

# ESTUDO DE SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR APLICADO A TRANFORMAÇÃO DE UM SISTEMA R-134A PARA UM R-1234YF DIRETAMENTE AO TRATOR JOHN DEERE 5080E

OLIVEIRA, Renan Rogmbau<sup>1</sup>

SILVA, Ayres Siqueira<sup>2</sup>

**RESUMO:** O presente estudo aborda o sistema de condicionamento de ar automotivo utilizado em máquinas agrícolas, cujo direcionamento principal do estudo se tenha pelo objetivo de apresentar melhorias ambientais desempenhadas pelo refrigerante R-1234yf, comparando os danos em que um sistema operante com fluido refrigerante R-134a apresenta e levando em conta que ambos os sistemas deveriam desenvolver de forma ótima a refrigeração do meio. Realizando assim por meio de pesquisas bibliográficas, filtragem de dados e comparações, visando então o desenvolvimento técnico para que se possa analisar possíveis substituições, melhorias e o máximo de aproveitamento das peças compostas pelo sistema original do trator. Usando como embasamento a ficha técnica do maquinário John Deere 5080E para coleta de dados e se aprofundando assim a todo ciclo de ar condicionado, visando alterações que acarretem em um menor impacto ambiental. E por fim, embasado no levantamento de dados e ademais pesquisas, as peças e alterações devem compor toda a transformação do sistema de condicionamento de ar com fluido R-134a para um sistema operante com o refrigerante proposto, sendo ele o R-1234yf.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ar-Condicionado, Sistema, Refrigerante.

**ABSTRACT:** The present study addresses the automotive air conditioning system used in agricultural machines, whose main direction of the study is to present environmental improvements to the damage that a system operating with R-134a refrigerant presents, taking into account that the new proposed operating system, must optimally develop the refrigeration of the medium. This is done through bibliographic research, data filtering and comparisons, aiming at technical development so that possible replacements, improvements and maximum use of the parts made up by the current system can be analyzed. Using the technical sheet of the John Deere 5080E machinery as a basis for data collection, thus deepening the entire refrigeration cycle, enjoying changes that result in a lower environmental impact. And finally, based on technical studies, survey parts and factors that must undergo changes in order to transform an air conditioning system with R-134a fluid into a system operating with the new refrigerant, R-1234yf.

**KEYWORDS:** Air conditioning, system, Refrigerant.

## 1 INTRODUÇÃO

Os fluidos refrigerantes são produtos químicos empregados em ciclos térmicos, equipamentos de refrigeração e climatização. Os primeiros refrigerantes a serem utilizados foram os de origem natural como a amônia, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e

<sup>1</sup> Graduando de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Campo Real.  
engm-renanoliveira@camporeal.edu.br

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Mecânica. Mestrado em Engenharia Mecânica. Especialização em Administração de Empresas. Professor no Centro Universitário Campo Real. prof\_ayres@camporeal.edu.br

hidrocarbonetos (propano e isobutano). A segunda geração dos refrigerantes foi composta pelos refrigerantes sintéticos tendo seu início com o desenvolvimento dos clorofluorcarbonos (CFC) e hidroclorofluorcarbonos (HCFC) por Thomas Midgley (CALM 2012). Trazendo assim refrigeradores domésticos em substituição as caixas de gelo. Os (CFC's) tiveram sua produção em larga escala somente em 1931 com o fluido R-12 e um ano após o R-13 (Downing, 1966 e 1984) que por 20 anos dominaram o mercado como principal fluido em utilização. Os fluidos (HCFCs) destacadamente o R-22 foram os que contiveram a segunda geração dos refrigerantes com aplicações em bombas de calor e ar-condicionado (CALM, 2012).

De forma geral, o desenvolvimento de sistemas de ar-condicionado aplicado em automóveis iniciou nos anos de 1930 nos Estados Unidos. Um primeiro sistema foi adaptado em um Cadillac pela C&C Kelvinator Co. Este sistema possuía uma capacidade de refrigeração de 0,37 kW e era movido por um motor a gasolina de 1,1 kW. Prosseguindo em 1930, a General Motors Research Laboratories concebeu o sistema de compressão de vapor usando como fluido refrigerante R-12. Em 1939, a Packard Motor Car instituiu o primeiro sistema de ar-condicionado automotivo original de fábrica. Em 1941, a General Motors introduziu o sistema de ar-condicionado na linha Cadillac. Os sistemas progrediram nos anos seguintes apresentando melhorias como ventilação frontal, compressor com embreagem eletromagnética e controles automáticos (BHATTI, 1999).

A qualidade do ar no ambiente de trabalho é de grande importância e atinge vasta escala automotiva ultrapassando a área urbana e atuando além do mais em máquinas pesadas como caminhões, tratores e maquinários agrícolas. Juntamente com esses veículos robustos, há toda uma tecnologia, inovação e até mesmo conforto como em qualquer outro veículo. Com isso o impacto ambiental cresce gradativamente. O Brasil se encontra prestes a reduzir o uso de hidrofluorcarbonos (HFCs) de alto impacto climático, cumprindo a adesão à Emenda de Kigali que se deu em outubro de 2022 tomando acordo de congelar a importação de fluidos com HFCs com elevado potencial de aquecimento global (GWP, na sigla em inglês) (MOREIRA, 2023).

Os refrigerantes utilizados atualmente no mercado de ar-condicionado automotivo, como R-134a e R-12 possuem um alto índice de GWP e se destacam negativamente por isso. O projeto consiste em desenvolver um sistema de

condicionamento de ar em um trator comum, com um menor índice de impacto ambiental operando com o refrigerante R-1234yf, aplicando alterações e substituições elementares que combinem com os componentes originais presentes no sistema do trator, com isso proporcionando uma comparação entre os sistemas. O fluido proposto se tem grande importância pelo pequeno poder de dano ao meio ambiente, comparado ao R-134a tem 14,4 anos a mais de tempo de vida atmosférica.

## **2 Conforto Térmico**

O conforto térmico é um estado em que as pessoas se sentem confortáveis em relação à temperatura do ambiente. No contexto automotivo, o sistema de ar condicionado desempenha um papel fundamental na criação de um ambiente interno confortável, especialmente em climas quentes. No sistema automotivo existem alguns fatores importantes que impactam no conforto térmico, sendo eles: temperatura, umidade, modos de operação, distribuição de ar, filtragem de ar e controles automáticos (FROTA; SCHIFFER, 2006, p. 17).

No sistema de ar condicionado, a temperatura é ajustada de forma com que os ocupantes à regulem de acordo com suas preferências. Além da temperatura, a umidade relativa também é um fator importante. O ar muito úmido pode causar desconforto, e muitos sistemas de ar condicionado automotivo também controlam a umidade. Os sistemas mais modernos oferecem diferentes modos de operação, como refrigeração, aquecimento, ventilação e recirculação de ar. Com relação a distribuição do ar frio deve ser distribuído uniformemente pelo interior do veículo para evitar pontos quentes ou frios. A grande maioria dos sistemas de ar condicionado automotivo possuem filtros que retiram poeira, poluentes e alérgicos do ar externo, melhorando a qualidade do ar interno. Alguns sistemas mais atualizados possuem sensores que monitoram a temperatura interna e ajustam automaticamente o funcionamento do ar condicionado para manter a temperatura desejada. Diante disso, o sistema de ar condicionado automotivo desempenha um papel crucial resultante ao conforto térmico provido aos ocupantes do veículo, regulando a temperatura e a umidade do ar interno visando criar um ambiente agradável durante as viagens (MOREIRA, 2023).

### **2.1 Refrigeração**

A utilização dos meios de refrigeração é decorrente desde as mais antigas civilizações, ainda antes de Cristo a civilização chinesa realizava a colheita de gelo

natural em (lagos e superfícies de rios congelados) que assim eram conservados em poços cavados na terra e coberto com palha, com propósito de conservar em temperaturas amenas o chá em que consumiam. Diante disso em países com clima equatorial que não detinham de gelo natural, assim como no Brasil, eram utilizadas técnicas que refrescavam a água por evaporação, usando assim vasos de barro que atualmente ainda são encontrados em algumas regiões no interior do país (MARTINELLI JR, 2023).

