

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA

Curso de Engenharia Electrónica

**Análise e Desenvolvimento de Sistema de
Condicionamento de Ar automotivo Baseado em
Módulos Termoeléctricos**

Henriques Lourenço Manhiça

ESTÁGIO PROFISSIONAL

Maputo, Junho de 2018

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA

Curso de Engenharia Electrónica

Supervisor:

Eng^o. Julian Garzon

**Análise e Desenvolvimento de Sistema de
Condicionamento de Ar automotivo Baseado em
Módulos Termoeléctricos**

Manhiça, Henriques Lourenço

UEM, Licenciatura em Engenharia Electrónica

Maputo, Junho de 2018

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA

Curso de Engenharia Electrónica

**Análise e Desenvolvimento de Sistema de
Condicionamento de Ar automotivo Baseado em
Módulos Termoeléctricos**

Projecto de Análise e Desenvolvimento de Sistema de Condicionamento de Ar Automotivo Utilizando Módulos Termoeléctricos, caso de *Extinguisher andCool*, apresentado como tema de Estágio Profissional, na Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane.

Supervisor:

Eng^o. Julian Garzon

Chefe de Departamento:

Eng^a. Roxan Cadir

Maputo, Junho de 2018



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante _____
entregou no dia ___/___/20__ as ___ cópias do relatório do seu Trabalho de
Licenciatura com a referência: _____
intitulado: _____

Maputo, ____ de _____ de 20__

O Chefe de Secretaria

Dedicatória

Ao meu pai Lourenço Manhiça e minha mãe Anita Zefanias Cossa, pelo esforço exercido para minha formação.

Agradecimentos

Sempre em primeiro agradecer a DEUS, o meu Senhor que sempre ilumina os meus caminhos, agradece-lo por ter-me guiado até chegar a este estágio da vida, nada posso sem o Senhor. Agradeço a meu pai Lourenço Ernesto Manhiça, e a minha mãe Anita Zefanias Cossa, pela educação e todo apoio dado na formação. Sustentar a formação custou lhes muito financeiramente, muitas vezes tiveram que sacrificarem planos próprios por esta formação por isso, muito obrigado. Agradeço a minha esposa Florentina Alfredo Nhanpule, por apoio e companheirismo ao longo da formação. Agradeço a todos Professores/Engenheiros da universidade Eduardo Mondalne, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Electrotecnicia, curso de Engenharia Electrónica pela orientação dada ao longoda formação, ao Eng°. Julian Garzon pela supervisão deste projecto, igualmente agradeço a todos colegas que direta ou indirectamente contribuíram nesta realização.

Resumo

O sistema de condicionamento de ar em automóveis é estreitamente importante para o conforto dos automobilistas e passageiros, dependendo do clima predominante pode ser mais importante ser de resfriamento ou de aquecimento. Esta pesquisa apresenta um estudo de viabilidade técnica da utilização dos módulos termoelétricos para condicionamento de ar automotivo, referindo-se apenas ao resfriamento. A análise é feita como proposta de solução para o problema de uso excessivo do combustível e potência de motor pelo sistema de condicionamento de ar típico automotivo. A refrigeração termoelétrica é baseada nas descobertas feitas nos séculos XIX e XX por Seebeck, Peltier e W. Thomson, em que consiste na geração de tensão elétrica quando submetida a uma diferença de temperatura entre seus lados. A partir de módulos termoelétricos que são dispositivos eletrônicos, pastilhas que operam utilizando o efeito Peltier, actualmente usados para refrigerações de pequenos ambientes. O trabalho mostra que com boa dissipação de calor da parte quente das pastilhas pode-se condicionar o ar para automóveis. Apresenta igualmente uma revisão teórica que sustenta o conceito de refrigeração termoelétrica, e posteriormente apresenta as etapas da construção do modelo experimental. A partir do modelo experimental é apresentada uma análise da eficiência do sistema confrontando os parâmetros de análise e desempenho do sistema termoelétrico teóricos com os resultados das experiências realizadas. São esses parâmetros o coeficiente de desempenho, figura de mérito, máxima taxa de transferência de calor, desempenho do refrigerador em função da temperatura e máxima diferença de temperatura. Estão inclusas ainda neste estudo recomendações em relação a aspectos que podem ser melhoradas em trabalhos futuros e respectivas conclusões.

Palavra – chave: Módulos Termoelétricos, Efeito Seebeck, Efeito Peltier, Ar condicionado Auto motivo

Abstract

The automotive air conditioning is extremely important for the comfort of drivers and passengers. Depending on the prevailing climate, cooling or heating may be more important. This research presents a technical feasibility study on the use of thermoelectric modules for automotive air conditioning, referring only to cooling. The analysis is made as a proposed solution to the problem of excessive use of fuel and engine power by the typical automotive air conditioning system. Thermoelectric refrigeration is based on discoveries made in the 19th and 20th centuries by Seebeck, Peltier and W. Thomson, which consists of generating electrical voltage when subjected to a temperature difference between its sides. From thermoelectric modules that are electronic devices, tablets that operate using the Peltier effect, currently used for refrigeration of small environments. The work shows that with good heat dissipation from the hot part of the pads it is possible to condition the air for automobiles. It also presents a theoretical review that supports the concept of thermoelectric refrigeration, and subsequently presents the stages of building the experimental model. From the experimental model, an analysis of the system's efficiency is presented, comparing the theoretical analysis and performance parameters of the thermoelectric system with the results of the experiments carried out. These parameters are the coefficient of performance, figure of merit, maximum heat transfer rate, refrigerator performance as a function of temperature and maximum temperature difference. Recommendations regarding aspects that can be improved in future work and respective conclusions are also included in this study.

Keyword: Thermoelectric Modules, Seebeck effect, Peltier effect, Automotive air conditioning

Índice

Curso de Engenharia Electrónica	1
Curso de Engenharia Electrónica	2
Curso de Engenharia Electrónica	3
Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Lista de Símbolos.....	vii
Índice de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas	x
CAPITULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Problema	2
1.2.1. Visão.....	2
1.3. Objectivos.....	3
1.3.1. Objectivo Geral	3
1.3.2. Objectivos Específicos	3
CAPITULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1. Revisão Bibliográfica	4
2.2. Revisão Teórica.....	6
2.2.1. Efeito Termoeléctrico.....	6
2.2.2. Efeito Seebeck.....	8
2.2.3. Efeito Peltier.....	9
2.2.4. Efeito Thomson	11
2.2.5. Módulos Termoeléctricos.....	13
2.2.6. Parâmetros de Análise de Desempenho do Sistema Termoeléctrico	14
CAPITULO 3 - SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR AUTOMOTIVO	22
3.1. Sistema de Condicionamento de Ar Automotivo Típico.....	23

3.2. Sistema de Refrigeração Automotiva Termoelétrica -Descrição do Projecto.....	26
3.2.1. Implementação do Projecto.....	26
CAPITULO 4 - CONSTRUÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS	
RESULTADOS	34
4.1. Construção do Modelo Experimental	34
4.2. Análise de Resultados	37
4.2.1. Análise de Parâmetros do Sistema Sem Micro Ventiladores.....	37
4.2.2. Análise de Parâmetros do Sistema com Micro Ventiladores	42
4.3. Estudo de Viabilidade	45
4.4. Aspectos Económicos, Sociais e Ambientais	46
CAPITULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	47
5.1. Conclusões.....	47
5.2. Recomendações.....	49
5.3. Bibliografia.....	50
Anexo A - Curvas Características do Módulo SP1848-27145-SA	1
Anexo B - Gráfico de Desempenho Padrão da PlacaSP1848-27145-AS.....	1
Anexo C - Especificações Termoelétricas da PlacaTEC1-12706	1
Anexo D - Curvas de Desempenho Padrão da Placa TEC1-12706 em Vácuo	1
Anexo E - Tubo de Refrigeração e Ajustadores <i>Trims</i>	1
Anexo F - Plano de Actividades de Estagio Profissional	1
Anexo G - ACTA DE ENCONTROS REGULARES.....	1
Anexo H - RELATÓRIO DE PROGRESSO	1
Anexo I - TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO.....	1

Lista de Símbolos

AC	Ar condicionado
ρ_n	Braço n do esquema termoelétrico
ρ_p	Braço p do esquema termoelétrico
φ	Coeficiente de desempenho
COP	Coeficiente de desempenho
α	Coeficiente de Seebeck
$\pi_{pn}(T)$	Coeficiente de Peltier na temperatura T
CFD	Computational Fluid Dynamics
K	Condutividade térmica
k_n	Condutividade térmicas do ramo n
k_p	Condutividade térmicas do ramo p
I_{pm}	Corrente fluindo do ramo p ao ramo n na junção
dT	Diferença de temperaturas
ΔT	Diferença de temperaturas
ΔT_{max}	Diferença de temperatura máxima
Z	Figura de Mérito
ZT	Figura de Mérito
Qf	Máxima quantidade de calor absorvido na superfície fria
P	Potência
R	Resistência
ρ	Resistividade elétrica
T_Q	Temperatura quente
T_F	Temperatura fria
Q	Taxa de transferência de corrente para calor
V	Tensão
V_{CC}	Tensão de corrente continua

Índice de Figuras

Figura 1: Efeito Seebeck	9
Figura 2: Efeito Peltier	10
Figura 3: Efeito Peltier em semicondutores	11
Figura 4: Efeito Peltier, processo de passagem de corrente pelas junções carregando o calor do lado frio para lado quente	11
Figura 5: Arranjo do módulo termoelétrico	13
Figura 6: Efeito aquecedor ou resfriador que ocorre durante passagem de corrente ...	14
Figura 7: Esquema do módulo termoelétrico utilizado para refrigeração	15
Figura 8: Curvas de COP versus dT , analisadas de acordo com variações de Z	18
Figura 9: Desempenho de uma associação termoelétrica em função da diferença de temperatura	20
Figura 10: Coeficiente de desempenho e taxa de bombeamento de calor em função da corrente	21
Figura 11: Posicionamento do sistema de condicionamento de ar no veículo	23
Figura 12: Diagrama dos componentes principais do sistema típico de condicionamento de ar automotivo	23
Figura 13: Esquema de um sistema de condicionamento de ar automotivo-típico	25
Figura 14: Características de um dissipador nº 2	32
Figura 15: Micro ventilador	33
Figura 16: Pastilha Peltier SP1848-27145-SA	35
Figura 17: Montagem de Pastilhas Peltier sobre dissipadores com a pasta térmica envolvida	36
Figura 18: Sistema de condicionamento de ar automotivo baseado em módulos termoelétricos	36
Figura 19: Procedimento realizado para medição da temperatura das faces	38

Figura 20: Valor da diferença de temperatura em função da potência aplicada para o sistema sem micros ventiladores	40
Figura 21: Valor da diferença de temperatura em função de COP para o sistema sem micros ventiladores	41
Figura 22: Modelo protótipo final ligado em fontes de laboratório para análise do desempenho	42
Figura 23: Valor da diferença de temperatura em função da potência aplicada para o sistema com micros ventiladores	44
Figura 24: Valor da diferença de temperatura em função de COP para o sistema com micros ventiladores	44
Figura 25: Curva característica da diferencia de temperatura em função da potencia aplicada para placas SP184827145SA.....	A1
Figura 26: Curva característica da diferencia de temperatura em função da tensão aplicada para placas SP184827145SA.....	B1
Figura 27: Curva característica da diferencia de temperatura em função da corrente para placas SP184827145SA	B2
Figura 28: Desempenho padrão de SP184827145SA em vácuo.....	C1
Figura 29: Folha de características de TEC1-12706.....	D1
Figura 30: Desempenho padrão de $Q_c = f(DT)$	D1
Figura 31: Desempenho padrão de $V = f(\Delta T)$	D1
Figura 32: Desempenho padrão de $Q_c = f(V)$	D2
Figura 33: Curva padrão de $COP = f(V)$ entre $0^{\circ}C$ à $30^{\circ}C$	D2
Figura 34: Curva padrão de $COP = f(V)$ entre $40^{\circ}C$ à $60/70^{\circ}C$	D3
Figura 35: Tubo de refrigeração automotivo	E1
Figura 36: Ajustadores trims para AC automotivo	E1

Lista de Tabelas

Tabela 1: Características técnicas da pasta térmica	29
Tabela 2: Características geométricas dos dissipadores de calor usados em sistemas de refrigeração	31
Tabela 3: Características técnicas de micros ventiladores.....	33
Tabela 4: Dados de experiência realizada com o sistema sem os micros ventiladores	40
Tabela 5: Dados de experiência realizada com o sistema com micro ventiladores acoplados.....	43
Tabela 6: Preço de aquisição do material para construção do protótipo.....	46

CAPITULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Introdução

Os combustíveis são recursos naturais não renováveis, pelo que as suas reservas, quando exploradas e consumidas a um ritmo elevado, não podem ser reconstituídas num período de tempo compatível com a duração da vida humana. Isto faz com que os combustíveis sejam cada dia mais escassos e o seu preço cada vez mais elevado. Fontes alternativas de combustíveis têm sido desafio para ambientalistas. Devido a essas preocupações e outras tais como aquecimento global e destruição da camada de ozono, torna-se necessário investigar tecnologias alternativas de refrigeração em diversos campos que não utilizem gases refrigerantes e ciclos de compressão.

O sistema típico de condicionamento de ar em veículos utiliza este processo de refrigeração, contribuindo para estes problemas para o ambiente, mas para os consumidores o problema principal é o custo de combustível. Em um país em que o clima predominante é tropical como Moçambique, é quase imprescindível estar no interior de um carro e não usar ar condicionado (AC), porém muitos condutores abdicam do AC pelo gasto excessivo de combustível, por este ter preço demasiado elevado.

Uma alternativa de solução deste problema é a utilização de módulos termoelétricos para a refrigeração do ambiente interno de veículo. Os módulos termoelétricos têm como princípio básico o efeito Peltier, fenómeno descoberto por Jean Charles Athanase Peltier em 1834, segundo o qual, quando uma corrente eléctrica continua flui na junção de dois matérias semicondutores de propriedades diferentes, existe um gradiente de temperatura na junção dos materiais.

Esta tecnologia não gera impactos ambientais negativos, não produz ruído sonoro, e ocupa um volume pequeno em comparação com os outros métodos de refrigeração. O único grande problema desta tecnologia tem sido o desenvolvimento de matérias apropriadas para conseguir melhor coeficiente de desempenho, tem sido muito estudado diversas aplicações de sistemas termoelétricos utilizando dissipadores de

calor, tornando a tecnologia funcional para condicionamento de ar em ambientes pequenos, ou para a refrigeração para mini refrigeradores portáteis.

1.2. Problema

Em países em que o clima predominante é tropical, o AC em veículos é indispensável, pois este tem a função de condicionar o ar, de modo a ter-se no interior de veículo uma temperatura ambiente confortável, porém muitos condutores têm abdicado do sistema de AC pelo gasto excessivo de combustível, é comum encontrar passageiros se transportando em um veículo com vidros abertos, transpirados pela razão da temperatura quente externa ou até mesmo interna.

O sistema de condicionamento de ar automotivo típico não usa directamente o combustível do motor, mas sim o gás para a refrigeração, porém este sistema de condicionamento de ar possui um pequeno motor responsável pela compressão de vapor. Mas em veículos movidos a motores, a explosão precisa gerar energia elétrica para a iluminação interna e externa, partida do motor, limpador de para-brisa, setas, buzina, som, etc. Essa energia é gerada no alternador, em corrente alternada, convertida em corrente contínua em um retificador e armazenada na bateria, isto é, toda essa potência surge da combustão de combustível, daí que ao ligar o AC o veículo aciona o segundo motor requerendo no entanto maior aceleração do motor principal, maior combustão de combustível.

