

PABLO ALEXANDER ALVES

**SISTEMA DE CONTROLE DE CAPACIDADE
FRIGORÍFICA DE CONDICIONADOR DE AR SPLIT**

Florianópolis, 2014

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU*
ESPECIALIZAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
ELETRÔNICOS**

PABLO ALEXANDER ALVES

**SISTEMA DE CONTROLE DE CAPACIDADE
FRIGORÍFICA DE CONDICIONADOR DE AR SPLIT**

Trabalho de conclusão de curso submetido à banca examinadora do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, como requisito para obtenção do certificado de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos.

Professor Orientador: Reginaldo Steinbach, Me.

Florianópolis, 2014

CDD 697.93
A474s

Alves, Pablo Alexander

Sistema de controle de capacidade frigorífica de condicionador de ar split [MP] /
Pablo Alexander Alves; orientação de Reginaldo Steinbach. – Florianópolis, 2014.

1 v.: il.

Monografia de Pós Graduação (Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos) – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Controle de carga parcial. 2. Consumo de energia elétrica. 3. Controle de expansão
eletrônica. 4. Aquisição de dados. 5. Sensores. I. Steinbach, Reginaldo. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus de Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues Pacheco CRB 14/1117

SISTEMA DE CONTROLE DE CAPACIDADE FRIGORÍFICA DE CONDICIONADOR DE AR SPLIT

PABLO ALEXANDER ALVES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do certificado de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 30 de Setembro de 2014.

Banca Examinadora:

Reginaldo Steinbach, Me.

Fernando Pedro Henriques de Miranda, Me.

Daniel Lohmann, Me.

DEDICATÓRIA

À Elenita Kuhn Alves, minha mãe,
Pela sua paciência e carinho.
À Marcelo Alves, meu irmão,
Pelo seu apoio motivacional.
À Pedro João Alves,
Onde busquei inspiração.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, por todas as alegrias postas em minha vida e por nunca ter me esquecido nos momentos de tristeza.

À minha mãe, Elenita Alves, que em todos os momentos, bons ou ruins, esteve ao meu lado apoiando e motivando em busca dos objetivos traçados.

Aos meus irmãos, Sheila e Marcelo, que sempre acreditaram na minha capacidade e perseverança na luta pelos objetivos.

Amigos do trabalho, que em algum momento do desenvolvimento desse projeto, contribuíram para o sucesso dos resultados.

Aos professores do curso de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do campus de Florianópolis, pela dedicação em repassar o próprio conhecimento. Em particular ao coordenador André Dalcastagnê, pelas palavras de conforto antes da defesa do TCC.

Ao orientador Reginaldo Steinbach, Me, pela paciência e orientação deste projeto.

Enfim, a todos que contribuíram nesse trabalho, muito obrigado!

“Faça o mais simples possível, porém
não as coisas mais simples”

(Albert Einstein)

RESUMO

Atualmente, um dos equipamentos residenciais e comerciais que está se tornando indispensável, é o condicionador de ar. Diante disso, várias marcas disputam a preferência do cliente na hora da compra e obrigam-se a ressaltar seus diferenciais e benefícios do seu produto. Dados mostram que um condicionador de ar de 9000 BTU/h consome, mensalmente, 288 kW/h quando ligado por oito horas diárias (CELESC, 2014). O dispositivo eletrônico desenvolvido, quando aplicado a um condicionador de ar convencional, controla a sua capacidade frigorífica e, conseqüentemente, diminui o consumo de energia elétrica. É adicionado ao condicionador de ar convencional uma placa eletrônica microprocessada e duas válvulas (válvula de expansão e válvula de by-pass). O dispositivo composto pela placa de circuito eletrônico e válvulas possibilita o controle da carga de fluido refrigerante sobre o compressor e a vazão de fluido refrigerante na unidade interna. O resultado é a diminuição no consumo de energia elétrica.

Palavras Chave: Controle Carga Parcial, Consumo de Energia Elétrica, Controle de Expansão Eletrônica, Aquisição de dados, Sensores.

