

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

FERNANDO MULERO CRICA

**SISTEMA DE CONTROLE DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO
VIA MEDIÇÃO INFRAVERMELHO DA TEMPERATURA CORPÓREA
DO MOTORISTA**

Santo André

2019

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

FERNANDO MULERO CRICA

**SISTEMA DE CONTROLE DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO
VIA MEDIÇÃO INFRAVERMELHO DA TEMPERATURA CORPÓREA
DO MOTORISTA**

Trabalho de Conclusão de
Curso entregue à Fatec Santo André
como requisito parcial para obtenção
do título de Tecnólogo em Eletrônica
Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Edson C. Kitani

Santo André

2019

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 29 de Junho de 2019

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: "SISTEMA
DE CONTROLE DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO VIA MEDIÇÃO
INFRAVERMELHO DA TEMPERATURA CORPÓREA DO MOTORISTA"
DO ALUNO DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCAPRESIDENTE:
PROF. EDSON CAORU KITANIMEMBROS:
PROF. FERNANDO GARUP DALBO

PROF. LUIS ROBERTO KANASHIRO

ALUNO :FERNANDO MULERO CRICA FERNANDO M. CRICA

C928s

Crica, Fernando Mulero

Sistema de controle de ar condicionado automotivo via medição infravermelho da temperatura corpórea do motorista / Fernando Mulero Crica. - Santo André, 2019. – 71f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Eletrônica. 2. Automóveis. 3. Ar condicionado. 4. Climatização. 5. Temperatura corporal. 6. Software. 7. Sensor infravermelho. 8. Arduino. 9. Sensor ultrassom. I. Sistema de controle de ar condicionado automotivo via medição infravermelho da temperatura corpórea do motorista.

Dedico este trabalho a minha família, aos amigos que sempre estiveram próximos durante esta longa jornada e a todo corpo docente da FATEC Santo André.

AGRADECIMENTOS

O meu agradecimento é primeiramente a Deus que é bom a todo momento, sempre nós abençoando de saúde, fé e sabedoria para enfrentar momentos de angústia e de novos desafios encontrados todos os dias.

Aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado com apoio físico e/ou mental, e pela compreensão de não estar presente em alguns momentos de família. Eles entendiam que eu estava estudando, aprendendo e crescendo profissionalmente.

Aos meus colegas da FATEC que sempre foram muito prestativos e ao corpo docente pela dedicação e paciência durante o meu aprendizado.

Ao meu orientador Prof. Edson Caoru Kitani, que em muitos momentos quando eu achava que não conseguiria atingir meus objetivos, com poucas palavras e de uma forma incisiva me fez enxergar novos caminhos dando uma nova direção ao meu projeto.

Ao Prof. Fernando Garup Dalbo, pelas sugestões dadas ao longo do projeto e pela paciência demonstrada quando surgiam as dificuldades.

Chego ao fim dessa jornada com novos conhecimentos e a certeza de que nunca sabemos tudo, sempre há algo novo a ser aprendido.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

RESUMO

Neste trabalho será apresentado um método de controle da temperatura interna de um veículo, utilizando o *feedback* da temperatura corporal do motorista. A temperatura corporal é onde identificamos a melhor condição de conforto térmico e baseado nessa informação, o sistema de climatização irá atuar de forma autônoma no controle do fluxo de ar.

O método utilizado para medir a temperatura corporal, será a da radiação térmica do corpo humano utilizando um sensor infravermelho e também um sensor ultrassom para medir a distância do condutor em relação ao sensor, dessa forma realizaremos possíveis correções de temperatura em função da distância.

Também será descrito de uma forma simplificada o funcionamento do sistema de climatização veicular, quais são os tipos de trocas térmicas e as reações do corpo humano quando exposto a condições térmicas desfavoráveis.

Palavras chaves: Temperatura corporal, climatização veicular, Arduino, MLX90614, sensor infravermelho (IR), HC-SR04, sensor ultrassom.

ABSTRACT

In this work, a method of controlling the internal temperature of a vehicle will be presented, using feedback from the driver's body temperature. The body temperature is where we identify the best condition of thermal comfort and based on this information, the air conditioning system will act in an autonomous way in the control of airflow.

The method used to measure body temperature will be that of the thermal radiation of the human body using an infrared sensor and also an ultrasonic sensor to measure the distance of the conductor from the sensor, in this way we will realize possible temperature corrections as a function of the distance.

It will also be described in a simplified way the operation of the vehicle air conditioning system, what are the types of thermal changes and the reactions of the human body when exposed to unfavorable thermal conditions.

Key words: Body temperature, vehicle air conditioning, Arduino, MLX90614, infrared sensor (IR), HC-SR04, ultrasonic sensor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Incidência de raios infravermelhos sobre a Terra.	14
Figura 2 - História do sistema de climatização veicular.....	15
Figura 3 - Segurança para os ocupantes com as janelas fechadas.....	16
Figura 4 - Vidro Dianteiro com boa visibilidade. A imagem à esquerda está com o vidro embaçado e à direita sem o embaçamento.	17
Figura 5 - Componentes do sistema de climatização veicular.....	18
Figura 6 - Unidade de controle analógico do ar condicionado.....	19
Figura 7 - Indicação da montagem do sensor de temperatura.....	20
Figura 8 - Unidade de controle digital com controle da temperatura.....	20
Figura 9 - Conceito de controle automático através da temperatura corpórea do motorista.....	21
Figura 10 - Funcionamento da unidade HVAC.....	22
Figura 11 - Circuito do condensador.	23
Figura 12 - Compressor do sistema de climatização.....	23
Figura 13 - Circuito do evaporador.....	25
Figura 14 - Localização do Hipotálamo.....	26
Figura 15 - Mecanismos de controle da temperatura corporal.....	28
Figura 16 - Representação da pele humana.....	29
Figura 17 - Sistemas de trocas térmicas.....	30
Figura 18 - Radiação térmica do corpo humano.....	31
Figura 19 - Blocos identificados de uma placa Arduino UNO.....	33
Figura 20 - Pinout Atmega 328.....	34
Figura 21 - Sensor ultrassom HC-SR04.....	35
Figura 22 - Funcionamento do sensor ultrassom (HC-SR04).....	36
Figura 23 - Transmissão de dados HC-SR04.....	37

Figura 24 - Ligação do Sensor HC-SR04 no Arduino UNO.....	38
Figura 25 - Módulo de reles SRD-05VDC.	38
Figura 26 - Conatos de um rele.....	39
Figura 27 - Sensor infravermelho de temperatura MLX90614.....	40
Figura 28 - Definição dos pinos do sensor MLX-90614.....	41
Figura 29 - Diagrama de blocos.	42
Figura 30 - Modelos de FOV.	45
Figura 31 - Medição do campo de visão.....	45
Figura 32 - FOV típico de MLX90614xAA.	46
Figura 33 - FOV típico de MLX90614xCC.	46
Figura 34 - Ligação do MLX90614 ao Arduino UNO.	47
Figura 35 - Placa com os 2 sensores unificados vista dos componentes.....	48
Figura 36 - Fonte de calor para medir variação da temperatura x distância.....	49
Figura 37 - Termômetro a laser digital da marca Raytec.....	49
Figura 38 - Dispositivo de calor com escala entre o sensor.	50
Figura 39 - Montagem do sensor no interior do veículo.	53
Figura 40 - Conexão das saídas dos reles no chicote original do sistema de climatização.....	53
Figura 41 - Disposição dos componentes montados no interior do veículo.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU	Organização das Nações Unidas
ASHRAE	Associação Americana de Engenheiro de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado
HVAC	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
ECU	Unidade de Controle Eletrônico
PWM	Modulação por Largura de Pulso
USB	Porta Universal
ICSP	Programação Serial em Circuito
RISC	Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
GND	Filtro Graduado de Densidade Neutra
IR	Infravermelho
ASSP	Produto Padrão Específico de Aplicação
PTAT	Proporcional ao Sensor de Temperatura Absoluta
FOV	Campo De Visão

SUMÁRIO

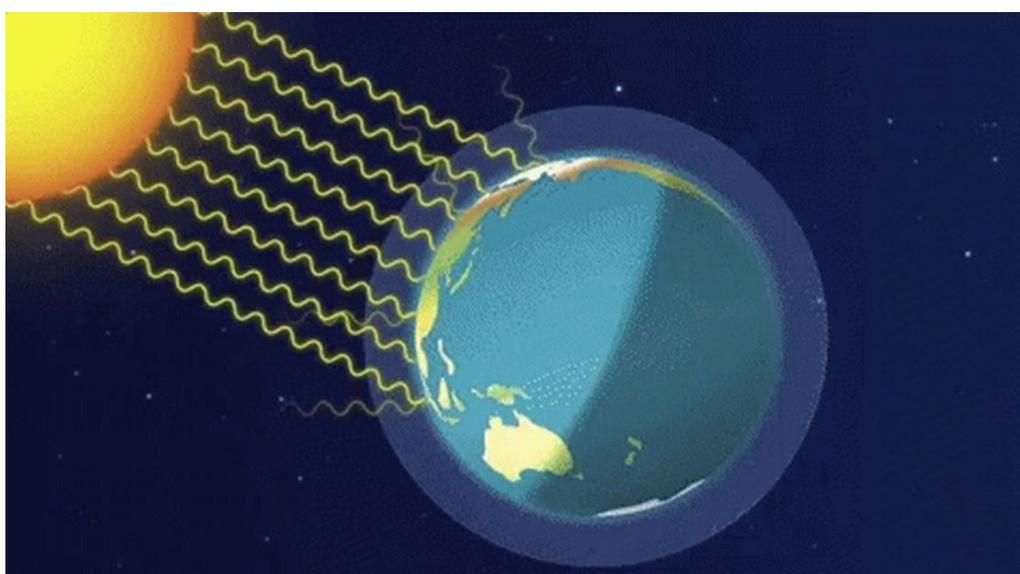
1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	15
1.2	Objetivos e Metas	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Ar condicionado.....	17
2.1.1	Unidade de controle	18
2.1.1.1	Analogico sem controle de temperatura.....	18
2.1.1.2	Digital com controle de temperatura.....	20
2.1.2	Controle automático da climatização.....	21
2.1.3	Unidade HVAC	22
2.1.4	Condensador.....	22
2.1.5	Compressor.....	23
2.1.6	Evaporador.....	24
2.2	Termorregulação no ser humano	25
2.2.1	Sistema homeostático.....	26
2.2.2	Respostas homeostáticas na regulação da temperatura.....	27
2.2.3	Pele, principal órgão termorregulador.....	28
2.3	Mecanismos de trocas térmicas.....	29
2.3.1	Radiação.....	30
2.3.2	Condução	31
2.3.3	Convecção.....	31
2.3.4	Evaporação	32
3	DESENVOLVIMENTO	33
3.1	Arduino UNO	33

3.1.1	Microcontrolador do Arduino UNO	34
3.2	Sensor Ultrassom HC-SR04	34
3.2.1	Funcionamento do HC-SR04	35
3.2.2	Conectando o sensor HC-SR04 ao Arduino UNO	37
3.3	Módulo de reles SRD-05VDC	38
3.3.1	Princípio de funcionamento de rele	39
3.4	Sensor infravermelho de temperatura - MLX90614.....	39
3.4.1	Definição e descrição dos pinos	40
3.4.2	Descrição detalhada do funcionamento do MLX90614	41
3.4.3	Memória RAM – MLX90614	42
3.4.4	Protocolo de 2 fios compatível com SMBus	43
3.4.5	Temperatura ambiente (Ta).....	43
3.4.6	Temperatura do objeto (To)	44
3.4.7	Campo de visão (FOV).....	44
3.4.8	Conectando o Sensor MLX90614 ao Arduino UNO	47
4	ANÁLISE E RESULTADOS	48
4.1	Comportamento do sensor MLX90614 x distância	48
4.1.1	Resultados obtidos	50
4.2	Comportamento do sensor MLX90614 montado no veículo.....	52
5	CONCLUSÕES.....	56
6	PROJETOS FUTUROS	57
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1 INTRODUÇÃO

Nas condições atuais, segundo Braziliense (2018), a incidência de raios infravermelhos sobre a Terra elevará em 1,5°C até 2040 a sua temperatura média como ilustra a figura 1. Esse será o primeiro dos tetos, fixados pelo Acordo de Paris, que será atingido salvo se os Governos não agirem de forma urgente, segundo um rascunho do grupo de especialistas da ONU.

Figura 1 - Incidência de raios infravermelhos sobre a Terra.



Fonte: <https://tenor.com/view/global-warming-gif-13708789>.

Pode até parecer um valor insignificante, mas entre 1,5°C e 2°C na elevação da temperatura há um grande impacto ambiental como por exemplo: aumento na intensidade dos ciclones, aumento de secas, escassez de fontes de água, degelo das calotas glaciais que causam a elevação do nível do mar, e etc.

Além desse aumento na temperatura média, outros fatores têm influenciado o crescimento do sistema de climatização em veículos. O aumento do trânsito nas grandes cidades (aumentando o tempo dentro do veículo), o ruído devido à grande quantidade de veículos circulando pelas ruas e a falta de segurança. Com isso, o sistema de climatização deixa de ser um item exclusivo de veículos *premium* e passa a equipar também os modelos de entrada ou de baixo custo.

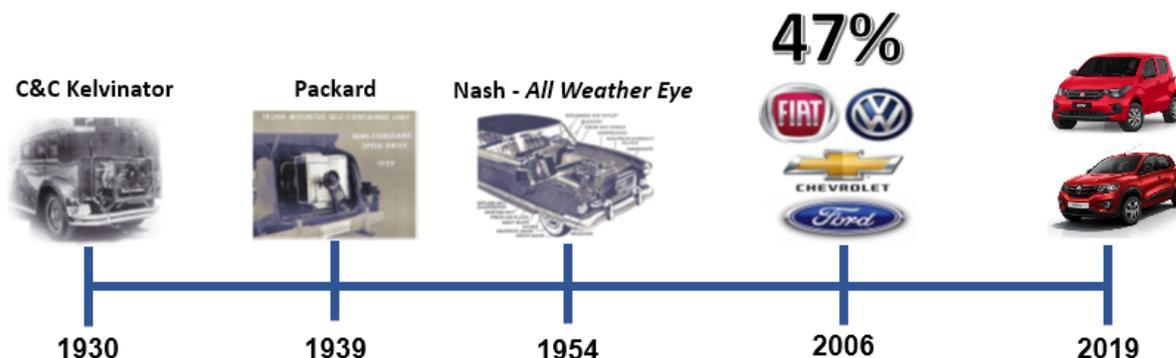
1.1 Motivação

A história do sistema de climatização veicular, como ilustrado na figura 2, teve seu início em 1930 com a C&C Kelvinator, mas o sistema apareceu em um veículo de produção em série somente em 1939, dando início ao desenvolvimento do sistema em veículos.

O sistema conhecido como *All Weather Eye*, desenvolvimento pela Nash em 1954, foi o primeiro sistema de climatização veicular com controle de alavanca único, pioneiro no controle automático das quatro estações.

