

SISTEMA PARA MONITORAR VAZAMENTOS DE AMÔNIA DE UM FRIGORIFICO

Bruno Cesar Guiotto¹
Djeiso Sandrin²

RESUMO

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é apresentar um sistema de monitoramento voltado à detecção de amônia. A motivação para este estudo é a necessidade premente de aprimorar a segurança dos colaboradores em uma agroindústria localizada no Oeste de Santa Catarina, atendendo plenamente aos requisitos de segurança estabelecidos pelas normas regulamentadoras NR 15, NR 20 e NR 36. Para atingir esse objetivo, adotou-se uma abordagem qualitativa, com a coleta de dados, concentrando-se na sala de máquinas e nos setores climatizados. Os resultados obtidos indicam que, atualmente, o sistema conta com 26 unidades de sensores e apenas uma sirene, revelando-se insuficiente para atender à demanda. Como resposta a essa lacuna, propõe-se a implementação de 42 sensores detectores de células eletroquímicas, altamente eficientes em condições extremas, abrangendo desde -45°C até ambientes com 100% de umidade. Esses sensores também demonstram durabilidade nas lavagens com o uso de produtos químicos, apresentando faixas de detecção de 0 a 100 partes por milhão (ppm) para os setores com menores concentrações de amônia e de 0 a 500 ppm para o setor da sala de máquinas. A proposta inclui a integração de um controlador lógico programável (CLP) e um sistema supervisório via ethernet, complementado por 11 sirenes para o novo sistema. Destaca-se que o detector possui uma margem de erro reduzida, e em caso de queda de energia, um nobreak foi incorporado para garantir o monitoramento contínuo sem depender de um gerador. O sistema visa reduzir o tempo de exposição dos colaboradores a amônia.

Palavras-chave: Sistema de detecção de amônia; Segurança; Saúde.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial, a necessidade de processamento rápido dos alimentos torna-se crucial, destacando a importância da conservação por meio da refrigeração, no qual a refrigeração é um processo pelo qual a energia térmica é transferida de um ambiente de baixa temperatura para outro de temperatura alta através de dispositivos operando segundo ciclos de refrigeração. O emprego da refrigeração é diverso, e ela é aplicada em inúmeras indústrias e comércios tanto para o conforto térmico quanto para a conservação de alimentos (Filho, 2022).

No sul do Brasil há uma grande concentração de frigoríficos. Dessa maneira, a carne fresca deve ser mantida a baixas temperaturas de 2 a 4°C de refrigeração, que começa com o

¹ Graduando (a) em Engenharia Elétrica (UCEFF, 2023). E-mail: bruno.guiotto@hotmail.com.

² Especialista em Ensino Engenharia de Controle e Automação - E-mail: djeiso.sandrin@uceff.edu.br.

resfriamento de carcaças logo após o abate, e continua no transporte, manipulação e exposição de cortes para a venda e no armazenamento destes cortes para o consumidor. A maioria dos produtos cárneos processados também se manipulam a baixas temperaturas (ROÇA, 2005).

O processo de refrigeração e congelamento é viabilizado através da utilização de um gás conhecido como amônia (NH₃). Este gás encontra aplicações em diversos setores industriais, tais como cervejarias, plantas de empacotamento e outras aplicações similares, devido à sua notável eficiência no ciclo de refrigeração e congelamento. A amônia destaca-se por possuir um volume específico reduzido, um calor latente de vaporização relativamente elevado e custos acessíveis. No entanto, é importante ressaltar que, apesar dessas propriedades desejáveis, a amônia é caracterizada por ser altamente tóxica e inflamável. Portanto, o manuseio da amônia requer precauções especiais. Além disso, a amônia possui um odor forte e penetrante, o que requer a confinamento do circuito frigorífico em casas de máquinas, onde a ventilação deve ser cuidadosamente planejada (Matos, 2016).

A exposição à amônia pode ocasionar danos nos pulmões, insuficiência respiratória e até mesmo a morte. A exposição crônica à amônia também pode causar problemas de saúde a longo prazo. Estudos têm associado a exposição crônica à amônia a problemas de saúde, incluindo danos aos pulmões, doenças do fígado e doenças neurológicas (Dux Inovação Em Saúde Humana, 2023).

Segundo a NR 36, responsável pela segurança e saúde no trabalho em empresas de abate e processamento de carnes e derivados, é necessário a implantação de mecanismos para a detecção precoce de vazamentos nos pontos críticos, acoplados a sistema de alarme. E também, a norma técnica ABNT NBR 16186:2013, consta que as indústrias devem instalar sensores de detecção de vazamentos de amônia nos pontos críticos.

Os detectores de amônia são importantes para monitorar o nível de amônia no ar e enviar alertas para as pessoas que estão nos arredores quando o nível está perigoso, isso permite que as pessoas evacuem o local e evitem uma exposição perigosa. Os detectores devem estar interligados a um sistema de alarme, e ambos devem ser controlados pelo painel de controle do sistema de refrigeração. A integração desses mecanismos deve constituir um sistema de detecção precoce de vazamento de amônia (Rocha, 2020).

Dessa forma, ao lidar com este líquido refrigerante crucial para a refrigeração dos alimentos, é de extrema importância enfatizar a necessidade de aderir estritamente às normas mencionadas. Sendo assim, surge a seguinte pergunta: **Como podemos projetar um sistema para monitorar vazamentos de amônia com mais eficiência e segurança?**

Considerando os dados mencionados anteriormente, o objetivo deste trabalho é

apresentar uma proposta de um sistema capaz de monitorar vazamentos de amônia em uma agroindústria situada no extremo Oeste de Santa Catarina. O intuito é garantir um tempo de resposta menor e seguro para o acionamento do sistema de detecção de amônia, e assim, permitindo a evacuação dos colaboradores, se necessário.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresenta-se um estudo teórico essencial para a mitigação de riscos associados aos vazamentos de amônia.

2.1 REFRIGERAÇÃO

Refrigeração é o processo de remover calor de um corpo ou espaço, com o objetivo de reduzir sua temperatura, e transferir esse calor para outro espaço ou corpo de forma controlada. Esse procedimento é fundamental tanto para viabilizar processos específicos como para processar e preservar produtos, caracterizando o campo da refrigeração comercial e industrial. Através de um ciclo termodinâmico, o calor é retirado do ambiente a ser refrigerado e direcionado para o ambiente externo (Matos, 2016).

Segundo Matos (2016), entre os ciclos de refrigeração, os principais são o ciclo de refrigeração padrão por compressão, o ciclo de refrigeração por absorção e o ciclo de refrigeração por magnetismo.

