

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA INDÚSTRIA  
AUTOMOTIVA

LUCAS ROMÁRIO FERREIRA

## **CONTROLADOR DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2020

LUCAS ROMÁRIO FERREIRA

## **CONTROLADOR DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. M. Sc. Ronnier Frates Rohrich

CURITIBA  
2020



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria  
Automotiva



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **CONTROLADOR DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO**

por

**LUCAS ROMÁRIO FERREIRA**

Esta monografia foi apresentada em 04 de Março de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. M. Sc. Ronnier Frates Rohrich  
Orientador

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Membro titular

---

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar a vida e poder estar passando por esta fase com saúde e felicidades.

Ao professor, Ronnier Frates Rohrich, pelas orientações, dedicação e apoio durante a realização deste trabalho.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por oportunizar a realização deste trabalho, a fim de utilizar parte do conhecimento obtido no período do curso.

À Oficina Mecânica Becker e Ferreira, pela contribuição na realização dos testes.

Aos meus pais, Olivio dos Santos Ferreira e Cirene Regina Nogueira, pelo total apoio em todos os momentos de minha vida e motivação para realização deste sonho.

À minha namorada, pela paciência, compreensão e apoio.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para a conclusão deste curso, principalmente aos meus pais, minha namorada e professores.

## RESUMO

FERREIRA, Lucas Romário. **Controlador de ar condicionado automotivo**. 2020. 50 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

Atualmente os acessórios que trazem comodidade para os ocupantes dos veículos encarecem o produto, passaram a ser itens opcionais. O ar condicionado é um dos itens que possui a configuração mencionada, pode ser acionado manualmente ou se o consumidor tiver disposto a pagar mais, o ar é acionado automaticamente conforme a temperatura desejada. Objetivando desenvolver um sistema de baixo custo para o acionamento do ar condicionado iniciou-se os estudos deste trabalho. A ideia foi apresentada a uma oficina mecânica, que demonstrou interesse no assunto, foi possível desenvolver um protótipo para realizar testes em um veículo utilizando componentes eletrônicos dedicados à pesquisa e desenvolvimento acadêmico. Os resultados obtidos com o controlador de ar condicionado foram satisfatórios, diferentes temperaturas puderam ser analisadas, em todas o controlador teve comportamento semelhante, após o instante necessário para o sensor identificar a temperatura interna do veículo, o relé, responsável por acionar a embreagem eletrônica do compressor do ar condicionado era acionado.

**Palavras-chave:** Ar condicionado. Controlador de Ar Condicionado. Plataforma Arduino.

## ABSTRACT

FERREIRA, Lucas Romário. **Automotive air conditioner controller**. 2020. 50 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

Currently, accessories that bring convenience to vehicle occupants make the product more expensive and have become optional items. Air conditioning is one of the items that has the mentioned configuration, can be activated manually or if the consumer is willing to pay more, the air is automatically activated according to the desired temperature. Aiming to develop a low cost system for the activation of air conditioning, the studies of this work began. The idea was presented to a mechanical workshop, which showed interest in the subject, it was possible to develop a prototype to perform tests on a vehicle using electronic components dedicated to academic research and development. The results obtained with the air conditioning controller were satisfactory, different temperatures could be analyzed, in all the controller had similar behavior, after the instant necessary for the sensor to identify the internal temperature of the vehicle, the relay, responsible for activating the electronic clutch of the air conditioning compressor was activated.

**Keywords:** Air conditioning. Air Conditioner Controller. Arduino platform.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema em malha fechada típico .....	16
Figura 2 - Arquitetura de Von Neuman.....	18
Figura 3 - Arquitetura de Harvard.....	19
Figura 4 - Modelo cilíndrico da interação térmica do corpo humano como o meio envolvente .....	20
Figura 5 - Taxa de penetração do ar condicionado no mundo .....	22
Figura 6 - Formas construtivas dos principais compressores automotivos .....	24
Figura 7 - Estágios de funcionamento de um compressor alternativo.....	25
Figura 8 - Detalhe do condensador fluxo paralelo.....	26
Figura 9 - Identificação dos principais componentes e dos pinos de conexão da placa do Arduino UNO .....	31
Figura 10 - Tela do software de programação do Arduino .....	33
Figura 11 - Passos seguidos no trabalho .....	37
Figura 12 - Esquema eletrônico do protótipo do controlador de ar condicionado.....	39
Figura 13 - Protótipo em funcionamento (display de temperatura).....	41
Figura 14 - Botões de seleção.....	42
Figura 15 - Protótipo em funcionamento (relé acionado) .....	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Algumas versões das placas de Arduino .....	30
Quadro 2 - Descrição dos pinos de alimentação da placa de Arduino UNO .....	32
Quadro 3 - Descrição das funções especiais de alguns dos pinos de entrada/saída da placa de Arduino UNO .....	32
Quadro 4 - Bibliotecas específicas do Arduino.....	34
Quadro 5 - Exemplos de Shields.....	35
Quadro 6 - Alguns exemplos de sensores .....	36
Quadro 7 - Tabela de materiais utilizados para construir o protótipo .....	39



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	10
1.2 PROBLEMA .....	10
1.3 OBJETIVOS .....	10
1.3.1 Objetivo Geral .....	10
1.3.2 Objetivos Específicos .....	11
1.4 JUSTIFICATIVA .....	11
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
2.1 COMUNICAÇÃO SERIAL .....	12
2.2 COVERSOR ANALÓGICO DIGITAL E DIGITAL ANALÓGICO .....	14
2.3 SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA FECHADA .....	15
2.4 ARQUITETURA DE MICROCONTROLADOR .....	17
2.5 CONFORTO TÉRMICO DOS AUTOMÓVEIS .....	19
2.6 FUNCIONAMENTO DO AR CONDICIONADO .....	22
2.6.1 Compressor .....	23
2.6.2 Condensador .....	25
2.6.3 Filtro Secador e Acumulador de Sucção .....	27
2.6.4 Dispositivo de Expansão .....	27
2.6.5 Evaporador .....	28
2.7 PLATAFORMA ARDUINO .....	28
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>37</b>
3.1 METODOLOGIA .....	37
3.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	37
3.3 ANÁLISE, DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA .....	38
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A: CÓDIGO RESPONSÁVEL POR GERENCIAR O CONTROLADOR DE AR CONDICIONADO</b> .....	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades que serão apresentadas foram desenvolvidas em parceria com a Oficina Mecânica Becker e Ferreira<sup>1</sup>. Situada na região metropolitana de Curitiba, atuando na manutenção e reparos de veículos leves e pesados. Conta com equipamentos de alta tecnologia para atender as necessidades dos veículos atuais, que a cada ano possuem maior quantidade de sistemas embarcados.

Pensando na segurança dos condutores de veículos que possuem ar condicionado com acionamento manual é relevante buscar alternativas, visando a satisfação dos proprietários.

O tema do trabalho estruturou-se em desenvolver um controlador de ar condicionado para veículos leves que possuem acionamento manual, utilizando componentes eletrônicos e a plataforma Arduino.

O objetivo geral deste trabalho foi permitir que o condutor do veículo selecione uma temperatura interna no automóvel, e que esta mantenha-se durante toda a viagem sem a necessidade de os ocupantes ligar e desligar o ar condicionado. Utilizando uma placa do Arduino UNO, alguns componentes da mesma plataforma e desenvolvendo a programação dando ações para todos os componentes, foi possível acionar o relé responsável por ligar o compressor do ar condicionado de acordo com a temperatura selecionada no display.

O trabalho foi estruturado em capítulos e subtítulos, alinhado ao cronograma proposto pela Universidade e pela disponibilidade da Oficina Mecânica em ceder um veículo e ferramentas para realizar os testes do dispositivo.

No primeiro capítulo é abordado o problema, os objetivos, a justificativa e a estrutura do trabalho. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, citando alguns autores relacionados ao tema em estudo; bem como as técnicas e métodos utilizados na busca dos resultados, para desenvolver o controlador de ar condicionado. No capítulo 3, encontra-se o desenvolvimento apresentando a metodologia descrevendo os passos seguidos durante o desenvolvimento do trabalho, relata a apresentação e análise dos resultados, abordando uma mescla de prática e teoria, e as possíveis soluções encontradas para o problema. Na conclusão é citado a resposta para o problema e sugestões para trabalhos futuros.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.beckereferreira.com/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No capítulo em que se inicia este trabalho será evidenciado o problema, o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa e será abordado como foi definida a estrutura do trabalho, que se faz essencial para o melhor entendimento dos capítulos subsequentes.

## 1.2 PROBLEMA

Quando os primeiros automóveis foram surgindo a principal exigência da época era que fosse possível se locomover mais rápido sem precisar sair correndo ou ter que usar um animal como meio de locomoção (SANTANA, 2010). Com o passar dos anos novos acessórios foram sendo inseridos nos veículos, deixando o consumidor cada vez mais exigente na aquisição de um automóvel.

Atualmente os acessórios que trazem comodidade para os ocupantes dos veículos encarecem o produto, passaram a ser itens opcionais. Um exemplo é o ar condicionado, pode ser acionado manualmente ou se o consumidor quiser pagar a mais, o ar é acionado automaticamente conforme a temperatura desejada.

Pensando em desenvolver um sistema de baixo custo para o acionamento do ar condicionado iniciou-se os estudos deste trabalho. Após contato com uma oficina mecânica de confiança, que prontamente demonstrou interesse no assunto, foi possível desenvolver um protótipo e realizar testes em um veículo.

## 1.3 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e objetivos específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Aplicar alguns conceitos de sistemas embarcados para desenvolver um controlador de ar condicionado para automóveis que contêm acionamento manual deste acessório que é requerido pela grande maioria dos proprietários.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Etapas a serem realizadas para atingir-se o Objetivo Geral neste trabalho de conclusão de curso de especialização, são elas:

- Conhecer como funciona o sistema de ar condicionado de um veículo;
- Definir a melhor estratégia para automatizar o acionamento do sistema de ar condicionado;
- Fazer levantamento dos materiais necessários para desenvolver o protótipo;
- Definir os parâmetros de programação para a placa de Arduino.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Visto a exigência dos consumidores em adquirir produtos que proporcionam conforto e comodidade, aliado a um bom custo benefício viabilizou o projeto do controlador de ar condicionado.

Qualquer que seja o acessório que deixa de ser um item de fábrica para as montadoras, passa a ser um acréscimo no valor do produto. O controlador em desenvolvimento pode ser instalado em qualquer veículo que possua o acionamento do ar condicionado manual, certamente com o um valor bem acessível.

Após toda a validação do sistema pretende-se apresentar o protótipo do controlador para a Engenharia de Desenvolvimento de uma montadora da região, buscando apresentar um comparativo entre o atual sistema que faz o controle automático do ar condicionado (que acaba encarecendo o veículo), pelo sistema desenvolvido.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será evidenciado o referencial teórico, objetivando ampliar o conhecimento sobre comunicação serial, funcionamento do ar condicionado, a plataforma Arduino, dentre outros assuntos que se fazem importante neste trabalho de conclusão de curso.

### 2.1 COMUNICAÇÃO SERIAL

A maior parte das mensagens digitais são mais longas que alguns poucos bits. Por não ser prático sequer econômico transferir todos os bits de uma mensagem ao mesmo tempo, a mensagem é quebrada em partes menores e transmitida sequencialmente. A transmissão bit-serial converte a mensagem em um bit por vez através de um canal. Cada bit representa uma parte da mensagem. Os bits individuais são então rearranjados no destino para compor a mensagem original. Normalmente um canal irá passar apenas um bit por vez. A transmissão bit-serial é usualmente chamada de transmissão serial, e é o método de comunicação escolhido por diversos periféricos de computadores conforme Stallings (2005).

Gallo e Hancock (2003) dizem que a comunicação serial em sistemas de comunicação propicia a redução de custos, pois utiliza menos fios na transmissão de dados, por isso, é muito utilizada em sistemas de comunicação de dados de longas distâncias, porém a sua transmissão é mais lenta, além de permitir a sua transmissão através de sistemas de comunicação já existentes que originalmente não foram projetadas para este tipo de transmissão, por exemplo, conexões de terminais a sistemas, conexões via linhas telefônicas para transferência de dados, conexões por linhas discadas e linhas de fibra ótica.

Segundo Tanenbaum e Wetherall (2011), dados serializados não são enviados de maneira uniforme através de um canal. Ao invés disso, pacotes com informação regulares são enviados seguidos de uma pausa. Os pacotes de dados binários são enviados dessa maneira, com comprimentos de pausa variável entre pacotes, até que a mensagem tenha sido totalmente transmitida. O circuito receptor dos dados deve saber o momento apropriado para ler os bits individuais desse canal, saber exatamente quando um pacote começa e quanto tempo decorre entre

bits. Quando essa temporização for conhecida, o receptor está sincronizado com o transmissor, e a transferência de dados torna-se possível. Duas técnicas básicas são empregadas para garantir a sincronização correta, conhecidas como comunicação síncrona e assíncrona.