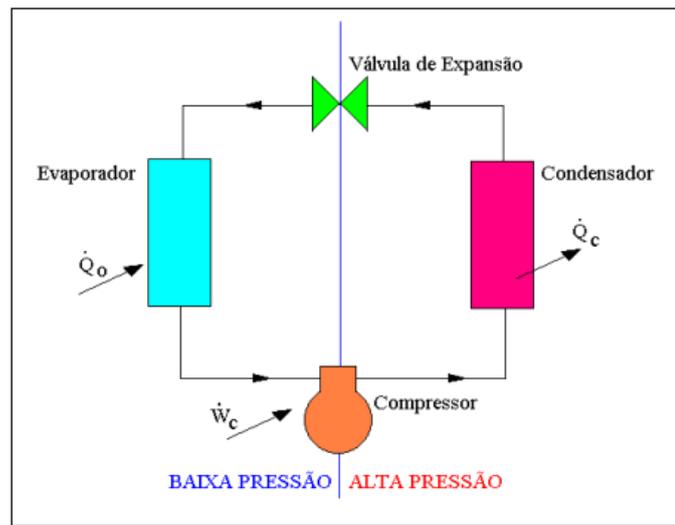
Durante um longo período de tempo, a única utilidade do gelo era a refrigeração para gêneros de consumo, porém no final do século XVII com a invenção do microscópio diante de grandes estudos, foi possível notar que a proliferação de alguns tipos de bactérias responsáveis pela putrefação de alimentos era limitada quando havia a aplicação do frio. Diante disso no século XVIII, provocou-se uma grande expansão da indústria do gelo, que até o momento se encontrava oculta. Com isso se aumenta as possibilidades de se manter alimentos frescos, com suas propriedades, por um período prolongado de tempo. Apesar disso, o mercado do gelo natural era relativamente de pequena valia, pois, sua colheita se discorria diretamente da natureza e por não oferecer acesso a regiões de condições climáticas mais quentes, devido ao transporte e a sua conservação serem deficientes na época (MARTINELLI JR, 2023).

Devido a isso, com decorrer dos anos engenheiros e pesquisadores, continuamente vinham buscando formas de realizar a fabricação de gelo artificial. Decorrente disso em 1834 foi criado, nos Estados Unidos, o primeiro sistema de fabricação mecânica de gelo artificial, compondo-se por uma base precursora usada atualmente nos sistemas de compressão frigorífica. Mesmo com a evolução, somente em 1918 que é criado o primeiro sistema de refrigeração movido por energia elétrica, fabricado por Kelvinator Company, dos Estados Unidos. Assim, a partir de 1920 dispara a produção dos refrigeradores sempre se adequando a melhoras, até os dias atuais (DOWNING, 1966 e 1984).

Conforme Ashrae (2011), o processo de refrigeração se dá início pelo compressor, sendo componente principal tem como função comprimir o refrigerante e passar para o condensador, através de aletas e com influência do meio externo realizar a diminuição da temperatura e assim desenvolver a mudança de fase, sendo ela do estado gasoso para líquido, processo chamado de condensação. Seguindo

assim, o fluido no sistema optado passa pela válvula de expansão, que controla a passagem ao evaporador, diminuindo assim sua pressão. Por fim, chegando ao evaporador, o mesmo deve refrigerar a área pretendida, e quando receber o calor do meio em atuação e até mesmo do meio externo, retorne ao compressor, assim reiniciando o ciclo de refrigeração, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Esquema Simplificado do Ciclo de Refrigeração



Fonte: Martinelli Jr. (2023, p. 21).

## 2.2 Fluidos Refrigerantes

O fluido refrigerante é um componente químico capaz de absorver o calor do meio ambiente formando assim um ambiente refrigerado, o processo em que se realiza essa troca é chamado de refrigeração e tem como seus principais meios de aplicação sistemas de ar condicionado e bombas de calor. Esse processo de troca de calor se compõem pelo meio da condensação e da vaporização, sendo assim, ocorre a relação onde o refrigerante absorve calor a baixa temperatura e pressão e libera calor a uma temperatura e pressão mais elevada (MOREIRA, 2023).

No processo químico de criação de um fluido, ele já é predestinado a ser encarregado de atender a necessidades específicas, que atualmente se é levado muito em conta a questão econômica e de segurança. Diante disso, as substâncias naturais se tornam pouco presentes na cadeia de composição, o que acarreta em um ponto sensível de um refrigerante que é o seu potencial de aquecimento global (GWP), que quanto mais elevado for sendo assim, gera mais impacto ao meio ambiente (MIDGLLEY et al., 2006)

De acordo com Devecioglu e Oruç (2015), no momento da escolha de um fluido ideal, além de preferir por baixos níveis de GWP, outrossim os gases com as melhores características energéticas devidamente por relacionarem a características limitantes, dentre outros fatores se devem ser considerados como aplicabilidade e segurança. O estudo enfatiza discorrendo que todos os novos gases alternativos se encontram melhores relacionado aos baixos níveis de GWP.

Conforme Ashrae (2009), na escolha de um refrigerante se deve levar em conta alguns critérios em que são inalteráveis, tais como a capacidade de transferência de calor, estabilidade termodinâmica, requisitos de legislação e segurança.

Para Ashrae (2009) são algumas características desejáveis dos refrigerantes:

- a) Estando em seu estado puro ou quando misturado ao ar, não pode ser explosivo, inflamável e tóxico;
- b) Quando o ambiente refrigerado tiver contato com alimento de outros produtos armazenados, em ocasião de vazamento o refrigerante não pode ser contagioso;
- c) O calor de vaporização deve ser elevado, decorrente ao alcance de melhor refrigeração em menor taxa de massa refrigerante;
- d) O refrigerante deve ser ambientalmente seguro, de fácil disponibilidade e possuir baixo custo;
- e) Os coeficientes de transferência de calor e a viscosidade devem favorecer a transferência de calor;
- f) Deve ser de fácil detecção considerando vazamentos no sistema;
- g) O refrigerante não deve ser corrosivo a metais, considerando o sistema de emprego.

### **2.3 Sistemas De Ar Condicionado Automotivo**

Os sistemas de ar condicionado automotivo são projetados para fornecer conforto térmico aos ocupantes do veículo, mantendo uma temperatura agradável no interior, independentemente das condições climáticas externas. Geralmente em países com clima tropical a temperatura interna do veículo é mais alta do que a externa, se tornando assim imprescindível o sistema de refrigeração (BHATTI, 1999).

Conforme Ashrae (2011) um conjunto de ar condicionado automotivo existe vários componentes sendo cada um com sua função, consiste basicamente em compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador e ventiladores. Concernindo então suas funções, sendo elas:

- a) O compressor, que absorve o vapor de um gás refrigerante de baixa temperatura e baixa pressão, logo após o compacta em um vapor de alta temperatura e alta pressão;
- b) No condensador, por meios externos o calor é removido, consecutivamente a energia armazenada no gás de alta pressão é liberada;
- c) O líquido quente e de alta temperatura, sai do condensador e entra na válvula de expansão, onde sofre de uma queda de pressão, realizando assim a vaporização do gás quente, resultando em um importante fator responsável pela redução de temperatura na corrente do refrigerante;
- d) Por fim, na saída da válvula de expansão o fluido sai de forma bifásica, assim entrando no evaporador onde é exposto à fonte de calor, evaporando assim o líquido através da transferência de calor de mudança de fase, assim o gás de baixa pressão e temperatura retorna ao compressor e completa o ciclo

E ademais peças que compõem o sistema realizando a parte mecânica da captação do ar externo como o ventilador frontal, o conjunto de controle da ventilação, distribuição e temperatura do ar interno, os dutos e difusores, o painel de controles e os sensores do sistema. Os elementos do sistema de ar condicionado automotivo diferem dependendo do tipo de dispositivo de expansão e controle de refrigerante utilizado para o evaporador no sistema, incluindo vários requisitos para os sistemas de refrigeração automotiva (ASHRAE, 2011).