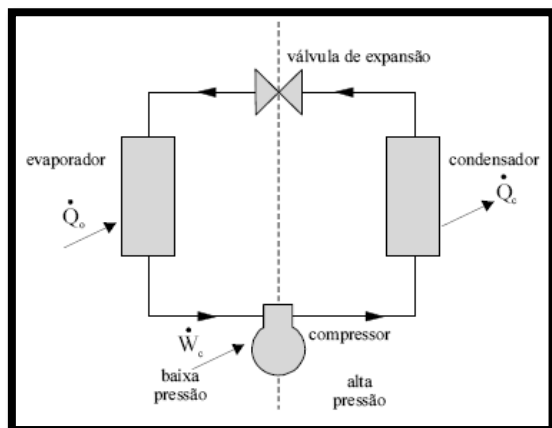
2.1.1 Refrigeração por Compressão

A Refrigeração por compressão de vapor é amplamente utilizada no condicionamento de ar de ambientes, no resfriamento e congelamento de produtos, bem como em equipamentos frigoríficos. Nesse sistema, o fluido refrigerante é transportado através de bombas centrifugas para o evaporador em baixa pressão, na forma de uma mistura de líquido e vapor, retirando energia do ambiente enquanto se transforma em vapor (Ferraz, 2008).

O vapor é então direcionado para o compressor, onde é comprimido e pressurizado, tornando-se vapor superaquecido antes de prosseguir para o condensador. O condensador tem a função de liberar a energia previamente retirada do ambiente, fazendo com que o fluido passe do estado de vapor superaquecido para o estado líquido (condensação). Em seguida, o fluido passa por um dispositivo de expansão, onde sua pressão é reduzida, permitindo que ele retorne

ao evaporador para repetir o ciclo novamente (Ferraz, 2008). A Figura 1 apresenta um fluxograma resumido do sistema de refrigeração por compressão a vapor.

Figura 1 - Refrigeração por compressão de vapor.



Fonte: Carvalho, (2016).

Nos ciclos de compressão a vapor, a amônia desempenha o papel de fluido de trabalho, alternadamente vaporizando e condensando à medida que absorve e libera energia térmica. Um refrigerante satisfatório deve possuir propriedades químicas, físicas e termodinâmicas para garantir seu uso seguro e econômico, embora não exista um refrigerante ideal (MATOS, 2008).

2.3 AMÔNIA

A amônia é amplamente empregada como fluido em sistemas de refrigeração em grande escala, encontrando aplicação em diversos setores, como frigoríficos, fábricas de gelo, pistas de patinação, cervejarias, laticínios e câmaras de congelamento (Dossat, 2004).

A amônia é um agente tóxico com propriedades alcalinas corrosivas e pode se tornar explosiva quando presente em concentrações de 16 a 25% no ar. A amônia é reconhecida como um fluido refrigerante de excelente desempenho termodinâmico, oferecendo a vantagem de custos reduzidos e não causando danos à camada de ozônio, em comparação com outros fluidos refrigerantes, (Cleto, 1999; Brasil, 2004; Cetesb, 2004; Cruz; Fonseca, 2009).

O gás representa uma fonte de irritação potencial para as vias respiratórias, olhos e pele. Os efeitos podem variar em gravidade, dependendo da duração e intensidade da exposição. A inalação desse gás pode desencadear dificuldades respiratórias, broncoespasmo e causar danos à mucosa nasal, faringe, laringe, levando a sintomas como dor no peito e edema pulmonar (MTE; SIT: DSST, 2005).

Quando inalado, o gás pode provocar náusea, vômitos e resultar no inchaço dos lábios,

boca e laringe. Em concentrações significativamente elevadas, existe o risco de necrose dos tecidos e queimaduras de profundidade considerável. Mesmo em concentrações mais baixas, cerca de 10 partes por milhão (ppm), o contato com os olhos pode provocar irritação ocular e aumento do lacrimejamento. É importante ressaltar que a exposição a concentrações mais elevadas desse gás pode ser fatal (MTE; SIT: DSST, 2005).

É responsabilidade das empresas que utilizam sistemas de refrigeração com amônia adotar medidas para mitigar todos os riscos associados a esse produto químico, que é prejudicial à saúde humana. Isso inclui o gerenciamento das concentrações de amônia no ambiente, mantendo-as o mais baixo possível e abaixo dos níveis de ação estabelecidos. Isso pode ser alcançado através da implementação de sistemas de detecção e ventilação adequados, reduzindo ao máximo os impactos na população industrial e na comunidade local (Dutra Leão *et al.*, 2017).

2.4 DETECÇÃO DE VAZAMENTOS

Segundo o Ministério do Trabalho, através da NR-15, no Anexo 11, o limite de concentração de amônia para tornar o ambiente contaminado é de 20 ppm ou 14 mg/m³. Tendo este valor como referência o sistema de detecção e alarme de incêndio pode ser programado para alertar para uma evacuação quando o ambiente atingir este limite para detecção do gás de amônia torna-se necessário a utilização de EPI's que tem a capacidade de quantificar a concentração do gás através de um processo eletroquímico de alta precisão.

Conforme estabelecido no subitem 36.9.3.2.1 da NR-36, é necessário que esses detectores estejam devidamente interligados a um sistema de alarme e ao sistema de controle da refrigeração. Essa interligação é crucial para que o sistema funcione como um eficaz sistema de detecção precoce de vazamentos. O objetivo principal desse sistema é identificar vazamentos antes que representem qualquer risco de intoxicação para os trabalhadores (Brasil, 2017).

É importante ressaltar que, de acordo com Cleto (2009), a manutenção de uma quantidade mínima de ventilação constante é recomendada para assegurar o funcionamento adequado dos detectores. Isso contribui para garantir a eficácia contínua do sistema e, conseqüentemente, a segurança dos trabalhadores.

2.5 VENTILAÇÃO ADEQUADA

Em uma sala de máquinas, quando um sistema de detecção de amônia com acionamento automático da ventilação de emergência está em operação, os requisitos de ventilação seguem

as condições normais de funcionamento. Isso significa que a ventilação é ativada automaticamente somente quando o sistema detecta níveis perigosos de amônia, mantendo a ventilação em níveis padrão durante o funcionamento regular da sala (Cleto, 2009).

Por outro lado, na ausência de um sistema de detecção de amônia com acionamento automático, o sistema de ventilação de emergência deve operar continuamente para manter a área como não classificada, independentemente das condições normais de operação. Isso garante que a sala de máquinas permaneça em um estado seguro, mesmo quando não há detecção automática de amônia, protegendo tanto os trabalhadores quanto o equipamento (Cleto, 2009).