1.2.1. Visão

A proposta deste projecto é apresentar uma pesquisa de modo a utilizar o sistema termoelétrico para o condicionamento de ar no interior do veículo, de modo a reduzir a utilização da potência do motor. Isso certamente levará à uma economia de combustível.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo Geral

Analisar e desenvolver um sistema de condicionamento de ar automotivo usando módulos termoeléctricos, em substituição do sistema típico que usa gás para a refrigeração, como solução do gasto excessivo de combustível pelo sistema de condicionamento de ar automotivo típico.

1.3.2. Objectivos Específicos

Tem como objectivos específicos os seguintes:

- Estudar os sistemas típicos de condicionamento de ar e a aplicabilidade do sistema termoeléctrico ao condicionamento de ar automotivo.
- Analisar alternativas de tecnologias que melhoram o desempenho do sistema.
- Desenvolver o sistema em forma de um protótipo tal que se simule a aplicabilidade real.
- Avaliar a eficácia através do modelo protótipo e analisar aspectos económicos, sociais e ambientais desta tecnologia.

CAPITULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é desenvolvida a teoria que fundamenta o presente projecto e apresentando conceitos-chave do tema, estudos anteriores feitos em relação à matéria, mostrando a devida referencia. Será também apresentada uma revisão teórica abordando os aspectos técnicos e científicos relacionados aos módulos termoeléctricos.

2.1. Revisão Bibliográfica

SILVA 2010, apresentou uma análise e otimização de um sistema termoelétrico para condicionamento de ar automotivo. O sistema foi adaptado usando duas caixas térmicas, para que o processo de avaliação do sistema fosse o mais próximo da realidade, ele utilizou como fonte de alimentação a própria bateria do veículo, e fez medições com o veículo desligado, com os módulos sendo alimentados somente pela bateria e com o veículo ligado, assim os módulos eram alimentados pelo alternador do veículo.

Mostrou igualmente a modelagem matemática que permite avaliar o desempenho do mesmo sistema. Com esta análise concluiu que era possível maximizar o coeficiente de desempenho do sistema termoelétrico. Verificou que o aumento da tensão aplicada ao módulo, consegue uma corrente elétrica maior e conseqüentemente uma taxa de bombeamento de calor maior. A maximização do coeficiente de desempenho para cada diferença de temperatura pode ser feito com ajuste da tensão aplicada.

SILVA 2010, cita HEIKES e URE JR (1961)¹, realizaram um estudo completo referente aos fenômenos termoelétricos e apresentaram equações que permitem o estudo e análise de um sistema de refrigeração termoelétrico, bem como análise de materiais e suas propriedades termoelétricas.

Citado também por SILVA 2010, SOFRATA (1996)², mostrou um estudo em que analisa desempenho de um refrigerador termoelétrico, com alternativas para retirar o calor rejeitado. Utilizou um processo por ar forçado com ventilador e processo ventilação natural. A temperatura mínima do lado frio alcançada foi -3°C. A diferença de temperatura entre o lado quente e o lado frio alcançada com ventilação natural foi de

¹Heikes, R. R., Ure Jr., R. W. Thermoelectricity: Science and Engineering Interscience publisher's - New York 1961, 569 p.

²Sofrata, H. Heat rejection alternatives for thermoelectric refrigerators. - Energy Conv. Mgmt, vol.37, No.3, p.269-280, 1996.

26°C e com ventilação forçada variando a vazão do ar foi de 14°C a 22°C (SILVA, 2010).

SILVERIO (2012), analisou o condicionamento de ar automotivo utilizando o efeito termoelétrico. Em que analisou diversas geometrias de dissipadores de calor para determinar com melhor desempenho, com velocidades baixas de ar. Para tal montou um sistema experimental para teste dos diversos tipos de dissipadores de calor, a fim de escolher dissipadores de calor que melhor optimizassem a transferência de calor nos lados quente e frio dos módulos termoelétricos empregados no seu estudo. Realizou igualmente uma simulação computacional, utilizando o *software* ANSYS para analisar o comportamento dos dissipadores de calor, pressupondo as mesmas condições para o modelo experimental.

SILVA, MARCO 2010, desenvolveu um sistema de refrigeração ambiente para uma caravana baseado em pilhas termoelétricas assistidas por painéis fotovoltaicos. Efectuou cálculos das cargas térmicas, medindo as infiltrações na caravana, no entanto obteve uma potência total de 2488W, mediu igualmente as temperaturas do ar interior da caravana, posteriormente escolheu o sistema de refrigeração termoelétricos, que para não estar sobredimensionado, escolheu uma potência de 2200W. O sistema de refrigeração foi apoiado energeticamente por três painéis fotovoltaicos da Sanyo, perfazendo no total uma potência instalada de 720W. O seu estudo contemplou também simulações em CFD, realizadas no *software* FLUENT, No entanto criou vários modelos representativos de caravana no *software* GAMBIT e simulados sob diversas condições para avaliar a evolução das temperaturas do ar no seu interior assim como o comportamento do sistema de refrigeração.

DAÍ et al 2003, apresentaram o resultado de uma experiência em que construíram um refrigerador termoelétrico alimentado por energia solar, atingindo uma temperatura entre 5° a 10°C e um coeficiente de eficácia de aproximadamente 0,3. Concluíram que o desempenho do sistema depende da isolamento térmica e da diferença da temperatura do lado frio e do lado quente do módulo termoelétrico. O refrigerador desenvolvido tem

capacidade para conservar em temperaturas baixas, vacinas, comidas e bebidas em áreas remotas, onde não há eletricidade.

FARIAS et al 2008, desenvolveram um estudo do processo de resfriamento da água, por convecção natural, em um reservatório fechado, por meio do efeito termoelétrico. Neste estudo foram feitas simulações numéricas em que uma geometria tridimensional do reservatório no *software* FLUENT, que discretiza as equações a partir do método de volumes finitos. Experimentalmente o reservatório do equipamento foi preenchido por completo com água, a uma temperatura de aproximadamente 27°C. Devido ao efeito Peltier na pastilha termoelétrica, o calor começa a ser retirado do volume de água através do dissipador interno e transferido para o dissipador externo que então libera este calor no ambiente. Em aproximadamente 2 horas, a temperatura da água se aproximou de 5°C. As curvas das simulações apresentaram mesma tendência de queda gradual na temperatura apesar de haver alguma diferença quanto aos valores finais de resfriamento.

Em 2014, HUMEL desenvolveu um estudo de potenciais aplicações de módulos termoelétricos.

2.2. Revisão Teórica

Os conceitos chaves deste projectos são o efeito termoelétrico, efeito Seebeck, efeito Peltier e módulos termoelétricos. Daí o desenvolvimento destes conceitos.

2.2.1. Efeito Termoelétrico

Os efeitos termoelétricos são aqueles em que energias térmicas e elétricas podem ser convertidas de uma forma para outra.

Os fenómenos termoelétricos foram descobertos no século XIX por Seebeck, Peltier e W. Thomson, porém só conheceram algumas aplicações para a refrigeração e geração

de electricidade em meados do século XX através da evolução e chegada de novos materiais semicondutores. Nas últimas décadas, com a crise do petróleo e com as crescentes preocupações ambientais, surgiu um novo interesse por fontes de energia mais “amigas do ambiente”, acompanhada por um renovado interesse pelos sistemas termoelétricos, tanto para geração de electricidade, como para refrigeração (SILVA, MARCO 2010).

HUMEL 2014, citando HILL 1988³, o dispositivo termoelétrico cria uma tensão elétrica quando há diferença de temperatura entre seus lados, quando o contrário acontece, ou seja, lhe é aplicada uma tensão elétrica, também cria-se uma diferença de temperatura. Analisando este efeito na escala atômica (em especial, partículas portadoras de carga elétrica), quando é aplicado um gradiente de temperatura em elétrons ou espaços vazios em um metal para diferenciar o lado quente do frio, ocorre a passagem de corrente elétrica, que foi induzida termicamente. Este efeito de aplicar uma variação de temperatura pode ser usado para gerar eletricidade, medir temperatura, esfriar objetos, aquecê-los ou tratá-los termicamente. A direção das cargas elétricas, o que faz o aquecimento ou esfriamento, é determinada pela direção da corrente elétrica aplicada. Dispositivos termoelétricos produzem controladores de temperatura muito convenientes (HUMEL, 2014).

Os sistemas termoelétricos possuem diversas vantagens únicas que os distinguem das restantes tecnologias, contudo têm também desvantagens que inibem a sua utilização em áreas importantes. As grandes vantagens destes sistemas são o facto de não possuírem qualquer parte móvel, tornando assim os sistemas bastante fiáveis com cerca de 100.000 horas de utilização em regime estacionário e a sua flexibilidade pois, apesar do seu coeficiente de desempenho máximo ser atingido apenas para uma carga específica, o coeficiente de desempenho não sofre quedas bruscas se as condições de carga variarem. Para além destas, os sistemas de refrigeração termoelétricos não necessitam de qualquer fluido de trabalho não requerendo assim manutenção periódica, invertendo o sentido da corrente podem funcionar como aquecedor,

³Hill McGraw Handbook of Applied Thermal Design [Book]. - New York : [s.n.], 1988.

permitem um controlo de temperatura preciso, podem funcionar em ambientes bastante severos ou em espaços demasiado pequenos onde os sistemas convencionais não podem ser utilizados e podem ser usados em qualquer posição.

O facto de possuírem um coeficiente de desempenho bastante reduzido, na ordem de 0,4 e sempre inferior à unidade, afigura-se como uma das principais desvantagens quando comparados com sistemas convencionais de compressão de vapor. Normalmente estão limitados na sua capacidade de extracção de calor, especialmente módulos que tenham como objectivo o arrefecimento ar, pois a capacidade de extracção de calor está limitada pelo dissipador, geralmente um dissipador de alhetas. O custo elevado é também um entrave nestes sistemas, especialmente se as potências requeridas forem elevadas (SILVA, 2010).

2.2.2. Efeito Seebeck

De acordo com SILVERIO 2012, Thomas Seebeck (1770-1831), um físico alemão. Descobriu este efeito que leva seu nome em 1821, que quando dois condutores diferentes são combinados em circuito fechado e as junções mantidas a diferentes temperaturas, flui uma corrente. Alternativamente, se o circuito é aberto da junção, uma força eletromotriz pode ser observada. Este é o fenómeno muito usado para medição precisa de temperatura com o que chama-se de termopares.

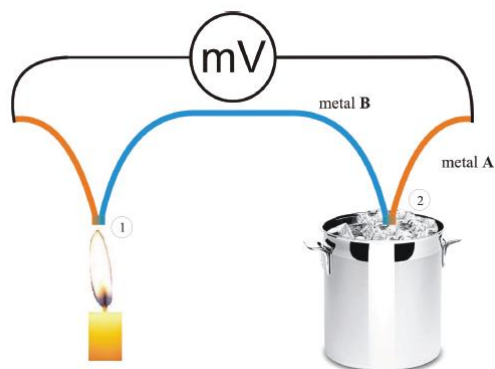


Figura 1: Efeito Seebeck [Fonte: Adaptado por DAI et al]

A diferença de potencial V gerada pelo efeito Seebeck é dada por,

$$V = \alpha_{ab} \Delta T \quad (1)$$

Sendo α_{ab} positivo se a corrente fluir da junção quente para a fria e negativo caso contrário. Para geração termoelétrica o efeito Seebeck é otimizado com o uso de materiais semicondutores.

2.2.3. Efeito Peltier

O efeito Peltier, descoberto em 1834 por Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845), ao contrário do que ocorre no efeito Seebeck, faz-se passar uma corrente pela junção esta ficará aquecida (T_Q) ou refrigerada (T_F), dependendo do sentido da corrente (DAÍ et al 2003).

Ou seja, se uma corrente elétrica passa através de uma junção entre dois condutores, então o calor será absorvido ou liberado na junção a uma taxa que depende da magnitude da corrente e com um sinal que depende da direção da corrente.

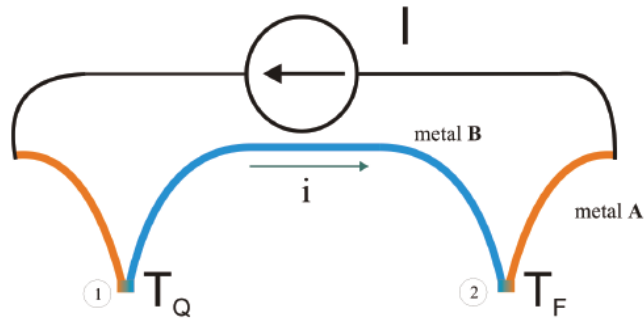


Figura 2: Efeito Peltier [Fonte: Adaptado por DAI et al]

Para este efeito define-se o coeficiente peltier π_{ab} ,

$$q = \pi_{ab}I \quad (2)$$

Onde q é a quantidade de calor bombeada através da junção quando é percorrida pela corrente i , nesta situação π_{ab} é positivo se a junção 1 aquece e a junção 2 resfria quando a corrente passa de 1 para 2 (DAÍ et al 2003).

A refrigeração termoelétrica baseada no efeito Peltier acontece quando uma corrente continua é forçada através de um ou mais pares de matérias semicondutores do tipo n para tipo p. Dessa forma haverá uma absorção de calor do ambiente e a temperatura da placa fria diminuirá. Invertendo a polaridade da tensão aplicada, ocorrerá aquecimento na junção, ou seja, dissipação de calor. A figura 03 ilustra uma junção de semicondutores onde ocorre o efeito Peltier, ou seja há resfriamento da junção.

Segundo SOUZA 2007⁴ citado ainda por SILVERIO 2012, o resfriamento ocorre quando elétrons passam do nível baixo de energia no semiconductor do material tipo p através do condutor interconectado para um nível de energia mais elevado no material semiconductor tipo n. O calor absorvido é transferido através dos materiais semicondutores por transporte electrónico até a outra junção que se encontra a temperatura mais elevada, sendo liberado a medida que os elétrons retornam ao baixo nível de energia no material tipo p (SILVERIO, 2012).

⁴ SOUZA, D. H. C., Optimização do uso de Refrigeradores Termoelétricos em Processos de Refrigeração. Projecto de Graduação da Universidade de Brasília. 2007. 61p.



Figura 3: Efeito Peltier em semicondutores [Fonte: Adaptado por SILVERIO, Borges]

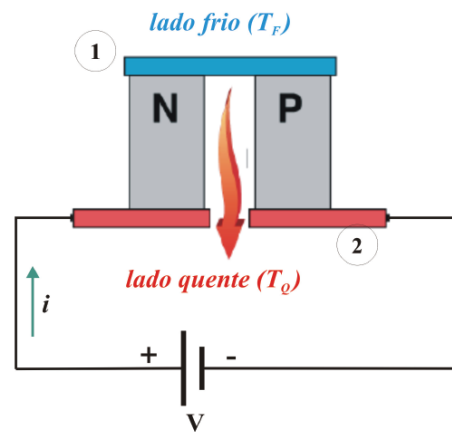


Figura 4: Efeito Peltier, processo de passagem de corrente pelas junções carregando o calor do lado frio para lado quente [Fonte: Adaptado por DAI et al]

2.2.4. Efeito Thomson

Segundo SILVERIO 2012, William Thomson (1824-1907) também conhecido por Lord Kelvin (em algumas literaturas), considerando os efeitos Seebeck e Peltier em 1855, estabeleceu as relações termodinâmicas entre os dois efeitos e previu um terceiro efeito Thomson.