Em sistemas síncronos, canais separados são usados para transmitir dados e informação de tempo. O canal de temporização transmite pulsos de *clock* para o receptor. Através da recepção de um pulso de *clock*, o receptor lê o canal de dado e armazena o valor do bit encontrado naquele momento. O canal de dados não é lido novamente até que o próximo pulso de *clock* chegue. Como o transmissor é responsável pelos pulsos de dados e de temporização, o receptor irá ler o canal de dados apenas quando comandado pelo transmissor, desta forma a sincronização é garantida.

Existem técnicas que compõem o sinal de *clock* e de dados em um único canal. Isso é usual quando transmissões síncronas são enviadas através de um modem.

Vasconcellos (2011) relata que em sistemas assíncronos, a informação trafega por um canal único. O transmissor e o receptor devem ser configurados antecipadamente para que a comunicação se estabeleça a contento. Um oscilador preciso no receptor irá gerar um sinal de *clock* interno que é igual (ou muito próximo) ao do transmissor. Para o protocolo serial mais comum, os dados são enviados em pequenos pacotes de ou 11 bits, dos quais 8 constituem a mensagem. Quando o canal está em repouso, o sinal correspondente no canal tem um nível lógico '1'. Um pacote de dados sempre começa com um nível lógico '0' (*start bit*) para sinalizar ao receptor que uma transmissão foi iniciada. O "*start bit*" inicializa um temporizador interno no receptor avisando que a transmissão começou e que serão necessários pulsos de *clocks*. Seguido do *start bit*, 8 bits de dados de mensagem são enviados na taxa de transmissão especificada. O pacote é concluído com os bits de paridade e de parada ("*stop bit*").

O comprimento do pacote de dados é pequeno em sistemas assíncronos para minimizar o risco do oscilador do transmissor e do receptor variar.

## 2.2 COVERTOR ANALÓGICO DIGITAL E DIGITAL ANALÓGICO

Para Plassche (1994) a maioria dos dados obtidos de sensores comuns, tais como sensores de temperatura, intensidade luminosa, posição, tensão, corrente entre outros fornecem sinais analógicos. Uma tensão que é proporcional à grandeza medida e que varia de forma contínua numa faixa de valores.

Porém, grande parte dos equipamentos modernos que fazem a aquisição de dados destes sensores, trabalha com técnicas digitais. Isso significa que o dado analógico, precisa ser convertido para a forma digital. Esta conversão é feita com circuitos denominados conversores analógico-digital, ou simplesmente A/D, como seu próprio nome diz, realiza a conversão de sinais, cuja amplitude varia continuamente em sinais digitais correspondentes à amplitude do sinal original.

Os conversores A/D e D/A são à base de todo o interfaceamento eletrônico entre o mundo analógico e o mundo digital. Estão presentes na maior parte dos instrumentos de medida atuais e são os responsáveis pelo aumento expressivo nos níveis de precisão e exatidão tal como o barateamento e popularização de instrumentos de medida digitais (BONFIM, 2015).

Conversores A/D e D/A são circuitos responsáveis pela conversão de sinais analógicos para digitais, e de sinais digitais para sinais analógicos. O sinal na forma analógica é contínuo, desta forma em cada intervalo do sinal analógico existem infinitos valores de tensão, tornando-se impossível converter todos os valores do sinal para a forma digital, ou obter todos os valores analógicos de sinais digitais. Para tal fenômeno deve ser efetuada uma amostragem do sinal. Assim, origina-se um novo sinal descontínuo, obtido de amostras, denominados sinais discretos, provenientes do sinal analógico de origem. Os valores analógicos entre duas amostras consecutivas não são convertidos para a forma digital, ocorrendo perdas na conversão. Mesmo com a impossibilidade de se obter todos os valores de um sinal analógico na forma digital estas perdas, em muitas aplicações práticas, são aceitáveis, porque é possível se obter amostras suficientes do sinal analógico de modo a não interferir na sua qualidade. Os circuitos digitais de áudio são bons exemplos, como CD-Players. São obtidas milhares de amostras do sinal analógico por segundo, de modo que as perdas na conversão sejam imperceptíveis. O ouvinte não consegue perceber a perda na qualidade do som na reprodução da música. Outra observação em relação à conversão A/D e D/A é o número de bits utilizados

nos sinais digitais para representar um valor analógico. Quanto mais bits são utilizados para a conversão para a forma digital, maior o número de valores analógicos possíveis de serem representados digitalmente (VASCONCELLOS, 2011).

O Conversor Digital/Analógico (*Digital to Analogic Converter*) é definido em Idoeta e Capuano (1997), como um circuito responsável pela conversão de sinais elétricos na forma digital para a forma analógica. O processamento e armazenamento de sinais elétricos são mais viáveis na forma digital, mas na maioria das vezes a finalidade do processamento destes sinais é o acionamento de algum dispositivo, como um atuador, que funciona com sinais analógicos. Como exemplos motores de corrente contínua, eletroválvulas, caixas de som e amplificadores. Deste modo é necessário converter os sinais da forma digital para a forma analógica, apresentando uma perda em relação ao sinal analógico original, para o qual se deseja converter.

Idoeta e Capuano (1997) também explanam sobre o Conversor Analógico/Digital (*Analogic to Digital Converter*) como sendo um circuito responsável pela conversão de sinais elétricos na forma analógica para a forma digital. Devido ao tempo necessário para a operação de conversão, e aos infinitos valores presentes em cada faixa de valores de um sinal analógico, é necessário efetuar a amostragem do sinal analógico. A taxa no tempo em que se obtém cada amostra de um sinal analógico é denominada taxa de amostragem.

### 2.3 SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA FECHADA

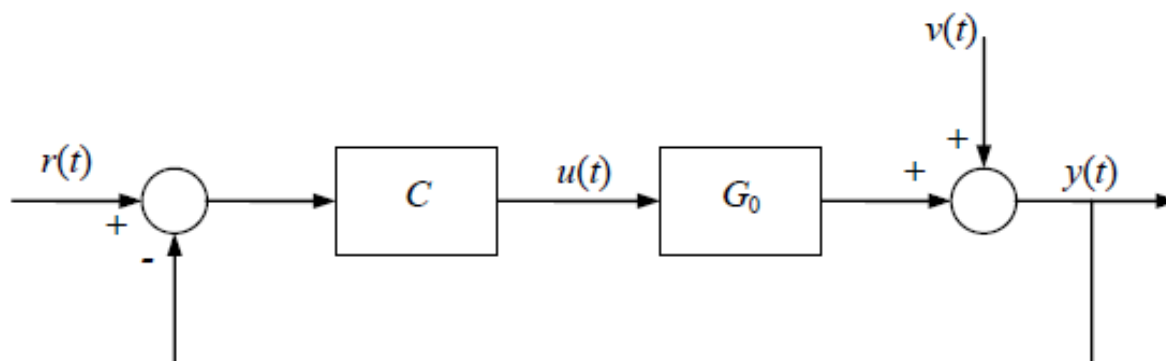
Vários fatores podem requerer que os procedimentos de identificação de sistemas sejam conduzidos com o sistema sob controle, ou seja, em malha fechada. Entre estes, Ljung (1999) cita o caso de plantas instáveis ou que devam permanecer sob controle por motivos econômicos, de produção ou de segurança, ou ainda sistemas que possuam mecanismos próprios de realimentação.

Segundo Ljung (1999), o principal problema da identificação em malha fechada é que normalmente os dados coletados nesta condição contêm menos informação sobre o sistema que dados coletados em malha aberta. Isto se deve ao fato de que um importante propósito da realimentação é tornar o sistema em malha fechada menos sensível a variações ou perturbações comparado à malha aberta.



Os problemas de identificação em malha fechada consideram processos onde a planta cujo modelo se deseja identificar esteja total ou parcialmente em controle com realimentação, processo representado pela Figura 1.

Figura 1 - Sistema em malha fechada típico



Fonte: Autoria própria.

Representado ainda na Figura 1,  $r(t)$  é o *set-point*,  $y(t)$  é a saída do processo,  $u(t)$  a entrada, e  $v(t)$  é uma perturbação não correlacionada com  $r(t)$ .  $G_0$  e  $C$  são respectivamente as funções de transferência da planta e do controlador.

Um sistema pode ser identificado se os dados do experimento forem suficientemente informativos e se o conjunto de modelos contiver o sistema real, independente do sistema estar em malha aberta ou fechada (LJUNG, 1999).

Segundo Van Den Hof (1998), um experimento em malha fechada será informativo em qualquer uma das seguintes situações:

- O sinal injetado é persistentemente excitante;
- O controlador é de ordem suficientemente alta, não-linear ou variante no tempo;
- O controlador é “chaveado” entre diferentes sintonias durante o experimento.

As abordagens empregadas para identificação em malha fechada podem ser divididas nas seguintes três categorias (LJUNG, 1999):

- Método direto (“direct approach”): nesta abordagem, o método do erro de previsão (PEM) pode ser empregado diretamente, usando a saída  $y(t)$  e a entrada  $u(t)$  do processo da mesma forma que em malha aberta, ignorando qualquer possível realimentação e não utilizando o sinal de referência  $r(t)$ ;
- Método indireto: neste caso, o sistema em malha fechada é identificado a partir dos sinais de referência  $r(t)$  e de saída  $y(t)$ . A partir deste sistema em

malha fechada e conhecendo-se o controlador, pode-se determinar o modelo da planta;

- c) Método conjunto de entrada e saída: neste método, a saída  $y(t)$  e a entrada  $u(t)$  são tratadas como se fossem saídas de um sistema excitado pela referência  $r(t)$  e pela perturbação  $v(t)$ . O modelo da planta pode ser então determinado a partir deste sistema conjunto.

## 2.4 ARQUITETURA DE MICROCONTROLADOR

O microcontrolador é um pequeno componente eletrônico, dotado de uma tecnologia programável, utilizado no controle de processos lógicos. É pequeno porque em uma única pastilha de silício encapsulada existem todos os componentes necessários para o controle de um processo. Dotado de “inteligência” programável porque possui uma unidade lógica aritmética, onde todas as operações matemáticas e lógicas são executadas, e toda esta lógica é estruturada na forma de programa e gravada dentro de um componente, então, toda vez que um microcontrolador for alimentado o programa interno é executado. Utilizado no controle de processos, que deve ser entendido como o controle de periféricos como *led*, *displays*, relés, sensores, entre outros. São chamados de controles lógicos porque a operação do sistema baseia-se nas ações lógicas que devem ser executadas, dependendo do estado dos periféricos de entrada e saída (PEREIRA, 2009).

Os microcontroladores surgiram como uma evolução natural dos circuitos digitais devido ao aumento da complexidade dos mesmos. Chega um ponto em que é mais simples, mais barato e mais compacto, substituir a lógica das portas digitais por um conjunto de processador e *software*.

O primeiro microcontrolador foi lançado pela empresa Intel em 1977 e recebeu a sigla “8048”. Após sua evolução, deu origem à família “8051”.

Esse chip é programado em linguagem *Assembly* e possui um poderoso conjunto de instruções. Por ser um dos primeiros, é utilizado em muitas aplicações de automação em diversas áreas do mundo.

O microcontrolador possui internamente os seguintes dispositivos:

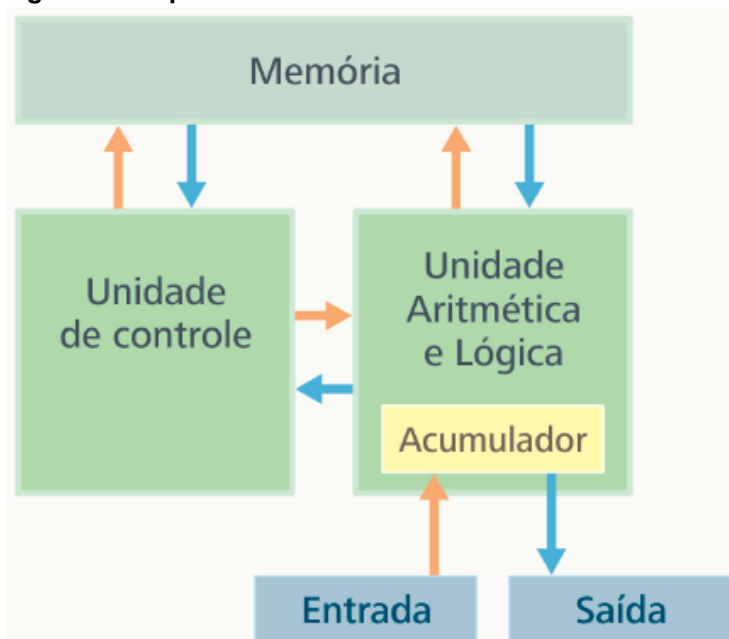
- Uma CPU (Unidade de Processamento Central), cuja finalidade é interpretar as instruções de programa;
- Uma memória PROM (Memória Programável Somente de Leitura) na qual são gravadas as instruções do programa;
- Uma memória RAM (Memória de Acesso Aleatório) utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa;
- Um conjunto de LINHAS de I/O para controlar dispositivos externos ou receber impulsos de sensores, interruptores, entre outros;
- Um conjunto de dispositivos auxiliares ao funcionamento, ou seja, gerador de *clock*, contadores, UASART para comunicação, etc.