2.6 AÇÕES DE CONTROLE E PROTEÇÃO

A NR-15, Anexo 11, estabelece um limite de tolerância de 20 ppm para a amônia. Conseqüentemente, de acordo com a NR-09, subitem 9.3.6.1, o limite de ação corresponde a 50% desse valor, ou seja, 10 ppm. As empresas são obrigadas a realizar monitoramento regular para verificar se a concentração de amônia no ambiente excede os 10 ppm estabelecidos como limite de ação. Caso esse limite seja ultrapassado, medidas corretivas devem ser imediatamente adotadas.

Em situações de emergência, quando ocorre um vazamento de amônia, é de extrema importância que a ventilação exaustora de emergência seja ativada por meio do painel de controle sempre que forem detectados níveis de amônia acima de 30 ppm. Isso se reveste de uma importância crucial, uma vez que a concentração de amônia nesse patamar representa um risco grave e iminente para a saúde e segurança, conforme estipulado pela NR-15, Anexo 11. Este anexo é responsável por regulamentar os agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada pelos limites de tolerância e a inspeção no local de trabalho.

Quando a concentração de amônia atinge 300 ppm, a atmosfera torna-se extremamente perigosa para a vida e a saúde, de acordo com a Atmosfera Imediatamente Perigosa à Vida ou à Saúde (IPVS), conforme descrito na Nota Técnica nº 03/DSST/SIT. Nesse cenário, é essencial acionar alarmes visuais e sonoros imediatamente para alertar todos os presentes a evacuar a instalação. Além disso, deve-se ativar o sistema de ventilação e exaustão de emergência para reduzir a concentração de amônia no ambiente, (Ashrae, 2018).

Quando os detectores específicos na sala de máquinas e nos reservatórios de amônia líquida identificam uma concentração de 30.000 ppm, medidas drásticas de segurança são necessárias. Nesse ponto, o sistema deve iniciar imediatamente a sequência de desligamento da

sala de máquinas e, posteriormente, desligar a alimentação elétrica dessa sala por completo. Apenas o sistema de controle e o sistema de ventilação e exaustão de emergência devem permanecer operacionais (Cleto, 2009; Brasil, 2017).

Uma medida crucial de segurança para os colaboradores em situações extremas é observar a biruta, um dispositivo que indica a direção do vento, no qual, os colaboradores deveram deslocar se no sentido oposto do vento. Ela desempenha um papel fundamental no mapeamento de áreas impactadas, agilizando a tomada de decisões e contribuindo para a redução de riscos.

2.7 PAINEL DE CONTROLE PARA O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

O painel de controle precisa ter o controle total sobre todas as operações do sistema de refrigeração. De acordo com a NR-36, especificamente no subitem 36.9.3.2.1, em situações de vazamento de amônia, o sistema responsável pelo controle da refrigeração deve, de forma automática, acionar o sistema de alarme e também iniciar o sistema de controle e eliminação de amônia (Brasil, 2017).

Adicionalmente, é importante destacar que o painel de controle deve centralizar todas as informações relacionadas ao monitoramento, ao controle e ao sistema em um único local. Isso pode ser alcançado por meio de software, desde que este atenda a todos os requisitos de controle estabelecidos pela NR-36 (Brasil, 2017).

Para concluir, é fundamental que o sistema de controle da refrigeração mantenha registros das leituras dos detectores e outros sensores, além de integrar as funções de alarme do sistema de controle e eliminação de amônia (Brasil, 2017).

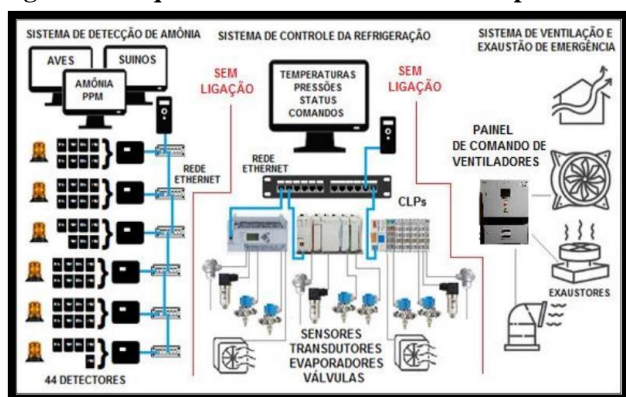
2.8 VENTILAÇÃO EXAUSTORA DE EMERGÊNCIA

Se os detectores de amônia detectarem uma concentração de 30 ppm, o painel de controle deve acionar a ventilação exaustora de emergência, conforme estabelecido no subitem 36.9.3.2.1.b da NR-36. Essa ventilação exaustora de emergência deve ser capaz de remover os gases do ambiente de forma rápida e eficaz, com o objetivo de garantir que a concentração de gases não represente um risco de intoxicação para os trabalhadores. Isso é fundamental para a segurança dos envolvidos no ambiente industrial (Goeck, 2020).

A unidade fabril deve dispor de um sistema abrangente de alarme, abarcando todas as áreas e garantindo uma resposta imediata diante de situações de emergência ou necessidade de

evacuação, especialmente em casos de vazamentos de amônia. O sistema de detecção de amônia deve ser meticulosamente configurado para acionar automaticamente o alarme, sempre que a concentração de amônia ultrapasse os 20 ppm. A Figura 2 apresenta um esboço dos três sistemas independentes.

Figura 2 - Esquema com os três sistemas independente.



Fonte: Goeck, (2020).

Na Figura 2 são destacadas as peculiaridades do sistema de detecção de amônia, juntamente com o sistema de refrigeração e o sistema de ventilação e exaustão de emergência. A operação simultânea dos três sistemas é fundamental para garantir uma eficaz eliminação do gás em situações de vazamentos de amônia.

2.9 SISTEMA SCADA

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) é um sistema essencial em processos industriais e infraestruturas críticas. Sua função primordial é coletar, monitorar e controlar dados em tempo real de diversos dispositivos, sensores e equipamentos em uma rede. Ele proporciona uma interface gráfica que permite aos operadores e engenheiros de controle visualizar e gerenciar esses dados (TOTVS, 2023).

O sistema SCADA opera através de três componentes principais: uma rede de comunicação, um conjunto de equipamentos e sensores, além de um software de supervisão. A rede de comunicação é responsável por transmitir dados entre os equipamentos e o software de supervisão (TOTVS, 2023).

