UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

AMANDA VITORIA CURSINO

EWERSON NASCIMENTO COSTA

LEANDRO BENEDITO DE SOUZA

RENAN ROBERTO DA SILVA

Radiadores de óleo empregados em maquinários na empresa MAHLE BEHR

MOGI DAS CRUZES – SP

2023

UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

AMANDA VITORIA CURSINO

EWERSON NASCIMENTO COSTA

LEANDRO BENEDITO DE SOUZA

RENAN ROBERTO DA SILVA

TÍTULO: Radiadores de óleo empregados em maquinários na empresa MAHLE BEHR BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Mogi das Cruzes como parte dos requisitos para obtenção do diploma de engenharia mecânica.

Prof. Orientador: Antônio Capistrano Alckimin

MOGI DAS CRUZES – SP

2023

AMANDA VITORIA CURSINO

EWERSON NASCIMENTO COSTA

LEANDRO BENEDITO DE SOUZA

RENAN ROBERTO DA SILVA

TÍTULO: Radiadores de óleo empregados em maquinários na empresa MAHLE BEHR BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Mogi das Cruzes como parte dos requisitos para obtenção do diploma de engenharia mecânica.

Aprovado em .....

BANCA EXAMINADORA:

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho a nossa família, que não mediram esforços para que pudéssemos realizar o nosso sonho de vida, pois em suas insistências a conclusão desse curso não seria possível.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nossas vidas, e por nos ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Aos nossos pais e irmãos, por todo apoio, incentivo e paciência nesta jornada. Vocês foram fundamentais para nossas conquistas.

Aos nossos professores: obrigado por todo acompanhamento, por dedicarem suas vidas ao ensino, por nos orientarem e nos suportarem.

Agradecemos em especial aos nossos companheiros de vida, esposos (as), namorados (as) e amigos (as), que nos incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam nossas ausências enquanto nos dedicávamos à realização deste trabalho.

Agradecemos a empresa Mahle Behr – Gerenciamento Térmico pela oportunidade de realizarmos e aplicarmos o estudo de caso em um de seus processos.

Aos engenheiros André Cordeiro e George Junior e em especial, aos profissionais Gerson Santos e Silvio Yamamoto, estes contribuíram significativamente para que fosse possível entregarmos com excelência conclusão de curso.

Eu não creio que exista algo mais emocionante para o coração humano do que a emoção sentida pelo inventor quando ele vê alguma criação da mente se tornando algo de sucesso. “Essas emoções fazem o homem esquecer comida, sono, amigos, amor, tudo.”

(Nikola Tesla)

RESUMO

As torres de calor são equipamentos utilizados em escala nas indústrias, possuindo um papel fundamental para o arrefecimento das máquinas e componentes, trazendo o prolongamento do tempo de vida útil dos equipamentos.

Quando bem dimensionados e usando a sua capacidade máxima de resfriamento sem desperdícios, oferecem grandes impactos econômicos para a empresa, seja no consumo de energia, em manutenções preventivas ou corretivas. Diversos fatores podem beneficiar a sua empregabilidade.

Devido ao seu alto valor de investimento, quando mal dimensionada o equipamento traz grandes prejuízos.

Analisando a possibilidade, esse trabalho foi elaborado com o propósito de substituir uma torre de resfriamento da empresa parceira MAHLE BEHR por radiadores individuais fabricados por ela.

Visando a melhoria na refrigeração das máquinas, esse projeto propõe dimensionar e realizar todos os testes de prova que justifique assim, a criação de radiadores de máquinas para substituição da torre de resfriamento.

Ainda com base nesse estudo, será demonstrada de forma conceitual a melhoria de desempenho obtida pelos radiadores e, analisando todos os fatos, será apontado as vantagens e desvantagens de sua empregabilidade dentro do setor fabril.

ABSTRACT

Heat towers are equipment used on a large scale in industries, playing a crucial role in cooling machines and components, thereby extending the lifespan of equipment.

When properly sized and used at their maximum cooling capacity without waste, they offer significant economic benefits to the company, whether in terms of energy consumption, preventive, or corrective maintenance. Various factors can enhance their effectiveness.

Due to their high investment cost, when improperly sized, the equipment can result in significant losses.

Considering the possibility, this project was developed with the purpose of replacing a cooling tower at the partner company MAHLE BEHR with individually manufactured radiators produced by the company itself.

With the aim of improving the cooling of the machines, this project proposes to size and conduct all test trials to justify the creation of machine radiators as a replacement for the cooling tower.

Furthermore, based on this study, we will conceptually demonstrate the performance improvement achieved by the radiators, and, by analyzing all the facts, we will identify the advantages and disadvantages of their use within the manufacturing sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de arrefecimento 17
Figura 2 - Trajeto do líquido arrefecedor 19
Figura 3 - Componentes do radiador. 21
Figura 4 - Software BISS (Behr Integrated Simulation System). 24
Figura 5 - BLOWER 33
Figura 6 - Dimensionais dos tubos 38
Figura 7 - Dimensionais das Aletas 38
Figura 8 - Perfil da Aleta. 44
Figura 9 - Área da aleta. 45
Figura 10 - Perfil das Áreas Aletadas. 46
Figura 11 - Circuito Elétrico. 51
Figura 12 - Sistema do Circuito Elétrico. 52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 27
Equação 2 28
Equação 3 28
Equação 4 28
Equação 5 29
Equação 6 29
Equação 7 30
Equação 8 30
Equação 9 30
Equação 10 30
Equação 11 31
Equação 12 31
Equação 13 31
Equação 14 31
Equação 15 32
Equação 16 35
Equação 17 40
Equação 18 40
Equação 19 40
Equação 20 40
Equação 21 41
Equação 22 42
Equação 24 42
Equação 26 43
Equação 27 44
Equação 28 44
Equação 29 44
Equação 30 45
Equação 31 45
Equação 32 46
Equação 33 46
Equação 34 47
Equação 35 47
Equação 36 47
Equação 37 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caloria retirada do motor por arrefecedor 18
Tabela 2 - Especificações do Óleo HL 68 26
Tabela 3 - Shell tellus s2 m 68 – lubrificante hidráulico indústrial 35
Tabela 4 - Propriedades do Óleo de engenharia. 36
Tabela 5 - Propriedades do Ar 37
Tabela 6 - Propriedades consideradas para o Ar 37
Tabela 7 - Dimensionais das Aletas 39
Tabela 8 - Número de Nusselt para geometrias retangulares. 42
Tabela 9 - Valores de Reynolds 43

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIAÇÕES

h = Coeficiente convectivo do ar

Kar = Coeficiente condutivo do ar

Qtotal = Taxa de calor total a ser retirada do fluído

Tar = Temperatura do ar

σ = Constante de Boltzmann

L = Comprimento do tubo

Par = Pressão do ar

Aal = Área das aletas

Pal = Perímetro das aletas

At = Área dos tubos

Pt = Perímetro dos tubos

Lt = Comprimento dos Tubos

Var = Velocidade do ar

Kt = Coeficiente convectivo do tubo

D = Diâmetro externo do tubo

d = Diâmetro interno do tubo

Kal = Coeficiente condutivo aletas

Tt = Temperaturas dos tubos

Tal = Temperaturas das aletas

Ɛt = Emissividade do tubo

Ɛal = Emissividade das aletas

Nu = Número de Nusset

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14
1.1. Objetivo principal 16
1.2. Objetivos específicos 16
2. SISTEMA DE ARREFECIMENTO 17
2.1. Arrefecimento a ar 18
2.2. Arrefecimento ar-água 18
3. RADIADOR 20
3.1. Componentes de um radiador 20
3.2. Função e características de cada componente 21
3.3. Principais requisitos de um radiador 23
3.4. Simulações térmicas 23
4. BOMBA DE ÓLEO 24
4.1. Óleo lubrificante 68 25
5. TRANSFERENCIA DE CALOR 27
5.1. Condução 27
5.2. Radiação 29
5.3. Convecção 30
6. METODOLOGIA 33
6.1. Especificações do Projeto 34
7. DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES 39
7.1. Diâmetro hidráulico. 39
7.2. Reynolds. 40
7.3. Nusselt. 41
7.4. Nusselt Óleo (Hausen). 41
7.5. Nusselt Ar (Zunkhauska). 42
7.6. Coeficiente Convectivo. 43
7.7. Coeficiente das aletas. 44
7.8. Eficiência da aleta. 45
7.9. Transferência de calor. 46
8. MEMORIAL DESCRITIVO 48
9. CONCLUSÃO 50

1. INTRODUÇÃO

Visando a sustentabilidade industrial, se faz necessário a economia de energia mais assertiva por parte das empresas, tornando esse, um dos focos principais no processo de fabricação, assim, aumentando a competitividade conforme aponta Leoneti & Cezarino. "O consumo consciente de energia reduz o desperdício de recursos naturais e contribui para a sustentabilidade". (RANDUNS, 2022).

A energia pode ser desperdiçada por inúmeras maneiras, seja ela em forma de luz, trabalho e o mais comum em equipamentos industriais através da forma de calor ou troca térmica de acordo com Bergman e Lavine.

> Compreende-se calor como uma forma de energia que é transferida de um corpo para outro por causa da diferença de temperatura entre eles. A transferência de calor ocorre, espontaneamente, de um corpo com maior temperatura para outro corpo com menor temperatura. Esse processo cessa quando os corpos envolvidos nas trocas de energia térmica alcançam a mesma temperatura, atingindo assim o equilíbrio térmico (MARTINI *et al.,* 2016).

Por isso muitas empresas investem em torre de resfriamento, equipamentos mais robustos e com um alto valor de investimento que são capazes de melhorar processos de transferência de calor de toda uma cadeia de máquinas em séries, que conforme Mitchell e Braun funcionam da seguinte forma a "a água cai, por gravidade, sobre superfícies e entra em contato com um fluxo de ar ambiente cruzado ou em contracorrente".

Para que o custo e tamanho de equipamento sejam justificados se faz necessário transmitir uma quantidade especificada de calor em um determinado intervalo de tempo, onde deve ser feita toda uma análise detalhada do projeto a fim de evitar superdimensionamento de equipamento, uma vez que para funcionar também se consome energia.

> Nesse contexto, a eficiência energética torna-se um importante pilar no planejamento estratégico das empresas. Isso reflete a atual transição da visão das empresas em relação aos gastos com energia, que deixa de ser apenas uma fonte de custos, mas passa a ser considerada como um fator de competitividade, independentemente do tamanho e área de atuação (BUNSE, 2011).

Os equipamentos para transferência de calor não podem depender somente da quantidade de calor que se deseja retirar, mas principalmente das taxas

de transferência de calor sob as condições dadas. Quando o equipamento tem a capacidade muito maior de que a real necessidade dos componentes, pode-se dizer que há um desperdício de energia, ou seja um superdimensionamento, impactando assim negativamente e gerando prejuízos.

Devido a diversas situações, pôde-se perceber que é comum se deparar com problemas relacionados a transferência de calor, onde a solução não se baseia somente através dos argumentos da termodinâmica, mas em analisar de fato a problemática e buscar alternativas através dos diversos métodos da engenharia.

> Praticamente todos os sistemas envolvidos na engenharia estão diretos ou indiretamente ligados com a transferência de calor. Portanto, para que esses sistemas sejam bem executados, é necessário o engenheiro conhecer bem os mecanismos físicos de transferência de calor. (ERNESTO,2013)

Uma das possíveis soluções encontradas para o problema proposto é o estudo da empregabilidade de radiadores nas máquinas. Para isso é necessário estudar, analisar e dimensionar um radiador capaz de solucionar o sistema de arrefecimento da máquina, onde este entregará uma eficiência igual ou melhor que a torre, porém com um consumo de energia mais reduzido.

> Resfriadores a ar ou radiadores, são utilizados onde a água não é disponível ou a unidade hidráulica é móvel, como no caso de empilhadeiras industriais, escavadoras etc. (Fialho, 2019)

Usados principalmente em veículos pesados e leves, os radiadores são trocadores de calor utilizados nos sistemas de arrefecimentos, com a função de dissipar a maior parte de calor gerado pelo motor durante a queima de combustível.

Sendo a MAHLE umas das empresas especializadas na fabricação de radiadores no mundo, foi identificada a possibilidade de empregar esse equipamento as máquinas de sua linha de produção, a fim de reduzir o consumo enérgico gerado pela torre de resfriamento através de um equipamento individual.

1.1. Objetivo principal

O objetivo desse trabalho é dimensionar um radiador de máquina, capaz de suprir as necessidades de transferência de calor, economizando e energia e gerando custo-benefício a empresa ao logo do tempo.