Em casos que um sistema de processamento de dados possui uma única área de memória na qual são armazenados os dados (variáveis) e o programa a ser executado (*software*), este sistema segue a arquitetura de Von Neuman.

No caso em que os dados (variáveis) são armazenados em uma área de memória e o programa a ser executado (*software*) fica armazenado em outra área de memória, este sistema segue a arquitetura Harvard (ZANCO, 2006).

A máquina proposta por Von Neuman é composta pelos componentes representados na Figura 2.

Figura 2 - Arquitetura de Von Neuman

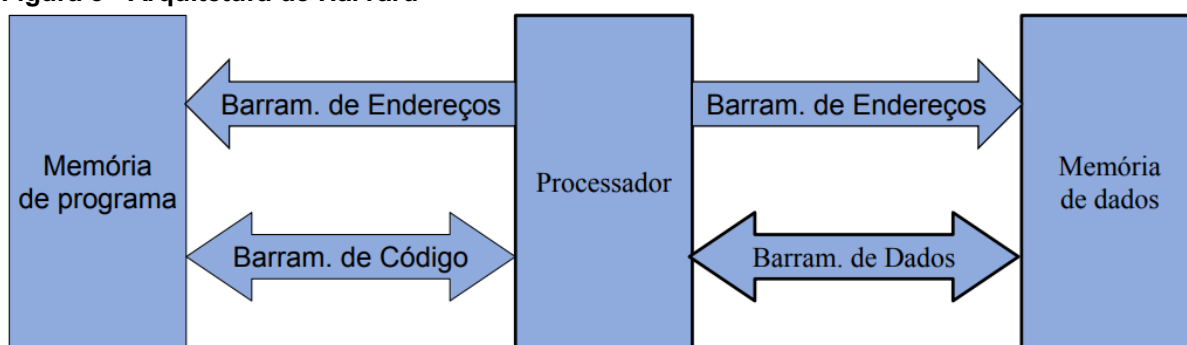


Fonte: Autoria própria.

Fica explícito, novamente na Figura 2, que não existe separação entre os dados e o programa, visto que há uma única área de memória. Dessa forma, o processador executa uma única ação por vez, acessa os dados ou executa uma instrução.

Na arquitetura Harvard representada na Figura 3, caracteriza dois barramentos distintos: um para acessar a memória de dados e outro para acessar a memória de programas. Dessa forma, o processador pode buscar e executar uma instrução ao mesmo tempo em que acessa a memória de dados para ler ou para gravar algum valor (PEREIRA, 2009).

**Figura 3 - Arquitetura de Harvard**



Fonte: Autoria própria.

Zanco (2006) explica que devido à separação entre dados e programa, um processador da arquitetura Harvard executa um programa em menor tempo do que um processador da arquitetura Von Neuman de mesmo *clock*.

## 2.5 CONFORTO TÉRMICO DOS AUTOMÓVEIS

De acordo com o conceito definido pela norma ASHRAE o conforto térmico é um estado de espírito que representa a satisfação de uma pessoa com o ambiente térmico que a envolve (ASHRAE, 2011). Destaca ainda que o metabolismo do corpo humano converte continuamente a energia dos alimentos em trabalho e calor, e o calor deve ser dissipado pelo corpo para que a sua temperatura interna permaneça dentro de limites estreitos para evitar o desconforto e o stress térmico.

Para Borgstein, Hensen e Lamberts (2016) o conforto térmico está baseado em três fatores:

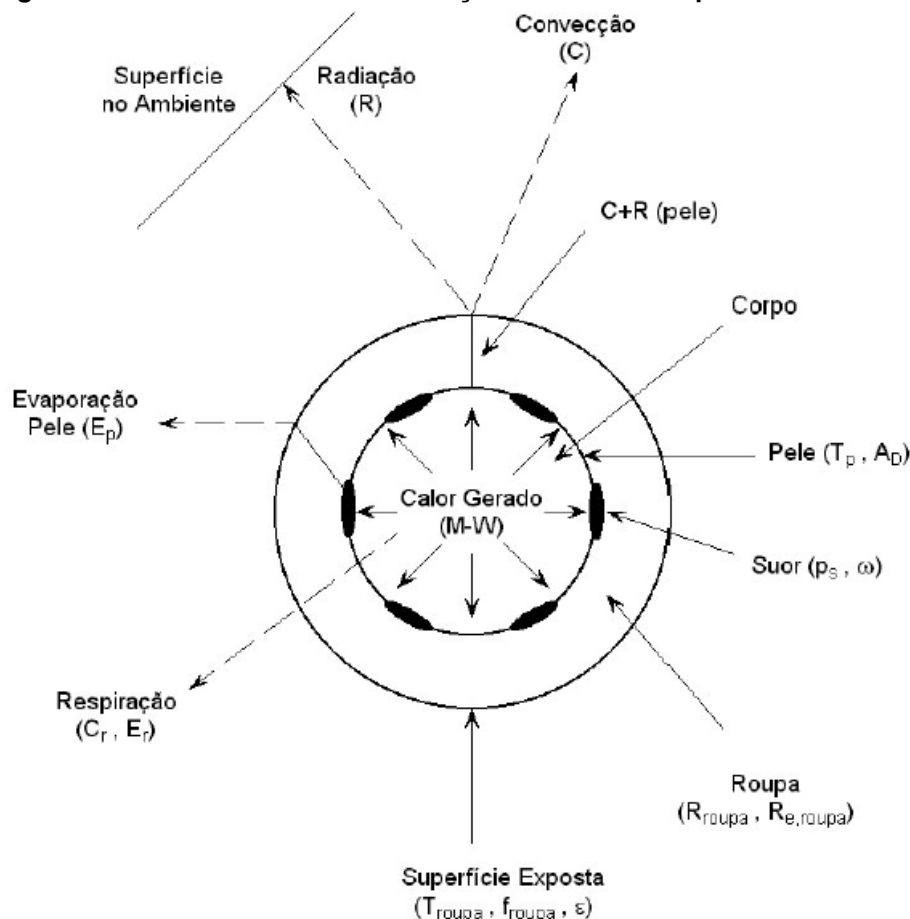
- A satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável;
- A performance humana devido as atividades intelectuais, manuais e perceptivas;
- Apresentam um melhor rendimento quando realizadas em conforto térmico.

É a conservação de energia, com à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes condicionados artificialmente.

Para o propósito da engenharia a sensação de conforto deve ser convertida e expressa em quantidades físicas mensuráveis (NILSSON, 2004). Estas grandezas puderam ser obtidas por meio de métodos como o de Fanger para ambientes relativamente homogêneos e em regime permanente (FANGER, 1972).

O modelo desenvolvido por Fanger (1972) é um dos mais utilizados para a avaliação de conforto térmico. O modelo de Fanger, apresentado na Figura 4, é baseado no balanço de energia do corpo humano.

**Figura 4 - Modelo cilíndrico da interação térmica do corpo humano como o meio envolvente**



Fonte: ASHRAE (2011).

A diferença entre o metabolismo e o trabalho gerado pelos músculos ( $M-W$ ) é definida pela 1ª Lei da Termodinâmica em regime permanente, pela equação 1:

$$M - W = (C + R + CR) + (E_{ES} + E_{DIF} + E_R) \quad [W/m^2]$$

Onde:

$M$	metabolismo $[W/m^2]$
$W$	trabalho externo $[W/m^2]$
$C$	calor perdido pela pele por convecção $[W/m^2]$
$R$	calor perdido pela pele por radiação $[W/m^2]$
$CR$	calor convectivo perdido pela respiração $[W/m^2]$
$E_{ES}$	calor perdido pela pele por evaporação do suor $[W/m^2]$
$E_{DIF}$	calor perdido pela pele por difusão da água $[W/m^2]$
$E_R$	calor evaporativo perdido pela respiração $[W/m^2]$

Na equação o calor produzido pelo corpo ( $M$ ) descontando-se o trabalho  $W$  realizado pelo corpo, deve ser igual às trocas de calor com o ambiente para que se possa obter condições de conforto térmico também definida como neutralidade térmica pela ASHRAE (ASHRAE, 2011).

Nos veículos automotivos o estudo do conforto térmico é consideravelmente mais complexo do que em ambientes que podem ser classificados como homogêneos, por exemplo em edificações.

No interior de um automóvel, ocorrem gradientes de temperatura e velocidade do ar significativos, com grandes diferenças de temperatura e transientes durante o processo de resfriamento e aquecimento. Em um automóvel as saídas de ar comumente são pequenas e o espaço confinado dificulta a circulação do ar. Além de que, há uma notável incidência solar e uma isolamento adicional devido aos bancos (MADSEN; OLESEN; REID, 1986; HOSNI *et al.*, 2003; NILSSON, 2004).

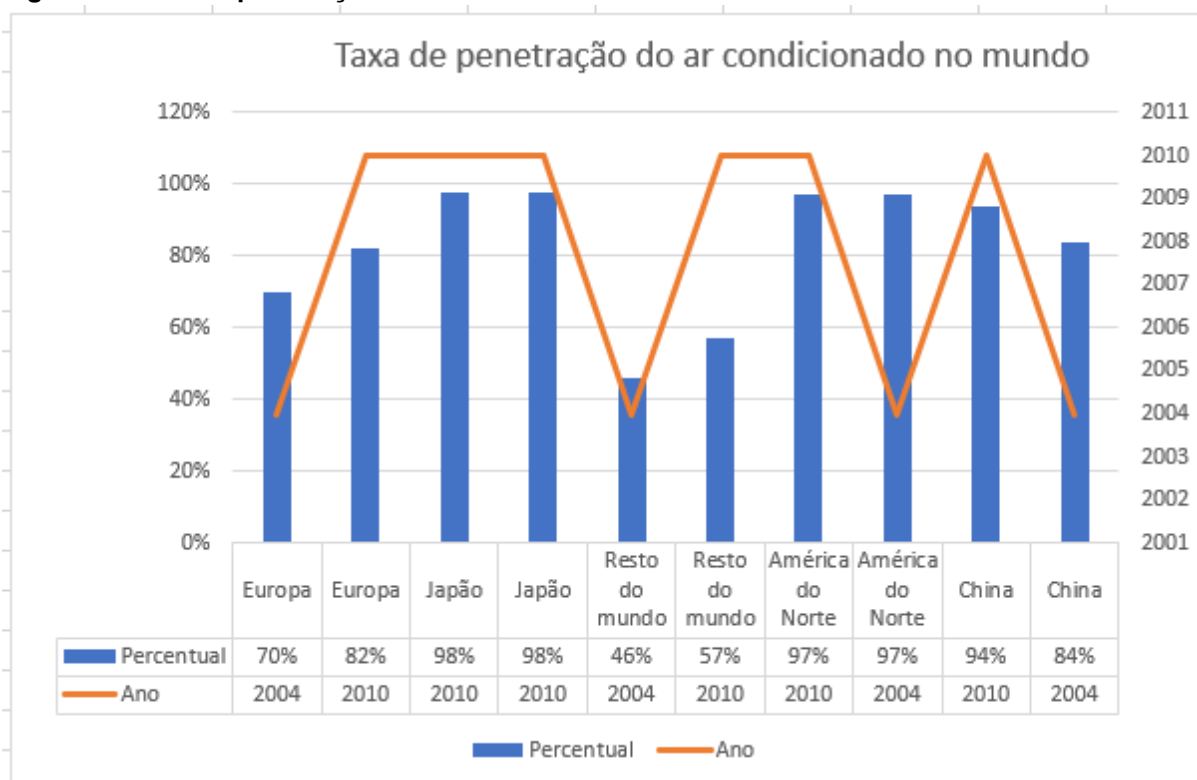
Por outro lado, o automóvel oferece aos ocupantes controles de velocidade, direcionamento e temperatura do ar, permitindo ajustes localizados; o que é menos comum em edificações (HOSNI *et al.*, 2003).

Inúmeros aspectos de conforto térmico em veículos automotores estão relacionados com questões da segurança veicular, em vista disto que há regulamentações específicas sobre o assunto determinadas pelas autoridades de transporte de cada país ou região, como a EEC 78/317 na comunidade Europeia e a FMVSS-103 nos Estados Unidos (BOSCH, 2019).