Por muitos anos o ar-condicionado foi considerado um item de luxo nos veículos vendidos no Brasil. Em 2006 apenas 47% dos veículos produzidos pelas quatro grandes montadoras possuíam esse sistema. Segundo Carro (2019), atualmente apenas dois modelos zero-quilômetro podem ser comprados sem o equipamento, as versões de entrada do Fiat Mobi e do Renault Kwid.

Figura 2 - História do sistema de climatização veicular.



Fonte: PPT das aulas de climatização veicular, Carros (2019).

O ar-condicionado deixou de ser considerado apenas como um item de conforto térmico e se tornou também muito importante para a segurança dos ocupantes do veículo. Essa segurança está relacionada com o fato de que os veículos podem trafegar com as janelas fechadas sem ter um desconforto térmico, como ilustrado a figura 3.

Figura 3 - Segurança para os ocupantes com as janelas fechadas.



Fonte: <https://www.vw.com.br/app/configurador/vw-br/pt/fox/30307/37437/xtreme>.

Porém, na maioria dos veículos o controle do sistema de climatização depende da ação do motorista para selecionar a temperatura ideal no interior do veículo, diminuindo assim a atenção durante a condução do veículo.

1.2 Objetivos e Metas

Este trabalho tem por objetivo o gerenciamento do sistema de climatização veicular utilizando a temperatura corporal do condutor por meio de um sensor infravermelho (IR) e um sensor ultrassom, que irá compensar as diferenças de temperaturas de acordo com a distância entre o motorista e o sensor IR.

A leitura da temperatura corporal neste projeto será realizada na região da face do motorista. Será medida a radiação infravermelho gerada através da pele humana. O microcontrolador irá processar esses valores e por meio de um *hardware* fará o controle do fluxo de ar do sistema de climatização.

Assim que a temperatura corporal do motorista atingir a temperatura ideal o microcontrolador irá adotar uma estratégia para que o sistema de climatização veicular mantenha essa temperatura o mais estável possível, proporcionando conforto térmico e reduzindo o fator de desatenção do motorista, visto que não se faz necessário o controle de temperatura nem do de fluxo de ar do sistema.

O funcionamento mecânico não sofrerá modificações, podendo assim ser adaptado para qualquer tipo de sistema em que o seu funcionamento seja manual, transformando o sistema para atuar de forma automática.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

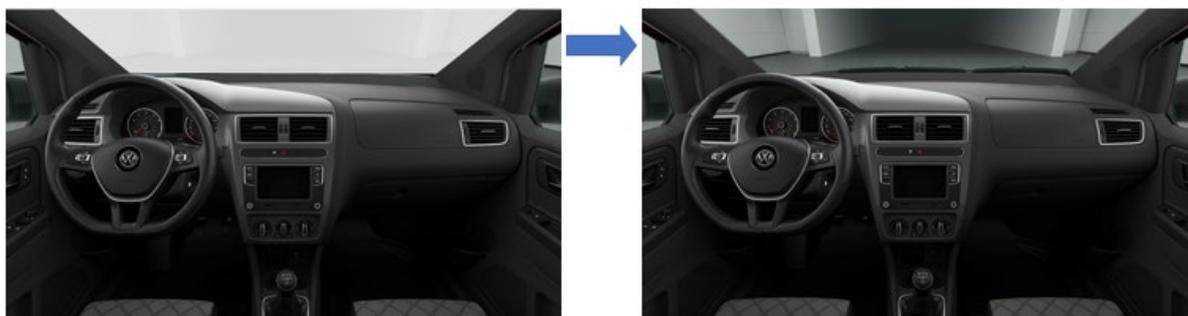
Nesse capítulo serão abordadas referências sobre o funcionamento do sistema de climatização e os seus principais componentes, a importância da temperatura corporal no ser humano e as suas reações quando está em desconforto térmico, finalizando o capítulo com os tipos de trocas térmicas.

2.1 Ar condicionado

Segundo Maran (2016), o objetivo do sistema de ar-condicionado é proporcionar conforto térmico aos passageiros, através do controle da temperatura, controle da umidade e redução dos poluentes e segundo ASHRAE (2010), o conforto térmico é o estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve as pessoas.

O sistema de climatização deve proporcionar um clima confortável para todos os ocupantes do veículo mesmo em condições desfavoráveis, permitindo uma operação segura do veículo em todas as condições climáticas, deixando toda área envidraçada com boa visibilidade, como ilustrado a figura 4.

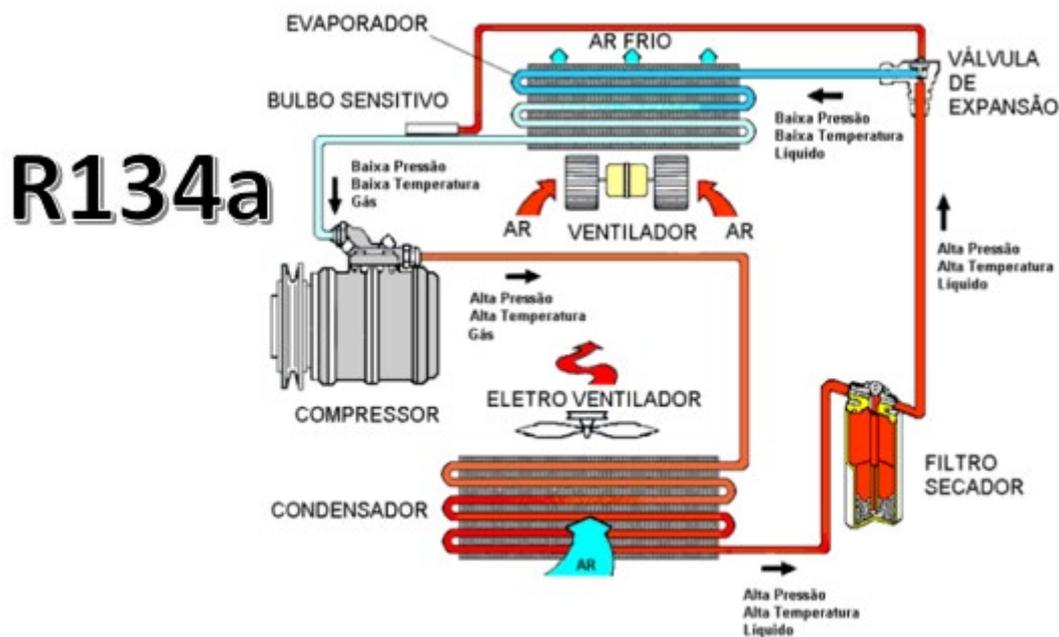
Figura 4 - Vidro Dianteiro com boa visibilidade. A imagem à esquerda está com o vidro embaçado e à direita sem o embaçamento.



Fonte: <https://www.vw.com.br/app/configurador/vw-br/pt/fox/30307/37437/xtreme>.

O ar-condicionado para veículos de passeio consiste de um compressor, condensador, filtro secador, válvula de expansão, evaporador, dispositivo de controle e unidade de condicionamento de ar, onde estão os dutos que controlam o direcionamento do ar e o ventilador que controla o fluxo de ar, como ilustrado na figura 5.

Figura 5 - Componentes do sistema de climatização veicular.



Fonte: <http://marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/refrigeracao/CursoArCondicionadoAuto.pdf>.

A função de um sistema de climatização nada mais é do que a troca de temperatura do ambiente interno com o ambiente externo. O calor e a umidade do interior do veículo são resfriados pelo evaporador e dissipados para o ambiente externo através do condensador, o compressor é o componente responsável por transportar e comprimir o gás refrigerante (R134a) por todo o circuito de climatização do veículo.

2.1.1 Unidade de controle

A unidade de controle ou painel de controle é a interface entre o usuário e o sistema de climatização que permite seus ajustes de conforto térmico de acordo com a necessidade. O controle da temperatura e do fluxo de ar, são ajustados através desse painel de controle, que pode ser do tipo analógico sem controle de temperatura ou digital com controle de temperatura.

2.1.1.1 Analógico sem controle de temperatura

O ajuste do controle da temperatura, direcionamento do fluxo de ar e intensidade do fluxo de ar é feito de forma manual e depende da ação do motorista como ilustra a figura 6. Esse tipo de controle se faz presente em veículos populares, devido a relação custo/benefício.

O controle da temperatura do ar mostrado no item (1), é feito através de um botão rotativo onde, a indicação azul proporciona um ar mais frio e a indicação vermelha proporciona um ar mais quente, outros valores intermediários de temperatura também podem ser selecionados, dependendo da sensação térmica do motorista.

O controle da intensidade do fluxo de ar mostrado no item (2), possui uma escala numérica, é onde o usuário seleciona a vazão de ar necessária para o seu conforto térmico.

O controle do direcionamento do fluxo de ar mostrado no item (3), possui ilustrações que identificam qual a direção que o fluxo de ar irá adotar, o direcionamento é feito através das portinholas montadas no interior da unidade HVAC.

Figura 6 - Unidade de controle analógico do ar condicionado.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

2.1.1.2 Digital com controle de temperatura

Esse sistema digital com controle da temperatura funciona através de um *feedback* de um sensor montado na saída do ar, como ilustrado na figura 7. A temperatura do ar, o direcionamento do fluxo de ar e intensidade do fluxo de ar também são realizados de forma manual e depende da ação do usuário. Esse tipo de controle se faz presente em veículos *premium*.

Figura 7 - Indicação da montagem do sensor de temperatura.



Fonte: <https://minhaoficina.net/ar-condicionado-automotivo-como-funciona-como-solucionar-problemas>.

O painel de controle digital do ar condicionado ilustrado na figura 8, permite ao motorista a visualização da temperatura do ar de através de um *display*. Porém, a temperatura que chega até o usuário não será aquela selecionada, pois existe uma diferença entre a distância da saída do ar e o motorista, o que causa perda de calor para o ambiente interno do veículo.

Figura 8 - Unidade de controle digital com controle da temperatura.



Fonte: <https://www.auto-online.com.tw/album/76/1395129376.jpg>.

A distribuição do ar e a intensidade do fluxo de ar, também devem ser selecionados pelo motorista, sendo assim apenas a temperatura é controlada pela unidade de controle.

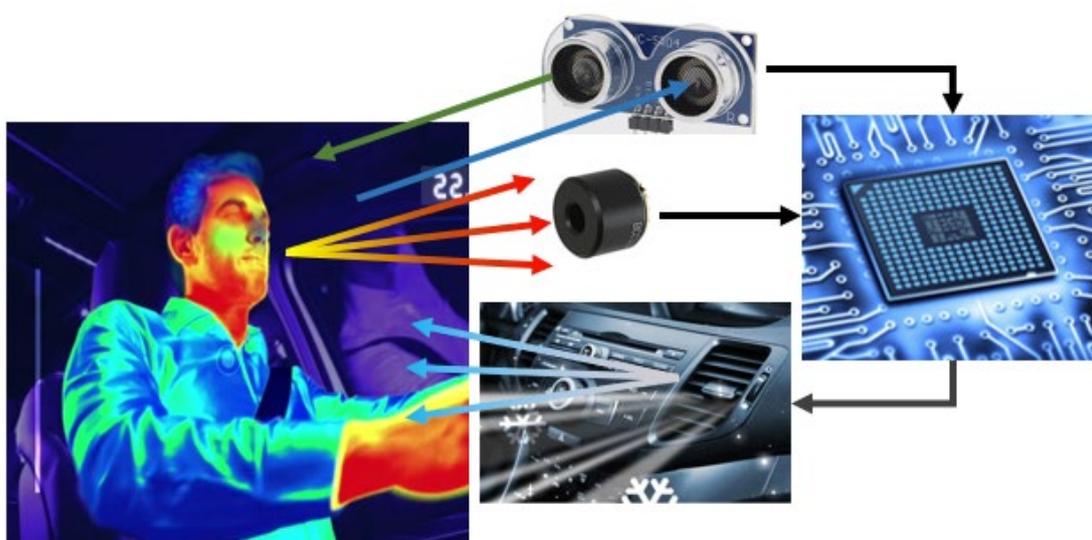
O modo auto, gerencia o fluxo de ar e a distribuição do ar no interior do veículo através da temperatura selecionada. O gerenciamento da função auto é diferente entre os diversos veículos. Quem define a melhor estratégia de funcionamento é o fabricante do veículo. Porém, todos os sistemas têm como finalidade proporcionar uma temperatura constante no interior do veículo.

2.1.2 Controle automático da climatização

Segundo Bosch (2005), o controle automático da climatização é bastante útil, pois para os ocupantes do veículo é muito difícil controlar e realizar todos os ajustes necessários para obter um clima confortável.

Utilizando esse conceito de controle automático, o sistema desenvolvido nesse trabalho terá como referência a radiação térmica da temperatura corporal do condutor. O sensor infravermelho e o sensor ultrassom, forneceram informações ao microcontrolador, que irá gerenciar o fluxo de ar do sistema original do veículo como ilustra a figura 9, tentando reduzir todos os fatores que podem influenciar no conforto térmico.

Figura 9 - Conceito de controle automático através da temperatura corpórea do motorista.

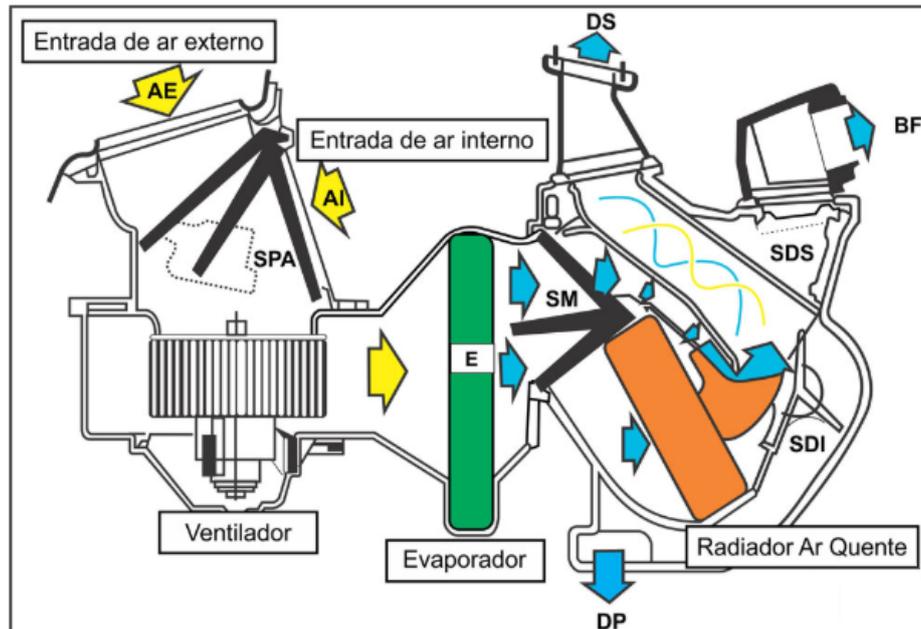


Fonte: Adaptação do autor, 2019.