De acordo com PIEDADE 1997⁵ citado por HUMEL 2014, este efeito relaciona a quantidade de calor Q gerado num condutor, no qual se faz passar uma corrente eléctrica, existindo, simultaneamente uma diferença de temperatura ΔT , ou seja, demonstra que a transferência de calor é proporcional à corrente eléctrica e diferença de temperatura, num material termoeléctrico. Segundo Thomson, num material condutor homogêneo, percorrido, por uma corrente eléctrica, para além de uma libertação de calor por efeito de Joule, existe libertação ou absorção de calor proporcional à intensidade de corrente, desde que exista um gradiente de temperatura no material.

O efeito de Thomson não é de principal importância para os dispositivos termoeléctricos, porém não deverá ser desprezado na análise detalhada do desempenho. Daí evidenciar a relação feita pelo efeito Thomson, entre Seebeck e de Peltier, através das equações 3 e 4 abaixo.

$$q = \beta \times i \times \Delta T \quad (3)$$

$$\pi = \alpha \times T \quad (4)$$

Onde:

$\pi \rightarrow$ coeficiente de Peltier

$\alpha \rightarrow$ coeficiente de Seebeck

Ou seja, o coeficiente de Peltier é igual ao coeficiente de Seebeck multiplicado pela temperatura absoluta (HUMEL, 2014).

Ou seja,

$$\pi_{ab} = \alpha_{ab} T \quad (4.1)$$

⁵ Piedade P. M. Efeitos Termoeléctricos e suas aplicações. Aquisição e Processamento de [Book]. - 1997.

Notando a equação 4.1 surge da analogia das equações 1 e 2 em 4.

2.2.5. Módulos Termoelétricos

Segundo SILVA 2010, módulos termoelétricos são dispositivos electrónicos, pastilhas que operam utilizando o efeito Peltier. Um efeito aquecedor ou resfriador ocorre quando uma corrente eléctrica passa por dois condutores. A tensão aplicada aos terminais de dois materiais distintos cria uma diferença de temperatura. Graças a essa diferença, o efeito Peltier fará o calor mover de um lado ao outro. Uma típica pastilha Peltier contém uma série de elementos semicondutores do tipo-p e tipo-n agrupados como pares (SILVA, 2010).

SILVERIO 2012, também definiu o modulo termoelétrico que consiste num arranjo de pequenos blocos semicondutores tipo n e tipo p montados de alternadamente e eletricamente em serie entre duas placas cerâmicas de boa condutividade térmica. Este arranjo faz com que todos os termoelementos bombeiem o calor na mesma direcção, termicamente em paralelo. Isto pode ser confrontado nas figuras abaixo (SILVERIO 2012).

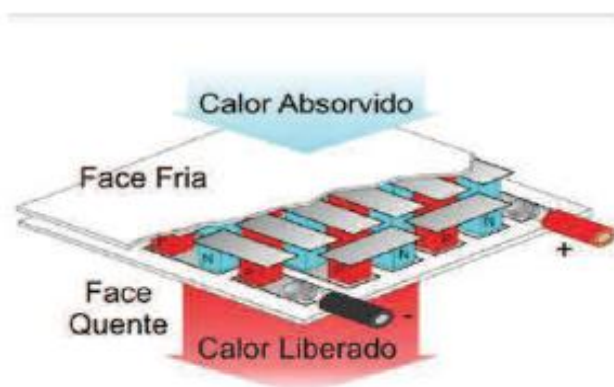


Figura 5: Arranjo do módulo termoelétrico [Fonte: Adaptado por SILVERIO, Borges]

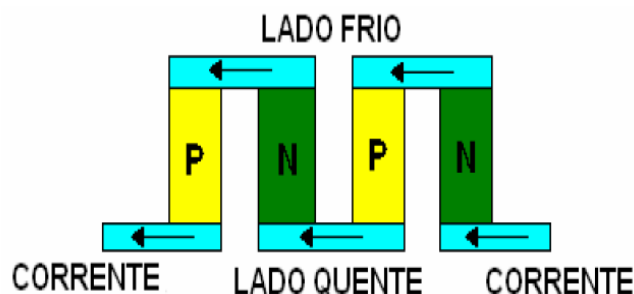


Figura 6: Efeito aquecedor ou resfriador que ocorre durante passagem de corrente
 [Fonte: Adaptado por SILVERIO, Borges]

2.2.6. Parâmetros de Análise de Desempenho do Sistema Termoelétrico

Para SILVERIO 2012, uma das aplicações da tecnologia termoelétrica é o condicionamento de ar, usando como funcionamento básico o efeito Peltier. Para o projecto de um condicionamento de ar por efeito termoelétrico, vários parâmetros devem ser considerados para se obter um melhor aproveitamento do sistema. Os mais importantes deles são o coeficiente de desempenho, a taxa de calor transferido (ou bombeado) e a máxima diferença de temperatura produzida entre as faces quente e fria do módulo termoelétrico (SILVERIO, 2012).

De acordo com HEIKES e URE 1961⁶ citados por SILVA 2010, a energia térmica transferida das fontes térmicas quente e fria em uma associação termoelétrica é a soma de três componentes que são, o calor de Joule, a taxa de transferência de calor para corrente igual a zero entre os dois corpos quente e frio, e a taxa de absorção de calor Peltier de cada reservatório. Onde o calor de Joule liberado de cada corpo por unidade de tempo é dado por,

$$Q_j = \frac{1}{2} I^2 R \quad (5)$$

⁶Heikes, R. R., Ure Jr., R. W. Thermoelectricity: Science and Engineering Interscience publisher's - New York 1961, 569 p

Em que,

$$R = \left(\frac{\rho_n}{\gamma_n}\right) + \left(\frac{\rho_p}{\gamma_p}\right) \quad (6)$$

E ρ_n e ρ_p são respectivamente dos braços n e p da figura 7, mostrada abaixo. γ_n e γ_p são razões entre a área e o comprimento para os braços. Os elementos T_q e T_f são as fontes térmicas e os elementos p e n são os braços ou ramais, formados por materiais semicondutores tipo n e tipo p. O elemento p normalmente tem um coeficiente de Seebeck absoluto positivo e o elemento n tem coeficiente negativo.

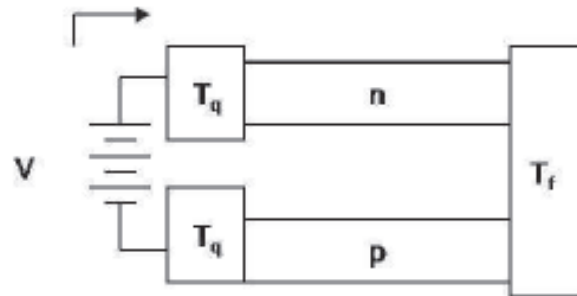


Figura 7: Esquema do módulo termoelétrico utilizado para refrigeração [Fonte: Adaptado por SILVA, Renan]

A taxa de transferência de corrente para calor igual a zero entre dois reservatórios quente e frio é dada por,

$$Q=K\Delta T \quad (7)$$

Onde,

$$K = k_n\gamma_n + k_p\gamma_p \quad (8)$$

Em que, k_n e k_p são condutividades térmicas dos ramais n e p, respectivamente. A taxa de absorção de calor Peltier de cada reservatório é dada por,

$$Q_p(T) = -\pi_{pn}(T)I_{pm} \quad (9)$$

Onde $\pi_{pn}(T)$ é o coeficiente de Peltier na temperatura T da associação composta pelo material p e pelo material n da fonte térmica. I_{pn} é a corrente fluindo do ramal p ao ramal n na junção.

A taxa de bombeamento de calor transferido do reservatório ou ambiente frio é dada pela soma de três termos, o calor de Joule liberado de cada corpo por unidade de tempo (equação 5), a taxa de transferência de calor para corrente igual a zero entre os corpos quente e frio (equação 7), e a taxa de absorção de calor de Peltier de cada corpo (equação 9) que pode ser apresentada como na forma,

$$-\pi_{pn}(T)I_{pn} = -T \propto I_{pn} \quad (9.1)$$

Surge,

$$Q_f = \alpha T_f I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T \quad (10)$$

Como a tensão nos terminais é dada pela soma das tensões termoelétrica e a tensão Joule:

$V = \alpha \Delta T \rightarrow$ Tensão Termoelétrica

$V = IR \rightarrow$ Tensão de Joule

Daí, a equação 11.

$$V = \alpha \Delta T + IR \quad (11)$$

Onde a equação da corrente é retirada, tal que,

$$I = \frac{V - \alpha \Delta T}{R} \quad (11.1)$$

A potência fornecida pode ser calculada pela seguinte equação,

$$P = VI \quad (12)$$

Substituindo pelas respectivas expressões de V e I, tem-se,

$$P = \alpha I \Delta T + I^2 R \quad (12.1)$$

Que também pode ser escrita em função de V de acordo com a equação 12.2,

$$P = \frac{V(V - \alpha \Delta T)}{R} \quad (12.2)$$

2.2.6.1. Coeficiente de Desempenho

Segundo SILVERIO 2012, o coeficiente de desempenho é o quociente da taxa de remoção de calor do corpo frio dividido pela potência aplicada ao circuito, e dado por,

$$\varphi = \frac{Q_f}{P} \quad (13)$$

O coeficiente de desempenho (COP) depende da diferença de temperatura entre os corpos quentes e frios, e é maior com uma diferença de temperatura menor. É determinado a partir da equação,

$$\varphi = \frac{\alpha T_f I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T}{(\alpha I \Delta T + I^2 R)} \quad (14)$$

2.2.6.2. Figura de Mérito

Este conceito visa caracterizar uma medida de desempenho de um sistema termoelétrico. A figura de mérito é representada por Z ou ZT (adimensional), e relaciona o coeficiente de Seebeck (α), a resistividade elétrica (ρ) e a condutividade térmica (k) de um sistema termoelétrico. É obtida a partir de,

$$Z_i = \frac{\alpha_i^2}{\rho_i k_i} \quad (15)$$

Onde i é representado por cada material tipo n ou tipo p. A equação também pode ser representada em duas parcelas, conforme a equação 16,

$$Z = \frac{\alpha^2}{[(\rho_n k_n)^{\frac{1}{2}} + (\rho_p k_p)^{\frac{1}{2}}]^2} \quad (15.1)$$

Este parâmetro mostra que quanto maior resistividade do material, maior é o aquecimento por efeito e pior a figura de mérito. As variáveis k e ρ representam o cálculo equivalente de todas as condutâncias térmicas e resistências do módulo. O material é caracterizado para uma determinada temperatura, conforme,

$$ZT = \frac{\alpha^2}{\rho k} T \quad (16)$$

O máximo coeficiente de desempenho depende das propriedades dos materiais através da figura de mérito Z . A figura 07 mostrada abaixo mostra algumas curvas de COP em relação a variação de temperatura, analisadas de acordo com variações de Z (SILVERIO, 2012).

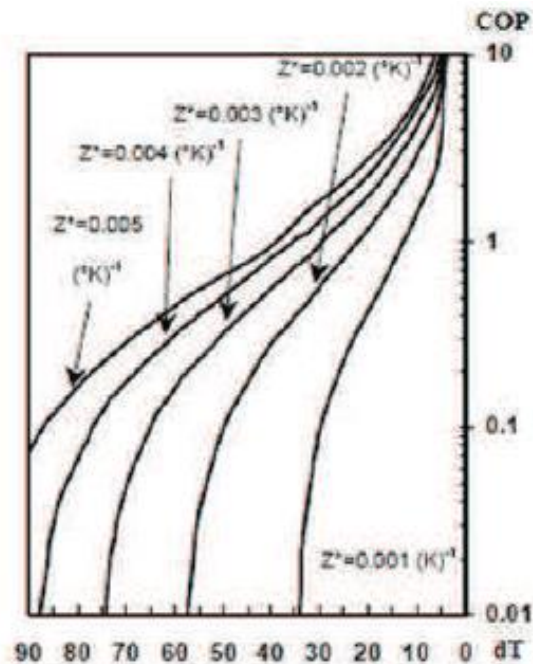


Figura 8: Curvas de COP versus dT , analisadas de acordo com variações de Z [Fonte: Adaptado por SILVERIO, Borges]

Assim, Z depende das propriedades termoelétricas dos materiais utilizados, mas a Figura de Mérito não tem um comportamento constante com a temperatura, pois a

alteração de uma das três variáveis α , ρ , e k afeta a variação de pelo menos uma das outras. Um bom material termoelétrico possui uma elevada Figura de Mérito ($ZT > 1$).

2.2.6.3. Máxima Taxa de Bombeamento de Calor

Segundo SILVA 2010, a taxa de bombeamento de calor, quando os parâmetros são ajustados para maximizar o coeficiente de desempenho, é calculada pela equação da potência fornecida (consumida) ou pela equação 10, porém em todo caso é necessário ter os valores da resistência elétrica R .

Em conta que R e K são dadas pelas equações 6 e 8, deriva-se a taxa de transferência de calor com relação a I e igualando-se o resultado a zero, determina-se a corrente que maximiza a taxa de bombeamento de calor.

Determinando a partir da equação 10, a corrente que satisfaz a condição $\frac{dq}{dI} = 0$, ou seja, o valor ótimo de corrente para taxa de bombeamento de calor.

$$\frac{dq}{dI} = \alpha T_f - IR \quad (17)$$

Assim, a corrente é dada por,

$$I = \frac{\alpha T_f}{R} \quad (17.1)$$

Substituindo a equação 17.1 na equação 10, a taxa de bombeamento para o valor ótimo de corrente é dada por,

$$Q_f = \alpha \left(\frac{\alpha T_f}{R} \right) T_f - \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha T_f}{R} \right)^2 R - K \Delta T \quad (18)$$

$$Q_f = \alpha \left(\frac{\alpha^2 T_f}{2R} \right) - K \Delta T \quad (18.1)$$

2.2.6.4. Desempenho de Refrigerador Termoelétrico em Função da Temperatura

O gráfico abaixo apresenta o coeficiente de desempenho, a taxa de bombeamento de calor e a potência fornecida de um refrigerador típico em função da diferença de temperatura. É assumido que para cada variação de temperatura (dT) a tensão aplicada pode ser ajustada para maximizar o coeficiente de desempenho.

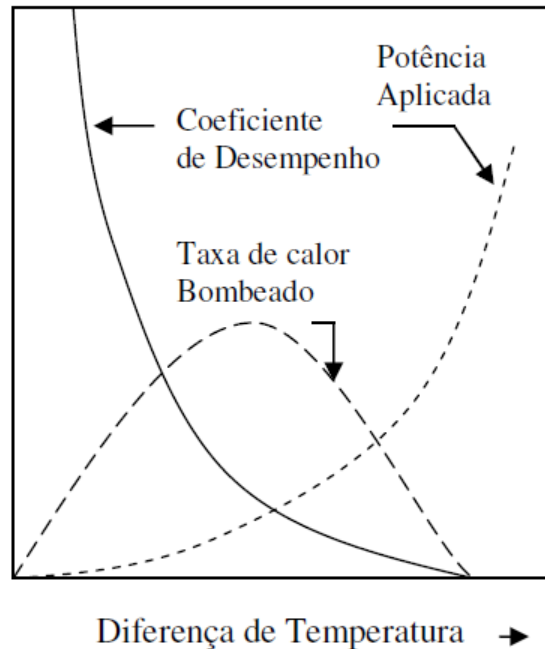


Figura 9: Desempenho de uma associação termoelétrica em função da diferença de temperatura [Fonte: Adaptado por HEIKES & URE]

Quando a diferença de temperatura diminui o coeficiente de desempenho tende a um valor máximo. A taxa de bombeamento de calor inicia em zero atinge um valor máximo e depois diminui quando a diferença de temperatura aumenta. Pode ser visto que a taxa de bombeamento de calor será pequena para pequenas diferenças de temperatura. Porém, os parâmetros devem ser ajustados para maximizar o coeficiente de desempenho. Quando a diferença de temperatura se aproxima de zero, a potência se aproxima de zero e conseqüentemente a taxa de bombeamento de calor também se aproxima de zero. Assim, obtém-se o coeficiente máximo quando a diferença de temperatura tende a zero.