## 2.6 FUNCIONAMENTO DO AR CONDICIONADO

Os sistemas de Ar Condicionado Automotivo (ACA) são projetados para proporcionar conforto térmico aos ocupantes do veículo durante quaisquer condições climáticas, para garantir uma condição segura durante a condução do veículo. A primeira fábrica de automóveis a desenvolver um veículo com ACA foi a americana *Packard Motor Car Company* no ano de 1939. A produção em alto volume começou no início de 1960 também nos EUA e na década de 1970 no Japão e outros países asiáticos. Na Europa, onde as condições climáticas no verão são menos severas, o número de carros com ar condicionado só começou a aumentar significativamente no início da década de 1990. Seguindo o rápido crescimento no final de 1990, as taxas de penetração de ar condicionado em automóveis novos na Europa atingiram cerca de 70% em 2004 e 82% em 2010. A taxa de penetração permanece estagnada na América do Norte em 97% e no Japão em 98%, mas tem também aumentado na China (2004: 84%; 2010: 94%) e no resto do mundo (2004: 46%; 2010: 57%) (BHATTI, 1999; DALY, 2006). A Figura 5 ilustra o gráfico com os dados mencionados.

**Figura 5 - Taxa de penetração do ar condicionado no mundo**



Fonte: Autoria própria.

O sistema de ACA é diferente dos outros sistemas, pois a capacidade de refrigeração deve ser suficiente para fornecer ao interior do veículo a uma temperatura e umidade confortáveis de forma rápida e em seguida mantê-lo nesta condição durante todas as condições operacionais e ambientais. Os componentes do sistema de ACA devem atender critérios de resistência à corrosão interna e externa, além de ciclos de pressão, explosão e vibração. Este tipo de equipamento, de forma geral, deve atender os requisitos da norma SAE J639 (SAE J639, 2011), que inclui vários requisitos para os sistemas de refrigeração automotivos (ASHRAE, 2011).

As empresas que produzem sistemas ou partes do sistema de ACA estão principalmente dedicadas a fabricantes de automóveis. Estas empresas têm uma considerável responsabilidade na concepção e desenvolvimento dos sistemas. Na indústria de ACA existem seis grandes empresas mundiais que atuam como integradores de sistemas de ACA: Behr (GER), Denso (JP), Valeo/Zexel (FR), Delphi (US), Calsonic Kansei (JP) e Visteon (US). Com exceção da Delphi que tem no segmento de ACA apenas 5% de sua receita, nas outras este segmento responde por 20% a 40% (de acordo com relatórios anuais de empresas). Além destas, existem várias empresas especialistas em componentes como, por exemplo a Sanden (JP) e a Toyota Industries (JP) para compressores de ACA (RAVE; GOETZKE, 2011).

Um sistema comum de ar condicionado automotivo é composto pelos seguintes componentes: o compressor, o condensador e ventilador frontal, o evaporador, o sistema de captação do ar externo, o conjunto de controle da ventilação, distribuição e temperatura do ar interno, os dutos e difusores, o painel de controles e os sensores do sistema (ASHRAE, 2011).

Na sequência deste capítulo serão abordados os principais componentes do ciclo de refrigeração: compressor, condensador, filtro secador e acumulador de sucção, dispositivo de expansão e evaporador.

### 2.6.1 Compressor

Os principais tipos de compressores utilizados pela indústria automotiva em sistemas de ar condicionado são: compressores alternativos de deslocamento fixo, alternativos de deslocamento do tipo voluta (scroll) (BHATTI, 1999).



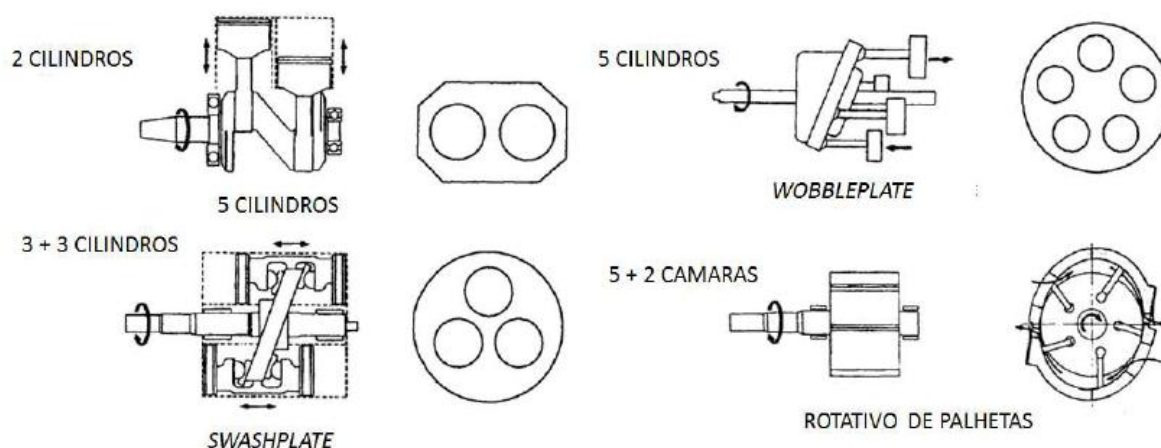
Os compressores de deslocamento fixo foram introduzidos no início do desenvolvimento dos sistemas de ar condicionado automotivo, nos anos 50 e pesavam cerca de 30 kg. Nos dias de hoje eles possuem um peso entre 4 e 7 kg, além da redução de peso suas eficiências isentrópicas e volumétricas, bem como sua durabilidade e confiabilidade foram aumentadas consideravelmente e os ruídos foram reduzidos significativamente (ASHRAE, 2011).

Santos (2005) destaca que os compressores de pistão abrangem quase todo o mercado automotivo, embora os compressores do tipo *scroll* e de palhetas rotativas também possuam uma participação representativa. Nesta mesma obra faz uma classificação dos compressores para ar condicionado automotivo quanto a sua construção mecânica:

- Compressor alternativo radial de pistões;
- Compressor alternativo de pistões com prato oscilante (“*Swashplate*” ou “*Wobbleplate*”);
- Compressor rotativo de palhetas;
- Compressor rotativo caracol (“*Scroll*”).

A Figura 6 apresenta os compressores de pistões alternativos duplos, *Swashplat*, de 3 pistões de dupla ação, *Wobbleplate* de 6 pistões e um compressor rotativo de palhetas tipo Vane

**Figura 6 - Formas construtivas dos principais compressores automotivos**

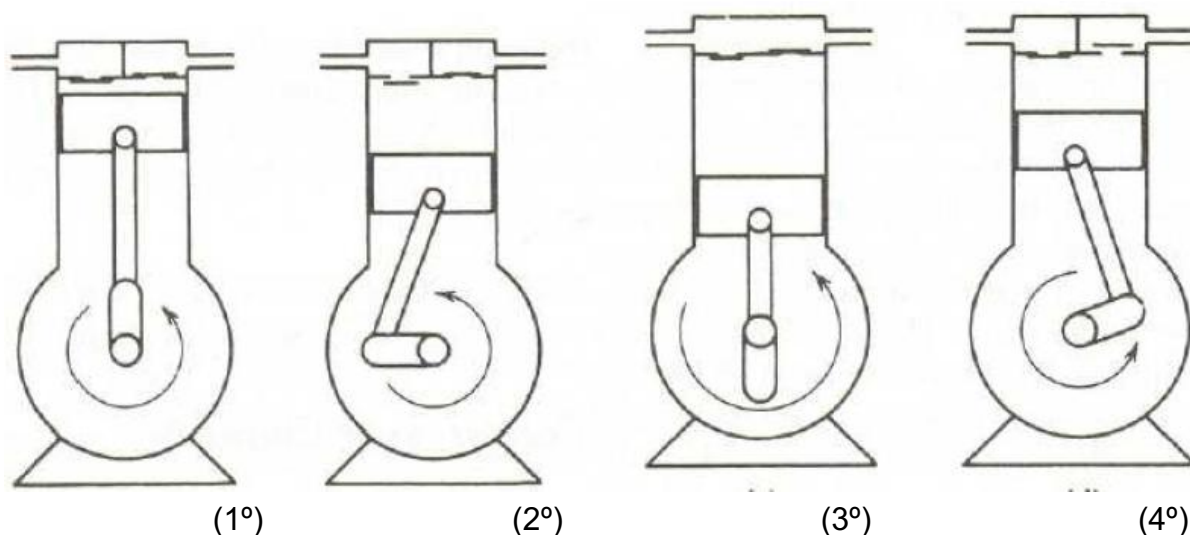


Fonte: ASHRAE (2011).

O modo como funciona o compressor alternativo de pistão pode ser melhor compreendido no exemplo apresentado na Figura 7 onde é detalhado o

funcionamento de um compressor alternativo radial. No (1º estágio) o pistão do compressor encontra-se no ponto morto superior; no (2º estágio) o cilindro desce, e em consequência desse movimento é criada uma depressão, possibilitando a abertura da válvula de sucção e a entrada de refrigerante na câmara de compressão; no (3º estágio) o pistão encontra-se no ponto morto inferior e a câmara está cheia de refrigerante no estado vapor; no (4º estágio) o cilindro está subindo e comprimindo o refrigerante até alcançar a pressão de abertura da válvula de descarga do compressor, liberando o refrigerante em alta pressão e temperatura em direção ao condensador (DOSSAT, 2004).

**Figura 7 - Estágios de funcionamento de um compressor alternativo**



Fonte: Dossat (2004).

O ciclo representado, novamente na Figura 7, de acordo com Dossat (2004) repete-se várias vezes por segundo dependendo da rotação do eixo do compressor. No ponto morto superior o pistão se aloca a uma distância mínima das válvulas. Para impedir que o pistão entre em contato com as válvulas, é necessário manter um pequeno espaço conhecido como espaço morto.

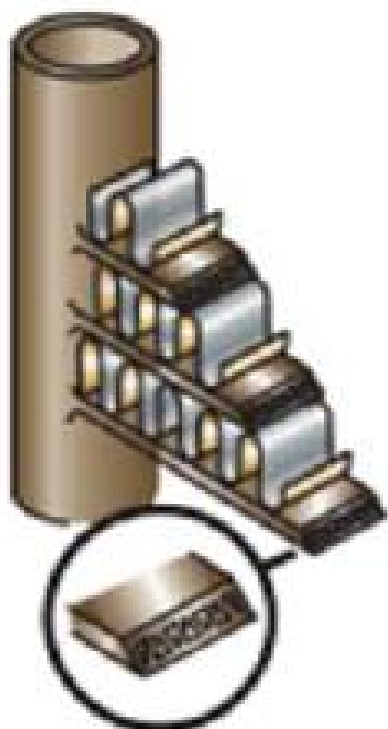
### 2.6.2 Condensador

O condensador, em um sistema de refrigeração, é um trocador de calor que tem a função de remover o calor do fluido refrigerante e rejeitar este calor para o meio externo. Para aplicações automotivas, o meio externo é o ar ambiente. No interior do condensador ocorre o processo de mudança de fase do refrigerante, de

vapor para líquido. O condensador pode ser dividido em três regiões distintas sob o ponto de vista do estado do refrigerante. Uma região monofásica de redução do superaquecimento do vapor, uma região de mudança de fase, onde ocorre a condensação e uma região de sub-resfriamento do líquido condensado (DALY, 2006; SCHNUBEL, 2012).

Existem diversos tipos de construções mecânicas para os condensadores para uso em automóveis. Atualmente o modelo de condensador mais utilizado para aplicações automotivas é o do tipo fluxo paralelo, Figura 8 com tubos planos de alumínio extrudado com multi-micro canais paralelos (SCHNUBEL, 2012).

**Figura 8 - Detalhe do condensador fluxo paralelo**



**Fonte: Schnubel (2012).**

Para Daly (2006) um condensador do tipo fluxo paralelo é caracterizado pelos tubos planos com múltiplos micro canais paralelos para o escoamento do refrigerante. Estes micros canais são alimentados através de tubos coletores nas suas extremidades. Os tubos planos têm uma área frontal projetada pequena, resultando em menor restrição ao fluxo de ar e, como resultado, em uma menor queda de pressão do lado do ar.

### 2.6.3 Filtro Secador e Acumulador de Sucção

Filtro secadores/acumuladores e acumuladores de sucção são dispositivos do tipo reservatório que tem aparência exterior similar. Porém, as funções e localização no sistema dos dois dispositivos são distintas. O filtro secador/acumulador é responsável por armazenar uma quantidade de refrigerante no estado líquido para garantir o fornecimento de refrigerante líquido para a válvula de expansão termostática (ASHRAE, 2011).

O acumulador de sucção é responsável por acumular qualquer quantidade de refrigerante em estado líquido que não tenha vaporizado por completo no evaporador, evitando que o compressor tenha contato com líquido de retorno. Com características semelhantes, ambos componentes também têm a função de filtro e removedor de umidade do sistema (SCHNUBEL, 2012).

### 2.6.4 Dispositivo de Expansão

O sistema de refrigeração por compressão de vapor necessita de um dispositivo de expansão que controle a passagem do refrigerante para o evaporador. No meio automotivo, os dispositivos de expansão mais comuns são a válvula de expansão termostática e o tubo de orifício calibrado (HERNANDEZ NETO, 1998).