#### **2.4 Refrigerante R-134a**

Na década de 1970 a questão da destruição da camada de ozônio teve grande importância e repercussão, disseminando assim debates que colocavam em destaque negativo o uso dos compostos clorofluorcarbono (CFC). As empresas do ramo automobilístico foram as mais afetadas, pois usavam o refrigerante CFC sendo ele o R-12 (CALM 2012).

O autor Calm (2012) indica “O Protocolo de Montreal e a maioria das outras medidas impuseram controles, incluindo a redução da produção (“step-down”) e os

prazos completos de eliminação dos CFCs comercializados”. Além disso, Harrison Radiator adiantou que o uso contínuo do R-12 no ar condicionado automotivo estava apontando sérios problemas, após avaliações e consideráveis seleções o R-134a foi identificado como principal substituto em caso de uma proibição por completo do R-12. Já no ano de 1998, Harrison Radiator realiza testes em um túnel de vento com R-134a em um Chevrolet 1978, continuando assim o refinamento do ar condicionado automotivo (BHATTI, 1999).

O refrigerante R-134a é um hidrofluorcarboneto (HFC) que possui grande eficiência energética e capacidade frigorífica, bem como se destaca por ser um gás de fácil manuseio, não é tóxico, não inflamável e corrosivo. Tais fatores o sobrepuseram sobre o refrigerante R-12. O R134a possui uma massa molar de 102,3 g/mol já a massa molar do R-12 é de 120,93 g/mol. Operando em um compressor de 50Hz a uma temperatura de 55 °C, a pressão de condensação do fluido R-134a é 1492 kPa, ao mesmo tempo que o R-12 é 1366 kPa (EMBRACO, 1996). Atualmente o R-134a é um refrigerante muito utilizado em sistemas de refrigeração por compressão a vapor, ainda que o mesmo tenha substituído refrigerante mais nocivos, como os CFC e os HCFC, tendo em vista seu menor potencial de destruição da camada de ozônio. Em contrapartida isso não elimina de sua classificação por ser um gás com GWP de 1.430 numa variação de tempo de aproximadamente 100 anos (SONI et' al 2023).

Em países Europeus o regulamento da (UE) 2018/858 aplica a veículos pertencentes da categoria M<sub>1</sub>, sendo eles, veículos utilizados para transporte de passageiros, com no máximo de oito assentos além do assento do condutor, com relação a diretiva 2006/40/CE que visava proibir a introdução de novos veículos no mercado equipados com sistema de ar condicionado automotivo que tivessem um gás com GWP superior a 150, neste caso, o único fluido que se encontrava nessa condição era o R-134a, e no ano de 2011 esta diretiva entra em vigor, degradando assim em grande escala o uso do refrigerante (PARLAMENTO EUROPEU E O CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2018).

## **2.5 Refrigerante R-1234yf**

Compondo os refrigerantes da quarta geração, o R-1234yf está amparado em diversos parâmetros como ter baixo GWP e 0% ODP (Ozone Depletion Potential)

Potencial de Degradação de Ozônio, dentre estes se leva em conta a aceitabilidade ambiental, que dispões de fatores como o impacto ambiental, estabilidade química, nível de inflamabilidade, toxicidade, estabilidade química, ponto de ebulição, qualidades termo físicas e o seu desempenho de resfriamento. Com base em suas características ecológicas e na comparativa com refrigerante R-134a, o R-1234yf é altamente recomendado (SHARIFV et al., 2022).

A Society of Automotive Engineers, SAE, desde 2008 vem realizando uma conferência sobre refrigerantes alternativos em Scodell, Arizona, Honeywell e DuPont, juntamente ao refrigerante R-1234yf, reconhecendo que o presente fluido é o mais adequado para aplicação em substituição ao R-134a, pois possui um COP e capacidade de refrigeração similar (MOREIRA, 2023).

A Safety Standards for Motor Vehicle Refrigerant Vapor Compression Systems, é a organização que descreve os requisitos de segurança para o uso de R-1234yf em sistemas de ar condicionado automotivo e aborda ademais treinamento técnico, manuseio com segurança, equipamentos e ferramentas de uso essencial (SAE J285, 2021). “É importante utilizar óculos de segurança, luvas de proteção, roupas de manga e calças compridas, sapatos fechados e outros itens que podem ser recomendados conforme as instruções da Ficha de Informação de Segurança do Produto Químico (FISPQ) e dos profissionais de segurança no trabalho”, orienta Arthur Ngai, da Chemours (MOREIRA, 2023).

## **2.6 Comparação de Carga Ótima Entre Refrigerantes R-134a e R-1234yf**

Com base em testes experimentais de Noetzold (2016), foi dividido em dois grupos de testes, o primeiro sendo feita a verificação de carga ideal de cada refrigerante em condições externas de aplicação de um sistema de refrigeração de ar, após isso, amparado em condições de variação de rotação do compressor e temperatura de entrada de ar no evaporador. A coleta de dados como temperatura, potência elétrica, pressão e vazão de ar de refrigerante foram utilizadas aplicações diretas e indiretas precedente de processos experimentais, testes realizados, tratamento analítico de dados e a elaborada parte laboratorial utilizada.

Tabela 1 – Matriz de testes para definição de carga ótima refrigerante

| <b>Grupo/ Teste nº/<br/>Refrigerante</b> | <b>Grupo/ Teste nº/<br/>Refrigerante</b> | <b>Carga Refrigerante [g]</b> |
|--|--|-------------------------------|
| A1 / 01 / R-134a                         | B1 / 01 / R-1234yf                       | 700 ± 5                       |
| A1 / 02 / R-134a                         | B1 / 02 / R-1234yf                       | 750 ± 5                       |
| A1 / 03 / R-134a                         | B1 / 03 / R-1234yf                       | 800 ± 5                       |
| A1 / 04 / R-134a                         | B1 / 04 / R-1234yf                       | 850 ± 5                       |
| A1 / 05 / R-134a                         | B1 / 05 / R-1234yf                       | 900 ± 5                       |
| A1 / 06 / R-134a                         | B1 / 06 / R-1234yf                       | 950 ± 5                       |
| A1 / 07 / R-134a                         | B1 / 07 / R-1234yf                       | 1000 ± 5                      |
| A1 / 08 / R-134a                         | B1 / 08 / R-1234yf                       | 1050 ± 5                      |
| A1 / 09 / R-134a                         | B1 / 09 / R-1234yf                       | 1100 ± 5                      |
| A1 / 10 / R-134a                         | B1 / 10 / R-1234yf                       | 1150 ± 5                      |

Fonte: Adaptado de Noetzold (2016).

Amparado na Tabela 1, o embasamento da carga ótima refrigerante se dá a condição para uma carga refrigerante mínima, a maior abrangência de refrigeração e menor temperatura de saída do evaporador. Extraindo assim 10 de 16 testes realizados, o modo proposto pela norma SAE J2765 (2008) exige demasiados procedimentos a serem adotados, dentre eles, de que o compressor opere com seu deslocamento volumétrico máximo, valor alcançado a partir de faixa de 3500 rpm. Tendo em vista diretamente a carga ótima, com R-134a se obteve com 1100 g e com o R-1234yf de 1150 g, valores similares e que podem ser considerados satisfatórios no ponto de vista da similaridade da massa de refrigerante no sistema. Porém, visto que o fluido R-1234yf possui um custo mais elevado que o R-134a, a carga maior do novo fluido se torna um ponto negativo na substituição (NOETZOLD, 2016).

### **3 METODOLOGIA**

O presente estudo foi realizado bibliograficamente visando apresentar uma descrição detalhada do maquinário utilizado, equipamentos, levantamento de dados e processos de medição. Com base no condicionamento de ar, ademais foi embasada

de forma bibliográfica para aquisição de dados de fluxo de massa refrigerante, temperatura e pressão.