1.2. Objetivos específicos

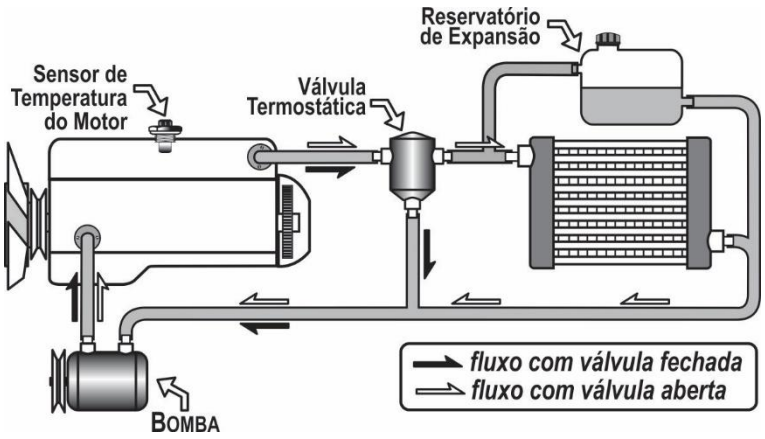
Será demonstrado um comparativo de desempenho simulado através de software de radiadores e cálculos que comprovem a eficácia e eficiência do equipamento por nós proposto.

2. SISTEMA DE ARREFECIMENTO

O sistema de arrefecimento é composto por um conjunto de dispositivos eletromecânicos que tem como função medir e controlar a temperatura do motor.

Sendo assim quando o sistema de arrefecimento está em funcionalidade o motor opera dentro da faixa de temperatura ideal, evitando o superaquecimento, emitindo menos poluentes, aumentando o tempo de vida útil e gerando menos desgaste e atrito, resultando em uma maior economia de combustível. A figura 1 apresenta a configuração simplificada do sistema de arrefecimento.

Figura 1 - Sistema de arrefecimento.



Fonte: Catálogo Oficina Brasil (2021).

Atualmente o mais empregado tipo de sistema de arrefecimento é o chamado de sistema fechado e pressurizado, onde seus componentes individuais são conectados por mangueiras por onde passam os arrefecedores, que geralmente são ar ou água.

Os meios arrefecedores têm um papel muito importante, pois todo calor gerado pelo motor através da queima de combustível é transferido para os componentes do motor, onde em contato com o arrefecedor acontece a troca térmica. Com isso os arrefecedores absolvem o calor e transferem para o meio ambiente. A tabela 1 representa a quantidade de ar e água para a retirada de 1 caloria do motor.

Tabela 1 - Caloria retirada do motor por arrefecedor.

Meio Arrefecedor	Calor específico, cal.°C¹	Quantidade gramas
Ar	0,238	4,2
Água	1,0043	1,0

Fonte: Varella (2018)

2.1. Arrefecimento a ar

Os sistemas de arrefecimento a ar, geralmente, são projetos mais simples e com menos componentes, pois não existe a necessidade de reservatórios e tubulações para sua construção, em contrapartida, para que o sistema consiga dar conta da carga térmica, se faz necessário um maior volume de ar.

Umas das principais vantagens desse modelo é que não há corrosão muito menos incrustação no motor, no entanto como desvantagem, o baixo calor específico diminui consideravelmente a capacidade de transferência de calor entre o sistema e meio, logo a temperatura não é uniforme, gerando pontos de falhas, conhecidos como pontos quentes.

Esse modelo é facilmente susceptível de aquecimento devido sua baixa capacidade de absorção de calor, e suas aletas necessitam constantemente de uma manutenção preventiva.

Entre seus componentes estão: aletas, ventoinhas dutos e defletores.

2.2. Arrefecimento ar-água

Esse sistema necessita de proteções metálicas (camisas) e tubulações mais amplas e um conjunto mais complexo para facilitar a circulação da água, além disso, o nível da água deve estar sempre no estipulado, caso contrário alguns bolsões de ar podem se formar nas tubulações causando superaquecimento.

Nesse modelo, a água absorve o calor do sistema e transfere para o ar através do radiador. A figura 2 apresenta um exemplo do trajeto do líquido arrefecedor em sentido ao radiador.

Figura 2 - Trajeto do líquido arrefecedor



Fonte: Catálogo Gauss (2023)

3. RADIADOR

O radiador é o equipamento responsável pela refrigeração do motor automobilístico, sua função é realizar a troca de calor entre o ar atmosférico e outra substância (sendo geralmente um líquido de arrefecimento) contida em um sistema fechado, mantendo a temperatura do motor dentro dos níveis especificados pelo fornecedor.

O radiador de óleo possui a mesma função de refrigeração, porém ao contrário dos automobilísticos, esse arrefece o óleo do motor, e sua empregabilidade acontece geralmente em motos ou equipamentos industriais. Sua principal função é manter a temperatura do óleo dentro dos níveis ideias do fabricante.

> Os radiadores nos automóveis têm a função de garantir o resfriamento do sistema, que muitas vezes é dado em condições extremas, ter alta durabilidade por períodos prolongados, além de influenciar pouco na aerodinâmica e layout (BRUNETTI, 2012).

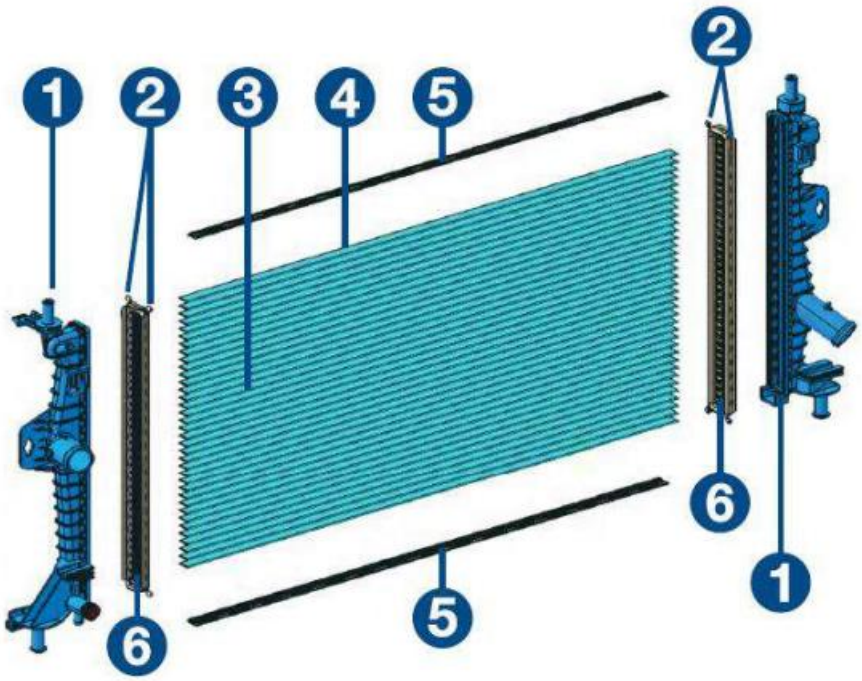
3.1. Componentes de um radiador

O trocador de calor compacto (radiador) é constituído das seguintes partes: tubos, aletas, caixa de entrada e saída do líquido refrigerante, guarnição (vedação) e reforço no bloco do radiador.

> “Os principais objetivos do projeto térmico de trocadores de calor são a determinação da área de troca térmica e da configuração necessária para transferir a taxa total de calor, também chamada carga térmica ou capacidade térmica, de um fluido aquecido (ou resfriado) para um outro fluido, em vazões e temperaturas estabelecidas por condições operacionais”.(Moreira & Aguillar, 2023)

De acordo com Bejan e Kraus (2003), entre os componentes do radiador, o seu núcleo é o que mais sofre variação de forma. A Figura 3 mostra como é constituído um radiador.

Figura 3 - Componentes do radiador.



Fonte: Mahle Behr – Gerenciamento Térmico (2019).

Principais componentes:

1- Caixas plásticas;
2- Vedações;
3- Bloco;
4- Tubos e aletas;
5- Reforço de bloco;
6- Cabeceiras;

3.2. Função e características de cada componente

Cada componente determina um papel essencial no conjunto para um bom funcionamento do sistema de arrefecimento.

Caixas plásticas (entrada e saída): A caixa de entrada tem a função de distribuir o fluído de arrefecimento, enquanto a caixa de saída faz a coleta do fluído que por sua vez já foi arrefecido.

Ambas são ligadas diretamente a cabeceira através de solda em caso de alumínio ou cobre e latão, ou por recravagem quando são feitas de plásticos.

Vedações: Necessárias para que as caixas plásticas tenham um bom encaixe na cabeceira e no bloco.

Bloco: Resultado da brasagem ou da expansão entre tubo e aleta, o bloco é a base do radiador.

Possuem também um reforço que é responsável pelo fechamento lateral do bloco, tendo uma função estrutural no sistema, não permitindo que ocorram torções no bloco quando em funcionamento.

Tubos: Componente onde circula o fluído de arrefecimento, estando em contato com as aletas e assim transferindo o calor do fluído quente para o ar. Seu formato pode ser redondo para os radiadores expandidos, oval ou chato, e sua escolha fica dependendo somente para a necessidade de troca de calor.

A quantidade de calor transferida para os tubos pelo fluído depende das diferenças de temperaturas entre eles. Alguns tubos possuem um agitador (turbilhonador), espécie de palheta que tem a função de aumentar a turbulência do fluído, assim extraindo mais calor do sistema.

> Descreve o regime de escoamento de um fluido (que pode variar entre laminar e turbulento ou ocupar uma faixa de transição) através de uma razão entre as forças inerciais e as forças viscosas, sendo obtido através da equação (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Aletas: São lâminas ligadas diretamente ao tubo de arrefecimento, sua função é aumentar a área de troca de calor entre o ar e os tubos, aumentando o número de Reynolds e consequentemente deixando o ar mais turbulento no sistema.

Geralmente feita de alumínio, ou de uma liga de cobre e latão pode ser plana ou corrugada em zig-zag, segundo Kuppan (2013) existem aletas com as mais variadas formas e geometrias diferentes que constituem o núcleo dos trocadores.

> Em alguns quesitos, como transferência de calor, durabilidade e manutenção, as serpentinas de cobre superam as de alumínio. Ao mesmo tempo, o alumínio é comparativamente mais barato e definitivamente mais flexível que o cobre. (blogfrio, 2010).

Cabeceiras: São chapas conformadas que unem o bloco as caixas plásticas fazendo com que os tubos fiquem livres para receber o fluído e as aletas protegidas sem ação do vazamento.

3.3. Principais requisitos de um radiador

O radiador é responsável pela rápida refrigeração do motor, mantendo a temperatura de funcionamento em níveis ideais especificados por cada montadora e para cada tipo de carro.

O produto deve garantir a refrigeração mesmo com máxima temperatura externa, o uso duradouro sem superaquecimento, deve ser resistente a corrosão, possuir design construtivo compacto e com a menor pesagem possível dentro do projeto.

3.4. Simulações térmicas

A requisição térmica de cada radiador é solicitada pelo cliente, com essa informação e com os principais dados de contorno como:

- Vazão de ar (hélice);

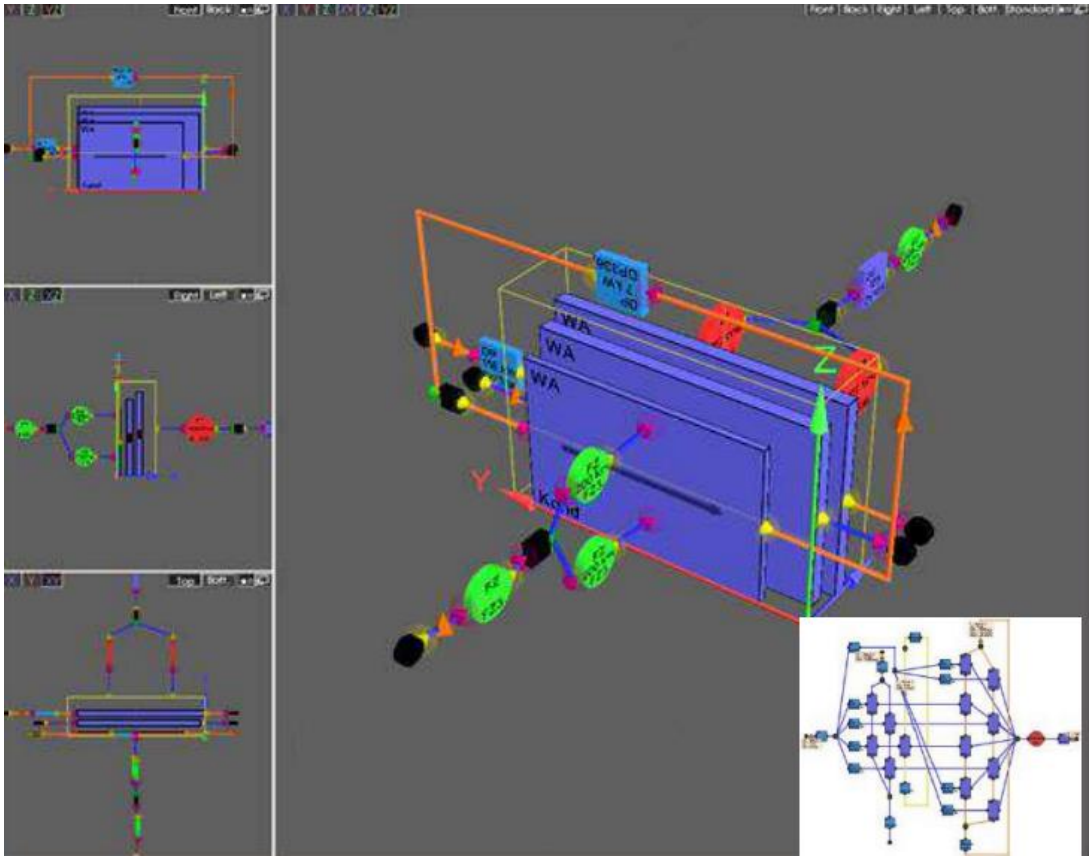
- Vazão de água (bomba d’água);

- Temperatura de entrada;

- Pressão de entrada.

