

Transição Sustentável: Análise da substituição do R-410A pelo R-32 em equipamentos de ar condicionado

Hanna Bárbara Campos Lima de Oliveira¹, Antonio Gabriel Souza Almeida²

¹Núcleo de Refrigeração, Climatização e Automação, Campus Salvador, Instituto Federal da Bahia, Brasil. Email: hannab.campos.lima@gmail.com

²Núcleo de Refrigeração, Climatização e Automação, Campus Salvador, Instituto Federal da Bahia, Brasil. Email: gabrielalmeida@ifba.edu.br

Resumo

Este estudo proporciona uma análise dos testes e impactos relacionados à substituição do fluido refrigerante R-410A pelo R-32. A coleta de dados baseou-se em uma revisão de artigos e trabalhos científicos que abordam as causas, consequências, desafios e possibilidades associadas a essa transição. A troca de R-410A para R-32 é motivada por considerações ambientais, visando diminuir os impactos negativos dos hidrofluorcarbonos (HFCs) no aquecimento global. A análise abrange não apenas os motivos da mudança, mas também os impactos ambientais específicos dos fluidos refrigerantes envolvidos, destacando a importância da transição para o R-32. Além disso, este artigo explora a relevância da Emenda de Kigali, que, nesse cenário, é considerada como um guia regulatório fundamental, que influencia diretamente as escolhas de fluidos refrigerantes. A análise desses elementos visa contribuir para uma compreensão mais aprofundada das implicações práticas e teóricas dessa mudança, ao considerar tanto os aspectos técnicos quanto os ambientais, oferecendo uma perspectiva ampla sobre a transição de R-410A para R-32.

Palavras-chave: Fluido refrigerante R-410A; Fluido refrigerante R-32; Transição ambiental; Revisão científica; Ar condicionado.

Resumen

Este estudio proporciona un análisis de las pruebas e impactos relacionados con la sustitución del fluido refrigerante R-410A por R-32. La recopilación de datos se basó en una revisión de artículos y trabajos científicos que abordan las causas, consecuencias, desafíos y posibilidades asociadas a esta transición. El cambio de R-410A a R-32 está motivado por consideraciones ambientales, con el objetivo de reducir los impactos negativos de los hidrofluorcarbonos (HFC) en el calentamiento global. El análisis abarca no solo los motivos del cambio, sino también los impactos ambientales específicos de los fluidos refrigerantes involucrados, destacando la importancia de la transición hacia R-32. Además, este artículo explora la relevancia de la Enmienda de Kigali, que, en este contexto, se considera una guía regulatoria fundamental que influye directamente en las elecciones de fluidos refrigerantes. El análisis de estos elementos pretende contribuir a una comprensión más profunda de las implicaciones prácticas y teóricas de este cambio, al considerar tanto los aspectos técnicos como los ambientales, ofreciendo una perspectiva amplia sobre la transición de R-410A a R-32.

Palabras clave: Fluido refrigerante R-410A; Fluido refrigerante R-32; Transición ambiental; Revisión científica; Aire acondicionado.

Abstract

This study provides an analysis of the tests and impacts related to replacing the refrigerant fluid R-410A with R-32. Data collection was based on a review of articles and scientific papers addressing the causes, consequences,

challenges, and possibilities associated with this transition. The switch from R-410A to R-32 is motivated by environmental considerations, aiming to reduce the negative impacts of hydrofluorocarbons (HFCs) on global warming. The analysis not only covers the reasons for the change but also the specific environmental impacts of the refrigerants involved, highlighting the importance of the transition to R-32. Additionally, this article explores the relevance of the Kigali Amendment, which in this context is considered a fundamental regulatory guide that directly influences refrigerant choices. The analysis of these elements aims to contribute to a deeper understanding of the practical and theoretical implications of this change, considering both technical and environmental aspects, offering a broad perspective on the transition from R-410A to R-32.

Keywords: Refrigerant fluid R-410A; Refrigerant fluid R-32; Environmental transition; Scientific review; Air conditioning.

1. Introdução

Desde a introdução do ciclo de compressão a vapor em 1834, o avanço da indústria global de refrigeração e ar condicionado tem sido vinculado à capacidade de desenvolver fluidos refrigerantes que atendam de maneira adequada às demandas específicas de cada aplicação de projeto, não considerando totalmente os fatores ambientais. Os hidrofluorcarbonos (HFCs) surgiram nas décadas de 80 e 90 como alternativas aos clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), não contendo cloro e, portanto, evitando a destruição da camada de ozônio. Entretanto, é importante observar que contribuem para o fenômeno do aquecimento global [1]. Um fluido refrigerante amplamente utilizado em sistemas de refrigeração residencial é o R410A, classificado como hidrofluorcarbono (HFC), composto por uma mistura de 50% de R32 e 50% de R125. Apesar de não apresentar Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (ODP), destaca-se pelo significativo Potencial de Aquecimento Global (GWP) em torno de 2.088 [2]. O R410A pertence à categoria A1, caracterizada por baixa toxicidade e inflamabilidade mínima [3].

