões de Soares (2012, p. 176):

O empregador deve garantir que os trabalhadores somente tenham acesso a esses espaços confinados após a Permissão de Entrada e Trabalho e caso identifique um risco grave ou iminente, o empregador tem a dever a interromper imediatamente as atividades.

Conforme a NBR 16.577, que define aspectos fundamentais de gestão de segurança e saúde, como medidas técnicas de prevenção, medidas administrativas e medidas pessoais preponderantes para atuação responsável nos espaços confinados. Isso se dá com requisitos mínimos que é de fundamental importância estabelecer a segurança aos trabalhadores no local de trabalho (NBR 16.577, 2017).

Segundo Campos, Tavares e Lima (2006, p. 276), “Para a implantação de um sistema de gestão de segurança e saúde em espaços confinados, é necessário análise do processo desde a identificação até o controle de riscos”.

Explicando o que se diz respeito ao equipamento de proteção individual (EPI), conforme demonstrado na figura 1, há uma fundamental aplicabilidade desses equipamentos em espaços confinados, validando assim sua relevância diante do grande nível de complexibilidade que a atividade deve ter. Todo equipamento fabricado, independentemente se for nacional ou importado, tem que ter o certificado de aprovação (CA), que é emitida pelo algum órgão nacional que faça os testes e fiscalizações desses equipamentos, expedido pelo órgão competente do MTE (NR 6, 2018).

Figura 1: Equipamento de Proteção Individual



Fonte: AES AMBIENTAL (2018)

O empregador tem obrigação de prover aos empregados, gratuitamente, o EPI, por conta de um risco gerado pelo trabalho. Além disso, os EPI's deve estar

dentro das condições de uso, do prazo de validade determinado e estar em perfeita condições sanitárias (NR 6, 2018).

Os Equipamentos de proteção coletiva (EPC's), na figura 2, são diferentes dos EPI's na figura 1, que proporcionam a proteção ao trabalhador, com grande extensão de risco presente a todos os envolvidos na atividade, sendo: isolamento acústico, térmicos, guarda corpo, barreiras, abrigos e outros (NR6, 2018).

Figura 2: Equipamentos de Proteção Coletiva



Fonte: AES AMBIENTAL (2018).

Diante da norma NR 15, a qual descreve as atividades e operações insalubre, é abordada que a ventilação deve ser contínua e a qualidade do ar deve ser mantida dentro dos padrões de pureza estabelecido, mostra os limites de tolerância evidenciado na tabela 1 (NR15, 2011).

Tabela 1: Limite de Tolerância dos Contaminantes

CONTAMINANTE	LIMITE DE TOLERÂNCIA
Explosividade	Mais de 10%
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ s)	8 ppm
Oxigênio (O ₂)	Mais de 20%
Monóxido de Carbono (CO)	20 ppm

Fonte: Norma Regulamentadora 15 (2011)

Processo De Soldagem em Reforma de Tanques

A solda é um processo de fundamental importância para se fazer a adesão ou união de metais. O soldador é um profissional que trabalha em cortes e solda para peças metálicas como aço carbono, inox entre outras. Dependendo do tipo de solda usado como *metal inert gas* (MIG), *metal active gas* (MAG), *tungsten inert gas* (TIG) ou eletrodo revestido, esses processos sempre irão liberar muitos resíduos tóxicos, fazendo com que se produzam o que se conhece como fumos de metálicos e monóxido de carbono, (conforme demonstrado na figura 3).

A exposição dos trabalhadores aos fumos de soldagem em espaço confinado (conforme demonstrado na figura 4) pode apresentar diversos problemas de saúde ao longo dos anos dependendo do tipo de material, ele pode liberar fumos metálicos diferentes como cádmio e cromo, que pode causar câncer de vias arteriais superiores e pulmão, níquel que causa infecção de pele, como dermatite, entre outros (MARRUGO, 2020).