Pode-se utilizar alguns softwares para dimensionamento completo do radiador. Dessa forma, é possível entender quais tipos de materiais serão utilizados, dimensões, capacidades, de modo geral, suas principais características.

Figura 4 - Software BISS (Behr Integrated Simulation System).



Fonte: Mahle Behr – Gerenciamento Térmico (2019)

4. BOMBA DE ÓLEO

As bombas de óleo são peças fundamentais no desempenho de qualquer motor ou máquina, pois tem a função de lubrificar todos os componentes móveis diminuindo o atrito e desgaste entre eles, diminuindo assim também o ruído, pois realiza o amortecimento das cargas despejadas sobre os mancais.

Veículos automotivos e algumas máquinas industriais, além da bomba de óleo possuem bombas d'agua, essas por sua vez são responsáveis pela refrigeração do motor, fazendo circular o líquido de arrefecimento pelo sistema, mantendo a temperatura ideal de funcionamento.

> "São componentes importantes para o funcionamento adequado do veículo e que requerem especial atenção dos reparadores na hora da instalação. No caso da bomba de óleo é essencial a selagem, ou seja, carregá-la com óleo

> lubrificante e, assim, preencher o espaço entre os dentes das engrenagens” (Nakata, 2022)

Os óleos lubrificantes além de diminuir o atrito entre os componentes, desempenham o papel de agentes de limpeza do sistema, retirando partículas de metais e carvões que se formam durante o funcionamento da máquina.

4.1. Óleo lubrificante 68

Usado nas máquinas do setor fabril da MAHLE, o óleo lubrificante 68, além de ser responsável pela lubrificação, aumentando a vida útil dos componentes hidráulicos, tem também como umas das suas principais funções, transmitir força para a movimentação de equipamentos que operam em condições leves e moderadas de uso.

> Os óleos lubrificantes podem ser de origem animal ou vegetal (óleos graxos), derivados de petróleo (óleos minerais) ou produzidos em laboratório (óleos sintéticos), podendo ainda ser constituídos pela mistura de dois ou mais tipos (óleos compostos). (Karter,2018)

De acordo com a CADIUM, umas das maiores fabricantes de óleos do Brasil, o 68 possui amplas vantagens em sua aplicação, pois além de gerar poucos resíduos no sistema conta com uma mínima perca de viscosidade durante a operação, não atacando as vedações e mantendo uma estabilidade térmica confiável.

Possuindo uma boa separação de água ele ajuda a evitar a corrosão dos equipamentos, caso acidentalmente ocorra algum tipo de contaminação no sistema, pois é uma de sua característica uma baixa demulsibilidade e ausência de formação de espuma.

Os óleos hidráulicos contam com um alto índice de viscosidade para garantir que suas propriedades não sejam alteradas mesmo quando em condições de trabalho em altas temperaturas.

> São fluidos hidráulicos formulados a partir de óleos básicos de base mineral com alto grau de refinação. Seus aditivos visam conferir mais resistência à oxidação, lubrificação e ação anti-desgaste e presença de anticorrosivos. Os óleos que se enquadram nesse padrão têm escala de viscosidade que varia entre 10 e 100 cSt a 40 ºC. (DIN 51524, pt 3)

A tabela 2 apresenta as principais informações técnicas do óleo HL 68 para máquinas de acordo com a Cadium.

Tabela 2 - Especificações do Óleo HL 68.

PARÂMETROS	ESPECIFICAÇÕES ISSO VG 68
Densidade a 20/4 °C	0,870 g/cm³
Ponto de fulgor (VA)	220° C
Ponto de fluidez	-6 °C
Viscosidade a 40° C	61,2 - 74,8 cSt
Viscosidade a 100° C	8,5 - 9,5 cSt
Índice de Viscosidade	110 - 120
Índice de acidez total	0,01 mgKOH/g
Corrosão em lâmina CU, 3h a 100 °C	1b

Fonte: Catálogo Cadium – Solução em lubrificação.

5. TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A propagação de calor é o fluxo de energia devido uma diferença de temperatura entre dois ou mais corpos, essa transferência de calor se dá entre os corpos de temperaturas superiores para os de temperaturas inferiores, e terminam apenas quando alcançam o equilíbrio térmico.

As moléculas de cada corpo trocam continuamente energia entre si, os fluidos por choque e os sólidos por ressonância, ambos recebendo ou doando energia por ondas eletromagnéticas.

Entre os principais tipos de transferência de calor, destacam-se: condução; convecção e radiação.

> "A transferência de calor pode ocorrer por convecção, condução ou radiação, por meio de alguns equipamentos que fornecem ou retiram calor dos ambientes e podem ser utilizados em indústrias e residências" (Dalberto et al, 2021)

5.1. Condução

A condução térmica acontece por meio do contato físico entre os corpos estando a temperaturas distintas, esse fluxo de calor se dá através da colisão entre os átomos e as moléculas das substâncias.

Conforme a segunda lei da termodinâmica, a transmissão de calor parte de uma região de temperatura mais alta para uma de temperatura mais baixa, quanto a definição específica de transferência de calor por condução diz ser necessário o contato direto entre os corpos.

Conforme o cientista francês J.B.J. Fourier, o calor transmitido por condução segue a seguinte lei:

$$q_{k=} -kA\frac{dT}{dx}$$

Equação 1

Onde k representa a condutividade térmica do material e A, a área da seção onde o calor flui por condução, dT/dx é o gradiente de temperatura na seção.

Estando ciente da segunda lei da termodinâmica, deve ser adotado o valor negativo ao produto, conforme demonstrado na equação.

O valor da condutividade térmica é medido em quantidade de calor por unidade de tempo, logo, tem-se por definição que q_k expressa se em grandeza de quilocalorias por horas, ou kcal/h.

Os materiais que possuem uma grande condutividade térmica são denominados de condutores, enquanto os de baixa condutividade são conhecidos como isolantes. Para os gases o valor aproximado da condutividade está entre os 6x10^{-3}kcal/hm°C, enquanto para o cobre $3{,}6x10^{2}\ \frac{kcal}{h.m.°C}$.

Para uma parede plana, utiliza-se a seguinte equação:

$$q_{k} = Ak\frac{\Delta T}{L}$$

Equação 2

Com isso define-se resistência térmica por condução como:

$$R_{k} = \frac{L}{A.k}$$

Equação 3

Logo, para se calcular a quantidade de calor transmitida por unidade de tempo em um regime permanente, através de uma parede plana é utilizada a seguinte equação para simplificar situações de transmissão de calor:

$$q_{k} = \frac{\Delta T}{R_k}$$

Equação 4

5.2. Radiação

Por radiação não existe necessidade de contato físico entre os corpos, pois a transferência de calor ocorre perfeitamente no vácuo ou por meios transparentes, assemelhando-se à radiação da luz, diferindo-se no comprimento de ondas.

Todos os corpos são capazes de emitir radiação em quaisquer temperaturas, entretanto sua composição espectral varia de acordo as temperaturas, fazendo com que somente as temperaturas mais elevadas sejam visíveis sob forma de luz, o calor transmitido desta maneira é denominado de radiantes.

Pode-se descrever a quantidade de calor transmitida por irradiação como:

$$q_{k=\sigma} \cdot A \cdot T^4$$

Equação 5

Onde σ é chamado de constante de Stefan-Boltzmann, conhecendo seu valor de σ = $4{,}88x10^{-8}\,\frac{kcal}{h.m^2.k^4}$ A sendo a área da superfície em metros e T a temperatura do corpo medida em Kelvin.

Logo, a energia que um corpo negro transmite a outro corpo negro pode ser dado pela equação:

$$q_{k=\sigma} \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Equação 6

Onde T_1 trata-se da temperatura do corpo internamente posicionado, ou seja, que será envolvido, e T_2 a temperatura do corpo externamente posicionado.

Como em maiorias dos casos, o calor por radiação está em conjunto com outras formas de transmissão, para esse trabalho será utilizado a definição de condutância e resistência térmica de radiação, K_r e R_r respectivamente.

$$K_r = \frac{F_{1-2} \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_1^4)}{(T_1 - \frac{dT_2}{dt})}$$

Equação 7

A unidade de condutância térmica é medida em kcal/h°C, sendo a resistência térmica seu inverso:

$$R_{r=} \frac{1}{K_r}$$

Equação 8

O coeficiente médio de transmissão de calor na radiação tem como as unidades mais comuns kcal/h.°C. m² é dado por:

$$h_{r=} \frac{K_r}{A_1}$$

Equação 9

5.3. Convecção

A transferência de calor por convecção é o processo executado pelo escoamento do fluido em uma determinada temperatura como outro meio.

> Em um fluido, onde a mobilidade das partículas é grande, as partículas aquecidas pelo contato direto com a superfície solidam tendem a migrar para os locais onde as temperaturas são mais baixas. Esta movimentação de partículas acarreta uma transferência de energia de uma posição para outra, caracterizando a transferência de calor por convecção. (Marcelo,2004).

O calor por unidade de tempo é transferido entre uma superfície sólida para um fluido, por convecção, podendo ser calculado através da equação:

$$q_{c=} h_{c} \cdot A \cdot \Delta T$$

Equação 10

Onde h representa o coeficiente médio de transmissão por convecção, medido em kcal/h.°Cm². Por outro lado, a condutância térmica por convecção é definida como:

$$K_{c} = h_{c} . A$$

Equação 11

Sendo novamente a Resistencia térmica o seu inverso:

$$R_{c} = \frac{1}{K_{c}}$$

Equação 12

Portanto a fórmula de quantidade de calor transmitida por convecção por unidade de tempo é dada como:

$$q_{c} = \frac{\Delta T}{R_{c}}$$

Equação 13

Onde os processos de transmissão de calor podem conter variadas combinações de fenômenos, assim, a quantidade de calor transmitida pode ser descrita tento como R_c a somatória de todas as resistências por convecção envolvidas.

Sendo a somatória de resistências conhecida como coeficiente global de transmissão de calor U, calculado por unidade de área, podendo ser baseada sobre qualquer área escolhida, dessa forma, para calcular a quantidade de calor transmitida segue:

$$q = U . A . \Delta T$$

Equação 14

Para calcular o coeficiente combinado de transmissão de calor, tem-se a seguinte equação:

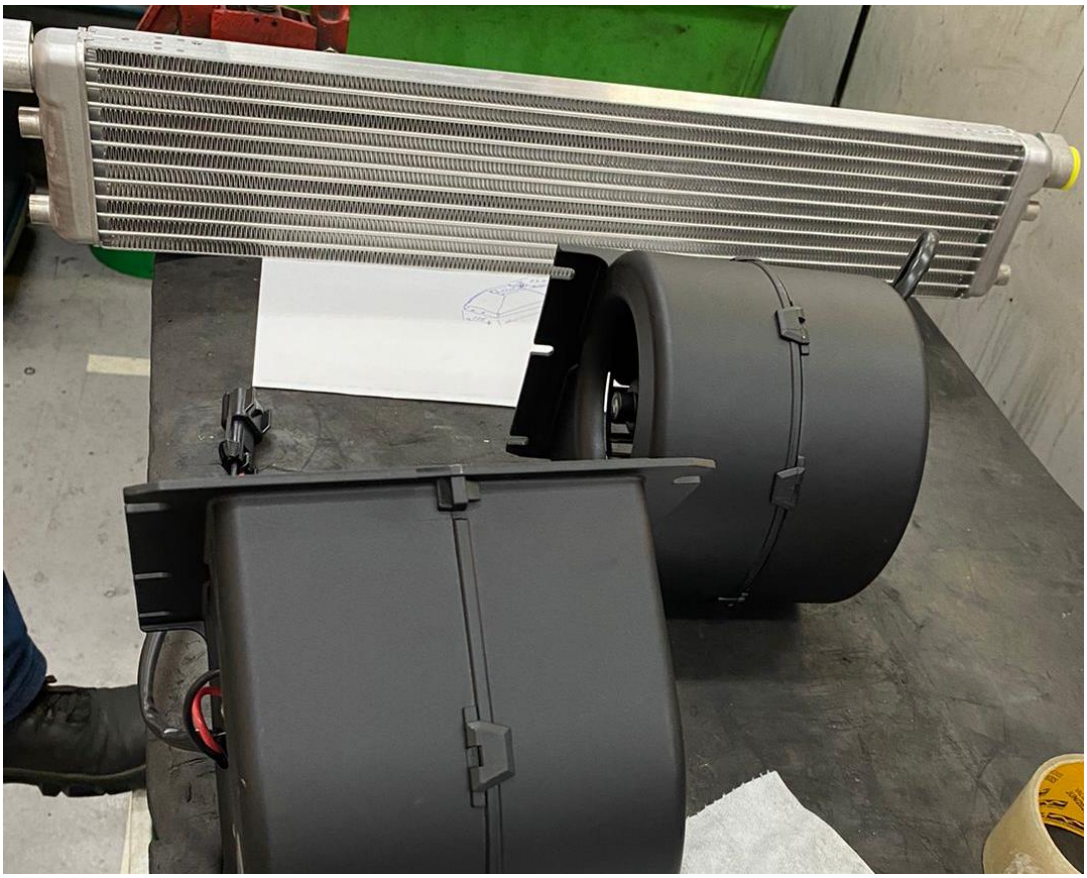
$$h = h_c + h_r$$

Equação 15

6. METODOLOGIA

Para esse projeto utilizou-se um radiador de ar para controlar a temperatura do óleo que circula pelo sistema de uma máquina de linha de produção, este será responsável pela troca de calor do fluido, juntamente com uma blower (ventoinha) reutilizada do processo de montagem do ar-condicionado. A figura 5 demonstra qual modelo de blower foi utilizado no projeto.