### **3.1 Trator John Deere 5080E Série 5E**

O trator utilizado para referencial foi o John Deere 5080E, o exemplar compõe a série 5E de tratores da marca, que é composta por vários modelos de tratores pequenos e de aplicações especiais, sendo assim extremamente versáteis e eficientes (JOHN DEERE, 2023).

Ademais características desse exemplar são:

- a) Motor agrícola turbo – intercooler de alto desempenho e economia;
- b) Transmissão sincronizada 9x3 ou 12x12 com reversor eletro-hidráulico;
- c) Monitor Gen4 4240 e Piloto ATU300;

Em diferença as demais séries da marca, a série 5E dispõem de tecnologias que eram presentes somente em tratores de alta potência, sendo elas, as luzes de LED, o assento pneumático e pneus radiais que garantem um modo de trabalho mais seguro e confortável. Os tratores têm disponibilidade em motores agrícolas 3 e 4 cilindros com um design avançado do pistão, que atesta um melhor aproveitamento na queima de combustível (JOHN DEERE, 2023).

O motor agrícola de 3 cilindros turbo-intercooler, possui um design avançado do pistão, que garante melhor aproveitamento na queima de combustível. Além disso, com o Operations Center, você gerencia os dados das aplicações coletados no monitor Gen4 4240. Vale ressaltar que o equipamento está de acordo com as normas de emissão de poluentes MAR – 1, que por meio de toda tecnologia usada nos motores John Deere proporcionando melhor eficiência na conversão de combustível em potência e torque, que resultam assim em maior produtividade, economia e redução de gases poluentes (JOHN DEERE, 2023).

### **3.2 Características do Sistema de Condicionamento de Ar Automotivo Utilizado**

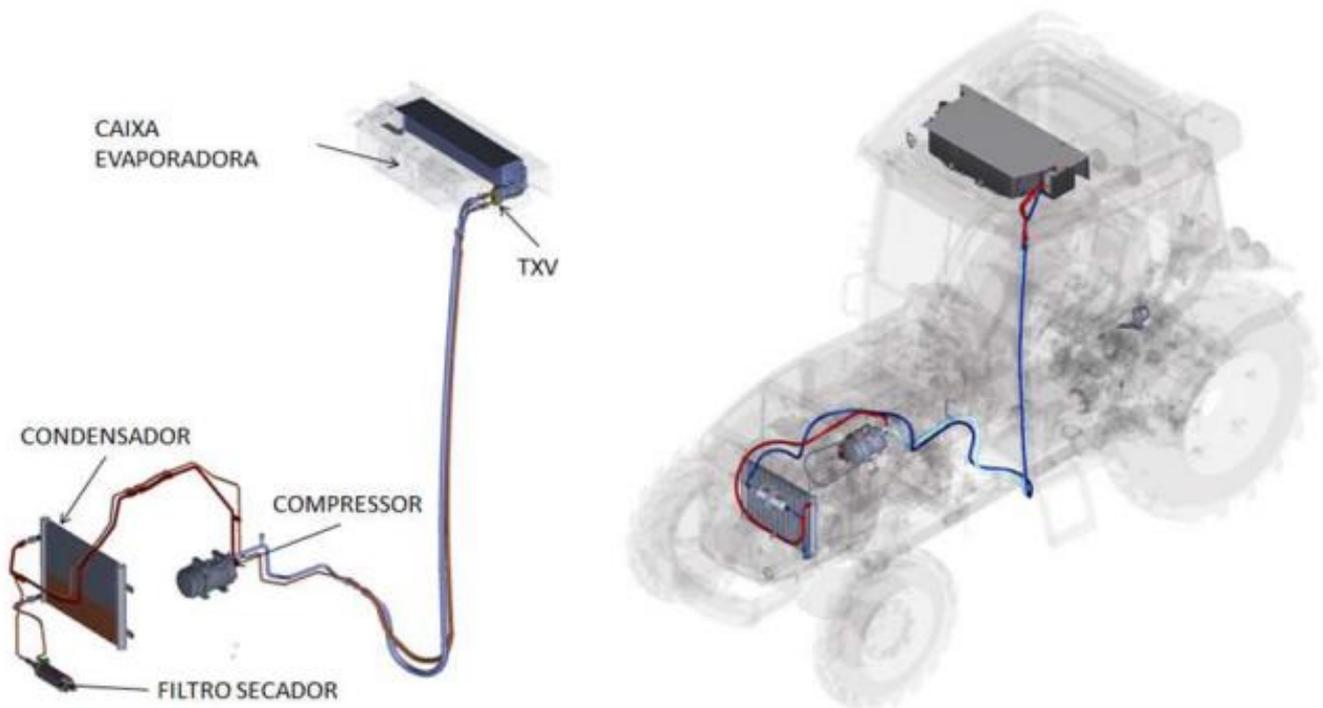
O trabalho foi desenvolvido de forma bibliográfica, com o objetivo de comparar a aplicação do fluido refrigerante R – 1234yf diretamente ao sistema atual do maquinário, procurando aproveitar o máximo do sistema já existente. Os tratores agrícolas modernos visam entregar um alto índice de conforto, visibilidade e ergonomia aos operadores, tornando assim a maior empregabilidade das cabines

climatizadas. Ainda assim, mesmo o operador exercendo seu trabalho em condições medianas, a cabine do trator fechado reage como um efeito estufa, o que pode se tornar desagradável. Diante disso, a evolução nas funções de uma cabine climatizada vem trazendo alternativas visando proporcionar um ambiente de trabalho confortável e menos exaustivo, certificando que o operador obtenha a devida proteção a ruídos, vibrações e ademais adversidades (JOHN DEERE, 2023).

Por esta razão, as funções de uma cabine climatizada deste tipo de veículo são de proporcionar um ambiente confortável para seus ocupantes e protegê-los das vibrações, ruídos e outras influências adversas, visto que as condições dentro de cabines de máquinas móveis afetam a saúde, desempenho e conforto do operador. Ainda de acordo com Gosling e Araújo (2008) as máquinas agrícolas geram um grande ganho com relação a produtividade e rentabilidade, porém geram riscos laborais potenciais que assim, perturbam a saúde dos trabalhadores rurais, procedendo ênfase a submissão á ruídos e a carga térmica.

Como afirma Noetzold (2016) o sistema de ar condicionado se configura a uma montagem típica em um trator agrícola, onde compressor, condensador e filtro secador acumulador estão localizados no cofre do motor e sob o teto da cabine a caixa evaporadora e a válvula de expansão termostática e filtros como mostrado na figura 2.

Figura 2 – Sistema de Ar condicionado em tratores agrícolas



Fonte: Noetzold (2016).

### 3.2.1 Compressor

O trabalho de compressão do sistema abordado, se dá por um compressor modelo 10PA17C, da marca Denso e que trabalha com fluido refrigerante R – 134a, o funcionamento desse tipo de compressor começa pelo acionamento direto através de umas ou duas correrias, distintas por suas quantidades de PK, ou seja, a quantidade de frisos que cada correia contém, ainda assim, as mesmas são ligadas à outra polia que é posicionada no eixo do virabrequim do motor do trator ou na polia da bomba d'água do motor. Ainda conforme Denso (2023), o acionamento do compressor se dá por uma embreagem magnética que tem por função fazer o acoplamento e desacoplamento do compressor com a correia de componentes periféricos do motor de um veículo. A embreagem magnética é dividida em três partes principais, sendo elas componentes de um produto final. Estas três partes são:

- a) Estator, componente que possui a uma bobina responsável por cria o campo magnético que acarreta com o acoplamento da embreagem.
- b) Rotor sendo o componente que é composto pela polia que está conectada a correia de periféricos do motor do veículo, e que realiza movimento de rotação sempre que o motor do veículo está em

funcionamento. No rotor também há uma face de atrito para transmitir torque quando a embreagem está acionada.