Contudo, o expressivo aumento na demanda por serviços de refrigeração nas próximas décadas contribuirá significativamente para o aumento das emissões de HFC. Em contrapartida, a crescente preocupação com as mudanças climáticas e o impacto ambiental dos gases de efeito estufa impulsiona uma tendência global em direção à adoção de refrigerantes com Potencial de Aquecimento Global (GWP) reduzido ou opções mais ecologicamente sustentáveis. O GWP significativo do R410A intensifica a busca por alternativas mais amigáveis ao meio ambiente.

Dessa forma, foram estabelecidas metas de redução no consumo de HFC, gradualmente divididas em grupos. O Brasil, classificado no Grupo 1 entre os países, está programado para congelar o consumo de HFCs em 2024. A redução gradual desse consumo terá início em 2029, visando alcançar, até 2045, um patamar máximo de 20% em relação ao nível inicial, conforme definido pela Emenda de Kigali (KA) ao Protocolo de Montreal (MP). Essas metas foram acordadas durante a 28ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal, ocorrida em 2016, em Kigali, Ruanda [4].

Como alternativa, o R32, também conhecido como Difluorometano, destaca-se. Este fluido refrigerante puro é notável por apresentar Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (ODP) nulo e um Potencial de Aquecimento Global (GWP) equivalente a 675 [5]. O R32 é classificado como A2L em termos de segurança. Isso indica que sua toxicidade é baixa, e sua inflamabilidade é mínima, com uma propagação de chama limitada [6].

O objetivo deste artigo é conduzir uma análise do novo fluido que emergiu no mercado, o R-32. O foco será na compreensão de suas características, aplicações, vantagens e desafios, visando oferecer uma perspectiva abrangente sobre a relevância, segurança pessoal e o impacto ambiental.

2. Método

A metodologia utilizada para este artigo consistiu em uma revisão bibliográfica abrangente, focada na análise de artigos nacionais e internacionais relacionados aos fluidos R410A e R32. Durante as buscas foram utilizadas diversas palavras-chave estratégicas para orientar a pesquisa, incluindo termos como R32, R410A, riscos do R32, transição para o R32, mudança do R410A, além de outras expressões relacionadas. O objetivo dessas buscas foi capturar um amplo espectro de informações e perspectivas sobre os fluidos refrigerantes, especialmente o R32, e entender melhor os desafios, benefícios e implicações associados à sua utilização. A justificativa para a escolha das palavras-chave baseou-se na relevância e frequência de uso nos estudos existentes, garantindo que a pesquisa abrangesse tanto os aspectos técnicos quanto os normativos e ambientais. Adicionalmente, incluímos termos específicos para aprofundar a pesquisa, como "impactos ambientais do R32", "eficiência energética do R32", "comparação entre R32 e R410A".

O processo de seleção dos documentos para esta revisão foi organizado em quatro etapas. Inicialmente, todos os trabalhos disponíveis no Google Academy foram identificados e quantificados. Em seguida, os trabalhos duplicados foram eliminados, juntamente com os documentos que não estavam diretamente relacionados com a temática abordada e que não atendiam aos critérios de inclusão estabelecidos.

Após a triagem, os documentos restantes foram submetidos a uma leitura integral para avaliar sua adequação aos critérios de qualidade predefinidos. Apenas os artigos científicos publicados, completos e disponíveis para download, que tratavam dos impactos e relevância para o tema em questão, foram considerados elegíveis para inclusão. Normas e diretrizes nacionais e internacionais, não levando em consideração sua data de publicação, foram incluídas para contextualização do tema.

Como critérios de exclusão, foram removidos documentos não disponíveis e em idiomas diferentes do inglês, português e espanhol. Este processo rigoroso garantiu a seleção dos trabalhos mais relevantes e de alta qualidade para a revisão bibliográfica, proporcionando uma base sólida para a análise e discussão dos temas abordados.

Este método de revisão bibliográfica desempenhou um papel fundamental na construção de uma base sólida de informações, assegurando a confiabilidade e a atualização do conteúdo apresentado no artigo. A abordagem crítica adotada durante a análise permitiu uma compreensão aprofundada dos tópicos abordados, contribuindo para a qualidade do estudo.