Figura 5 – BLOWER.



Fonte: Imagem ilustrativa MAHLE

Com isso foi necessário dimensionar a capacidade térmica requerida pela máquina, e quais seriam os modelos mais eficientes de radiadores e blowers para utilização no projeto, de acordo com o autor Kuntzer “A ventoinha é utilizada quando não se tem o fluxo de ar necessário, como situações de baixa velocidade.” e como complemento, para Sikorski “o blower, do inglês soprador, não comprime o ar efetivamente, ele tem a função de apenas acelerar o ar na entrada”.

Na prática, o intuído é a troca térmica do óleo após o término de seu trabalho na máquina.

Através do contato do tubo com as aletas do radiador é possível calcular a taxa de transferida de calor, e para aumentar a eficiência do sistema, a ventoinha será utilizada para acelerar o processo de resfriamento do óleo.

Dessa forma, é possível garantir que após o ciclo de resfriamento, o óleo retorne para a máquina em condições de ser reutilizado em temperatura ideal de funcionamento, conforme especificações do fabricante.

6.1. Especificações do Projeto

Para dar início aos cálculos, alguns parâmetros devem ser levados em consideração, seja eles o tipo de óleo que será empregado na máquina, as temperaturas que deverão ser utilizadas para a formulação dos cálculos, entre outras.

6.1.1. Dados do Óleo

O óleo definido pela empresa a ser empregado nas máquinas é o óleo 68, com essa informação é possível identificar suas características e propriedades, tratando-se de um óleo pesado ou leve.

O Instituto de petróleo americano (American Petroleum Institute – API) responsável por desenvolver os padrões técnicos para diversas áreas da indústria do petróleo, é responsável também por classificar se um óleo é pesado ou leve, levando em consideração que suas características termodinâmicas são distintas.

O grau °API define o nível do óleo, quando maior que 31 pode-se dizer que se trata de um óleo leve, e quando abaixo é denominado como um óleo pesado.

API Degree é uma medida de densidade de um líquido em relação a água, sua escala varia de 10 a 70, quanto maior o número API menor a densidade do óleo. A tabela 3 define quais são as características típicas do óleo 68, e por meio dela, é localizada a densidade do óleo.

Tabela 3 - Shell tellus s2 m 68 – Lubrificante hidráulico indústrial

CARACTERISTICAS TÍPICAS		
PROPRIEDADE	METODO	TELLUS S2 M 68
VISCOSIDADE ISSO	ISO3448	68
TIPO ISSO DO FLUÍDO 0°C cSt		HM
VISCOSIDADE CINEMÁTICA 100°C cSt	ASTMD445	68
VISCOSIDADE CINEMÁTICA	ASTMD445	8,6
ÍNDICE DE VISCOSIDADE	ISSO 2909	97
DENSIDADE 15°C kg/l	ISSO 12185	0,886
PONTO DE FULGOR (COC) °C	ISSO 2592	235
PONTO DE FLUÍDEZ °C	ISSO 3016	-24

Fonte: SHELL TELLUS S2 M 68 – DESIGNED TO MEET CHALLENGES

O grau de API é calculado através da fórmula:

°API = (141,5 / densidade do óleo) – 131,5

Equação 16

Para o óleo em questão e utilizando os dados da fabricante, o grau de API é em torno de 28,21. Sendo assim, pode-se classificá-lo como um óleo industrial pesado, com os seguintes dados termodinâmicos.

- Viscosidade dinâmica μ_{Ref} = 0,8059 kg/(ms)
- Condutividade térmica k = 0,1217 W/(mk)
- Massa especifica de referência p_{Ref} = 952kg/m^3
- Temperatura de referência T_{Ref}= 20 °C
- Pressão de referência P_{Ref} = 1kgf/cm^2
- Calor especifico a pressão constante cp= 1762J/(kgK)
- Coeficiente de expansão térmica β 6,7x10^{-4} 1/K
- Número de Prandtl Pr = 11.668

Para o processo em questão, pode ser utilizado também os valores do óleo de engenharia, onde a tabela 4 representa os valores obtidos para essa condição.

Tabela 4 - Propriedades do Óleo de engenharia.

T (ºC)	p (Kg/m³)	cp (KJ / Kg . ºC)	v (m²/s)	k (W / m . ºC)	a (m²/s)	Pr
0	899,12	1,796	0,00428	0,147	9,11E-08	47100
20	888,23	1,88	0,0009	0,145	8,72E-08	10400
40	876,05	1,964	0,00024	0,144	8,34E-08	2870
60	864,04	2,047	8,39E-05	0,14	8,00E-08	1050
80	852,02	2,131	3,75E-05	0,138	7,69E-08	490
100	840,01	2,219	2,03E-05	0,137	7,38E-08	276
120	828,96	2,307	1,24E-05	0,135	7,10E-08	175
140	816,94	2,395	0,000008	0,133	6,86E-08	116
160	805,89	2,483	5,6E-06	0,132	6,63E-08	84

T (ºC)	p (Kg/m³)	cp (KJ / Kg . ºC)	v (m²/s)	k (W / m . ºC)	a (m²/s)	Pr
46,37	872,23	1,99	0,00019	0,143	-	2290,52

Fonte: Cursino et al., 2023.

6.1.2. Temperaturas**.**

De acordo com os dados do WEATCHER SPARK as temperaturas máximas diárias na região de Arujá na estação do verão ficam por volta de 28°C, podendo variar em dois graus tanto para cima quando para baixo, no período de maior precipitação solar. Com essas informações, adota-se como cálculo a temperatura ambiente de 30°C, aceitando uma condição de máxima insolação, onde o radiador teria uma maior taxa de temperatura para resfriar.

Referente ao óleo, duas temperaturas devem ser levadas em consideração para realização dos cálculos, são elas a temperatura de entrada e saída do radiador. Ambas foram obtidas através de aferições diárias diretamente na máquina no período de uma semana. A partir desses dados, realizou-se uma média resultando em uma temperatura de entrada de 50°C e saída de 42,74°C. Para os cálculos, foi adotado que a temperatura de saída é a mesma que a temperatura na superfície do tubo. Ressaltando que algumas das fórmulas que serão tratadas posteriormente dependem do valor da média dessas duas temperaturas como também a temperatura na superfície dos tubos, respectivamente 46,37°C e 42,74°C.

Além disso, se faz necessário os valores das propriedades do óleo e do ar. Essas propriedades dependem das temperaturas já obtidas acima. Portanto, com o auxílio de tabelas é possível obter esses valores utilizando interpolações, uma vez que a temperatura em questão não está diretamente fornecida.

6.1.3. Propriedades do Ar.

A tabela 5 fornece os dados que foram considerados do ar, juntamente com suas respectivas temperaturas.

Tabela 5 - Propriedades do Ar.

T (K)	p (Kg/m³)	cp (KJ / Kg.ºC)	u (Kg / m . S)	v (m²/s)	k (W / m . ºC)	a (m²/s)	Pr
150	2,3675	1,0099	0,000010283	4,34E-06	0,013735	0,05745	0,753
200	1,7684	1,0061	0,000013289	7,49E-06	0,01809	0,10165	0,739
250	1,4128	1,0053	0,00001599	1,13E-05	0,02227	0,15675	0,722
300	1,1774	1,0057	0,000018462	1,57E-05	0,02624	0,2216	0,708
350	0,998	1,009	0,00002075	2,08E-05	0,03003	0,2983	0,697
400	0,8826	1,014	0,00002286	2,59E-05	0,03365	0,376	0,689
450	0,7833	1,0207	0,00002484	3,17E-05	0,03707	0,4222	0,683
500	0,7048	1,0295	0,00002671	3,79E-05	0,04038	0,5564	0,68
550	0,6423	1,0392	0,00002848	4,43E-05	0,0436	0,6532	0,68
600	0,5879	1,0551	0,00003018	5,13E-05	0,04659	0,7512	0,68
650	0,543	1,0635	0,00003177	5,85E-05	0,04953	0,8578	0,682
700	0,503	1,0752	0,00003332	6,63E-05	0,0523	0,9672	0,684
750	0,4709	1,0856	0,00003481	7,39E-05	0,05509	1,0774	0,686
800	0,4405	1,0978	0,00003625	8,23E-05	0,05779	1,1951	0,689
850	0,4149	1,1095	0,00003765	9,08E-05	0,06028	1,3097	0,692

Fonte: Cursino et al., 2023

Usando como referência a temperatura de Arujá (local onde fica localizada a Mahle) e interpolando com os valores obtidos do ar, a tabela 6 traz os valores que serão considerados para os cálculos.

Tabela 6 - Propriedades consideradas para o Ar.

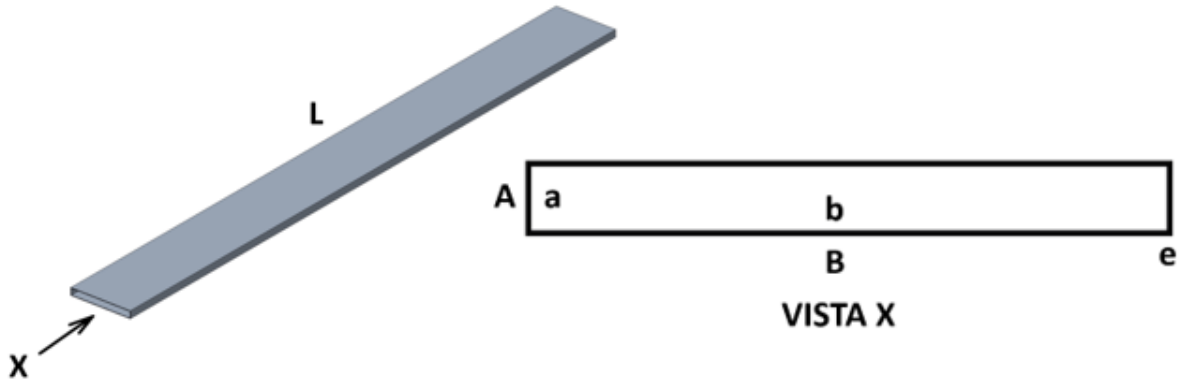
T (K)	p (Kg/m³)	cp (KJ/Kg.ºC)	u (Kg/m.S)	v (m²/s)	k (W/m.ºC)	a (m²/s)	Pr
323	1,166636	1,005898	1,86E-05	1,60E-05	0,0264674	-	0,70734

Fonte: Cursino et al., 2023.

6.1.4. Características dos Tubos e aletas.

O radiador utilizado na concepção desse projeto possui ao todo cerca de dez tubos, fabricados especificamente de alumínio, onde através do anexo 2 é possível obter a condutividade térmica e emissividade do alumínio e na figura 6 conhecer os dimensionais dos tubos.

Figura 6 - Dimensionais dos tubos.

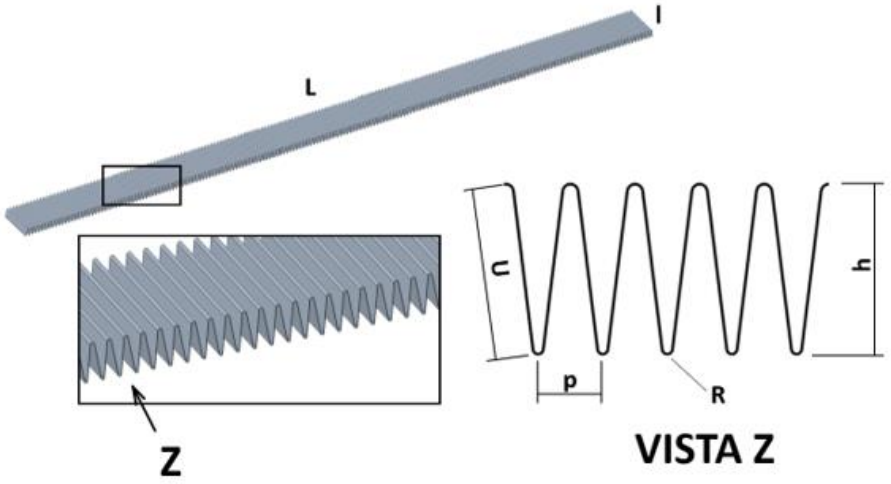


Externo		Interno		Espessura	comprimento	Unidade
A	B	a	b	e	L	Metro
0,0035	0,03	0,003	0,0295	0,03	0,63	(m)

Fonte: Cursino et al., 2023

O sistema também possui ao todo onze aletas, onde seus dimensionais serão conhecidos através da figura 7 e tabela 7.

