



PETROTIELE MATEUS PEREIRA NOGUEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DE CURVAS DE  
RESFRIAMENTO, PARA DIFERENTES ÓLEOS  
VEGETAIS, NO PROCESSO DE TRATAMENTO  
TÉRMICO DE TÊMPERA**

**Lavras – MG  
2023**

**PETROTIELE MATEUS PEREIRA NOGUEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE CURVAS DE RESFRIAMENTO, PARA  
DIFERENTES ÓLEOS VEGETAIS, NO PROCESSO DE TRATAMENTO  
TÉRMICO DE TÊMPERA**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de  
Lavras, como parte das  
exigências do Curso de  
Engenharia Mecânica,  
para a obtenção do título  
de Bacharel.

---

Professor Doutor Leonardo Pratavieira Deo  
Orientador

**Lavras – MG  
2023**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Maria Cecília, meu maior exemplo de determinação e força de vontade. Dedico a ela este trabalho, como forma de agradecimento por sempre me amparar e acreditar nos meus sonhos. Você é minha maior inspiração e meu maior amor.

Agradeço também a meu irmão, Atos Domani, por sempre me fazer acreditar que o meu caminho valia a pena, e por ser meu ouvinte sobre tudo que acontecia na faculdade. Obrigado por estar comigo e por ser parte de quem eu sou.

Agradeço ao meu Pai, Mauro nogueira, por sempre ter paciência e disposição pra me ajudar, por mais difícil que fosse a situação.

Agradeço a Bárbara, minha namorada e minha melhor amiga, por ser um dos motivos de eu ter chego até aqui. Por ter me dado forças, e por ter tido paciência e acima de tudo, estar sempre ao meu lado. Te amo, mais que tudo.

Agradeço ao Dudu e a Ana Flavia, a família que a vida me deu, por todos os momentos leves e hipertróficos, onde um café e um abraço, resolvem tudo.

Agradeço ao meu irmão de outra mãe Henrique e pelo meu maior presente deste ano, Otávio, meu afilhado. Espero ser um homem que faça você se sentir orgulhoso, e que eu possa ser exemplo de companheirismo e de família pra você, assim como seu pai foi pra mim.

Agradeço ao meu avô José Pereira, por me fazer querer ser como o senhor e me fazer acreditar que tudo no mundo tem conserto. Se hoje eu cheguei até aqui, foi pela chama que o senhor me deixou plantada, como a da lamparina que o senhor fez pra mim.

Agradeço aos meus tios e tias, que mesmo de longe torceram por mim, e em especial ao meu tio Edson, um homem leal e companheiro. Um segundo pai pra mim, que sempre tentou tirar o meu melhor, e sempre acreditou nas minhas capacidades.

Agradeço aos meus amigos e amigas da faculdade. Pelos momentos bons nas casas em que morei, e pelas pessoas das quais tive o prazer de conviver, todos vocês deixaram as coisas mais fáceis.

Agradeço a todos da empresa Tbit Tecnologia, por todos os aprendizados em meus momentos como estagio e por todas as oportunidades que me proporcionaram. Vocês são incríveis e uma grande família.

Agradeço também ao Prof. Dr. Leonardo, meu orientador e amigo, por todos os conselhos, ensinamentos de vida e por toda a jornada que passamos juntos. Obrigado por fazer parte de minha caminhada até aqui.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras, por tudo que me proporcionou nesta minha passagem por aqui.

E por fim, agradeço a mim, por não ter desistido, por mesmo com todos os nãoos, continuou batalhando do seu jeito até encontrar seu sim. Você sempre diz que consegue, e no final, não é que você conseguiu mesmo!

## RESUMO

Os tratamentos térmicos em aços desempenham um papel fundamental na indústria. Porém com o crescente apelo ambiental, novas alternativas como meios de têmpera têm sido requisitadas, buscando a substituição de óleos minerais a base de petróleo, por alternativas mais sustentáveis, como os óleos vegetais.

Para a viabilizar uma possível substituição destes óleos minerais, é necessária uma maior investigação quanto ao comportamento dos óleos vegetais como meios de resfriamento. Uma forma bastante utilizada para a comparação da eficácia de óleos nos processos de têmpera é o estudo do comportamento das curvas de resfriamento. Para a obtenção de tais curvas, um protótipo experimental de coletor de dados de baixo custo foi confeccionado, utilizando como base uma placa microprocessada Arduino ATmega2560, módulo de leitura termopar Max6675 e sonda cilíndrica de aço SAE4140. Comparou-se curvas de resfriamento de óleos vegetais comerciais (canola e girassol) com a curva de resfriamento de um óleo lubrificante parafínico comum de têmpera (AllTempera32). A propriedade analisada foi a de taxa máxima de resfriamento ( $Cr_{max}$ ), junto com as estruturas químicas dos óleos presentes, buscando justificativas na literatura que comprovem os valores  $Cr_{max}$  maiores para os óleos vegetais se comparados aos óleos minerais.

Como resultado, com o aprofundamento de conceitos físico-químicos de viscosidade e condução de calor, relacionando-os as estruturas moleculares presentes nos óleos, consegue-se entender a relação entre as cadeias carbônicas presentes (ácidos graxos para os óleos de origem vegetal e hidrocarbonetos para os de origem mineral), seu grau de organização molecular e o impacto em suas propriedades macroscópicas. Justificando os índices de viscosidade mais baixos nos óleos vegetais, sua maior taxa de resfriamento observada, estão diretamente ligadas as composições, moléculas e forças secundárias, além da possibilidade de uso em aços de baixa temperabilidade.

**Palavras-chave:** Óleos vegetais, têmpera, curvas de resfriamento.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estágios do mecanismo de resfriamento.....	13
Figura 2 - Sonda cilíndrica, em óleo a 60°C, com agitação a 0,3 m/s. ....	13
Figura 3 - Representação das tres fases de resfriamento ao longo da peça e a mudança de coeficiente de transferência de calor, ao longo da superfície .....	14
Figura 4 - Representações do ácido esteárico completamente saturado.....	17
Figura 5 - Exemplo de triacilgliceróis. ....	18
Figura 6 - Curvas de resfriamento obtidas para o de Canola.....	26
Figura 7 - Curvas de resfriamento obtidas para o óleo de Girassol.....	26
Figura 8 - Curvas de resfriamento obtidas para o óleo mineral AllTempera32. ....	26
Figura 9 - Curvas de resfriamento tempo x temperatura, de diversos óleos. ....	27
Figura 10 - Curvas de taxa de resfriamento obtidas a partir da primeira derivada das curvas de resfriamento. ....	28
Figura 11 - Representação das moléculas de ácidos graxos comuns .....	31
Figura 12 - O empacotamento de ácidos graxos em agregados estáveis. (A) Os ácidos graxos completamente saturados empacotam-se em arranjos quase cristalinos. (B) A presença de um ou mais ácidos graxos com ligações duplas interfere nesse agrupamento compacto e resulta em agregados menos estáveis. ....	33
Figura 13 - Representação da molécula de Octadecano (C <sub>18</sub> H <sub>38</sub> ).....	36
Figura 14 - Representação da molécula de Tetracosano (C <sub>24</sub> H <sub>50</sub> ). ....	36
Figura 15 - Representação de uma bicicloparafina ou decalina. ....	37
Figura 16 - Representação de um exo-triciclododecano. ....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias dos coeficientes de transferências de calor convectivos.....	24
Tabela 2 - Comparativos de parâmetros entre os dados coletados e os dados observados pela literatura onde $CRMAX$ é a taxa máxima de resfriamento ( $^{\circ}C/s$ ) e $tCRmax$ é a temperatura onde ela ocorre ( $^{\circ}C$ ).....	28
Tabela 3 - Composição de ácidos graxos (% de ácidos graxos totais) para o óleo vegetais encontrados na literatura.....	31
Tabela 4 - Resultados obtidos ao analisar a condutividade térmica de óleos vegetais com a variação de temperatura, com unidade de $(kWm - 1K - 1)$ para os óleos de canola e girassol.....	34

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	8
1.1	Objetivos.....	9
2	Revisão bibliográfica.....	10
2.1	Tratamentos térmicos .....	10
2.1.1	Têmpera.....	10
2.1.2	Meios de resfriamento .....	11
2.1.3	Mecanismos de resfriamento.....	12
2.1.4	Coeficiente de transferência de calor.....	15
2.2	Óleos de origem vegetal .....	16
2.2.1	Forças secundárias.....	18
2.2.2	Viscosidade.....	20
2.2.3	Condutividade térmica.....	21
3	Materiais e Métodos .....	21
4	Resultados e discussão .....	25
4.1	Curvas de resfriamento.....	25
4.2	Composição química dos óleos .....	30
4.2.1	Propriedades físico-químicas dos óleos Vegetais.....	30
4.2.2	Propriedades físico-químicas dos óleos minerais.....	34
4.2.3	Comparativo das propriedades .....	38
5	Conclusões.....	39
	Referências .....	41

## 1 Introdução

Os tratamentos térmicos em aços desempenham um papel fundamental na indústria, sendo especialmente importantes nos setores automobilístico e de construção civil. Entretanto, é importante destacar que a produção de aços termicamente tratados, como os aços temperados, requer um consumo significativo de meios de resfriamento, sendo os óleos derivados de petróleo os mais amplamente utilizados nesse processo (Ruggieri, 1998).

Contudo, esses óleos possuem origem fóssil e são considerados não renováveis. Além disso, a exploração e produção industrial desses óleos podem acarretar impactos ambientais significativos, tais como danos à flora, fauna e qualidade do solo, ar e água (Martins et al., 2015).

Diante do crescente interesse global em buscar soluções mais sustentáveis e reduzir a dependência dos óleos minerais derivados do petróleo, pesquisas estão em andamento visando substituí-los por óleos vegetais, que são potencialmente mais biodegradáveis comparados aos óleos de origem mineral, e renováveis, conforme levantado por Santos e colaboradores (2019). No entanto, ainda há uma lacuna de dados comparativos sobre a eficiência dessas substâncias e suas curvas de resfriamento no processo de tratamento térmico de têmpera, o que destaca a necessidade de conduzir estudos focados em estabelecer um referencial nesse sentido.

## 1.1 Objetivos

**Objetivo geral:** Analisar e comparar o comportamento das curvas de resfriamento de óleos vegetais de canola e girassol, em comparação com as curvas de resfriamento do óleo mineral convencional AllTêmpera<sup>32</sup>, a fim de analisar a possibilidade de substituição como meio de resfriamento no processo de tempera.

**Objetivo específico 1:** Foram investigados aspectos químicos e estruturais dos óleos, com base em revisão bibliográfica, a fim de compreender melhor seus comportamentos de resfriamento e justificar os padrões observados nas curvas.

**Objetivo específico 2:** Realizar uma comparação dos dados coletados com a literatura existente, validando a confiabilidade de um dispositivo de baixo custo desenvolvido para coletar informações de tempo versus temperatura, utilizadas na plotagem das curvas mencionadas anteriormente.

## **2 Revisão bibliográfica**

### **2.1 Tratamentos térmicos**

Os tratamentos térmicos desempenham um papel fundamental na indústria metalúrgica, sendo amplamente utilizados para modificar as propriedades físicas e mecânicas dos metais. Esses processos envolvem o aquecimento das ligas metálicas a temperaturas específicas, nas quais as estruturas se encontram em equilíbrio termodinâmico, seguido por um resfriamento controlado. Essa combinação de aquecimento e resfriamento permite obter características desejadas nos materiais, tais como aumento ou diminuição da dureza, resistência à corrosão, alívio de tensões, melhoria da ductilidade e melhor usinabilidade, entre outras propriedades (Chiaverini, 1996).

Os principais tipos de tratamentos térmicos incluem a têmpera, o revenimento, o recozimento e a normalização. Cada um desses processos é aplicado de acordo com as necessidades e especificações de cada liga metálica, visando alcançar as propriedades desejadas para cada aplicação. Além disso, a utilização dessas técnicas pode contribuir para a redução de custos de produção, pois permite o uso de materiais menos nobres, que, após o tratamento, adquirem propriedades similares aos metais mais caros (Dossett & Totten, 2013).

#### **2.1.1 Têmpera**

A têmpera é um dos processos mais antigos e amplamente utilizados na indústria de tratamento térmico. É aplicada em aços de baixo e alto teor de carbono, ligas de aço e ferro fundido. Consiste no resfriamento rápido de aço austenítico em um meio de resfriamento, que pode variar de água, salmoura, óleo mineral, polímeros e até mesmo o ar. O principal objetivo desse tratamento térmico é obter uma estrutura martensítica, que confere ao aço alta dureza e resistência mecânica (Chiaverini, 1996).

A velocidade de resfriamento desempenha um papel crucial na obtenção da estrutura martensítica e varia de acordo com as propriedades do meio de resfriamento, tipo de aço e a geometria da peça a ser temperada. Antes do resfriamento, é necessário

aquecer o aço até o estado austenítico, onde há uma maior dissolução das fases no ferro gama. A faixa de temperatura para alcançar esse estado varia de 750°C a 1100°C, sendo preferencialmente 50°C acima da temperatura crítica superior do aço (Totten, 2007).

Embora desejada por suas propriedades de dureza e resistência, a martensita é um dos microconstituintes mais duros e frágeis dos aços, apresentando um alto teor de tensões residuais internas. Desta forma, geralmente torna-se necessário a realização de um tratamento subsequente para aliviar tensões internas e corrigir possíveis problemas de dureza e fragilidade resultantes da têmpera, conhecido como tratamento de revenimento (Chiaverini, 1996).

### **2.1.2 Meios de resfriamento**

Os meios líquidos são amplamente utilizados como meios de resfriamento na têmpera de aços. Entre esses meios, os óleos são bastante comuns devido às suas propriedades de redução do gradiente de temperatura e maior uniformidade na transferência de calor. Os óleos apresentam menor severidade em comparação com outros meios de resfriamento, como a água. Essa menor severidade ajuda a prevenir empenamentos e rupturas nas peças tratadas (Viscaino, 2019).

Contudo, é importante ressaltar que a escolha do meio de resfriamento adequado depende do tipo de microestrutura final desejada e da profundidade de têmpera necessária. Para determinados tipos de aço, os óleos podem não atingir adequadamente a profundidade de têmpera esperada. Portanto, em alguns casos, outros meios de resfriamento mais severos, como a água ou salmoura, podem ser mais indicados para alcançar as propriedades desejadas (Totten et al., 2002).

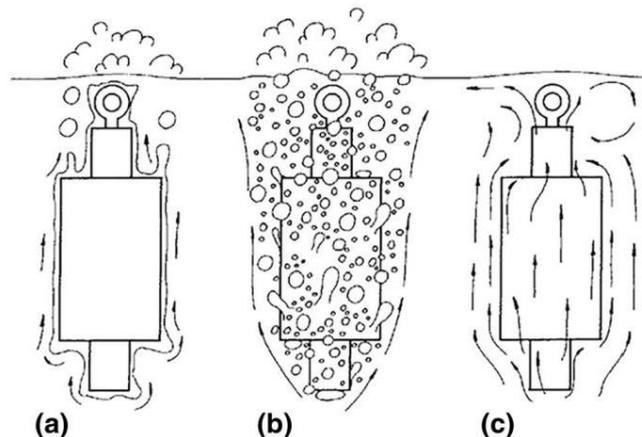
A escolha errada do meio de resfriamento pode resultar em consequências indesejadas, como empenamentos, trincas, distorções ou até mesmo a ruptura da peça tratada. Portanto, é de suma importância selecionar cuidadosamente o meio de resfriamento, levando em consideração as características do aço trabalhado, a fim de garantir resultados satisfatórios no processo de tratamento térmico (TOTTEN, 2007; CHIAVERINI, 1996).

### 2.1.3 Mecanismos de resfriamento

As trocas de calor entre o meio de resfriamento e o material a ser temperado, geram diferenças de temperaturas ao decorrer do tempo do resfriamento, e é composta pelos três estágios, que são representados na Figura 1 e, descritos a seguir de acordo com Rao & Prabhu (2020).