2.1.3 Unidade HVAC

A unidade de aquecimento, ventilação e ar condicionado ilustrado na figura 10, é responsável por manter o ar no interior do veículo a uma temperatura predefinida misturando o ar frio recebido pelo evaporador e o ar quente da unidade do aquecedor.

Figura 10 - Funcionamento da unidade HVAC.

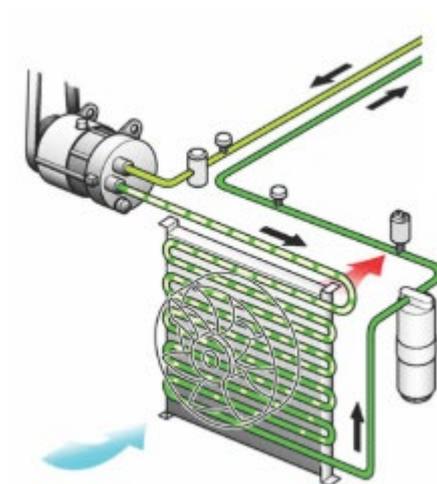


Fonte: (MARAN, 2016).

2.1.4 Condensador

O condensador localizado na frente do veículo, ilustrado na figura 11, tem a função de dissipar o calor absorvido no interior da cabine para o meio ambiente. Ele deve ter uma boa vazão de ar, sendo necessário um ventilador elétrico ou mesmo o ventilador do motor para ajudar essa vazão de ar tornando-o mais eficiente.

Figura 11 - Circuito do condensador.



Fonte: (MARAN, 2016).

O gás quente é introduzido na parte superior do condensador e o calor vai ser dissipado nas aletas. A medida que o gás resfria, ele condensa e sai pela parte inferior do condensador no estado líquido a alta pressão.

2.1.5 Compressor

O compressor ilustrado na figura 12, é responsável por comprimir e transferir o fluido refrigerante por todo o sistema de climatização através da tubulação, passando por vários componentes importantes do sistema.

Figura 12 - Compressor do sistema de climatização.



Fonte: (MAHLE, 2018).

O seu funcionamento depende da ativação via botão no painel de controle, onde uma embreagem magnética o acopla através de uma polia ligada por uma correia ao motor do veículo.

Atualmente, existem vários modelos de compressores, na qual cada um tem suas vantagens e desvantagem. Como o foco desse projeto não é avaliar esse componente, isso não será detalhado.

2.1.6 Evaporador

Localizado na caixa de ventilação do veículo, o evaporador trabalha como o componente de absorção de calor e umidade.

O evaporador tem duas funções:

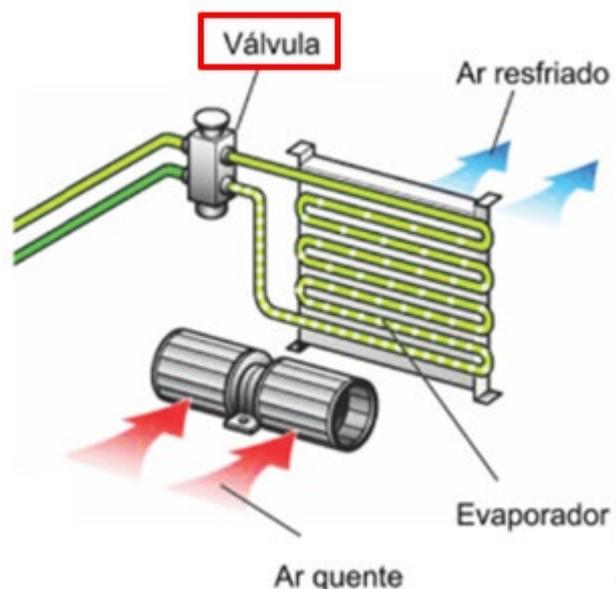
- Função primária: remover calor do interior do veículo;
- Função secundária: Desumidificar o ar que entra no veículo.

O ar quente e úmido passa através das aletas do evaporador, essa umidade condensa na superfície do evaporador e sai pelo dreno. Esse fenômeno é facilmente observado nos veículos, pela água acumulada na superfície em que o veículo está parado.

Um sensor de temperatura que está acoplado ao evaporador, tem a finalidade de monitorar a temperatura de trabalho. Essa temperatura não poderá ser inferior à 0°C, o que congelaria o fluido refrigerante em seu interior, causando uma deficiência no funcionamento do sistema.

A unidade de controle recebe o *feedback* desse sensor, e através da válvula de expansão ilustrado na figura 13, controla a pressão de trabalho no evaporador. Em resumo, a função principal é manter a pressão do evaporador baixa e evitar que o líquido dentro do evaporador congele.

Figura 13 - Circuito do evaporador.



Fonte: (MARAN, 2016).

Existem também outros tipos de controle da temperatura e pressão do sistema, mas nesse trabalho será usado como exemplo o sistema instalado no veículo utilizado no projeto.

2.2 Termorregulação no ser humano

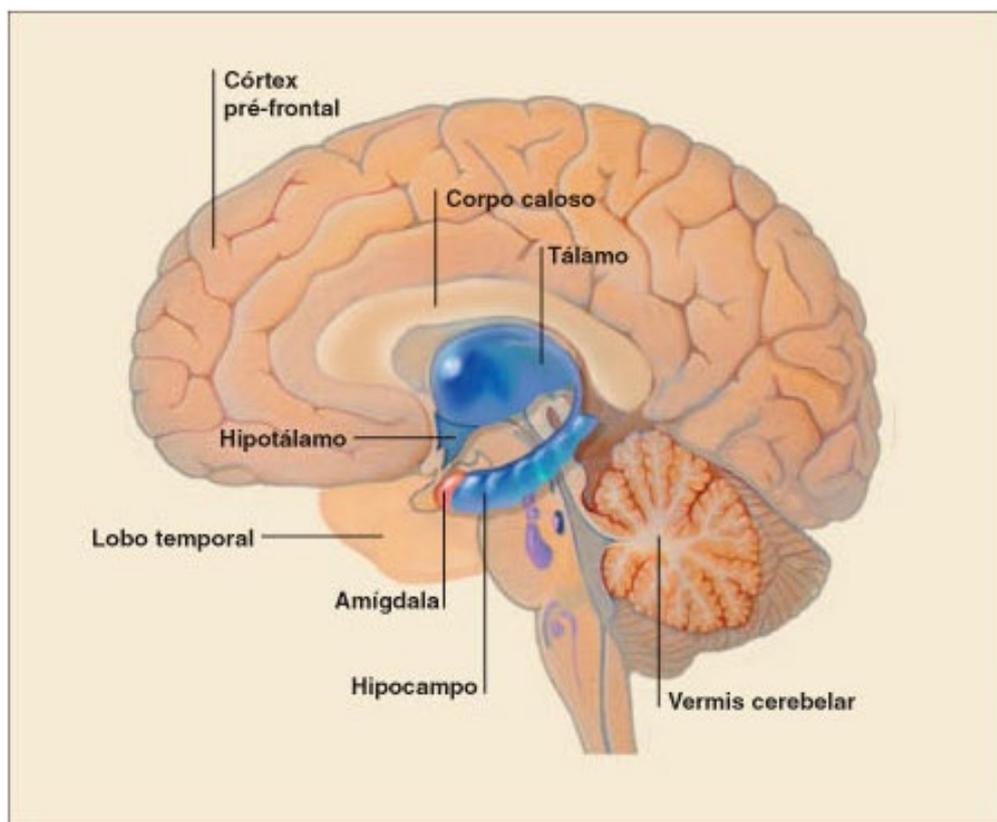
A termorregulação humana pode ser entendida, segundo Braz (2005), como um conjunto de mecanismos que estabilizam a temperatura do corpo das variações externas, de forma a mantê-la dentro de valores compatíveis quando estamos sob condições térmicas desfavoráveis.

Esses mecanismos são ativados quando o nosso corpo está perdendo ou ganhando calor para o ambiente, causando sensações de frio ou de calor, isso se faz necessário afim de manter a temperatura corporal constante.

“Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, desse ponto de vista, é máxima.” (FROTA, 2001, p. 15). É uma clara definição sobre a influência da sensação térmica nos seres humanos.

O hipotálamo ilustrado na figura 15, está localizado no cérebro, fazendo parte do sistema nervoso central. Uma de suas funções é ajudar a manter o corpo em um estado constante e estável de temperatura através da produção de hormônios.

Figura 14 - Localização do Hipotálamo.



Fonte: (HUMANO, 2018).

Afirma Hall (2011), que o ponto de ajuste hipotalâmico é de aproximadamente $37,1^{\circ}\text{C}$ e segundo seus estudos, a temperatura da pele tem que ser maior que 26°C para que não haja produção de calor pelo corpo. Portanto, nesse projeto iremos utilizar a temperatura antes do ponto de ajuste, que será 28°C .

2.2.1 Sistema homeostático

A regulação homeostática ilustrada no quadro 1, refere-se ao conjunto de processos que os sistemas biológicos utilizam para se manter a estabilidade da qual o organismo necessita para realizar suas funções de forma equilibrada, assegurando a manutenção da sua integridade física e fisiológica.

Observe pelo quadro as diversas ações que o sistema biológico realiza para manutenção da temperatura corpórea, tais como: sudorese quanto está com calor, ou eriçamento dos pelos e tremuras, quando o corpo está com frio.

Quadro 1 - Sistema homeostático.

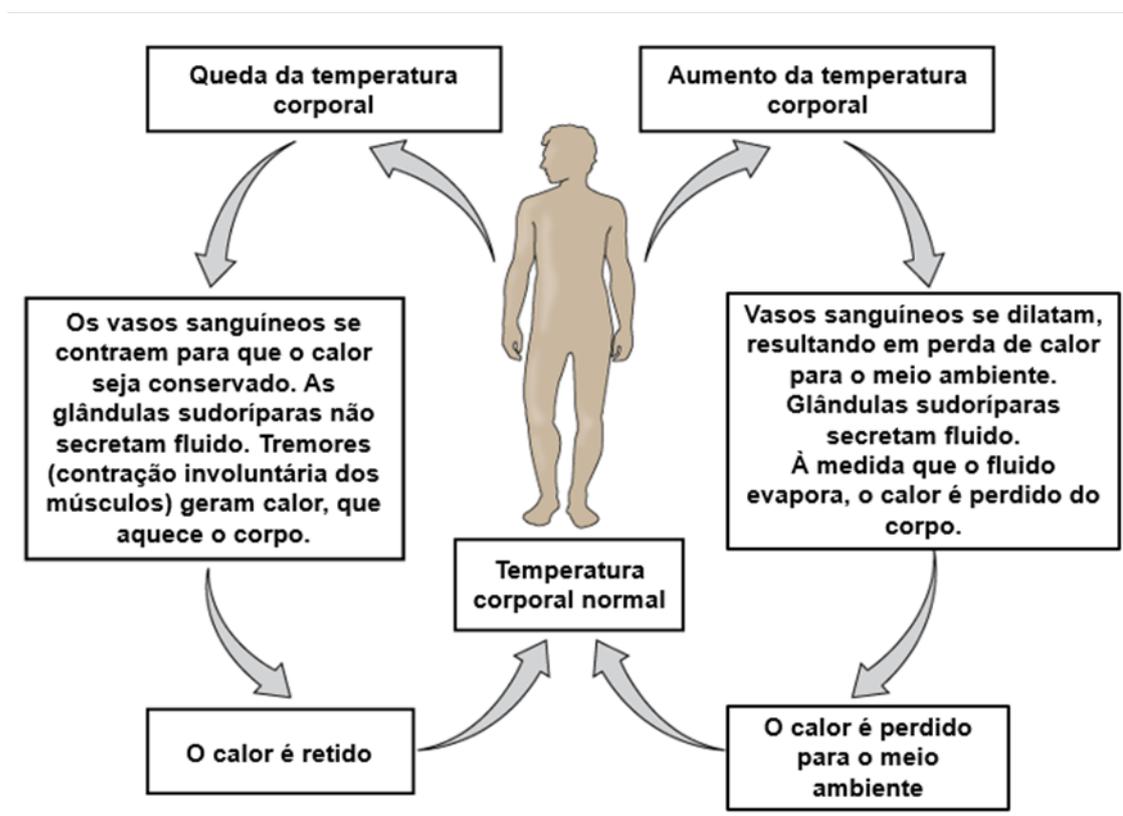
Estimulo detectado pelos termo receptores	Órgão integrador do estímulo	Órgão efector	Resposta	Consequência
Diminuição da temperatura	Hipotálamo	Capilares periféricos	Vasoconstrição (contração dos vasos sanguíneos)	Menor dissipação de calor à superfície da pele
		Músculos eretores dos pelos	Ereção dos pelos	Retenção de ar quente junto à superfície da pele.
		Músculos esqueléticos	Contração muscular (tremuras e arrepios)	Aumento da produção de calor.
Aumento da temperatura	Hipotálamo	Capilares periféricos	Vasodilatação (dilatação dos vasos sanguíneos)	Maior dissipação de calor à superfície da pele.
		Glândulas sudoríparas	Produção de suor (sudorese)	Queda da temperatura à superfície da pele.

Fonte: (FROTA, 2001).

2.2.2 Respostas homeostáticas na regulação da temperatura

Quando a temperatura corporal atinge um valor acima ou abaixo de seu ponto ideal, o organismo ativa mecanismos para manter a sua temperatura em estado homeostático, como pode ser observado na ilustração da figura 15.

Figura 15 - Mecanismos de controle da temperatura corporal.



Fonte: (ACADEMY, 2018) modificado e traduzido.

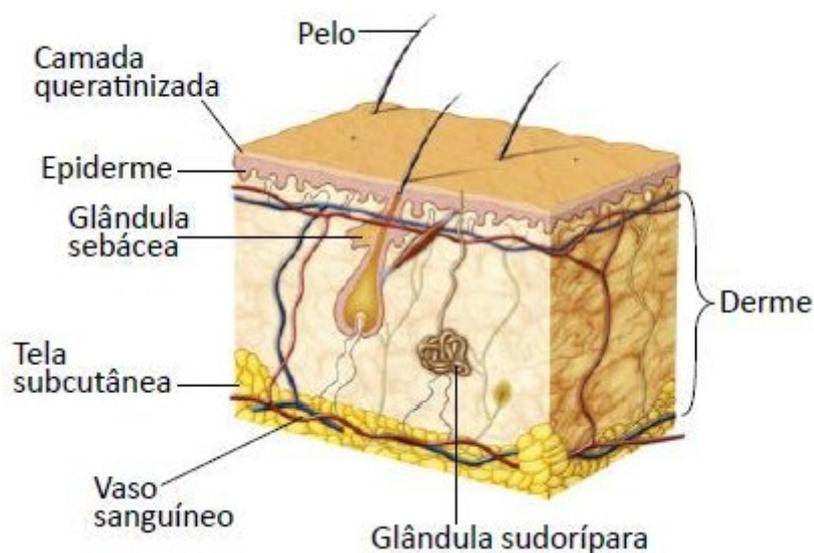
O fluxo sanguíneo da pele aumenta quando a temperatura corporal aumenta, processo também conhecido como vasodilatação, acelerando a perda de calor corporal. Caso a temperatura se eleve acima do ponto crítico de 37°C o corpo produzirá suor, processo também conhecido como sudorese, para que a evaporação do suor da pele ajude a diminuir a temperatura de uma forma mais agressiva.