3. Resultados e discussão

Após uma busca minuciosa na literatura pertinente, foi realizada uma análise extensiva que resultou na identificação de um total de 21 artigos relacionados ao uso do R32. No entanto, durante o processo de triagem e avaliação, foi constatado que quatro desses artigos se concentravam principalmente na comparação baseada no uso do R22, o que os torna inadequados para os critérios específicos estabelecidos nesta revisão. Assim, após uma seleção rigorosa, considerando os critérios de exclusão e inclusão pré-definidos, foram escolhidos os artigos que não apenas forneceram informações importantes, mas também desempenharam um papel significativo no aprofundamento da compreensão do tema em análise.

Serão apresentados resultados de pesquisas realizadas nos últimos anos. Esses resultados são essenciais para uma compreensão mais aprofundada do tema e abordam aspectos técnicos relevantes. Estas descobertas proporcionarão uma visão abrangente sobre o uso do R32.

3.1 Vantagens do uso do R32

Em um estudo conduzido por [9], o Coeficiente de Desempenho (COP) do R32 e do R410A foi comparado em um modelo termodinâmico em uma bomba de calor residencial de 3,2 kW, sob diferentes condições de operação. Os resultados teóricos mostraram que o R32 superou o R410A em 15% na

capacidade de resfriamento e 6% no COP de resfriamento. Em testes experimentais, o R32 demonstrou ser 8% e 3% superior em capacidade de resfriamento e aquecimento, respectivamente, e apresentou 3% e 2% de aumento nos COPs de resfriamento e aquecimento.[9]

O estudo realizado por [10] investigou o desempenho do R32 e do R410A em diferentes taxas de fluxo de massa, em condições de carga térmica de resfriamento de 2,773 kW e carga térmica de aquecimento de 4,108 kW, as análises mostraram que o COP do R32 foi 2,7% maior no modo de resfriamento e 8,5% maior no modo de aquecimento em comparação com o R410A [10].

[11] conduziram testes em uma bomba de calor ar-água com trocador de calor de tubo duplo, demonstrando que o desempenho de resfriamento do R32 foi comparável ao do R410A, enquanto o COP de aquecimento do R32 foi 14% maior que o do R410A. Além disso, a quantidade de carga necessária de R32 foi apenas 66% da necessária para o R410A para alcançar a mesma capacidade de resfriamento.[11]

Em outra abordagem, [12] modelaram um túnel de vento para resfriamento de ar em diferentes condições de evaporação. Os resultados indicaram que, na temperatura de evaporação, as capacidades de resfriamento foram maiores para o R32 em comparação com o R410A [12]. Estudos adicionais de [13] e [14] exploraram diversas configurações de ciclos de refrigeração, destacando melhorias significativas no desempenho de resfriamento com o uso do R32, com aumentos de até 10-12% na capacidade de resfriamento e 5-10% no COP em comparação com o sistema de compressão de estágio único.

Somado a isso, [15] conduziram testes com o R32 em uma bomba de calor com capacidade de 3 TR (10,5 kW), originalmente projetada para operar com R410A, seguindo as condições AHRI 210/240. As condições AHRI 210/240 referem-se a um conjunto de padrões estabelecidos pelo Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI) para testar e avaliar o desempenho de equipamentos de ar condicionado e refrigeração. Durante os testes, foi observado um ganho de capacidade do compressor de 3 a 4% ao operar com R32. No entanto, foi registrado um aumento no superaquecimento, variando entre 35,6 e 41 °F, devido à redução de 28% na vazão mássica e ao aumento da temperatura de descarga do compressor. Em relação aos impactos no meio ambiente, observou-se que utilizando a metodologia LCCP (Life Cycle Climate Performance), os pesquisadores descobriram que os impactos ambientais associados ao uso do R32 são aproximadamente 5% menores em comparação com o R410A. Isso levou à conclusão de que o R32 pode ser considerado como uma opção inicial viável

para substituir o R410A em equipamentos durante a fase de eliminação de HFCs com alto potencial de Aquecimento Global (GWP). [15]

[16] conduziram experimentos utilizando um compressor do tipo scroll, projetado para operar com R410A, de 2.5 TR (9 kW) para realizar testes calorimétricos utilizando R32. Os resultados indicaram que o R32 operava com uma capacidade de 3% a 5% superior, resultando em um ganho na EER (Energy Efficiency Ratio) de aproximadamente 3% a 5% em todas as condições de teste quando comparado ao desempenho com R410A. [16]