Conforme estabelecido por (TOTVS, 2023), os equipamentos e sensores coletam dados e os encaminham para o software de supervisão, que processa e exibe as informações para os usuários. A funcionalidade de supervisão também permite que os usuários estabeleçam alarmes e limites operacionais, de modo que sejam notificados imediatamente em caso de falhas ou

situações que ultrapassem os limites definidos. Essa capacidade é essencial para detectar rapidamente problemas e tomar medidas corretivas, e para garantir a segurança e eficiência dos processos industriais, é necessário uso de nobreak em caso de falta de energia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo destaca as etapas detalhadas envolvidas na condução do estudo, resultando na realização de uma Análise Preliminar de Risco (APR). Durante um período de estágio obrigatório de 80 dias, a partir do dia 27/03/2023 até 07/07/2023 foi conduzida uma análise pelo frigorífico, com a devida autorização do supervisor responsável, foi registrado por meio de fotografias e anotações. Foram divididos por 4 subitens, sistema de refrigeração existente, identificação de riscos, avaliação de áreas críticas para instalação de detectores e critérios mitigadoras do risco.

O objetivo deste estudo é apresentar uma proposta de um sistema de monitoramento de vazamentos de amônia em uma agroindústria localizada no Oeste de Santa Catarina. A análise de dados será qualitativa, baseando-se nas diretrizes estabelecidas no item 36.11 da NR 36, no item 20.10 da NR 20, NR 15 e na NBR 16186.

3.1 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO EXISTENTE

O sistema de refrigeração dessa Agroindústria, desempenha um papel fundamental, atendendo a diversas áreas, como espaços climatizados, câmaras de resfriamento, câmaras de congelamento e fornecimento de água gelada para a fábrica e a área de produção.

A Sala de Máquinas está convenientemente situada no térreo, dentro de um edifício de alvenaria, com os condensadores instalados acima da laje do teto. A sala de máquinas atende a três regimes de temperatura diferentes: 0°C para água gelada, -10°C para climatização das áreas de produção e impressionantes -35°C para os túneis de congelamento, giro freezers e estocagem de produtos congelados.

Este espaço conta com um conjunto de equipamentos, incluindo 15 compressores, 11 condensadores e 8 separadores de líquido. Além disso, possui medidas de segurança importantes, como duas rotas de fuga, um chuveiro lava olhos, e iluminação de emergência. A Figura 3 apresenta fotografia da frente da sala de máquinas.

Figura 3 – Sala de máquinas.



Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

A Figura 3, a vista frontal da sala de máquinas, onde os operadores têm acesso aos equipamentos de refrigeração do frigorífico.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS

Foram identificados os eventos que poderiam originar acidentes nas instalações analisadas, e esses eventos foram chamados de "Hipóteses de Perigo". Em seguida, para cada uma dessas hipóteses, foram identificadas as causas subjacentes e suas respectivas consequências, que dependem do desenvolvimento do acidente após sua ocorrência.

A combinação entre a hipótese de Perigo e seus efeitos é denominada "Cenário Acidental". Depois de identificar as causas e efeitos, foi realizado uma avaliação qualitativa da frequência de ocorrência e das consequências associadas a cada um desses perigos, com base em categorias predefinidas de frequência e gravidade. O Quadro 1 apresenta hipóteses de perigo.

Quadro 1 – Hipóteses de perigo.

Área	Processo	Equipamentos e instalações pertencentes
Sistema de refrigeração	Vasos	Tanques, bombas, linhas, válvulas e acessórios
	Tanque Reservatório	Tanques, bombas, linhas, válvulas e acessórios
	Compressores	Linhas, válvulas e acessórios
	Evaporadores	Linhas, válvulas e acessórios
	Quadros de válvulas	Linhas, válvulas e acessórios
	Condensadores	Linhas, válvulas e acessórios

Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

No Quadro 1, são identificados os cenários com maior probabilidade de vazamentos, devido à concentração mais elevada de amônia em comparação com outros pontos.

3.3 AVALIAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS PARA INSTALAÇÃO DE DETECTORES

Durante o período de estágio obrigatório, foram identificados e registrados por meio de fotografias e anotações os equipamentos e os colaboradores de cada setor. Com base na importância da presença de detectores em diferentes áreas e nas recomendações resultantes da APR, este item visa avaliar as áreas mais críticas, orientando a instalação estratégica dos sistemas de detecção. O Quadro 2 apresenta os elementos-chave que foram utilizados para compor a Tabela 1, a fim de avaliar as áreas críticas na planta do frigorífico.

Quadro 2 – Elemento - chave.

Quantidade de pessoas	≤ 5	$5 < 15$	$15 \leq 50$	> 50
Classe de Risco	Baixo	Médio	Alto	
Ventilação da Área	Baixa	Média	Alta	
Rota de Fuga		Fácil	Média	Difícil
Fluxo de pessoas		Continua	Eventual	Restrita

Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

A Tabela 1 apresenta sobre avaliação das áreas críticas de todos os setores onde a presença de climatização.

Tabela 1 – Avaliação das áreas críticas.

Frigorífico	Quantidade de pessoas	Classe de Risco	Pessoas Treinadas	Ventilação da Área	Rota de Fuga	Fluxo de Pessoas	Tipo de Risco
Sala de Máquinas	≤ 5	Alto	Sim	Média	Médio	Continua Média	RA
Túnel de Congelamento Contínuo 1	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Eventual/R estrito	RM
Túnel de Congelamento Contínuo 2	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Eventual/R estrito	RM
Giro freezer	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Eventual/R estrito	RM
Entrada Túnel de Congelamento	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Sala de Cortes B	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Arca de gelo 1	≤ 5	Médio	Sim	Baixa	Difícil	Eventual/R estrito	RM
Arca de Gelo 2	≤ 5	Médio	Sim	Baixa	Difícil	Eventual/R estrito	RM
Montagem de Caixas	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Ante Câmara Estocagem 1	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM

Expedição	5 < 15	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Estocagem 1	5 < 15	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Estocagem 2	5 < 15	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Câmara Resfriados	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Paletização	> 50	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Túnel Semi - Contínuo 1	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Eventual/R estrito	RM
Túnel Semi Contínuo 2	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Eventual/R estrito	RM
Sala de Treinamentos	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Sala de CMS	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Sala de Miúdos	5 < 15	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Sala de Cortes A	> 50	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Embalagem Secundaria	5 < 15	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Sala de saída Girofreezer	5 < 15	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Frigorifico	Quantidade de pessoas	Classe de Risco	Pessoas Treinadas	Ventilação da Área	Rota de Fuga	Fluxo de Pessoas	Tipo de Risco
Câmara Fria	≤ 5	Médio	Não	Baixa	Médio	Continua Média	RM
Forro/QV Estocagem	≤ 5	Médio	Sim	Baixa	Difícil	Eventual/R estrito	RM
Forro/QV CMS	≤ 5	Médio	Sim	Baixa	Difícil	Eventual/R estrito	RM
Forro/QV Salade Cortes A,B	≤ 5	Médio	Sim	Baixa	Difícil	Eventual/R estrito	RM
Separador de Líquido Túnel Cong. Contínuo 1	≤ 5	Médio	Sim	Baixa	Difícil	Eventual/R estrito	RM
LEGENDA							
Sigla	Descrição						
QV	Quadro de válvulas						
RA	Risco alto						
RM	Risco médio						

Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

A Tabela 1 foi criada com o intuito de identificar as características de cada setor e a quantidade de pessoas, assim tendo como avaliar de forma segura a quantidade de sensores detectores a serem instalados.

3.4 CRITÉRIOS MITIGADORAS DO RISCO

Trata-se de uma medida preventiva que visa reduzir ou eliminar eventos adversos com potencial para prejudicar os elementos ambientais destacados nos âmbitos físico, biótico e socioeconômico. Essa abordagem procura prevenir a ocorrência de impactos negativos. Foram identificados uma série de eventos perigosos que poderiam resultar em acidentes nas instalações analisadas. Ficou evidente a necessidade de implementar medidas mitigadoras, bem como de seguir rigorosamente as rotinas operacionais na planta. A Tabela 2 da norma NBR 16186:2013 aborda os pontos de potenciais vazamentos de amônia.

Tabela 2 - Pontos de potenciais vazamentos de amônia e recomendações.

Descrição	Periodicidade (em semanas)	Recomendações
Compressor	4	Selo mecânico, guarnições, juntas, vibrações, válvulas de serviço e conexões para instrumentação
Condensador evaporativo	4	Válvula de segurança, válvula de serviço e tubo de troca de calor
Condensador	4	Válvula de segurança, válvula de serviço, tubo de troca de calor
Descrição	Periodicidade (em semanas)	Recomendações
Conjunto de motor e ventilador	2	Verificação visual da vibração
	12	Medição da intensidade de vibração
Corrosão em peças metálicas	4	Linhas de fluido frigorífico e seus acessórios
Curvas e tubulações do evaporador	4	Vibração, dilatação térmica, brasagem, abrasão e cabeceira da serpentina
Componentes de refrigeração	4	Conexões por solda, brasagem ou mecânicas (flanges e porcas) em coletores e distribuidores, válvulas de expansão e tubos capilares
Fixações das linhas de refrigeração	4	Vibração, dilatação térmica, brasagem, e abrasão
Operações de degelo do sistema	4	Dilatação ou deformação devido ao acúmulo de gelo
Conexões por solda, brasagem ou mecânicas (flanges e porcas)	4	Vibração e dilatação térmica
Separador de óleo	4	Verificar vazamentos na solda no corpo e conexões
Tanque de líquido	4	Verificar vazamentos na solda no corpo e conexões
Carga de fluido frigorífico	1	Verificar o nível no tanque de líquido pelo visor ou por sensores
Tubulações flexíveis	4	Verificar vazamentos
Válvula de serviço	4	Verificar conexão, haste, anel de vedação e tampa
Válvulas de segurança ou de alívio	4	Verificação de vazamentos e ajustes
Válvulas Schrader	4	Verificar vazamentos e substituir o mecanismo de acionamento (miolo) e o anel de vedação da tampa, se necessário.

Fonte: Adaptado da NBR 16186, (2013).

A Tabela 2 também fornece recomendações sobre a frequência de verificação da instalação pelos operadores, assim evitando possíveis vazamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da segurança na detecção de vazamentos de amônia foi conduzida em uma planta frigorífica situada na região oeste do estado de Santa Catarina. Neste capítulo, serão discutidos mais detalhes sobre os sistemas existentes no frigorífico, seguidos da apresentação de uma proposta para aprimorar a monitoração do sistema de detecção.

4.1 SISTEMA ATUAL

Existem dois sistemas, na empresa e os quais são apresentadas nesse estudo, o sistema de detecção de amônia e sistema de ventilação. Os sistemas não são interligados, ou seja, trabalham de forma independente. Em caso de vazamento, não haverá ações a serem tomadas automaticamente, na Figura 4 representa projeto do sistema de detecção de amônia que já está implementado na empresa.

Figura 4 – Projeto do sistema de detecção de amônia atual.



Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

A Figura 4 anterior fornece uma ilustração resumida do sistema de detecção de amônia que atualmente está em funcionamento, contêm 26 detectores de 0 a 100 ppm e 2 detectores de 0 a 500 ppm, e apenas uma sirene na central.

4.1.1 Central do Sistema de Detecção de Amônia

A central de detecção de vazamentos de amônia está localizada na sala de controle da casa de máquinas. É alimentada por uma tensão de 220 VCA, e possui uma fonte com saída de 24 VCC para alimentar tanto o Controlador Lógico Programável (CLP), Interface Homem Máquina (IHM) quanto os sensores.

A IHM é responsável por identificar em vermelho qual setor teve vazamento, automaticamente irá acionar uma sirene que está instalado do lado de fora da sala de controle. A Figura 5 representa a central de detecção de amônia.

Figura 5 – Central do sistema de detecção de amônia.



Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

A Figura 5 é o painel que está instalado a IHM onde os operadores utilizam para monitorar os sensores de amônia.

4.1.2 Sensor Detector da Amônia

A Figura 6, a seguir, ilustra o sensor de detecção de amônia que está em uso em todos os setores da planta, especialmente em áreas de climatização ou onde possam ocorrer possíveis vazamentos. Alimentação do sensor 24 VCC proveniente da central e transmite sinal 4 a 20 mA. Possuem faixas de detecção variando de 0 a 100 ppm e de 0 a 1000 ppm, transmitindo para a central sinal 4 a 20 mA.

Figura 6 – Sensor de detecção.



Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

A Figura 6 apresenta sensor detector de amônia, modelo HEC4H da Hantech, apresenta muitos problemas com temperaturas baixas, umidade alta e na lavagem pelo uso de produtos químicos satura as células eletroquímicas com facilidade.

4.1.3 CLP

A Figura 7 representa o CLP que é responsável pela conversão do sinal que recebe do sensor de amônia e transmite para a IHM, a qual fornecer aos operadores as informações necessárias.