Por outro lado, quando a temperatura corporal atingir um valor abaixo de seu ponto ideal, os vasos sanguíneos se contraem, processo também conhecido como vasoconstrição, retendo o calor corporal. Caso a temperatura esteja muito abaixo do ideal poderá ocorrer contrações musculares, que são movimentos involuntários do corpo, para produzir mais calor.

2.2.3 Pele, principal órgão termorregulador

Uma secção muito pequena da pele está ilustrada na figura 16, e é considerado o principal órgão termorregulador do organismo humano. É através dela que se realizam as trocas de calor através da circulação do fluxo sanguíneo.

Figura 16 - Representação da pele humana.



Fonte: (WEB, 2018).

Segundo Hall (2011), a temperatura da pele se eleva ou diminui de acordo com a temperatura ao seu redor, cujo conceito define a forma como o corpo humano perde calor para o ambiente.

2.3 Mecanismos de trocas térmicas

Segundo Frota (2001), os corpos que estejam em temperaturas diferentes trocam calor, os mais “quentes” perdendo e os mais “frios” ganhando, sendo que o calor envolvido é denominado calor sensível.

Os meios de trocas térmicas entre o corpo e o meio se dão por radiação, condução, convecção e evaporação, como são ilustrados na figura 17.

Figura 17 - Sistemas de trocas térmicas.



Fonte: (BRAZ, 2005).

2.3.1 Radiação

A perda de calor através da radiação se dá na forma de raios infravermelhos, onde qualquer objeto com temperatura acima de zero absoluto irradia tais raios. Afirma Hall (2011), que a emissão do infravermelho é proporcional à sua temperatura, quanto maior a temperatura do corpo em relação a temperatura ambiente, maior será a quantidade de calor irradiada.

O corpo humano irradia os raios de calor em todas as direções. A intensidade de calor produzida pela radiação térmica do corpo humano pode ser representada através de uma escala de cores, na qual o amarelo indicaria uma temperatura mais alta e o azul uma temperatura mais baixa, assim como ilustrado na figura 18. Dessa maneira podemos observar os chamados pontos quentes do corpo humano através de uma câmera térmica.

Figura 18 - Radiação térmica do corpo humano.



Fonte: (MOURA, 2015).

2.3.2 Condução

A condução é o mecanismo de troca de calor entre dois corpos que se tocam total ou parcialmente, e o fluxo térmico sempre ocorre quando as temperaturas são diferentes entre os corpos. Segundo Hall (2011), quando a temperatura do ar adjacente à pele se iguala à temperatura da pele, não ocorre mais perda de calor por condução, pois agora quantidade igual de calor é conduzida do ar para o corpo.

Podemos então dizer que, a temperatura corporal sempre estará perdendo ou ganhando calor para o ambiente, até se igualarem.

2.3.3 Convecção

A convecção é mecanismo de troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido seja ele líquido ou gás. Frota (2001), afirma que as trocas de calor por convecção são sempre ativadas pelo fluxo do ar.

A perda de calor do corpo através de correntes aéreas é comumente denominada perda de calor por convecção. Afirma Hall (2011), que o calor primeiro deve ser conduzido para o ar e depois removida pela convecção das correntes de ar.

2.3.4 Evaporação

Para que a radiação, condução e convecção funcione com a finalidade de proporcionar um conforto térmico, é preciso que a temperatura ambiente seja inferior à temperatura da superfície cutânea, caso o contrário, o corpo irá ganhar mais calor do que perder. Uma solução para a perda de calor cutânea quando a temperatura ambiente é mais elevada que a da pele é a evaporação, tornando assim um mecanismo de resfriamento.

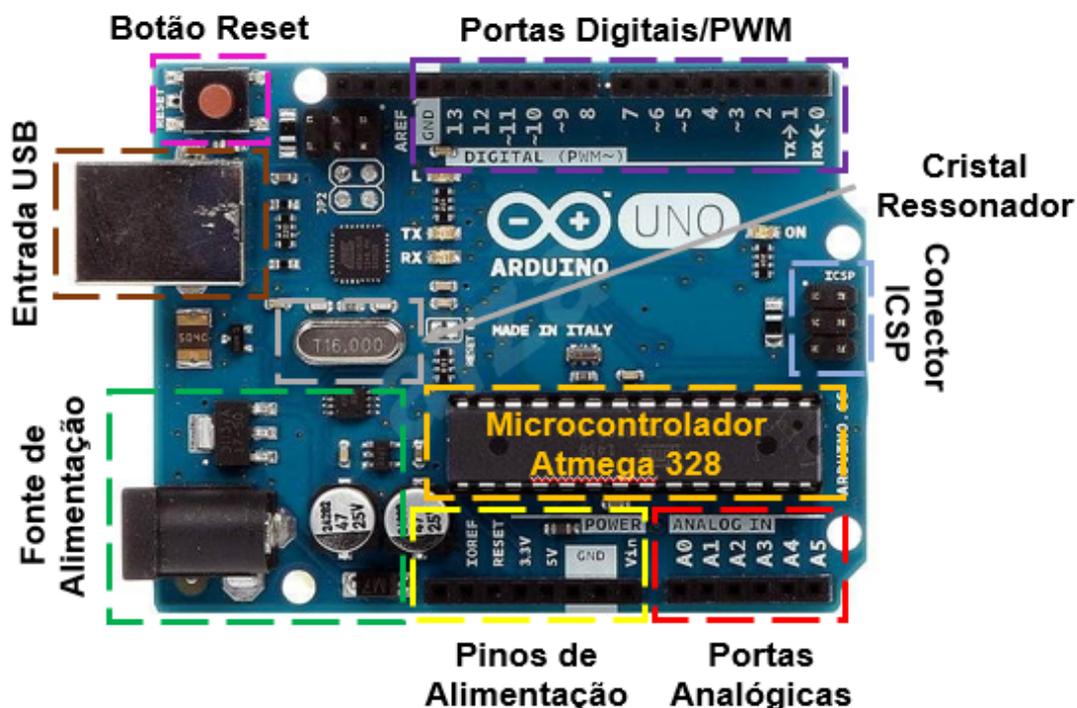
3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será apresentado todos os componentes do projeto e o seu funcionamento. Dentre eles estão o Arduino UNO, que é o responsável pelo controle do sistema, um sensor infravermelho (IR) e um sensor ultrassom que fornecem ao microcontrolador informações necessárias para a atuação dos reles de controle do fluxo de ar do sistema.

3.1 Arduino UNO

O Arduino Uno ilustrado na figura 19, é baseado no microcontrolador ATmega328. Possui 14 pinos de entradas e/ou saídas digitais (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, cristal de quartzo de 16 MHz, conexão USB, conector de energia, conector ICSP e botão de *reset*.

Figura 19 - Blocos identificados de uma placa Arduino UNO.



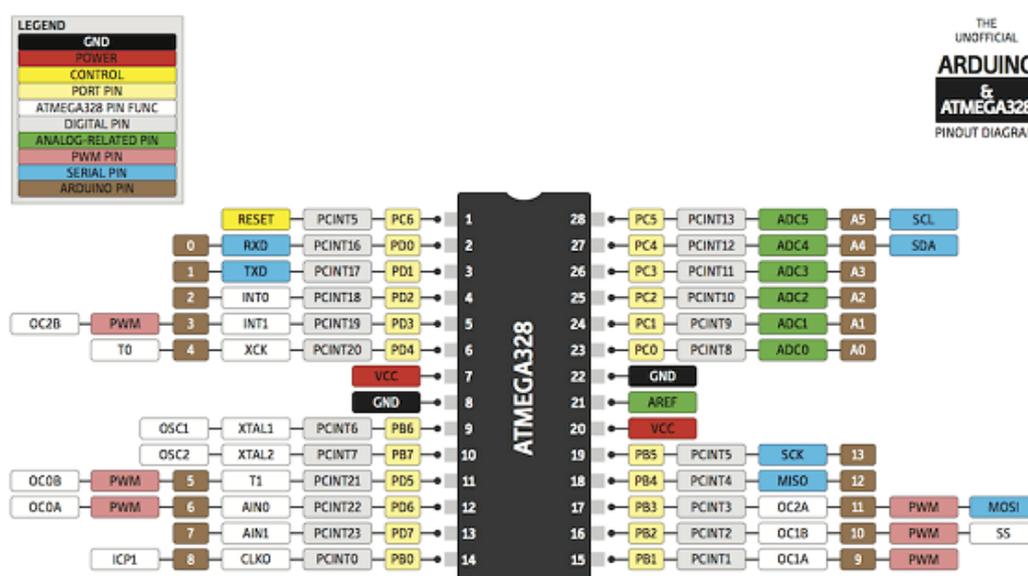
Fonte: (ARDUINO, 2019).

3.1.1 Microcontrolador do Arduino UNO

O componente principal da placa Arduino UNO é o microcontrolador ATMEL ATMEGA328 ilustrado na figura 20, um dispositivo de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28.

Segundo Souza (2013), o microcontrolado conta com 32 KB de *Flash* (mas 512 *Bytes* são utilizados para o *bootloader*), 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM podendo operar com frequências até 20 MHz. Porém, a placa Arduino UNO opera em 16 MHz usando um cristal externo que está conectado aos pinos 9 e 10 do microcontrolador.

Figura 20 - Pinout Atmega 328.



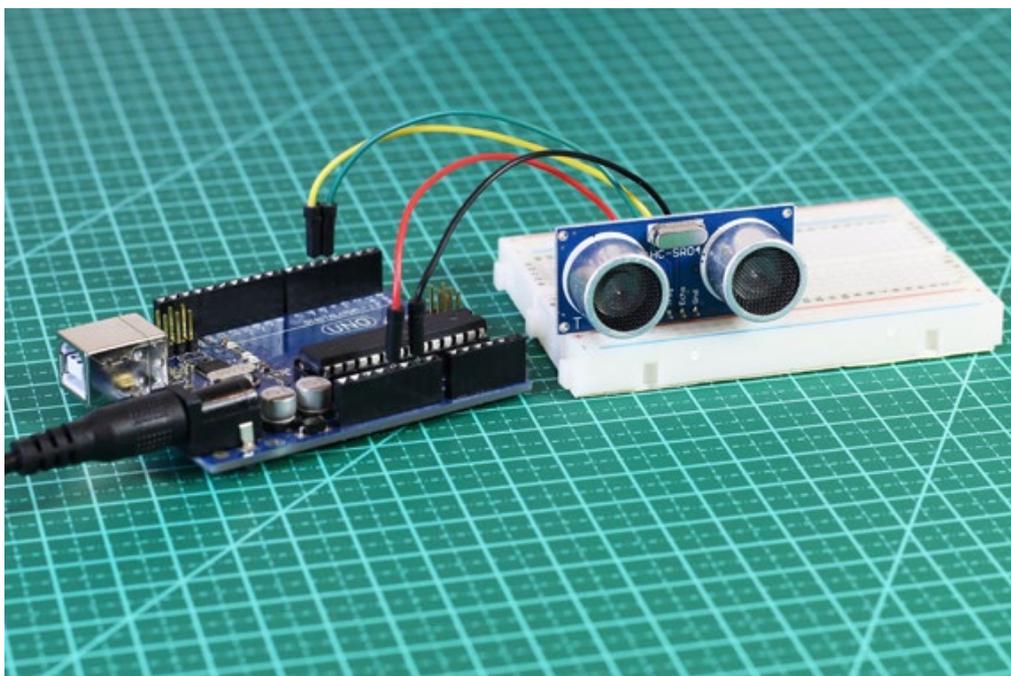
Fonte: (SOUZA, 2013).

O ATmega328 no Arduino Uno vem pré-programado com um *bootloader* que permite que o usuário faça o *upload* de um novo código através de IDE desenvolvido especificamente para ele, e sem o uso de um programador de *hardware* externo.

3.2 Sensor Ultrassom HC-SR04

O sensor HC-SR04 ilustrado na figura 21 permite detectar objetos há uma distância entre 2 cm a 400 cm, com precisão de 3 mm. Neste projeto o sensor será utilizado para medir a distância entre o sensor infravermelho de temperatura e o motorista do veículo.

Figura 21 - Sensor ultrassom HC-SR04.

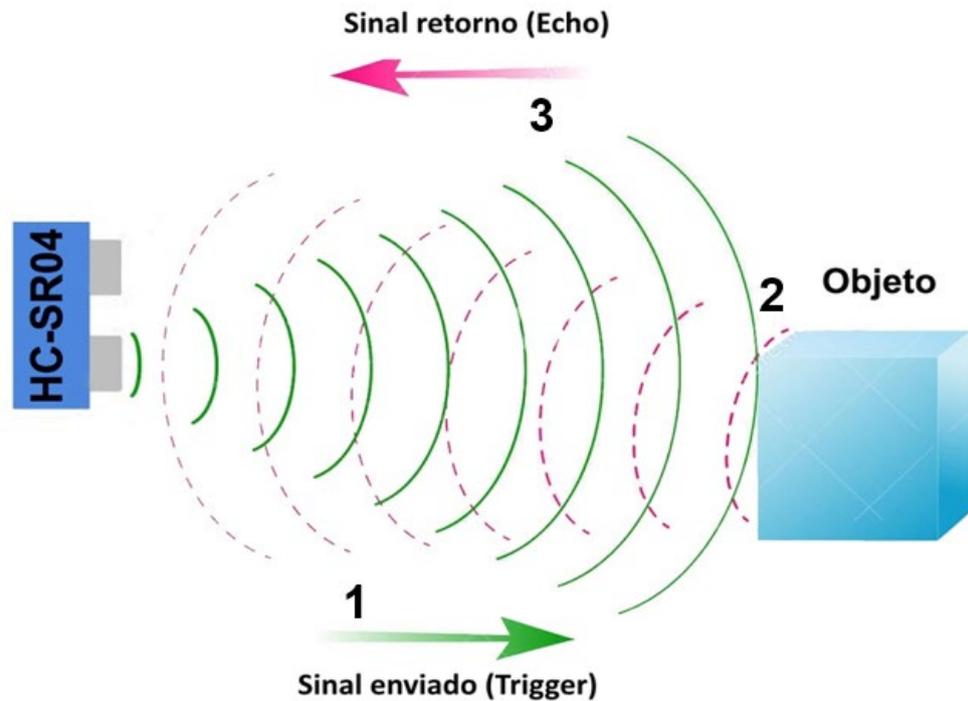


Fonte: (THOMSEN, 2019).