A válvula de expansão além de fazer a expansão do refrigerante, garante o superaquecimento do refrigerante na saída do evaporador, protegendo o compressor contra um possível retorno de líquido também ajustando o fluxo de refrigerante para o evaporador conforme a demanda requerida (DALY, 2006).

O tubo de orifício tem se tornado cada vez mais comum entre os fabricantes de automóveis, devido ao seu baixo custo e alta confiabilidade. O escoamento do refrigerante no interior do tubo consiste na vaporização de parte do refrigerante responsável pela redução da sua própria temperatura, de modo que parte do efeito de refrigeração disponível é consumida neste processo (DOSSAT; HORAN, 2001).

### 2.6.5 Evaporador

O evaporador é um trocador de calor que tem a função de remover o calor do ambiente refrigerado. No interior do evaporador ocorre a evaporação do fluido refrigerante, processo que absorve calor do fluido quente. Evaporadores de aplicação automotiva devem também equilibrar a variação da capacidade do compressor, que ocorre com a aceleração e desaceleração do motor. O evaporador deve fornecer o fluxo de refrigerante estável sob todas as condições operacionais e ter capacidade suficiente para garantir uma rápida queda de temperatura no interior do veículo (SANTOS, 2005).

## 2.7 PLATAFORMA ARDUINO

Em 2005, foi desenvolvido o projeto Arduino, uma plataforma de prototipagem eletrônica, de código aberto, que utiliza um microcontrolador para implementar de maneira simples e com baixo custo os mais diversos circuitos e projetos nas áreas de eletrônica e automação. Entre as definições sobre o Arduino em McRoberts (2011, p.22) tem-se que: “Um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software”.

Na obra de Oliveira e Zanetti (2015) encontrasse um breve relato sobre a história da plataforma Arduino, o Projeto do *Arduino* adveio no *Interaction Design Institute* na cidade de Ivrea, comuna italiana da região do Piemonte, província de Turim, em 2005. O professor do Instituto, Massimo Banzi buscava um meio de possibilitar o uso de tecnologia nos projetos dos estudantes de design, com baixo custo e facilidade de aprendizado e utilização.

Com o auxílio de David Cuartielles, pesquisador visitante da Universidade de Malmö, na Suécia e Gianluca Martino, um engenheiro italiano, foi produzido, no Instituto, um lote inicial de 200 placas, que foram vendidas em poucos dias.

A nova placa foi chamada *Arduino* em referência a um bar local *Bar di Re Arduino*, frequentado por professores e alunos do Instituto. O nome do bar homenageia um rei europeu do início do século XI. A notoriedade desta placa

creveu rapidamente quando o grande público percebeu sua fácil utilização e seu baixo valor de aquisição.

As primeiras placas da plataforma *Arduino* iniciaram com comunicação serial e componentes discretos e eram vendidas desmontadas em kits ou apenas a placa de circuito impresso. As primeiras versões ainda não apresentavam o nome *Arduino*, porém são conhecidas como *Arduino Serial* e *Arduino Serial v2*.

A placa *Arduino USB* foi lançada após a popularização da conexão USB4 nos computadores. Sua primeira versão apresentava um erro na ligação elétrica do conector USB, limitando sua utilização. Para corrigir este problema foi logo lançada a placa *Arduino USB v2* que corrigia este problema.











Utilizando o padrão SMD5 de montagem dos componentes adicionais ao microcontrolador, o que viabiliza a produção dessas placas em larga escala, foram lançadas as placas *Arduino extreme* e *Arduino extreme v.2*. Essa versão já trazia impresso em sua placa o link disponível em: <[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)>, acesso em: 17 jan. 2020.

Em 2007, foi desenvolvido um melhor controle de programação pela interface USB, gerando uma nova placa, o *Arduino diecimila*. Em 2008 foi alcançado o número de 50.000 placas vendidas. A placa *Arduino duemilanove* implementou a funcionalidade de seleção automática de fonte externa/USB. A partir de março de 2009, esta versão passou a ser equipada com o microcontrolador ATMEGA328, duplicando sua capacidade de memória.

Conforme McRoberts (2011), *Arduino* é uma plataforma de *hardware* e *software open source*, programável, que permite interagir com o mundo a partir da aquisição de variáveis físicas através de sensores e interagir controlando luzes, motores e outros atuadores. O projeto *Arduino* é disponibilizado em diversas versões para atender aplicações bem diferenciadas.

No Quadro 1 estão ilustradas algumas destas versões que são disponibilizadas comercialmente.

Quadro 1 - Algumas versões das placas de Arduino

<i>Arduino UNO</i>		<i>Arduino Mini</i>	
<i>Arduino Leonardo</i>		<i>Arduino Micro</i>	
<i>Arduino Due</i>		<i>Arduino Nano</i>	
<i>Arduino Mega</i>		<i>Arduino LilyPad</i>	
<i>Arduino YUN</i>		<i>Arduino Gemma</i>	

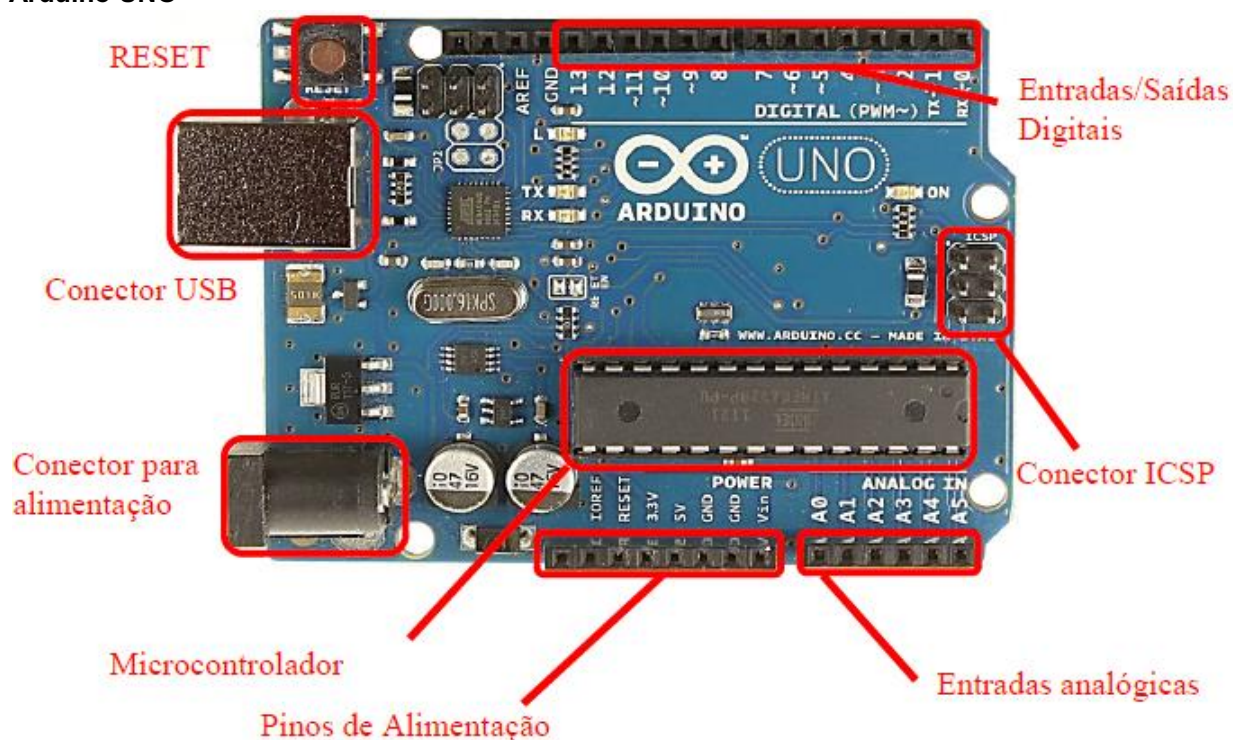
Fonte: Arduino (2019).

McRoberts (2011) destaca o fato do projeto ser *open source* e de ser disponibilizado sob uma licença *Creative Commons*, é possível copiar, modificar, ou desenvolver um projeto baseado nos diagramas e layout das placas, disponibilizadas pelo projeto Arduino. A única restrição é o uso do nome Arduino, que é exclusivo da equipe que desenvolveu esta plataforma. Por isso encontra-se no mercado, os originais Arduino, produzidos na Itália, e vários compatíveis, porém com outros nomes e países de origem como: Freeduino, Severino, Sanguino, Robduino, Seeduino, Garagino, dentre outros.

Conforme dados de Arduino (2019), dentre todas as plataformas, as compatíveis com o Arduino UNO apresentam uma ótima relação custo x benefício, tornando-se um excelente ponto de partida para o usuário iniciante e para o uso em aplicações de baixa complexidade atrelada a um baixo custo. Baseado no microcontrolador ATmega328 produzido pela ATMEL8, o Arduino UNO, apresentado na Figura 9, possui 14 pinos de entrada/saída digital, dos quais 6 pinos podem ser

usados como saídas PWM (Modulação por Largura de Pulso), 6 entradas analógicas, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP (Conector Serial de Programação), um botão de reset, LEDs (Diodo Emissor de Luz) indicativos do estado do pino 13 e da transmissão e recepção de dados através da interface serial (Pinos 0 e 1). A placa contém todos os componentes necessários para o adequado funcionamento do microcontrolador e sua interface com o computador.

**Figura 9 - Identificação dos principais componentes e dos pinos de conexão da placa do Arduino UNO**



Fonte: Adaptado de Arduino (2019).

A placa pode ser alimentada pela conexão USB, com uma fonte de alimentação externa ou por uma bateria acoplada ao conector para alimentação. A alimentação é selecionada automaticamente. Outra possibilidade, porém, menos recomendada, é a alimentação por meio dos pinos Vin e GND. A tensão da fonte externa pode variar de 6 a 20 volts. Porém, recomenda-se uma tensão entre 7V e 12V.

No Quadro 2 estão descritos os pinos de alimentação do Arduino UNO.



**Quadro 2 - Descrição dos pinos de alimentação da placa de Arduino UNO**

VIN	Entrada de alimentação para a placa quando se está utilizando uma fonte de alimentação externa, em oposição à conexão USB ou outra fonte de alimentação regulada ligada através do conector de alimentação. Quando a placa é alimentada através do conector Jack, a tensão fornecida pela fonte estará nesse pino.
GND	Pinos terra, tensão 0 V de referência.
5V	Fornecer tensão de 5 V para alimentação de sensores, placas auxiliares e circuitos externos. A corrente máxima suportada pelo microcontrolador é de 200 mA.
3,3V	Fornecer tensão de 3,3 V para alimentação de sensores, placas auxiliares e circuitos externos. A corrente máxima suportada é de 50mA.
RESET	Pino conectado ao RESET do microcontrolador. Pode ser utilizado para um reset externo do microcontrolador. Quando este pino comuta para o valor LOW (0V) o microcontrolador é reiniciado.
IOREF	Fornecer uma tensão de referência para que placas dedicadas ao Arduino ( <i>shields</i> ) possam selecionar o tipo de interface apropriada, dessa forma <i>shields</i> que funcionam com as placas <i>Arduino</i> que são alimentadas com 3,3V podem se adaptar para ser utilizados em 5V e vice-versa.

Fonte: Adaptado de Arduino (2019).

Qualquer um dos 14 pinos digitais presentes na placa do *Arduino UNO* pode ser utilizado como uma entrada ou uma saída digital e podem apresentar duas tensões distintas 0 (LOW – Nível baixo) e 5V (HIGH – Nível alto), com uma corrente máxima de 40mA. Alguns desses pinos têm funções secundárias específicas, conforme apresentadas pelo Quadro 3.