- Estágio de manta de vapor: Nessa fase inicial, também conhecida como ebulição em filme, ocorre a formação de uma manta de vapor ao redor da peça temperada como mostrado na Figura 1A. O calor é extraído da peça, mas a taxa de transferência de calor é relativamente baixa. O filme de vapor atua como isolante térmico, permitindo apenas a transferência de calor por radiação pela superfície da peça e condução através do vapor. Quando ocorre uma queda na temperatura, conhecida como temperatura de reumedecimento (ou de Leidenfrost), o filme de vapor se rompe, aumentando o contato entre o meio refrigerante e a peça.
- Estágio de ebulição nucleada: Após o rompimento da manta de vapor, o meio líquido entra em ebulição em contato com a peça temperada, formando bolhas que se depositam e se desprendem da superfície do material (Figura 1B). Esse estágio é caracterizado por uma transferência de calor mais intensa, resultando em altas taxas de transferência de calor.
- Estágio de resfriamento convectivo: Nessa etapa final, a temperatura da peça torna-se inferior à temperatura de ebulição do meio de resfriamento. A transferência de calor ocorre tanto por condução quanto por convecção (Figura 1C), e a superfície da peça está totalmente em contato com o fluido. No entanto, a taxa de transferência de calor é menor em comparação com o estágio anterior.

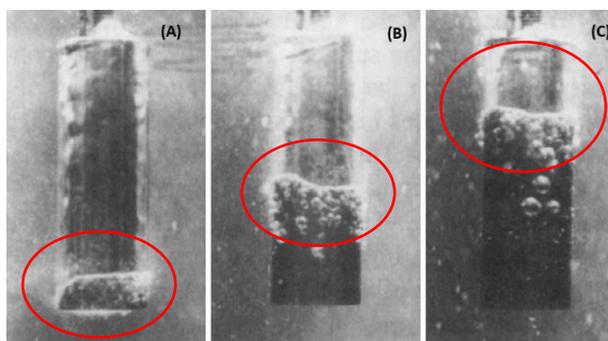
Figura 1 - Estágios do mecanismo de resfriamento.



Fonte: (Rao & Prabhu, 2020).

Na prática, os estágios de resfriamento descritos ocorrem simultaneamente na peça tratada termicamente e resultam em taxas de resfriamento variáveis em diferentes pontos de sua extensão, como é representado pela Figura 2. Essa não uniformidade na taxa de remoção de calor pode levar a um resfriamento desigual. Tais efeitos podem ser minimizados, ao promover mecanicamente uma agitação tanto na peça ao ser submersa no meio de resfriamento, ou do próprio meio de resfriamento em si. Taxas de movimentação promovem um umedecimento mais controlado na peça, deixando as taxas de transferência de calor mais uniformes ao longo de suas superfícies. (Dossett & Totten, 2013)

Figura 2 - Sonda cilíndrica (diâmetro de 25 mm x 100 mm), em óleo a 60°C, com agitação a 0,3 m/s. Perfil de umedecimento variando com o passar do tempo.

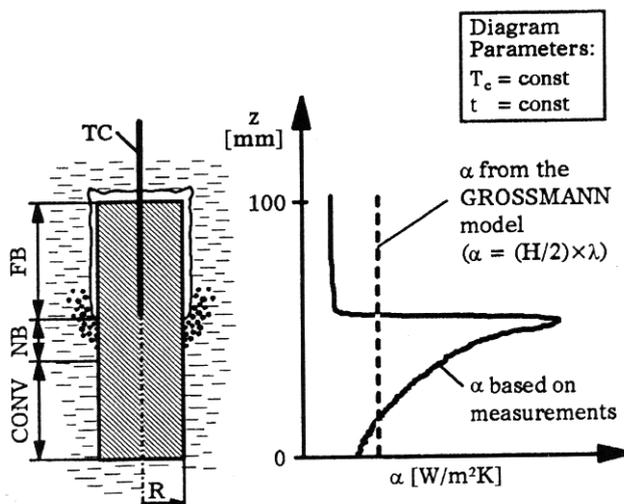


Fonte: Adaptado de (Totten, 2007).

Ao Observar a curva da Figura 3, comparando com a Figura 2, vê-se as características descritas dos estágios anteriormente citados ocorrendo simultaneamente na mesma peça, variando conforme o comprimento da peça e conforme o tempo (tempo necessário para o molhamento total da peça) (Totten, 2007).

Na Figura 2, o grau de umedecimento, ou seja, o quanto o material entra em contato efetivamente com o óleo, varia em relação a superfície, ao decorrer dos segundos. No início do contato (Figura 2A), observa-se uma pequena parte da superfície em contato efetivamente com o óleo (estagio convectivo), além da formação de bolhas (estagio de ebulição nucleada), separando o umedecimento observável na parte superior, da manta de vapor (estagio de manta de vapor) na parte superior. Na Figura 2B, vê-se uma maior propagação do umedecimento, além de uma diminuição dos outros estágios observados, a fim de culminar na Figura 2C, onde após o tempo total de umedecimento, teremos apenas a presença do estágio convectivo (Totten, 2007).

Figura 3 - Representação das três fases de resfriamento acontecendo simultaneamente ao longo da peça (a esquerda), e a mudança de coeficiente de transferência de calor, ao longo da superfície (a direita).



Fonte: (TENSI; TOTTEN, 1996).

As variações nas taxas de resfriamento ocorrem devido a vários fatores, como a geometria da peça, a condutividade térmica do material, a temperatura inicial da peça e as propriedades do meio refrigerante utilizado. Essas diferenças de taxa de resfriamento

podem levar a gradientes de temperatura dentro da peça, o que causam tensões internas e, conseqüentemente, distorções e trincas.

#### 2.1.4 Coeficiente de transferência de calor

O coeficiente de transferência de calor é um parâmetro importante que descreve a eficiência de resfriamento de um meio específico. Ele representa a taxa na qual o calor é transferido na interface metal/líquido, resultando na diminuição da temperatura. De acordo com Hasan e colaboradores (2011), o coeficiente de transferência de calor é definido como a quantidade de calor transferida por unidade de tempo e área de uma superfície, quando a diferença de temperatura entre a superfície e o líquido é de pelo menos um grau absoluto.

O coeficiente de transferência de calor desempenha um papel fundamental na seleção adequada do meio refrigerante durante o processo de têmpera. Ele é influenciado por diversos fatores, incluindo as propriedades do meio de resfriamento, a velocidade de escoamento do líquido, a geometria da superfície de troca de calor e as propriedades termofísicas do material em questão (Simencio Otero et al., 2018).

Ao selecionar o meio de resfriamento para o processo de têmpera, é crucial considerar o coeficiente de transferência de calor, pois ele afeta diretamente a taxa de resfriamento e, conseqüentemente, as propriedades finais da peça temperada. Meios de resfriamento com coeficientes de transferência de calor mais elevados têm a capacidade de remover o calor de forma mais eficiente, resultando em taxas de resfriamento mais rápidas e, potencialmente, em uma estrutura martensítica mais homogênea ao longo da seção transversal da peça (Totten et al., 1993).

A equação geral para a transferência de calor é dada por:

$$h = \frac{Q}{A(T_s - T_f)} \quad (1)$$

Onde na equação acima,  $h$  é o coeficiente de transferência de calor,  $Q$  é o fluxo de calor da interface metal/líquido refrigerante,  $A$  é a área da superfície de contato,  $T_s$  e

$T_f$  são respectivamente as temperaturas superficial da peça e a temperatura do fluido de resfriamento.

Segundo Hasan e colaboradores (2011), o valor do coeficiente de transferência de calor é comumente aproximado para um valor constante, o que é aceitável para casos específicos de temperatura. Porém na prática estes coeficientes variam dependentemente da temperatura, sendo que para modelos mais precisos e com estimativas mais confiáveis, é essencial o levantamento de suas variações.

## 2.2 Óleos de origem vegetal

O interesse do uso de óleos vegetais na indústria teve uma queda após a segunda guerra mundial, entretanto atualmente estes óleos têm sido novamente estudados como substitutos para óleos a base de petróleo, decorrente do crescente interesse na produção de meios produtivos mais sustentáveis, uso de fontes biodegradáveis, renováveis e na diminuição da demanda de derivados de petróleo (Otero et al., 2017).

Os óleos vegetais apresentam similaridades com os óleos minerais, que indicam a possibilidade de substituição como meios de têmpera. Estudos mais aprofundados quanto as propriedades, como o seu índice de viscosidade, juntamente com a taxa de resfriamento, são importantes para a comprovação desta hipótese. Para isso deve-se entender quais as estruturas moleculares destes óleos e como elas se organizam e interagem entre-se.

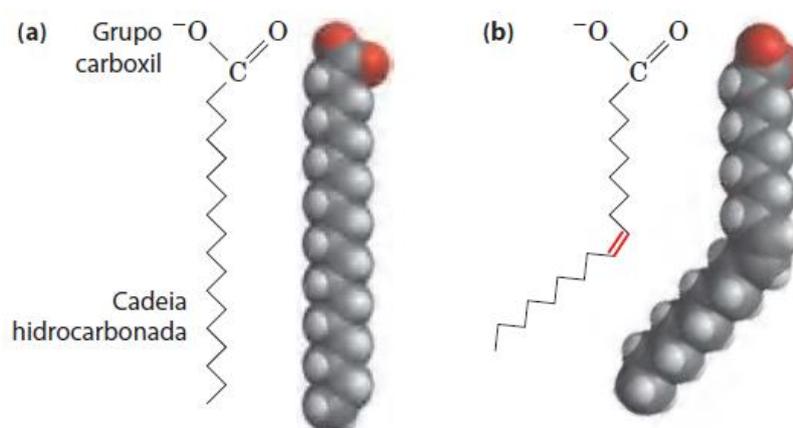
Os ácidos graxos são componentes presentes nas gorduras naturais, óleos de base vegetal, e possuem uma estrutura química composta por uma cadeia de átomos de carbono, na qual está ligado um grupo carboxila na extremidade. Essas cadeias carbônicas podem variar em tamanho, contendo de quatro a vinte e quatro átomos de carbono. A maioria dos ácidos graxos apresenta um número par de átomos de carbono e os mais comuns são aqueles com 16 e 18 átomos (Orsavova et al., 2015).

Existem diferentes tipos de ácidos graxos, classificados de acordo com a presença e o número de ligações duplas em suas cadeias carbônicas. Os ácidos graxos saturados não possuem ligações duplas e estão saturados com hidrogênio. Já os ácidos graxos monoinsaturados possuem uma única ligação dupla em sua cadeia, enquanto os ácidos

graxos poli-insaturados podem apresentar de duas a seis ligações duplas em suas cadeias carbônicas. Estas estruturas podem ser observadas na Figura 4.

Os ácidos graxos monoinsaturados são geralmente líquidos à temperatura ambiente e são encontrados em alimentos como azeite de oliva, abacate e nozes. Já os ácidos graxos poli-insaturados podem ser encontrados em óleos vegetais, peixes e sementes (Nelson & Cox, 2014).

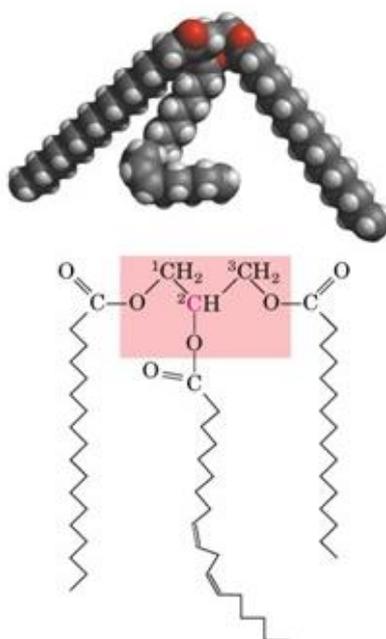
Figura 4 – (A) Representações do ácido esteárico completamente saturado. (B) A ligação dupla cis (em vermelho) no ácido oleico mono insaturado.



Fonte:(NELSON; COX, 2014)

Os triacilgliceróis, também conhecidos como triglicerídeos ou triglicerídes, são os lipídeos mais abundantes na natureza e são encontrados nos óleos vegetais e gorduras animais. Na Figura 5, observa-se que eles são compostos por três ácidos graxos ligados a uma molécula de glicerol, que é um álcool com três grupos hidroxila (-OH).

Figura 4 - Exemplo de triacilgliceróis. O triglicerídeo misto mostrado, tem três ácidos graxos diferentes ligados à cadeia do glicerol.



Fonte:(Nelson & Cox, 2014)

De acordo com Souza e colaboradores (2013), os óleos de base vegetal podem ser definidos como “produtos industriais, incluindo combustíveis, mas excluindo alimentos ou rações, produzidos a partir de recursos renováveis agrícolas ou florestais”.

Atualmente, as sementes são as fontes mais comuns de extração de óleos, sendo a soja a mais amplamente produzida no mundo. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021) o Brasil foi responsável pela produção de aproximadamente 144 milhões de toneladas de soja na safra 2021/22, seguido pelos Estados Unidos com cerca de 118 milhões de toneladas.

### 2.2.1 Forças secundárias

As forças secundárias, também conhecidas como interações intermoleculares, são as forças atrativas que ocorrem entre moléculas. Ao contrário das ligações químicas primárias, como as ligações covalentes e iônicas, as forças secundárias não envolvem a troca ou compartilhamento de elétrons. Em vez disso, elas surgem devido a flutuações

temporárias na distribuição eletrônica das moléculas, resultando em regiões de carga parcial. Essas forças têm um impacto significativo nas propriedades físicas, como ponto de ebulição, ponto de fusão e viscosidade, bem como nas propriedades químicas das substâncias como a solubilidade e a reatividade oxidativa. (Atkins & Paula, 2006).

Existem três principais tipos de forças secundárias: dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido e dipolo instantâneo-dipolo instantâneo (ou forças de dispersão de London). Cada tipo possui um mecanismo único de ocorrência e uma intensidade relativa diferente (Chang & Goldsby, 2013).

Abaixo é discutido de forma mais detalhada cada um dos principais tipos:

I) Forças de Dipolo-Dipolo: Ocorrem quando moléculas polares, ou seja, moléculas que possuem uma distribuição assimétrica de carga elétrica, se aproximam umas das outras, resultando na atração eletrostática entre as regiões de carga oposta. Moléculas com momentos de dipolo permanente, como a molécula de amônia ( $CO_2$ ), são exemplos desse tipo de interação. Essas forças tendem a ser mais fortes do que as forças de dispersão, mas mais fracas do que as ligações covalentes.

II) Forças de Dipolo-Dipolo Induzido: Essas forças são também conhecidas como forças de van der Waals ou forças de Keesom. Surgem quando moléculas polares próximas influenciam momentaneamente a distribuição eletrônica de moléculas vizinhas não polares, induzindo a formação de um dipolo temporário. Essa interação é menos intensa do que as forças de dipolo-dipolo, uma vez que depende da polarizabilidade da molécula apolar e da intensidade do dipolo induzido.

III) Forças de Dipolo Instantâneo-Dipolo Instantâneo (Forças de Dispersão de London): São as forças secundárias mais fracas, porém mais abrangentes, que ocorrem entre todas as moléculas, independentemente da polaridade. Essas forças são resultadas das flutuações aleatórias na distribuição eletrônica de uma molécula, o que cria um dipolo instantâneo. Esse dipolo instantâneo pode induzir

a formação de um dipolo em moléculas vizinhas, gerando uma atração temporária. Quanto maior a massa molecular, maior a probabilidade de ocorrência dessas flutuações eletrônicas, tornando as forças de dispersão mais intensas.

Em geral, as forças de dipolo-dipolo são mais intensas do que as forças de dipolo-dipolo induzido e as forças de dispersão de London (Atkins & Paula, 2006).

### **2.2.2 Viscosidade**

A viscosidade desempenha um papel crucial na transferência de calor na interface entre o metal quente e o meio refrigerante mais frio. Ela é definida como a resistência de um fluido ao cisalhamento e varia com as mudanças de temperatura. Quando a temperatura aumenta, mantendo todos os outros parâmetros constantes, como a pressão e a composição do material, a viscosidade do fluido tende a diminuir (Brock et al., 2008).

De acordo com os resultados obtidos por Sahasrabudhe e colaboradores (2017), em seus estudos sobre a viscosidade de diferentes óleos vegetais submetidos a altas temperaturas, foi observada uma relação entre a temperatura e a viscosidade desses óleos. Houve uma diminuição significativa da viscosidade com o aumento da temperatura. Contudo, a proporção dessa diminuição variou dependendo da composição química e do tipo de óleo em análise.

Essas variações foram mais perceptíveis em temperaturas mais baixas (abaixo de 100°C), tornando-se mais facilmente distinguíveis entre os diferentes óleos vegetais nessas condições. Em temperaturas mais altas, a sensibilidade à variação de viscosidade em relação à temperatura torna-se semelhante para todos os óleos vegetais estudados.