ABSTRACT

Currently, one of the residential and commercial equipment that is becoming indispensable, is the air conditioner. Therefore, several brands vie for customer preference at the time of purchase and undertake to highlight their differences and benefits of your product. Data show that an air conditioner 9000 BTU / h consumes monthly 288 kW / h when connected for eight hours daily (CELESC, 2014). The electronic device developed when applied to a conventional air conditioner, controls its cooling capacity and, consequently, reduces the consumption of electricity. Is added to the air conditioner one conventional microprocessor electronic board and two valves (expansion valve and bypass valve). The device consists of the valves and electronic circuit board enables control of refrigerant charge on the compressor and the flow of refrigerant in the indoor unit. The result is a reduction in electricity consumption.

Key words: Partial Load Control, Power Consumption, Expansion Control electronics, data acquisition sensors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Refrigeração Convencional	28
Figura 2 - Compressor Rotativo Fonte: WebGlogal (2014)	29
Figura 3 - Condensadora - Condicionador de Ar Fonte: Bando de Dados Komeco	29
Figura 4 - Tubo de Expansão Fonte: Bando de dados Komeco	30
Figura 5 - Unidade Interna ou Evaporadora Fonte: Bando de dados Komeco	30
Figura 6 - Circulação da Energia Térmica Fonte: Adaptada da Internet...	31
Figura 7 - Unidade Interna Fonte: Elaborado pelo Autor	38
Figura 8 - Unidade Externa Fonte: Elaborado pelo Autor.....	38
Figura 9 - Arduino Uno Fonte: Arduíno (2014).....	39
Figura 10 - Sistema de Refrigeração Convencional Fonte: Adaptada da Internet.....	40
Figura 11 - Válvula de Expansão Eletrônica Fonte: Banco de dados Komeco	41
Figura 12 - Bobina da Válvula de Expansão Eletrônica Fonte: Elaborado pelo Autor	42
Figura 13 - Sistema VRF (Fluxo Variável de Refrigerante) Fonte: Banco de dados Komeco.....	42
Figura 14 - Topologia das Placas Eletrônicas Fonte: Elaborado pelo Autor	43
Figura 15 - Circuito Elétrico - Unidade Externa Parte1 Fonte: Elaborado pelo Autor.....	45
Figura 16 - Circuito Elétrico - Unidade Externa Parte2 Fonte: Elaborado pelo Autor.....	46

Figura 17 - Fluxograma de Funcionamento Unidade externa	
Fonte - Elaborado pelo Autor.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 18 - Circuito Elétrico - Unidade Interna Fonte: Elaborado pelo Autor	
.....	47
Figura 19 - Ensaio dos Sensores de Temperatura Fonte: Elaborado pelo	
Autor	48
Figura 20 - Curva Tensão x Temperatura do Sensor Fonte: Elaborado pelo	
Autor	49
Figura 21 - Fluxograma de Funcionamento da unidade interna	Fonte –
Elaborado pelo Autor.....	50
Figura 22 - Fluxograma de Funcionamento da unidade interna	Fonte –
Elaborado pelo Autor.....	51
Figura 23 - Giga de Teste Fonte: Elaborado pelo Autor.....	53
Figura 24 - Ensaio da Válvula de Expansão Eletrônica Fonte: Elaborado pelo	
Autor	54
Figura 25 - Pulsos para Funcionamento da Válvula Fonte: Elaborado pelo	
Autor	54
Figura 26 - Válvula de Expansão Eletrônica Instalada Fonte: Elaborado pelo	
Autor	55
Figura 27 - Compressor sem Válvula de By-pass Fonte: Elaborado pelo	
Autor	56
Figura 28 - Válvula de By-pass Fonte: Elaborado pelo Autor	57
Figura 29 - Instalação da Válvula de By-pass Fonte: Elaborado pelo Autor	
.....	57
Figura 30 - Local de Instalação das Placas Eletrônicas Fonte: Elaborado pelo	
Autor	58
Figura 31 - Protótipo na Unidade Externa Fonte: Elaborado pelo Autor..	58