**Quadro 3 - Descrição das funções especiais de alguns dos pinos de entrada/saída da placa de Arduino UNO**

Serial	Pinos 0 (RX) e 1 (TX). Usados para receber (RX) e transmitir (TX) dados seriais TTL.
Interrupções Externas	Pinos 2 e 3. Estes pinos podem ser configurados para disparar uma interrupção de acordo com alguma variação de parâmetro percebida pelo circuito.
Interface de comunicação serial para periféricos	Pinos 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). A SPI é um protocolo de dados seriais síncronos utilizado em microcontroladores para comunicação entre o microcontrolador e um ou mais periféricos. Também pode ser utilizado entre dois microcontroladores. A comunicação SPI sempre tem um <i>master</i> . Ou seja, sempre um será o <i>master</i> e o restante será <i>slave</i> . Por exemplo, o <i>Arduino</i> é o <i>master</i> e os outros periféricos são <i>slave</i> . Esta comunicação contém 4 conexões: MISO ( <i>Master IN Slave OUT</i> ) - Dados do <i>Slave</i> para <i>Master</i> ; MOSI ( <i>Master OUT Slave IN</i> ) - Dados do <i>Master</i> para <i>Slave</i> ; SCK ( <i>Serial Clock</i> ) - <i>Clock</i> de sincronização para transmissão de dados entre o <i>Master</i> e <i>Slave</i> ; SS ( <i>Slave Select</i> ) - Seleciona qual <i>Slave</i> receberá os dados.
LED	Pino 13. Há um LED integrado ao pino digital 13. Quando este pino está no valor <i>HIGH</i> este LED está aceso, quando o pino está em <i>LOW</i> o LED está apagado.
I2C	Pinos 4 (SDA) e 5 (SCL). Fornecem suporte a comunicação I2C. I2C é um protocolo de comunicação, ou seja, com os mesmos fios conectamos todos os dispositivos da rede I2C. Essa característica, de barramento, é um dos grandes atrativos do I2C, pois reduz em muito a necessidade de pinos de conexão no <i>Arduino</i> , sempre é usado os mesmos fios para a conexão, não importa se é utilizado 1 ou 127 dispositivos. SDA significa <i>Serial Data</i> e SCL significa <i>Serial Clock</i> . O SDA é o pino que efetivamente transfere os dados, e o SCL serve para temporização entre os dispositivos, de modo que a comunicação pela SDA possa ter confiabilidade. Tanto o envio quanto a recepção de dados é realizada utilizando a linha SDA.

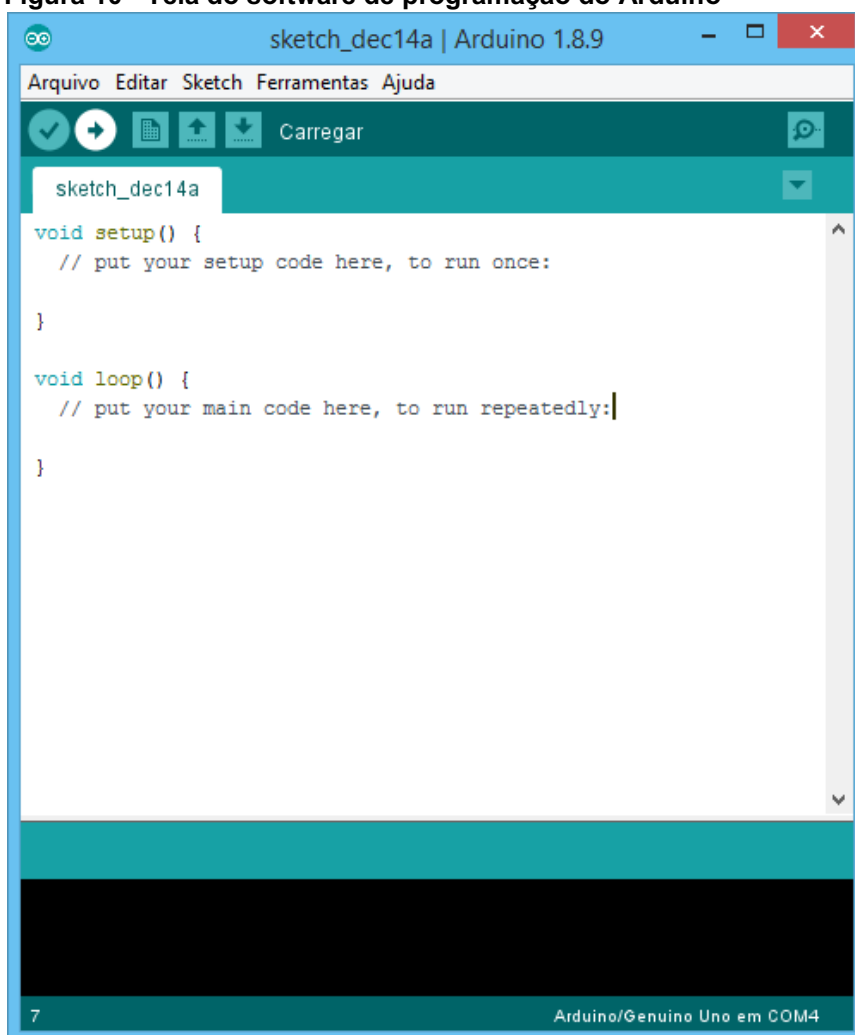
Fonte: Adaptado de Arduino (2019).

Para a programação do *Arduino*, é utilizada uma linguagem de programação própria, baseada no *Wiring*, linguagem de programação oriunda do C++. O ambiente de desenvolvimento é baseado no ambiente *Processing* e pode ser utilizado nos mais diversos sistemas operacionais, como *Windows* ou *Linux*, bastando apenas realizar o download da versão que corresponda ao sistema operacional.

O ambiente de desenvolvimento é uma plataforma de programação composta de um editor de texto para escrever o programa, de uma área de mensagens, de uma barra de ferramentas para funções mais comuns, e de uma série de menus. Este *software* se comunica com a placa, através de um cabo USB, e transfere o programa para o mesmo. Os programas escritos para Arduino neste ambiente de desenvolvimento são chamados de *sketches* (MCROBERTS, 2011).

Na Figura 10 é possível visualizar a janela de programação da placa de Arduino.

**Figura 10 - Tela do software de programação do Arduino**



**Fonte: Autoria própria.**

Segundo Arduino (2019), antes de um *sketch* ser transferido para a placa, o código é verificado quanto a sua sintaxe, é compilado e transformado em um arquivo intermediário, conhecido como arquivo objeto. No arquivo objeto, são adicionadas as bibliotecas necessárias e realiza-se a conversão em código de máquina.

Uma biblioteca é um trecho de *software* que fornece funcionalidade específica a um programa, por exemplo, a capacidade de escrever em um display de LCD ou de controlar a posição de um servo motor. O uso de uma biblioteca facilita o desenvolvimento de aplicações, pois o código da biblioteca já está pronto, e só precisa ser incorporado ao programa em desenvolvimento para que suas funções possam ser acessadas e utilizadas pelo desenvolvedor. Desta forma é possível estender o uso do *Arduino* incorporando bibliotecas específicas durante o desenvolvimento de um *sketch*. No Quadro 4, estão listadas algumas dessas bibliotecas e suas funcionalidades.

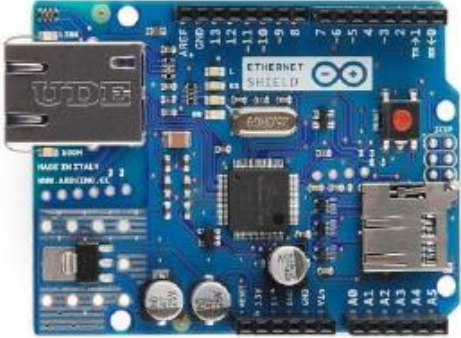



**Quadro 4 - Bibliotecas específicas do Arduino**

EEPROM	Para reprogramar a memória de armazenamento permanente.
Ethernet	Para se conectar a uma rede Ethernet usando o <i>Arduino Ethernet Shield</i> .
Liquid Crystal	Para controlar telas de cristal líquido (LCDs).
Servo	Para controlar servo motores
SPI	Para se comunicar com dispositivos que utilizam a <i>Serial Peripheral Interface</i> (SPI).
Software Serial	Para a comunicação serial em qualquer um dos pinos digitais.
Stepper	Para controlar motores de passo.
Wire	Para enviar e receber dados através de uma rede de dispositivos ou sensores.

**Fonte: Adaptado de Arduino (2019).**

Com características semelhantes às bibliotecas, que são customizações aplicadas ao *software*, as *Shields* são placas com implementação de um *hardware* específico. A principal característica de uma *shield* é a de ser desenvolvida para encaixar de maneira precisa nos conectores da placa *Arduino*. Estas placas podem conter displays de LCD, sensores, módulos de comunicação ou relês. A capacidade de expansão possibilita uma infinidade de aplicações de maneira simples e rápida (ARDUINO, 2019). No Quadro 5 são apresentados alguns exemplos de *Shields* da plataforma Arduino.

Quadro 5 - Exemplos de Shields

<p><b>Arduino Ethernet Shield</b></p> <p>Esta <i>Shield</i> fornece acesso à rede (IP) nos protocolos TCP ou UDP e possui um slot para cartão microSD que pode ser usado para armazenar arquivos que vão servir na rede, sendo facilmente utilizada usando a biblioteca <i>Ethernet Library</i> e <i>SD Library</i>.</p>	
<p><b>Arduino WIFI Shield</b></p> <p>Esta <i>shield</i> conecta o seu <i>Arduino</i> às redes wireless mais comuns do mercado (padrão 802.11 b/g), utilizando criptografia WEP, WPA ou WPA2. Também é possível utilizar o slot para cartão microSD para armazenar dados de sensores ou mesmo da internet.</p>	
<p><b>Arduino GSM Shield</b></p> <p>Esta é uma <i>shield</i> GPRS (<i>General Packet Radio Service</i>) para <i>Arduino</i> baseado no módulo wireless SIM900 Quad-Band GSM/GPRS. O módulo é capaz de enviar serviços GSM/GPRS em Quad-Band (850/900/1800/1900MHz) como SMS, Voz (ligações), Dados via Internet e Fax.</p>	
<p><b>Adafruit B&amp;W LCD Shield with keypad</b></p> <p>É uma <i>shield</i> que implementa um display LCD 16 caracteres x 2 linhas e um conjunto de 5 chaves do tipo <i>push botton</i>.</p>	

Fonte: Adaptado de Arduino (2019).

Além das *shields*, é possível implementar aplicações com o uso direto de sensores analógicos ou digitais. Os sensores são dispositivos eletroeletrônicos que transformam em variações elétricas as variações de alguma grandeza física (ARDUINO, 2019). Há diversos sensores que podem ser utilizados para a medição ou detecção de diversas grandezas, como os exemplos apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6 - Alguns exemplos de sensores**

 <p>Sensor ultrassônico Medição de distâncias.</p>	 <p>Sensor infravermelho Medição de distâncias, detecção de proximidade e de passagem em pequenas distâncias.</p>	 <p>Sensor infravermelho Medição de distâncias, detecção de proximidade e de passagem em distâncias até 1,5 metros.</p>
 <p>Sensor de efeito Hall Medição de corrente elétrica 0 a 5A.</p>	 <p>Sensor BMP085 Medição de pressão atmosférica e temperatura</p>	 <p>Sensor DHT11/DHT22 Medição de umidade e temperatura do ar</p>

Fonte: Adaptado de Arduino (2019).

### 3 DESENVOLVIMENTO

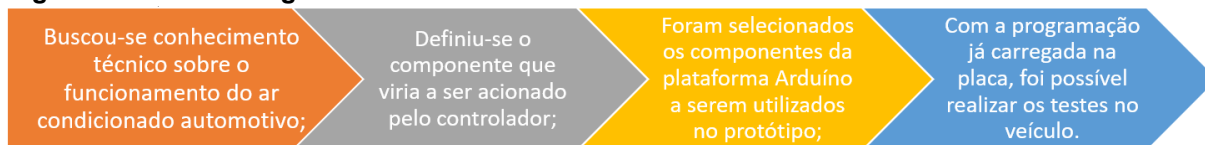
#### 3.1 METODOLOGIA

Em uma das revisões rotineiras realizadas na Becker e Ferreira, relatos de alguns clientes chamaram atenção, sobre o desconforto em fazer uma viagem longa e ter que se preocupar em controlar a temperatura do ar condicionado. Alguns já aviam orçados carros com uma tecnologia embarcada que resolveria o desconforto, porém o elevado custo sempre manteve o sistema convencional como o mais utilizado.

Após apresentar a ideia a um dos sócios da oficina, de imediato grande apoio foi recebido. Foi cedido um veículo para testar o controlador, mão de obra especializada e um espaço físico no barracão da empresa.

Na Figura 11 são representados os passos seguidos neste estudo.

**Figura 11 - Passos seguidos no trabalho**



**Fonte: Autoria própria.**

No final de todos os testes e levantamento das informações foi possível compilar os resultados e apresentar o controlador para os sócios da oficina e para alguns clientes que se faziam presentes.

A pesquisa bibliográfica teve papel fundamental, para cada tema tratado neste trabalho.

#### 3.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A grande maioria das montadoras de automóveis tem uma preocupação em reduzir custo na fabricação dos veículos e o ar condicionado é um item que compõem está estratégia das grandes marcas. Pode ser fornecido com acionamento manual ou digital, sendo que o acionamento digital é restrito aos carros mais luxuosos e acaba sendo um item opcional do veículo, que poderia ser um item de série.

Com base em dados levantados pela Oficina Mecânica Becker e Ferreira, com sua carteira de clientes, muitos almejam em poder adquirir um veículo que possua ar condicionado digital.

Pensando em uma solução barata e mais simples para fazer o controle do ar condicionado, iniciou-se um estudo científico com a proposta de melhorar o conforto dos ocupantes de automóveis que possuem ar condicionado com acionamento manual.