Na literatura observa-se uma relação entre viscosidade e a condutividade térmica. Em casos mais gerais, espera-se que essas propriedades sejam inversamente proporcionais, embora isto possa variar ligeiramente de óleo para óleo, decorrente das variações de composição química e grau de insaturação, além de outros fatores como variação de temperatura e pressão (Owuna, 2020). Portanto, é importante considerar a viscosidade do meio refrigerante durante o processo de têmpera, a fim de garantir uma taxa adequada de resfriamento para obter as propriedades desejadas no material tratado.

### 2.2.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica é uma propriedade física que descreve a habilidade de um material em conduzir calor (Incropera & DeWitt, 2007). Como foi visto, a capacidade dos óleos em absorver e dissipar calor de forma adequada é determinante para o sucesso do processo de têmpera garantindo as microestruturas desejadas.

A composição química e a organização das moléculas influenciam diretamente a capacidade do material em transferir calor. A condutividade térmica dos óleos também está relacionada às interações intermoleculares presentes nesses fluidos. As forças intermoleculares, como ligações de hidrogênio e força de Van der Waals, desempenham um papel importante na determinação da condutividade térmica (Incropera & DeWitt, 2007).

Para óleos vegetais, que são compostos de triglicerídeos, as interações intermoleculares mais predominantes são as de dispersões de London e interações dipolo-dipolo. Já para os óleos minerais, há uma maior predominância de hidrocarbonetos, tendo também a predominância das forças de dispersão de London, como também, as interações dipolo-dipolo entre moléculas polarizadas e por dipolos induzidos em alguns tipos de moléculas apolares (Israelachvili, 2011).

## 3 Materiais e Métodos

No presente estudo, foram utilizados óleos vegetais de canola e girassol, juntamente com o óleo mineral AllTêmpera32, em sua forma original, sem passar por tratamentos ou filtração prévia. Os óleos vegetais foram adquiridos localmente em Lavras-MG, enquanto o óleo mineral, AllTempera32, formulado especificamente para uso em processos de têmpera, foi fornecida pelo fabricante. Os dados técnicos referentes ao óleo mineral de têmpera encontram-se no Anexo I.

A obtenção das curvas de resfriamento e taxa de resfriamento foram feitas por meio de um protótipo de coletor de dados para curva de tempo versus Temperatura. O protótipo foi confeccionado levando em conta os componentes necessários e abordados pela norma (ASTM D6200-01, 2012) embora adaptada para uma realidade, onde é

necessário o emprego de componentes de fácil obtenção e de baixo custo. Todos os procedimentos foram realizados no Laboratório de Processos de Materiais do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

O protótipo de coletor de dados, foi projetado e confeccionado na seguinte forma:

**A) Sensor de temperatura:** Um termopar flexível do tipo K, com uma haste de aproximadamente 80 cm de comprimento e um cabo de 1,50 m de comprimento, foi empregado para a medição de temperatura. O termopar é um dispositivo utilizado para medir a temperatura com base na diferença de tensão gerada entre a junta de referência (junta fria) e a junta de medição. A junta de medição consiste na união de dois filamentos compostos por diferentes metais, responsáveis por gerar uma força eletromotriz proporcional à variação de temperatura.

**B) Sistema de medição:** O sistema de medição utilizado foi a placa microprocessada Arduíno, mais especificamente seu modelo ATMEGA 2560, que possui capacidade de processamento de 256KB de memória flash, trabalhando em clock de 16Mhz. Estas características são suficientemente robustas para a aplicação na aquisição de dados podendo ser equivalente a outros monitores de dados de nível industrial (Abdullah et al., 2017). Junto a placa microprocessada, há um modulo de leitura de termopar do tipo K, denominado Max6675, que tem como funcionalidade a realização da compensação de junta fria e digitalização do sinal de um termopar tipo K. O termopar tipo K é um termopar de uso genérico. Tendo um baixo custo e, devido à sua popularidade estão disponíveis variadas sondas (cases). Cobrem temperaturas entre -200°C e os 1370°C, tendo uma sensibilidade de aproximadamente  $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

**C) Sonda:** A sonda, segundo a norma D6200-01, deve ser cilíndrica, tendo diâmetro de 12.5mm e comprimento de 60 mm, sendo composta pela liga de níquel 600 (inconel600) e com um orifício em seu centro geométrico para a inserir um termopar do tipo K. Porém, pela dificuldade de acesso, preço elevado e

dificuldade de usinagem deste tipo de liga metálica, foi necessária a substituição, e adaptação da metodologia da confecção da sonda, para se adequar a realidade do trabalho.

Como se pode observar no trabalho desenvolvido por Hasan e colaboradores (2011), a sonda pode ser obtida por outros métodos e ligas metálicas. Utilizando como justificativa a quão benéfica é a utilização de um material transformador (aços e ligas, que apresentam mudanças de microestruturas quando submetidos ao processo de têmpera) para o estudo de um sistema de curvas de resfriamento, foram propostas mudanças em relação ao material da sonda. Como alternativa à liga de níquel 600, que é de difícil acesso, optou-se pelo uso de uma liga de aço cromo-molibdênio SAE 4140, que possui características específicas, como uma melhor resposta aos tratamentos térmicos e um patamar de fase de austenitização acima da temperatura utilizada no forno, conforme indicado pela norma para o estudo.

Além disso, o emprego de um método numérico a fim de determinar o diâmetro e comprimento característico da sonda levando em conta propriedades dos meios de resfriamento e de sua condutividade térmica utilizando o número de Biot, foi suficiente para a confecção da mesma.

O número de Biot é um adimensional que visa promover uma razão entre o coeficiente de transferência convectiva de calor na superfície do sólido, e a condutância no interior do sólido, isto é, a razão das resistências térmicas dentro e na superfície da peça (Incropera & DeWitt, 2007).

Este adimensional pode ser determinado por:

$$Bi = \frac{hL_c}{k_b} \quad (2)$$

Onde:  $h$  é o coeficiente de transferência térmica com unidade em  $W/m^2 K$ , que para esse estudo foi considerado como sendo a média dos valores de cada meio de refrigeração utilizado (TABELA 1).  $L_c$  é o comprimento característico que pode ser definido como a razão entre o volume do corpo e a área da superfície ( $V/A$ ).  $k_b$  é o coeficiente condutivo de calor do corpo, para aços no

geral esse valor é de aproximadamente de 50 w/mk (Incropera & DeWitt, 2007). Para a confecção da sonda, assume-se a condição que promova um campo de temperatura uniforme, e perfis quase planos de temperatura dentro do corpo  $Bi \leq 0.1$ , e que a transferência de calor seja apenas promovida pelo meio de resfriamento utilizado no tratamento de têmpera e a peça (Incropera & DeWitt, 2007).

Tabela 1: Médias dos coeficientes de transferência de calor convectivo.

Meios refrigerantes	Média dos coeficientes de transferência de calor convectivos.
Água	1000
Canola	1984
Girassol	2069
Microtemp157	1356
Soja	1865

Fonte: Adaptado de (De Souza E, 2013).

Com esta metodologia chegou-se em uma sonda de 5 mm de diâmetro por 25mm de comprimento, com um furo de 2 mm no seu centro, onde é utilizado para inserir o termopar do tipo K.

**D) Forno:** O forno utilizado foi um forno do tipo mufla resistivo com abertura de tampa frontal, que se encontra no Laboratório de Processos de Materiais, no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

Em Anexo 4, pode-se observar imagens que descrevem o aparato confeccionado montado e os procedimentos de coleta de dados. A fim de garantir a repetibilidade e a confiabilidade dos resultados, foram realizadas tréplicas para cada tipo de óleo estudado, sendo o volume de óleo em cada repetição de aproximadamente 500 mls. Os óleos permaneceram em temperatura ambiente e fora de agitação. No início da medição a sonda fora mantida em temperatura de aproximadamente  $850^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}\text{c}$  dentro do forno resistivo

tipo mufla, pelo período de 5 minutos, para a homogeneização da temperatura. Após este tempo, ocorreu o processo manual de resfriamento por submersão da sonda nas amostras de óleo, com permanência para a coleta de dados de pelo menos 60 segundos, sendo os dados colhidos por computador.

Para a confecção das curvas de resfriamento e taxa de resfriamento, utilizou-se o software matemático-estatístico SciDAVis. Esse software possui recursos avançados para análise de dados possibilitando o emprego da primeira derivada da curva de resfriamento, para determinar a curva de taxa de resfriamento e permitindo a plotagem precisa e a adequada visualização das curvas obtidas.

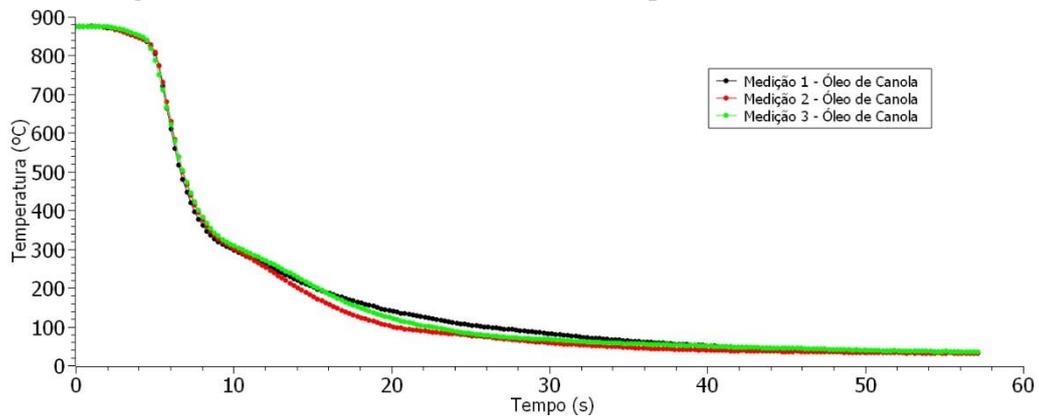
Após a plotagem das curvas de resfriamento, foram avaliados e comparados um dos parâmetros importantes no estudo do meio refrigerante no processo de têmpera, a taxa máxima de resfriamento, ou taxa crítica de resfriamento, retirada a partir do maior valor de taxa de resfriamento das curvas de taxa de resfriamento (Totten et al., 1993).

## **4 Resultados e discussão**

### **4.1 Curvas de resfriamento**

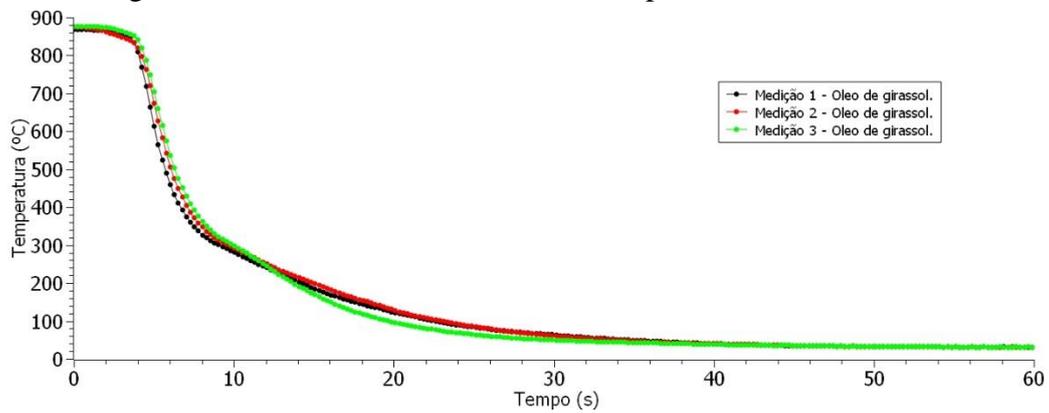
As Figuras 6, 7 e 8, mostram as curvas de resfriamento obtidas através do aparato coletor de dados descrito na seção 3, para três diferentes meios de resfriamento, sendo eles o óleo vegetal de canola (Figura 6), óleo vegetal de semente de girassol (Figura 7) e óleo mineral parafínico derivado de petróleo AllTempera32 (Figura 9).

Figura 5 - Curvas de resfriamento obtidas para o óleo de Canola.



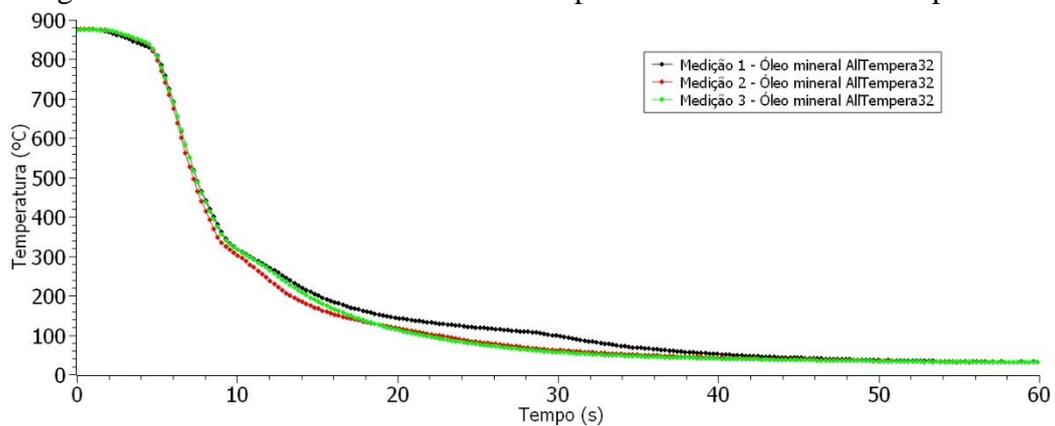
Fonte: Do autor, 2023.

Figura 6 - Curvas de resfriamento obtidas para o óleo de Girassol.



Fonte: Do autor, 2023.

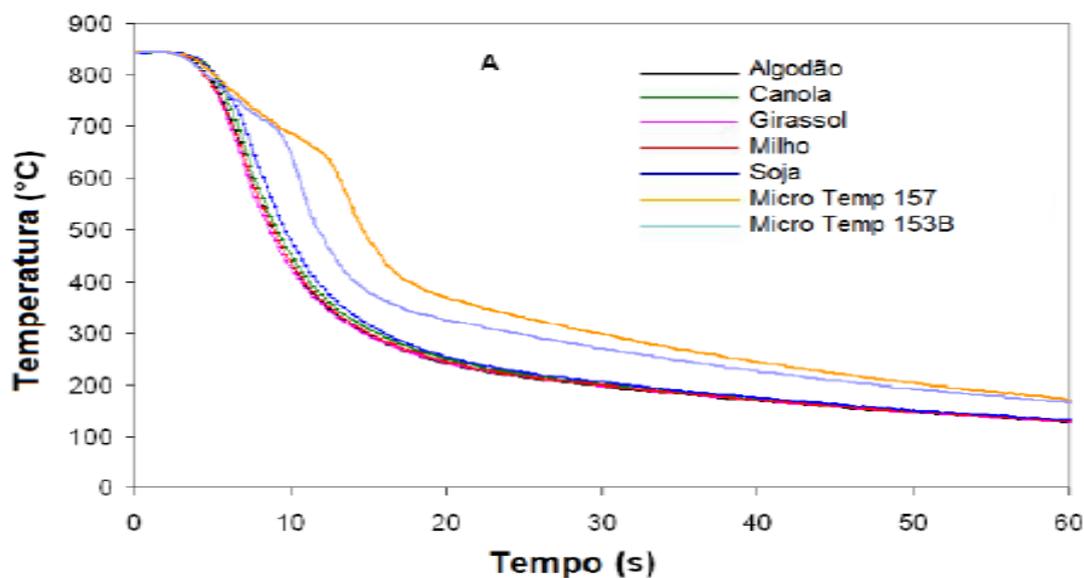
Figura 7 - Curvas de resfriamento obtidas para o óleo mineral AllTempera32.



Fonte: Do autor, 2023.

Pode-se observar que há repetibilidade no processo, pois ao avaliar as curvas em cada repetição, nota-se o comportamento semelhante entre elas, significando que os mesmos parâmetros e condições foram respeitados no procedimento de coleta de dados. Além disso, observa-se a similaridade com as curvas obtidas por Souza (2013) como um dos resultados de seu trabalho (Figura 9).