Figura 7 - Dimensionais das Aletas.



Fonte: Cursino et al., 2023

Tabela 7 - Dimensionais das Aletas.

Perfil			Hipotenusa	Espessura	Largura	comprimento	Unidade
p	**h**	**R**	**U**	**e**	**l**	**L**	Metro
0,00158	0,079	0,5	0,0087	0,00012	0,03	0,63	(m)

Fonte: Cursino et al., 2023.

Após encontrado os dados apresentados acima foi possível iniciar os cálculos dos quais eram dependentes dessas informações.

Para encontrar a transferência de calor necessária no radiador é preciso encontrar os valores de diâmetros hidráulicos, Reynolds, Nusselt, coeficiente convectivos, tanto para situação externa como também para a interna, além de definir os parâmetros necessários para as aletas.

> A taxa de transferência de calor pode ser elevada pelo aumento da área de superfície transversal através da qual a convecção ocorre. (Moran, 2005).7

7. DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES

Com os dimensionais dos componentes do radiador encontrados e fatores termodinâmicos estabelecidos, podem-se aplicar os conceitos equacionais, e com isso analisar os resultados obtidos.

7.1. Diâmetro hidráulico.

Conforme Connor, diâmetro hidráulico é o nome que se dá ao se referir a um fluxo em tubos não circulares, transformando os mesmos em tubos de diâmetros equivalentes. (Connor,2020)

> Este diâmetro recém-derivado de seção transversal circular é chamado de diâmetro hidráulico e é possível encontrar os mesmos resultados para um duto não circular e um duto circular usando o conceito. (Abhishek, 2023)

De acordo com Bistafa define-se diâmetro hidráulico Dh como quatro vezes a razão entre área da seção transversal do duto e o perímetro molhado, assim denominado o comprimento do contorno sólido da seção do duto que está em contato com o fluido. (Bistafa, 2017)

Como o estudo consiste em um tubo de secção transversal retangular, o cálculo dependerá da sua área e perímetro. As equações 17 e 18 abaixo são usadas para a situação interna e externa, respectivamente.

$$Diâmetro\ Hidráulico\ Interno = \frac{2 \times a \times b}{a + b}$$

Equação 17

$$Diâmetro\ Hidráulico\ Externo = \frac{2 \times A \times B}{A + B}$$

Equação 18

Com os valores dos diâmetros é possível calcular Reynolds.

> O número de Nusselt é um número sem dimensão, com o nome de um engenheiro alemão Wilhelm Nusselt. o número de Nusselt representa o aprimoramento da transferência de calor através de uma camada de fluido como resultado da convecção. (Connor, 2020).

7.2. Reynolds.

Para se obter o número de Reynolds para situações interna (Óleo) e externa (Ar) é necessário o peso específico (p), a velocidade ($v\infty$), diâmetro hidráulico (Dh) e viscosidade dinâmica do fluido (μ). Aplica-se o conceito nas equações 19 e 20 abaixo:

$$Reynolds\ Óleo = \frac{póleo\ \times\ v\infty óleo\ \times Dhinterno}{\mu óleo}$$

Equação 19

$$Reynolds\ Ar = \frac{pAr\ \times\ v\infty Ar\ \times\ Dhexterno}{\mu Ar}$$

Equação 20

É possível concluir a partir dos valores obtidos que a condição do fluxo é de escoamento laminar para interno e externo, tornado assim possível calcular Nusselt.

7.3. Nusselt.

Para usar a correlação correta de Nusselt foi realizada uma análise e comparativos entre as situações de contorno até chegar no método de Hausen para a condição interna e por Zukauska para externa.

> É uma quantidade adimensional usada na mecânica dos fluidos para prever o comportamento do fluxo de um fluido e um parâmetro crucial para determinar se um fluxo é laminar ou turbulento. (Jani, 2023).

Essas situações de contornos dependem como por exemplo; da temperatura da superfície, comprimento de entrada térmico e hidráulico, número de Reynolds e número de Prandtl.

A correlação de Hausen depende da geometria do tubo e exclusivamente do número de Gratz (Gz), ao qual depende do número de Reynolds, Prandtl, diâmetro hidráulico interno e comprimento do tubo. Já a correlação de Zukauska depende do número de Reynolds, número de Prandtl e das constantes C e M. Ambas as correlações serão demostradas nos próximos tópicos.

7.4. Nusselt Óleo (Hausen).

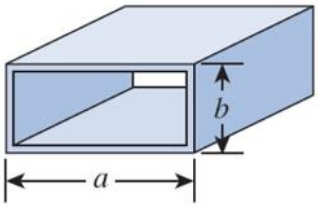
A equação 21 a seguir representa a correlação de Hausen para obter Nusselt.

$$Nusselt\ Óleo = (a/b)\ \times \frac{0{,}0668\ \times\ Gz}{1 + 0{,}04\ \times Gz^{\frac{2}{3}}}$$

Equação 21

A relação (a/b) depende da geometria do tubo e pode ser obtida através da tabela 8 a seguir:

Tabela 8 - Número de Nusselt para geometrias retangulares.

Geometria do tubo	*a/b ou θº*	*Ts*= const.	*qs*= const.	Fato de atrito *f*
	a/b			
Retângulo	1	2,98	3,61	56,92/Re
	2	3,39	4,12	62,20/Re
	3	3,96	4,79	68,36/Re
	4	4,44	5,33	72,92/Re
	6	5,14	6,05	78,80/Re
	8	5,60	6,49	82,32/Re
	∞	7,54	8,24	96,00/Re

Fonte: Bergman e Lavine.

A partir da relação e tabela obtém-se a constante de 7,54. O próximo passo é calcular o número de Gratz (Gz) utilizando a equação 22 a seguir:

$$Gz\ \acute{O}leo = \frac{Diâmetro\ Hidrá.Inter.}{Comprimento\ do\ Tubo} \times Reynolds\ \acute{O}leo\ \times\ Núm\ de\ Pr\ \acute{O}leo$$

Equação 22

Com esses valores encontrados é possível encontrar o valor de Nusselt pela correlação de Hausen conforme equação 21.

O valor de Nusselt do óleo foi encontrado e o próximo passo é realizar o mesmo para o Ar, utilizando desta vez a correlação de Zukauska.

7.5. Nusselt Ar (Zukauska).

A equação 23 a seguir representa a correlação de Zukauska para se Nusselt.

$$Nusselt\ do\ Ar = \ C\ \times\ Re^{\,m} \times\ Pr^{n} \times\ \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{\frac{1}{4}}$$

Equação 23

Os valores de Reynolds (Re), Pranditl (Pr) e Pranditl na superfície (Prs) já são conhecidos. Os valores de C e M dependem de Reynols e a tabela 9 a seguir relaciona esses 3 parâmetros.

Tabela 9 - Valores de Reynolds.

ReD	C	M
1-40	0,75	0,4
40-1000	0,51	0,5
1000 - 2 x 10^5	0,26	0,6
2 x 10^5 - 10^6	0,076	0,7

Fonte: Bergman e Lavine

Como o valor de Reynolds está entre o intervalo 10^3x2x10^5, obtêm-se 0,26 e 0,6 para C e M respectivamente. Com esses resultados é possível resolver a equação 23.

Após encontrar os valores de Nusselt é possível calcular os coeficientes convectivos, estes, serão tratados no próximo tópico.

7.6. Coeficiente Convectivo.

O coeficiente convectivo depende basicamente do número de Nusselt, diâmetro hidráulico e a condutividade térmica do fluído, conforme Dias & Vieira “é essencial para controle e projetos de processos térmicos que envolvam mecanismos da convecção. (Dias & Vieira, 2020)

O mesmo pode ser encontrado conforme a equação 24.

> Consiste em uma variável de maior importância para se obter a quantidade de calor transferida de uma superfície para um fluido ou de um fluido para uma superfície. (Silva, 2019).

$$Coeficiente\ Convectivo\ (h) = \frac{Nusselt\ \times\ Condutividade\ Térmica}{Diâmetro\ Hidráulico}$$

Equação 24

Todos os valores que a equação depende já são conhecidos, portanto, é possível prosseguir com o cálculo para situação interna (óleo) equação 25 e externa (Ar) pela equação 26.

$$Coefic.Convec.inter.(hi) = \frac{Nusselt\ \times Condutividade\ Térmica\ do\ Óleo}{Diâmetro\ Hidráulico\ Interno}$$

Equação 25

$$Coefic.Convec.Exter.(he) = \frac{Nusselt \times Condutividade\ Térmica\ do\ Ar}{Diâmetro\ Hidráulico\ Externo}$$

Equação 26

7.7. Coeficiente das aletas.

Para encontrar a eficiência da aleta no sistema é necessário primeiro encontrar a relação “m” como pode ser visto na equação 27 abaixo, esse parâmetro depende do coeficiente de convecção externo, condutividade do material, perímetro e área da seção transversal da aleta.

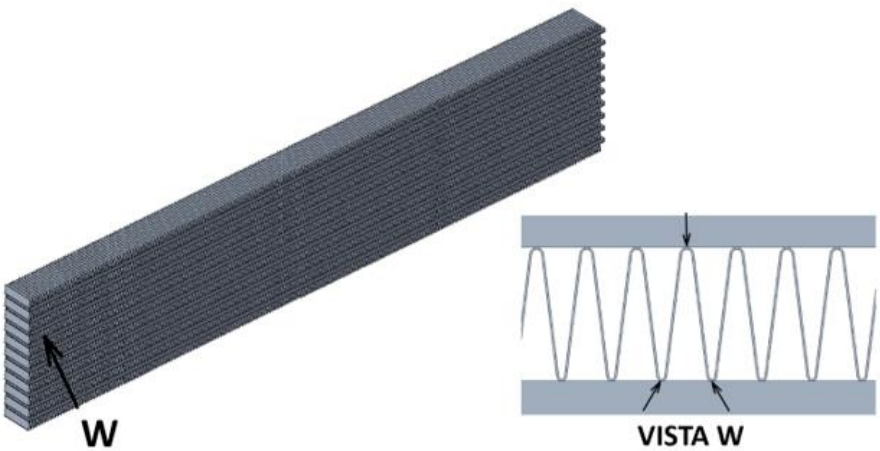
> As superfícies aletadas são utilizadas na prática para aumentar a transferência de calor e geralmente aumentam muito a taxa de transferência de calor a partir da superfície. (Çengel, 2012).

$$m = \sqrt{\frac{Coefic.Convectivo\ Externo \times Perímetro\ perfil\ área\ de\ contato}{Condutivid.Térmica\ do\ Alumínio \times Área\ perfil\ área\ de\ contato}}$$

Equação 27

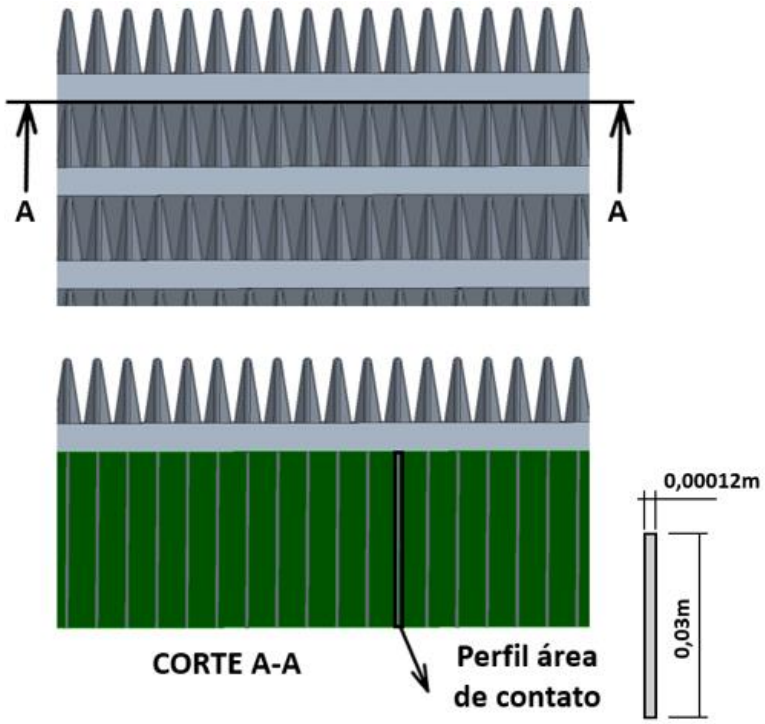
O Coeficiente convectivo e a condutividade do material já são um valor conhecido. O Próximo passo é o cálculo do perímetro e área de contato entre o tubo e aleta. A figura 8 e 9 indica os locais de contato.

Figura 8 - Perfil da Aleta.



Fonte: Cursino et al., 2023.