Figura 32 - Curva Adicional na Tubulação de Cobre Fonte: Elaborado pelo Autor.....	59
Figura 33 – Gráfico da Temperatura de Insuflamento Fonte: Elaborado pelo Autor.....	61
Figura 34 - Posição do Sensor de Insuflamento Fonte: Elaborado pelo Autor	62
Figura 35 - Gráfico Comparativo de Potência Consumida Fonte: Elaborado pelo Autor	62
Figura 36 - Gráfico Comparativo da Temperatura do Fluido Fonte: Elaborado pelo Autor	63
Figura 37 – Temperatura do Líquido e Sucção - Equipamento Original Fonte: Elaborado pelo Autor	64
Figura 38 - Temperatura do Líquido e Sucção - Equipamento com Eletrônica Embarcada Fonte: Elaborado pelo Autor.....	64
Figura 39 - Eficiência Energética - Equipamento Original Fonte: Elaborado pelo Autor.....	65
Figura 40 - Eficiência Energética - Equipamento com Dispositivo Desenvolvido Fonte: Elaborado pelo Autor.....	65
Figura 41 - Variação da Temperatura Interna Fonte: Elaborado pelo Autor	66
Figura 42 - Temperatura na Unidade Interna Fonte: Elaborado pelo Autor	67
Figura 43 - Temperatura nos Tubos da Unidade Interna Fonte: Elaborado pelo Autor.....	67
Figura 44 - Potência Elétrica Consumida Fonte: Elaborado pelo Autor ...	68
Figura 45 - Temperatura de Insuflamento Fonte: Elaborado pelo Autor.	68
Figura 46 - Potência Elétrica com Temperatura de 23°C Fonte: Elaborado pelo Autor.....	69

Figura 47 - Temperatura Diferencial nos Tubos - 23°C.....	69
Figura 48 - Temperatura na Entrada e Saída dos Tubos Fonte: Elaborado pelo Autor.....	70
Figura 49 - Configuração da Temperatura Externa para 30°C Fonte Elaborado pelo Autor.....	70
Figura 50 - Temperatura Interna Constante - Externa 30°C.....	71
Figura 51 - Potência Consumida - Temperatura Externa 30°C Fonte: Elaborado pelo Autor.....	71
Figura 52 - Diferencial da Temperatura nos Tubos - Externa 30°C Fonte: Elaborado pelo Autor.....	72
Figura 53 - Temperatuda nos Tubos - Externa 30°C Fonte: Elaborado pelo Autor	72

Sumário

1 INTRODUÇÃO	24
<i>1.1 Objetivos</i>	<i>25</i>
<i>1.1.1 OBJETIVO GERAL.....</i>	<i>25</i>
<i>1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i>	<i>25</i>
<i>1.2 Justificativa.....</i>	<i>26</i>
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
<i>2.1 Condicionador de ar e suas partes.....</i>	<i>27</i>
<i>2.2 Condicionador de Ar – Convencional.....</i>	<i>31</i>
<i>2.3 Condicionador de Ar – Inverter.....</i>	<i>32</i>
<i>2.4 Eficiência energética.....</i>	<i>34</i>
3 DESENVOLVIMENTO	37
<i>3.1 Materiais Utilizados.....</i>	<i>37</i>
<i>3.1.1 CALORÍMETRO</i>	<i>37</i>
<i>3.1.2 SELEÇÃO DO CONDICIONADOR DE AR</i>	<i>38</i>
<i>3.1.3 ARDUINO UNO.....</i>	<i>39</i>
<i>3.1.4 VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA.....</i>	<i>40</i>
<i>3.2 Comando eletrônico.....</i>	<i>43</i>
<i>3.2.1 PLACAS ELETRÔNICAS</i>	<i>43</i>
<i>3.2.2 FIRMWARE DO MICROCONTROLADOR</i>	<i>47</i>
<i>3.3 Ensaios Técnicos</i>	<i>52</i>
<i>3.3.1 ENSAIO DA VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA.....</i>	<i>53</i>
<i>3.3.2 ENSAIO DA VÁLVULA DE BY-PASS</i>	<i>55</i>
<i>3.4 Instalação das Placas Eletrônicas</i>	<i>58</i>
4 RESULTADOS.....	60
<i>4.1 Teste em carga Máxima.....</i>	<i>60</i>
<i>4.2 Teste com variação da temperatura interna.....</i>	<i>66</i>
<i>4.3 Teste com temperatura interna estabilizada.....</i>	<i>68</i>
<i>4.4 Teste com variação da temperatura externa</i>	<i>70</i>