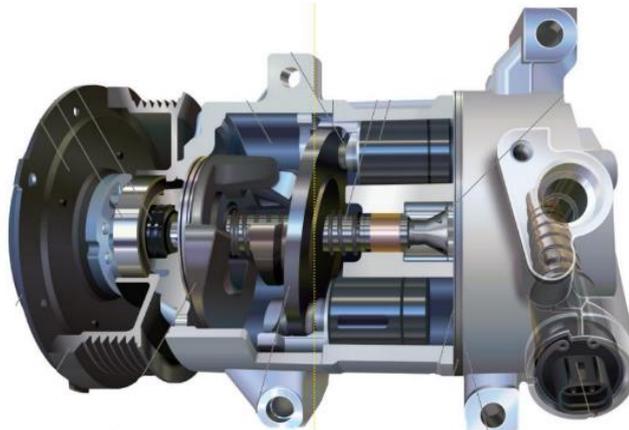
- c) Cubo é a parte que sofre o efeito do campo magnético de acionamento da embreagem, transmitindo o movimento do rotor ao eixo do compressor.

Figura 3 – Compressor Denso modelo 10PA17C



Fonte: Autor (2023).

Figura 4 – Vista em corte de um compressor de ar condicionado automotivo



Fonte: Denso (2013).

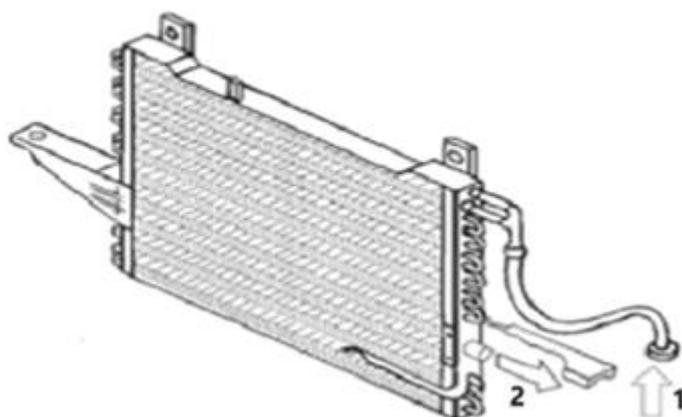
A Figura 3 apresenta o compressor utilizado no presente trabalho, acoplado diretamente ao trator John Deere 5080E e que tem por meio de lubrificação o óleo que circula dentro do refrigerante e passa através do cárter do compressor quando acoplado a polia do virabrequim. Já na figura 4 se obtém a vista de corte de um compressor da marca Denso a mesma a ser utilizada no compressor em uso, tendo

em vista a exposição do estator, rotor e cubo como já situados (DENSO AFTERMARKET IN EUROPE, 2013).

### 3.2.2 Condensador

O condensador utilizado é o de fluxo paralelo, onde trabalha de forma que recebe o fluido em forma de vapor e transforma o mesmo para forma líquida. Tendo em vista, que este tipo de condensador é desenvolvido por tubos planos, sendo que de forma unitária possuem múltiplos canais de escoamento envareados em face, conforme mostra a figura 5, ademais, demonstrado por indicadores 1 e 2 a subsequente entrada e saída de fluido do condensador. O fluido que chega superaquecido e assim escoar dentre os canais se resfriando pelo ar externo, alimentado assim por dois distribuidores que se encontram nas extremidades laterais (COPETTI et al., 2008).

Figura 5 – Vista de um condensador de ar condicionado automotivo



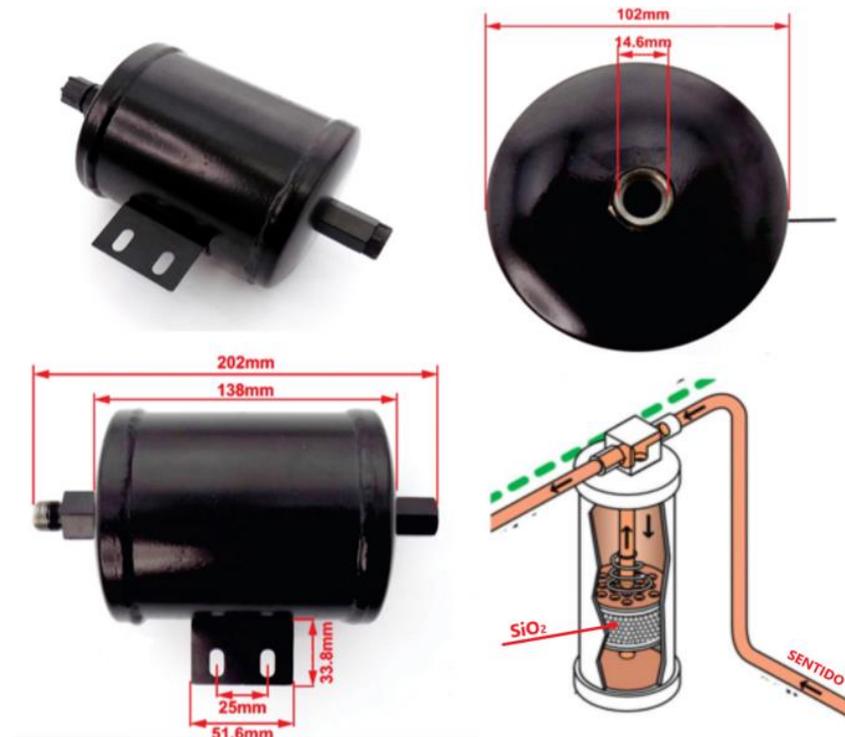
Fonte: Adaptado de FIAT (2008).

### 3.2.3 Filtro Secador Acumulador

O filtro secador acumulador tem como principais funções reter os particulados sólidos, correlacionando à área rural tais como sujeira, sementes dentre outras partículas que provocam a deterioração do sistema. Além disso, tem outra função de reter a umidade do sistema. O mesmo se localiza na saída do condensador e antes da válvula de expansão, cujo objetivo não enviar nenhum tipo de corpo estranho para a expansão, visando assim o bem-estar do operador e o bom funcionamento do sistema do ar condicionado (ASHRAE, 2011).

O mesmo ainda é composto por dois filtros em suas extremidades e possui dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) em seu núcleo como demonstrado na figura 6, desenvolvendo assim as sua dupla função, filtragem e secagem. Segundo Schnubel (2012), os agentes secantes em recomendados para os sistemas de condicionamento de ar são o XH7 e XH9, ambos compatíveis para operar com fluido R-134a e R-1234yf.

Figura 6 – Vistas e núcleo de um filtro secador



Fonte: Adaptado de Red Dot Corporation (2016).

### 3.2.4 Caixa Evaporadora

A caixa evaporadora do trator utilizado como base, é composta por todos os itens originais de fábrica, sendo eles, evaporador, válvula de expansão e o ventilador centrifugo assim destacados na figura 7. A caixa também é composta por itens que não foram abordados em destaque, tais como, a resistência das velocidades do motor, sensor degelo, filtros, reles e chicotes de alimentação (DENSO AFTERMARKET IN EUROPE, 2013).

A válvula de expansão termostática (TXV) utilizada é da marca Denso, também conhecida como válvula *block*, é amplamente utilizada na área automotiva, utilizando assim em vários veículos os mesmos modelos. Este tipo de válvula foi desenvolvido para operar somente com fluido R-134a. A válvula fabricada em alumínio anodizado

e é composta por vários componentes móveis internos, tais como mola, haste, esfera de passagem e diafragma, todos compostos por aço inoxidável, ademais, a vedação de anéis o-rings é feita por borracha NBR. Seu diâmetro equivalente de passagem é de 15mm de diâmetro, com sua abertura completa (DENSO AFTERMARKET IN EUROPE, 2013).

Figura 7 – Vistas geral de filtros e vista explodida da caixa evaporadora



Fonte: Adaptado de John Deere (2023).

#### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE DADOS

Tendo em vista, os fatores ambientais na atualidade o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o mais recente e completo documento científico da ONU sobre a crise do clima, informa que o GWP do R-1234yf é de apenas 0,501 comparado com o valor do GWP do CO<sub>2</sub> é 1. Visando isso, se destaca o exemplo da União Europeia, em que elege de regulamentações em que obrigam os fabricantes de automóveis a utilizar fluidos refrigerantes com baixo GWP, adotado em sistemas de condicionamento de ar, se destacando assim o fluido R-1234yf como uma das opções mais utilizadas (MOREIRA, 2023).