Figura 9 - Área da aleta.



Fonte: Cursino et al., 2023.

$$Perímetro\ perfil\ área\ de\ contato = (0{,}03 + 0{,}00012) \times 2$$

Equação 28

$$Área\ perfil\ área\ de\ contato\ = 0{,}03 \times 0{,}00012$$

Equação 29

7.8. Eficiência da aleta.

Segundo o autor, a eficiência de uma aleta nada mais é que a troca de calor entre uma aleta real e outra hipotética, sendo a temperatura uniforme e igual à da base. (Scalon,2018).

A equação 30 representa como se obter a eficiência, está, depende da espessura e largura da aleta, além do coeficiente da aleta “m” que já foi apresentado anteriormente.

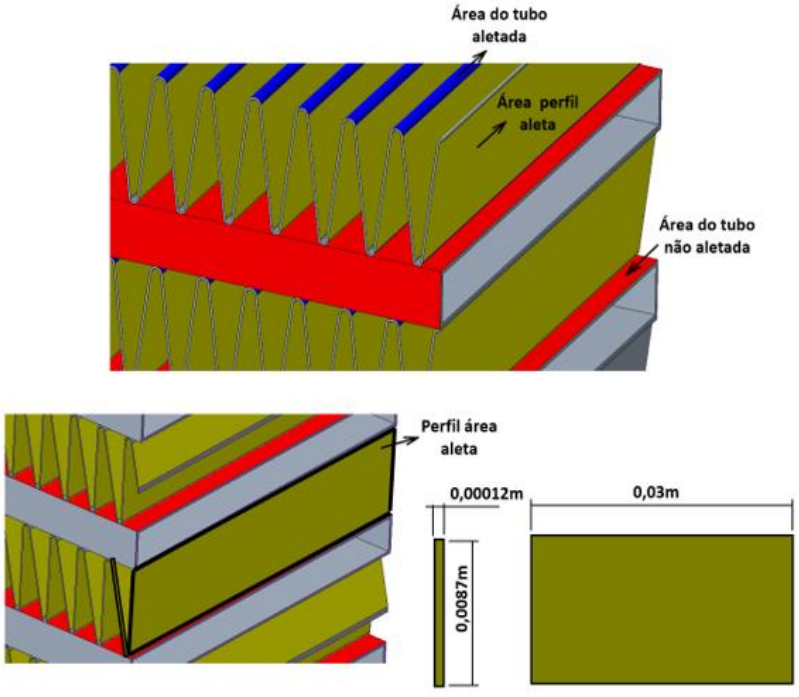
$$Eficiência\ Aleta = \frac{tagh\left[m\ \times\ largura\ da\ aleta + \frac{espessura\ da\ aleta}{2}\right]}{m\ \times\ largura\ da\ aleta + \frac{espessura\ da\ aleta}{2}}$$

Equação 30

7.9. Transferência de calor.

Para o cálculo de troca de calor também é necessário encontrar as áreas do tubo aletadas e não aletadas conforme as equações 31 e 32. A figura 10 a seguir demostra as respectivas áreas.

Figura 10 - Perfil das Áreas Aletadas.



Fonte: Cursino et al., 2023.

$$Área\ do\ tubo\ aletada = Área\ perfil\ área\ decontato \times 2 \times\ repetições$$

Equação 31

$$Área\ aleta\ = [(0{,}03 \times 0{,}0087) + (0{,}00012 \times 0{,}0087)] \times 2 \times repetições$$

Equação 32

$$Área\ tubo\ não\ Aletado\ =\ Área\ total\ do\ tubo -\ Área\ do\ tubo\ aletada$$

Equação 33

Agora é possível encontrar a transferência de calor total no radiador, para isso será divido em três equações, uma para o calor externo, outra para o calor interno e por fim para o calor considerando radiação, equações 34, 35 e 36, respectivamente.

$$Qexterno\ (Tubo\ e\ Aleta) = coeficiente\ externo\ (he) \times (Área\ não\ aletada + (eficiencia\ aleta\ \times área\ aletada)) \times (temperatura\ média - temperatura\ ambiente)$$

Equação 34

$$Qinterno\ (Tubo) = coeficiente\ interno\ (hi) \times Área\ interna\ tubo \times (temperatura\ entrada - temperatura\ média)$$

Equação 35

$$Qradiação\ (Tubo\ e\ Aleta) = Emissividade\ do\ Alumínio\ \times\ Constante\ de\ Boltzmann \times \left(Área\ Tubo\ não\ Aletado + Área\ Aleta\right) \times\ (Temperatura\ Média^4 - Temperatura\ Ambiente^4)$$

Equação 36

O valor da constante de Stefan-Boltzmann é 5,6697x10-8 W/m2K4, ela está relacionada com a que lei permite calcular o poder emissor de um corpo.

Por fim, a transferência total de calor será a soma dessas 3 parcelas, conforme equação 37 abaixo:

$$Qtotal = Qexter.(Tubo/\ Aleta) + Qinter.(Tubo) + Qradiação\ (Tubo/Aleta)$$

Equação 37

Todo o desenvolvimento desses cálculos com os respectivos valores utilizados pode ser encontrado no ANEXO A.

8. MEMORIAL DESCRITIVO

Decorrente a preocupações ambientais e levando em consideração gastos de energia elétrica, verificou-se na empresa Mahle Behr a possibilidade de redução de custo no uso do sistema de arrefecimento de maquinários.

O projeto deu-se início ao perceber que o sistema de torre de calor que acoplava apenas 5 máquinas na empresa era superdimensionado.

No passado, o sistema era benéfico, visto que a fábrica necessitava de uma alta demanda de troca térmica. Ao passar dos anos, com atualização das máquinas e com a mudança no foco de produção da empresa, o processo tornou-se ineficaz.

A torre de calor não acompanhou o desenvolvimento da planta, apenas o sistema permaneceu. Ao analisar de perto, pode-se concluir que, as máquinas trabalhavam fora do especificado para o óleo hidráulico decorrente a troca térmica constante com a torre. O óleo que precisava trabalhar a 45 °C, trabalhava a 22 °C. Ainda mais interessante, foi analisado que, com a torre de calor desligada, a água continuava resfriando devido ao seu longo trajeto hidráulico. Dessa forma, chegou-se à conclusão de que o sistema estava superdimensionado.

O TCC foi iniciado com a proposta de utilização de produtos Mahle para o desenvolvimento de um trocador de calor de máquina.

A partir deste ponto, foi realizada uma análise de todos os dados necessários para o desenvolvimento do produto, incluindo o tipo de óleo, vazão na máquina, temperaturas, troca térmica necessária, sistema elétrico, entre outros. Para atender à troca térmica necessária, foram desenvolvidos cálculos através de métodos baseados em princípios termodinâmicos, a fim de projetar a troca térmica no radiador. Devido à limitada disponibilidade de informações relacionadas ao óleo hidráulico em questão, procedeu-se à realização de uma análise comparativa, considerando o comportamento do óleo hidráulico a 20°C, utilizando tanto dados tabelados de óleo de engenharia quanto os resultados obtidos por meio do emprego de software.

Com os resultados obtidos, deu-se início à implementação prática do que viria a ser o radiador da máquina. Isso permitiu a identificação do radiador ideal para o projeto.

Em discussões com a área de produto e de manutenção elétrica, foi levantada a melhor possibilidade de junção entre radiador óleo-ar e blower; a utilização de um defletor automobilístico.

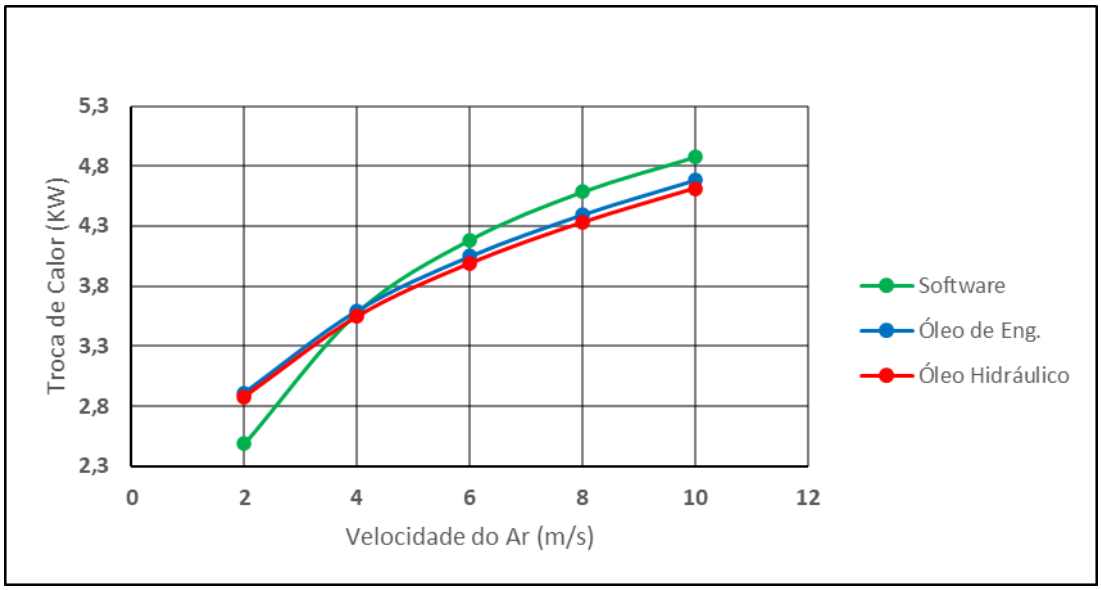
> Um "defletor automobilístico" refere-se a uma peça ou dispositivo instalado em um veículo, geralmente na parte dianteira, traseira ou lateral, com o objetivo de desviar ou redirecionar o fluxo de ar em torno do veículo.

Dessa maneira, envolvendo o setor de protótipo e manutenção, todo o desenvolvimento teórico foi aplicado.

9. CONCLUSÃO

A figura 11 representa as variações de resultados encontrados para cada tipo de óleo em comparação com o resultado do software à qual é a principal métrica.

Figura 11 - Gráfico comparativo.



Fonte: Cursino et al., 2023.

O objetivo de mostrar o comparativo com os dois tipos de óleo se dá para efeito de acurar os cálculos. Os dados de óleo de engenharia estão tabelados e com precisões melhores referentes a temperatura da máquina, entretanto, não é o óleo de uso.

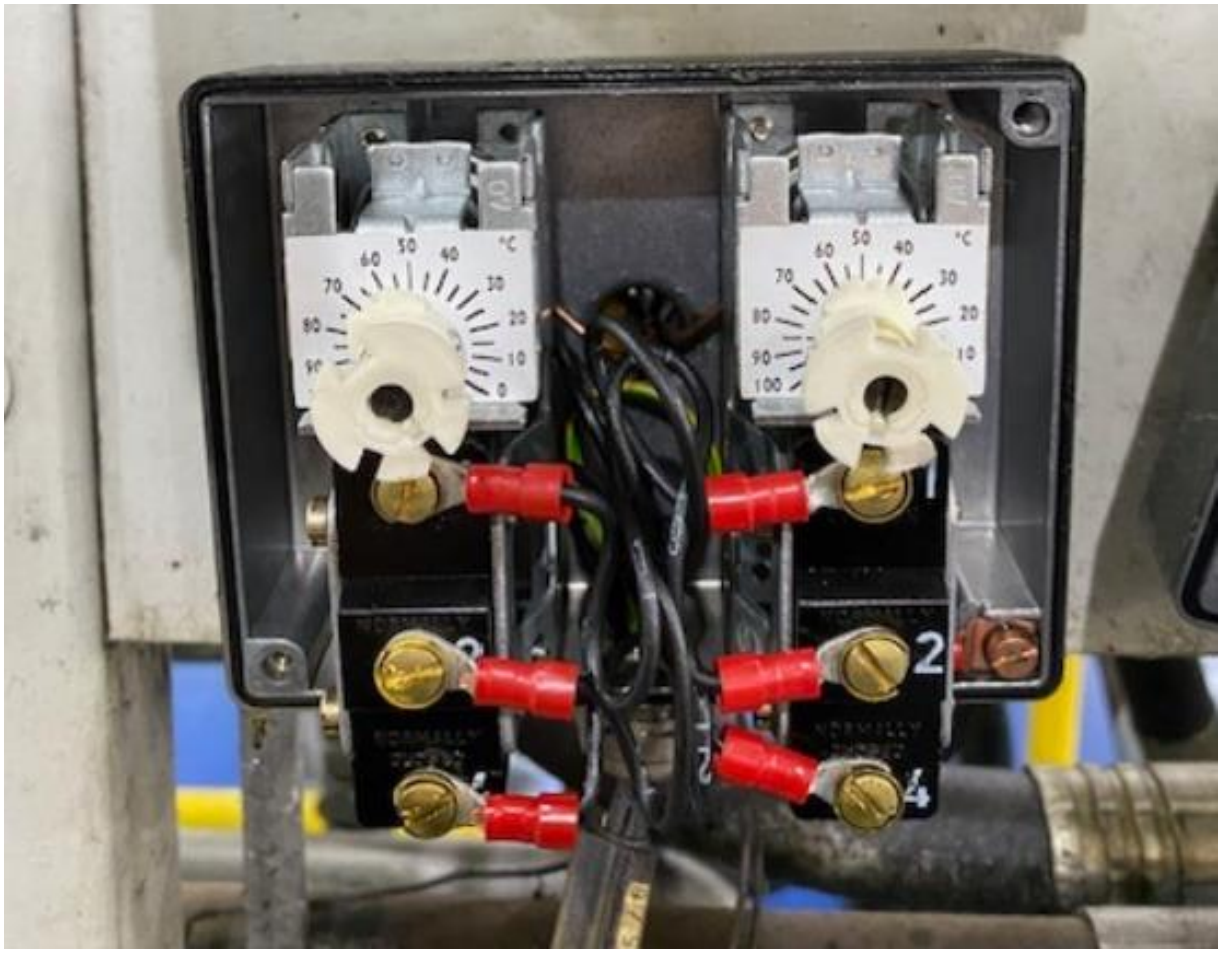
Os dados do óleo hidráulico são referentes a 20 ºC e a temperatura de referência é em torno de 45 ºC a 50 ºC.