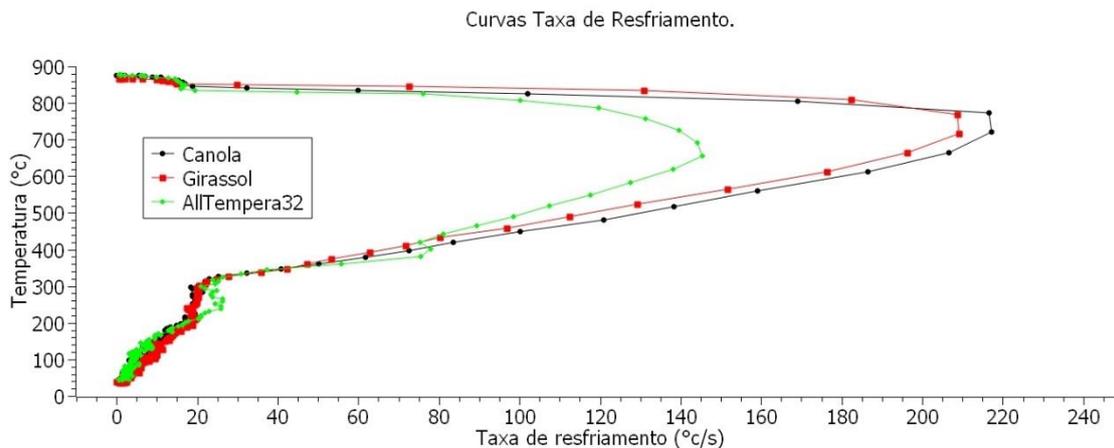
Figura 8 - Curvas de resfriamento tempo versus temperatura, de diversos óleos.



Fonte: (SOUZA, 2013)

Porém, as mesmas similaridades não foram observadas quanto aos valores de taxa máxima de resfriamento obtidos neste trabalho e observados na Figura 10, quando comparado aos valores encontrados por Viscaino (2019), Souza (2013) e informados pela fabricante do AllTempera32 (TABELA 2).

Figura 9 - Curvas de taxa de resfriamento obtidas a partir da primeira derivada das curvas de resfriamento.



Fonte: Do autor, 2023.

Tabela 2 - Comparativos de parâmetros entre os dados coletados e os dados observados pela literatura onde  $CR_{MAX}$  é a taxa máxima de resfriamento ( $^{\circ}C/s$ ) e  $t_{CRmax}$  é a temperatura onde ela ocorre ( $^{\circ}C$ ).

Óleos estudados	Parâmetros Coletados		Parâmetros da literatura (A)		Parâmetros da literatura (B)		Parâmetros do Fabricante. (AllTempera32)	
	$CR_{MAX}$	$t_{CRmax}$	$CR_{MAX}$	$t_{CRmax}$	$CR_{MAX}$	$t_{CRmax}$	$CR_{MAX}$	$t_{CRmax}$
Canola	217,10	720,25	77,7	665	82,82	643,2	-	-
Girassol	209,2	717,25	76,0	660	81,2	648,0	-	-
Tempera Mineral	145	655,5	53,2	557	72,9	576	55	552

Fonte: Adaptado de (A) (Viscaino, 2019) ; (B) (SOUZA, 2013) e Anexo I.

Cabe ressaltar que os dados dos trabalhos consultados, utilizam de termopares situados em pontos variados e distintos ao longo da sonda, porém os dados comparados foram aqueles que os termopares estavam situados no centro geométrico, além de seguirem as mesmas metodologias (ASTM D6200-01, 2012), para a obtenção dos parâmetros listados na Tabela 2. Os óleos minerais utilizados por Souza (2013) e Viscaino (2019), são respectivamente o H100 e Micro Têmpera 157, ambos têm suas especificações indicativas de um óleo de têmpera comum ou convencional, sendo o Micro Tempera 157 classificado como sendo um óleo lubrificante parafínico.

A variação absoluta dos valores pode ser justificada, decorrente dos erros resultantes da construção simplificada do protótipo utilizado para a obtenção das curvas.

Ao estudar o funcionamento do módulo MAX6675, notou-se uma presença crescente de uma variação entre as medições e o valor mostrado no interior do forno mufla. Este erro apresentado pelo módulo, segundo o datasheet (Anexo III), pode ser decorrente de diversos fatores: como as limitações construtivas de sua placa conversora e sua simplicidade de manufatura, pela sensibilidade a fontes de temperatura externas, ou pela sensibilidade a ruídos gerados pela sua forma de alimentação (ruído proveniente da rede elétrica).

Além destes fatores há a presença de um *delay* na gravação dos dados, que ao aplicar uma taxa de 5hz (indicada pela norma D6200-01), acaba gerando um atraso no contador de tempo serial do Arduino. Como resultado, acaba-se limitando o número de informações colhidas, sendo apenas capaz de colher a uma taxa de 250 milissegundos, formando curvas com uma resolução menor do que as exigidas pela norma.

Mesmo com a presença dos erros citados, um padrão foi observado na tabela 2. Os valores de taxa crítica de resfriamento e da temperatura onde ocorrem nos óleos vegetais das literaturas e dos dados coletados, são superiores aos que são apresentados pelos óleos minerais. Então apesar da variação absoluta nos valores, ou seja, uma variação quantitativa, ainda é possível observar uma representação ou um padrão semelhante entre as curvas da literatura e as coletadas, especificamente para os parâmetros de taxas máximas de resfriamento.

A comparação entre os óleos de canola e girassol em relação ao óleo mineral de têmpera convencional, revelou taxas críticas de resfriamento superiores nos óleos vegetais. Como mencionado anteriormente, espera-se que a capacidade de condução térmica de um óleo, seja inversamente proporcional a sua viscosidade e sendo a condutividade, diretamente relacionada com a taxa crítica de resfriamento, isso pode ser um indicativo que os óleos vegetais tendem a ter viscosidade menor que as dos óleos minerais (Ingley HÁ, 1980).

Os óleos vegetais apresentaram temperaturas mais elevadas nas quais ocorreram essas taxas críticas de resfriamento em comparação com os óleos minerais. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que a viscosidade dos óleos vegetais não

sofrer alterações significativas em altas temperaturas, conforme evidenciado por estudos anteriores como os de Sahasrabudhe e colaboradores (SAHASRABUDHE et al., 2017) e Fasina e Colley (Fasina & Colley, 2008).

Como é observado, os óleos vegetais estudados assemelham-se enquanto ao comportamento de suas curvas de resfriamento, apresentando a possibilidade de propriedades físicas bem próximas. As altas taxas de resfriamento que são visíveis na tabela 2, podem ser indicativos da possibilidade destes óleos serem aplicáveis em processos de têmpera de aços com baixa temperabilidade, ou seja, aços que têm capacidade limitada de alterar sua dureza ou microestrutura em uma determinada profundidade, embora ainda seja necessária uma avaliação com maior precisão de tais dados (ou correção dos erros inerentes ao sistema coletor de dados). Esses aços são menos suscetíveis ao endurecimento nos processos de têmpera convencionais, tornando necessária a utilização de meios de resfriamento com taxas de resfriamento mais elevadas (Krauss, 2015).

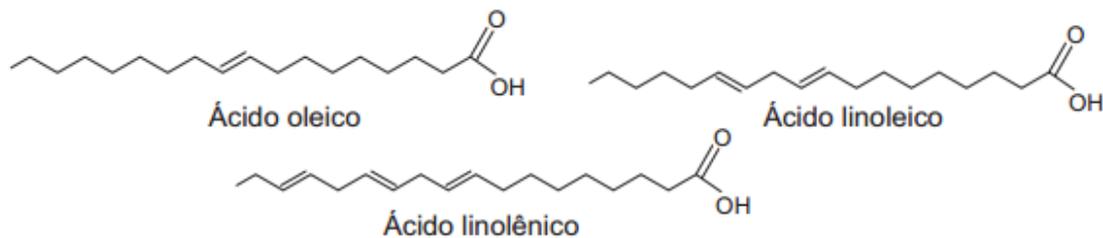
## **4.2 Composição química dos óleos**

Para compreender melhor as relações entre as propriedades físicas dos óleos, suas estruturas moleculares e interações intramoleculares e intermoleculares, faz-se necessário um maior aprofundamento quanto aos componentes químicos destes óleos.

### **4.2.1 Propriedades físico-químicas dos óleos Vegetais**

Nos óleos de canola e girassol, as cadeias de triglicerídeos consistem em uma estrutura básica de glicerol com três ácidos graxos ligados a ele. Estes são reconhecidos por sua alta concentração de ácidos graxos, tais como os ácidos oleico, linoleico e linolênico, os quais são representados na Figura 11.

Figura 10 - Representação das moléculas de ácidos graxos mais comuns em óleos vegetais.



Fonte: (Saad, 2005)

O ácido oleico é um ácido graxo monoinsaturado ômega-9 (essa classificação é referente a posição da primeira ligação dupla a partir da extremidade), enquanto o ácido linoleico e o ácido linolênico são ácidos graxos poli-insaturados ômega-6 e ômega-3, respectivamente. Todos eles possuem cadeias carbônicas compostas por 18 átomos de carbono, e o que os diferencia são suas duplas ligações. O ácido oleico apresenta apenas uma dupla ligação, o linoleico apresenta duas duplas ligações e o linolênico apresenta 3 (Figura 10).

Abaixo na tabela 3, encontra-se representações das porcentagens dos ácidos graxos citados acima, em amostras dos óleos de canola e de girassol. Tais tabelas são resultados dos trabalhos de Imaran & Nadeem (2015), Pérez e colaboradores (1998), Rojas e colaboradores (2013).

Tabela 3 – Composição de ácidos graxos (% de ácidos graxos totais) para o óleo vegetais encontrados na literatura.

Ácido Graxo	Óleo de Girassol (A)	Óleo de Canola (B)	Óleo de Girassol (C)	Óleo de Canola (C)
	Porcentagem (%)	Porcentagem (%)	Porcentagem (%)	Porcentagem (%)
Oleico	41,00	58,3 ± 0,6	15,32	58,53
α-linolênico	1,00	9,7 ± 0,4	0,00	10,20
Estearico	6,2	1,6 ± 0,2	3,32	1,62
Linoléico	41,00	22,8 ± 0,5	73,34	25,26
Palmítico	10	4,5 ± 0,3	7,00	4,00

Fonte: Adaptado de: A) (Imran & Nadeem, 2015); B) (Pérez-Vich et al., 1998) e C) (Rojas et al., 2013).

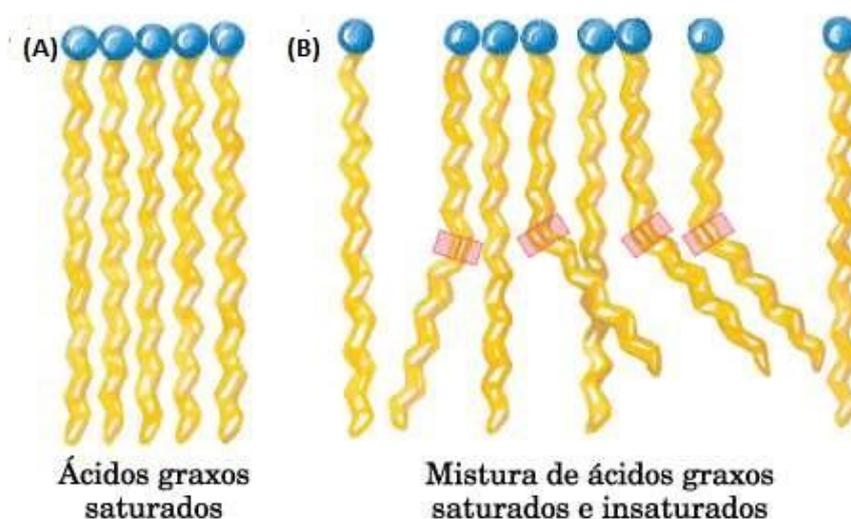
A presença de ligações duplas nos ácidos graxos insaturados resulta em maior torção e dobramento das cadeias de triglicerídeos, o que leva a uma menor organização molecular e maior mobilidade entre as moléculas. Essa menor organização molecular cria sítios de instabilidade, que podem permitir a formação de interações mais fracas entre as moléculas e contribuir para o grau de viscosidade dos óleos. Além disto, à medida que temos um aumento de temperatura, estas duplas ligações tendem a se romper com maior facilidade contribuindo com a diminuição da viscosidade (Luddy, 1979).

Pode-se também relacionar uma propriedade termo física, como a condutividade térmica do meio, ao grau de organização destas moléculas (relação intermolecular). O grau de organização molecular, ou empacotamento molecular, é um dos fatores que influenciam diretamente na condutividade térmica de um determinado óleo. Tem-se uma relação de proporcionalidade, sendo assim, quanto maior o grau de empacotamento, maior a condutividade térmica daquele meio. Além disso, a condutividade térmica se relaciona diretamente com a taxa crítica de resfriamento de um meio de têmpera. Quanto maior a condutividade térmica de um determinado meio, maior será a sua eficiência na transferência de calor, isto é, mais facilmente o meio conseguirá transferir energia termina de uma molécula para a outra, geralmente por conta das proximidades de suas moléculas, e por sua vez, proporcionando uma maior taxa de resfriamento (Ingleby HÁ, 1980).

Para ácidos saturados, as moléculas tendem a ser retas e se alinham de formas compactas e ordenadas, ocasionando em menos espaços vazios entre as moléculas, que implica em interações intermoleculares mais fortes. (Figura 12A). Isto influencia diretamente na condutividade térmica maior nos óleos vegetais. Para ácidos graxos insaturados, a presença de duplas ligações (Figura 12b), favorece a presença de discontinuidades entre as moléculas, pois eles influenciam na flexibilidade da estrutura carbônica. Como as estruturas têm maior possibilidade de torção e dobramento, geram uma estrutura com maior afastamento entre as moléculas se comparada a moléculas saturadas como se pode notar na Figura 12b, sendo uma consequência negativa na condutividade térmica (Rojas et al., 2013).

Assim, pode-se concluir que o afastamento das moléculas (ou maior quantidade de duplas ligações ou até maior grau de insaturação) enfraquece as forças de dispersão de London, consecutivamente interferindo da transferência de calor de uma molécula para outra, diminuindo assim a condutividade térmica (Rozanna et al., 2005).

Figura 11 - O empacotamento de ácidos graxos em agregados estáveis. (A) Os ácidos graxos completamente saturados empacotam-se em arranjos quase cristalinos. (B) A presença de um ou mais ácidos graxos com ligações duplas interfere nesse agrupamento compacto e resulta em agregados menos estáveis.



Fonte: (Nelson & Cox, 2014)

Como é observado na tabela 4, existe uma grande predominância dos ácidos graxos oleicos (monoinsaturado), linolênicos e linoleicos (poli-insaturados) nos óleos de canola e girassol. Estes ácidos graxos contribuem para a condutividade térmica global dos óleos vegetais, permitindo assim uma comparação entre eles. Cabe ressaltar que a condutividade depende também de outros fatores externos além da estrutura química dos óleos, como seu grau de impurezas, o tipo de processamento do óleo e seu nível de degradação.

Analisando os dados, nota-se uma grande proporção de ácidos graxos monoinsaturados oleicos nos óleos de canola, em ambas as literaturas, a uma maioria de ácidos graxos poli-insaturados, linoleico, para as amostras de óleos de girassol. Como existe um menor nível de insaturação nos ácidos graxos predominantes nas amostras de óleo de canola (ácido graxo monoinsaturado oleico), é possível assumir que sua

condutividade térmica, em relação ao óleo de girassol, seja maior. Isso pode vir a ser comprovado ao se analisar os resultados obtidos por Rojas e colaboradores (Rojas et al., 2013), representados na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados obtidos ao analisar a condutividade térmica de óleos vegetais com a variação de temperatura, com unidade de  $(K/Wm^{-1} K^{-1})$  para os óleos de canola e girassol.

Temperatura (K)	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	383.15	393.15	403.15	413.15	423.15	433.15
Canola	0.166	0.167	0.168	0.169	0.169	0.170	0.172	0.172	0,173	0.175	0.175	0.176	0.176	0.178	0.179
Girassol	0.161	0.161	0.162	0.163	0.162	0.163	0.164	0.164	0,164	0.165	0.164	0.165	0.165	0.167	0.167

Fonte: Adaptado de (Rojas et al., 2013).