Os acidentes de trabalho em espaços confinados geralmente são fatais. Eles acontecem por diversos motivos, sendo o principal a falta de informação sobre os riscos inerentes à atividade, os principais riscos que podem ocorrer, e que são encontrados na maioria dos espaços confinados são gases tóxicos e existência de poeiras, substâncias inflamáveis que podem gerar explosão e ventilação insuficiente (MARRUGO, 2020).

Figura 3: Fumos de Solda MIG



Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 4: Solda MIG em Espaço Confinado



Fonte: Autoria Própria (2022).

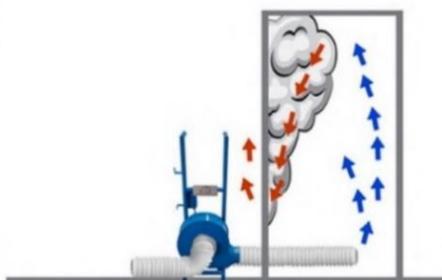
Exaustores / Insufladores

A ventilação industrial em espaços confinados tem como finalidade reduzir ou eliminar a concentração de substâncias nocivas ao trabalhador, presente na atmosfera de um determinado ambiente. Para ser efetiva a ventilação em espaço confinado, é necessário que exista uma renovação do ar, com a utilização de um

exaustor/ insuflador, equipamento que promove a renovação de ar, melhoria do nível de oxigênio e diminuição ou eliminação da concentração de poluentes. Assim, garantindo a integridade do trabalhador (NR 33, 2019).

Para demonstrar o método de pressurização em um equipamento tanque, o duto flexível do insuflador é colocado por baixo, isso quando tem a necessidade de ventilar o ar e renovar a atmosfera, o insuflador coleta o ar do meio externo e insufla para dentro do tanque no espaço confinado, expulsando assim o ar contaminado, conforme setas vermelhas demonstrada na figura 5 (BRASFAIBER, 2020).

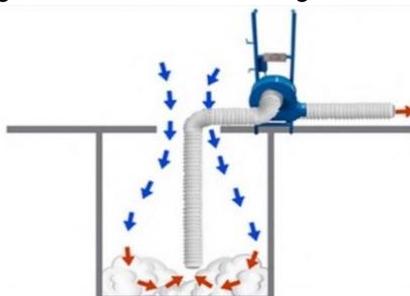
Figura 5: Exaustor Centrífugo EEC300



Fonte: Brasfaiber (2020).

Para utiliza o método de despressurização (demonstrado na figura 6), o duto flexível do exaustor é colocado por cima, sendo que a entrada do ar do meio externo será obtida na parte superior do tanque ou do espaço confinado, enquanto o ar contaminado será removido pelo duto flexível conectado no exaustor, os gases mais pesados devem ser expulsados pelo duto flexível na parte inferior (BRASFAIBER, 2020).

Figura 6: Exaustor Centrífugo EEC300



Fonte: Brasfaiber (2020).

Descontaminação de Tanques Rodoviários

Qualquer equipamento tanque rodoviário que transporta produtos perigosos, que necessite de realizar serviços de reforma ou recuperação, é obrigatório a

descontaminação, em descontaminadora. O objetivo da descontaminação é tornar o ambiente dentro dos tanques, habitável e sem nenhuma consequência para a saúde de quem adentra (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2021).

Como estabelece as condições de trabalho confinadas na NR 11 (2016, p. 2) “Nos locais fechados ou pouco ventilados, a emissão de gases tóxicos, por máquinas transportadoras, deverá ser controlada para evitar concentrações, no ambiente de trabalho, acima dos limites permissíveis”.

As descontaminações podem ser feitas por diversas formas, via úmida e via seca, dependendo do tipo material químico que foi carregado no último transporte. A via úmida é feita contendo água, através de lavagem direta com lavador ou por vapor de caldeira (JORGE, 2018).