Com isso, pode-se comprovar que os resultados se alinham com os do Software validando os cálculos e trazendo uma sequência lógica para cada resolução. Portanto, conclui-se que o radiador satisfaz a troca térmica requerida pelo projeto.

Para que o sistema funcionasse de forma automática, houve necessidade de sensores na máquina. Estes sensores medem a temperatura do óleo, caso este esteja acima de 45 ºC, as ventoinhas do arrefecedor são ligadas, fazendo com que a

troca térmica seja maior e mais eficiente. Ao diminuir a temperatura, as ventoinhas são desligadas. Dessa forma, o elemento trabalha em sua melhor performance.

Figura 12 - Circuito Elétrico.



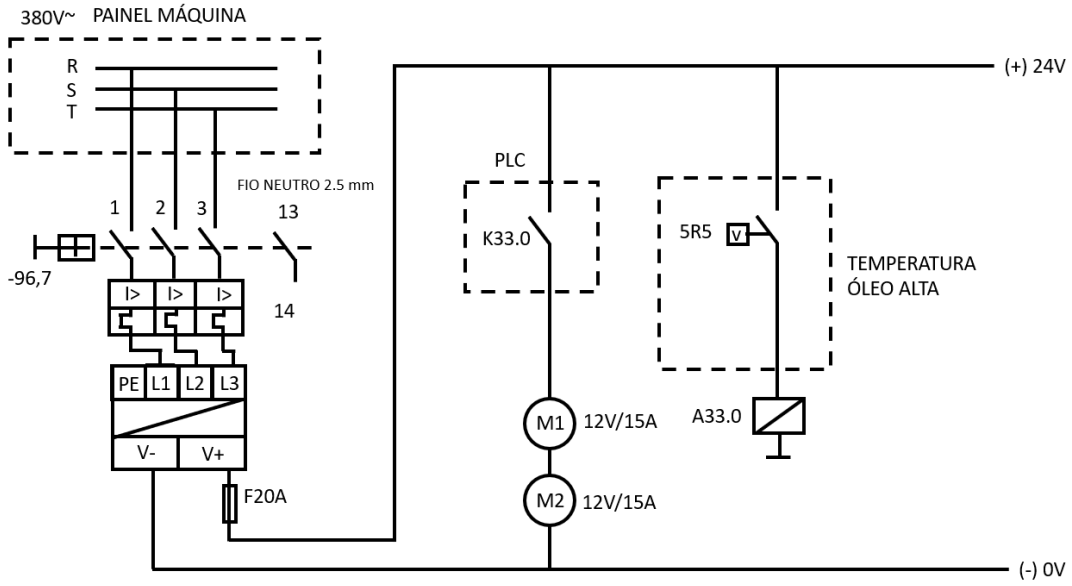
Fonte: Imagem ilustrativa MAHLE

A figura acima demonstra o sistema de sensores. Ao lado direto, percebe-se o valor definido para que as ventoinhas sejam ligadas, que é 45 ºC. Ao lado esquerdo, há um sistema de segurança incorporado à máquina; quando a temperatura passa de 65 ºC, o painel elétrico desliga o maquinário. Dessa forma é preservada a integridade dos funcionários e dos produtos da empresa.

Para finalizar a instalação do projeto, o sistema acima foi integrado ao painel elétrico da máquina.

Figura 13 - Sistema do Circuito Elétrico.

SISTEMA RESFRIAMENTO FORÇADO – RADIADOR BOMBA HIDRÁULICA LINHA 34 – CAMINHÕES.



Fonte: Imagem ilustrativa MAHLE.

Os resultados foram de grande impacto e financeiramente positivos. Foi demonstrada a troca e a retirada de um motor de 22 CV por uma entrada elétrica de 12 volts, validando assim a substituição da torre pelos radiadores individuais em cada máquina.

Considerando a troca em todas as máquinas pelo sistema desenvolvido, possibilita-se a disponibilidade da torre de calor em 98% da capacidade. Dessa forma, o potencial pode ser realocado trazendo ganhos no consumo de energia elétrica.

O projeto apresentou a empresa uma redução de custo de energia e de tratamento de água em torno de 150 mil reais anuais apenas para este maquinário. Há a oportunidade de expansão e de maiores ganhos, levando em consideração que o orçamento para a confecção do radiador internamente foi de, em média, R$700,00. Os demais dados são de exclusividade da empresa, entretanto, os valores apresentados comtemplam todas as informações necessárias de voltagem e especificações da torre e do trocador de calor.

Conclui-se assim, que o projeto foi de extrema importância. Quebrou-se paradigmas e, demonstrou-se potencial.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Raduns, C. D., Johann, D. M., Pereira, F. d., & Enderle, T. P. (2022). Vivências & experiências 2022. Ijuí: **Editora Unijuí.**

Oliveira, S. V., Leoneti, A. B., & Cezarino, L. O. (2019). Sustentabilidade: princípios e estratégias. **Barueri: Editora Manole Ltda**.

Bergman, T. L.; Lavine, A. Incropera - Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. (8th edição**). Editora: LCT. ISBN: 9788521636595**. 2019.

Dalberto, B. T., Silva, N. d., Santos, L. S., Ermel, C., Potrich, E., Coelho, F. L., . . . Ferrari., 0. T. (2021). OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA. **Porto Alegre: SAGAH.**

Mitchell, J. W., & Braun, J. E. (2018). Princípios de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar em Edificações. Rio de Janeiro: LTC — **Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.**

Moreira, J. R. S., et al. Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. (2nd edição). **Editora: LCT. ISBN: 9788521637356.** 2021.

Fialho, A. B. AUTOMAÇÃO HIDRÁULICA - PROJETOS, DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CIRCUITOS. (7th edição). **Editora Saraiva;** 2019.

Moreira, J. R., & Aguilar, E. W. (2023). Fundamentos de Transferência de Calor para Engenharia. Rio de Janeiro**: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.**

Kuntzer, G. (2015). ANÁLISE DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE UM PROTÓTIPO DO TIPO FORMULA SAE. Fonte: **Fórmula UFSM**: https://formulaufsm.files.wordpress.com/2015/02/tcc-gabriel-kuntzer.pdf. Acesso em 20 de outubro de 2023.

Sikorski, A., Roque, A. d., Zanella, M., & Henriques, F. J. (s.d.). INTRODUÇÃO DE UM “SUPERCHARGER” ELÉTRICO EM UM MOTOR A COMBUSTÃO CICLO OTTO. Fonte: **Lyceum online usf:** https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2963.pdf. Acesso em 17 de outubro de 2023.

Queiroz, D. L. Influência da Convecção Natural no Resfriamento de. Disponível em: maxwell Puc Rio: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11028/11028_1.PDF Acessado em: 19 de setembro de 2023.

Azevedo, É. d. (2019). Caracterização de óleo pesado por análise térmica e estudo do efeito da adição de cascalho de perfuração e argila em sua pirólise. Fonte: TPQB UFRJ: http://www.tpqb.eq.ufrj.br/download/caracterizacao-de-oleo-pesado-por-

analise-termica-e-estudo-do-efeito-da-adicao-de-cascalho-de-perf.pdf. Acesso em 17 de novembro de 2023.

Weather Spark. Dados meteorológicos extraídos do site Weather Spark. Disponível em: https://pt.weatherspark.com/y/30311/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Aruj%C3%A1-Brasil-durante-o-ano. Acesso em: 21 de outubro de 2023.

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Munson, B. R., & Dewitt, D. P. (2005). Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos. Rio de Janeiro: LTC — **Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.**

Abhishek, K. “Diâmetro Hidráulico: Cálculo de Tubo, Retângulo, Elipse, FAQs.” Disponível em: https://pt.lambdageeks.com/hydraulic-diameter-definition-calculation/. Acesso em: 5 de setembro de 2023.

Bistafa, S. R. Mecânica dos fluidos. (2nd edição). **Editora: Blucher;** 2017.

Jani, D. “Número de Reynolds: Definição, Fórmula, Aplicação, Fatores.” Disponível em: https://pt.lambdageeks.com/reynolds-number/. Acesso em: 9 de maio de 2023.

Silva, L. N., Santos, S. B., Paixão, I. C., Pereira, T. d., & Oliveira, L. G. (s.d.). Determinação do Coeficiente de Transferência. **Conapesc. Realize Editora**, 2019.

Dias, W. B., Silva, D. de O., Vieira, L. G. M. Determination of convective heat transfer coefficients through computational fluidodynamics techniques. Braz. Ap. Sci. Rev.,Curitiba, v. 4, n. 2, p.729-740, mar./abr. 2020. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/9361. Acesso em 17 de setembro de 2023.

KUPPAN, T., *Heat Exchanger Design Handbook*, Boca Raton, **Editora CRC Press**, 2013.

ÇENGEL, Y. A. & GHAJAR, A. Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática, São Paulo, **AMGH Editora**, 2012, 4° ed.

BRUNETTI, R., Mecânica dos Fluidos, São Paulo, **Pearson Universidades**, 2008, 2° ed.

OKUMA, M & SIMIÃO, M. Otimização energética de uma máquina de calor textil com uso de trocadores de calor. **UMC**, 2004.

CAMACHO, A & DELATORE, G. Radiador de água automotivo: transição de cobre latão para alumínio. **UMC**,2012

KREITH, F. Princípios da transmissão de calor. São Paulo, **Edgar Blucher Ltda**, 1997 3° ed.

BRUNETTI, F. Motores de combustão interna. São Paulo, **Edgar Blucher Ltda**, 2016 volume 1

ROSARIO, M. Princípios Fundamentais da transferência de Calor**, USP Departamento de engenharia naval e Oceania**, 2004

APS, Distribuidora, Catálogo eletrônico de arrefecimento, 09/09/2023 às 14:35 Disponível em: (https://www.apsdistribuidora.com.br) .

GUILARDUCC, H. Dimensionamento de um radiador automotivo aletado e análise da influência dos parâmetros geométricos e o seu desempenho. **UFOP Departamento de engenharia mecânica**,2019

SHELL TELLUS S2 M 68, DESIGNED TO MEET CHALLENGES 07/05/2023 às 22:30 Disponível em: (https://www.shell.pefil.com.br)

BERGMAN, Theodore L., LAVINE, Adrienne S., INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, 7ª edição. **LTC**, 01/2014.

Kreith, Frank, Raj Manglik, Mark Bohn. Princípios de transferência de calor - Tradução da 7ª edição norte-americana, 2nd edição. **Cengage Learning Editores**, 2015-03-26.

SCALON, D. V. (2018). Aproximação unidimensional para condução de calor em superficies estendidas.

MAHLE BEHR, CIRCUITO DO LÍQUIDO DE REFRIGERAÇÃO 23/07/2023 às 17:35 Disponível em: (https://www.techtool.mahle.com/en/nkw/turn/ec_lkw)

MAHLE BEHR, PRODUTOS DE GESTÃO TÉRMICA PARA TODOS OS TIPOS DE PROPULSÃO 05/08/2023 às 14:08 Disponível em: (https://www.mahle-aftermarket.com/eu/es/products/engine-cooling-and-air-conditioning)

BATISTA, O. E. Gestão energética industrial: uma abordagem frente à inteligência empresarial, 2011. **Curso de Engenharia Elétrica Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos**, 2011.

ERNESTO, F.U. Transferência de calor. Capítulo 2. **PUC Goiás**, 2013.

OFICINA BRASIL, CATÁLOGO DE ARREFECIMENTO 07/05/2023 às 14:30 Disponível em: (https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/motos-e-servicos/conheca-o-sistema-de-arrefecimento-liquido-das-motocicletas-sua-importancia-e-dicas-de-manutencao)

VARELLA, C. A. A. **Sistemas auxiliares dos motores de combustão interna.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: (http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aul as/sistemas_auxiliares.pdf)

GAUSS, **Como funciona o sistema de arrefecimento?** Climatização e Arrefecimento, 2021 acessado em: 08/06/2023

NAKATA, **Bombas de óleo, como funcionam e quais são os cuidados necessários?** Acessado em 08/06/2023 Disponível em: (Bomba de óleo: como funciona e quais são os cuidados necessários? (nakata.com.br))

KARTER, **Óleos lubrificantes.** 2018 acessado em 08/06/2023 Disponível em: (https://karter.com.br/#:~:text=Lubrifica%C3%A7%C3%A3o%20para%20sistemas%2C%20engrenagens%2C%20rolamentos,desgaste%20de%20todo%20maquin%C3%A1rio%20fabril.)