[17] realizou uma análise sobre o desempenho em relação a substituição do fluido refrigerante R410A pelo R32 em um sistema de ar condicionado. Por meio de uma abordagem experimental conduzida em uma bancada de testes, utilizando um compressor hermético do tipo scroll, modelo ZP49K5-TF5 da empresa Emerson, com capacidade nominal de 5 TR (~15 kW), o estudo teve como objetivo principal comparar os desempenhos dos dois refrigerantes. Ao longo do experimento, foram conduzidos 32 testes para cada fluido refrigerante, permitindo uma análise detalhada da capacidade de refrigeração, potência consumida pelo compressor e o Coeficiente de Performance (COP). Os resultados obtidos revelaram uma tendência consistente: em ambas as temperaturas de evaporação avaliadas, a capacidade de refrigeração demonstrou ser significativamente superior ao utilizar o R32 em comparação com o R410A. Além disso, o COP apresentou consistentemente uma eficiência energética superior com o R32, indicando seu potencial como uma alternativa mais eficiente e promissora em comparação com o R410A em sistemas de refrigeração.

Para aprofundar a análise nesta pesquisa, é relevante destacar um gráfico apresentado no artigo publicado. Nele, são representadas as capacidades de refrigeração (em kW) para diferentes temperaturas de evaporação e várias frequências de operação nos sistemas utilizando os fluidos R410A e R32. Este gráfico oferece uma visualização detalhada e informativa dos resultados obtidos, fornecendo informações cruciais para compreender o desempenho do sistema em diferentes condições operacionais.

Os resultados da capacidade de refrigeração, conforme mostrado na Figura 1, utilizando o fluido R32, mantiveram uma tendência semelhante aos obtidos com o R410A, apresentados na Figura 2. No entanto, observou-se que os valores mais elevados de capacidade de refrigeração foram em torno de 17 kW ao usar o R32. Isso sugere que, apesar da mudança no fluido refrigerante, o desempenho do sistema de refrigeração permaneceu consistente, com uma capacidade de refrigeração ligeiramente superior ao utilizar o R32.

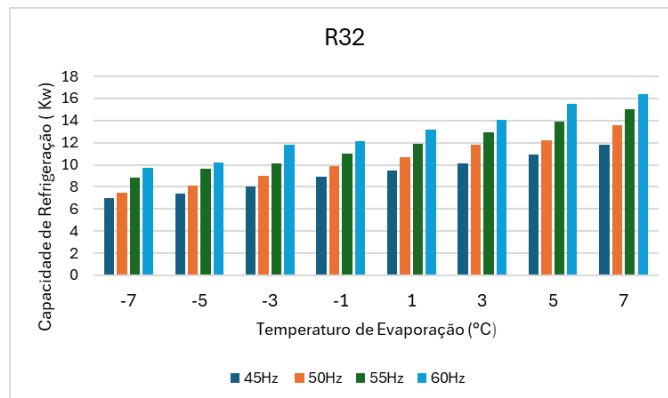


Figura 1. Capacidade de refrigeração, em kW para diferentes temperaturas e diferentes frequências de operação, utilizando R32. [17]

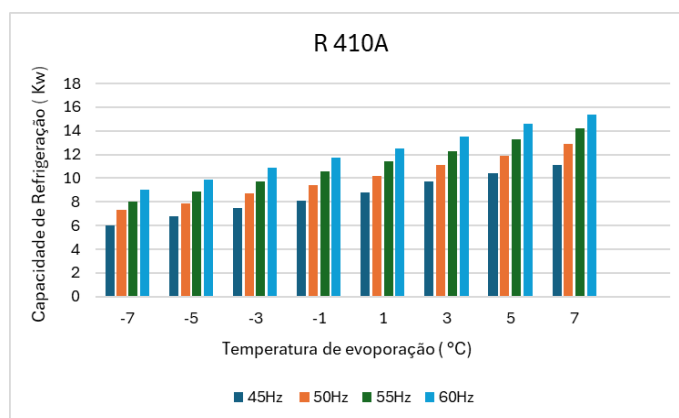


Figura 2. Capacidade de refrigeração, em kW para diferentes temperaturas e diferentes frequências de operação, utilizando R410A. [17]

Além disso, o estudo também analisou o consumo de potência (em kW) para diferentes temperaturas. Foi observado que a temperatura de descarga do compressor foi mais elevada com o uso do R32, o que indica uma diferença nas propriedades termodinâmicas dos fluidos refrigerantes. Esses achados sugerem que o R32 pode proporcionar um melhor desempenho em termos de capacidade de refrigeração e eficiência energética quando comparado ao R410A em sistemas de ar condicionado. Esses resultados ressaltam a viabilidade e as vantagens potenciais da adoção do R32 como um refrigerante alternativo mais eficiente e ambientalmente amigável, promovendo uma transição sustentável na indústria de refrigeração e ar condicionado.