3.2.1 Funcionamento do HC-SR04

O funcionamento do HC-SR04 se baseia no envio e recepção de sinais ultrassônicos como ilustra a figura 22. Utilizando o princípio do sonar, um sinal ultrassônico (*trigger*) representado no item (1) é enviado, quando esse sinal detecta um objeto representado no item (2), um sinal de retorno (*echo*) é enviado para o HC-SR04 representado no item (3). Com base no tempo entre o envio e o retorno do sinal ultrassônico, calculamos a distância com base na velocidade do som que é de aproximadamente 340 m/s.

Figura 22 - Funcionamento do sensor ultrassom (HC-SR04).



Fonte: (THOMSEN, 2019).

Então temos o cálculo através do tempo de propagação do sinal ultrassônico refletido, de acordo com a seguinte fórmula:

$$d = t_e \cdot c$$

onde:

d = distância

t_e = tempo de propagação do sinal ultrassônico (s)

c = velocidade do som no ar (aprox. 340m/s)

Como o sinal é enviado e depois retornado, o valor encontrado precisa ser dividido por 2, então:

$$D = d / 2.$$

A transmissão e a leitura de sinais ultrassônicos necessitam seguir algumas etapas que serão numeradas a seguir e ilustradas na figura 23.

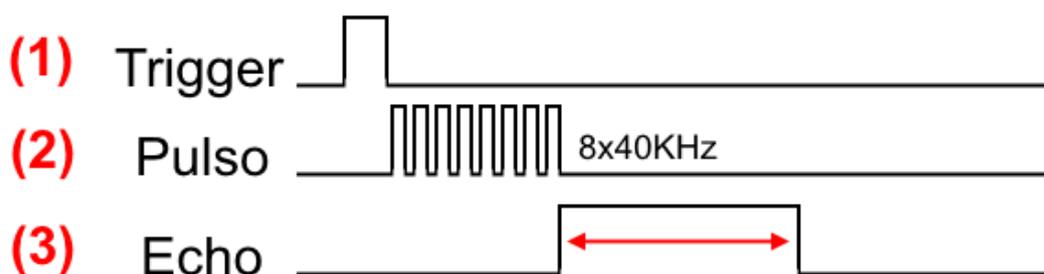
1º Um pulso de 10µs representado no item (1) inicia a transmissão de dados;

2º São enviados 8 pulsos de 40 KHz representado no item (2);

3º O tempo em nível alto do sinal de retorno representado no item (3), será utilizado para determinar a distância entre o sensor e o objeto.

Então o cálculo da distância está relacionado com o tempo de nível alto do sinal *echo*, utilizando a equação demonstrada anteriormente, temos o valor da distância em centímetros.

Figura 23 - Transmissão de dados HC-SR04.

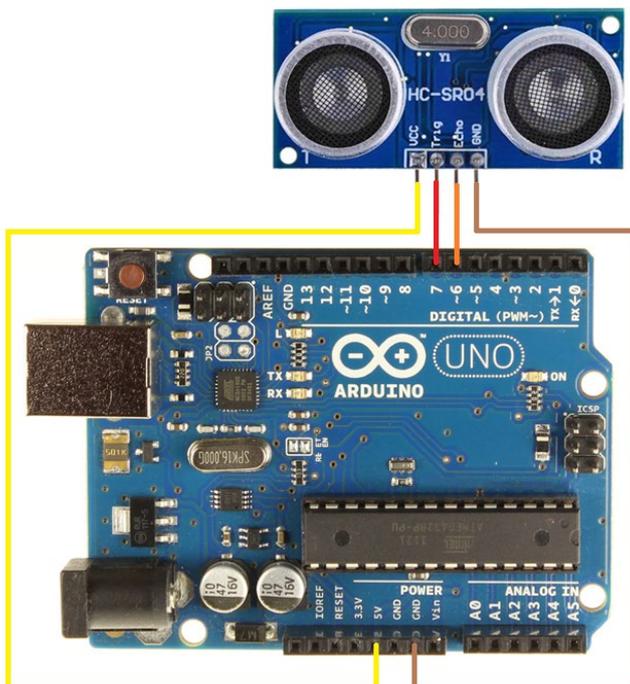


Fonte: (THOMSEN, 2019).

3.2.2 Conectando o sensor HC-SR04 ao Arduino UNO

A ligação do sensor ao Arduino será realizada de acordo com a definição dos pinos no programa, a figura 24 ilustra a ligação para esse projeto. Os pinos de alimentação (5V e GND) serão utilizados do próprio Arduino UNO, assim como os pinos digitais 7 (*trigger*) e 6 (*echo*).

Figura 24 - Ligação do Sensor HC-SR04 no Arduino UNO.

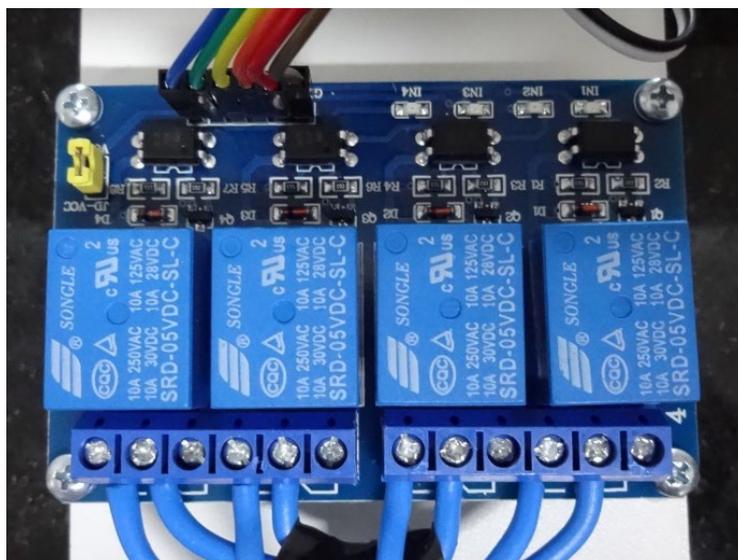


Fonte: Do próprio autor, 2019.

3.3 Módulo de reles SRD-05VDC

O módulo de reles SRD-05VDC ilustrado na figura 25, foi utilizado para o acionamento das velocidades do eletro ventilador da caixa de ar, como o veículo possui 4 velocidades se fez necessário a utilização desse módulo montado com 4 reles.

Figura 25 - Módulo de reles SRD-05VDC.



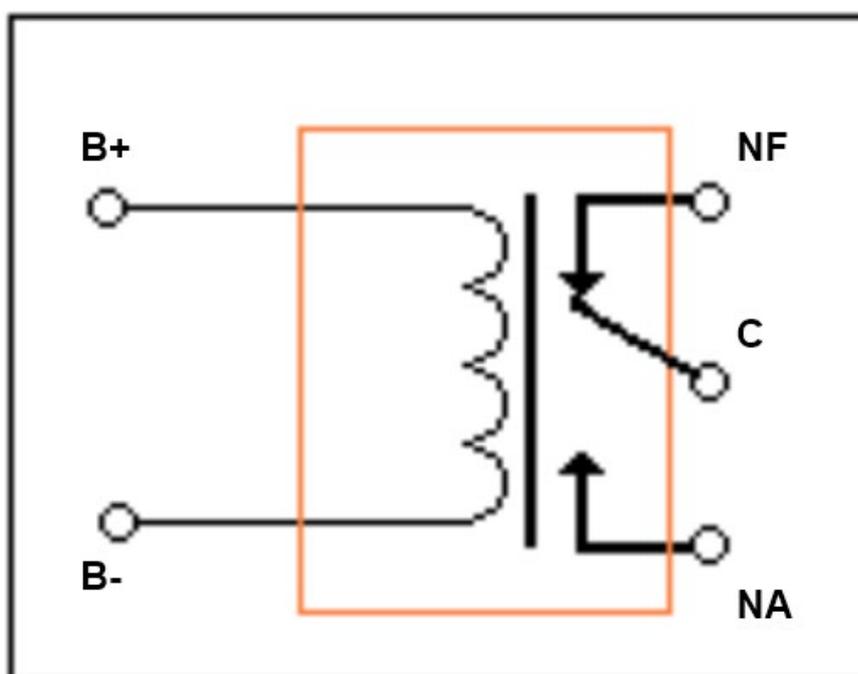
Fonte: Do próprio autor, 2019.

A tensão de operação dos reles é de 5VDC e permite controlar cargas de até 30VDC com corrente máxima de 10A, o seu acionamento é feito através de nível baixo (0V) e também possui *led's* para controle de acionamento.

3.3.1 Princípio de funcionamento de rele

O rele nada mais é do que um interruptor eletromecânico, quando a bobina é energizada (B+ e B-) ilustrado na figura 26, gera um campo magnético que desloca o contato de NF para NA. Então quando uma tensão, no caso do projeto 12V, está ligada ao pino C do rele ao mudar de estado ele fecha o contato energizando o pino NA.

Figura 26 - Conatos de um rele.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

3.4 Sensor infravermelho de temperatura - MLX90614

O MLX90614 é um termômetro infravermelho para medições de temperatura sem contato como ilustrado na figura 27, ele possui uma alta precisão e resolução de temperatura. Porém, o valor medido é a temperatura média de todos os objetos no campo de visão do sensor.

Figura 27 - Sensor infravermelho de temperatura MLX90614.



Fonte: <https://www.melexis.com/en/product/MLX90614/Digital-Plug-Play-Infrared-Thermometer-TO-Can>.

O MLX90614 oferece uma precisão padrão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em torno da temperatura ambiente. Existe uma versão especial para aplicações médicas que oferece uma precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em uma faixa de temperatura limitada em torno da temperatura do corpo humano.

3.4.1 Definição e descrição dos pinos

A definição dos pinos está ilustrada na figura 28, cada pino será descrito a seguir de acordo com à sua função para o funcionamento do sensor MLX-90614.

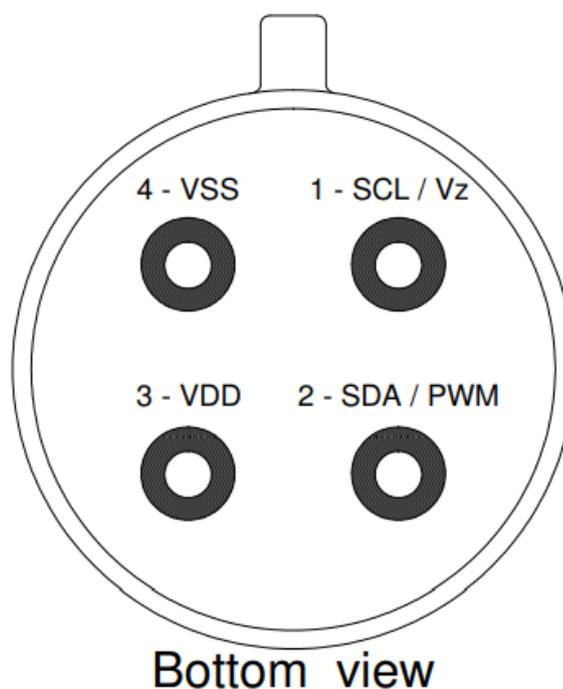
O pino nº 1 (SCL/Vz), é a entrada de relógio serial para protocolo de comunicação de 2 fios (SMBus).

O pino nº 2 (SDA/PWM), é a saída digital SMBus, é através desse pino que serão lidas as temperaturas do ambiente e do objeto.

O pino nº 3 (VDD), é a tensão de alimentação externa.

O pino nº 4 (VSS), é a ligação GND (carcaça de metal também está conectada a este pino).

Figura 28 - Definição dos pinos do sensor MLX-90614.

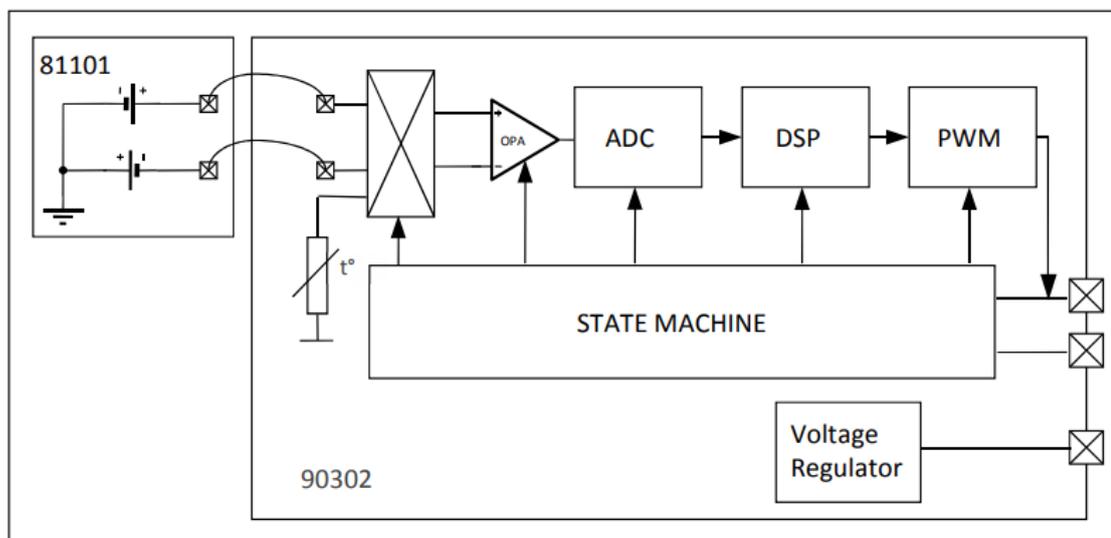


Fonte: (MELEXIS, 2019, p. 8).

3.4.2 Descrição detalhada do funcionamento do MLX90614

O funcionamento do MLX90614 é controlado por uma máquina de estados interna ilustrado na figura 29. Segundo Melexis (2019), essa máquina é responsável pelo controle das medições e dos cálculos das temperaturas do objeto e do ambiente e faz o pós-processamento das temperaturas. Essas informações são então enviadas através da saída PWM ou da interface compatível com SMBus.

Figura 29 - Diagrama de blocos.



Fonte: (MELEXIS, 2019, p. 13).

Um amplificador de baixo ruído e baixo deslocamento com ganho programável é usado para amplificar a tensão do sensor IR, que são enviadas para um conversor ADC.

3.4.3 Memória RAM – MLX90614

Não é possível escrever na memória RAM, seu acesso é apenas para leitura de valores. É nessa memória que será lido o valor de temperatura do ambiente no endereço 0x06 e do objeto no endereço 0x07 como representado no quadro 2.

Quadro 2 - Memória RAM – MLX90614.

RAM (32x16)		
Name	Address	Read access
Melexis reserved	0x00	Yes
...
Melexis reserved	0x03	Yes
Raw data IR channel 1	0x04	
Raw data IR channel 2	0x05	
T_A	0x06	Yes
T_{OBJ1}	0x07	Yes
T_{OBJ2}	0x08	Yes
Melexis reserved	0x09	Yes
...
Melexis reserved	0x1F	Yes

Fonte: (MELEXIS, 2019, p. 17).