CONNOR, **O que é o número de Nusselt – definição**. 2020 Acessado em 08/06/2023 Disponível em: (https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-o-numero-de-nusselt-definicao/)

ANEXO A – DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS (MEMORIAL DE CÁLCULOS.)

ÓLEO DE ENGENHARIA

$$Vazão\ Volumétrica\ do\ Óleo\ Total\ em \frac{m^3}{s} = \frac{20\ Litros/min}{1000\ x\ 60} = 0{,}00033333\ m^3/s$$

$$Vazão\ Mássica\ do\ Óleo\ Total\ em \frac{kg}{s} = \ 0{,}00033333 \times 872{,}23 = 0{,}29074\ Kg/s$$

$$Vazão\ Volumétrica\ do\ Óleo\ por\ tubo\ em \frac{m^3}{s} = \frac{0{,}00033333}{10} = 0{,}000033333\ m^3/s$$

$$Vazão\ Mássica\ do\ Óleo\ por\ tubo\ em \frac{kg}{s} = \ 0{,}29074/10 = 0{,}029074\ Kg/s$$

$$Área\ transversal\ do\ tubo = \ 0{,}003 \times 0{,}0295 = 0{,}0000885 m^2$$

$$Velocidade\ do\ Óleo\ em \frac{m}{s} = \frac{0{,}000033333\ \ m^3/s}{0{,}0000885\ m^2} = 0{,}37664\ m/s$$

Diâmetro hidráulico.

$$Diâmetro\ Hidráulico\ Interno = \frac{2 \times 0{,}003 \times 0{,}0295}{0{,}003 + 0{,}0295} = 0{,}005446\ m$$

$$Diâmetro\ Hidráulico\ Externo = \ \frac{2 \times 0{,}0035 \times 0{,}03}{0{,}0035 + 0{,}03} = 0{,}0062686\ m$$

$$Perímetro\ Interno\ do\ Tubo = (0{,}0295 + 0{,}003)\ \times 2 = 0{,}065m$$

$$Perímetro\ Externo\ do\ Tubo = (0{,}0035 + 0{,}03)\ \times\ \ 2 = 0{,}067m$$

$$Área\ Interna\ do\ Tubo\ em\ m^2 = 0{,}065 \times 0{,}63 = 0{,}04095\ m^2$$

$$Área\ Externa\ do\ Tubo\ em\ m^2 = 0{,}067 \times 0{,}63 = 0{,}04221\ m^2$$

Aletas.

$$Quantidade\ de\ Revoluções = \frac{0{,}63}{0{,}00158} = 398{,}73417 = 399\ revoluções$$

$$Comprimento\ da\ aleta = \ 399 \times 0{,}0087 \times 2 = 6{,}94m$$

$$Área\ transversal\ da\ Aleta\ planificada\ =\ 0{,}03\ \times\ 0{,}00012 = 0{,}0000036m^2$$

$*$ *considerado para efeito de cálculo considerar área de contato entre tubo e aleta = area tranversal da aleta planificada.*

$$Perímetro\ transversal\ da\ Aleta\ planificada\ = (0{,}03 +\ 0{,}00012) \times 2 = 0{,}06024m$$

$$Área\ do\ Tubo\ Aletado\ em\ m^2 = 0{,}0000036 \times 399 \times 2 = 0{,}002872m^2$$

$$Área\ do\ Tubo\ NÃO\ Aletado = 0{,}04221 - 0{,}002872 = 0{,}039338m^2$$

$$Área\ da\ aleta\ em\ contato\ com\ ar\ externo = (0{,}03 \times 0{,}0087) + (0{,}00012 \times 0{,}0087) \times 4 \times 399 = 0{,}4182m^2$$

$$\mu óleo = 0{,}00019030 \times 872{,}23 = 0{,}16598\ kg/m.s$$

Reynolds.

$$Reynolds\ Óleo = \frac{872{,}23\ \times\ 0{,}37664\ \times 0{,}005446}{0{,}16598} = 10{,}779$$

$$Reynolds\ Ar = \frac{1{,}166636\ \times\ 6 \times 0{,}0062686}{0{,}000018599} = 2359{,}215$$

Nusselt.

$$Gz\ Óleo = \frac{0{,}005446}{0{,}63} \times 10{,}779\ x\ 2290{,}52 = 213{,}4271$$

$$Nusselt\ Óleo = 7{,}54 + \frac{0{,}0668\ .\ 213{,}4271}{1 + 0{,}04\ .\ 213{,}4271^{\frac{2}{3}}} = 13{,}41$$

$$Nusselt\ do\ Ar =\ 0{,}26\ .\ 2359{,}215^{\,0{,}6}.\ 0{,}7073^{0{,}37}.\ \left(\frac{0{,}7073}{0{,}7037391}\right)^{\frac{1}{4}} = 24{,}19$$

Coeficiente Convectivo.

$$Coeficiente\ Convectivo\ interno\ (hi) = \frac{13{,}41\ \times\ 0{,}143}{0{,}005446} = 352{,}117\frac{W}{m^2.C°}$$

$$Coeficiente\ Convectivo\ Externo\ (he) = \frac{24{,}19\ \times\ 0{,}0264674}{0{,}0062686} = 102{,}13\frac{W}{m^2.C°}$$

Parâmetros aletas.

$$m = \sqrt{\frac{102{,}13\ \times\ 0{,}06024}{237\ \times\ 0{,}0000036}} = 84{,}9168$$

$$Eficiência\ Aleta = \frac{tagh\left[84{,}9168\ \times\ 0{,}03 + \frac{0{,}00012}{2}\right]}{84{,}9168\ \times\ 0{,}03 + \frac{0{,}00012}{2}} = 0{,}3877 = 38{,}77\%$$

Calor.

$$Qinterno\ (Tubo) = 352{,}117 \times 0{,}04095 \times (50 - 46{,}37) = 52{,}34\ W$$

$$Qexterno\ (Tubo\ e\ Aleta) = 102{,}13 \times [0{,}039338 + (0{,}3877 \times 0{,}4182)] \times (46{,}37 - 30)$$
$$= 336{,}84\ W$$

$$Qradiação(Tubo/Aleta)$$
$$= 0{,}4 \times 4{,}56 \times 10^{-8}\ \times (0{,}039338 + 0{,}4182) \times (319{,}37^4 - 303^4)$$
$$= 16{,}478W$$

$$Qtotal = 336{,}84 + 52{,}34 +\ 16{,}478 = 405{,}667W$$

$$Qtotal\ conjunto = 405{,}667\ \times 10 = 4056{,}67W = 4{,}06kW$$

ÓLEO HIDRÁULICO

$$Vazão\ Volumétrica\ do\ Óleo\ Total\ em \frac{m^3}{s} = \frac{20\ Litros/min}{1000\ x\ 60} = 0{,}00033333\ m^3/s$$

$$Vazão\ Mássica\ do\ Óleo\ Total\ em \frac{kg}{s} = \ 0{,}00033333 \times 952 = 0{,}31733\ Kg/s$$

$$Vazão\ Volumétrica\ do\ Óleo\ por\ tubo\ em \frac{m^3}{s} = \frac{0{,}00033333}{10} = 0{,}000033333\ m^3/s$$

$$Vazão\ Mássica\ do\ Óleo\ por\ tubo\ em \frac{kg}{s} = \ \frac{0{,}31733}{10} = 0{,}031733\ Kg/s$$

$$Área\ transversal\ do\ tubo = \ 0{,}003 \times 0{,}0295 = 0{,}0000885 m^2$$

$$Velocidade\ do\ Óleo\ em \frac{m}{s} = \frac{0{,}000033333\ \ m^3/s}{0{,}0000885\ m^2} = 0{,}37664\ m/s$$

Diâmetro hidráulico.

$$Diâmetro\ Hidráulico\ Interno = \frac{2 \times 0{,}003 \times 0{,}0295}{0{,}003 + 0{,}0295} = 0{,}005446\ m$$

$$Diâmetro\ Hidráulico\ Externo = \ \frac{2 \times 0{,}0035 \times 0{,}03}{0{,}0035 + 0{,}03} = 0{,}0062686\ m$$

$$Perímetro\ Interno\ do\ Tubo = (0{,}0295 + 0{,}003)\ \times 2 = 0{,}065m$$

$$Perímetro\ Externo\ do\ Tubo = (0{,}0035 + 0{,}03)\ \times\ \ 2 = 0{,}067m$$

$$Área\ Interna\ do\ Tubo\ em\ m^2 = 0{,}065 \times 0{,}63 = 0{,}04095\ m^2$$

$$Área\ Externa\ do\ Tubo\ em\ m^2 = 0{,}067 \times 0{,}63 = 0{,}04221\ m^2$$

Aletas

$$Quantidade\ de\ Revoluções = \frac{0{,}63}{0{,}00158} = 398{,}73417 = 399\ revoluções$$

$$Comprimento\ da\ aleta = \ 399 \times 0{,}0087 \times 2 = 6{,}94m$$

$$Área\ transversal\ da\ Aleta\ planificada\ = \ 0{,}03\ \times\ 0{,}00012 = 0{,}0000036m^2$$

$*$ *considerado para efeito de calculo considerar area de contato entre tubo e aleta = area tranversal da elta planificada.*

$$Perímetro\ transversal\ da\ Aleta\ planificada\ = (0{,}03 + \ 0{,}00012) \times 2 = 0{,}06024m$$

$$Área\ do\ Tubo\ Aletado\ em\ m^2 = 0{,}0000036 \times 399 \times 2 = 0{,}002872m^2$$

$$Área\ do\ Tubo\ NÃO\ Aletado = 0{,}04221 - 0{,}002872 = 0{,}039338m^2$$

$$Área\ da\ aleta\ em\ contato\ com\ ar\ externo = (0{,}03 \times 0{,}0087) + (0{,}00012 \times 0{,}0087) \times 4 \times 399 = 0{,}4182m^2$$

$$vóleo = \frac{0{,}8059}{952} = 0{,}0008465\ kg/m.s$$

Reynolds.

$$Reynolds\ Óleo = \frac{952 \times \ 0{,}37664\ \times 0{,}005446}{0{,}8059} = 2{,}423$$

$$Reynolds\ Ar = \frac{1{,}166636\ \times\ 6 \times 0{,}0062686}{0{,}000018599} = 2359{,}215$$

Nusselt.

$$Gz\ Óleo = \frac{0{,}005446}{0{,}63} \times 2{,}423\ \times\ 11668 = 244{,}4$$

$$Nusselt\ Óleo = 7{,}54 + \frac{0{,}0668\ .\ 244{,}4}{1 + 0{,}04\ .\ 244{,}4^{\frac{2}{3}}} = 13{,}91$$

$$Nusselt\ do\ Ar = \ 0{,}26\ .\ \ 2359{,}215^{\ 0{,}6}.\ 0{,}7073^{0{,}37}.\ \left(\frac{0{,}7073}{0{,}7037391}\right)^{\frac{1}{4}} = 24{,}19$$

Coeficiente Convectivo.

$$Coeficiente\ Convectivo\ interno\ (hi) = \frac{13{,}91\ \times\ 0{,}1217}{0{,}005446} = 310{,}8\frac{W}{m^2.C°}$$

$$Coeficiente\ Convectivo\ Externo\ (he) = \frac{24{,}19\ \times\ 0{,}0264674}{0{,}0062686} = 102{,}13\frac{W}{m^2.C°}$$

Parâmetros aletas.

$$m = \sqrt{\frac{102{,}13\ \times\ 0{,}06024}{237\ \times\ 0{,}0000036}} = 84{,}9168$$

$$Eficiência\ Aleta = \frac{tagh\left[84{,}9168\ \times\ 0{,}03 + \frac{0{,}00012}{2}\right]}{84{,}9168\ \times\ 0{,}03 + \frac{0{,}00012}{2}} = 0{,}3877 = 38{,}77\%$$

Calor

$$Qinterno\ (Tubo) = 310{,}8 \times 0{,}04095 \times (50 - 46{,}37) = 46{,}2\ W$$

$$Qexterno\ (Tubo\ e\ Aleta) = 102{,}13 \times [0{,}039338 + (0{,}3877 \times 0{,}4182)] \times (46{,}37 - 30) = 336{,}84\ W$$

$$Qradiação\ (Tubo\ e\ Aleta) = 0{,}4 \times 4{,}56 \times 10^{-8}\ \times (0{,}039338 + 0{,}4182) \times (319{,}37^4 - 303^4) = 16{,}478W$$

$$Qtotal = 336{,}84 + 46{,}2 +\ 16{,}478 = 399{,}52W$$

$$Qtotal\ conjunto = 399{,}52\ \times 10 = 3995{,}2W = 3{,}99kW$$