A via seca é feita por ventiladores possante, e destinado a produtos voláteis, tais como álcoois, gasolina, etanol, metanol, acetatos de vinila (JORGE, 2018).

METODOLOGIA

Descrição Do Sistema

O presente trabalho se classifica como um estudo de caso, utilizando de referências teóricas e normativas para a construção científica do estudo proposto no qual aborda um tipo de sistema de exaustão implementado na reforma de tanques rodoviários, gerando uma contaminação do espaço confinado. Além disso, se classifica como uma pesquisa descritiva, destinando-se ao levantamento da coleta de dados do espaço confinado e a aplicação do exaustor para a sua descontaminação, mostrando a importância desse processo afim de mitigar os problemas e resultados, eliminando qualquer forma de risco de atividades a saúde humana. Para apresentação dos objetivos descritos a uma natureza de conceitos a serem medidos no tanque para a sua inspeção. Após avaliação e descrição dos resultados obtidos, foi feito uma comparação dos dados coletados, evidenciando a eficácia do estudo e buscando fazer sua validação.

Para melhor aplicação deste trabalho e sua validação, realizou-se um diálogo sistemático com os trabalhadores responsáveis pela manutenção e reforma dos equipamentos através do diálogo diário de segurança (DDS), onde foi coletado as

informações sobre os trabalhos realizados dentro do espaço confinado e suas dificuldades. Todas as coletas de dados foram disponibilizadas pela empresa Beatriz Implementos Rodoviários. Na qual tem a necessidade da utilização do exaustor em um equipamento de tanque aço carbono A36, no qual mostra na figura 10. Esse tanque é destinado para transporte de produtos inflamáveis e, em seu processo de reforma ou recuperação necessita de dois trabalhadores, um soldador, para efetuar os reparos de sua estrutura, e um vigia, com a função de observar o serviço realizado, a fim de identificar riscos e acidentes, sendo capaz de parar o serviço e até mesmo efetuar um salvamento.

Coleta De Dados

Para que seu processo de renovação de ar seja verificado se está dentro dos padrões estabelecidos em norma conforme guia técnico da NR 33 (2013), medições foram feitas com a utilização do mini anemômetro digital mda-01 minipa, (conforme demonstrado na figura 9), verificou-se a vazão específica do exaustor utilizado, com intuito de analisar e verificar se a ventilação do exaustor utilizado atende ao processo de renovação de ar do guia técnico da NR 33 (2013), através do espaço confinado apresentado. O tanque utilizado foi de 25.000L, para a medição dos gases e verificação de contaminantes presentes dentro do espaço confinado foi utilizado o detector multigás portátil com bomba integrada e bluetooth altair 5X, da MSA *the safety company*, (conforme demonstrado na figura 7), no qual tem a função de medir níveis de oxigênio presente, monóxido de carbônico, sulfeto de hidrogênio, combustíveis presentes e seu nível de explosividade.

Figura 7: Kit Detector Multigás com Bomba e Bluetooth ALTAIR® 5X



Fonte: Aatoria Própria (2022).

Segundo o guia técnico da NR 33 (2013), a vazão necessária para renovação do ar no ambiente confinado é igual ao produto do número de renovações por hora recomendado pelo volume do espaço confinado, de acordo com a equação 1.

$$Q = N \times V \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo que:

Q : Vazão (m³ /h)

N : Número de renovações por hora recomendado (ren/h)

V : Volume (m³)

O número de renovações de ar recomendadas para espaços confinados está descrito no quadro 2.

Quadro 2: Recomendações de Trocas de Ar para Ventilação em Espaço Confinado

Trocas de ar recomendadas por hora	Redução do contaminante	Condições
10	10 - 100x	Mistura bem realizada e liberação de contaminantes desprezível
20 - 30	10 - 100x	Mistura pobre ou liberação de contaminantes significativa
30 - 60	10 - 100x	Mistura pobre e liberação de contaminante significativa
60 - 100		Movimento do ar desprezível e alta liberação de contaminante

Fonte: Guia Técnico NR-33 (2013).