#### 4.2.2 Propriedades físico-químicas dos óleos minerais

No anexo I, é apresentada a ficha técnica contendo os dados referentes aos óleos minerais lubrificantes para têmpera, da indústria AllLubrificante LTDA, fabricante do óleo de tempera AllTempera32. Trata-se de um óleo a base de petróleo, com viscosidade indicativa de 32 cSt (centistokes, unidade comumente usada em óleos lubrificantes, equivale aproximadamente a  $1 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) a  $40^\circ\text{C}$ , embora pelo método ASTM D 445, ele apresente o valor de 30,8 cSt na mesma temperatura. No Anexo II, é apresentada a ficha de informações de segurança de produto químico, para o óleo em estudo, nela é indicado proporções das composições deste óleo, sendo seu volume total composto de 89 a 99% composto por óleo mineral altamente refinado. De 11 a 0.1% é composto por antioxidantes (auxiliam no retardo da degradação oxidativa) e antiespumantes (auxiliam na redução da formação de espumas).

As informações fornecidas, sugerem a classificação deste óleo de têmpera como um óleo parafínico lento ou normal. Para fins de desenvolvimento, a presente discussão será estendida para uma composição química comum entre os óleos de têmpera convencionais encontrados na literatura. Esta extensão busca sanar a falta de dados acerca das proporções de hidrocarbonetos, parafínicos e naftênicos, no óleo em estudo.

As propriedades dos óleos minerais convencionais de temperatura comummente parafínicos, são influenciadas pela sua composição predominantemente composta por cadeias de hidrocarbonetos saturados longos, originados de fontes petroquímicas, que é o caso do AllTemp32 (Hájek et al., 2021).

Um exemplo de óleo parafínicos comum, ou lento, já abordado anteriormente, é o óleo MicroTemp157, utilizado por Souza (SOUZA, 2013) e avaliado por Ruggieri (1998), com viscosidade semelhante ao estudado (aproximadamente 30cSt a 40°C).

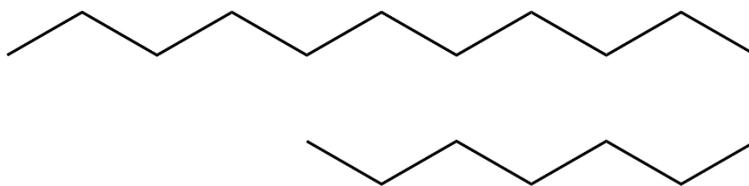
Diferentemente dos ácidos graxos insaturados presentes nos óleos vegetais, esses hidrocarbonetos saturados não possuem ligações duplas, o que resulta em uma estrutura molecular mais rígida e estável em comparação à mobilidade característica dos triglicerídeos. As cadeias de hidrocarbonetos saturados mais comuns são as parafinas e os naftenos, sendo as parafinas predominantes na composição dos óleos, em proporções que variam de 60% a 90% (Speight, 2014).

As parafinas possuem cadeias lineares ou ramificadas e pertencem a uma das classes de compostos derivados do petróleo que podem ter cadeias de átomos curtas ou longas. Nos óleos minerais convencionais de temperatura, são encontradas principalmente parafinas de cadeias longas, que podem variar de 18 a 36 átomos. Suas ligações são simples, chamadas de ligações sigma, e são altamente estáveis devido à sua natureza covalente (Gary et al., 2007).

Alguns exemplos dessas parafinas de cadeias longas são:

- 1) Octadecano: Também conhecido como estearina, é uma parafina de cadeia longa com 18 átomos de carbono e 38 átomos de hidrogênio como pode ser vista na Figura 14. Ela apresenta baixa reatividade química devido a sua natureza saturada, apresentando pouca tendência em se envolver em reações químicas com outros compostos (Speight, 2014).

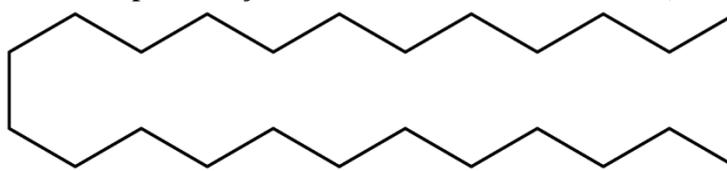
Figura 12 - Representação da molécula de Octadecano (C<sub>18</sub>H<sub>38</sub>).



Fonte: (Riazi, 2005)

- 2) Tetracosano: Apresentando cadeia com 24 átomos de carbono e 50 de hidrogênio (Figura 15), também apresentam as mesmas propriedades vistas com o octadecano, promovendo estabilidade térmica oxidativa, baixa reatividade química além de propriedades lubrificantes (Speight, 2014).

Figura 13 - Representação da molécula de Tetracosano (C<sub>24</sub>H<sub>50</sub>).



Fonte: (Riazi, 2005)

Como visto, a predominância das parafinas combinadas com as propriedades geométricas de suas estruturas moleculares (linearidade/simetria, observável nas Figuras 14 e 15), resulta em fortes impacto nas propriedades dos óleos minerais, como a viscosidade e condução térmica, em paralelo aos ácidos graxos (Andrade, 2022).

As forças intermoleculares com maior presença nos hidrocarbonetos parafínicos, são as forças de dipolo induzido, ou ainda as forças de dispersão de London. Porém se comparadas a outros tipos de forças intermoleculares, como a de dipolo-dipolo ou de ligações de hidrogênio, tais forças de dispersão são mais fracas. Isto acaba impactando diretamente na condutividade térmica dos óleos sendo menor se comparada aos compostos com predominância das forças anteriormente citadas (McMurry, 2005).

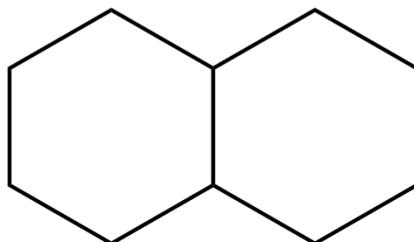
Já os naftenos são hidrocarbonetos saturados de cadeia cíclica, caracterizados por anéis de carbono. Eles conferem uma boa estabilidade térmica aos óleos, pois sua estrutura molecular apresenta uma organização tridimensional, com ligações entre os átomos de carbono dentro dos anéis. Essas ligações são chamadas de ligações sigma e são

altamente estáveis devido à sua natureza covalente. Além disso, os naftenos contribuem para o aumento da viscosidade dos óleos de têmpera, sua cadeia assimétrica cíclica garante uma maior mobilidade se comparados as estruturas mais rígidas dos hidrocarbonetos arafínicos (Riazi, 2005).

Alguns naftenos que são comumente encontrados em óleos de têmpera são:

- 1) **Bicicloparafinas:** Também conhecidas como decalinas, esses naftenos possuem dois anéis de ciclohexano ligados (Figura 16) e são amplamente utilizados em óleos de têmpera convencionais devido à sua estabilidade térmica (Herbinet et al., 2006).

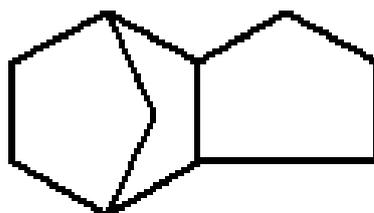
Figura 14 - Representação de uma bicicloparafina ou decalina.



Fonte: (HERBINET et al., 2006)

- 2) **Tricicloparafinas:** Também chamadas de triclodecanos, esses naftenos têm três anéis ligados (Figura 17) e cada um dos anéis de ciclohexano compartilha átomos de carbono em suas extremidades, formando ligações químicas sigma (Herbinet et al., 2006).

Figura 15 - Representação de um exo-triclodecano.



Fonte: (HERBINET et al., 2006)

Assim como nos hidrocarbonetos parafínicos a principal força atrativa nos hidrocarbonetos naftenos é a força de dispersão de London. Quanto maior o tamanho do anel nafteno e quanto maior a área de superfície disponível para a interação, maior será a força de dispersão. Embora a mesma relação de intensidade de força comparadas aos outros tipos de forças atrativas ainda se mantém (McMurry, 2005).

É importante ressaltar que, além das forças de dispersão de London, outros fatores, como a polaridade das moléculas e a presença de grupos funcionais, podem influenciar as forças atrativas intermoleculares nos hidrocarbonetos naftenos. Por exemplo, se houver grupos polares ou funcionais presentes na estrutura dos hidrocarbonetos naftenos, as forças de dipolo-dipolo também podem contribuir para as interações moleculares (Speight, 2014).

#### **4.2.3 Comparativo das propriedades**

Com os valores de viscosidades dos óleos convencionais de têmpera, Alltempera32 (32stc), e o MicroTempe157 (30stc) usado na literatura, juntamente das informações acima abordadas, pode-se afirmar que:

- A presença predominante de hidrocarbonetos parafínicos nos óleos minerais de têmpera, caracteriza a sua menor condutividade térmica, e consecutivamente sua menor taxa máxima de resfriamento. Com a presença de naftenos, há um aumento na viscosidade, se comparados aos óleos vegetais estudados (isto é evidenciado pela Figura 10).
- Os Óleos vegetais, apresentam condutividades térmicas parecidas, embora a maior presença de ácidos monoinsaturados nos óleos de canola resulta em uma condutividade térmica um pouco superior, se comparado ao óleo vegetal de girassol com predominância de ácidos poli-insaturados. Na Figura 10, nota-se que há uma indicação de proximidade entre eles, indicando que esta afirmação pode ser sustentada, embora influenciada pelos erros do sistema citados na seção 4.1.1.

## 5 Conclusões

O presente estudo permitiu comparar as curvas de resfriamento e taxas de resfriamento dos óleos estudados, como também compreender tais diferenças a partir do levantamento bibliográfico de suas estruturas moleculares. Assim foi possível obter relações concisas entre os fenômenos físicos apresentados pelas curvas (como a taxa de resfriamento) e as propriedades decorrentes das estruturas químicas dos óleos de canola, girassol e óleo mineral de têmpera. No entanto, é importante ressaltar que uma melhoria na construção do equipamento de coleta de dados utilizado, permitiria uma comparação mais precisa em termos de dados absolutos.

Analisando as curvas de resfriamento e taxa de resfriamento, é notável que os óleos vegetais apresentam taxas críticas de resfriamento maiores comparadas às taxas de resfriamento do óleo mineral utilizado nos experimentos. Ao se aprofundar nos estudos das estruturas e a composições químicas desses óleos, nota-se que as proporções com que determinadas estruturas estão presentes e seus tipos de forças de atração intermoleculares, impactam diretamente nas características físico-químicas dos óleos.

Quanto a condutividade térmica, para os óleos vegetais, pode-se notar que pela decorrência da maior presença de ácidos graxos monoinsaturados oleicos, observa-se uma maior condutividade térmica no óleo de canola se comparado ao óleo de girassol, porém estes valores ainda são bastante próximos.

Já nos óleos minerais percebe-se que os hidrocarbonetos parafínicos têm mais relevância quando se trata das contribuições para a condutividade térmica e consecutivamente na viscosidade. Isto está atrelado as forças de dispersão de London, que são forças mais fracas, se comparadas as forças presentes em óleos vegetais (como as de dipolo-dipolo ou em alguns casos as de ligação de hidrogênio.)

Comparando os dois tipos de óleos, conclui-se que a viscosidade apresentada pelo óleo minerais é maior que as viscosidades apresentadas pelos óleos vegetais de tempera, graças as suas composições químicas e estruturas moleculares. Assim consecutivamente, há uma maior condução térmica, nos óleos de vegetais, justificando assim as maiores taxas críticas de resfriamento presentes nos óleos vegetais se comparados aos óleos minerais.

Esses valores mais elevados permitiriam a utilização desses óleos vegetais em têmperas de aços com baixa temperabilidade, devido à alta taxa crítica de resfriamento.

## Referências

ABDULLAH, M. H. et al. **Development open source microcontroller based temperature data logger**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...**Institute of Physics Publishing, 1 nov. 2017.

AMAZONAS, LEONARDO. ANALISE DA SAFRA DA SOJA. **CONAB**, 2021.

ASTM D6200-01. ASTM D6200-01 2012 Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Quench Oils by Cooling Curve Analysis. 2012.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos - 7º Edição**. ABM, 1996.

DE SOUZA, E. C. et al. **Heat transfer properties of a series of oxidized and unoxidized vegetable oils in comparison with petroleum oil-based quenchants**. Journal of Materials Engineering and Performance. 2013.

DOS SANTOS, CRISTINA. Estudo prospectivo de óleos vegetais. 2019.

FASINA, O. O.; COLLEY, Z. Viscosity and specific heat of vegetable oils as a function of temperature: 35°C to 180°C. **International Journal of Food Properties**, v. 11, n. 4, p. 738–746, out. 2008.

GARY, J. H.; HANDWERK, G. E.; KAISER, M. J. **Petroleum refining : technology and economics**. 2007.

HÁJEK, J.; DLOUHA, Z.; PRŮCHAPR°PRŮCHA, V. Comparison of Industrial Quenching Oils. **Comparison of Industrial Quenching Oils. Metals**, p. 250, 2021.

HASAN, H. S. et al. Heat transfer coefficients during quenching of steels. **Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung**, v. 47, n. 3, p. 315–321, mar. 2011.

HERBINET, O. et al. Primary mechanism of the thermal decomposition of tricyclodecane. **Journal of Physical Chemistry A**, v. 110, n. 39, p. 11298–11314, 5 out. 2006.

IMRAN, M.; NADEEM, M. Triacylglycerol composition, physico-chemical characteristics and oxidative stability of interesterified canola oil and fully hydrogenated cottonseed oil blends. **Lipids in Health and Disease**, v. 14, n. 1, 29 out. 2015.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. Fundamentals of heat and mass transfer. 6th ed. **John Wiley & Sons.**, 2007.

ISRAELACHVILI, J. N. Intermolecular and Surface Forces. 3Th Ed. **Academic Press**, 2011.

MARTINS, S. S. DA S. et al. PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E IMPACTOS AMBIENTAIS: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES. **HOLOS**, v. 6, p. 54, 11 dez. 2015.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. New York, 2014.

ORSAVOVA, J. et al. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 6, p. 12871–12890, 5 jun. 2015.

OTERO, R. S.; CANALE, E.; VISCAINO, R. Vegetable Oils as Metal Quenchants: A Comprehensive Review. **Materials Performance and Characterization**, 2017.

PÉREZ-VICH, B.; VELASCO, L.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, J. M. Determination of seed oil content and fatty acid composition in sunflower through the analysis of intact seeds, husked seeds, meal and oil by near-infrared reflectance spectroscopy. **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 75, n. 5, p. 547–555, 1998.

RAO, K. M. P.; PRABHU, K. N. A Comparative Study on Cooling Performance of Hot Oil and Molten Salt Quench Media for Industrial Heat Treatment. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 29, n. 6, p. 3494–3501, 1 jun. 2020.

REED-HILL, R. E. **Princípios de Metalurgia Física** GUANABARA, 1973.

RIAZI, M. R. **Characterization and properties of petroleum fractions**. ASTM International, 2005.

ROJAS, E. E. G.; COIMBRA, J. S. R.; TELIS-ROMERO, J. Thermophysical properties of cotton, canola, sunflower and soybean oils as a function of temperature. **International Journal of Food Properties**, v. 16, n. 7, p. 1620–1629, 3 out. 2013.

RUGGIERI, J. E. **CLASSIFICAÇÃO DOS ÓLEOS DE TÊMPERA NACIONAIS**. São Paulo: 1998.

SAAD, E. B. **ETANÓLISE DO ÓLEO DE MILHO EMPREGANDO CATALISADORES ALCALINOS E ENZIMÁTICOS**. Curitiba: 2005.

SAHASRABUDHE, S. N. et al. Density, viscosity, and surface tension of five vegetable oils at elevated temperatures: Measurement and modeling. **International Journal of Food Properties**, v. 20, p. 1965–1981, 29 dez. 2017.

SOUZA, E. C. DE. **Comparação do desempenho nas características de resfriamento entre óleos vegetais e minerais**. São Carlos, 2013.

SPEIGHT, J. G. **The Chemistry and Technology of Petroleum 4th Ed**. New York, 2014.

TOTTEN, G. E. **Steel heat treatment : metallurgy and technologies**. Taylor & Francis, 2007.

TOTTEN, G. E.; BATES, C. E.; CLINTON, N. A. **Handbook of quenchants and quenching technology**. ASM International, 1993.

VISCAINO, J. Óleos vegetais como fluidos de têmpera: curvas de resfriamento, remolhamento e propriedades de transferência de calor. **São Carlos**, 2019.