### 3.3 ANÁLISE, DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

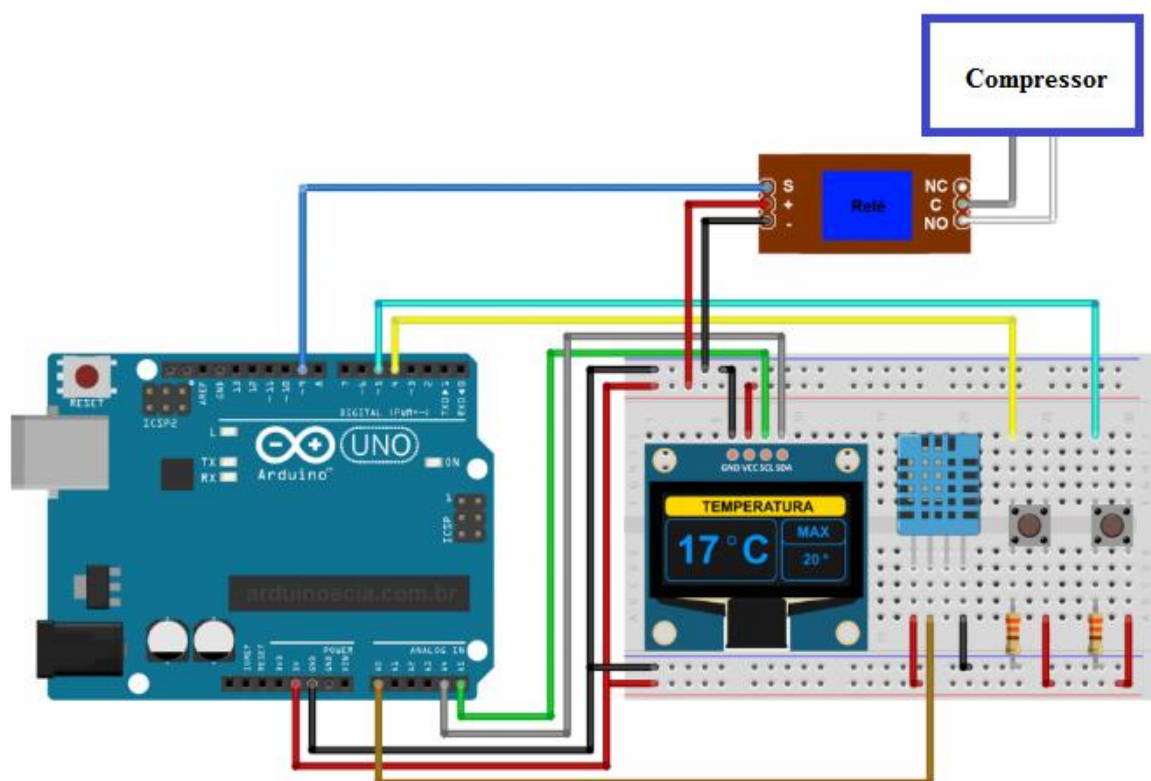
Para dar início ao estudo solicitou-se ao proprietário da oficina mecânica, um espaço e a disponibilidade de um veículo com ar condicionado com acionamento manual, de imediato manifestou interesse em ajudar no desenvolvimento do trabalho, ainda dispôs de uma mão de obra técnica para auxiliar no trabalho.

Nos veículos equipados com ar condicionado digital, uma vez que o ar foi ligado, e selecionado uma temperatura os ocupantes não precisam se preocupar em desligar e ligar a cada poucos instantes, pois o sistema gerencia a temperatura interna de acordo com a temperatura pré-definida.

De primeiro momento identificou-se qual seria a melhor forma para que o ar condicionado fosse ligado e desligado sem que os ocupantes do veículo fossem responsáveis por estas ações. O dispositivo que faz o acionamento do compressor do ar condicionado é o relé.

Para que o relé realizasse seu trabalho de maneira autônoma e inteligente foi desenhado o esquema eletrônico representado pela Figura 12.

Figura 12 - Esquema eletrônico do protótipo do controlador de ar condicionado



Fonte: Autoria própria.

Com a ideia do protótipo consolidada realizou-se o levantamento dos componentes necessários para construir o modelo proposto. A lista com os materiais utilizados está no Quadro 7, com a descrição do item, a ilustração e quantidade.





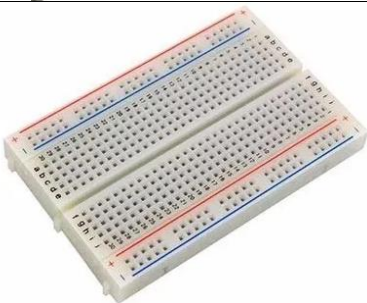

Quadro 7 - Tabela de materiais utilizados para construir o protótipo

(continua)

Descrição	Ilustração	Quantidade
Arduino UNO		1 peça
Módulo relé		1 peça



**Quadro 7 - Tabela de materiais utilizados para construir o protótipo**

		(conclusão)
Display Oled com conexão I2C		1 peça
Sensor de temperatura DHT11		1 peça
Botão tipo push-button		2 peças
Resistor de 330 ohms		2 peças
Protoboard 400 pinos		1 peça
Cabo Jump		20 peças

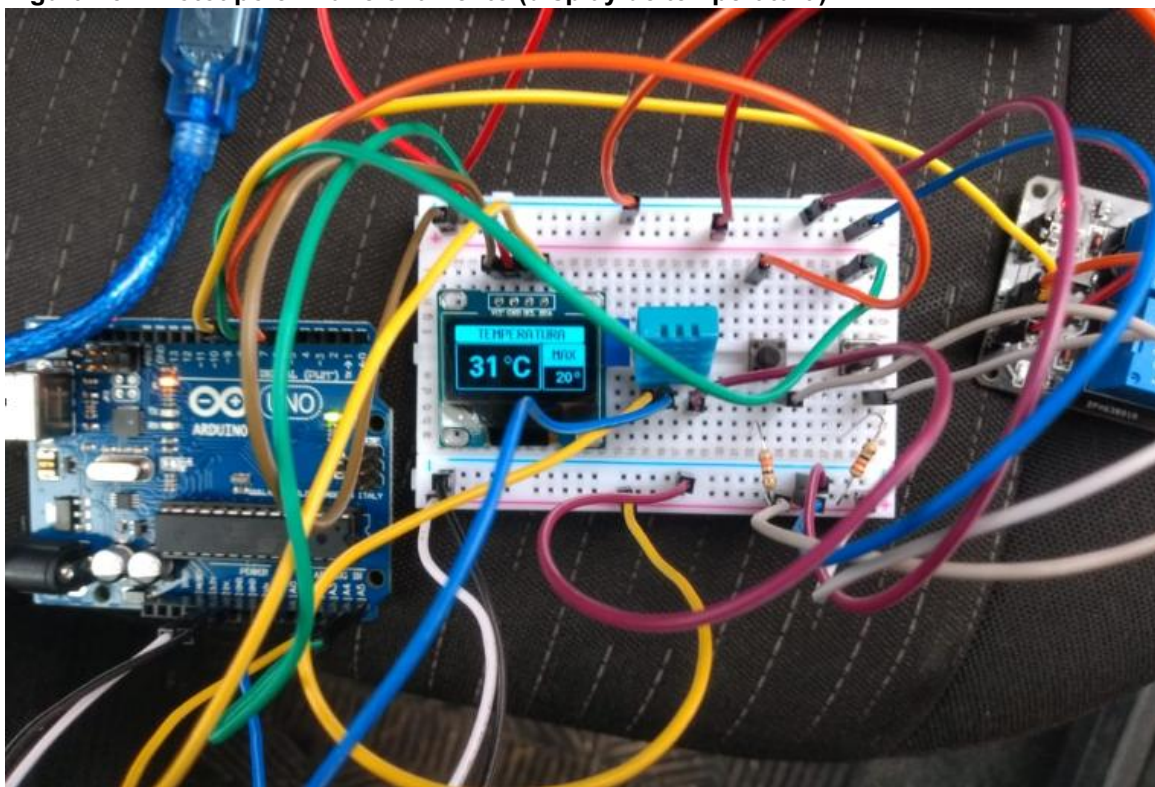
Fonte: Autoria própria.

Feito o desenho e o levantamento dos componentes a serem utilizados, foi possível escrever o código na plataforma de programação do arduino disponível na seção apêndices deste trabalho.

O funcionamento do protótipo consiste em fazer a leitura da temperatura interna do veículo, comparar com a temperatura máxima selecionada pelo usuário, se a temperatura interna estiver superior a máxima selecionada o módulo relé é acionado, este acionará o relé do compressor do ar condicionado do automóvel. Assim que a temperatura interna do veículo atingir uma temperatura menor que a máxima selecionada pelo usuário o módulo relé é desligado, assim como o compressor.

A Figura 13 mostra o protótipo em funcionamento, a temperatura da esquerda no display, é a temperatura interna do veículo. A temperatura máxima na direita do display, é a temperatura selecionada pelo usuário.

**Figura 13 - Protótipo em funcionamento (display de temperatura)**

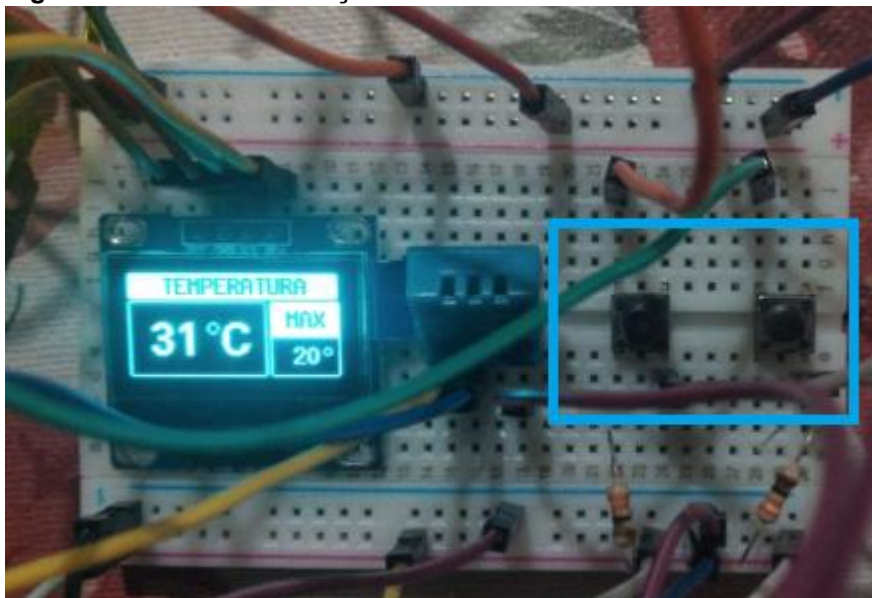


Fonte: Autoria própria.

Neste instante o relé já está acionado, pois a temperatura interna é superior a máxima selecionada.

Na Figura 14 está destacando no retângulo azul, os botões responsáveis pela seleção da temperatura interna.

**Figura 14 - Botões de seleção**

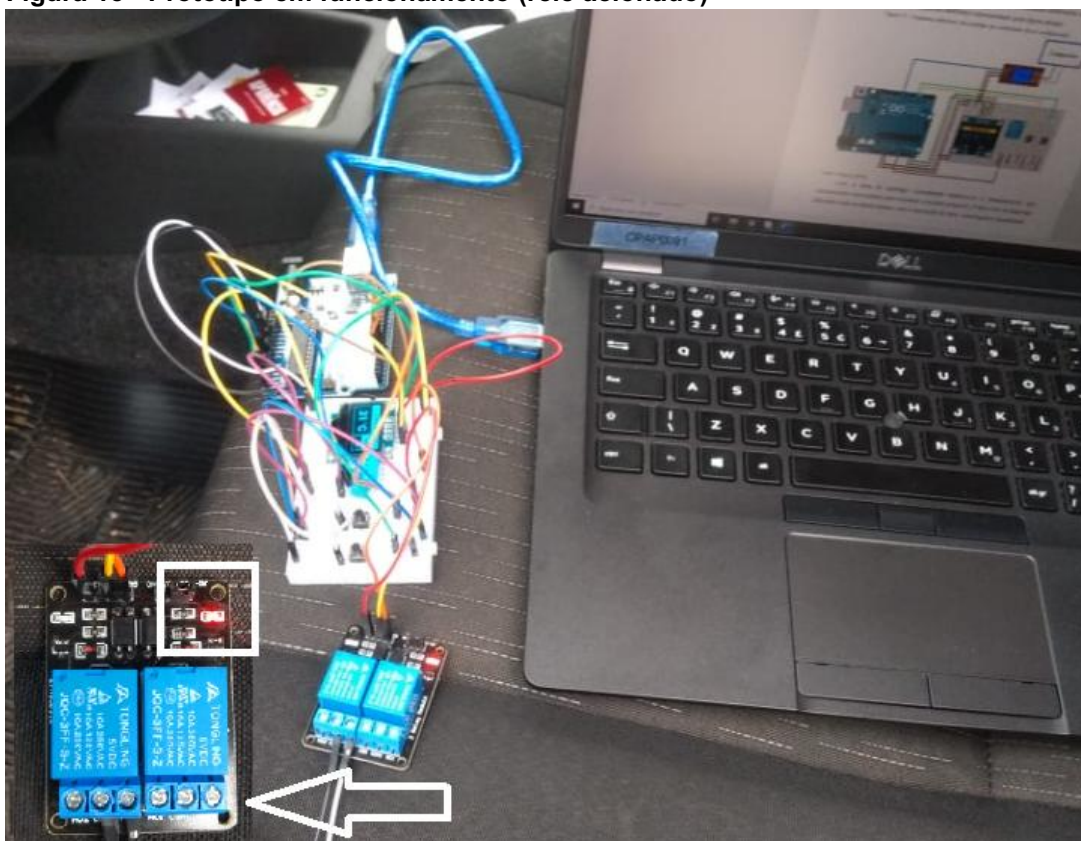


Fonte: Autoria própria.