5. CONCLUSÃO.....	73
<i>5.1 Projetos Futuros.....</i>	<i>74</i>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS.....	78

1 INTRODUÇÃO

Todos os condicionadores de ar têm por finalidade absorver a energia térmica do ambiente e, durante este processo, ocorrem alterações nas condições psicrométricas do ambiente (MARTINELLI, 2008). Essas alterações afetam o funcionamento do sistema e, a grande maioria dos equipamentos comercializados atualmente, não foi projetada para controlar, por exemplo, a umidade relativa do ar, que é alterada pela simples operação do condicionador de ar.

Como não se tem controle da carga térmica da umidade relativa do ambiente e nem das condições térmicas do ambiente externo, o equipamento terá seu funcionamento alterado, pois essas variações afetam a capacidade que condicionador de ar possui de retirar energia térmica do ambiente.

Enquanto a temperatura configurada pelo usuário – *set-point* – não é atingida, os condicionadores de ar, na sua grande maioria, operam em potência e capacidade máxima. Quando a temperatura não atinge a temperatura de acionamento, operam em potência nula.

A partir de um condicionador de ar tipo *Split*, serão obtidas informações sobre o controle da capacidade frigorífica e da umidade relativa do ar e, após a instalação do dispositivo desenvolvido no mesmo condicionador de ar, as informações serão confrontadas e valores quantitativos serão apresentados.

É possível adicionar um dispositivo eletrônico num condicionador de ar para realizar o controle da capacidade frigorífica e, em paralelo, obter redução do consumo de energia elétrica e da umidade relativa do ar?

1.1 Objetivos

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um dispositivo eletrônico microcontrolador que realize o controle da capacidade frigorífica de um condicionador de ar tipo *Split*, proporcionando a redução no consumo de energia elétrica durante sua operação e melhorando o controle da temperatura e da umidade relativa do ar.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Definir a capacidade do condicionador de ar que receberá a solução a ser desenvolvida.
- ✓ Determinar os parâmetros do teste em carga parcial.
- ✓ Levantar a capacidade em carga parcial (carga térmica) do condicionador de ar tipo *Split*, sem eletrônica embarcada seguindo os parâmetros definidos.
- ✓ Desenvolver o *firmware* do microcontrolador.
- ✓ Desenvolver o *Hardware* do dispositivo.
- ✓ Aplicar o dispositivo eletrônico no condicionador de ar tipo *Split*.
- ✓ Levantar a capacidade do condicionador de ar tipo *Split*, em carga parcial com o conjunto eletrônico embarcado.
- ✓ Analisar os resultados obtidos.

1.2 Justificativa

A função de um condicionador de ar é retirar a energia térmica do ambiente, ajustando, assim, a temperatura, de acordo com a temperatura desejada pelo usuário.

Desta forma, um condicionador de ar, cuja temperatura foi ajustada pelo usuário em 18°C, permanecerá com o compressor ligado até que a temperatura do ambiente esteja igual ou inferior a 18°C. Quando a temperatura desejada é atingida, ocorre o desligamento do compressor. Quando a temperatura atinge 19°C, o compressor volta a ser ligado, desligando-se ao atingir a temperatura configurada pelo usuário. Durante o processo de operação do compressor sua capacidade de refrigeração é máxima, fazendo com que o consumo de energia elétrica também seja máximo.

Grande parte do consumo de energia elétrica está associada à carga de fluido refrigerante por não ser modulada de acordo com a necessidade da refrigeração. A carga do fluido refrigerante possui um valor fixo em função do tubo de expansão presente principalmente nos sistemas de condicionamento de ar de pequeno porte.