3.4.4 Protocolo de 2 fios compatível com SMBus

Segundo Melexis (2019), a *interface* SMBus é um protocolo de 2 fios que permite a comunicação entre o dispositivo mestre e um ou mais dispositivos escravos. Porém, apenas um mestre pode ser apresentado a qualquer momento e o MLX90614 só pode ser usado como escravo.

3.4.5 Temperatura ambiente (T_a)

A temperatura do sensor é medida com um elemento PTAT. Todos os sensores de condicionamento e processamento de dados são manipulados no *chip* e a temperatura está disponível na memória RAM.

A resolução da temperatura calculada é de $0,02^{\circ}\text{C}$. O sensor é calibrado de fábrica para toda a faixa automotiva $-40\dots + 125^{\circ}\text{C}$, e a temperatura está disponível na RAM 0x06.

As conversões de RAM contendo T_a real são fáceis de se obter, bastando usar a seguinte relação:

$$T_a[{}^{\circ}\text{K}] = T_{\text{areg}} \times 0.02, \text{ or } 0.02^{\circ}\text{K} / \text{LSB}.$$

Exemplo: Valor lido na memória RAM 0x06 = 0x3B99 convertendo para decimal 15257d.

Usando a relação disponível no datasheet:

$$T_a [K] = 15.257 \times 0.02 = 305.14K$$

Conversão de K \rightarrow °C:

$$T_a [^{\circ}C] = 305.14 - 273.15 = 31.99^{\circ}C \text{ onde } 0^{\circ}C \rightarrow 273.15 K$$

3.4.6 Temperatura do objeto (To)

O resultado tem a mesma resolução de 0,02°C e está disponível na RAM 0x07. To é derivado da RAM como:

$$T_o[^{\circ}K] = T_{oreg} \times 0.02, \text{ or } 0.02^{\circ}K / \text{LSB.}$$

Exemplo:

Valor lido na memória RAM 0x3AF7 convertendo para decimal 15095d

1. Multiplique por 0.02, $15095 \times 0.02 = 301.9 K$ (resultado em Kelvin)
2. Converter K \rightarrow °C: $301.9 - 273.15 = 28.75^{\circ}C$

3.4.7 Campo de visão (FOV)

O MLX90614 detecta a energia total da radiação infravermelha do objeto em um ângulo amplo. Então para medir um objeto com maior precisão, precisamos de uma lente que amplie o FOV (*Field Of View*), assim como ilustrado na figura 30, para preencher seu campo de visão com os raios infravermelho do objeto.

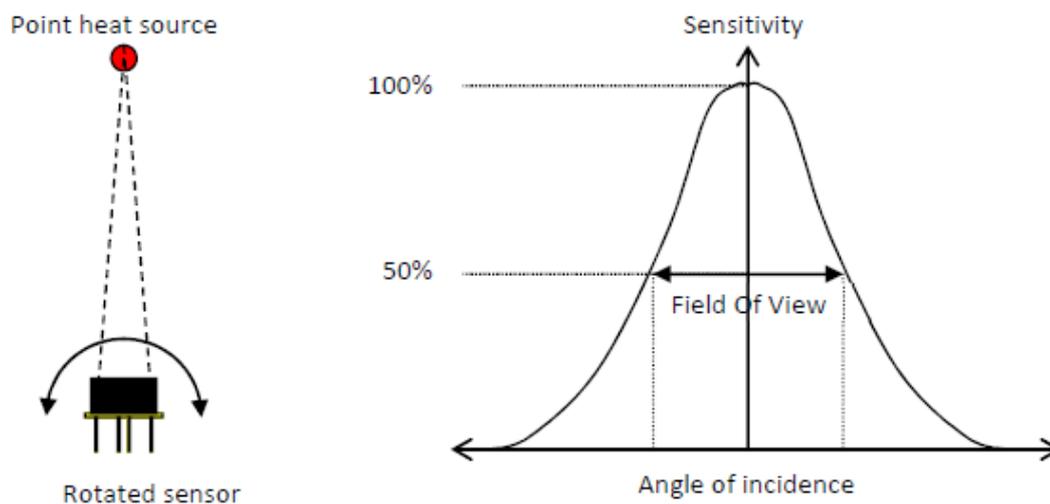
Figura 30 - Modelos de FOV.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

Esse dispositivo acoplado no sensor IR MLX90614 tem a finalidade de direcionar o infravermelho aumentando o campo de atuação como ilustrado na figura 31. Esse dispositivo é utilizado quando há a necessidade de medir objetos em maiores distâncias sem diminuir a precisão de leitura.

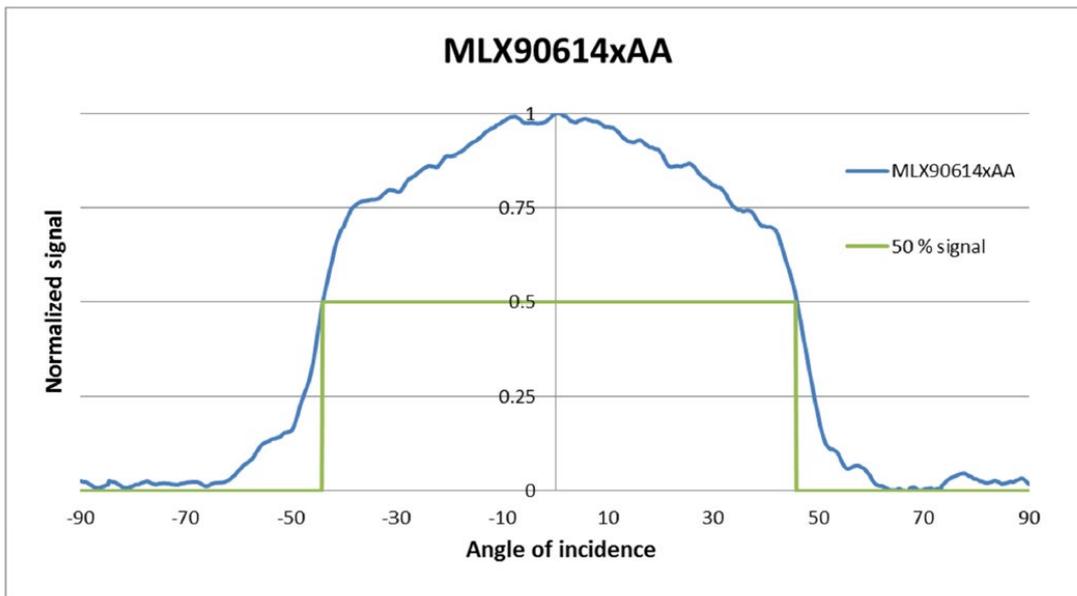
Figura 31 - Medição do campo de visão.



Fonte: (MELEXIS, 2019, p. 38).

O FOV MLX90614xAA se refere ao sensor sem incidência na leitura do infravermelho do objeto, o campo de atuação e representado na figura 32.

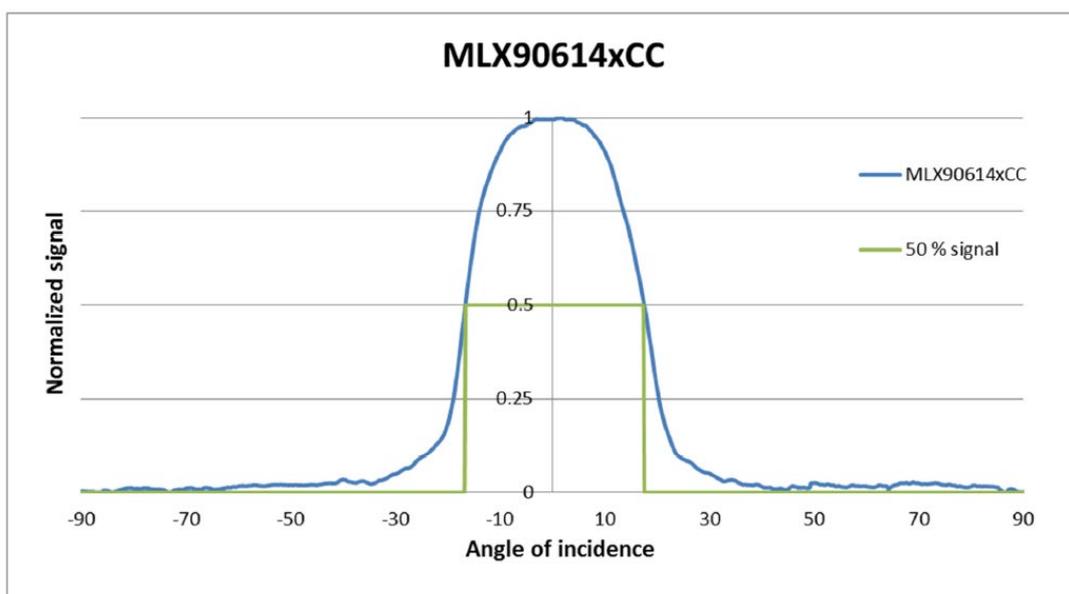
Figura 32 - FOV típico de MLX90614xAA.



Fonte: (MELEXIS, 2019, p. 38).

O FOV MLX90614xCC utilizado no projeto tem um ângulo de incidência de 35° , aumentando o campo de visão do sensor em objetos mais distantes, o campo de atuação e ilustrado na figura 33.

Figura 33 - FOV típico de MLX90614xCC.

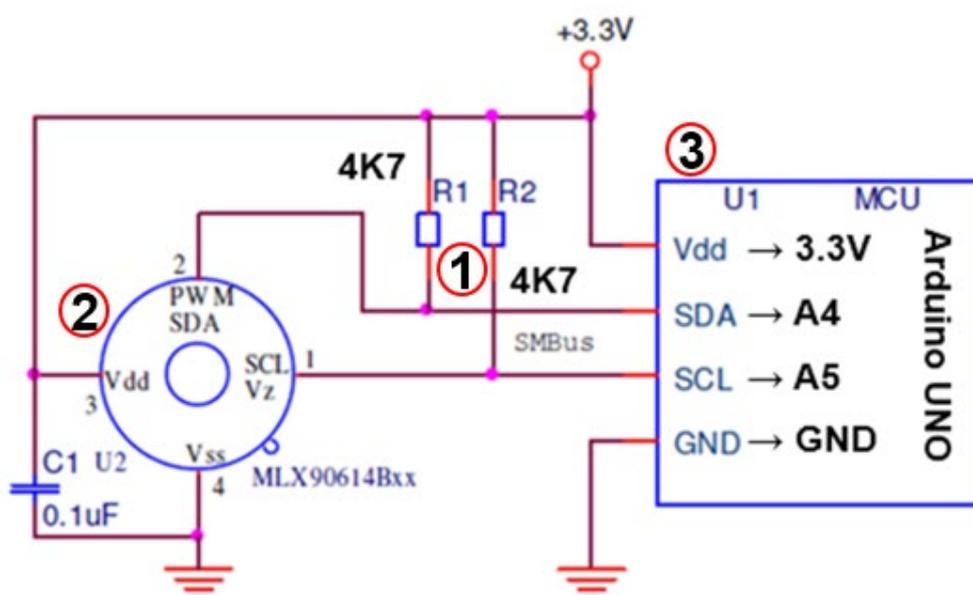


Fonte: (MELEXIS, 2019, p. 39).

3.4.8 Conectando o Sensor MLX90614 ao Arduino UNO

O MLX90614 necessita de resistores *pull-up* ligados na comunicação SMBus demonstrado na figura 34 item (1) que segundo Reis (2016), serve para que o estado do pino não fique flutuante. Eles devem ser ligados a um nível alto de tensão assegurando uma pequena quantidade de corrente e mantendo o pino no estado alto. Esse tipo de ligação é muito usada quando utilizamos lógicas digitais, pois não queremos inconsistência no sinal de entrada.

Figura 34 - Ligação do MLX90614 ao Arduino UNO.



Fonte: Adaptação do autor de (MELEXIS, 2019, p. 42).

4 ANÁLISE E RESULTADOS

A análise dos resultados foi dividida em 2 partes, sendo:

- Comportamento do sensor MLX90614, quando submetido a uma variação de distância do objeto a ser medido;
- Montagem do protótipo no interior do veículo, verificando o funcionamento do sistema de climatização.

4.1 Comportamento do sensor MLX90614 x distância

A parte prática do projeto teve seu início através da montagem da placa com os dois sensores, cujo o resultado pode ser observado na figura 35, e depois fixado no veículo. Com isso a variação da distância entre o condutor e o sensor, dependendo da altura do condutor, resultará na variação do valor obtido de temperatura.

Figura 35 - Placa com os 2 sensores unificados vista dos componentes.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

Utilizando um *spot* com uma lâmpada incandescente de 60W e controlando a intensidade da corrente através de um *dimmer* com potenciômetro, conforme ilustrado

na figura 36. Com esse dispositivo foram simuladas algumas temperaturas para análise do comportamento do sensor em distâncias pré-definidas. Ficou definido o valor de 50°C para a realização do teste, baseado no fato de que a temperatura corpórea padrão é de 36,5° C em condições saudáveis.

Figura 36 - Fonte de calor para medir variação da temperatura x distância.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

Para a verificação da temperatura de 50°C na fonte de calor, foi utilizado um termômetro a laser digital, da marca Raytec o qual está ilustrado na figura 37.

Figura 37 - Termômetro a laser digital da marca Raytec.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

Para realizar uma calibração adequada da fusão dos sensores foi criado uma escala de 5 em 5 cm entre o sensor e a fonte de calor, conforme ilustrado na figura

38, utilizando uma trena. Essa escala foi utilizada apenas como referência, pois com o sensor ultrassom montado poderíamos mover o sensor IR a uma distância definida no escopo do teste.



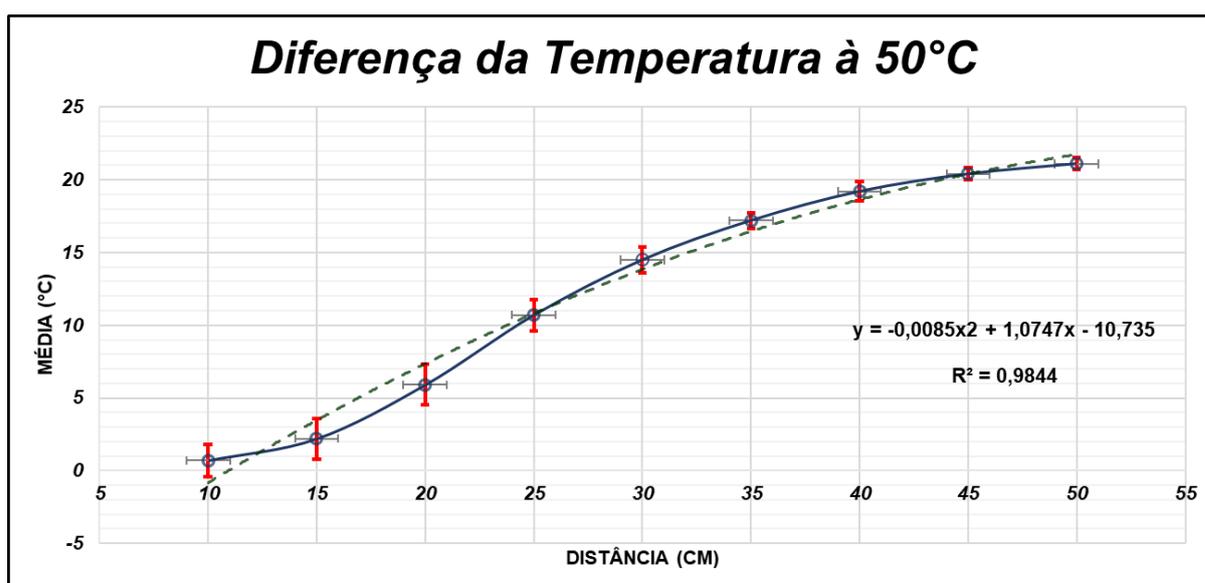
Figura 38 - Dispositivo de calor com escala entre o sensor.