A Figura 10 mostra o coeficiente de desempenho e a taxa de bombeamento de calor como função da corrente para diferença de temperatura dT . Para máxima taxa de bombeamento de calor o coeficiente de desempenho é bem pequeno, em algumas aplicações, isto é importante para se conseguir uma boa taxa de bombeamento de calor (SILVA, 2010).

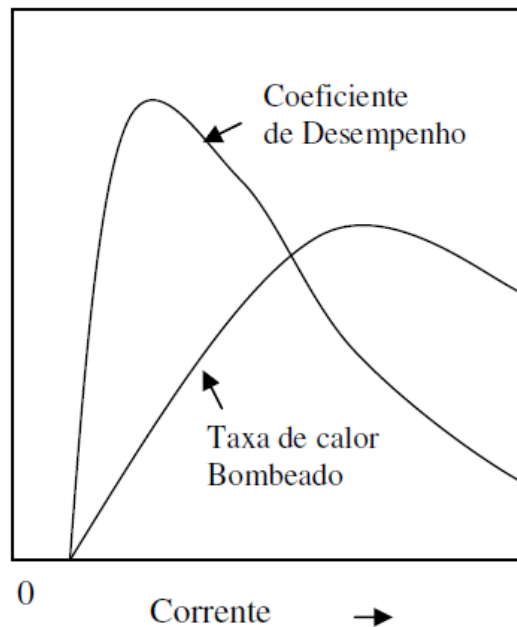


Figura 10: Coeficiente de desempenho e taxa de bombeamento de calor em função da corrente [Fonte: Adaptado por HEIKES & URE]

2.2.6.5. Máxima Diferença de Temperatura

Um dos mais importantes parâmetros dos refrigeradores termoelétricos é a máxima diferença de temperatura que pode ser suportada pela pastilha, e é normalmente dada pelo fabricante.

Segundo SILVA 2010, máxima diferença de temperatura que um refrigerador termoelétrico é capaz de produzir é dada por,

$$\Delta T = \frac{\alpha^2 T_c^2}{2KR} \quad (19)$$

Isto ocorre quando a junção fria é termicamente isolada. Essa expressão pode ser maximizada através da busca de um valor mínimo para KR.

Sendo que, $K = \frac{\alpha^2}{KR}$, tem-se:

$$\Delta T_{max} = \frac{\alpha^2 T_c^2}{2KR} \quad (19.1)$$

Logo,

$$\Delta T_{max} = \frac{1}{2} Z T_c^2 \quad (19.2)$$

CAPITULO 3 - SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR AUTOMOTIVO

Neste capítulo esta apresentada o resumo do funcionamento do sistema de AC automotivo típico, esta apresentada também a implementação do projecto de sistema de AC baseado em módulos termoeléctricos, mostrando a devida análise de modo a apurar a eficácia do sistema e mostrando soluções alternativas de optimização. Na implementação do projecto estão apresentados todos passos, processos, elementos constituintes do sistema de forma detalhada.

O condicionamento do ar automotivo é um processo que regula, artificialmente, a temperatura, o fluxo de ar, a umidade e a limpeza do ar do interior de veículo a um nível desejado. O condicionamento de ar de um veículo busca oferecer um espaço confortável durante a condução do veículo, com o desempenho adequado.

Como refrigeração é um processo que controla a diminuição de temperatura de um espaço determinado e mantém esta temperatura baixa com o fim, por exemplo, de conseguir um ambiente agradável. O conceito de temperatura quente ou fria é relativo, significa apenas que um corpo tem mais ou menos calor. Assim, resfriar um determinado ambiente, significa o mesmo que transferir o calor para outra área.

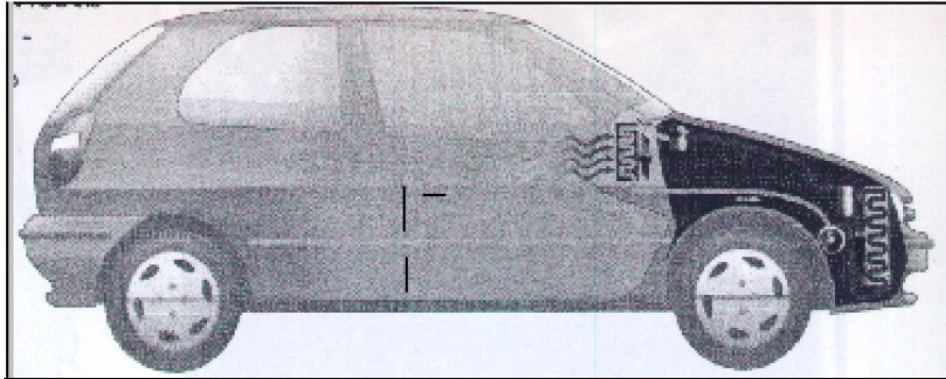


Figura 11: Posicionamento do sistema de condicionamento de ar no veículo [Fonte: Adaptado por Lee & Yoo]

3.1. Sistema de Condicionamento de Ar Automotivo Típico

O sistema típico de AC automotivo é resumido pelos sete elementos, cuja sua disposição está mostrada na figura 12.

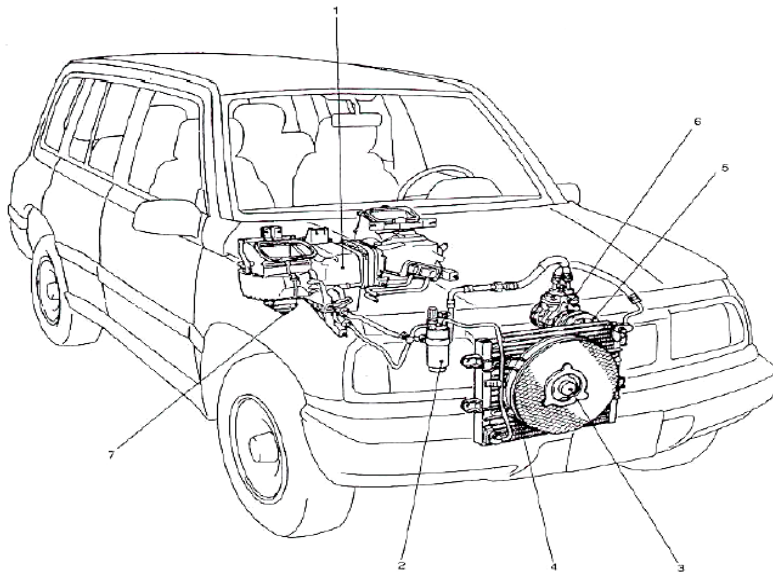


Figura 12: Diagrama dos componentes principais do sistema típico de condicionamento de ar automotivo [Fonte: Adaptado por Lee & Yoo]

Onde:

- 1 - Unidade de resfriamento (válvula de expansão, evaporador)
- 2 - Filtro Secador
- 3 - Motor do ventilador de refrigeração
- 4 - Condensador
- 5 - Embreagem magnética
- 6 - Compressor
- 7 - Motor do ventilador

A unidade de resfriamento é responsável por trocar calor, representa o elemento de refrigeração que faz a troca térmica, entre o gás que passa por seu interior à baixa temperatura e pressão, e o ar do habitáculo do veículo. Para tal o ar do ambiente é forçado a circular através da caixa evaporadora e daí vai para os difusores.

Enquanto que as funções básicas do filtro secador são: filtrar, acumular e retirar a umidade do refrigerante. Seguindo a fase da válvula de expansão, que é o elemento que regula o fluxo de refrigerante em função da taxa de evaporação. É também o elemento que provoca a redução de alta para uma de baixa pressão do fluido refrigerante durante o ciclo de refrigeração.

Segue-se então a etapa do compressor que é um dispositivo que, quando acionado mecanicamente, provoca um diferencial de pressão no gás, criando um fluxo de refrigerante, fazendo o mesmo circular por todo o sistema. Neste processo, face aos atritos existentes, é fundamental a presença de um óleo lubrificante. A passo que o condensador tem a função de retirar o calor do gás refrigerante que vem do compressor na fase gasosa sob condições de alta pressão e alta temperatura. Durante este processo ocorre a mudança de fase, da fase vapor para a fase líquida do refrigerante.

Outro elemento destacado no sistema de AC automotivo, é o microventilador que normalmente têm a função, de controlar o fluxo de ar pelo condensador, auxiliando na retirada de calor do refrigerante, o que implica na redução da temperatura e condensação do refrigerante.

Actualmente os sistemas de condicionamento de ar utilizados na maioria dos veículos adotam o método de refrigeração por compressão de vapor, ilustrado na figura 13, onde é apresentado o compressor que succiona o refrigerante que sai do evaporador, na fase de vapor superaquecido a baixa pressão, comprimindo e recalcando a alta temperatura e pressão, assim o refrigerante segue então pela linha de descarga até o condensador. Durante a troca de calor com o meio exterior, passando pelas fases de superaquecimento, condensação, e subresfriamento.

Escoa em seguida através da válvula de expansão, que tem por finalidade regular a vazão de refrigerante e provocar uma perda de carga, levando o refrigerante a fase bifásica, condição na qual entra no evaporador. Neste ponto ocorre, efectivamente, a troca de calor para o resfriamento do reservatório frio (ar do ambiente condicionado). Após este processo, o refrigerante, na fase de vapor superaquecido e a baixa pressão, retornam ao ponto inicial, para ser novamente succionado pelo compressor, fechando desta forma o ciclo de refrigeração.

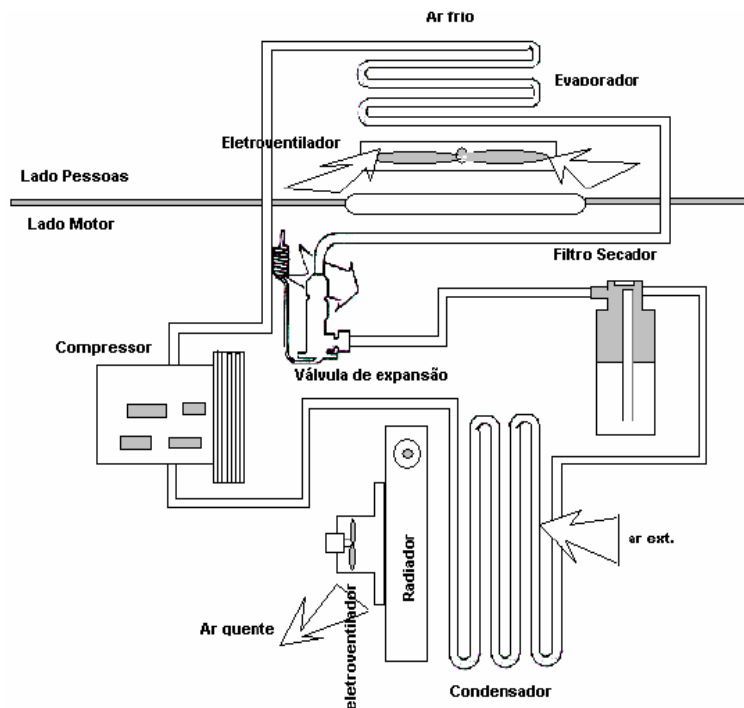


Figura 13: Esquema de um sistema de condicionamento de ar automotivo-típico [Fonte: Adaptado por Lee & Yoo]

3.2. Sistema de Refrigeração Automotiva Termoelétrica -Descrição do Projecto

O presente projecto é referente a um sistema de refrigeração automotivo baseado em pilhas termoelétricas, isto é, usa módulos termoelétricos para gerar o ar condicionado no interior do veículo. É uma solução para o problema notado no uso do sistema típico mencionado acima, de consumo excessivo de combustível. Este sistema para além de aliviar a potência do motor que implica poupança de combustível, também traz a vantagem de aumentar a aplicabilidade da electrónica em campo automotivo e outras diversas vantagens.

A partir de um conjunto de módulos termoelétricos associados em paralelo eletricamente e em série termicamente é gerada uma temperatura fria numa face do modulo e quente noutra, aplicando nos seus terminais uma determinada tensão. Os módulos são então colocados entre dois dissipadores usando pasta térmica entre as partes para melhor a transferência, dos dissipadores são colocados micro ventiladores (*coolers*) que forcem a refrigeração dos módulos tal que o ar que sai da face fria seja espalhado no interior do veículo, e o ar da face quente seja retirado para o exterior. Para que o sistema seja eficiente é crucial que as duas partes estejam totalmente isoladas.

3.2.1. Implementação do Projecto

Nesta parte do projecto é apresentado a construção do sistema proposto e a descrição dos respectivos componentes que o compõem, assim como o seu processo de construção do modelo experimental e os testes realizados.

3.2.1.1. Pastilhas Termoelétricas Associadas

Como já mencionado no capítulo 2, os módulos termoelétricos consistem num arranjo de pequenos blocos semicondutores tipo n e tipo p montados alternadamente e eletricamente em serie entre duas placas cerâmicas de boa condutividade térmica, este

arranjo faz com que todos os termoelementos bombeiem o calor na mesma direcção termicamente em paralelo. Usando módulos em um agrupamento de seis associados em série eletricamente de tal forma a conseguir-se uma temperatura ambiente mais fria. Esta associação é feita respeitando os seguintes parâmetros: a temperatura da superfície quente, a temperatura fria e a máxima quantidade de calor a ser absorvido na superfície fria (Q_f). Do lado quente dos módulos é liberado o calor quando uma fonte de tensão contínua é aplicada.

O calor liberado na face quente depende da potência fornecida, mas a temperatura fria gerada não depende apenas da potência fornecida mas sim também da eficiência da dissipação, neste contexto é feita análise do sistema montado tal forma a definir melhores condições de alimentação de tensão e corrente de acordo com a temperatura conseguida.

Ora, deve-se lembrar que a especificação de uma pastilha termoelétrica é feita tanto através da carga elétrica a ser transferida, como da diferença de temperatura entre as faces, ou seja, a pastilha Peltier ao ser ligada na fonte de energia elétrica, esquenta em uma das faces e gela na outra. Porém o termo “gela” pode ser discutido, no que, na verdade a pastilha apresenta uma boa diferença de temperaturas entre suas faces, mas não necessariamente possa significar que esta diferença se considere gelo ou frio, por exemplo, admitindo que uma pastilha termoelétrica apresente uma diferença de 60°C , ao ligar-se em 12 V_{CC} e verificando-se 90°C na face quente, a face fria estaria em 30°C ($90^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C}$). O que significa que a face “fria” não estaria efetivamente fria ou gelada, apenas estaria 60°C abaixo da temperatura da outra face.

Dado que para uma determinada intensidade de corrente no elemento Peltier, a diferença de temperatura entre suas faces permanece constante, então se faz com que a face quente fique permanentemente em uma temperatura baixa tal que com a diferença de 60°C das faces, consiga-se realmente uma temperatura fria na face fria suficiente para um ar condicionado no interior do veículo, como ter-se em volta de 70°C na face quente assim o lado frio poderia estar em volta de 10°C , que já é uma temperatura muito suficiente para condicionar o ar no interior de um veículo.