Propõe-se neste trabalho a instalação de uma válvula denominada de by-pass, que terá a função de modular a carga de fluido sobre o compressor, no intuito de reduzir o consumo de energia elétrica.

Juntamente com uma outra válvula, denominada de válvula de expansão eletrônica, será instalada na saída do condensador, para modular a quantidade de fluido no evaporador.

A válvula de expansão eletrônica e a válvula de *ByPass*, serão controlados por dois circuitos eletrônicos, um instalado da unidade evaporadora e um outro na unidade condensadora sendo melhor compreendido no decorrer deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo estão dispostos os temas referentes à revisão literária necessária para a compreensão do funcionamento do sistema de condicionadores de ar.

Serão abordadas as principais partes de um condicionador de ar e suas características funcionais e construtivas.

2.1 Condicionador de ar e suas partes

O condicionador de ar é o equipamento que tem por finalidade controlar a temperatura do ambiente por meio do controle da energia térmica, proporcionando, ao usuário, conforto térmico.

Para que o condicionador de ar possa realizar o controle da temperatura, quatro itens são necessários: o compressor, o trocador de calor da unidade externa, o trocador de calor da unidade interna, e o tubo de expansão. Esses itens estão presentes em todos os equipamentos condicionadores de ar por compressão de vapor.

A Figura 1 apresenta o ciclo de funcionamento de um sistema de condicionamento de ar.

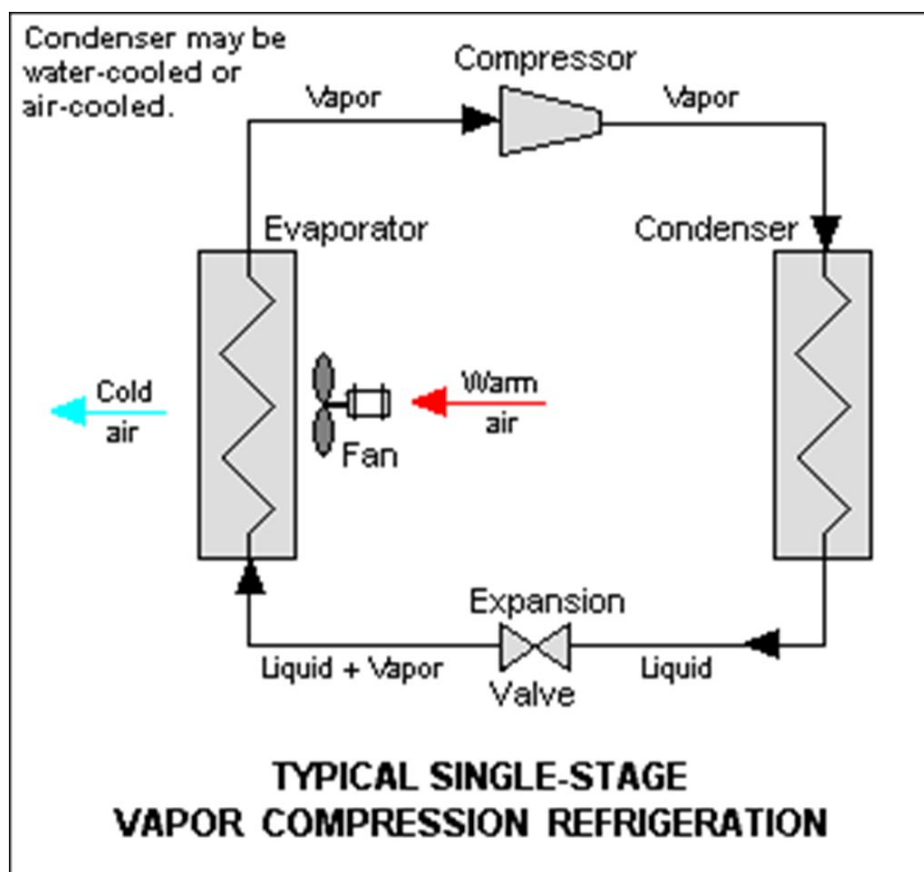


Figura 1 - Sistema de Refrigeração Convencional
Fonte: Adaptada Internet

O Compressor é o componente que controla o processo de refrigeração e sua função principal é realizar a compressão do fluido refrigerante ao longo da tubulação. Em função dessa compressão a temperatura do fluido refrigerante aumenta, pois a temperatura é diretamente proporcional à pressão.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Apresenta um compressor rotativo utilizado em sistemas de condicionamento de ar. Esse modelo de compressor é mais econômico e silencioso. “Sua grande eficiência energética está no fato do ar ser comprimido nas espirais internas do equipamento proporcionando redução no consumo de energia elétrica” (WEBGLOBAL, 2014).