A Figura 3 fornece uma representação gráfica da potência consumida pelo compressor (em kW) em relação a diferentes temperaturas de evaporação. Essa variação é analisada em conjunto com a frequência de rotação, utilizando o R410A como refrigerante.

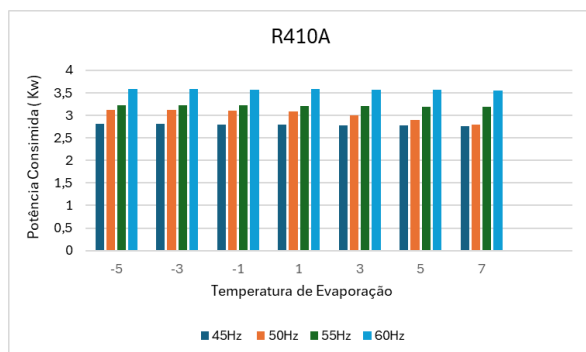


Figura 3. Consumo de potência do compressor, em kW, para diferentes temperaturas de evaporação e diferentes frequências de operação, utilizando R410A. [17]

Por sua vez, a Figura 4 apresenta os valores correspondentes ao consumo de potência do compressor ao utilizar o R32 como refrigerante. Ao analisar esses resultados, é perceptível que ambos os conjuntos de dados exibem tendências similares. O padrão observado indica que há um aumento no consumo de potência para frequências mais elevadas e temperaturas de evaporação mais baixas. Essa análise comparativa entre os dois fluidos refrigerantes destaca a consistência desses comportamentos, independentemente do refrigerante utilizado.

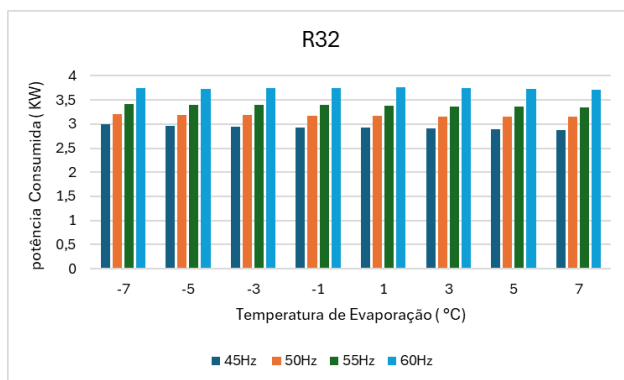


Figura 4. Consumo de potência do compressor, em W, para diferentes temperaturas de evaporação e diferentes frequências de operação, utilizando R32. [17]

Entretanto, ao analisar os valores individualmente, verifica-se que o consumo de potência foi maior ao utilizar o R32. Os picos de consumo foram em torno de 3,7 kW para o R32, enquanto os valores mais baixos foram de aproximadamente 2,9 kW. Em contraste, para o R410A, os picos de consumo foram em torno de 3,57 kW, enquanto os valores mais baixos foram cerca de 2,75 kW. Adicionalmente, a potência consumida por um compressor é diretamente proporcional à sua frequência de operação, indicando que frequências mais elevadas resultam em valores de potência mais altos. No entanto, a diferença de capacidade frigorífica foi, proporcionalmente, maior do que a diferença do

consumo de potência, sendo assim, houve um crescimento no COP do sistema.[17]

Com base nos estudos mencionados, é possível concluir que o R32 demonstrou consistentemente um desempenho superior em comparação com o R410A em diversas métricas de eficiência e capacidade de refrigeração. Em uma variedade de condições de operação e configurações de sistemas de ar condicionado e refrigeração, o R32 apresentou vantagens significativas, como uma capacidade de resfriamento maior, coeficiente de desempenho (COP) mais elevado e consumo de potência reduzido em comparação com o R410A.

Os estudos termodinâmicos e experimentais destacaram que o R32 superou o R410A em termos de capacidade de resfriamento, eficiência energética e desempenho geral do sistema. Por exemplo, análises teóricas e experimentais mostraram que o R32 exibiu uma capacidade de resfriamento até 15% maior e um COP de resfriamento 6% maior do que o R410A. Além disso, estudos sobre diferentes taxas de fluxo de massa e configurações de ciclos de refrigeração confirmaram consistentemente as vantagens do R32 em relação ao R410A, com aumentos no COP e na capacidade de refrigeração.

A eficácia do R32 também foi demonstrada em testes práticos conduzidos em sistemas de ar condicionado e bombas de calor, onde se observou um desempenho superior em termos de capacidade de refrigeração, eficiência energética e carga do sistema. A redução na quantidade necessária de R32 em comparação com o R410A também pode resultar em uma redução direta do impacto no efeito estufa.