Experiências demonstram que as pastilhas Peltier tem maior rendimento quando associadas electricamente em série. Com o uso de pastilhas da família TEC1 consegue-se facilmente atingir-se temperaturas baixas pelo facto de possuírem uma faixa de operação baixa na ordem de -30°C à 70°C e a sua potência de operação na ordem de 60W resultado de tensão de acima de 12V e corrente máxima de 6A, faz com o sistema seja mais eficiente e menos propenso a danificações por sobre tensões.

3.2.1.2. Pasta Térmica

O conjunto de módulos é colocado entre dissipadores, mas antes deste é colocado uma pasta térmica entre as placas e os dissipadores para melhor a transferência térmica.

Pasta térmica é um composto químico constituído por elementos com propriedades de conduzir bem o calor, ou seja, são bons condutores de calor. É muito usado para dissipar o calor do processador, passando-o para o dissipador, e este vai ser resfriado por ação do micro ventilador (*cooler*) parafusado ao dissipador.

Neste projecto são aplicados nas duas faces das pastilhas Peltier encaixando ao dissipador, pois sem a pasta algumas imperfeições não notadas a olho nu ficam preenchidas de ar, resultado de mau condutor de calor, e não transferem esse calor, que fica estacionado, para o dissipador, que por sua vez será resfriado pelo *cooler*.

Tem a função de dissipar melhor o calor na face quente da associação das pastilhas e fornecer uma transmissão ideal de frio na face fria. Possui alta eficiência devido à elevada condutividade e dissipação de calor, comportamento neutral, retém todas as suas propriedades sem secar, se enrugam ou ferir, possui também elevada proteção para componentes eletrônicos sensíveis à temperatura.

Algumas características da pasta térmica são mostradas na tabela abaixo.

Tabela 1: Características técnicas da pasta térmica

Características Técnicas	
Aparência	Pasta branca, suave
Densidade	1,55g/cm ³ DIN EN ISO 3838
Composição	Espessante, óleo de silicone, óxido metálico, condutor de calor
Capacidade penetrante	0,1mm 220-250 DIN ISO 2137
Temperatura	-40 a +180°C com uma pequena variação de consistência
Condutividade térmica	10,7W/m x K (20 vezes melhor do que no ar DIN 52 612)
Resistência eléctrica	10 ¹⁴ Ohm x cm a 25°C
Força dieléctrica	Aprox. 18 KV/mm DIN 53 481
Resistência química	Ácidos e alcalinos, dificilmente dissolúvel por solventes
Características especiais	Distinta condutividade térmica entre metais e propriedades de isolamento eléctrico

Fonte: Autor

3.2.1.3. Dissipadores

Os dissipadores são usados para que o conjunto de módulos tenha um bom desempenho, o dissipador de calor tem um papel fundamental, pois deve manter a face quente abaixo da temperatura limite de projecto T_q especificada na folha de dado.

Segundo SILVERIO 2012, existem alguns critérios a considerar no dimensionamento de dissipadores:

- A temperatura de trabalho da junção semicondutora do modulo deve ser 20% a 30% menor que seu valor máximo, para permitir a protecção do componente sem super-dimensionar o dissipador;
- Caso o dissipador fique dentro de algum bastidor ou caixa na qual a temperatura possa se elevar acima dos 40°C deve-se considerar sempre a máxima temperatura do ar com o qual o dissipador troca calor;

- Deve-se verificar a necessidade de uso de isolantes e não desconsiderar suas resistências térmicas.

Determinadas geometrias de dissipadores são mais eficazes com velocidades de ar elevadas, enquanto outras geometrias são mais eficientes com velocidades baixas do ar. Com controle de densidade do número de aletas, os dissipadores de calor podem ser caracterizados para fluxos de ar diferentes.

Os valores tipicamente usados para expressar a eficiência de um dissipador são a resistência térmica e a queda de pressão. A resistência térmica é expressa como o aumento da temperatura por Watt ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$). Quanto menor o valor, melhor o desempenho térmico da temperatura do dissipador, e a queda pressão é a resistência térmica encontrada pelo ar se movendo através do dissipador expressa em unidades de mmH_2O , e deve ser a mais baixa possível. Em geral estes dissipadores são construídos em alumínio por sua boa condutividade térmica, baixo custo e peso. Pode-se encontrar dissipadores construídos por cobre e alguns com a mistura dos dois materiais.

SILVERIO 2012, também realizou um trabalho muito interessante de análise de dissipadores para determinação da melhor troca térmica para sistemas protótipos de refrigeração. Esta análise foi realizada em um ambiente computacional com ajuda do *software* ANSYS, para observar comportamento dos dissipadores de calor pressupondo-se as mesmas condições utilizadas em modelos experimentais. Características geométricas de alguns dissipadores utilizados em otimização de sistemas de refrigeração estão mostrados na tabela abaixo.

Tabela 2: Características geométricas dos dissipadores de calor usados em sistemas de refrigeração

Características Geométricas					
Dissipador	A (cm ²)	e _{base} (mm)	Nº aletas	Espaçamento (mm)	H aletas (mm)
0	225	9	40	3	35
1	104	5	13	8	20
2	194	5	20	10	29
3	154	8	12	13	42
1H	104	5	13	8	20
2H	155	8	12	13	52
3H	155	10	14	11,3	49
4H	102	6	11	9,7	28
5H	154	8	12	13,1	42

Fonte: SIVERIO, Borges

Dentre estes tipos de dissipadores mencionados na tabela acima, o dissipador nº 2 apresenta maior diferença de temperatura média entre os lados quente e frio, também apresenta menor concentração de temperatura elevada.

Esta mostrada na figura abaixo um dissipador nº 2, suas respectivas características e gráfico de variação de temperatura versus variação de tempo.

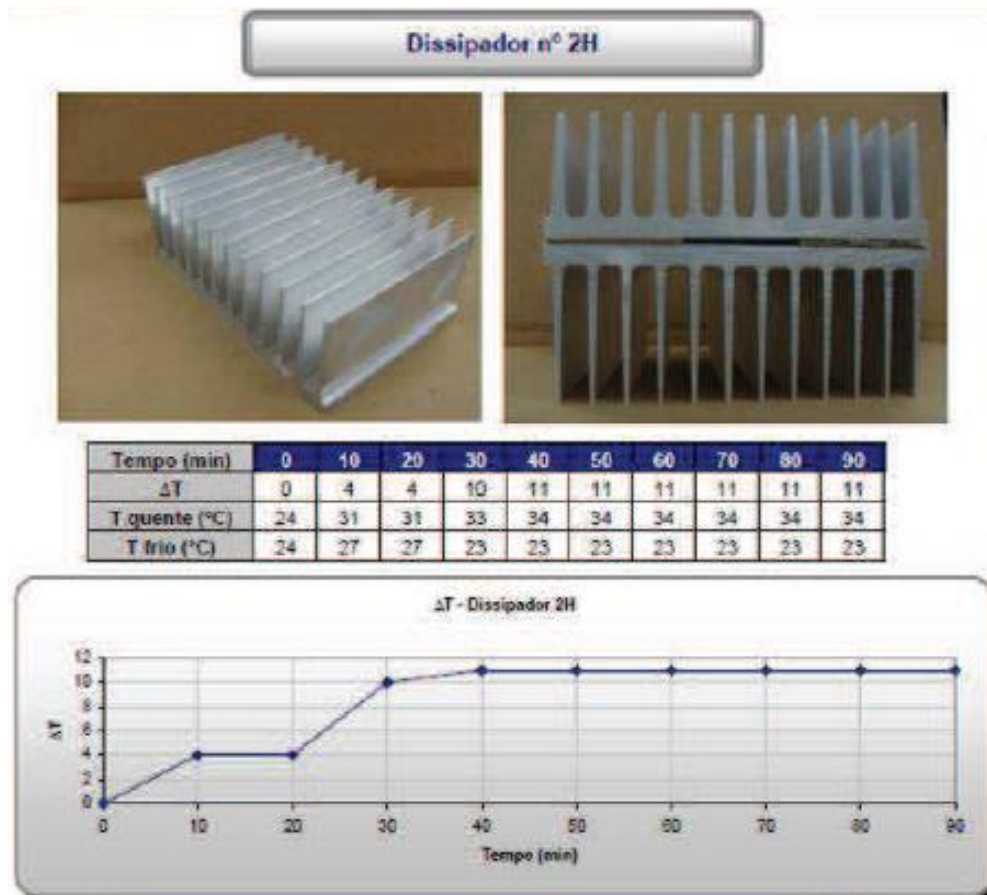


Figura 14: Características de um dissipador nº2 [Fonte: Adaptado por SIVERIO, Borges]

Como abordado anteriormente, o dissipador colocado no lado quente deve apresentar maior eficiência na refrigeração para que o da face “fria” seja realmente fria, isto significa que é muito importante tornar a dissipação do calor mais eficiente possível. Isto será analisado no capítulo seguinte com base em ensaios com o protótipo montado, tal que se a dissipação não for eficiente o bastante seja melhorado recorrendo a outras técnicas.

3.2.1.4. Micro Ventiladores

São sistemas de arrefecimento usados em diversos tipos de *hardwares* eletrônicos com o objectivo de evitar a sobrecarga de calor que estes componentes geram. São dispositivos micro mecânicos que convertem energia mecânica de rotação aplicada em seus eixos em aumento de ar.



Figura 15: Micro ventilador [Fonte: Adaptado por Vesper]

Os micros ventiladores colocados no lado quente têm a função de forçar a refrigeração dos dissipadores ajudando a remover o calor excessivo do sistema para o exterior, enquanto que os micros ventiladores do lado frio têm a função de espalhar o ar frio resultante da temperatura da face fria das pastilhas Peltier.

Tabela 3: Características técnicas de micros ventiladores

Características Técnicas	
Temperatura ambiente de trabalho	mín. 10°C max. + 60°C
Vida útil estimada	L10=50.000h
Variação admissível de tensão	±10% do valor nominal
Isolação classe	120° C
Tensões de operação	12V
Outras	Protegidos eletronicamente contra ligação com

Fonte: Autor

CAPITULO 4 - CONSTRUÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são mostradas as etapas de construção do modelo experimental, que também é usado para a análise do sistema. No entanto são realizadas diversas experiências, onde em cada são mostrados os resultados que ajudam na avaliação da eficiência e funcionalidade do sistema.

4.1. Construção do Modelo Experimental

A pastilha normalmente usada para este tipo de aplicação é a placa termoelétrica Peltier TEC1-12706, pela sua alta eficiência na conversão de tensão em diferença de temperatura, pela alta potência que suporta e pela alta faixa de operação, em torno de -40°C à 150°C .

Porém, foram utilizadas neste modelo experimental placas termoelétricas SP1848-27145-AS com comprimento do chumbo de cerca de 30 cm e tamanho de 40 mm x 40 mm x 3,4 mm. São elementos pequenos, silenciosos, que não possuem partes móveis e confiáveis, com uma faixa de operação em torno -40°C à 120°C , e uma temperatura de trabalho de 150°C . A sua temperatura de trabalho é a grande vantagem deste modelo. Porém normalmente utilizada como gerador de energia termoelétrica.

São associados 6 módulos termoelétricos em série ou em paralelo, sabendo que as condições alimentação de cada pastilha são:

- A uma tensão de 0.97V, gera uma diferença de temperatura de 20 graus;
- De uma tensão de 1.8V, alcança-se uma diferença de temperatura de 40 graus;
- Com 2.4V, chega-se a uma diferença de temperatura de 60 graus;
- De uma tensão de 3.6V, alcança-se uma diferença de temperatura de 80 graus;

- E de 4.8V chega-se a uma diferença de temperatura de 100 graus.

Os valores acima são apenas para referência, a fiação em uso real e a placa, submetem uma queda de corrente. Estas pastilhas diferentemente da família TEC1 que tem uma potência máxima de 92W, sua potência máxima é de 3,2W nas condições de diferença de temperatura de 100 graus, assim sua eficiência de conversão de tensão em diferença de temperatura é ainda mais baixa.



Figura 16: Pastilha Peltier SP1848-27145-SA [Fonte:Autor]

Entre os dissipadores de calor, são colocadas as pastilhas Peltier associadas electricamente em paralelo. Em vez de serem associadas em paralelo, as placas podem ser associadas em série para oferecer melhor rendimento, porém tratando-se apenas do interior de veículo que é um ambiente pequeno ter-se-ia uma temperatura muito baixa até mesmo negativa. Entre as pastilhas e dissipadores é colocada pasta térmica para melhor transferência térmica.

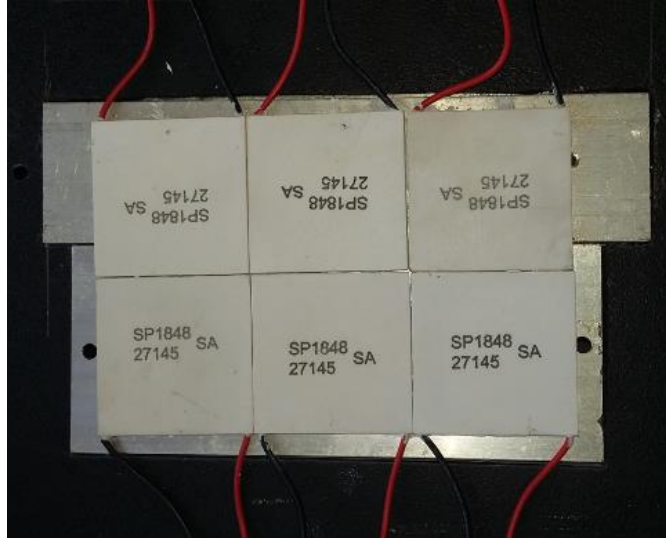


Figura 17: Montagem de Pastilhas Peltier sobre dissipadores com a pasta térmica envolvida [Fonte:Autor]

Então dois electro ventiladores são colocados em cada lado dos dissipadores, onde do lado quente tem a função de arrefecer as pastilhas garantindo menor eficiência de frio fornecido na face fria. Os micros ventiladores instalados no lado frio têm a função de espalhar o frio no interior de veículo.

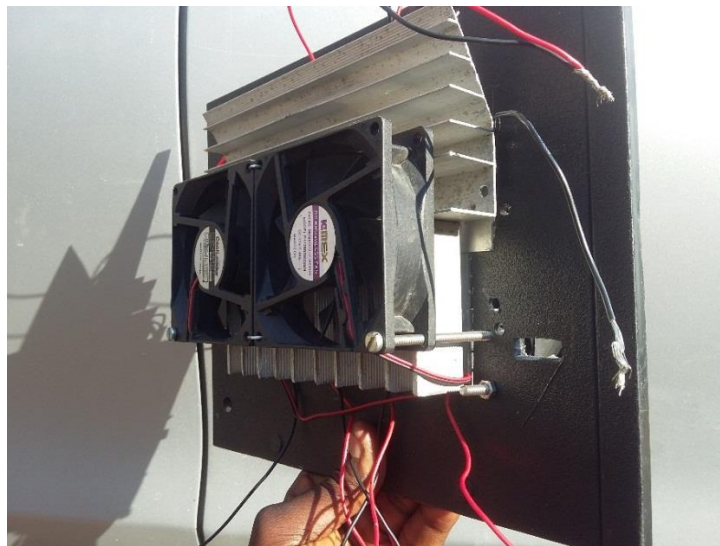


Figura 18: Sistema de condicionamento de ar automotivo baseado em módulos termoelétricos[Fonte:Autor]

Os micros ventiladores recebem uma tensão de entrada constante de 12V, e os módulos Peltier uma tensão máxima de 4.8V para a diferença de temperatura de 100 graus. No entanto são usadas duas fontes de alimentação independentes, mantendo idealmente variável a fonte dos módulos para ajustes de temperatura.