Figura 2 - Compressor Rotativo
Fonte: WebGlogal (2014)

O trocador de calor da unidade externa (condensador) tem por finalidade, condensar o fluido refrigerante comprimido pelo compressor. Desse modo o fluido que entra no condensador na forma de vapor superaquecido, sai na forma de líquido. Isto ocorre devido à troca de calor entre o condensador e o ambiente, fazendo com que o fluido mude a propriedade física de vapor para líquido.

Nos condicionadores de ar, para que a troca de calor seja mais eficiente, são utilizados sistemas de ventilação forçada para que o ar passe mais rapidamente pelo condensador.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresenta a unidade externa de um condicionador de ar.



Figura 3 - Condensadora - Condicionador de Ar
Fonte: Bando de Dados Komeco

O tubo de expansão é um componente instalado na saída do trocador de calor da unidade externa que visa promover a queda de pressão do fluido refrigerante, por meio da mudança de diâmetro do tubo.

A figura 4, apresenta um tubo de expansão, normalmente utilizado em condicionadores de ar.



Figura 4 - Tubo de Expansão
Fonte: Bando de dados Komeco

O trocador de calor da unidade interna (evaporador) é a parte do equipamento que atua no ambiente a ser climatizado.

A figura 5, apresenta a unidade interna de um condicionador de ar.



Figura 5 - Unidade Interna ou Evaporadora
Fonte: Bando de dados Komeco

Quando o fluido refrigerante que vem do tubo de expansão passa para o evaporador em alta velocidade, ocorre uma queda brusca de pressão, ocasionando a queda de temperatura do fluido.

Quando isso ocorre, o evaporador retira energia térmica do ambiente, resfriando-o. Para que o efeito seja mais eficaz, um ventilador em série ao trocador de calor faz com que o ar resfriado circule pelo ambiente, conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