A vazão pôde ser determinada pela multiplicação da área da seção transversal pela velocidade média do escoamento nesta seção, conforme equação 2: (TOLENTINO JR, 2021).

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v = \frac{m^3}{s} \times 3600s = m^3/h \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo que:

Q : Vazão (m³/h)

d : Diâmetro

v : Velocidade

Análise Comparativa

Foi realizado o processo de soldagem dentro do espaço confinado, causando a contaminação do ambiente para que, através do processo de ventilação forçada, possa ser descontaminado com o uso do exaustor, conforme demonstrado na figura 8. Durante o processo de redução e descontaminação, é necessário um sistema de ventilação no qual garante que, o fluxo de ar seja realizado de maneira eficiente, através dos métodos de insuflação, exaustão ou uma combinação dos dois sistemas.

Foram realizadas as medições dos gases no período de 60 minutos, no qual os primeiros 30 minutos foram feitos sem a utilização do exaustor, e os outros 30 minutos com a utilização do exaustor, a fim de acompanhar a eficiência do sistema, comparar e analisar se o sistema de exaustão em relação ao ambiente contaminado demonstrou eficiência na redução dos gases presentes.

Dessa forma foi possível averiguar se haveria uma eficiência ou não no sistema de exaustão. Diante da preocupação com a integridade dos operadores em atividades insalubres, após comparativo do exaustor, foram feitas as tabelas 2 e 3. Onde apresenta e demonstra os resultados obtidos, demonstrando qual foi a eficiência do sistema frente a norma NR 33 (2019).

Figura 8: Exaustor Centrifugo



Fonte: Aatoria Própria (2022).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Descrição Do Sistema de Exaustão

O sistema de exaustão implementado foi uma adaptação feita pela empresa Beatriz Implementos Rodoviários, no qual foi utilizado no equipamento taque de aço carbono A36 com capacidade de 25.000L que equivale a 25m³, como desmonta na na figura 10. O exaustor utilizado pela empresa foi um projeto de criação própria, no

qual não foi feito um memorial de cálculo, para verificação das taxas de renovações de ar recomendadas em espaços confinados.

Em sua característica tem um rotor de seis pás com diâmetro de 480mm, para fazer a função de insuflação e exaustão dos gases, na parte de exaustão existe um tubo com o diâmetro de 120mm e na insuflação tem diâmetro menor comparado com o sistema de exaustão, com medida de 70mm.

Pelo fato de o exaustor ter bastante tempo de fabricado, e grande parte das peças, foram fabricadas pela própria empresa que a utiliza, plaquetas de identificação foram perdidas, não conseguindo obter todas as informações do equipamento. Porém, com a utilização do aparelho de medição mini anemômetro digital mda-01 minipa, ilustrado na figura 9, foi encontrada informações de suma importância para ter uma eficácia no estudo proposto, com vazão de saída igual à 21m/s e de entrada igual à 7,7m/s. Pós medições feitas, para poder encontrar a vazão de ar em metros cúbicos hora (m³/h) foi feito um memorial de cálculo e encontrado os seguintes resultados, para vazão de saída igual à 290,88m³/h e 313,2m³/h para vazão de entrada. Evidencia-se o cálculo de vazão de saída e entrada do exaustor na equação 2.

Cálculo de vazão de entrada do exaustor

$$Q = \frac{\pi \cdot 0,12^2}{4} \cdot 7,7 = 0,0870m^3/s \times 3600s = 313,2m^3/h \quad (\text{Equação 2})$$

Cálculo de vazão de saída do exaustor

$$Q = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 21 = 0,0808m^3/s \times 3600s = 290,88m^3/h \quad (\text{Equação 2})$$

Figura 9: Mini anemômetro digital mda-01 minipa



Fonte: Autoria Própria (2022).