4.2. Análise de Resultados

Com o sistema protótipo construído realizaram-se diversas experiências, de tal maneira a validar as propostas levantadas a princípio do trabalho.

Tendo em conta que os dissipadores utilizados na construção do sistema não são como estudados no projecto, a eficiência da dissipação é relativamente reduzida, porém os resultados constituem indicadores suficientes na análise da aplicabilidade real.

4.2.1. Análise de Parâmetros do Sistema Sem Micro Ventiladores

Foram realizadas experiências com o sistema protótipo sem os micros ventiladores acoplados, de modo a observar a os parâmetros de desempenho de refrigeração do sistema sem os micros ventiladores acoplados.

4.2.1.1. Coeficiente de Desempenho do Sistema sem Micro Ventiladores

Recorrendo-se a equação (13) mencionado em capítulo 2 deste mesmo projecto, onde o coeficiente de desempenho é a taxa de remoção de calor do corpo frio dividido pela potência aplicada ao circuito.

$$\varphi = \frac{Q_f}{P}$$

$$P=VI$$

Q_f é a taxa de bombeamento de calor transferido do interior de veículo para exterior, encontrada a partir da soma das parcelas mostradas na equação 10, que envolvem as

temperaturas frias e quentes medidas nas faces fria e quente respectivamente, foi utilizado um termômetro infravermelho para medição destas magnitudes.

Estas medições foram realizadas tomando alguns cuidados, como o posicionamento do feixe infravermelho perpendicularmente à base onde a medida foi realizada, além deste, a duração de cada medida foi definida de forma que todas as medições fossem feitas após a amostra atingir o regime permanente. Na figura 19 está apresentada uma ilustração do procedimento adotado.



Figura 19: Procedimento realizado para medição da temperatura das faces [Fonte: Adaptado por SILVA, Vilson]

$$T_f = 17.9^{\circ}\text{C}$$

$$T_q = 74.3^{\circ}\text{C}$$

$$R = 2\Omega \text{ (Resistência total em paralelo)}$$

$$P = 4.6 \cdot 0.6 = 2.76\text{W}$$

A taxa de transferência de corrente para calor (Q) pode ser encontrada a partir do valor de K dado pelo fornecedor para a diferença de temperatura máxima em graus. Então tem-se,

$$Q=K\Delta T$$

$$K= 127 * 10^{-6}$$

$$Q = 127 * 10^{-6} * 100 = 0.0127$$

Como, $V=\alpha \Delta T$

$$\Delta T = T_q - T_f = 56.4$$

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T} = \frac{4.6}{56.4} = 0.082$$

Então, $Q_f = \alpha T_f I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T$

$$Q_f = 0.082 * 17.9 * 0.6 - \frac{0.6^2 * 2}{2} - 0.0127$$

$$Q_f = 0.45$$

$$\text{Logo, } \varphi = \frac{Q_f}{P} = \frac{0.45}{2.76} = 0.16$$

4.2.1.2. Desempenho do Sistema Sem Micro Ventiladores em Função da Temperatura

Da equação (13), note-se que existe uma relação de proporcionalidade entre COP e a temperatura fria, então é crucial que o COP seja relativamente alto para conseguir-se uma temperatura suficientemente fria.

Sabendo que para cada variação de temperatura (dT) a tensão aplicada pôde ser ajustada para maximizar o coeficiente de desempenho, então foram realizadas diversas experiências variando a tensão, extraíndo as magnitudes das temperaturas de ambas faces.

Tabela 4: Dados de experiência realizada com o sistema sem os micros ventiladores

V (V)	I (mA)	P (W)	T _A (°C)	T _F (°C)	T _Q (°C)	ΔT (°C)	COP
1.8	220	1.08	28	21.80	67	45.20	0.40
2.5	360	1.50	28	20.10	69.70	49.60	-0.27
3.6	460	2.16	28	19.40	71	51.60	-0.19
4.6	600	2.76	28	17.9	74.3	56.40	0.16

Fonte: Autor

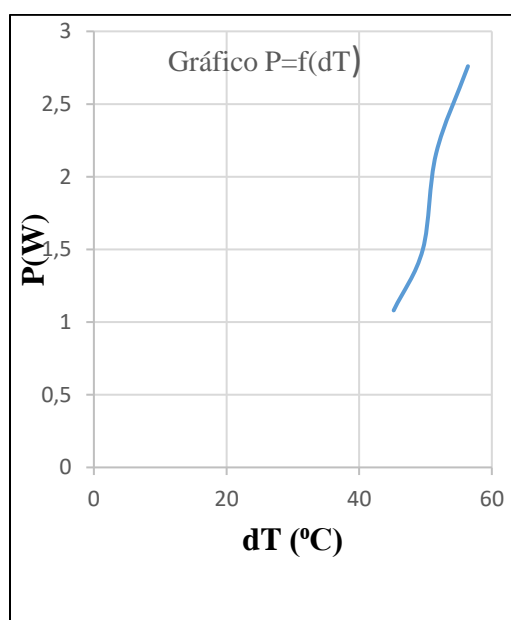


Figura 20: Valor da potência aplicada em função da diferença de temperatura para o sistema sem micros ventiladores [Fonte:Autor]

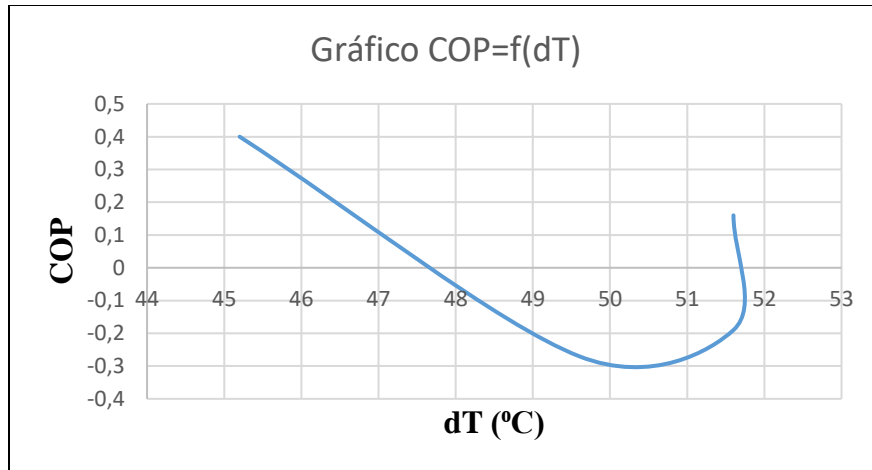


Figura 21: Valor de COP em função da diferença de temperatura para o sistema sem micros ventiladores [Fonte: Autor]

Dos gráficos acima pode notar-se que o sistema de condicionamento não é eficiente sem os microventiladores, a face quente atinge temperaturas altas em curto espaço de tempo transferindo para a face fria. No gráfico que relaciona a diferença de temperatura com o coeficiente de desempenho pode notar se que em certo intervalo o desempenho é negativo. De acordo com curva ideal mostrada na figura 8, e a característica da placa SP1848-24145 mostrada no anexo, a diferença de temperatura diminui quando o coeficiente de desempenho tende a um valor máximo, onde o seu valor máximo coincide com máxima taxa de bombeamento de calor. Então para o sistema sem refrigeração reforçada por micro ventiladores na face quente o seu máximo está em 48.2 que significa que acima desta diferença de temperatura a placa perde a capacidade de bombeamento e se o calor for mantido sobre a placa ela pode danificar-se.

As experiências acima foram realizadas tendo em conta a ineficiência da dissipação, pelo que a leitura das temperaturas foi feita antes da face quente atingir o regime estacionário para evitar a danificação das placas.

4.2.2. Análise de Parâmetros do Sistema com Micro Ventiladores

Igualmente a caso anterior, foram realizadas experiências com o sistema protótipo final com os micros ventiladores acoplados. Com uma fonte de tensão de 12V para alimentar os micros ventiladores e outra fonte ajustada em diversas tensões, como mostra a figura abaixo.



Figura 22: Modelo protótipo final ligado em fontes de laboratório para análise do desempenho [Fonte: Autor]

4.2.2.1. Coeficiente de Desempenho do Sistema

Como trata-se de maior taxa de bombeamento de calor, a taxa de transferência de corrente em calor não é calculada nas condições de diferença de temperatura máxima, mas sim na diferença medida.

$$Q=K\Delta T$$

$$K= 127 * 10^{-6}$$

Como, $V=\alpha \Delta T$

$$\Delta T = T_q - T_f = 18.9$$

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T} = \frac{4.6}{18.9} = 0.24$$

Então, $Q_f = \alpha T_f I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T$

$$Q_f = 0.24 * 7.4 * 0.6 - \frac{0.6^2 * 2}{2} - 127 * 10^{-6} * 18.9$$

$$Q_f = 0.42$$

Logo, $\varphi = \frac{Q_f}{P} = \frac{0.42}{2.76} = 0.15$

4.2.2.2. Desempenho do Sistema em Função da Temperatura

Em mesmas condições de alimentação, foram realizados testes do sistema com os micros ventiladores acoplados, os dados estão mostrados na tabela abaixo.

Tabela 5: Dados de experiência realizada com o sistema com micro ventiladores acoplados

V (V)	I (mA)	P (W)	T _A (°C)	T _F (°C)	T _Q (°C)	ΔT (°C)	COP
1.8	220	1.08	24.5	20.2	24.5	4.3	1.62
2.5	360	1.50	24.5	16.4	25.1	8.7	0.97
3.6	460	2.16	24.5	11.3	25.9	14.6	0.3
4.6	600	2.76	24.5	7.4	26.3	18.9	0.15

Fonte: Autor

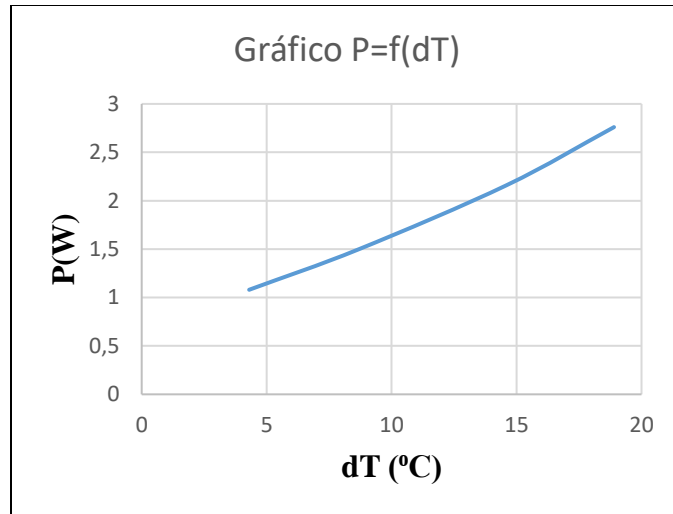


Figura 23: Valor da potência aplicada em função da diferença de temperatura para o sistema com micros ventiladores [Fonte: Autor]

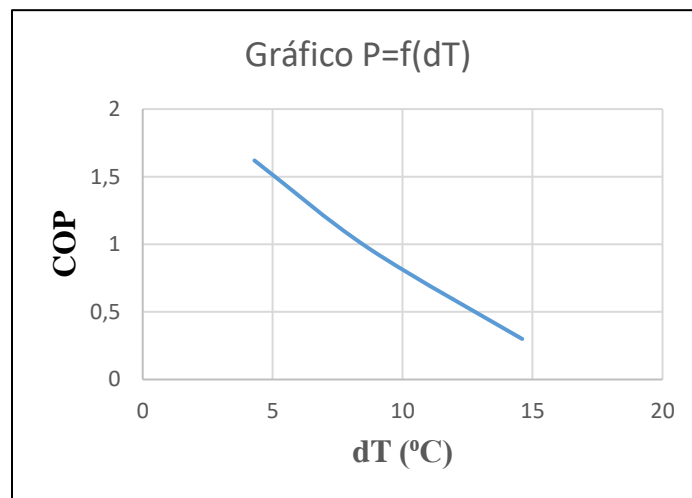


Figura 24: Valor de COP em função da diferença de temperatura para o sistema com micros ventiladores [Fonte: Autor]

Das experiências realizadas com o sistema com micro ventiladores acoplados, pode notar-se maior eficiência de dissipação de calor conseqüentemente bom desempenho.

Do gráfico da diferença de temperatura em função da potência aplicada pode notar-se que, a associação das placas consegue melhor rendimento. A diferença de temperatura para além de variar proporcionalmente com a potência aplicada descrevendo uma curva muito próxima da curva característica dos módulos termoeléctricos, tem magnitude reduzida com o máximo aproximadamente à 20°C.

As experiências com o sistema com micro ventiladores, indicaram melhor relação diferença de temperatura e coeficiente de desempenho, onde tem-se um gráfico que também tende para a curva característica dos módulos e ainda nota-se que o COP não atinge o seu limite para a maior diferença de temperatura, que significa ter ainda capacidade bombeamento de calor mesmo estando em máxima potência aplicada.

Os resultados acima descritos foram realizados em laboratório, onde a temperatura ambiente relativamente baixa, que o ambiente de uma carroçaria automotiva em que operaria a face quente do sistema. Em uma temperatura de operação maior o coeficiente de desempenho reduziria porém o sistema continuaria eficiente.

4.3. Estudo de Viabilidade

Os componentes para a realização do sistema protótipo foram adquiridos na China em lojas virtuais. Alguns componentes reaproveitados como dissipadores e fonte de alimentação foram encontrados em oficinas electrónicas da cidade de Maputo. A fonte de alimentação é um componente secundário no sistema, pelo que em uma aplicação real do sistema alimentar-se-ia a partir da própria bateria do veículo, sendo um custo apenas relevante para o modelo protótipo. A tabela abaixo apresenta os preços de aquisição dos componentes em Yuan Chinês (Renminbi) a câmbio actual de [¥1=10MT].

Tabela 6: Preço de aquisição do material para construção do protótipo

Material	Quantidade	Preço unitário	Preço subtotal	Preço subtotal em MZN
Pastilha Peltier	6	¥16,85	¥ 101	1.010 MT
Micro ventilador	4	100 MT	400 MT	400 MT
Dissipadores	4	25 MT	100 MT	100 MT
Pasta térmica	2	¥8	¥16	160 MT
Outros				200 MT
Total	16			1.870 MT

Fonte: Autor

Outros custos adicionais podem ser adicionados em relação a aspectos de finalização e encapsulamento, mesmo assim continuariam baixos e irrelevantes relativamente aos ganhos anteriormente apreciados.

4.4. Aspectos Económicos, Sociais e Ambientais

O combustível é no geral um recurso escasso, em particular os combustíveis fósseis que para além de escassos e possuírem custo elevado devido a sua alta procura, são também prejudiciais ao meio ambiente.

O sistema de condicionamento de ar típico para além de combustíveis fósseis, utiliza também o gás refrigerante. Segundo BANDARRA 2010, os veículos são responsáveis por 10% de toda a emissão de gases que colaboram para o efeito estufa, onde esse número tende a aumentar, desde que mais carros deixam a fábrica com o sistema de ar condicionado instalado.

Os sistemas de AC actuais tem elevado impacto no total de emissões, sejam por vazamentos, consumo de combustível e também na recuperação e reciclagem dos refrigerantes (BANDARRA, 2010).

Assim, este sistema de condicionamento de ar estudado neste trabalho surge como proposta de solução deste impactos económicos e ambientais negativos, pelo que este sistema de condicionamento não usa qualquer tipo de gás refrigerante, e não gera

impactos ambientais negativos. O sistema é de muita baixa potência, economizando assim a combustão de combustível.