Fonte: Do próprio autor, 2019.

4.1.1 Resultados obtidos

Foram realizadas 5 (cinco) medições à 50°C, gerando um gráfico com a média obtida na diferença da temperatura em relação a desejada, a linha de tendência dos valores obtidos e o desvio padrão ilustrado no gráfico 1.

Gráfico 1 - Gráfico da diferença da temperatura à 50°C.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

A análise do gráfico mostrou uma tendência polinomial de 2ª ordem, com valor de $R^2 > 0,98$, sendo que o valor máximo de $R^2 = 1$. Quanto mais próximo esse valor estiver de $R^2 = 1$, menor será a diferença entre a linha de tendência e a linha do gráfico.

Então, a equação utilizada para fazer a correção dos valores de temperatura será: $y = -0,0085x^2 + 1,0747x - 10,735$ onde: $R^2 = 0,9844$.

O fator de correção foi implementado no código fonte, e depois foi realizado um novo teste utilizando a temperatura corporal medida através do termômetro a laser digital de 34°C. Observou-se que a diferença entre o valor calculado e o valor real de temperatura estava maior do que 4,5°C é a ideia seria manter em $\pm 2^\circ\text{C}$ como ilustra o quadro 3.

Quadro 3 - Temperatura com fator de correção.

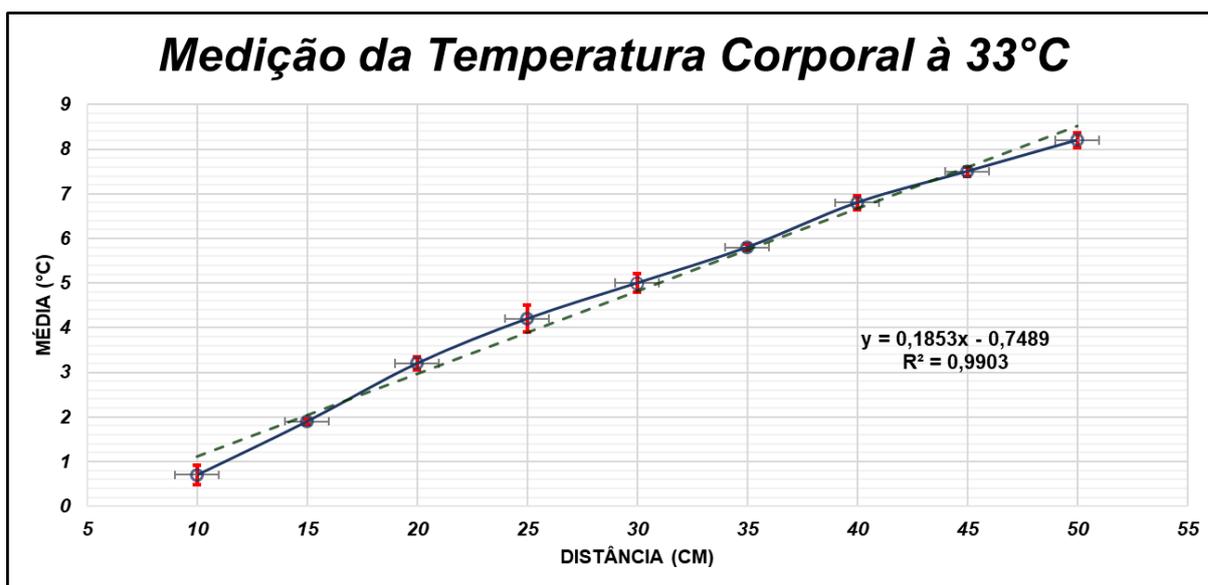
Temperatura do Objeto (°C)	Distância (cm)	Temperatura Calculada (°C)
30.72	8.45	33.55
31.10	9.26	33.91
31.04	9.57	33.85
30.70	12.24	33.46
30.66	11.93	33.42
29.22	23.72	31.75
29.58	23.36	32.11
29.58	24.52	32.09
29.44	23.62	31.97
29.34	23.62	31.87
27.62	40.38	29.81
27.74	36.69	30.01
27.54	37.26	29.79
27.86	37.26	30.11
27.02	48.72	29.05
26.92	48.60	28.95
26.92	48.40	28.95
27.02	48.29	29.05

Fonte: Do próprio autor, 2019.

Isso ocorreu porque a correção da temperatura estava relacionada a fonte de calor de 50°C, é quando utilizamos a temperatura corporal de 34°C para verificar a correção da temperatura, a quantidade de calor irradiada foi menor em relação a temperatura ambiente.

Devido a esse fato ter ocorrido, uma nova medição dos sensores utilizando a temperatura corporal conhecida foi necessária. O valor de temperatura utilizado foi de 33°C, medida através do termômetro a laser digital com uma temperatura ambiente de 22°C, resultados obtidos ilustrado no gráfico 2.

Gráfico 2 - Medição corporal à 33°C.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

Dessa forma é com o desvio padrão inferior a 1°C que foi atribuído ao código fonte do Arduino, foi iniciado a verificação com o dispositivo montado no interior do veículo.

4.2 Comportamento do sensor MLX90614 montado no veículo

Com a montagem do sensor no interior do veículo podemos verificar o funcionamento do sistema. A placa com os 2 (dois) sensores foi instalada no quebra sol do veículo, como ilustrado na figura 39, e depois direcionamos o conjunto para a face do condutor do veículo.

Figura 39 - Montagem do sensor no interior do veículo.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

Após a instalação da placa com os sensores, foram conectados os reles ao conector original do veículo, conforme ilustrado na figura 40. Esses reles controlaram o fluxo de ar através das velocidades do eletro ventilador. Com isso a velocidade pode variar de acordo com a temperatura calculada através do sensor IR e sensor ultrassom.

Figura 40 - Conexão das saídas dos reles no chicote original do sistema de climatização.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

Após todas as ligações serem efetuadas, conforme ilustrado a figura 41, criou-se uma rotina de teste para verificar o funcionamento correto dos sensores e do código desenvolvido para o controle do sistema. A sequência de teste está numerada abaixo:

1º Aquecer o ambiente do veículo a 50°C com auxílio de um secador, verificando o valor medido no sensor IR na variável Ta;

2º Ligar o veículo e a função A/C do comando do veículo;

3º Verificar a mudança de velocidade do eletro ventilador e a variação do fluxo de ar, a medida em que a temperatura corporal for diminuindo;

4º Após alcançar a temperatura corporal igual à 28°C o sistema deverá desligar o fluxo de ar.

Figura 41 - Disposição dos componentes montados no interior do veículo.



Fonte: Do próprio autor, 2019.

No quadro 4 é possível observar os valores obtidos após o aquecimento do veículo e posterior controle de temperatura até o resfriamento mínimo, onde:

TA = Temperatura ambiente;

TO = Temperatura corpórea sem fator de correção;

TC = Temperatura corpórea com fator de correção;

Desvio = Diferença entre a temperatura corpórea sem o fator de correção (TO) e a temperatura corpórea com o fator de correção (TC).

Quadro 4 - Temperatura medida no interior do veículo.

TA (°C)	TO (°C)	TC (°C)	DESVIO
49,8	27,8	33,1	-5,3
46,8	25,9	32,6	-6,7
43,6	25,6	31,2	-5,6
40,2	25,0	28,5	-3,4
37,9	24,8	28,3	-3,5
33,9	24,6	28,4	-3,7
29,8	23,7	28,5	-4,8
26,2	25,1	28,7	-3,6
25,6	23,7	28,7	-5,0
24,3	23,1	28,9	-5,7
22,8	23,6	29,6	-6,0
21,4	23,9	29,6	-5,7
21,3	23,8	28,8	-5,0
17,9	22,5	28,3	-5,8
17,9	22,4	28,1	-5,7
17,9	22,4	28,1	-5,7
17,9	22,2	27,3	-5,1

Fonte: Do próprio autor, 2019.

Utilizando a equação abaixo calculamos o erro médio quadrático:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(T_{o_i} - T_{c_i})^2}$$

$$E = 5,32$$

5 CONCLUSÕES

O projeto teve como objetivo, apresentar um novo conceito em controle do sistema de climatização veicular utilizando o *feedback* da temperatura corporal do motorista. O projeto desenvolvido foi baseado num sensor infravermelho juntamente com um sensor de ultrassom, para medir a temperatura corpórea do motorista e, assim controlar a temperatura no interior do veículo trazendo maior conforto térmico ao motorista.

Contudo, a evolução da eletrônica automotiva aliada com a tecnologia de sistemas embarcados, buscam cada vez mais o desenvolvimento de sistemas autônomos, ou seja, sistemas que não dependem da ação humana para seu melhor desempenho.

Esse conceito foi aplicado nesse trabalho utilizando o próprio sistema do veículo, apenas adicionando um microcontrolador e realizando a fusão entre dois sensores. Este estudo permitiu abrir uma discussão sobre um novo sistema de controle de temperatura dentro do veículo, quando comparado com os sistemas tradicionais analógicos e digitais.

6 PROJETOS FUTUROS

Estão listadas abaixo as propostas para continuidade deste projeto:

- Controlar a velocidade do ventilador do sistema de climatização utilizando PWM;
- Imprimir a imagem com os pontos de calor medido por um *hardware* no LabView;
- Desenvolver uma função para permitir que o usuário memorize no sistema a temperatura corporal que lhe ofereça melhor conforto térmico;
- Estudar a possibilidade de usar uma câmera tipo *Webcam* sem o filtro de infravermelho, para realizar uma medida global da temperatura do motorista.
- Implementar o sensor infravermelho de temperatura em sistemas de climatização automático, utilizando a temperatura corpórea como referência de controle para o sistema.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACADEMY, K. **Kahn Academy**, 22 Novembro 2018. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/biology/principles-of-physiology/body-structure-and-homeostasis/a/homeostasis>>. Acesso em: 23 Maio 2019.

ARDUINO. Arduino, 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 1 Maio 2019.

ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **ANSI/ASHRAE Standard 55**, p. 1-9, 2010.

BOSCH, R. **Manual de Tecnologia Automotiva**. São Paulo: Blucher, 2005.

BRAZ, J. R. C. Fisiologia da termorregulação normal. **Neurociências**, N. Engl, p. 1-6, 2005.

BRAZILIENSE, C. Correio Brasileiro - Ciência e Saúde. **Correio Brasileiro**, 12 jan. 2018. Disponível em: <https://www.correiobrasileiro.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2018/01/12/interna_ciencia_saude,653037/terra-tera-elevado-temperatura-em-1-5-c-ate-2040.shtml>. Acesso em: 3 Julho 2018.

CARRO, J. D. Estadão. **Jornal do Carro**, 2019. Disponível em: <<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/carros-sem-ar-condicionado-sumiram/>>. Acesso em: 03 Junho 2019.

DENSO. Ar condicionado para veículos de passeio. **Denso**, 19 Novembro 2018. Disponível em: <<https://www.denso.com/br/pt/products-and-services/oem/air-conditioner-for-passenger-vehicles/>>. Acesso em: 3 Novembro 2018.

FROTA, A. B. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

HUMANO, A. D. C. **Anatomia do corpo humano**, 22 Novembro 2018. Disponível em: <<https://www.anatomiadocorpo.com/sistema-nervoso/hipotalamo/>>. Acesso em: 1 Novembro 2018.

MAHLE. **Mahle - Drive by performance**, 22 Novembro 2018. Disponível em: <<http://www.br.mahle.com/pt/products-and-services/passenger-cars/air-conditioning/>>. Acesso em: 1 Novembro 2018.

MARAN, M. **Oficina Brasil**, 15 Janeiro 2016. Disponível em: <<https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/estrategias-para-diagnostics-rapidos-no-sistema-de-ar-condicionado-automotivo>>. Acesso em: 1 Novembro 2018.

MELEXIS. **Melexis Inspired Engineering (Traduzido pelo Autor)**, Maio 2019. Disponível em: <<https://www.melexis.com/en/product/MLX90614/Digital-Plug-Play-Infrared-Thermometer-TO-Can>>. Acesso em: 23 Maio 2019.

MOURA, B. **Baterias Moura - Campanha 2015**, 4 Maio 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=SmPIRTKa9sk>>. Acesso em: 1 Novembro 2018.

REIS, F. D. **Bóson Treinamento em Tecnologia. Bóson Treinamento em Tecnologia**, 2016. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/electronica/curso-de-eletronica/electronica-o-que-sao-resistores-de-pull-up/>>. Acesso em: 04 Junho 2019.

SOUZA, F. **Embarcados**, 29 Novembro 2013. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acesso em: 1 Novembro 2018.

THOMSEN, A. **FLIPFLOP**, 01 Maio 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino/>>. Acesso em: 1 Novembro 2018.

VOLKSWAGEN. **Manuais e Garantia. Volkswagen do Brasil**, Abril 2019. Disponível em: <<https://www.vw.com.br/pt/servicos/manuais-e-garantia/manuais.html>>. Acesso em: 23 Maio 2019.

WEB, C. D. **Cola da web**, 22 Novembro 2018. Disponível em: <<https://www.coladaweb.com/biologia/corpo-humano/pele-humana>>. Acesso em: 1 Novembro 2018.