Além das vantagens técnicas e de desempenho, é fundamental destacar o principal motivo para essa troca, conforme mencionado na introdução deste artigo: considerações ambientais ao avaliar a viabilidade do R32 como alternativa ao R410A. Um ponto crucial a ser destacado é o Potencial de Aquecimento Global (GWP) desses refrigerantes. O R32 possui um GWP 67,66% menor em comparação com o R410A, o que implica em um impacto ambiental reduzido em termos de contribuição para o aquecimento global.

Essa diminuição no GWP é um fator determinante na escolha do refrigerante, pois ajuda a mitigar os efeitos adversos das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Ao realizar a transição para o R32, não apenas se obtém benefícios em eficiência e desempenho, mas também se contribui para uma redução substancial no impacto ambiental. Portanto, ao considerar a adoção do R32 em sistemas de ar condicionado e refrigeração, é crucial avaliar não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também os benefícios ambientais associados à redução do GWP. Essa abordagem possibilita uma tomada de

decisão mais alinhada com as metas de sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

3.2. Possíveis riscos do uso do R32.

Ao considerarmos a adoção do refrigerante R32 como uma alternativa, é fundamental reconhecer não apenas suas vantagens, mas também suas potenciais desvantagens e os riscos associados ao seu uso. O R32 tem recebido atenção significativa devido às suas excelentes propriedades térmicas e ambientais, oferecendo uma opção mais sustentável em comparação com refrigerantes convencionais, como o R410A. No entanto, é essencial avaliar os desafios e as preocupações de segurança relacionadas ao R32, especialmente devido ao seu status como um refrigerante inflamável do tipo A2L. [3]

Sendo assim, analisando a inflamabilidade, [18] realizaram um estudo onde foram examinadas misturas de R-32 e R-410A com óleo lubrificante, projetadas sobre uma superfície metálica horizontal aquecida para observar o comportamento de combustão. As temperaturas de combustão dos refrigerantes R-32 e R-410A foram determinadas por meio de métodos de teste de combustão em superfície quente. A temperatura crítica de ignição medida do R-410A puro é 26°C maior do que a do R-32 puro, além disso, a adição de 1% de óleo POE (Polyol Ester) reduz significativamente a temperatura de ignição das misturas de refrigerante/óleo R-32, para um valor muito próximo à temperatura de ignição do óleo. Neste estudo, eles encontraram que a menor temperatura de ignição observada do R-32 foi de 764 °C, enquanto a literatura reporta 648 °C, com diferenças atribuídas aos diferentes métodos de teste. E do óleo POE foi de 645 °C. A adição de 1% de óleo POE ao R-32 reduziu sua temperatura de ignição para 649 °C.

O óleo fornece energia suficiente para inflamar os vapores do refrigerante [18]. O estudo revelou que a adição de óleo POE ao R32 reduz significativamente a temperatura de ignição do refrigerante. Isso implica que a presença de óleo lubrificante pode aumentar o risco de incêndio, especialmente em sistemas onde a mistura de refrigerante e óleo é provável. A redução da temperatura de ignição do R32, quando misturado com óleo, aponta para a necessidade de medidas de segurança adicionais em sistemas que utilizam este refrigerante, para evitar a ocorrência de combustão acidental.

Em outro estudo com o R32, [19] fizeram um experimento para observar o risco de inflamabilidade do fluido em um vazamento no ambiente externo, levando em consideração que o espaço da unidade externa é mais apertado do que o da unidade interna, como uma casa de máquinas. Fatores críticos, incluindo o diâmetro do vazamento, altura de instalação da unidade, carga de refrigerante, infiltração de ar, abertura de janelas e tamanho do ambiente foram selecionados, e estudos de parâmetros e análise de

correlação foram conduzidos. À medida que o diâmetro do vazamento aumentou de 2 para 8 mm, a fração de volume de R32 aumentou de 7,7 para 46,3%, indicando que o diâmetro do vazamento é o fator mais significativo no aumento da fração de volume de R32. Considerando que o diâmetro do vazamento é inferior a 1 mm em um acidente típico de vazamento e que o vazamento ocorre com um diâmetro de 2 mm ou mais em um caso catastrófico, o risco de vazamento de R32 foi considerado baixo nessas condições. Ao aumentar a abertura da janela e a altura de instalação da unidade, a concentração de R32 pode ser reduzida abaixo do limite Inferior de Inflamabilidade, reduzindo assim o volume inflamável para quase zero.[19]