Resolução do Cálculo de Renovação de Ar

Para a realização do estudo foi instalado o exaustor centrífugo, ilustrado na figura 8, o espaço confinado que está sendo abordado é um equipamento tanque em implementos rodoviários conforme demonstrado na figura 10, sendo um espaço cilíndrico com capacidade de 25.000L que equivale a 25m³, a iluminação interna apenas por meio de extensão elétrica ou lanterna. Todo o corpo do tanque é composto por aço carbono A36. Para efeito de cálculos teóricos será considerado a pior situação citada no quadro 2, como baixa movimentação de ar e alta liberação de contaminante portanto, o ar deverá ser renovado entre 60 e 100 vezes por hora (GUIA TÉCNICO NR-33, 2013).

Desenvolvendo os cálculos na equação 1 tem-se:

(Pior situação admissível)

$$Q = N \times V \quad \text{(Equação 1)}$$

$$Q = 60 \times 25$$

$$Q = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$$

(Melhor situação admissível)

$$Q = n \times V \quad \text{(Equação 1)}$$

$$Q = 100 \times 25$$

$$Q = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerando as condições teóricas de cálculo será imprescindível uma ventilação com capacidade de vazão superior a 1500 m³/h.

Figura 10: Tanque Cilíndrico



Fonte: Autoria Própria (2022).

Análise Comparativa do Exaustor em relação ao Cálculo da Norma

Os cálculos solicitam uma certa quantidade de vazão de ar para a renovação do ambiente contaminado, o exaustor utilizado entrega uma vazão de 290,88m³/h que é inferior ao que a norma exige. Após a verificação da renovação de ar do sistema implementado foi confirmado que não atende as normas exigidas tendo uma discrepância que não é aceitável, causando um uso excessivo de EPI, atraso na manutenção, entre outros, e tornando o ambiente inseguro para o trabalhador.

Para ter uma melhor eficiência e para atender as necessidades exigidas conforme norma NR 33 (2019), deve se fazer a mudança do exaustor, procurando um exaustor com vazão de ar superior a 1500 m³/h, conforme fórmulas que o guia técnico da norma regulamentadora NR 33 orienta.

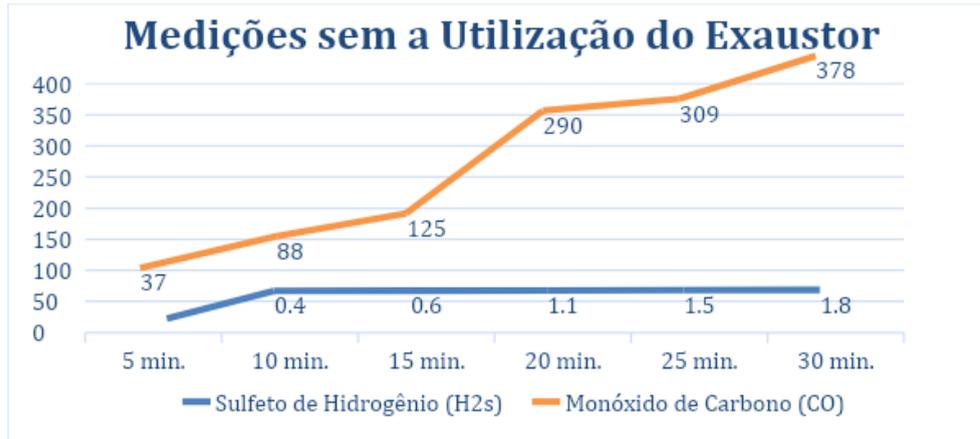
Com as medições dos gases que ali geram dentro do local de trabalho no espaço confinado, constatou-se que alguns dos gases como os combustíveis e sulfeto de hidrogênio continuaram no limite permitido de tolerância e exposição ao ser humano. Porém, oxigênio e monóxido de carbono atingiram altas taxas, ultrapassando o limite tolerável e mesmo com a utilização do exaustor no espaço confinado não foi suficiente para fazer a retirada ou diminuição dos contaminantes para o mínimo tolerável. Portanto foram relacionados seus valores de medições sem a utilização do exaustor na tabela 2, para posterior visualização de forma gráfica na figura 11 e 12. E para medições com a utilização do exaustor foi feito a tabela 3, com visualização de forma gráfica demonstradas nas figuras 13 e 14.