Com isso, o segmento de ar condicionado automotivo se encontra em grande desenvolvimento. Assim como a Honeywell e a Chemours (antiga Du Pont), sendo duas empresas caracterizadas por desenvolver papéis importantes em seus meios de

atuação, acentuando aplicações no setor química, essas empresas discorreram de uma parceria voltada a substituição do fluido refrigerante R-134a em novos sistemas. As mesmas trabalharam juntas para desenvolver a segurança e a eficácia de um novo refrigerante que também é utilizado em diversas misturas de baixo GWP, trabalho esse que consumiu vários anos e rigorosos testes, concluindo assim de que o refrigerante R-1234yf é a alternativa mais promissora (MOREIRA, 2023).

Amparado nos fatores acima, o projeto decorre de sugestões do autor Noetzold (2016), visando a otimização da válvula de expansão termostática TXV e do evaporador, tendo em vista em que o sistema irá operar com fluido R-1234yf, optou se por realizar a troca do compressor de ar condicionado, que constitui de fatores importantes, como a alteração da base, polia, sistema elétrico do conector *plug* do compressor e o próprio fluido.

#### 4.1 Troca do Compressor 10PA17C por 5SEL12C

O compressor atual do John Deere 508E é o 10PA17C, o mesmo atuante na linha agrícola, em estudos e levantamentos técnicos, foi proposto a direta substituição pelo compressor 5SEL12C, que compõem a linha automotiva, aplicado em marcas como Citroen e Peugeot. O principal atenuante da substituição vem a ser o material do Teflon (substância chamada Politetrafluoretileno) dos dois compressores, diferente do compressor original, o proposto é fabricado diretamente para operar com fluido R-1234yf e não possui nenhum tipo de adversidade com os reagentes dos fluidos refrigerantes (DENSO AFTERMARKET IN EUROPE, 2013). Os compressores são decorrentes de diferenças atenuantes, porém compostos por mesmas medidas, fazendo com que assim fosse um mediante promissor.

Tabela 2 – Especificações dos compressores

| Descrição               | 10PA17C | 5SEL12C  |
|-------------------------|---------|----------|
| Fabricante              | Denso   | Denso    |
| Quantidade de Óleo [ml] | 240     | 110      |
| Agente Refrigerante     | R-134a  | R-1234yf |
| Peso [g]                | 8,030   | 4,695    |

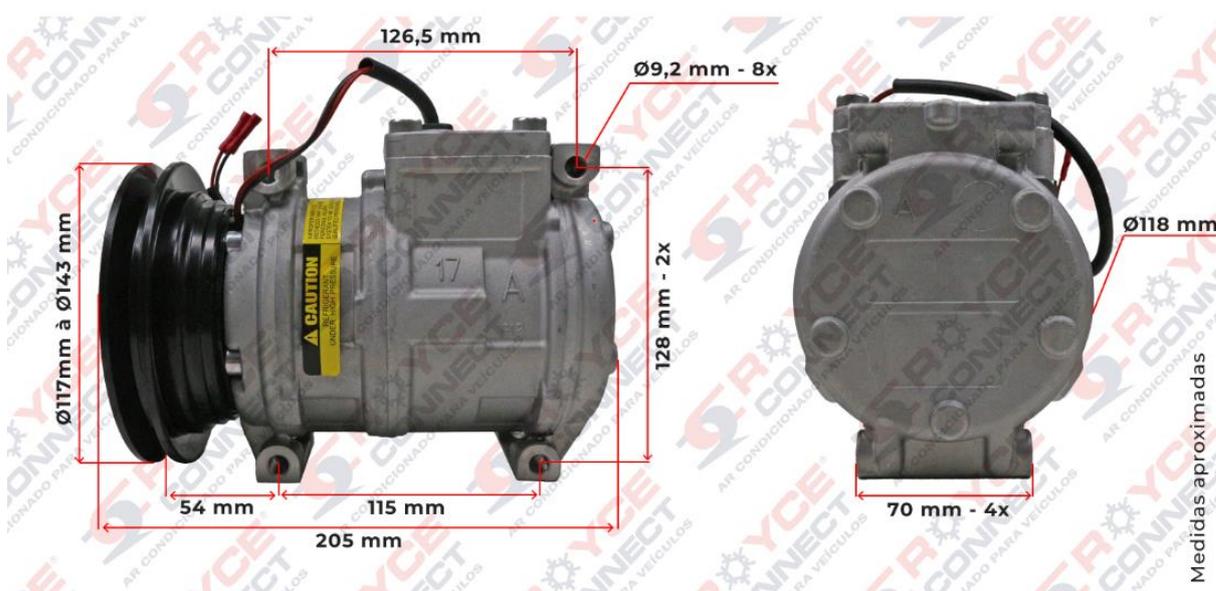
|                 |             |              |
|-----------------|-------------|--------------|
| Ø da polia [mm] | 140         | 108,6        |
| Tipo de Óleo    | ND8 Pag Oil | ND12 Pag Oil |

Fonte: Autor (2023).

Diante a significativas diferenças na Tabela 2, se pode verificar que o novo compressor proposto possui ganhos no com relação ao seu peso e quantidade necessária de óleo, visto que compressores alimentados por fluido R-1234yf operam com óleo mais fino que propõem uma maior dissipação no sistema (DENSO, 2023).

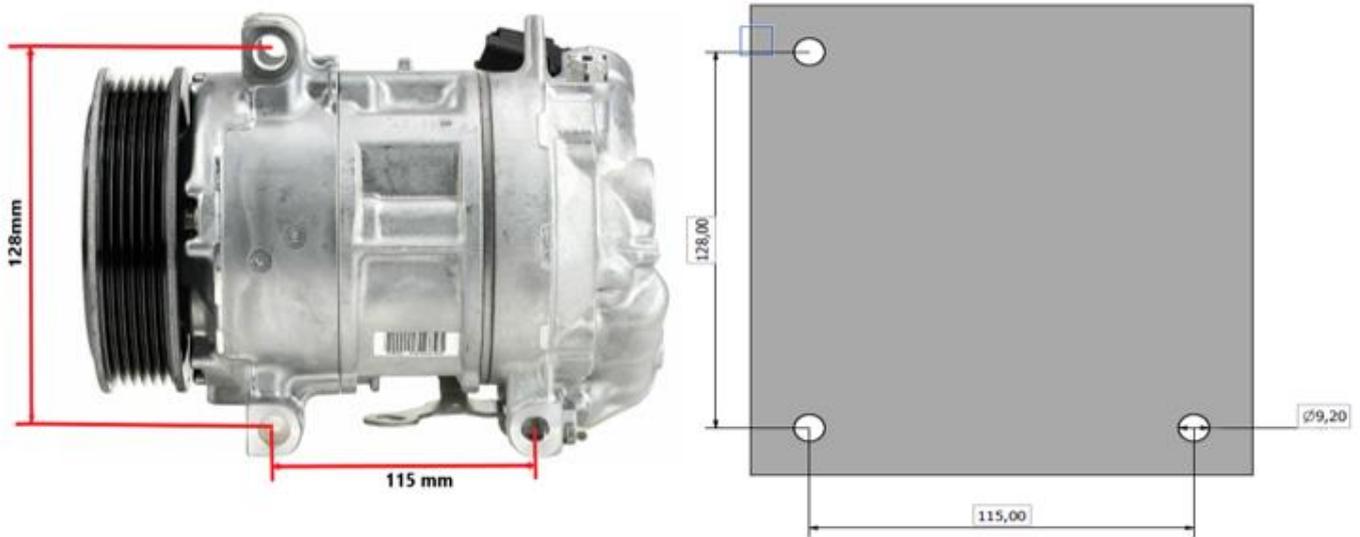
As principais mudanças que deveram ocorrer com o novo compressor no sistema do trator serão, a mudança de base demonstrado na Figura 9, visto que a antiga base era composta por 4 furos e a nova base será composta por 3 furos de fixação, outra mudança, será a troca da polia, será usada a do compressor antigo. Fazendo assim, com que o novo compressor trabalhe com a antiga polia, porém com os mesmos meios de correias, evitando assim adaptações indesejadas na parte motora, já com relação a base será de fácil substituição, visando as mesmas medidas, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Medidas aproximadas do compressor 10PA17C



Fonte: Royce Connect (2023).