Este estudo concluiu que o diâmetro do vazamento é o fator mais importante para aumentar a quantidade de R32 no ar. Quando o diâmetro do vazamento aumentou de 2 mm para 8 mm, a quantidade de R32 no ar passou de 7,7% para 46,3%. Isso mostra que vazamentos maiores levam a concentrações muito maiores de R32. No entanto, em situações típicas, os vazamentos tendem a ter diâmetros menores que 1 mm, o que significa que o risco de inflamabilidade do R32 é baixo. Mesmo em casos mais graves, com vazamentos de 2 mm ou mais, o risco é gerenciável. Além disso, o estudo descobriu que aumentar a abertura das janelas e a altura de instalação da unidade externa pode reduzir a concentração de R32 no ar, mantendo-a abaixo do limite inferior de inflamabilidade. Isso praticamente elimina o risco de explosões ou incêndios. Em resumo, com as medidas adequadas, o risco de inflamabilidade do R32 em áreas externas pode ser significativamente reduzido.

Em outra abordagem realizada pela Sociedade Japonesa de Engenheiros de Refrigeração e Ar Condicionado, JSRAE, foi apresentado um estudo sobre os riscos do uso do R32 em VRF (sistemas de fluxo de refrigerante variável). Como os sistemas VRF usando R32 têm uma quantidade maior de refrigerante do que os sistemas RAC (aparelhos de ar-condicionado residencial), a região inflamável é grande e continua a existir por um longo tempo. Por essa razão, a probabilidade de encontrar uma fonte de ignição se torna preocupante. Medidas de segurança são necessárias para reduzir a probabilidade de acidentes de incêndio para aproximadamente 1/10 em sistemas VRF com R32, no entanto, as opções não se limitam ao controle regulamentar, mas também incluem padrões oficiais e industriais. Embora a ventilação, detecção de vazamentos e alertas, e dispositivos de desligamento de refrigerante tenham sido considerados como medidas de segurança, espera-se que a probabilidade de acidentes de incêndio caia abaixo de 1/10 ao incorporar funções de segurança na unidade principal.[20]

Após essas análises, compreendemos que a inflamabilidade dos refrigerantes, embora um fator de risco, não é um impedimento para o seu uso contínuo, a adoção de precauções e tecnologias de segurança recomendadas, como treinamento profissional

adequado, sistemas de detecção e alarme de vazamento, ventilação adequada e outras tecnologias de segurança, garante que o risco de inflamabilidade seja controlado de maneira eficaz. Com essas práticas em prática, o uso de refrigerantes inflamáveis como o R-32 e R-410A pode continuar sem comprometer a segurança.

4. Conclusões.

A análise realizada neste artigo destaca a importância de selecionar fluidos refrigerantes que atendam tanto às demandas técnicas quanto às exigências ambientais contemporâneas. Desde a introdução do ciclo de compressão a vapor em 1834, a indústria de refrigeração e ar condicionado tem evoluído consideravelmente, especialmente com a transição de CFCs e HCFCs para HFCs como o R410A, visando minimizar o impacto na camada de ozônio. No entanto, o elevado Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos HFCs, como o R410A, despertou preocupações crescentes sobre seu impacto ambiental, motivando a busca por alternativas mais sustentáveis.

A revisão bibliográfica e a análise dos estudos sobre o R32, ou Difluorometano, revelam que este fluido refrigerante possui vantagens significativas em termos de eficiência e impacto ambiental quando comparado ao R410A. Estudos demonstraram que o R32 apresenta um Coeficiente de Desempenho (COP) superior e uma capacidade de resfriamento maior, com reduções significativas na quantidade de fluido necessário para operar os sistemas de refrigeração. Estas características contribuem diretamente para a redução do impacto ambiental, já que a menor quantidade de fluido utilizada resulta em menores emissões de gases de efeito estufa.

Além das vantagens técnicas, o R32 apresenta um GWP significativamente menor em comparação ao R410A. Esta característica é crucial na transição para sistemas de refrigeração mais sustentáveis, alinhados com as metas globais de redução de emissões de gases de efeito estufa, conforme estabelecido pela Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal. Portanto, a transição para o R32 pode ser vista como uma etapa importante para mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

No entanto, a adoção do R32 não está isenta de desafios. A inflamabilidade do R32, classificada como A2L, requer uma consideração cuidadosa das medidas de segurança. Estudos indicam que a adição de óleo lubrificante pode diminuir a temperatura de ignição do R32, aumentando o risco de combustão. Portanto, a implementação de medidas de segurança adicionais, como a melhoria dos sistemas de ventilação, a instalação de detectores de vazamento e o

desenvolvimento de dispositivos de desligamento automático, é essencial para minimizar esses riscos.