Figura 7 – Controlador lógico programável.



Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

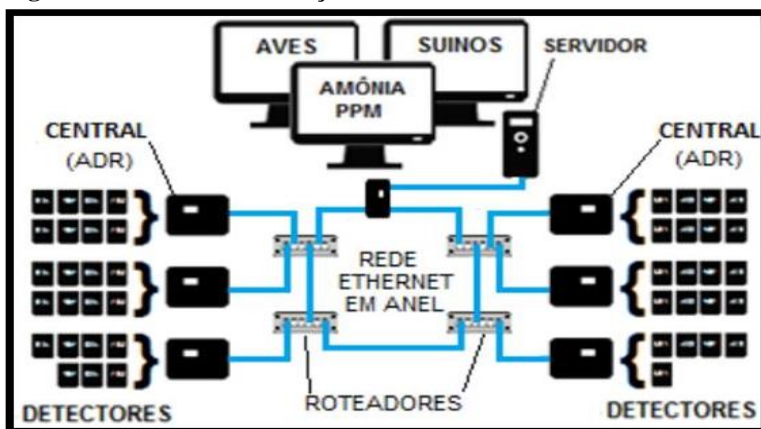
A Figura 7 é imagem frontal do CLP que atualmente está em operação no frigorífico para a converter sinal recebido dos sensores de amônia.

4.2 SISTEMA DE DETECÇÃO DE AMÔNIA PROPOSTO

O sistema de detecção de amônia será composto por 34 detectores com células eletroquímicas que possuem saída analógica de 4 a 20 mA, proporcional ao intervalo de 0 a 100ppm. Além disso, serão incluídos 8 detectores com células de 0 a 500ppm, totalizando 42 detectores. O sistema supervisor fornecerá informações precisas sobre a concentração de amônia em cada ponto monitorado.

O supervisor de controle do sistema de detecção de amônia será instalado na sala de operadores, uma vez que esta é a área onde os operadores de sala de máquinas permanecem. Esses operadores são responsáveis por manipular e controlar o sistema de refrigeração, sendo, portanto, os principais responsáveis pela pronta resposta em casos de emergência de vazamento de amônia. A Figura 8, demonstra um esboço do sistema de detecção de amônia proposto para melhorar a segurança e eficácia.

Figura 8 – Sistema de detecção de amônia.



Fonte: Goeck, (2020).

A Figura 8 é uma forma resumida do sistema proposto para esse estudo.

4.2.1 Sensores Detectores de Amônia

A Tabela 3 apresenta informações sobre os setores, locais específicos e a quantidade planejada de sensores detectores de amônia a serem instalados em cada local.

Tabela 3 – Localização e quantidade de sensores detectores.

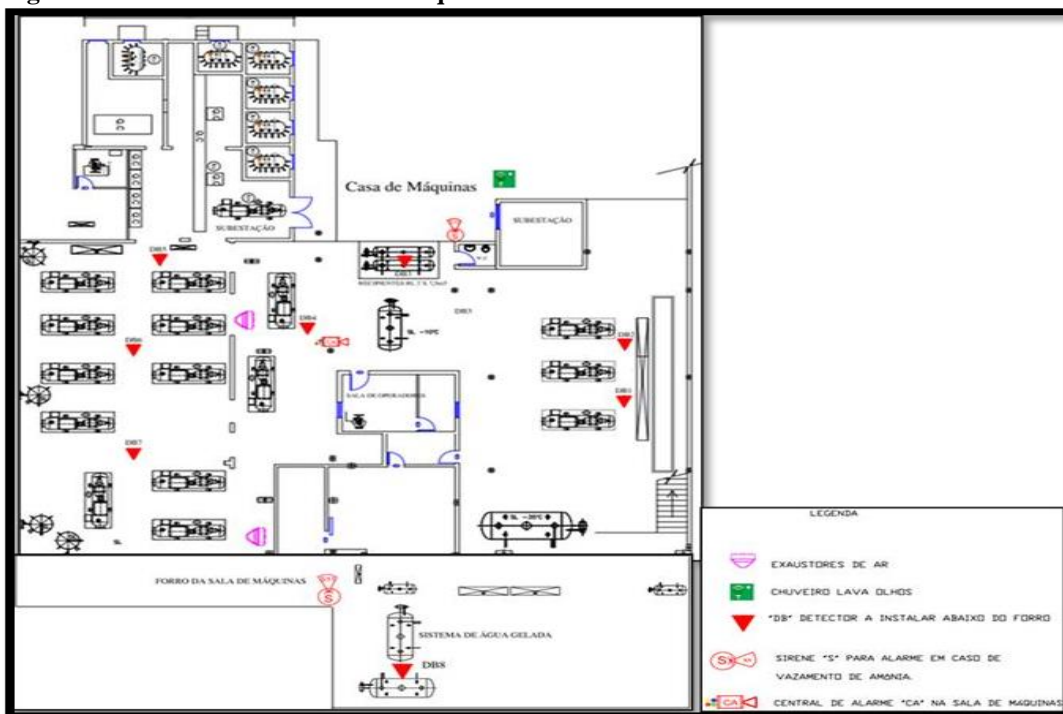
Frigorífico	Locais dos sensores	Quantidade de sensores previstos
Sala de Máquinas	DB1/DB2/DB3/DB4/ DB5/DB6/DB7/DB8 - 500 ppm	8U
Túnel de Congelamento Contínuo 1	DB10 - 100 ppm	1U
Túnel de Congelamento Contínuo 2	DB09 - 100 ppm	1U