Figura 9 – Medidas Aproximadas do compressor 5SEL12C e a Base de Adaptação



Fonte: Royce Connect (2023) e Autor (2023).

#### 4.2 Troca da Válvula TXV

A troca da válvula de expansão termostática, se deu pela sobrecarga em que o novo compressor com fluido R-1234yf desenvolverá no sistema, necessitando assim a substituição da válvula TXV antiga, ainda o autor Noetzold (2016) situa que após seus testes, no sub - resfriamento e superaquecimento, com o sistema operando com R-1234yf apresente maiores valores, diante todas as condições de teste, no entanto, seus resultados solicitam estudos remetendo a influência dessa válvula no sistema.

A principal função da válvula TXV, é fazer a expansão do fluido, para que ocorra a rápida queda de pressão e de temperatura. Tendo em vista que o novo compressor irá propor uma maior dissipação de gases no sistema, a antiga válvula iria sofrer com o decorrer do uso e até mesmo em altas rotações uma sobrecarga, com isso foi optado pela substituição da válvula original do trator, partindo de principais mudanças, assim expostas de melhor modo pela Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações das Válvulas TXV

| Descrição                                   | John Deere 5080E | MAN TGX 28440 |
|---|------------------|---------------|
| Tubulação de Baixa do Evaporador Saída [mm] | 15               | 17,7          |

|   |        |          |
|---|--------|----------|
| Tubulação de Alta do Evaporador Entrada/ Saída [mm] | 15/7,7 | 8,7/11,8 |
| Corpo da Válvula [mm]                               | 84     | 83       |
| Raio da Cápsula Termostática [mm]                   | 25,6   | 26       |
| Ø da Cápsula Termostática [mm]                      | 35     | 32,5     |

Fonte: Autor (2023).

Figura 10 – Medidas Aproximadas das Válvulas TXV utilizadas



Fonte: Royce Connect (2023).

Com base na Figura 10, a válvula do lado esquerdo é a antiga, equipada originalmente no trator John Deere 5080E. Visto que o objetivo perante a válvula block seja manter a mesma refrigeração em que o sistema original operando com fluido R-134a obtinha, sendo assim, como mostra ao lado direito da Figura 10, a nova válvula proposta, que originalmente é usada no caminhão de transporte pesado MAN TGX 28440 possui o que se era desejado, ou seja, uma maior entrada de fluido refrigerante na linha de baixa pressão no sistema.

Diante disso uma maior quantidade de vapor expandido na linha de alta pressão, que ademais possui um maior diâmetro em sua aleta de entrada no evaporador, compensando assim a utilização do óleo ND12 Pag Oil que é mais fino. Fazendo assim, com que assim a maior dissipação de gases seja compensada a maior taxa de expansão.

### 4.3 Readequação a Linha do Evaporador

Como mostrado na Figura 7, a caixa evaporadora é acoplada ao teto da cabine, o que acarreta na difícil adequação de outro modelo de evaporador. Diante disso, procurando evitar o mau funcionamento do evaporador, foi recorrido de recursos em que englobam a readequação do mesmo evaporador. Ocorrendo de maneira que, a linha de retorno do evaporador fosse substituída por uma de diâmetro maior, fazendo com que todo o aumento de carga que irá ocorrer no sistema não acabe desencadeando toda no evaporador, discorrendo do princípio em que com uma tubulação maior o evaporador se deve operar de forma ideal, podendo até mesmo refrigerar o sistema de forma igual ou superior comparado a linha operante com fluido R-134a.

Figura 11 – Linha de Alta Passiva da Alteração



Fonte: Autor (2023).

A substituição da linha de alta é de grande importância, pois ela que irá mandar o vapor, passando a válvula TXV até o evaporador. Presentes fatores que acarretam em um trabalho que deve ser preferencialmente realizado pela montador, visto que, a linha não se altera de forma solitária, envolvendo assim outros fatores, como suportes, conexões, extras revestimentos e a própria ligação da tubulação com o evaporador.

A linha original em uso, é composta por um tubo mangueira de 10mm de alumínio, acentuada na Figura 11, que deve sofrer a alteração para uma nova linha com tubo mangueira de 13 mm de alumínio até o corpo do evaporador, suportando assim toda a nova carga proposta pelo sistema de condicionamento de ar.

#### 4.4 Valores das Alterações Necessárias

Com base nas alterações que serão precisas para realização do projeto, são elas, a troca direta do compressor original do trator e de sua válvula de expansão termostática TXV e ademais a readequação da linha de alta, sendo ela composta pela linha de retorno do sistema de condicionamento de ar.

Tabela 3 – Orçamentos das peças

| Descrição           | Original          | Valor   | Substituto         | Valor    |
|---------------------|-------------------|---------|--------------------|----------|
| Compressor          | 10PA17C           | 1482,00 | 5SEL12C            | 3261,72  |
| Válvula TXV         | John Deere 5080E  | 79,23   | MAN TGX 28440      | 75,00    |
| Tubulação           | 10 mm             | 60,80   | 13 mm              | 69,75    |
| Fluido Refrigerante | R-134a [13,62 Kg] | 799,99  | R-1234yf [4,54 Kg] | 3.799,99 |

Os valores retirados das peças, exceto o compressor 5SEL12C que se trata de um compressor importado pela Ecoclin (2023), seguem orçamento do mesmo fornecedor, sendo ele a Royce Connect (2023). Para melhor padronização, como mostrado nas tabelas 2 e 3 foram utilizadas mesmas marcas de compressores e válvulas. E na linha de tubulação será usado o mesmo material de aplicação, apenas terá maiores dimensões, seguem orçamento pela Netair (2023).

Com relação ao custo dos fluidos refrigerantes, no Brasil, por não ser um fluido usado em larga escala, ainda acaba sendo inviável. Levantamento mediante a valores da fornecedora Eletrofrigor (2023).

A maioria das substituições e ademais alterações que o projeto necessita, demandam de um elevado custo, visto que são peças não habituais no Brasil. Levando em conta assim, que o projeto foi dirigido ao impacto ambiental da atualidade.

#### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no presente estudo foram apresentadas trocas e adequações em que visam um sistema de condicionamento de ar em que venha coincidir com dois principais fatores, sendo eles, atingir o valor próximo ao zero de impacto ambiental,

tendo em vista a destruição da camada de ozônio de grau nulo e o aquecimento global muito próximo de ser nulo. De outro modo, assegurar de que o sistema operando com fluido R-1234yf atualmente proposto desenvolva o mesmo ou até o melhor funcionamento do sistema de refrigeração.

Por consequência, foram abordados demasiados componentes em que fossem compatíveis com o sistema antigo, de modo que os novos componentes atuais escolhidos apresentem uma melhor desenvoltura com o novo meio de refrigeração. Com isso, foram utilizadas peças de mesmas fabricantes e de mesmas particularidades, podendo ser citados os compressores e válvulas de expansão termostática, sendo ambos da marca Denso. Ainda que o sistema de retorno para o evaporador seja substituído por completo visando o não passar por uma sobrecarga, a substituição pode ser solicitada prontamente a partir da aquisição do trator, visto que se trata de um exemplar ainda em linha.

Diante disso pode-se concluir que a solução apropriada para substituição do fluido R-134a atualmente utilizado em sistemas de condicionamento de ar, vem sendo o fluido R-1234yf, pois atende a requisitos ambientais em que se tem dano zero à camada de ozônio e de consideravelmente não afeta o aquecimento global. Além disso, o sistema proposto vem a ser de fácil implementação, outrossim passa a compor uma demanda de peças atualizadas e que estão mais presentes com o avanço do padrão ecológico atual.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASHRAE Handbook, 2009: **Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. SI Edition Atlanta.