A análise dos riscos de inflamabilidade do R32 em diferentes cenários, como ambientes externos e sistemas de fluxo de refrigerante variável (VRF), destaca a importância de abordagens preventivas e de mitigação. A implementação de padrões regulatórios rigorosos e a adoção de tecnologias de segurança são fundamentais para garantir a segurança dos sistemas que utilizam R32.

Portanto, com base nessas evidências, é possível afirmar que a transição do R410A para o R32 em sistemas de ar condicionado e refrigeração pode trazer benefícios em termos de desempenho e eficiência. O R32 surge como uma opção promissora e viável para substituir o R410A, contribuindo para uma transição mais sustentável e eficiente na indústria. A adoção do R32 não só alinha a indústria de refrigeração com as metas globais de sustentabilidade, mas também promove um futuro onde a eficiência energética e a responsabilidade ambiental caminham juntas. Ao considerar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, a transição para o R32 representa um passo crucial para a diminuição dos impactos negativos das emissões de gases de efeito estufa e para a promoção de práticas mais sustentáveis na indústria.

5. Referências

- [1] Peixoto, R. A., "Uso de fluidos refrigerantes hidrocarbonetos—estado atual e tendências." Seminário Uso de Refrigerantes Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar-Condicionado, pag.72-74, 2007
- [2] Antunes, A. H. P. "Processo de substituição de R22 em sistemas de refrigeração comerciais.", 147 pag, f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2015
- [3] ASHRAE. "Designation and safety classification of refrigerants." ANSI/ASHRAE Standard 34-2007, 2010.
- [4] "The Kigali amendment to the Montreal Protocol: HFC phase-down". 2016, Retrieved online at: https://treaties.un.org/doc/Treaties/2016/10/20161015%2003-23%20PM/Ch_XXVII-2.f-English%20and%20French.pdf
- [5] Ramirez, J. A. N., et al. "Um estudo bibliográfico da análise da substituição do fluido refrigerante R410A pelo fluido R32." 2021.
- [6] ASHRAE. "Designation and safety classification of refrigerants", ANSI/ASHRAE Standard 34-2007, 2010.

- [7] Tu, X., Liang, X., and Zhuang, R. "Study of R32 Refrigerant for Residential Air-conditioning Applications." Paper presented at the International Congress of Refrigeration, Paris, 2011.
- [8] Taira, S., Nakai, A. and Piao, C., "Examination Regarding Air Conditioning and Heat Pump Water Heater System Using Post New Alternative Refrigerant." Paper presented at the International Symposium on Next-Generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, 2010.
- [9] Huang, Y.; Yin, Q.; Yu, J. and Wang, J. "Comparative Experimental Researches of Air-to-water Heat Pump with R32 and R410A for Household." Paper presented at the International Congress of Refrigeration, Prague, 2011.
- [10] Back, I., and Dunberger, L. "Evaluating Alternative Refrigerants for the Room Air Conditioner Market." Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, 2015.
- [11] Xu, X.; Hwang, Y.; and Radermacher, R. "Performance Comparison of R410A and R32 in Vapor Injection Cycles." *International Journal of Refrigeration* 36: 892–903, 2013.
- [12] Shuxue, X., M. Guoyuan, L. Qi, and L. Zhongliang. 2013. "Experiment Study of an Enhanced Vapor Injection Refrigeration/Heat Pump System Using R32." *International Journal of Thermal Sciences* 68: 103–109.
- [13] Phan, M. H.; Rajendran, R. "R32 and HFOs as low-GWP refrigerants for air conditioning." In: *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, Purdue e-Pubs, Purdue University, paper: 1235, 2012.
- [14] Rajendran, R.; Nicholson, A. "Compressor calorimeter test of refrigerant R32 in a R-410A scroll compressor.", AHRI Low-GWP AREP Test Report #36, 2014.
- [15] Silva, M. T. G. et al. "Avaliação experimental do desempenho do R-32 como substituto do R-410A em um sistema de refrigeração", 2019.
- [16] Boussouf, A., Lecoustre, V. R., Li, H., & Sunderland, P. B. "Autoignition of R32 and R410 refrigerant mixtures with lubricating oil", 2014.
- [17] Jung, G.; Ukmin H. and Hoseong L. "Numerical investigation on flammability of R32 leakage in heat pump outdoor unit with CFD simulation." *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration* 31.1, 19, 2023.
- [18] Takaichi, K., Taira, S., "Procedure for risk assessment of mildly flammable refrigerant, Risk assessment of mini-split air conditioners." In: *Japan Society of Refrigeration and Air Conditioning Engineers (2015). Risk Assessment of Mildly Flammable Refrigerants: 2015 Progress Report*, 2015