Apêndice A: Código fonte do programa principal

```

/*-----
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRE
TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
** SENSOR CORPORAL **
Aluno: Fernando Mulero Crica RA: 0731423017
Prof. Orientador: Edson Caoru Kitani
1. semestre - 2019
----- */

#include <i2cmaster.h> // incluir biblioteca 12cmaster
const int trigPin = 7;
const int echoPin = 6;
const int U1 = 11;
const int U2 = 10;
const int U3 = 9;
const int U4 = 8;
float TA;
float TO;
float TC;
float d;
float d1;
float d2;
float distancia;
unsigned int velocidade = 0;

void setup() // rotina de configuração do Arduino
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("SENSOR_CORPORAL_FATEC_SANTO_ANDRE");
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
    pinMode(U1, OUTPUT);
    pinMode(U2, OUTPUT);
    pinMode(U3, OUTPUT);
    pinMode(U4, OUTPUT);
    digitalWrite(U1, HIGH);
    digitalWrite(U2, HIGH);

```

```

digitalWrite(U3, HIGH);
digitalWrite(U4, HIGH);

i2c_init(); //Inicialize o barramento i2c
PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5); //habilitar pullups
}

float Temperatura(unsigned int end) //Função para medir a temperatura To e Ta
{
    int dev = 0x5A<<1;
    int data_low = 0;
    int data_high = 0;
    int pec = 0;
    i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
    i2c_write(end);
    // read
    i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
    data_low = i2c_readAck(); //Leia 1 byte e depois envie ack
    data_high = i2c_readAck(); //Leia 1 byte e depois envie ack
    pec = i2c_readNak();
    i2c_stop();

    //Isso converte bytes altos e baixos juntos e processa a temperatura, MSB é um bit de erro e é
    ignorado por tempo
    double tempFactor = 0.02; // 0.02 graus por LSB (resolução de medição do MLX90614)
    double tempData = 0x0000; // zerar os dados
    int frac; // dados após o ponto decimal

    // Isso mascara o bit de erro do byte alto, então move para a esquerda 8 bits e adiciona o byte
    baixo.
    tempData = (double)((((data_high & 0x007F) << 8) + data_low));
    tempData = (tempData * tempFactor)-0.01;
    return (tempData - 273.15); //Conversão de temperatura Kelvin para Celsius
}

float Measure()//Função para medir a distância entre o sensor e o objeto
{
    long echoDelay;
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);

```

```

    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    echoDelay = pulseIn( echoPin, HIGH);
    return (echoDelay * 0.034) / 2 ; //Retorna o echo multiplicado pela velocidade do som dividido
por 2 (ida/volta do echo)
}

```

```

void Output()//Função para saídas de relés

```

```

{
    if (TA > 40 | TC > 36)
    {
        digitalWrite(U1, LOW);
        digitalWrite(U2, HIGH);
        digitalWrite(U3, HIGH);
        digitalWrite(U4, HIGH);
        velocidade = 4;
    }
    else
    {
        if (TA > 18 & TC > 32)
        {
            digitalWrite(U1, HIGH);
            digitalWrite(U2, LOW);
            digitalWrite(U3, HIGH);
            digitalWrite(U4, HIGH);
            velocidade = 3;
        }
        else
        {
            if (TA > 18 & TC > 30)
            {
                digitalWrite(U1, HIGH);
                digitalWrite(U2, HIGH);
                digitalWrite(U3, LOW);
                digitalWrite(U4, HIGH);
                velocidade = 2;
            }
            else
            {
                if (TA > 18 & TC > 28)

```

```

    {
        digitalWrite(U1, HIGH);
        digitalWrite(U2, HIGH);
        digitalWrite(U3, HIGH);
        digitalWrite(U4, LOW);
        velocidade = 1;
    }
    else
    {
        digitalWrite(U1, HIGH);
        digitalWrite(U2, HIGH);
        digitalWrite(U3, HIGH);
        digitalWrite(U4, HIGH);
        velocidade = 0;
    }
}
}
}
}
return;
}
}

void loop() //Função principal do programa
{
    distancia = Measure();//Atribui o valor da função Measure a variável "distancia"

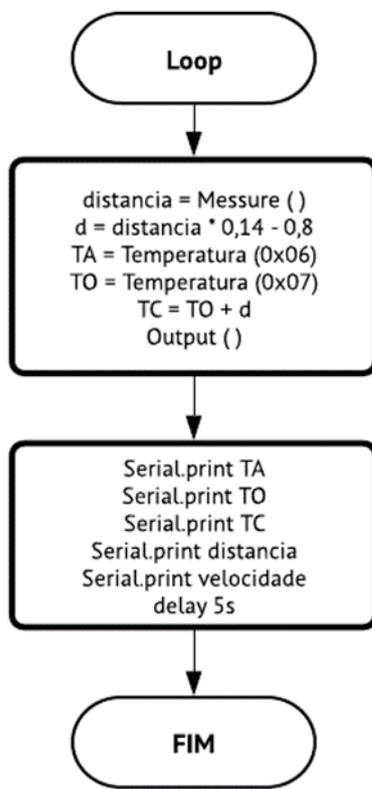
    while (distancia > 50)//Limita a distancia em 50cm
    {
        distancia = Measure();
    }

    d = 0.18 * distancia - 0.75; //Compensação da distância a variável "d"
    TA = Temperatura(0x06); //Atribui o valor da função Temperatura no endereço 0x06 a variavel "TA"
    TO = Temperatura(0x07); //Atribui o valor da função Temperatura no endereço 0x07 a variavel "TO"
    TC = TO + d;           //Temperatura calculada = temperatura do objeto + compensação da distância
    Output();             //Função para saída de relés
    // Imprimir dados na porta serial como texto ASCII
    Serial.print("TA ");
    Serial.print( TA, 1 );
    Serial.print(" - ");
    Serial.print("TO ");

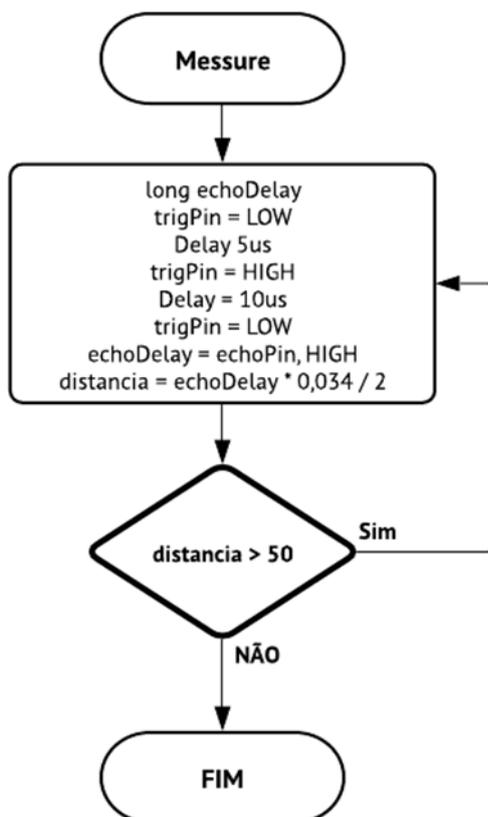
```

```
Serial.print( TO, 1 );  
Serial.print(" - ");  
Serial.print( "TC " );  
Serial.print( TC, 1 );  
Serial.print(" - ");  
Serial.print( distancia, 1 );  
Serial.print( " cm" );  
Serial.print(" - ");  
Serial.print("Velocidade ");  
Serial.println( velocidade );  
  
delay (5000);  
}
```

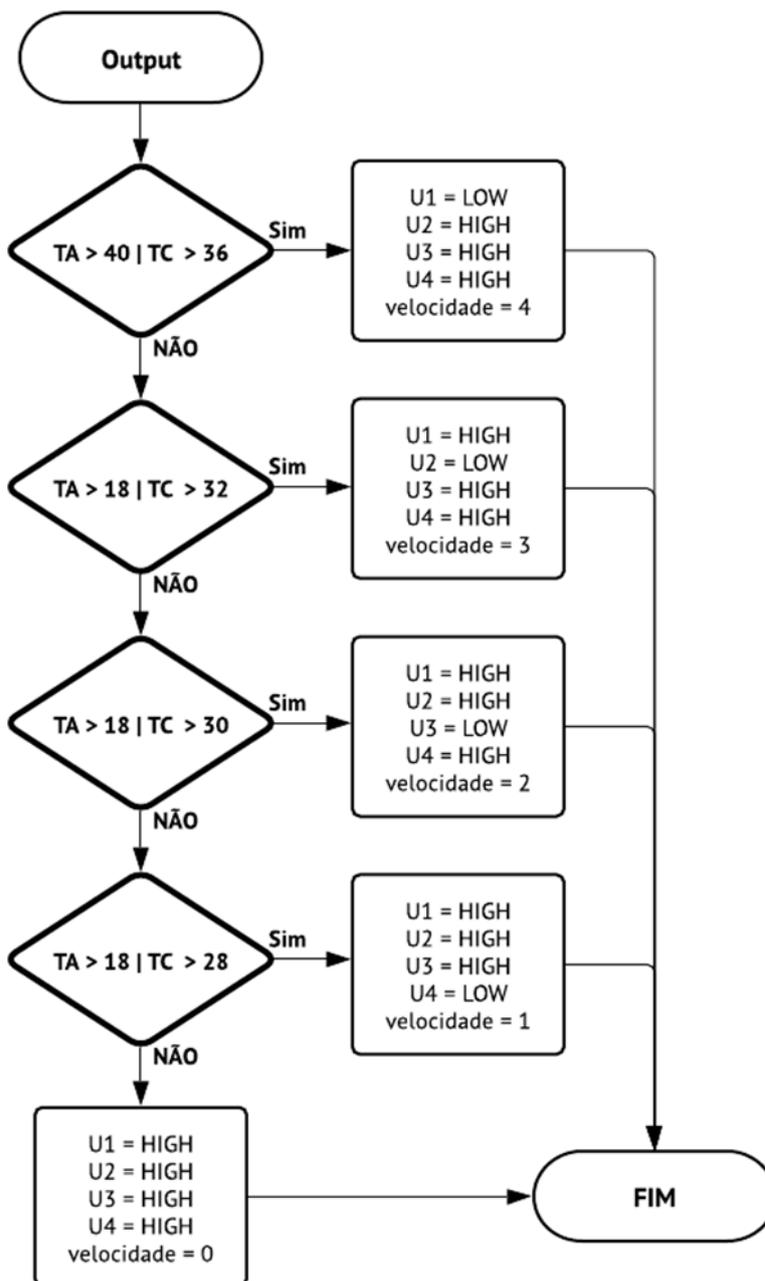
Apêndice B: Fluxograma do programa principal



Apêndice C: Fluxograma da função Measure



Apêndice D: Fluxograma da função Output



Anexo A: Biblioteca do Arduino - I2CMaster

```

#ifndef _I2CMASTER_H
#define _I2CMASTER_H 1
/*****
* Title: C include file for the I2C master interface
*       (i2cmaster.S or twimaster.c)
* Author: Peter Fleury <pfleury@gmx.ch> http://jump.to/fleury
* File:   $Id: i2cmaster.h,v 1.10 2005/03/06 22:39:57 Peter Exp $
* Software: AVR-GCC 3.4.3 / avr-libc 1.2.3
* Target: any AVR device
* Usage:  see Doxygen manual
*****/
#ifdef DOXYGEN
/**
 @defgroup pfleury_ic2master I2C Master library
 @code #include <i2cmaster.h> @endcode
 @brief I2C (TWI) Master Software Library
 Basic routines for communicating with I2C slave devices. This single master
 implementation is limited to one bus master on the I2C bus.
 This I2c library is implemented as a compact assembler software implementation of the I2C protocol
 which runs on any AVR (i2cmaster.S) and as a TWI hardware interface for all AVR with built-in TWI hardware
 (twimaster.c).
 Since the API for these two implementations is exactly the same, an application can be linked either against the
 software I2C implementation or the hardware I2C implementation.
 Use 4.7k pull-up resistor on the SDA and SCL pin.
 Adapt the SCL and SDA port and pin definitions and eventually the delay routine in the module
 i2cmaster.S to your target when using the software I2C implementation !
 Adjust the CPU clock frequency F_CPU in twimaster.c or in the Makfile when using the TWI hardware imple-
 mentaion.
 @note
 The module i2cmaster.S is based on the Atmel Application Note AVR300, corrected and adapted
 to GNU assembler and AVR-GCC C call interface.
 Replaced the incorrect quarter period delays found in AVR300 with
 half period delays.
 @author Peter Fleury pfleury@gmx.ch http://jump.to/fleury
 @par API Usage Example
 The following code shows typical usage of this library, see example test_i2cmaster.c
 @code
 #include <i2cmaster.h>
 #define Dev24C02 0xA2 // device address of EEPROM 24C02, see datasheet
 int main(void)
 {
     unsigned char ret;

```

```

i2c_init();           // initialize I2C library
// write 0x75 to EEPROM address 5 (Byte Write)
i2c_start_wait(Dev24C02+I2C_WRITE); // set device address and write mode
i2c_write(0x05);     // write address = 5
i2c_write(0x75);    // write value 0x75 to EEPROM
i2c_stop();         // set stop conditon = release bus
// read previously written value back from EEPROM address 5
i2c_start_wait(Dev24C02+I2C_WRITE); // set device address and write mode
i2c_write(0x05);    // write address = 5
i2c_rep_start(Dev24C02+I2C_READ); // set device address and read mode
ret = i2c_readNak(); // read one byte from EEPROM
i2c_stop();
for(;;);
}
@endcode
*/
#endif /* DOXYGEN */

/**@{*/
#if (__GNUC__ * 100 + __GNUC_MINOR__) < 304
#error "This library requires AVR-GCC 3.4 or later, update to newer AVR-GCC compiler !"
#endif
#include <avr/io.h>
/** defines the data direction (reading from I2C device) in i2c_start(),i2c_rep_start() */
#define I2C_READ  1
/** defines the data direction (writing to I2C device) in i2c_start(),i2c_rep_start() */
#define I2C_WRITE 0
/** @brief initialize the I2C master interace. Need to be called only once
@param void
@return none */
extern void i2c_init(void);
/** @brief Terminates the data transfer and releases the I2C bus
@param void
@return none */
extern void i2c_stop(void);
/** @brief Issues a start condition and sends address and transfer direction
@param  addr address and transfer direction of I2C device
@return 0  device accessible
@return 1  failed to access device
*/
extern unsigned char i2c_start(unsigned char addr);
/**
@brief Issues a repeated start condition and sends address and transfer direction

```

```

@param addr address and transfer direction of I2C device
@retval 0 device accessible
@retval 1 failed to access device
*/
extern unsigned char i2c_rep_start(unsigned char addr);
/**
@brief Issues a start condition and sends address and transfer direction
If device is busy, use ack polling to wait until device ready
@param addr address and transfer direction of I2C device
@return none
*/
extern void i2c_start_wait(unsigned char addr);
/**
@brief Send one byte to I2C device
@param data byte to be transfered
@retval 0 write successful
@retval 1 write failed
*/
extern unsigned char i2c_write(unsigned char data);
/** @brief read one byte from the I2C device, request more data from device
@return byte read from I2C device */
extern unsigned char i2c_readAck(void);
/** @brief read one byte from the I2C device, read is followed by a stop condition
@return byte read from I2C device */
extern unsigned char i2c_readNak(void);
/** @brief read one byte from the I2C device
Implemented as a macro, which calls either i2c_readAck or i2c_readNak
@param ack 1 send ack, request more data from device<br>
0 send nak, read is followed by a stop condition
@return byte read from I2C device */
extern unsigned char i2c_read(unsigned char ack);
#define i2c_read(ack) (ack) ? i2c_readAck() : i2c_readNak();
/**@}*/
#endif

```