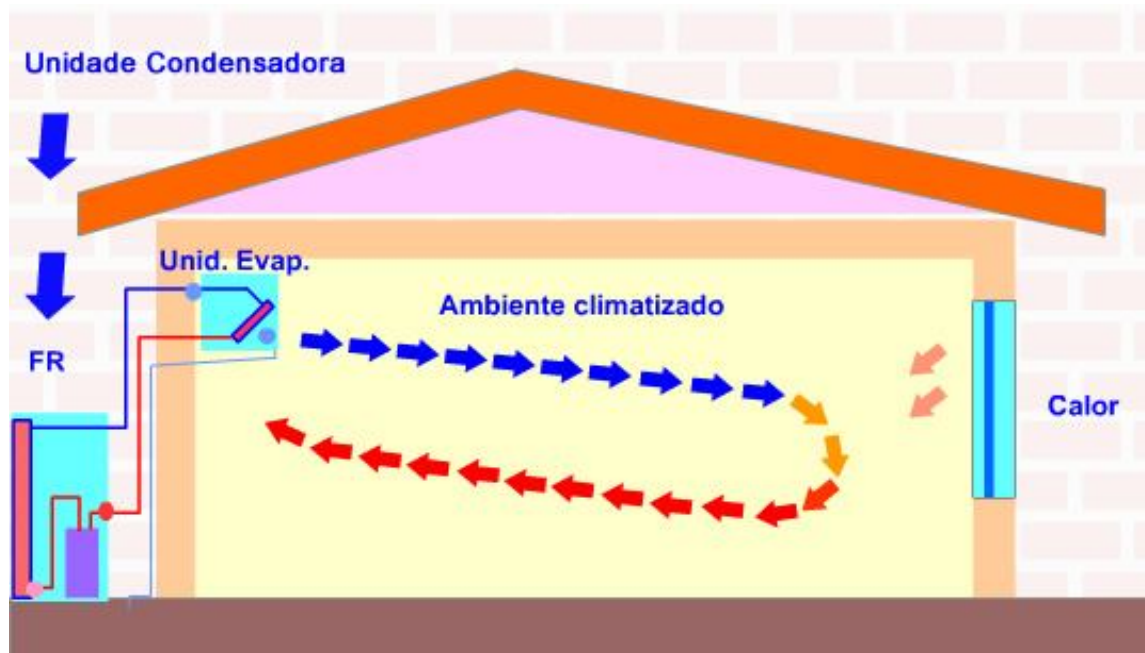


Figura 6 - Circulação da Energia Térmica
Fonte: Adaptada da Internet

Atualmente os condicionadores de ar utilizados em residências, podem ser caracterizados em dois tipos, de acordo com o funcionamento de seu compressor, são eles: os convencionais, cuja velocidade de rotação do compressor é fixa, e os inverter, cuja velocidade de rotação do compressor é variável. Na próxima seção serão apresentadas as características e diferenças entre os dois sistemas.

2.2 Condicionador de Ar – Convencional

Condicionador de ar convencional, também conhecido de sistema de compressão de vapor, inicia seu processo com a

compressão do fluido refrigerante, fazendo-o percorrer a tubulação em direção ao trocador de calor da unidade externa.

Na unidade externa o fluido transfere sua energia térmica para o ar devido à troca de temperatura entre a serpentina e o ar que atrevesse a mesma. Nessa etapa do processo, o fluido refrigerante altera sua propriedade física, passando de fluido superaquecido em alta temperatura para a forma de fluido sub-resfriado na forma de líquido (SOUZA, 1982).

Na saída do trocador de calor da unidade externa, temos o tubo de expansão que irá promover a queda de pressão do fluido refrigerante e, conseqüentemente, aumentar sua velocidade em função do orifício do tubo. A queda de pressão associada ao aumento da velocidade fará com que a temperatura caia bruscamente (MARTINELLI, 2014).

O fluido nessa temperatura seguirá para o trocador de calor da unidade interna (evaporadora) e, com auxílio do ventilador, deslocará a massa de ar para o ambiente, resultando na absorção da energia térmica do ar.

O controle de um condicionador de ar é realizado por uma placa eletrônica instalada na unidade interna que, ao receber o sinal originário do controle remoto via *infrared*, habilita o funcionamento do motor ventilador e, após três segundos, envia o sinal de comando à unidade externa.

A unidade externa recebe o sinal da unidade interna, e aciona o compressor e os ventiladores, iniciando a circulação dos fluidos refrigerantes (SOUZA, 1982).

Após o equipamento iniciar seu processo de funcionamento, o circuito de controle deverá monitorar a temperatura do ambiente, ligando e desligando o compressor de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos pelo usuário (SOUZA, 1982).

O sistema de controle utiliza a variação de 1°C como diferencial, ou seja, se o condicionador de ar foi ajustado para operar com temperatura inferior a 24°C, o sistema desligará quando a temperatura for inferior a 24°C e tornará a ser acionado quando a temperatura do ambiente se elevar para 25°C.

2.3 Condicionador de Ar – Inverter

O condicionador de ar Inverter “possui um dispositivo interno que ajusta a frequência do motor, permanecendo em funcionamento, porém executando seu trabalho gradualmente de acordo com a temperatura do ambiente[...]” (ADIAS, 2014).

A tabela 1 apresenta as principais diferenças entre o condicionador de ar convencional e o inverter.