A sustentabilidade do sistema leva a diversos ganhos sociais e económicos em paralelo, por exemplo Isnard 2014, afirma que o conforto é um dos maiores motivadores da economia. Na compra de um automóvel o conforto aparece como terceiro critério de compra depois do tamanho e preço. O conforto térmico proporciona as pessoas boas condições térmicas quando se deslocam de um ponto a outro de veículos, algumas vezes trabalham enquanto se deslocam (Isnard, 2014).

A implementação do sistema de condicionamento de ar automotivo a partir de módulos termoelétricos constituiria um novo ganho na indústria automotiva, e na sociedade onde ultimamente procura-se por inovações e tecnologias mais sofisticadas.

CAPITULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

O presente trabalho de estagio propôs se a analisar e desenvolver um sistema de condicionamento de ar automotivo baseado em módulos termoelétricos Peltier em substituição do sistema tradicional de forma minimizar o uso do combustível, da potência consumida do motor, do gás refrigerante que é prejudicial ao ambiente e conseqüentemente com a omissão deste sistema ganha-se a diminuição do peso dos automóveis.

Da revisão bibliográfica conclui-se que o sistema termoelétrico baseado em pastilhas Peltier não são ainda aplicadas em vários campos de condicionamento de ar, mas já encontra muita aplicação em sistemas de refrigeração de espaços ou corpos menores.

Da análise realizada em relação a aplicabilidade dos módulos termoelétricos para o condicionamento de ar automotivo, demonstrou-se que o sistema tem bom desempenho quando acrescentadas técnicas de dissipação das suas faces, pois dissipando apenas uma delas o calor é imediatamente transferido para outra face. A dissipação por

dissipadores de calor de alumínio constitui a forma básica imprescindível, porém não suficiente para melhor eficiência no condicionamento de ar. Este facto foi comprovado por uma bateria de ensaios com o modelo experimental, onde o desempenho não era satisfatório, daí outras técnicas de reforçar a dissipação tornam-se necessárias. Estas técnicas passam pelo uso dos micros ventiladores em ambas faces das pastilhas termoeléctricas sobre face dos dissipadores. Nestas condições foram igualmente realizados ensaios onde notaram-se resultados satisfatórios, bom desempenho de condicionamento de ar, resultados que confirmam as expectativas levantadas a princípio do trabalho.

O modelo experimental não foi construído em totais condições consideradas no projecto, isto pela dificuldade de encontrar-se os componentes do sistema. As pastilhas utilizadas não são os mais recomendados para melhor eficiência em refrigeração e ou condicionamento de ar, por operarem em baixa potência. A dificuldade em encontrar dissipadores de calor nas condições características mencionadas no projecto, estudados por Silverio Borges, levaram ao reaproveitamento de dissipadores encontrados em sucatas electrónicas apenas com características próximas. Apesar destes inconvenientes atestou-se bom desempenho de condicionamento de ar por parte deste sistema, em que mostrou-se ser funcional para aplicação real.

Foram apresentados de forma sintética os aspectos económicos, sociais e ambientais que levaram a concluir vantagens relevantes do uso deste sistema em relação ao sistema típico de condicionamento de ar, onde com maior ênfase a sustentabilidade no que concerne a conservação dos recursos escassos e a preservação do meio ambiente. Para além de ganhos sociais transparece-se o ganho tecnológico referente ao alargamento das áreas de aplicação da electrónica.

Analisado os custos, o sistema mostrou-se viável, onde vários componentes usados neste trabalho foram reaproveitados porem mesmo que fossem novos teriam praticamente mesmos custos. Mesmos com custos adicionais que podem ser considerados relativamente a aspectos de finalização e encapsulamento, continuariam

baixos e irrelevantes relativamente aos ganhos anteriormente apreciados, mantendo a tecnologia viável.

5.2. Recomendações

Existem diversos aspectos que podem ser melhorados nos próximos projectos de sistemas de condicionamento de ar automotivo baseado em módulos termoeléctricos. Desde a construção do modelo experimental usando placas da família TEC1-12706, para conseguir maior desempenho e uma temperatura mais fria, recomenda-se que realize-se uma bateria de ensaios para avaliar o desempenho em função potência aplicada.

Simulações em ambiente automotivo podem trazer resultados mais fiáveis em relação a eficiência da dissipação dos módulos Peltier, no entanto recomenda-se que se avalie os resultados com o sistema montado em automóvel, caso os resultados não sejam satisfatórios pela alta temperatura de operação da carroçaria, pode-se estudar opções de melhor dissipação do calor da face quente, que passam por utilização de ventiladores maiores, uso de dissipadores com refrigeração forçada a água ou mesmo aplicação de tubo respirador forçando a refrigeração com o ventilador do radiador (Figura 35 em anexo).

Apenas alimentar o sistema com uma determinada tensão, ter-se-ia uma temperatura quase constante que nas condições de bom desempenho seria muito fria, no entanto seria de alta relevância em trabalhos futuros estudar e desenvolver um sistema de controle especial para que o sistema de forma autónoma possa ligar-se sempre que a temperatura subir e desligar-se sempre que baixar em relação a temperatura definida pelo condutor. Pode também facilmente ser conseguida esta funcionalidade através da variação da potência aplicada nas placas, dando ao condutor um ajustador *trim* para variar a tensão (Figura 36 em anexo).

5.3. Bibliografia

1. Agnol, A., et al. Junho, 2009 - Geladeira Peltier, Porto Alegre.
2. Almeida, D., Robert de Moura, P. 2014 - Refrigerador Termoelétrico de Peltier usado para Estabilizar um Feixe Laser em Experimentos Didáticos, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, 1308.
3. Altar da Silva, V. Fevereiro 2015 - Análise Experimental da Influência dos Parâmetros Geométricos de Dissipadores na Convecção Natural, Itajubá.
4. Bandarra, Enio 2010 - Uso de Fluidos Refrigerantes Alternativos em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo, Manaus.
5. Camargo, J. R., Costa de Oliveira, M. C. Agosto 2010 - Projeto de um Condicionador de Ar Automotivo Peltier Seebeck Autossustentável - “ VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica”, CONEM (ed), ABCM, Campina Grande – Paraíba – Brazil.
6. Heikes, R. R., Ure Jr., R. W. Thermoelectricity: Science and Engineering Interscience publisher's - New York 1961, 569 p.
7. Hoss, G. U. et al. Dezembro 2009 - Dissipador de Calor Utilizando Pastilhas Termoelétricas, Porto Alegre.
8. Humel, Vitor. 2014 - Potenciais Aplicações de Módulos Termoelétricos, Lorena.
9. Isnard, D. 2004 - Palestra: Técnicas NVH+ RH, 2º Seminário SAE de Palestras, São Bernardo do Campo, SP.
10. Kakimoto, L. C. 2013 - Efeito Peltier-Seebeck: Gerando Eletricidade por Diferença de Temperatura, Campinas.
11. Leite, C. O. Miranda de Souza. Fevereiro, 2010 - Desenvolvimento de um sistema de refrigeração ambiente para uma caravana baseado num ciclo de compressão de vapor, Porto.
12. Maidana, C. F. et al. Dezembro 2007 - Bancada para Medida de Eficácia Térmica de Pastilhas de Efeito Peltier, Porto Alegre.
13. Mariz, J. T. V. Dezembro 2007 - Análise Experimental da Performance de Dissipadores Térmicos Ativos e Passivos para Células Fotovoltaicas de Alta Concentração, Rio de Janeiro.

14. Maetinez, A. et al. 2001 - Experimental and Analytical Study on Thermoelectric Self Colling Devices. Energy Journal. P.5250-5260.
15. McGraw, Hill. 1988 - Handbook of Applied Thermal Design [Book]. - New York : [s.n.].
16. Naia, F. R., Fernandes de Lima e Silva, A. L., et al. 2007 - Análise da Transferência de Calor por Convecção Natural em Aletas Planas Retangulares, Brasil.
17. Nogueira, E. 2010 - Análise de Desempenho e Proposta de Controle de um Sistema Termoelétrico para Condicionamento de Ar. Dissertação de Mestrado da Universidade de Taubaté. 86p.
18. Oliveira dos Santos, E. 2005 - Dimensionamento e Avaliação do Ciclo de Refrigeração de Sistema de Climatização Automotivo, Trabalho de conclusão de curso para o título de Mestre em Engenharia Automotiva, São Paulo.
19. Piedade P. M. 1997 - Efeitos Termoelétricos e suas aplicações. Aquisição e Processamento de [Book].
20. Ribeiro da Cunha, A. Outubro 2012 - Programação, Conexão e Avaliação de Psicrômetro Aspirado de Termopar de Baixo Custo em Micrologger para Estudos Agrometeorológicos, Revista Brasileira de Meteorologia, v.28, n.2, p.221 - 232, 201.
21. Sato, A. I. 2017 - Análise e Otimização de Dissipadores Térmicos com Entrada de Fluido pelo Topo, Campinas.
22. Silva, M. F. P. Fevereiro, 2010 - Desenvolvimento de um Sistema de Refrigeração Ambiente para uma Caravana Baseado em Pilhas Termoelétricas Assistidas por Painéis Fotovoltaicos, Porto.
23. Silva, R. E. 2010 - Análise e Otimização de um Sistema Termoelétrico para Condicionamento de Ar, Taubaté.
24. Sofrata, H. Heat rejection alternatives for thermoelectric refrigerators. - Energy Conv. Mgmt, vol.37, No.3, p.269-280, 1996.
25. SOUZA, D. H. C. 2007 - Otimização do uso de Refrigeradores Termoelétricos em Processos de Refrigeração. Projecto de Graduação da Universidade de Brasília. P61.

26. Silverio, L. B. 2012 - Análise E Otimização De Um Sistema Termoelétrico Para Condicionamento - Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Taubaté.
27. Simões dos Santos Fernandes, A. E. Fevereiro 2012 - Conversão de Energia com Células de Peltier, Lisboa.
28. Valdecir dos Santos, A. Agosto 2016 - As Pastilhas Termopar nas Aulas Experimentais de Termologia - Dissertação de Mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Rio de Janeiro.

Anexo A - Curvas Características do Módulo SP1848-27145-SA

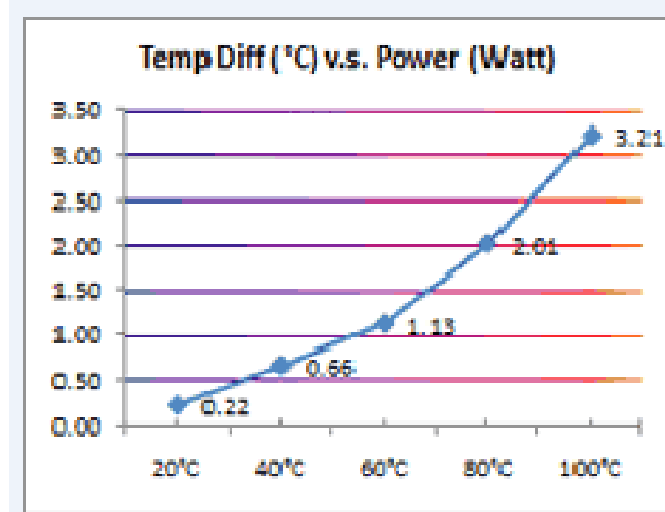


Figura 25: Curva característica da diferença de temperatura em função da potência aplicada para placas SP184827145SA [Fonte: Adaptado por Marlow industries]

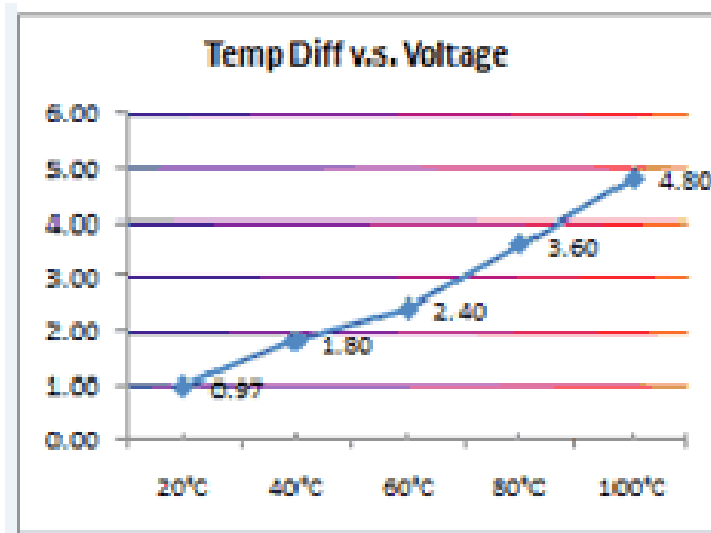


Figura 26: Curva característica da diferença de temperatura em função da tensão aplicada para placas SP184827145SA [Fonte: Adaptado por Marlow industries]

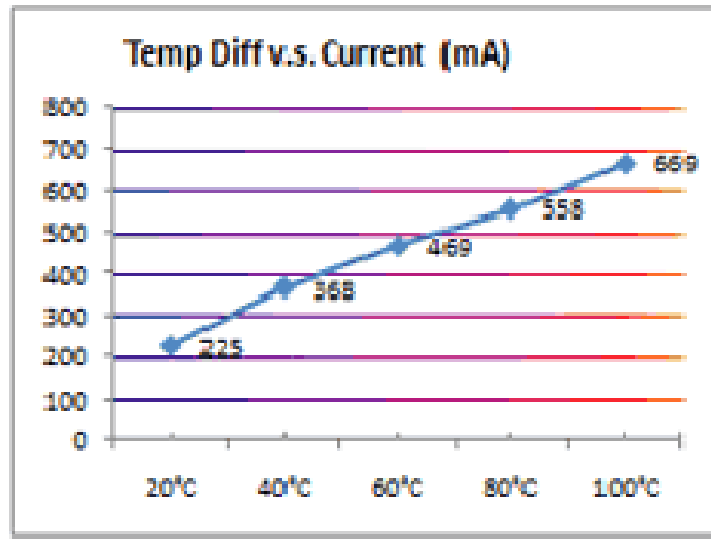


Figura 27: Curva característica da diferença de temperatura em função da corrente para placas SP184827145SA [Fonte: Adaptado por Marlow industries]

Anexo B - Gráfico de Desempenho Padrão da Placa SP1848-27145-AS

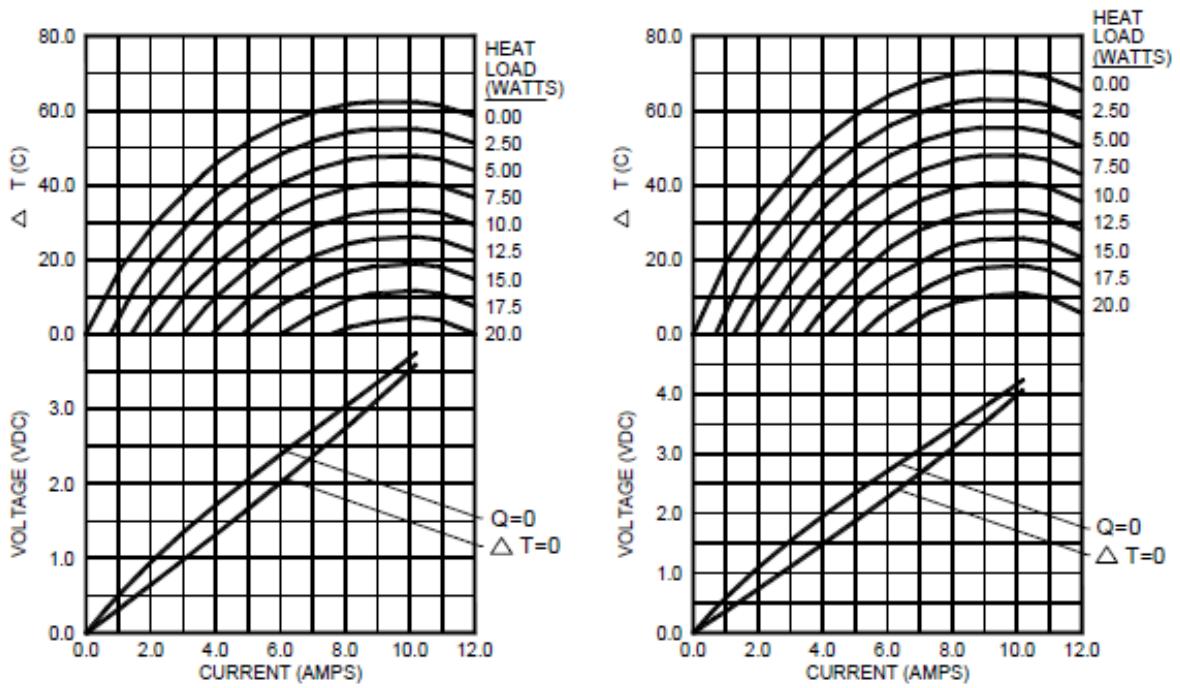


Figura 28: Desempenho padrão de SP184827145SA em vácuo [Fonte: Adaptado por Marlow industries]