ASHRAE Handbook, 2011: **HVAC: Applications**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. SI Edition Atlanta.

BHATTI, M. S. **Evolution of automotive Air Conditioning riding in comfort: Part II**. ASHRAE Journal. Vol. 41(8), p. 44-50, 1999.

CALM, J.M. **Refrigerant Transitions...Again**. ASHRAE-NIST Refrigerants Conference, Gaithersburg, MD, USA, 2012.

COPETTI, J. B.; MACAGNAN, M. H.; ZANATTA, M. **Projeto e Otimização de um Condensador Compacto Ar – R-290**. 1º Encontro Brasileiro sobre Ebulição,

Condensação e Escoamento Multifásico Líquido-Gás - EBECEM. Florianópolis, SC, 2008.

DENSO AFTERMARKET IN EUROPE. **A/C Compressors: Superior OE quality for the Aftermarket.** A/C Compressors: Superior OE quality for the Aftermarket. © DENSO EUROPE 2023, Europa, 13 dez. 2013. Disponível em: <https://assets.denso-am.eu/production/attachments/AC-Compressor-Leaflet-English.pdf>. Acesso em: out. 2023.

DEVECIOGLU, A. G.; ORUÇ, V. **Characteristics of Some New Generation Refrigerants with Low GWP.** Energy Procedia, v. 75, p. 1452–1457, 2015.

DOWNING, R.C. **Desenvolvimento de refrigerantes de clorofluorcarbono. Transações ASHRAE.** Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado (ASHRAE), Atlanta, GA, EUA, p. 481-491, 1984.

DOWNING, R.C. História da Indústria de Flúor Orgânico. **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (segunda edição).** John Wiley and Sons, Incorporated, New York, NY, USA, p. 704-707. 1966.

ECOCLIM. **ECOCLIM PEÇAS DE REPOSIÇÃO E FERRAMENTAS COMERCIALIZADAS PELO SNDC.** Produtos, França, 16 Dez 2023. Disponível em: <https://www.ecoclim.net/pt/compressor/denso/completo/p203H88/detail.php>. Acesso em: 15 dez. 2023.

ELETROFRIGOR. **Eletrofrigor Peças LTDA.** Niterói, RJ, 17 Dez. Disponível em: <https://www.eletrofrigor.com.br/fluido-refrigerante>

EMBRACO. **Utilização do R 134a em sistemas herméticos de refrigeração LBP.** Informativo técnico, Joinville, SC, p. 1-6, 1996.

FROTA, A. B. e; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico. 7ª edição.** São Paulo, SP, p. 17, 2006. Disponível em: <https://books.google.com.br/books/content?id=0YHkrOiZIHQC&hl=pt-BR&pg=PA4&img=1&zoom=3&sig=ACfU3U1PzILPmlmTjFL7NCSi40Ygp1Ur7g&w=1280> Acesso em: ago. 2023.

GOSLING, M.; ARAÚJO, M.C.F. **Saúde física do trabalhador rural submetido a ruídos e à carga térmica: um estudo em operadores de tratores,** O Mundo da Saúde do Centro Universitário São Camilo, v. 32, p. 275-286, 30 set. 2008. Disponível em: <https://fatcat.wiki/release/xmfugijlnbd2jdbztoIn4pigru>. Acesso em: out. 2023.

JUNIOR, L.C.M. **Refrigeração e Ar-Condicionado: Histórico, Ciclo de Compressão Diagramas de Mollier, Refrigerantes.** 2023. 42 p. Tese Disponível em: [https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/1/1b/RAC\\_I.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/1/1b/RAC_I.pdf). Acesso em: 20 set. 2023.

JOHN DEERE. **Vista do manual do operador:** omsu55470 - Tratores 5060E, 5070E e 5080E (000101-), 5078E (018723-) e 5090E (003439-). © 2023 DEERE &

COMPANY, América do Sul, 13 nov. 2023. Disponível em: <https://techinfo-omview.apps-prod-vpn.us.e06.c01.johndeerecloud.com/omview/omsu55470/09001faa8420fa45>. Acesso em: set. 2023.

MIDGLEY, THOMAS JR *et al.* And the invention of chlorofluorocarbon refrigerants: it ain't necessarily so. **Boletim de história da química**, Divisão da American Chemical Society da História da Química, v. 31, n. 2, p. 66-74, 2006. Disponível em: [http://acshist.scs.illinois.edu/bulletin\\_open\\_access/v31-2/v31-2%20p66-74.pdf](http://acshist.scs.illinois.edu/bulletin_open_access/v31-2/v31-2%20p66-74.pdf). Acesso em: jul. 2023.

MOREIRA, M. **Conforto térmico como garantir um ambiente saudável e produtivo para os trabalhadores**. Ciência da Informação, São Paulo, SP, p. 30, Março. 2023. Disponível em: <https://revistadofrio.com.br/wp-content/uploads/2023/03/RFOL0323a.pdf>. Acesso em: jun. 2023.

NETAIR. **Netair Ar condicionado automotivo**. Mangueiras e conexões, Curitiba, PR, 17 Dez 2023. Disponível em: <https://netair.com.br/categoria/mangueiras-e-conexoes/>.

NOETZOLD, J. **COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DO R-1234yf EM SUBSTITUIÇÃO DIRETA DO R-134a EM AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO PARA MÁQUINAS AGRÍCOLAS**. Repositório Digital da Biblioteca da Unisinos, p. 1-109, 14 out. 2014. Disponível em: <http://repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/6038>. Acesso em: jun. 2023

PARLAMENTO EUROPEU E O CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Relativo à homologação e à fiscalização do mercado dos veículos a motor e seus reboques, e dos sistemas, componentes e unidades técnicas destinados a esses veículos, que altera os Regulamentos (CE) nº 715/2007 e (CE) nº 595/2009 e revoga a Diretiva 2007/46/CE. Ato legislativo, Regulamentos, 14/06/2018. **REGULAMENTO (UE) 2018/858 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO**, p. 1-218, 14 jun. 2018. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0858&from=NL>. Acesso em: ago. 2023.

RED DOT CORPORATION. **How HVAC works**, Seattle WA 98138-1270, 2016, disponível em: <http://www.rdac.com/sites/default/files/How%20HVAC%20Works.pdf>. Acesso em: ago. 2023.

ROYCE Connect: **Ar Condicionado Para Veículos**, 2023. Disponível em: <https://www.royce.com.br/site/>. Acesso em: jul. 2023.

SAE J2765, 2008. **Procedure for Measuring System COP [Coefficient of Performance] of a Mobile Air Conditioning System on a Test Bench**, SAE, Warrendale, USA.

SAE J2845, 2013 **R-1234yf [HFO-1234yf] and R-744 Technician Training for Service and Containment of Refrigerants Used in Mobile A/C Systems**, SAE, Warrendale, USA.

SCHNUBEL M. **Classroom Manual for Automotive Heating and Air Conditioning**, 4ª ed. Waterbury, Connecticut. EUA, 2012.

SHARIFV, M.J. *et al.* **Estratégias de melhoria de desempenho do R1234yf em sistema de refrigeração por compressão de vapor como substituto do R134a: uma revisão.** *Jornal do Instituto de Engenheiros Químicos de Taiwan*, © 2023 Instituto de Engenheiros Químicos de Taiwan, n. 1876-1070, p. 1-16, 13 jul. 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107023003619?via%3Dihub>. Acesso em: set. 2023.

SONI, J. *et al.* **Comparação investigativa de refrigerantes R134a, R290, R600a e R152a em sistema convencional de refrigeração por compressão de vapor.** *Materiais hoje: procedimentos*, Copyright © 2023 Elsevier Ltda., n. 2214-7853, p. 1-4, 24 jul. 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785323041561>. Acesso em: ago. 2023.

TREINAMENTO E PADRÕES DA REDE FIAT, **Climatizadores**, impresso nº 53001118- 04/2008 SENAI – Londrina – PR.