VOET, D.; VOET, J. G.; PRAAT, C. **Fundamentos de Bioquímica 4th Ed**. John Wiley & Sons, 2014.

H.M. TENSI AND G.E. TOTTEN, "**Development of the Understanding of the Influence of Wetting Behavior on Quenching and the Merits in these Developments of Prof. Imao Tamura**", in Conf. Proceed. Second International Conference on Quenching and Control of Distortion, Eds. G.E. Totten, K. Funatani, M.A.H. Howes and S. Sjoström, 4-7 November 1996, ASM International, Materials OH, p. 17-27.

ANEXO I – AllTempera32 Descriptivo Técnico.

**Base petróleo para tratamento térmico:  
ALL Têmpera (15, 22, 32, 32AC)**

Fluidos integrais de base mineral, para tratamento térmico de metais ferrosos.

**CARACTERÍSTICAS:**

- Viscosidades adequadas para diversas faixas de severidade de têmpera
- Larga faixa de temperatura de uso
- Proteção anticorrosiva do metal e contra oxidação do óleo com uso de formulações nobres
- Alto ponto de fulgor e combustão
- Formulado com óleos básicos de alta qualidade
- Isento de asfalto e similares

**APLICAÇÕES:**

Recomendado para os processos de têmpera de materiais ferrosos.

Faixa de temperatura de trabalho: 20 a 80 °C (ideal para máxima eficiência: 40 a 60°C).

**VANTAGENS E BENEFÍCIOS:**

- Evita perdas excessivas de óleo por arraste nas peças tratadas.
- Proporciona economia e racionalização do número de produtos em estoque, já que pode ser usado sob várias temperaturas e materiais.
- Assegura maior vida útil do produto em uso.
- Reduz riscos de incêndio, fornecendo maior segurança.
- Mantém as propriedades de têmpera constantes, facilitando o controle de distorções das peças e duração dos ciclos de têmpera.

**DADOS TÍPICOS**

Ensaio	Unidade	Método	ALL Têmpera 15	ALL Têmpera 22	ALL Têmpera 32	ALL Têmpera 32AC
Cor	-	Visual	Incolor/Amarelo	Incolor/Amarelo	Amarelo	Âmbar
Densidade a 20°C	g/cm <sup>3</sup>	ASTM 4052	0,86	0,87	0,88	0,88
Viscosidade a 40°C	cSt	ASTM D 445	14,8	21,8	30,8	30,8
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 92	160	160	205	205

**DADOS DE DESEMPENHO METALÚRGICO (CURVA DE RESFRIAMENTO – ASTM D6200)**

Produto	Leidenfrost	Taxa máxima	TR* 700	TR 600	TR 500	TR 400	TR 300	TR 200
<b>ALL Têmpera 15</b>	710°C	111°C/s a 607°C	32,5°C/s em 9,1 s	111,8°C/s em 10,4 s	69,4°C/s em 11,5 s	43,2°C/s em 11,2 s	7,5°C/s em 18,6 s	3,5°C/s em 40,8 s
<b>ALL Têmpera 22</b>	638°C	90°C/s a 550°C	18,9°C/s em 9,4 s	54,5°C/s em 13,5 s	64,9°C/s em 14,8 s	37,3°C/s em 16,5 s	12,9°C/s em 20,4 s	2,5°C/s em 39,6 s
<b>ALL Têmpera 32</b>	647°C	55,0°C/s a 552°C	15,3°C/s em 10,0 s	40,8°C/s em 15,4 s	47,7°C/s em 17,1 s	21,7°C/s em 19,6 s	5,0°C/s em 30,0 s	2,5°C/s em 54,2 s
<b>ALL Têmpera 32AC</b>	657°C	76°C/s a 570°C	18,5°C/s em 9,7 s	72,0°C/s em 13,1 s	63,7°C/s em 14,3 s	36,2°C/s em 16,0 s	13,7°C/s em 19,9 s	2,4°C/s em 36,9 s

\*TR = Taxa de resfriamento em determinada temperatura (°C).

Os dados fornecidos são baseados nas médias dos resultados de testes. Pequenas variações podem ocorrer a cada caso. Em caso de dúvidas, consulte nosso Departamento Técnico.

Para maiores esclarecimentos, consulte a **FISPQ** (Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico) para este produto fornecido mediante solicitação

## ANEXO II – Ficha de Segurança AllTempera 32.



## Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

### 1. Identificação

**Produto:** ALL Tempera (12, 15,22, 32)

**Código do produto:** Não aplicável

**Principais usos recomendados:** Produto de uso industrial. Óleo aplicação integral em têmpera.

**Empresa:** All Indústria de Lubrificantes LTDA

**Endereço:** Rodovia José Benedito de Paiva, 4185 – Maçaranduba – S.G. Sapucaí /MG CEP.: 37490-000

**Telefone para contato:** (35) 99979-0031

**Telefone para emergências:** (35) 99979-0031

**Fax:** Não aplicável

**E-mail:** [engenharia@alllubrificantes.com.br](mailto:engenharia@alllubrificantes.com.br)

### 2. Identificação de perigos

#### 2.1 – Classificação de perigo do produto:

Não está classificado como perigoso em conformidade com a Norma Brasileira ABNT NBR 14725-2:2019 e com o Sistema Globalmente Harmonizado para Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos - ONU.

#### 2.2- Elementos de rotulagem:

Pictogramas: Não aplicável

Palavra de advertência: Não aplicável

Frases de perigo: Não aplicável

Frases de precaução: Não aplicável

#### 2.3 – Outros perigos:

Exposição excessiva e/ou repetitiva sem limpeza adequada pode causar irritação a pele, olhos, e aparelho respiratório. Esse material não deve ser usado para nenhum outro fim além do especificado na seção 1.



### 3. Composição e informações sobre os ingredientes

#### Mistura

COMPONENTES	NUMERO CAS	FAIXA DE CONCENTRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DE PERIGO*
Óleo mineral altamente refinado (C15-C50)	Mistura (NA)	89-99,9%	NA**
Segredo industrial	Mistura (NA)	11-0,1%	NA**

\*Conforme a Norma Brasileira ABNT NBR 14725-2:2019 e com o Sistema Globalmente Harmonizado para Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos – ONU.

\*\*Não aplicável.

### 4. Medidas de primeiros socorros

#### 4.1 - Inalação:

Remover a pessoa da área de exposição, levando-a para um local arejado. Se a vítima estiver respirando com dificuldade, procurar assistência médica imediatamente, levando o rótulo do produto, sempre que possível.

#### 4.2 - Contato com a pele:

Retirar imediatamente roupas e sapatos contaminados. Lavar com água e sabão, preferencialmente sob chuveiro de emergência e procurar auxílio médico se houver indícios de irritação, levando o rótulo do produto, sempre que possível.

#### 4.3 - Contato com os olhos:

Lave os olhos abundantemente com água limpa, separando as pálpebras com os dedos. Use de preferência um chuveiro para olhos. Procure assistência médica em caso de irritação persistente, levando o rótulo do produto, sempre que possível.

#### 4.4 - Ingestão:

Nenhuma medida específica para pequenas quantidades. Em caso de ingestão de quantidade considerável, mantenha a cabeça na posição de lado, evitando o risco de aspiração. Se o acidentado não se recuperar rapidamente, procure assistência médica.



## 4.5 – Sintomas e efeitos mais importantes, agudos ou tardios:

Pode provocar leve irritação à pele com vermelhidão. Pode provocar leve irritação respiratória com tosse e espirros.

## 4.6 – Notas para o médico:

Não existe antídoto específico. O tratamento é baseado em julgamento médico em resposta às reações do paciente.

## 5. Medidas de combate a incêndio

### 5.1 – Meios de extinção:

#### - Apropriados:

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pó químico seco e espuma para óleos.

#### - Não recomendados:

Não usar jato de água diretamente sobre o produto em chamas, pois este poderá espalhar-se e aumentar a intensidade do fogo.

### 5.2 - Perigos específicos da mistura:

Combustão normal gera essencialmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor d'água e pequenas quantidades de óxidos de enxofre (S) e fósforo (P). Combustão incompleta pode produzir monóxido de carbono (CO).

Containers vazios retêm resíduos do produto (líquido e/ou vapor) o que pode ser perigoso. Não pressurizar, cortar, soldar, perfurar, polir, ou expor os containers ao calor, fogo, centelha, eletricidade estática, ou qualquer outra fonte de ignição; os mesmos podem explodir e causar ferimentos ou morte. Tambores vazios devem ser completamente drenados, devidamente fechados e enviados para recuperadores ou descartados. Tanto o líquido, quanto o vapor podem se assentar em áreas baixas ou percorrer trajetórias ao longo do solo ou outra superfície até encontrar fontes de ignição para que possam inflamar ou explodir.



## **5.3 – Medidas de proteção da equipe de combate a incêndio:**

Em caso de incêndio, sempre chamar os bombeiros. Os incêndios pequenos como aqueles que podem ser controlados com um extintor manual, normalmente podem ser combatidos por uma pessoa instruída quanto aos procedimentos de combate a princípio de incêndios conforme sua classe. Os incêndios de maiores proporções devem ser combatidos por pessoas que tenham recebido uma instrução completa. Assegurar que haja uma rota de evasão disponível.

## **6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento**

### **6.1 - Precauções pessoais, equipamento de proteção e procedimentos de emergência:**

#### **- Para o pessoal que não faz parte dos serviços de emergência:**

Não fume. Utilizar luvas de PVC e calçado com solado antiderrapante. Em caso de vazamento, eliminar todas as fontes de ignição e proporcionar ventilação suficiente.

#### **- Para o pessoal do serviço de emergência:**

Utilizar luvas de PVC e calçado com solado antiderrapante. Em caso de vazamento, eliminar todas as fontes de ignição.

### **6.2 - Precauções ao meio ambiente:**

Prevenir a contaminação do solo, esgotos e cursos d'água.

### **6.3 - Métodos e materiais para contenção e limpeza:**

Recolher o produto com material absorvente e inerte (ex.: areia e sílica absorvente) e guardá-lo em recipiente adequado para descarte como resíduo por empresa licenciada.

## **7. Manuseio e armazenamento**

### **7.1 - Precauções para manuseio seguro:**

No manuseio do produto, sugere-se o uso de óculos de segurança e luvas de PVC.



---

## 7.2 – Condições de armazenamento seguro, incluindo qualquer incompatibilidade:

Armazenar em local arejado, seco, ao abrigo da luz do sol e em temperaturas dentro dos limites de 5 °C a 40 °C. O acondicionamento deve ser realizado na embalagem original fechada. Embalagens abertas têm que ser bem fechadas, após uso.

## 7.3 - Manuseio:

Medidas técnicas apropriadas: este produto não é classificado como perigoso, quando utilizado de forma adequada.

## 7.4 - Medidas técnicas apropriadas:

O local de armazenamento deve ter o piso impermeável, isento de materiais combustíveis e com dique de contenção para reter o produto em caso de vazamento.

## 8. Controle de exposição e proteção individual

### 8.1 – Parâmetros de controle:

Produto não é classificado como perigoso. Não determinado limite de exposição para o produto.

### 8.2 - Medidas de controle de engenharia:

São recomendadas boas condições de ventilação no local de trabalho.

### 8.3 – Medidas de proteção pessoal:

#### - Proteção dos olhos/face:

Nas operações onde possam ocorrer projeções ou respingos, recomenda-se o uso de óculos de segurança ou protetor facial.

#### - Proteção da pele e corpo:

Usar sapato fechado e macacão.



## - Proteção respiratória:

Em condições de ventilação adequada não é necessário o uso de equipamentos especiais de proteção respiratória.

## - Proteção para as mãos:

Usar luvas de PVC em atividade de contato direto com o produto.

## 8.4 – Perigos térmicos

Evitar fontes de ignição e faíscas.

## 8.5 – Precauções especiais:

Evitar exposição excessiva a vapores. Produtos químicos só devem ser manuseados por pessoas capacitadas e habilitadas. Nunca reutilizar embalagens vazias de produtos químicos para armazenar alimentos.

## 8.6 – Medidas de higiene:

É essencial manter os mais altos padrões de limpeza pessoal.

## 9. Propriedades físico-químicas

**Aspecto/Estado físico/Cor:** Líquido límpido incolor/Amarelo (grau 15 e 22) a amarelo (grau 32)

**Odor:** Característico

**pH:** Não aplicável (produto não dissociável)

**Ponto de fusão/ponto de congelamento:** Não aplicável

**Ponto de ebulição inicial:** Não aplicável

**Ponto de fulgor (°C):**

12	15	22	32
160	160	160	205

**Taxa de evaporação:** Não aplicável.

**Inflamabilidade (Sólido; gás):** Não aplicável

**Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade:** Não aplicável

**Pressão de vapor:** Não aplicável

**Densidade de vapor:** Não aplicável



**Densidade relativa (a 20/4°C):**

12	15	22	32
0,86	0,86	0,87	0,88

**Solubilidade:** Insolúvel em água, miscível em solventes de hidrocarbonetos.

**Coefficiente de partição – n- octanol/água:** Não aplicável

**Temperatura de autoignição:** Não aplicável

**Temperatura de decomposição:** Não aplicável

**Viscosidade (cSt a 40°C):**

<b>12</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>32</b>
12	15	22	32

## 10. Estabilidade e reatividade

### 10.1 - Reatividade:

Não aplicável.

### 10.2 – Estabilidade química:

Produto estável, não polimeriza.

### 10.3 – Possibilidade de reações perigosas:

Não aplicável.

### 10.4 - Condições a serem evitadas:

Fontes de calor e de ignição.

### 10.5 - Materiais incompatíveis:

Agentes oxidantes fortes e ácidos fortes.

### 10.6 - Produtos perigosos de decomposição:

Não aplicável.



## **11. Informações toxicológicas**

**Toxicidade aguda:** Não é esperado que o produto apresente toxicidade aguda.

**Corrosão/irritação da pele:** Pode provocar leve irritação à pele com vermelhidão.

**Lesões oculares graves/irritação ocular:** Pode provocar irritação ocular.

**Sensibilização respiratória ou à pele:** Não é esperado que o produto apresente sensibilização respiratória ou à pele.

**Mutagenicidade em células germinativas:** Não é esperado que o produto apresente mutagenicidade em células germinativas.

**Carcinogenicidade:** Não é esperado que o produto apresente carcinogenicidade.

- Teste IP-346 (extração por DMSO) < 3%
- Teste de Ames < 1

**Toxicidade à reprodução:** Não é esperado que o produto apresente toxicidade à reprodução.

**Toxicidade para órgãos - alvo específicos – exposição única:** Pode provocar leve irritação respiratória com tosse e espirros.

**Toxicidade para órgãos - alvo específicos – exposição repetida:** Não é esperado que o produto apresente toxicidade ao órgão-alvo específico por exposição repetida.

**Perigo por aspiração:** Pode apresentar perigo por aspiração.

## **12. Informações ecológicas**

### **12.1 – Ecotoxicidade:**

Não determinado.

### **12.2 - Persistência/degradabilidade:**

Não biodegradável.

### **12.3 – Potencial bioacumulativo:**

Não possui aditivos conhecidamente bioacumulativos.

### **12.4 – Mobilidade no solo:**

Não aplicável.



## 12.5 – Outros efeitos adversos:

Não foram identificados outros efeitos adversos.

## 13. Considerações sobre destinação final

### 13.1 – Métodos recomendados para destinação final:

#### - Resíduos do produto:

Não vazar em drenos, esgotos e cursos d'água. Descartar através de um agente autorizado.

#### - Embalagens contaminadas:

Descartar através de um agente autorizado. Não deve ser reutilizada para outros fins. Pode ser limpo com vapor e reciclado.

## 14. Informações sobre transporte

### 14.1 – Regulamentações nacionais e internacionais:

#### - Transporte terrestre, hidroviário e aéreo:

Não regulado de acordo com o Ministério de Transportes (Port.M.T. No. 204 e 402). Não classificado segundo os Ministérios de Transporte e do Trabalho. Não classificado para transporte hidroviário e aéreo.

### 14.2 - Classificação de material perigoso:

Não regulamentado, produto não classificado como perigoso para o transporte.

### 14.3 - Número ONU:

Não classificado como perigoso para o transporte nos diferentes modais.

### 14.4 – Nome apropriado para embarque:

ALL TEMPORA

### 14.5 – Classe/subclasse de risco principal e subsidiário:

Não há.



---

## 14.6 - Número de risco:

Não há.