Anexo C - Especificações Termoelétricas da Placa TEC1-12706

Th(°C)	27	50	Hot side temperature at environment: dry air, N ₂
DT _{max} (°C)	70	79	Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side
U _{max} (Voltage)	16.0	17.2	Voltage applied to the module at DT _{max}
I _{max} (amps)	6.1	6.1	DC current through the modules at DT _{max}
Q _{Cmax} (Watts)	61.4	66.7	Cooling capacity at cold side of the module under DT=0 °C
AC resistance(ohms)	2.0	2.2	The module resistance is tested under AC
Tolerance (%)	± 10		For thermal and electricity parameters

Figura 29: Folha de características de TEC1-12706 [Fonte: Adaptado por Thermonamic Module]

Anexo D - Curvas de Desempenho Padrão da Placa TEC1-12706 em Vácuo

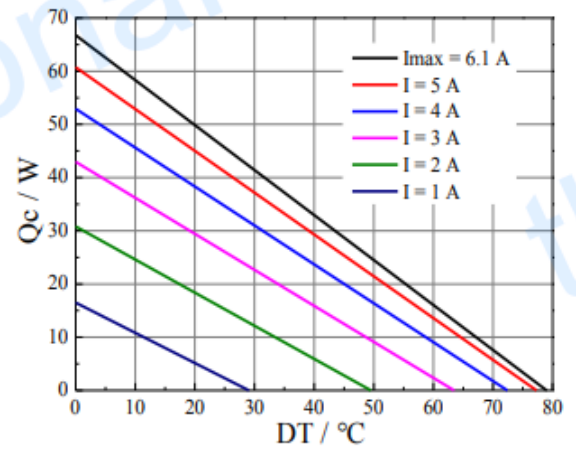
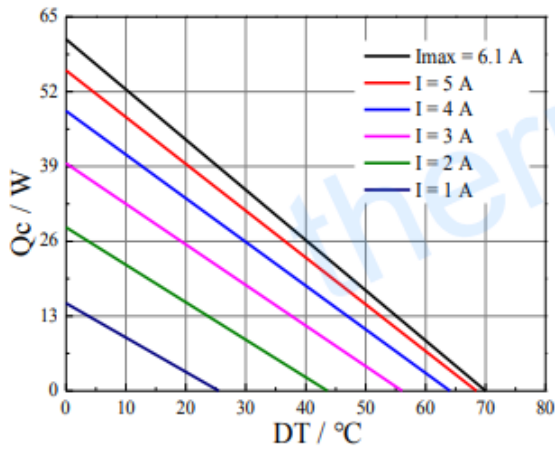


Figura 30: Desempenho padrão de $Q_c = f(DT)$ [Fonte: Adaptado por Thermonamic Module]

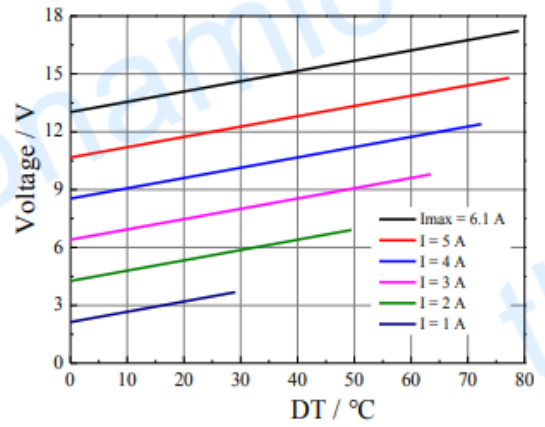
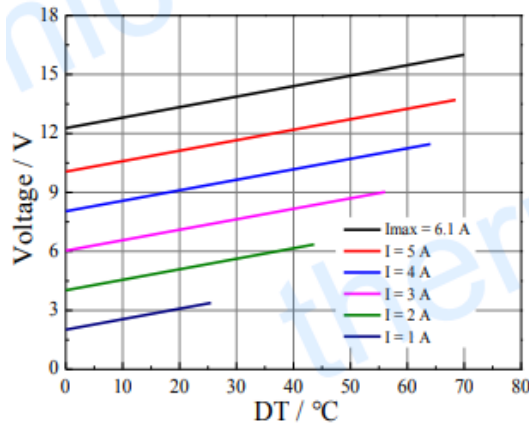


Figura 31: Desempenho padrão de $V = f(\Delta T)$ [Fonte: Adaptado por Thermonamic Module]

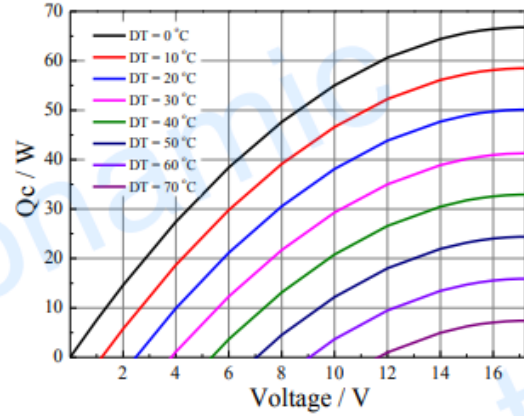
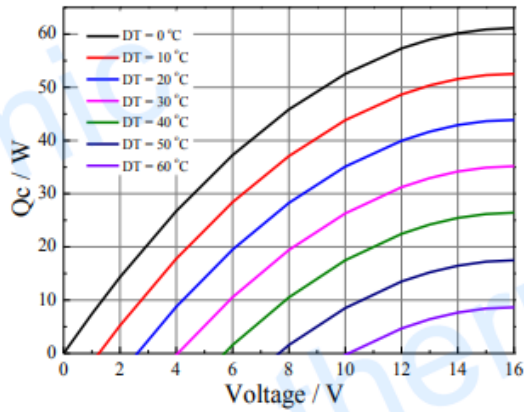


Figura 32: Desempenho padrão de $Q_c = f(V)$ [Fonte: Adaptado por Thermonamic Module]

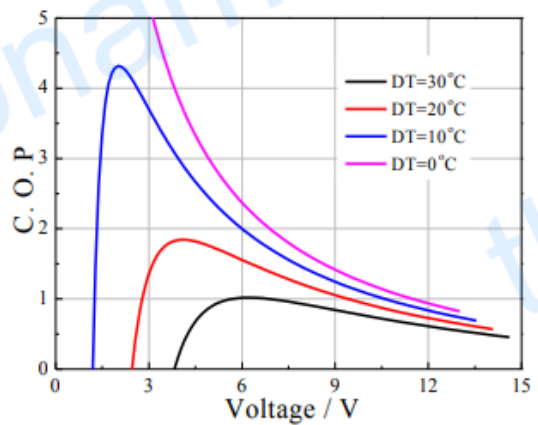
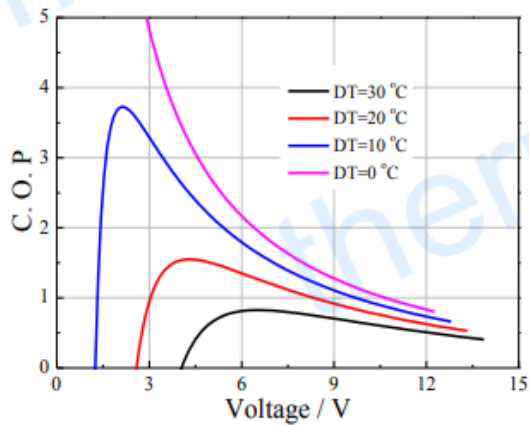


Figura 33: Curva padrão de $COP = f(V)$ entre 0°C à 30°C [Fonte: Adaptado por Thermonamic Module]

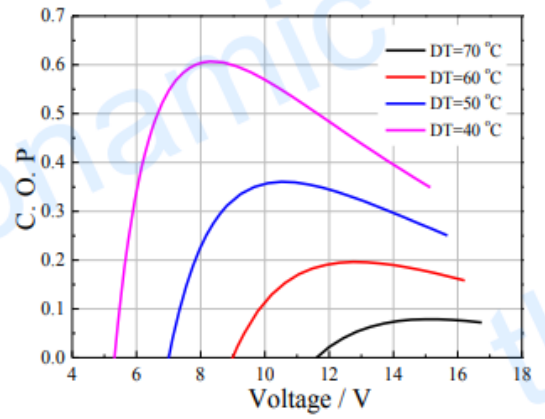
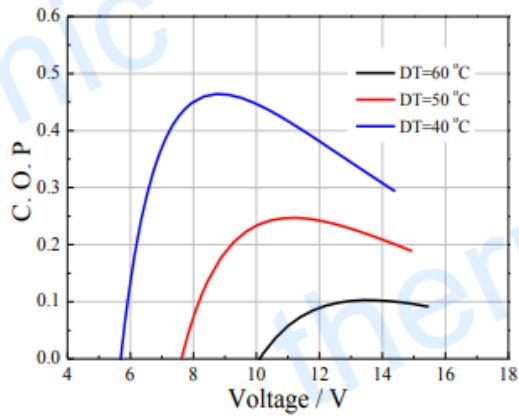


Figura 34: Curva padrão de COP=f(V) entre 40 °C à 60/70 °C [Fonte: Adaptado por Thermonamic Module]

Anexo E - Tubo de Refrigeração e Ajustadores *Trims*



Figura 35: Tubo de refrigeração automotivo [Fonte: Adaptado por Lee & Yoo]



Figura 36: Ajustadores *trims* para AC automotivo [Fonte: Autor]

Anexo F - Plano de Actividades de Estagio Profissional



EXTINGUISHER AND COOL, LDA

PLANO DE ACTIVIDADES DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Extinguisher and Cool, Lda é uma empresa Moçambicana cujo ramo de actividade está relacionado com a mecânica de frios e extinção de fogo, esta empresa opera no mercado moçambicano desde o ano de 2013, prestando serviços de refrigeração de ambientes, frigoríficos e extinção de fogos para os Ministérios de Interior, Ministério de Agricultura entre demais públicos e privados.

A Extinguisher and Cool, Lda está localizada na cidade de Maputo, bairro do Central – Rua Rainha Nomatuku Nº 115, com os números de telefones: 8246404300/ 8446404300 / 844401682

Nome do Dirigente Local: Sra. Esmeralda Rafael Tamele

Nome do Supervisor Técnico: Abul Raúfo Sahal Aly

INFORMAÇÕES ACADÉMICAS

Nome da Instituição de ensino: Universidade Eduardo Mondlane – Faculdade de Engenharia

Nome do Estudante: Henriques Lourenço Manhiça

Curso: Engenharia Electrónica

e-mail: manhicaenriqueslourenco@gmail.com

Telefone para contacto: +258 844771284

A área de estágio segue o estabelecido no plano pedagógico do curso, em que se submete a avaliação do Supervisor Docente, Coordenador e da Comissão Científica da Faculdade, para o curso de Engenharia Electrónica.

Tendo como objectivo, adquirir conhecimentos práticos dos sistemas de refrigeração, condicionamento de ar e extinção de fogos, na perspectiva electrónica, colocando em prática conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

METODOLOGIA

Referência bibliográfica, levantamento em campo, realização do projecto tangível que acompanha o relatório de estágio que é feito sob procedimentos e tutela da Universidade Eduardo Mondlane com apoio da Empresa.

INFORMAÇÕES DO ESTÁGIO

Período de Estágio: 24 de Fevereiro à 23 de Junho de 2018

Carga Horária Total Prevista para o Estágio: 640 Horas

Supervisor do Estágio: Eng.º Julian Garzon

e-mail do Supervisor: vigar50@yahoo.es

Telefone do Supervisor: +258 825444780

Sector onde será desenvolvido o Estágio: Sector de Mecânica de Frio (Ar Condicionados).

ACTIVIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS

Neste período de estágio o estudante Henriques Manhiça, analisará e desenvolverá um sistema de condicionamento de ar automotivo baseado em módulos termoeléctricos para a empresa Extinguisher And Cool, Lda.

O estagiário na empresa poderá ser inserido em grupo de trabalho que atende a refrigeração automotivo deste o condicionamento de ar até refrigeração de veículos frigoríficos, que de acordo com a sua proposta de trabalho de estágio poderá acrescentar valor. Vai igualmente estar inserido em trabalho de montagem de condicionadores de ar.

OBJECTIVOS

Os veículos movidos a motores a explosão precisam gerar energia eléctrica para a iluminação interna e externa, partida do motor, limpador de pára-brisa, setas, buzina, som, etc. Essa energia é gerada no alternador, em corrente alternada, convertida em corrente contínua em um retificador e armazenada na bateria. Uma parcela da potência do motor é consumida pelo sistema de condicionamento de ar, que utiliza o sistema por compressão de vapor. Assim, é objectivo deste trabalho fazer uma pesquisa de modo a utilizar o sistema termoeléctrico para o

condicionamento de ar no interior do veículo, de modo a reduzir a utilização da potência do motor. Isso certamente levará a uma economia de combustível.

CRONOGRAMA

Actividades	Março	Abril	Maior	Junho
Adaptação do momento inicial junto ao supervisor	X			
Planejamento de actividades		X		
Actividades em campo	X	X	X	X
Supervisão	X	X	X	X
Elaboração de relatório	X	X	X	X
Elaboração do prototipo			X	X
Entrega de relatório				X

Tabela 7: Cronograma de actividades de estágio

Anexo G - ACTA DE ENCONTROS REGULARES



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:		Data:	
---------------------	--	-------	--

1. AGENDA:

2. PRESENÇAS

Supervisor	
Co-Supervisor	
Estudante	
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

4. RECOMENDAÇÕES:

5. OBSERVAÇÕES

--

6. DATA DO PROXIMO ENCONTRO

--

Anexo H - RELATÓRIO DE PROGRESSO



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELECTROTÉCNICA

Relatório de Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA:	
---------------------	--

1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

ACTIVIDADE	PRAZO PREVISTO
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	

2. CONTROLE DE EXECUÇÃO

ACTV.	DATA	ESTAGIO (%)	OBSERVAÇÕES	RÚBRICA
1				
2				
3				
4				
5				

3. INDICAÇÃO TENTATIVA DA CONCLUSÃO DO TL (ao 4º encontro)	
--	--

Anexo I - TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELECTROTÉCNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante _____
entregou no dia ___/___/20__ as ___ cópias do relatório do seu Trabalho de
Licenciatura com a referência: _____
intitulado: _____

Maputo, ___ de _____ de 20__

O Chefe de Secretaria