Giro freezer	DB11 - 100 ppm	1U
Entrada Túnel de Congelamento	DB12 - 100 ppm	1U
Sala de Cortes B	DM13/DB14/DB15/DB16 - 100ppm	4U
Fábrica de gelo 1	DB17 - 100 ppm	1U
Fábrica de Gelo 2	DB18 - 100 ppm	1U
Montagem de Caixas	DB19 - 100 ppm	1U
Ante Câmara Estocagem 1	DB20 - 100 ppm	1U
Expedição	DB21/DB22- 100 ppm	2U
Estocagem 1	DB23 - 100 ppm	1U
Estocagem 2	DB24 - 100 ppm	1U
Câmara Resfriados	DB25 - 100 ppm	1U
Paletização	DB25/DB27 - 100 ppm	2U
Frigorifico	Locais dos sensores	Quantidade de sensores previstos
Túnel Semi - Contínuo 2	DB28 - 100 ppm	1U
Túnel Semi - Contínuo 2	DB29 - 100 ppm	1U
Sala de Treinamentos	DB30 - 100 ppm	1U
Sala de CMS	DB31 - 100 ppm	1U
Sala de Miúdos	DB32 - 100 ppm	1U
Sala de Cortes A	DB33/DB34/DB35 - 100 ppm	3U
Embalagem Secundaria	DB36 - 100 ppm	1U
Saída Giro freezer	DB37 - 100 ppm	1U
Câmara Fria	DB38 - 100 ppm	1U
Forro/QV Estocagem	DA39 - 100 ppm	1U
Forro/QV CMS	DA40 - 100 ppm	1U
Forro/QV Sala de Cortes A,B	DA41 - 100 ppm	1U
Separador de Líquido Túnel Cong. Contínuo 1	DB42 - 100 ppm	1U
LEGENDA		
Sigla	Descrição	
DA	Detector acima do forro	
DB	Detector baixo do forro	
QV	Quadro de válvulas	
U	Unidade	

Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

De acordo com o Tabela 3, foram necessários 42 sensores detectores de amônia, e também demonstrados a localização. A Figura 9 ilustra a planta baixa, destacando os locais nos quais foram analisados e propostos dimensionamentos para os sensores de detecção de amônia nos equipamentos de refrigeração.

Figura 9 – Planta baixa da sala de máquinas.



Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

O objetivo da Figura 9 é apresentar claramente os pontos propostos dos equipamentos, visando garantir a eficácia do sistema de monitoramento da substância. O Quadro 3 representa alguns dados que os detectores precisam conter para sistema de detecção.

Quadro 3 – Identificação dos detectores.

Tipo do gás	Range	Limite máximo de exposição	Resolução	Resposta T90
NH ₃ - amônia	0 - 100 ppm	200 ppm	< 1ppm	< 60 segundos
NH ₃ - amônia	0 - 500 ppm	600 ppm	< 2 ppm	< 90 segundos

Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

O Quadro 3 apresenta dados essenciais, incluindo o tipo de gás em contato, a faixa de trabalho em ppm, o limite de exposição ao qual o equipamento pode estar sujeito, a resolução e o T90, que indica a velocidade com que o detector identifica o gás e transmite o sinal à central de controle. A Figura 10 representa vista frontal do sensor instalado.

Figura 10 – Sensor detector de amônia.



Fonte: Goeck, (2020).

A Figura 10 ilustra o detector Honeywell, recomendado para este sistema, destacando sua resposta ágil a baixas concentrações de amônia e pequena margem de erro em níveis de ppm. Este detector opera com alta eficiência em condições extremas, desde -45°C até ambientes com 100% de umidade, apresentando também alta resistência a lavagens com o uso de produtos químicos.

4.2.2 Sirene

Recomendado a instalação de uma sirene (S10) na porta de acesso da sala de máquinas, juntamente com uma central de alarme (CA) para sinalizar vazamentos de amônia em toda a planta industrial. Além disso, estão previstas duas novas sirenes (S4, S5) nas portas de acesso às fábricas de gelo FG1 e FG2, e sete novas sirenes (S1, S2, S3, S6, S7, S8, S9) na área de produção. Adicionalmente, está prevista a instalação de uma nova sirene (S11) no acesso ao forro da sala de máquinas. Isso totaliza 11 novas sirenes instaladas na planta industrial para o alarme de vazamentos de amônia. O Quadro 4 fornece detalhes sobre a identificação das sirenes que serão acionadas em resposta à detecção de vazamento de amônia no setor.

Quadro 4 – Identificação das sirenes.

SIRENE	DETECTORES	SETORES
S1	DB11, DB13, DB14, DB15, DB16	Sala de Cortes B
S2	DB9, DB12	Túnel Continuo 2

S3	DB19	Montagem de Caixas
S4	DB17	Acesso a Fábrica de Gelo 1 - FG1
S5	DB18	Acesso a Fábrica de Gelo 2 - FG2
S6	DB20, DB21, DB22, DB23, DB24	Expedição e Estocagens 1 e 2
S7	DB25, DB26, DB27, DB28, DB29, DB31	Paletização, Túneis Semi - Contínuos e CMS
S8	DB33, DB34, DB35, DB42, DB10	Sala de Cortes A, Túnel Contínuo 1, Separador Líquido T1, Embalagens Secundária, Saída Giro freezer e Câmaras de Resfriados
S9	DB30, DB32	Sala de Treinamentos e Miúdos
S10	DB1, DB2, DB3, DB4, DB5, DB6, DB7, DB8	Sala de Máquinas
S11	DA39, DA40, DA41	Acesso ao Forro da Sala de Máquinas

Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

Na sala de máquinas, está prevista a instalação de uma central de alarme áudio visual (conforme ilustrado na Figura 11), composta por uma sirene com intensidade mínima de 110 dB e classificação IP66. O sinalizador contará com 4 cores, sendo a primeira cor azul, indicando uma concentração de 10 ppm de amônia, este é um alerta inicial.

O segundo alarme, acionado em caso de concentração de amônia ultrapassando o limite de tolerância estabelecido pela NR 15 (20 ppm), será identificado pela cor amarela, indicando a necessidade de abandono da área afetada, especialmente se o vazamento ocorrer em uma área de produção.

O terceiro alarme, indicado pela cor vermelha para uma concentração de 300 ppm, alertará para a iminente necessidade de os operadores na sala de máquinas adotarem Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) mais robustos, a fim de resolver a situação de forma segura e eficaz.

O sinaleiro de cor verde permanecerá aceso quando o sistema estiver em funcionamento normal, proporcionando uma indicação visual clara da operação estável do sistema de detecção e alarme de amônia. A Figura 11 representa alarme áudio visual para sala de máquinas.

Figura 11 – Alarme áudio visual.



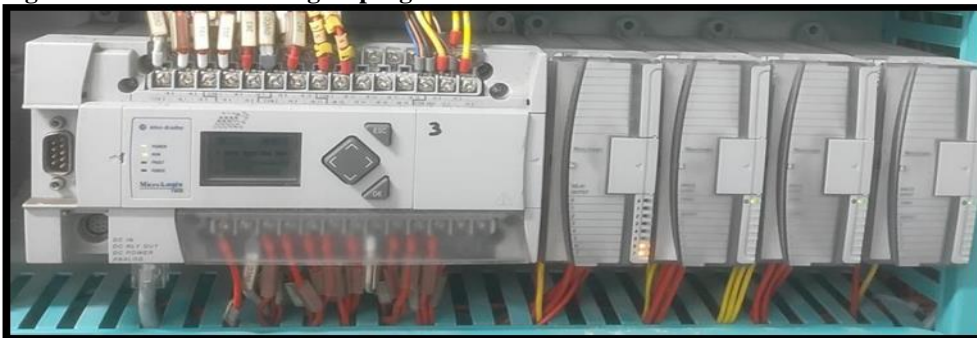
Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

A Figura 11 apresenta um alarme áudio visual com quatro cores que ficará em um local de fácil visualização e audição na sala de máquinas e para outros setores apenas o alarme sonoro.