## 14.7 – Perigo ao meio ambiente:

Não há.

## 15. Informações sobre regulamentações

### 15.1 – Regulamentações específicas de segurança, saúde e meio ambiente para o produto químico:

Este produto não é classificado como perigoso quando utilizado de forma adequada e em sua concentração de trabalho indicada (ver descrição do produto).

## 16. Outras Informações

### 16.1 – Informações importantes:

O produto é exclusivamente de uso industrial.

As informações e recomendações constantes desta publicação foram pesquisadas ou compiladas junto aos fornecedores das matérias primas ou outras fontes idôneas e capacitadas para emití-las, sendo os limites de sua aplicação os mesmos das respectivas fontes.

Os dados dessa ficha de informações referem-se a um produto específico e podem não ser válidos onde esse produto estiver sendo usado em combinação com outros.

A All Indústria de Lubrificantes LTDA esclarece que os dados por ela coletados são transferidos sem alterar seu conteúdo ou significado.

Todas as informações contidas nesta Ficha de Segurança, as informações sobre a saúde, a segurança e o meio ambiente, são reais de acordo com o nosso conhecimento, à data da publicação especificada. Não obstante, a companhia não é responsável por qualquer erro involuntário ou acidental que pode conter nesta ficha. A entrega desta ficha não isenta o usuário da sua obrigação de assegurar-se que o produto descrito é apropriado para sua situação particular e que as precauções de segurança e os conselhos do ambiente são adequados para as suas necessidades e o seu caso concreto. Além disso, é obrigação do usuário utilizar este produto com segurança e cumprir a legislação em vigor referente à utilização do produto.



---

A All Indústria de Lubrificantes LTDA não aceitará nenhuma responsabilidade por danos, lesões ou perdas em consequência de não seguirem as recomendações de segurança e outras contidas nesta ficha, nem de perigos inerentes à natureza do material, nem da sua má ou inadequada utilização.

## **16.2 – Referências:**

ABNT NBR 14725-4 versão 2014.

## **16.3 – Legendas e abreviaturas:**

N.A. – Não aplicável

N.D. – Não disponível

## ANEXO III- Datasheet Max6675.



# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

## General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

## Features

- ◆ Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- ◆ Cold-Junction Compensation
- ◆ Simple SPI-Compatible Serial Interface
- ◆ 12-Bit, 0.25°C Resolution
- ◆ Open Thermocouple Detection

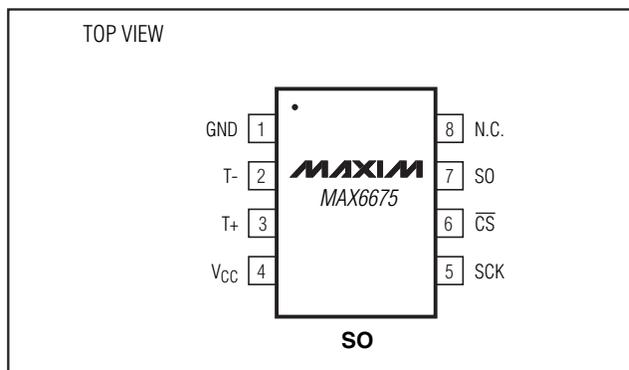
## Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

## Applications

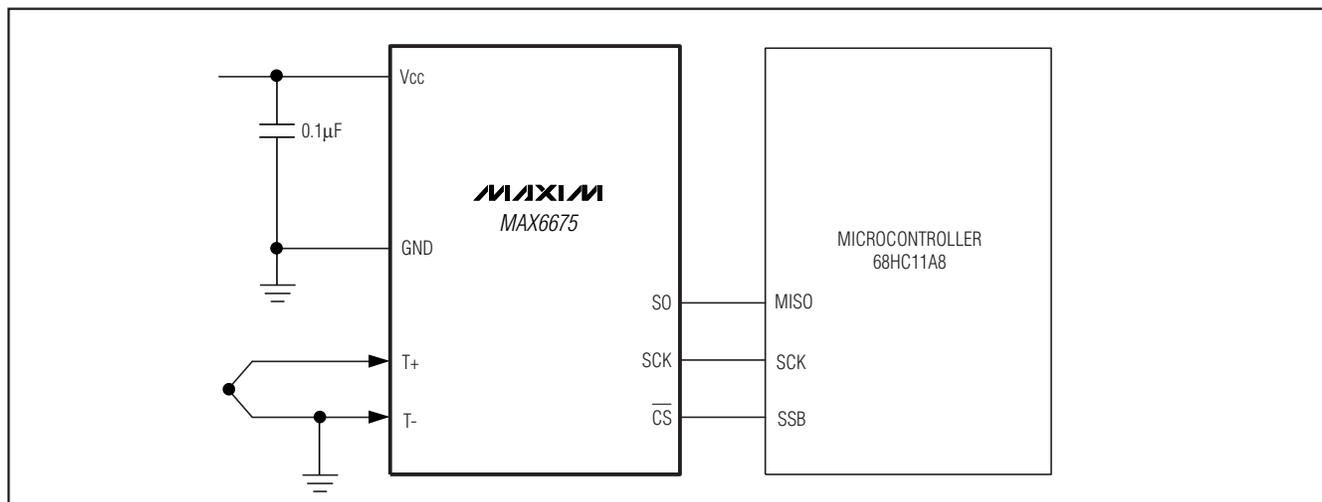
Industrial  
Appliances  
HVAC  
Automotive

## Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

## Typical Application Circuit



# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V<sub>CC</sub> to GND) ..... -0.3V to +6V  
 SO, SCK, CS, T-, T+ to GND ..... -0.3V to V<sub>CC</sub> + 0.3V  
 SO Current ..... 50mA  
 ESD Protection (Human Body Model) ..... ±2000V  
 Continuous Power Dissipation (T<sub>A</sub> = +70°C)  
 8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) ..... 471mW  
 Operating Temperature Range ..... -20°C to +85°C

Storage Temperature Range ..... -65°C to +150°C  
 Junction Temperature ..... +150°C  
 SO Package  
 Vapor Phase (60s) ..... +215°C  
 Infrared (15s) ..... +220°C  
 Lead Temperature (soldering, 10s) ..... +300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V<sub>CC</sub> = +3.0V to +5.5V, T<sub>A</sub> = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = +700°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-5		+5	LSB
			V <sub>CC</sub> = +5V	-6		+6	
		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = 0°C to +700°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-8		+8	
			V <sub>CC</sub> = +5V	-9		+9	
		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = +700°C to +1000°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-17		+17	
			V <sub>CC</sub> = +5V	-19		+19	
Thermocouple Conversion Constant					10.25		μV/LSB
Cold-Junction Compensation Error		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-3.0		+3.0	°C
			V <sub>CC</sub> = +5V	-3.0		+3.0	
Resolution					0.25		°C
Thermocouple Input Impedance					60		kΩ
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>			3.0		5.5	V
Supply Current	I <sub>CC</sub>				0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		V <sub>CC</sub> rising		1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis					50		mV
Conversion Time		(Note 2)			0.17	0.22	s
<b>SERIAL INTERFACE</b>							
Input Low Voltage	V <sub>IL</sub>					0.3 x V <sub>CC</sub>	V
Input High Voltage	V <sub>IH</sub>			0.7 x V <sub>CC</sub>			V
Input Leakage Current	I <sub>LEAK</sub>	V <sub>IN</sub> = GND or V <sub>CC</sub>				±5	μA
Input Capacitance	C <sub>IN</sub>				5		pF

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

( $V_{CC} = +3.0V$  to  $+5.5V$ ,  $T_A = -20^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$ , unless otherwise noted. Typical values specified at  $+25^{\circ}C$ .) (Note 1)

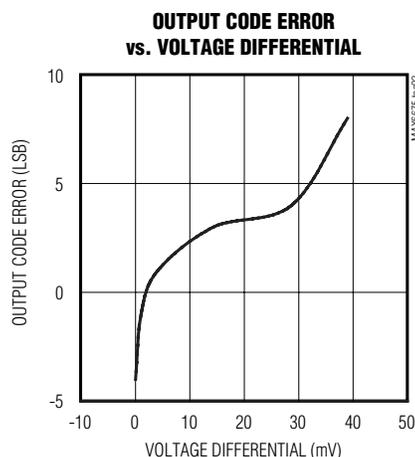
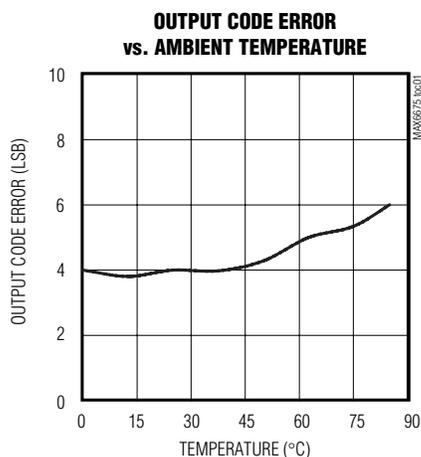
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	$V_{OH}$	$I_{SOURCE} = 1.6mA$	$V_{CC} - 0.4$			V
Output Low Voltage	$V_{OL}$	$I_{SINK} = 1.6mA$			0.4	V
<b>TIMING</b>						
Serial Clock Frequency	$f_{SCL}$				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	$t_{CH}$		100			ns
SCK Pulse Low Width	$t_{CL}$		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	$t_{CSS}$	$C_L = 10pF$	100			ns
CSB Fall to Output Enable	$t_{DV}$	$C_L = 10pF$			100	ns
CSB Rise to Output Disable	$t_{TR}$	$C_L = 10pF$			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	$t_{DO}$	$C_L = 10pF$			100	ns

**Note 1:** All specifications are 100% tested at  $T_A = +25^{\circ}C$ . Specification limits over temperature ( $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

**Note 2:** Guaranteed by design. Not production tested.

## Typical Operating Characteristics

( $V_{CC} = +3.3V$ ,  $T_A = +25^{\circ}C$ , unless otherwise noted.)



# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

## Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	V <sub>CC</sub>	Positive Supply. Bypass with a 0.1μF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	$\overline{\text{CS}}$	Chip Select. Set $\overline{\text{CS}}$ low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

## Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (μC) or other intelligence in thermostat, process-control, or monitoring applications.

### Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41μV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{\text{OUT}} = (41\mu\text{V} / ^\circ\text{C}) \times (T_{\text{R}} - T_{\text{AMB}})$$

Where:

V<sub>OUT</sub> is the thermocouple output voltage (μV).

T<sub>R</sub> is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T<sub>AMB</sub> is the ambient temperature (°C).

### Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

### Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

## Applications Information

### Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force  $\overline{CS}$  low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing  $\overline{CS}$  low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing  $\overline{CS}$  high.

Force  $\overline{CS}$  low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

### Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T- must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

### Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1 $\mu$ F ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

### Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

### Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

## Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BiCMOS

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

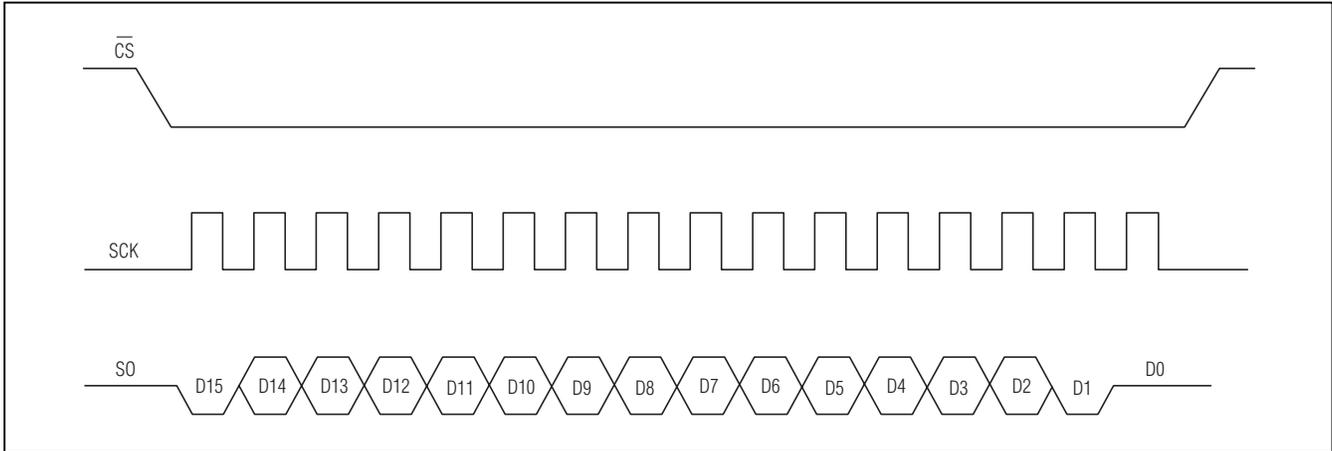


Figure 1a. Serial Interface Protocol

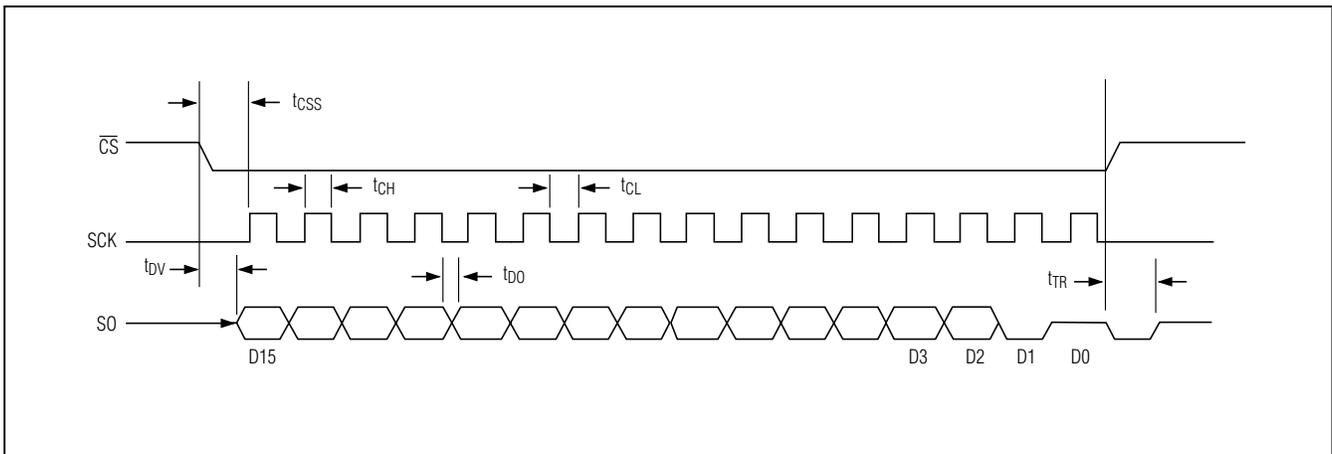


Figure 1b. Serial Interface Timing

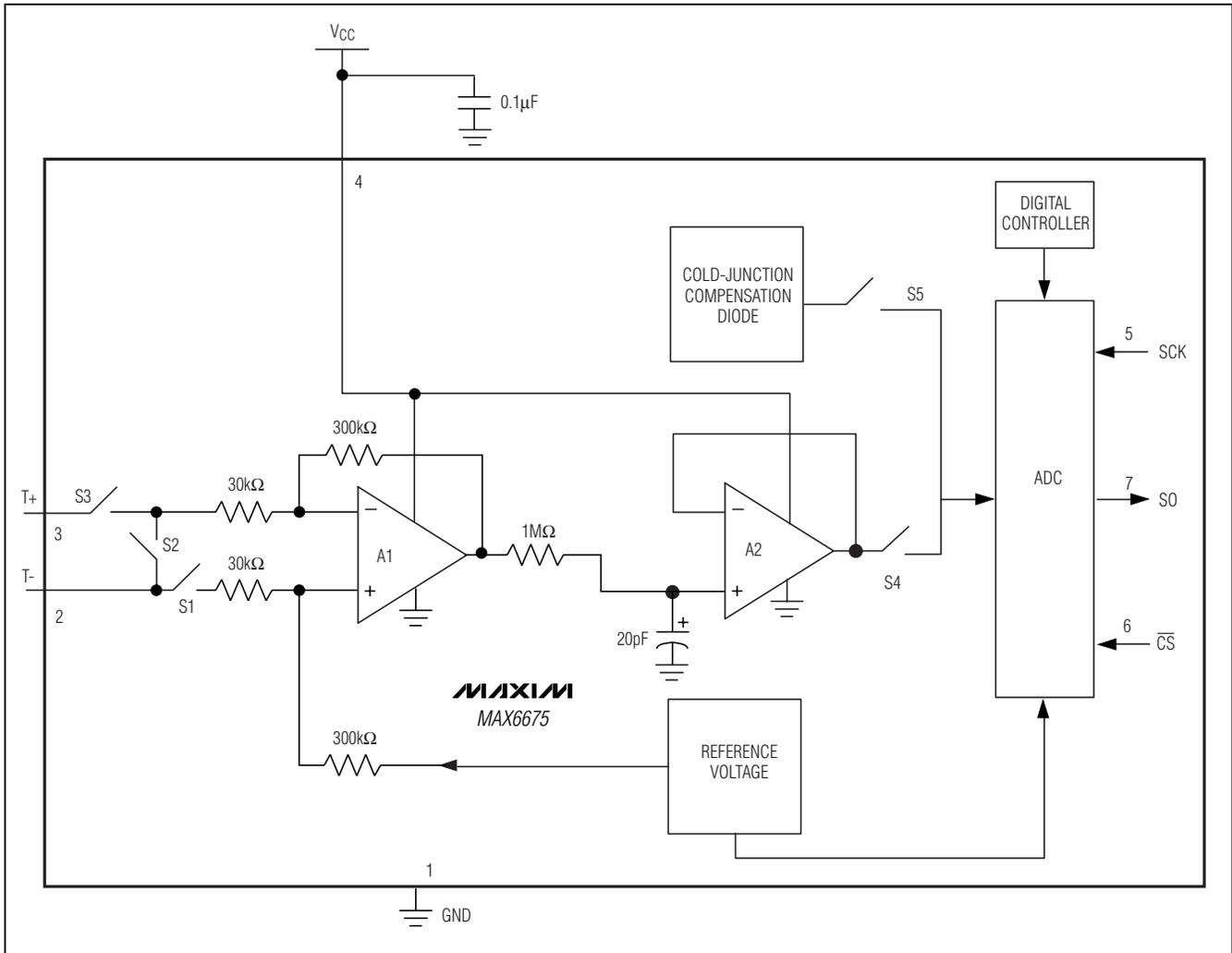
BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING											THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE	
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Figure 2. SO Output