A temperatura máxima é selecionada através dos botões, o botão da direita aumenta a temperatura e o botão da esquerda diminui. Neste experimento a temperatura interna é atualizada a cada 2000 milisegundos, podendo ser ajustada no código que faz o gerenciamento do protótipo. O código pode ser verificado no apêndice A deste trabalho.

Na Figura 15 é possível visualizar no quadrado branco o *led* do módulo relé acesso, indicando que o compressor do ar condicionado foi acionado. Nos testes foi utilizado o computador somente para alimentar a placa e os demais componentes do Arduino, pois a programação fica armazenada na memória da placa.

Figura 15 - Protótipo em funcionamento (relé acionado)



Fonte: Autoria própria.

Para realizar os testes o módulo relé foi ligado diretamente na interface do relé que faz o acionamento da embragem eletrônica do compressor do ar condicionado do veículo. Após selecionada a temperatura interna desejada o controlador entra em funcionamento. Ao atingir a temperatura selecionada no display o sistema é desligado até que o sensor de temperatura detecte que houve uma diferença na temperatura interna do veículo.

O experimento foi testado em um dia em que a temperatura ambiente estava entre 29 a 31 graus, o veículo estava estacionado no pátio da oficina.

Foram selecionadas diferentes temperaturas para verificar o comportamento do sistema durante os testes. Em todos os valores de temperatura o controlador foi acionado no mesmo instante de tempo, sendo necessário somente o tempo para o sensor fazer a leitura da temperatura e informar ao sistema.

Com este protótipo foi possível evidenciar a comodidade que o controlador de ar condicionado proporciona aos passageiros de um veículo. Em automóveis que possuem ar condicionado com acionamento manual, muitas vezes uma viagem de longa distância traz desconforto aos ocupantes, a momentos em que a temperatura

fica muito baixa é necessário desligar o ar, passado poucos instantes a temperatura já está elevada. É necessário validar o controlador de ar condicionado em uma viagem longa, devido ao curto tempo, ficou a cargo da Oficina em dar continuidade com a validação e se necessário realizar ajustes para o funcionamento ideal do sistema.

Percebendo o interesse de alguns clientes da oficina mecânica pelo controlador de ar condicionado, está sendo avaliado a possibilidade da fabricação e venda do dispositivo para os veículos que possuem acionamento do ar condicionado manual.

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento de um controlador de ar condicionado automótico aplicado a automoveis que não possuem controle automático do sistema de ar condicionado.

Foram utilizados componentes da plataforma Arduino para construir um protótipo, os parâmetros utilizados para controlar o acionamento do ar condicionado foram semelhantes aos que são utilizados em controladores já aplicados em veículos.

Feita as pesquisas necessárias e os testes em campo, foi possível controlar o ar condicionado de um automóvel. Os resultados foram bastante satisfatórios nos testes que foram possíveis realizar. Quando a temperatura interna do veículo atingia a temperatura máxima desejada, o sistema de imediato fazia o acioanamento do relé, o inverso ocorria quando a temperatura desejada era atingida. Foram selecionadas diferentes temperaturas para analisar o comportamento do sistema, em todas o controlador teve comportamento semelhante, após o instante necessário para o sensor identificar a temperatura interna do veículo, o relé, responsável por acionar a embreagem eletrônica do compressor do ar condicionado era acionado. A Oficina Mecânica dará continuidade aos testes, pois a grande interesse em disponibilizar aos clientes o sistema completo do controlador de ar condicionado, com todos os componentes e a programação necessária. Novos testes com viagens a longas distâncias já estão sendo programadas. A intenção é verificar o comportamento do protótipo em diferentes regiões e diferentes climas.

Com base nos resultados observados durante este estudo pode-se concluir que é possível desenvolver um controlador de ar condiciocado automotivo utilizando ferramentas e componentes bastante conhecidos da eletrônica, é uma solução apropriada para ser aplicada á veículos que possuem controle manual do sistema de ar condicionado.

Deixa-se como sugestão para futuros trabalhos acadêmicos dar continuidade na validação do controlador, fazendo melhorias necessárias, podendo também justificar não somente pelo conforto que o sistema proporciona aos ocupantes do veículo, bem como uma melhoria na autonomia do automóvel.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO. **What is Arduino?** Página oficial da tecnologia Arduino. Copyright© 2020 Arduino. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 03 dez. 2019.

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

BHATTI, Mohinder S. **Evolution of automotive air conditioning – Riding in comfort:** Part II. ASHRAE Journal. v. 41(8), 1999. p. 44-50.

BONFIM, Marlio. **Apostila de medidas elétricas.** Universidade Federal do Paraná, p. 46-49. Curitiba, 2015.

BORGSTEIN, Edward; HENSEN, Jan L. M.; LAMBERTS, Roberto. **Evaluating energy performance in non-domestic buildings:** A review. Energy and buildings, v. 128, Elsevier, 2016. p. 734-755.

BOSCH, Robert GmbH. **Bosch Automotive Handbook.** 5. ed. Wiley-Blackwell, 2019.

DALY, Steven. **Automotive air-conditioning and climate control systems.** 1. ed. Butterworth-Heineman. EUA, 2006.

DOSSAT, Roy J. **Princípios de refrigeração.** 1. ed. São Paulo: Hemus, 2004.

DOSSAT, Roy J.; HORAN, Thomas J. **Principles of refrigeration.** 5. ed. Prentice Hall, 2001.

FANGER, P. O. **Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering.** McGraw-Hill, New York, 1972. 245 p.

GALLO, Michael A.; HANCOCK, William M. **Comunicação entre computadores e tecnologias de rede.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

HERNANDEZ NETO, A. **Análise do escoamento do fluido refrigerante R-134a em tubos de orifício.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

HOSNI, Mohammad H. *et al.* **Investigation of human thermal comfort under highly transient conditions for automotive applications – Part 1: Experimental Design and Human Subject Testing Implementation.** 2003.

IDOETA, Ivan Valeije; CAPUANO, Francisco Gabriel. **Elementos de eletrônica digital.** 41. ed. São Paulo: Editora Érica, 1997.

LJUNG, Lennart. **System identification:** Theory for the user. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1999.

MADSEN, T. L.; OLESEN, B.; REID, K. **New methods for evaluation of thermal environment in automotive vehicles.** ASHRAE Trans., 92 part 1B, 1986. p. 38-54.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico.** Tradução Rafael Zanolli. São Paulo: Novatec, 2011.

NILSSON, Hakan O. **Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models.** Master Thesis, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Sweden, 2004.

OLIVEIRA, Cláudio Luís Vieira; ZANETTI, Humberto Augusto Piovesana. **Arduino descomplicado: Como elaborar projetos de eletrônica.** São Paulo: Érica, 2015.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: Programação em C.** São Paulo: Érica, 2009.

PLASSCHE, Rudy Van de. **Integrated analog-to-digital and digital-to-analog converters.** Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. 501 p.

RAVE, Tilmann; GOETZKE, Frank. **Climate-friendly technologies in the mobile air-conditioning sector: A patent citation analysis.** Ifo Working Paper No. 99, Abril, 2011.

SAE J639. **Safety standards for motor vehicle refrigerant vapor compression systems.** Copyright© 2020 SAE International. Warrendale, USA, 2011.

SANTANA, Mirian Ilza. **História do automóvel.** Texto publicado em InfoEscola. 2010. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/curiosidades/historia-do-automovel/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.



SANTOS, Eduardo Oliveira dos. **Dimensionamento e avaliação do ciclo de refrigeração de sistema de climatização automotivo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo -USP, São Paulo, SP, 2005. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3149/tde-26122014-175721/pt-br.php>>. Acesso em: 11 jan. 2020.

SCHNUBEL, Mark. **Classroom manual for automotive heating and air conditioning**, 4. ed. Waterbury, Connecticut. EUA, 2012.

STALLINGS, William. **Redes e sistemas de comunicação de dados: teoria e aplicações corporativas**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David. **Redes de computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

VAN DEN HOF, Paul. **Closed-loop issues in system identification**. Annual reviews in control, v. 22, 1998. p. 173-186. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367578898000169>>. Acesso em: 27 jan. 2020.

VASCONCELLOS, Rodrigo Durães de. **Projeto de um conversor analógico/digital por aproximações sucessivas de 12 bits**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/170M.PDF>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

ZANCO, Wagner da Silva. **Microcontroladores PIC: Técnicas de software e hardware para projetos de circuitos eletrônicos**. São Paulo: Érica, 2006.

**APÊNDICE A:** Código responsável por gerenciar o controlador de ar condicionado

```

//Programa: Controlador de Ar Condicionado para automóveis com acionamento manual
//Autor: Lucas Romário Ferreira
//Curso: Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva
#include "U8glib.h"
#include <DHT.h>

U8GLIB_SSD1306_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_NONE);

int posicao = 0;
int temp_max = 20;

#define pino_aumenta 5
#define pino_diminui 4
#define pino_rele 7
#define pino_DHT A0
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(pino_DHT, DHTTYPE);

int temperatura;
int aumenta, diminui;

unsigned long previousMillis = 0;
//Intervalo de medicao temperatura interna do veículo
const long interval = 2000;

void draw()
{
  //Retangulo temperatura atual
  u8g.drawRFrame(0, 17, 84, 46, 2);
  u8g.setFont(u8g_font_fub20);
  //Atualiza a temperatura no display de acordo com a temperatura interna do veículo
  u8g.setPrintPos(13, 50);
  u8g.print(temperatura);
  //Circulo grau
  u8g.drawCircle(51, 33, 3);
  u8g.drawStr( 56, 50, "C");
  //Box superior
  u8g.setFont(u8g_font_8x13B);
  u8g.drawRBox(0, 0, 127, 16, 2);
  u8g.setColorIndex(0);
  u8g.drawStr( 21, 13, "TEMPERATURA");
  u8g.setColorIndex(1);
  //box temperatura maxima
  u8g.drawRFrame(86, 17, 42, 46, 2);
  if (temp_max <= temperatura)
  {
    //Temperatura maior do que a temp. maxima
    u8g.drawRBox(86, 17, 42, 22, 2);
    u8g.setColorIndex(0);
    u8g.drawStr(96, 33, "MAX");
    u8g.setColorIndex(1);
  }
}

```

```

    //Aciona saida do rele
    digitalWrite(pino_rele, HIGH);
}
else
{
    //Temperatura menor do que a temp. maxima
    u8g.drawRFrame(86, 17, 42, 22, 2);
    u8g.drawStr(96, 33, "MAX");
    //Desliga saida do rele
    digitalWrite(pino_rele, LOW);
}
//Atualiza na tela o valor da temp. maxima
u8g.setPrintPos(100, 55);
u8g.print(temp_max);
u8g.drawCircle(120, 47, 2);
u8g.setColorIndex(1);
}

void setup(void)
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(pino_rele, OUTPUT);
    pinMode(pino_aumenta, INPUT);
    pinMode(pino_diminui, INPUT);
    dht.begin();
}

void loop(void)
{
    unsigned long currentMillis = millis();
    //Timer para ler o valor da temperatura
    if (currentMillis - previousMillis >= interval)
    {
        temperatura = dht.readTemperature();
        previousMillis = currentMillis;
    }
    //Testa botao aumenta temperatura
    aumenta = digitalRead(pino_aumenta);
    if (aumenta == 1)
    {temp_max++;}
    while (digitalRead(pino_aumenta) == 1)
    {delay(10);}
    //Testa botao diminui temperatura
    diminui = digitalRead(pino_diminui);
    if (diminui == 1)
    {temp_max--;}
    while (digitalRead(pino_diminui) == 1)
    {delay(10);}

    u8g.firstPage();
    // Chama a rotina de desenho na tela
    {
        draw();
    }
    while ( u8g.nextPage() );
    delay(50); }

```