4.2.3 CLP

Para realizar a leitura das concentrações dos sensores de amônia, foi indicado o uso do CLP MicroLogix 1400 da Allen Bradley. Para ampliar suas capacidades de monitoramento, foram incorporados cartões de expansão de entradas analógicas. Além disso, implementou-se saídas relé destinadas ao acionamento das sirenes, proporcionando uma abordagem abrangente para o controle e alerta em situações críticas. A Figura 12 representa CLP recomendado para o sistema.

Figura 12 – Controlador lógico programável.



Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

A Figura 12 está sendo demonstrado o controlador lógico programável com seus cartões de expansão recomendado para o sistema.

4.2.4 Sistema Supervisório

O sistema supervisório desempenha um papel importante para o monitoramento, permitindo a visualização e acompanhamento dos valores de concentração de amônia em ppm provenientes dos detectores distribuídos nos diferentes setores. O Quadro 5 representa requisitos do sistema supervisório deve possuir.

Quadro 5 – Requisitos do sistema supervisório.

Quesitos para sistema supervisório
A localização de cada detector (Nome e posição)
Indicador de concentração de Amônia instantânea de cada detector deve alterar a cor conforme o nível de alarme (São quatro cores: Normal, 10 PPM, 20 PPM e 300 PPM)
Possibilitar cadastro de usuários, para que somente com a senha se possam fazer alterações no supervisório
Indicação de falha de sensor
Indicação de falha dos quadros de Expansão
Emissão de relatório com a seleção do período pelo usuário
Armazenamento do histórico por no mínimo 12 meses
O Software deve ser desenvolvido em plataforma Scada

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O Quadro 5 demonstra algumas premissas para o sistema supervisório ter uma boa interação e clareza para os operadores verificar os problemas o mais breve possível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta teve início com o objetivo de apresentar um sistema capaz de monitorar vazamentos de amônia em uma agroindústria localizada no Oeste de Santa Catarina. A intenção primordial é assegurar um tempo de resposta mais rápido e seguro, possibilitando a evacuação dos colaboradores, quando necessário.

Para viabilizar essa proposta, foi essencial obter a autorização do supervisor responsável para realizar a coleta de dados no setor da casa de máquinas, onde se encontra o ponto inicial de todo o sistema de refrigeração. Essa coleta de dados foi conduzida com a supervisão constante dos operadores, garantindo a segurança e eficácia do processo. Além disso, foram necessárias informações coletadas junto ao setor de segurança do trabalho, que disponibilizou

as normas regulamentadoras a serem seguidas no estudo. Isso contribuiu significativamente para garantir que todas as etapas da proposta estivessem alinhadas com os padrões de segurança e regulamentações pertinentes.

Com relação aos equipamentos, foi estabelecido 42 sensores detectores de amônia para o frigorífico, juntamente com CLP, central áudio visual na sala de máquinas e sirenes distribuídas pelos setores onde a possíveis chances de vazamentos.

No que diz respeito à ventilação exaustora destinada à eliminação de possíveis vazamentos, vale destacar que o acionamento não é automático. Nesse contexto, é essencial que o sistema de ventilação de emergência opere de forma contínua, visando manter a área classificada como não classificada, independentemente das condições normais de operação.

Por fim, o sistema apresentado nesse estudo dará aos operadores da casa de máquinas uma boa contribuição na agilidade de visualizar o problema com antecedência, e assim, futuramente poderá ser tirado do papel para ser implementado no frigorífico.

REFERÊNCIAS

ANSI/ASHRAE. Standard 34-2007 – **Designation and Safety Classification of Refrigerants** – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho. **Manual de Auxílio na Interpretação e Aplicação da Norma Regulamentadora nº 36: Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados**. Brasília, SIT/DSST, 2017.

BRASIL. Portaria MTE nº 555, de 18 de abril de 2013. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora NR 36 - Segurança e saúde no trabalho em empresas de abate e processamento de carnes e derivados**. Brasília – DF (2013).

CARVALHO, Gabriel. Refrigeração para todos. **Ciclo de refrigeração e transferência de calor**, Santana, São Paulo – SP, 15 out. 2016.

CLETO, Leonilton Tomaz. **Recomendações sobre operação e manutenção de sistemas de refrigeração por amônia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

DUTRA LEÃO, Rosemary et al. **Manual de Auxílio na Interpretação e Aplicação da Norma Regulamentadora nº 36: Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados**. Brasília: Ministério do Trabalho, 2017. 254 p.

DUX INOVAÇÃO EM SAÚDE HUMANA. **Perigos Da Amônia Na Refrigeração Industrial**. Dux Inovação Em Saúde Humana, Itupeva/SP, p. 1, 1 set. 2023.

FERRAZ, Fagner. Apostila de Refrigeração. **Sistemas de Refrigeração**, Bahia, 21 abr. 2009.

FILHO, Antônio Carlos. Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte Centro De

Tecnologia, **Simulação Do Ciclo De Refrigeração Com Amônia (R717)**, NATAL- RN, 20 dez. 2022.

GOECK, Leandro. Curso de Engenharia de Controle e Automação. **Sistema de Controle e Eliminação de Amônia**, Lajeado, RS, 26 jul. 2020.

MATOS, Rudmar Serafim. Universidade Federal Do Paraná Setor De Tecnologia **Refrigeração**, Curitiba/PR, 12 jul. 2016.

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego **Refrigeração Industrial por Amônia: Riscos, Segurança e Auditoria Fiscal**. Nota Técnica n. 03/2004. Brasília: MTE, SIT, DSST, 2004

ROÇA, Roberto. Refrigeração. **Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial**, BOTUCATU - SP, 28 mar. 2005.

ROCHA, Christianne. Manual de Auxílio na Interpretação e Aplicação da Norma Regulamentadora nº 36. **Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados**, Brasília/DF, 3 fev. 2020.

TOTVS (São Paulo, SP). Totvs. SCADA. **Supervisory Control and Data Acquisition**, [s.l.], 10 maio 2023.