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

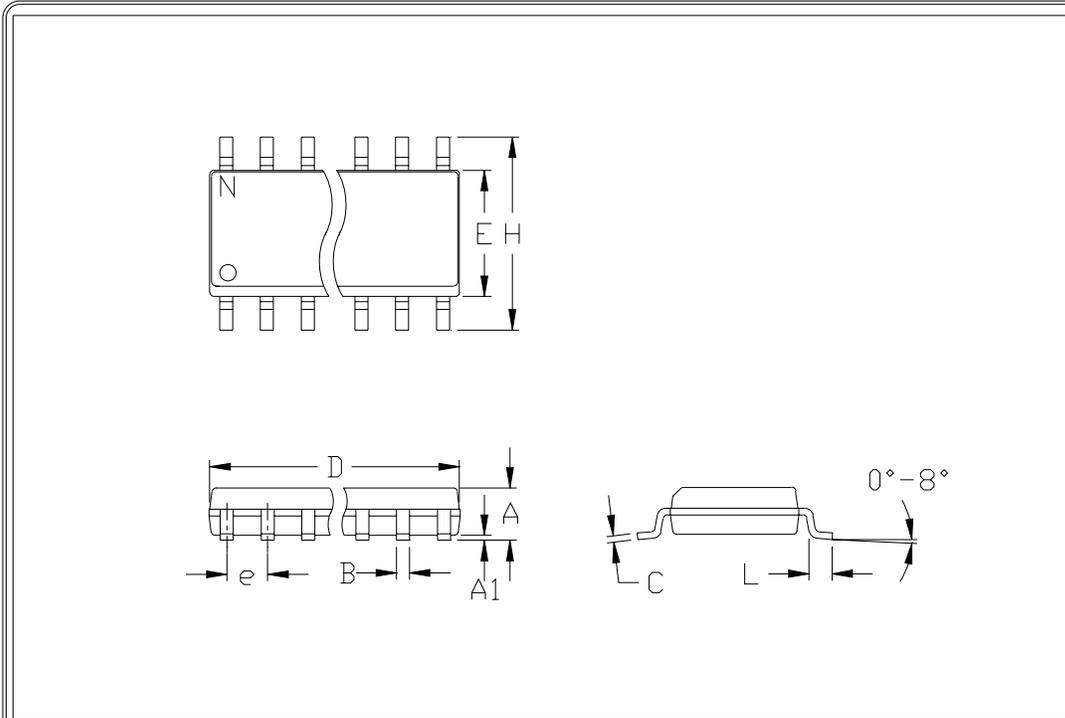
Block Diagram

MAX6675



# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

## Package Information



	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.053	0.069	1.35	1.75
A1	0.004	0.010	0.10	0.25
B	0.014	0.019	0.35	0.49
C	0.007	0.010	0.19	0.25
e	0.050		1.27	
E	0.150	0.157	3.80	4.00
H	0.228	0.244	5.80	6.20
h	0.010	0.020	0.25	0.50
L	0.016	0.050	0.40	1.27

	INCHES		MILLIMETERS		N	MS012
	MIN	MAX	MIN	MAX		
D	0.189	0.197	4.80	5.00	8	A
D	0.337	0.344	8.55	8.75	14	B
D	0.386	0.394	9.80	10.00	16	C

NOTES:

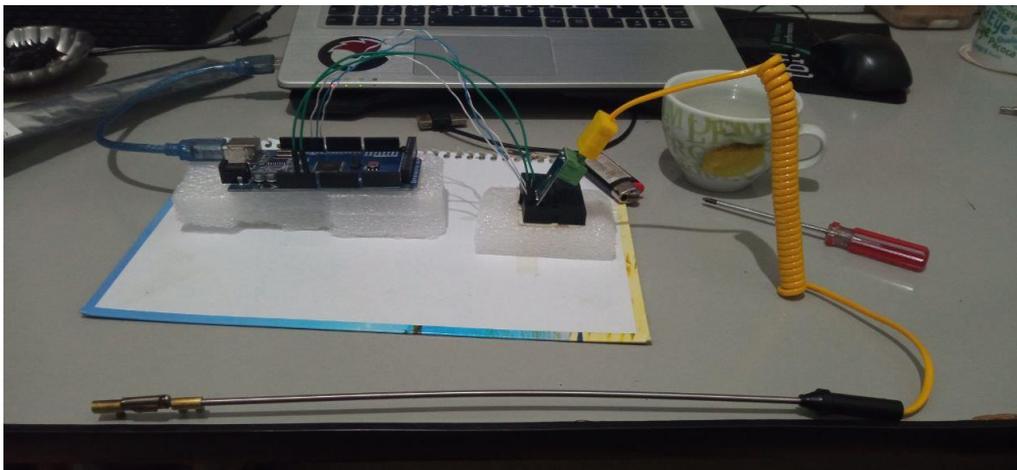
1. D&E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH
2. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS NOT TO EXCEED .15mm (.006")
3. LEADS TO BE COPLANAR WITHIN .102mm (.004")
4. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER
5. MEETS JEDEC MS012-XX AS SHOWN IN ABOVE TABLE
6. N = NUMBER OF PINS

 <small>120 SAN GABRIEL DR. SUNNYVALE CA 94086 FAX (408) 737 7794</small> <small>PROPRIETARY INFORMATION</small>	PACKAGE FAMILY OUTLINE: SOIC .150" <small>TITLE</small>		21-0041 A
			<small>DOCUMENT CONTROL NUMBER REV</small>

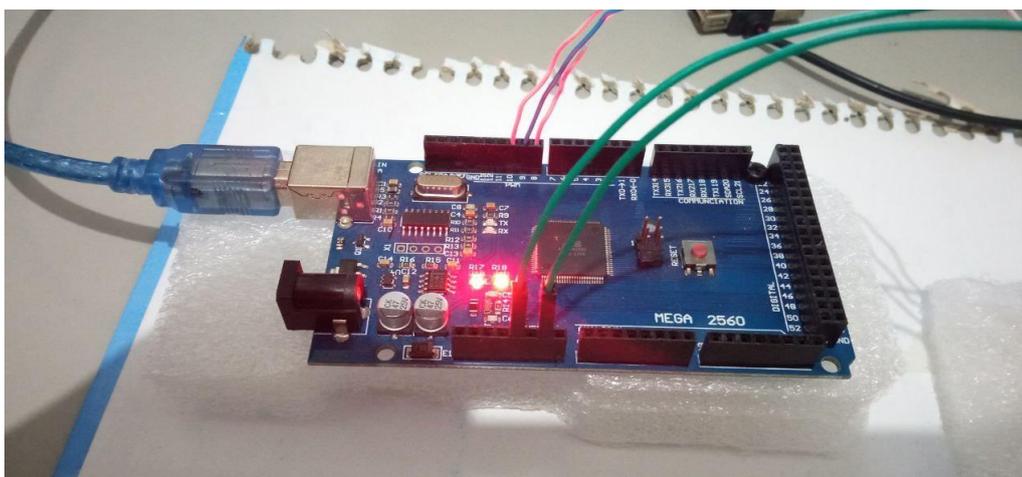
Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

8 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600

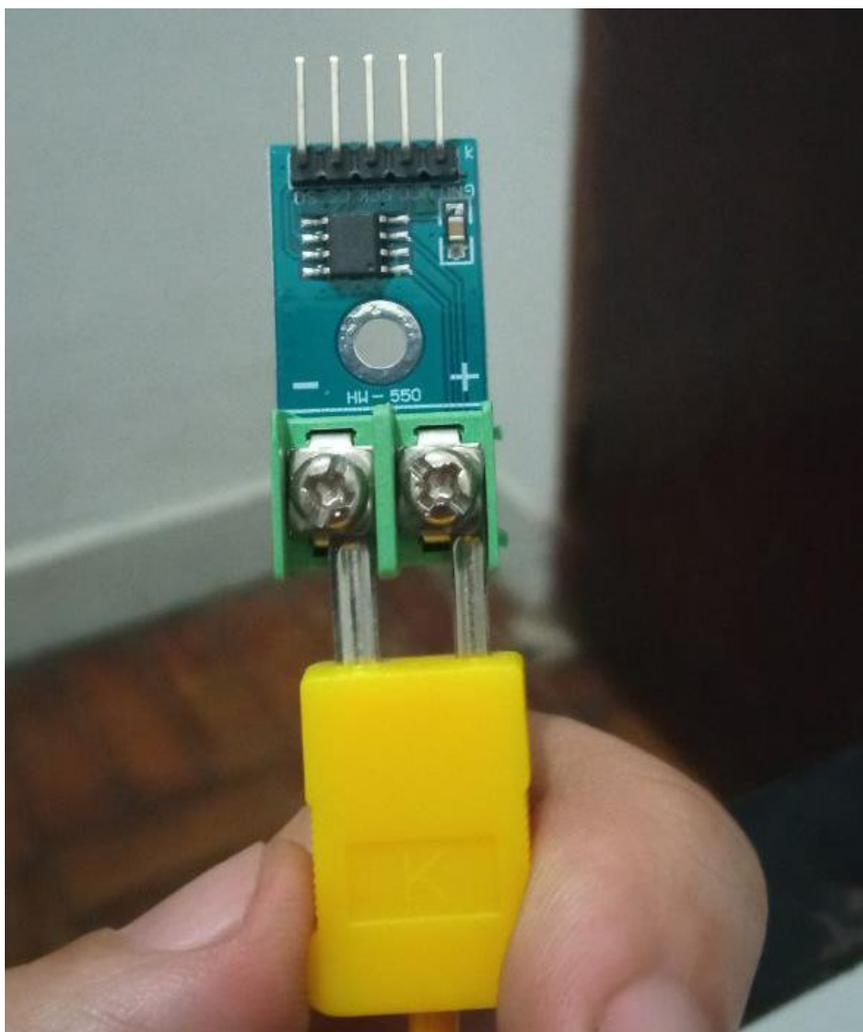
## ANEXO IV – Aparato colector de dados.



Legenda – Aparato para aquisição de dados.



Legenda – Placa microprocessada Arduino ATMEGA 2560



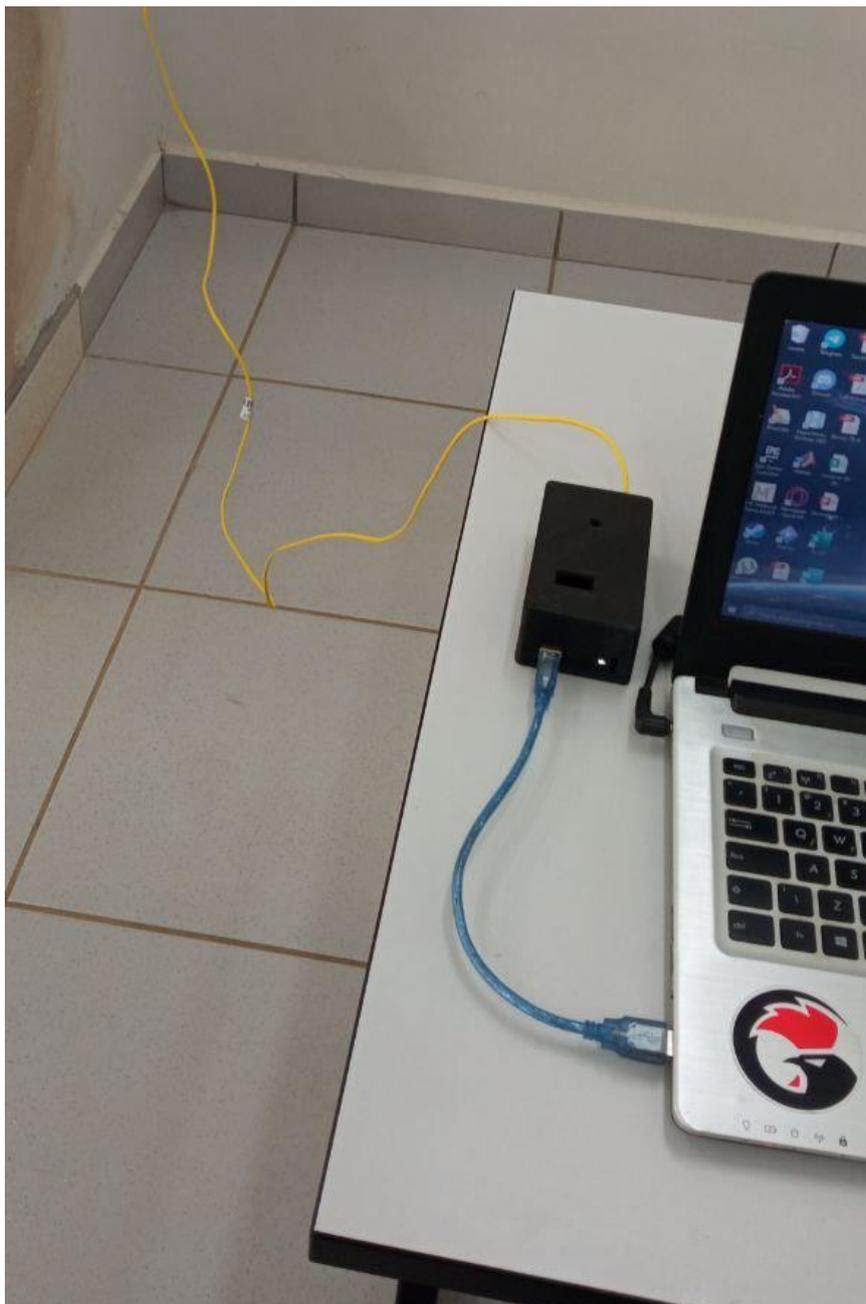
Legenda – Modulo MAX6675 de leitura de termopar tipo K.



Legenda – Sonda utilizada para coleta de dados. A direita, sonda limpa antes do processo de coleta de dados. A esquerda sonda após o processo de coleta de dados, presença de escórias e incrustações, limpas ao final das repetições.



Legenda – Processo de aquecimento do forno e leitura da temperatura interna do mesmo.



Legenda – Aparato ligado ao computador via porta USB.



Legenda – Forno resistivo do tipo Mufla com abertura frontal.



Legenda – Amostras dos óleos de canola, girassol e mineral AllTempera32 (da esquerda pra direita, respectivamente).