CONTAMINANTE		5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	25 min.	30 min.
Explosividade	(%)	4	5	6	7	8	9
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ s)	(ppm)	0	0,4	0,6	1,1	1,5	1,8
Oxigênio (O ₂)	(%)	20,8	20,3	19,8	19,5	19,3	19,1
Monóxido de Carbono (CO)	(ppm)	37	88	125	290	309	378

Tabela 2: Medições sem a utilização do exaustor

Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 11: Medições sem a utilização do exaustor (ppm)



Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 12: Medições sem a utilização do exaustor (%)



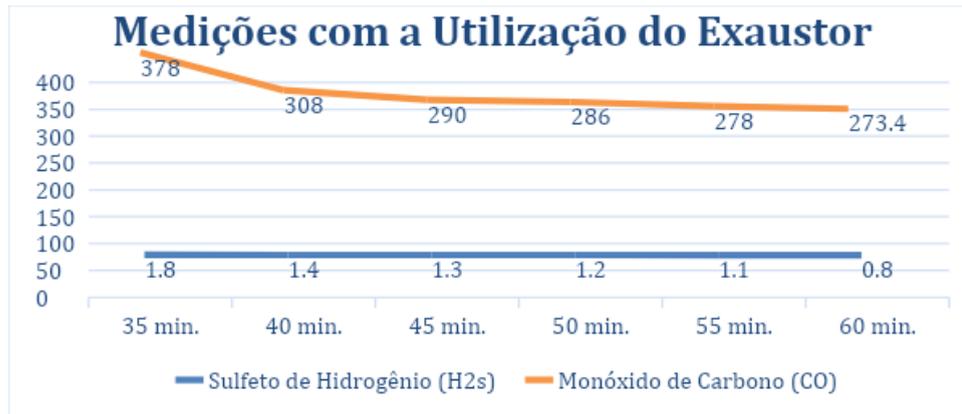
Fonte: Autoria Própria (2022).

CONTAMINANTE		35 min.	40 min.	45 min.	50 min.	55 min.	60 min.
Explosividade	(%)	9	9	8	8	6	5
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ s)	(ppm)	1,8	1,4	1,3	1,2	1,1	0,8
Oxigênio (O ₂)	(%)	19,1	19,1	19,3	19,5	19,7	19,9
Monóxido de Carbono (CO)	(ppm)	378	308	290	286	278	273,4

Tabela 3: Medições com a utilização do exaustor

Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 13: Medições com a utilização do exaustor (ppm)



Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 14: Medições com a utilização do exaustor (%)



Fonte: Autoria Própria (2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para obtenção de uma maior assertividade nas informações apresentadas, foram desenvolvidas práticas com o auxílio de pesquisas e teses, em busca de uma maior validação nos dados apresentados. Com intuito de demonstrar a importância da utilização dos exaustores em reformas de tanques rodoviários. Foi possível alcançar os objetivos gerais, confirmando a presença de contaminantes e demonstrando que o sistema de exaustão implementado não foi eficiente na retirada dos contaminantes no espaço confinado. Através do cálculo de renovação de ar para o tanque de 25.000L, foi possível utilizar o sistema de exaustão da empresa, mesmo sendo de fabricação própria, foi possível testar sua eficiência na retirada dos contaminantes. De tal forma, confirmando que o sistema de exaustão é insuficiente, não atendendo o guia técnico da NR 33 (2019). Provando a hipótese, da falta de

conhecimento da eficiência do exaustor utilizado, e a falta de conhecimento dos cálculos de renovação de ar.

As atividades práticas realizadas demonstraram compatibilidade entre os cálculos de renovação e a situação real, demonstrando que o ambiente contaminado não funcionou de forma gradativa até o limite de tolerância, confirmando que não atende aos padrões de segurança para espaços confinados.

O desenvolvimento desse trabalho colabora para futuras pesquisas no assunto, compondo um material mais abrangente para continua melhoria dos sistemas de segurança para espaços confinados. Como sugestão de melhoria desse sistema indicou-se o exaustor da empresa brasfaiber, o exaustor centrífugo EEC300 com vazão igual à 3.000m³/h assim atendendo ao equipamento tanque aço carbono A36 de 25.000L da empresa. Proporcionando uma retirada ou diluição dos contaminantes do espaço confinado com maior eficiência e diminuindo gastos indiretos de EPI e atrasos de manutenções e reformas dos tanques rodoviários.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 16.577 Espaço confinado - prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção, 2017.

BRASFAIBER. BRASFAIBER. EXAUSTOR PARA ESPAÇO CONFINADO. EXAUSTOR/INSUFLADOR INDUSTRIAL, [s. l.], 10 dez. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 33 – Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados. Manual de Legislação Atlas. 77^a Edição, São Paulo: Atlas. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-7 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO. Manual de Legislação Atlas 77^a Edição, São Paulo: Atlas. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-15 – Atividades e Operações Insalubres. Manual de Legislação Atlas 77^a Edição, São Paulo: Atlas. 2016.

CAMPOS, ARMANDO; TAVARES, JOSÉ DA CUNHA; LIMA, VALTER. Prevenção e Controle de Risco. 6^a Edição. Editora SENAC São Paulo. São Paulo, 2006.

DIRETORIA COLEGIADA DA AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA . RESOLUÇÃO - RDC Nº 47. RESOLUÇÃO - RDC Nº 47, [s. /], 25 out. 2013.

DIARIO OFICIAL DA UNIAO. PORTARIA INMETRO Nº 251. PORTARIA INMETRO Nº 251, [s. /], 9 jun. 2021.

FILHO, ANTÔNIO NUNES BARBOSA. Segurança do Trabalho e Gestão Ambiental. 4ª Edição. Editora Atlas. São Paulo, 2011.

GONÇALVES, MARCOS. Ventilação em espaços confinados, aplicação de insufladores mecânicos e exaustores. Monografia de Especialização (Dissertação em Especialista no Curso de Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2018.

JORGE, EDUARDO. DESCONTAMINADORA. DESCONTAMINADORA, [s. /], 23 jul. 2018.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. GUIA TÉCNICO NR-33. GUIA TÉCNICO NR-33. GUIA TÉCNICO NR-33, [s. /], 1 jan. 2013.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Ventilação industrial e controle da poluição. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1990.

MARRUGO, Diana Gómez et al. Fumos metálicos exposição a metais pesados sua relação com o estresse oxidativo e seu efeito na saúde. *Rev. P+L* [online]. 2019, vol.14, n.2, pp.8-20. Epub Nov 11, 2020.

NR 06 – Equipamento de Proteção Individual – EPI. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2018.

NETO, F. K., POSSEBON, J., & AMARAL, N. C. (2009). Espaços confinados: livreto do trabalhador: NR-33 - segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados. Espaços confinados: livreto do trabalhador: NR-33 - segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados. São Paulo, São Paulo, Brasil: Funda centro.

PEIXOTO, NEVERTON H.; FERREIRA, LEANDRO F. Higiene Ocupacional III. Rede e-Tec BRASIL. Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

SOARES, JOÃO CÉSAR. Método de identificação dos fatores que influenciam na segurança do trabalho em espaços confinados: uma aplicação na construção de embarcações. 2012. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola Química, Rio de Janeiro, 2012.

TOLENTINO JR, João B. Hidráulica Agrícola. Hidráulica Agrícola, [s. /], 19 abr. 2021.