Tabela 1 - Diferenças Condicionador de Ar Convencional x Inverter
Fonte: ADIAS (2014)

	INVERTER	CONVENCIONAL
Controle de Temperatura	Atinge rapidamente temperatura desejada	Necessário algum tempo para atingir temperatura desejada
	Temperatura desejada é mantida com pouca oscilação	Temperatura ambiente oscila (+/-2°C) da desejada
Economia de Energia	Até 40% menor	Baixo consumo elétrico
	Alta eficiência	
Gás refrigerante	R410a ECOLÓGICO	R-22 (HCFC)
Operação	Compressor varia a rotação em função da temperatura desejada	Compressor liga e desliga para manter a temperatura ambiente próxima a temperatura desejada
	Aumento gradativo na rotação evitando picos de energia	Compressor com partida direta, picos de energia
	Função de secagem na serpentina evitando formação de mofo e odor	
Nível de Ruído	Menor que o convencional	Baixo nível de ruído
	Com a temperatura estabilizada, o compressor opera em baixa rotação, reduzindo mais ainda o ruído da condensadora	Compressor liga ou desliga

O condicionador de ar inverter tem algumas vantagens em relação ao condicionador de ar convencional. Pois seu sistema mecânico é controlado quase que totalmente pelo seu sistema eletrônico. Além de atingir rapidamente a temperatura desejada, Webbarcondicionado (2011).

Dentre as principais vantagens do inverter, cita-se:

- ✓ Economia de energia elétrica na ordem de 40% em relação ao condicionador de ar convencional.
- ✓ Baixo ruído do compressor.

- ✓ Baixa oscilação da temperatura do ambiente.

No condicionador de ar inverter, o circuito eletrônico tem a função de controlar os dois principais componentes que diferenciam as duas tecnologias: abertura da válvula de expansão e a velocidade de rotação do compressor.

No sistema inverter o compressor terá sua vazão variável, ou seja, com o apoio de um inversor de frequência, a vazão do fluido refrigerante será proporcional.

A modulação da vazão do compressor é obtida através de dois sensores de temperatura. O primeiro localiza-se na saída da unidade externa para medir o fluido refrigerante em alta velocidade e baixa temperatura. O segundo localiza-se no retorno do trocador da unidade interna com o objetivo de medir a temperatura de retorno. A diferença de temperatura entre esses dois sensores determina a modulação da válvula de expansão eletrônica e a modulação da vazão do compressor.

2.4 Eficiência energética

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente “a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização” (MMA, 2014).

O principal objetivo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL – corresponde à “diminuição do desperdício de energia elétrica no país e a busca pela eficiência energética no setor elétrico, [...] aprimorando o desenvolvimento tecnológico, segurança energética, eficiência econômica, novos parâmetros incorporados à Cidadania e a redução de impactos ambientais” (ELETROBRAS, 2014).

A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, indica que o crescimento nas vendas de condicionadores de ar no Brasil, em 2014, será na ordem de 7% em relação ao ano anterior (ABRAVA, 2014).

Diante do fato de que os condicionadores de ar são responsáveis por grande parte da energia elétrica consumida num estabelecimento comercial, industrial ou residencial, campanhas são apresentadas pelo governo buscando incentivar os fabricantes de dispositivos eletroeletrônicos a aumentarem a eficiência energética de seus equipamentos.

No caso específico dos condicionadores de ar, o INMETRO gerencia e define o valor mínimo a ser atribuído à eficiência energética do equipamento produzido e comercializado. Os valores definidos pelo órgão, para cada coeficiente de eficiência energética, são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Eficiência Energética
Fonte: INMETRO (2014)

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

Selo PROCEL de Economia de Energia

CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL

Data atualização: 19/02/2014

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall			
			Rotação Fixa		Rotação Variável	
A	3,20	<CEE	309	28,9%	206	88,0%
B	3,00	<CEE≤ 3,20	218	20,4%	17	7,3%
C	2,80	<CEE≤ 3,00	337	31,5%	11	4,7%
D	2,60	<CEE≤ 2,80	180	16,8%	0	0,0%
E	2,39	≤CEE≤ 2,60	25	2,3%	0	0,0%

1069 un

234 un

Diante dos valores apresentados na tabela 2, afirma-se que o índice mínimo para comercialização de um condicionador de ar é de 2,39% de eficiência energética – Classe “E”.

O Coeficiente de eficiência energética (CEE) é definido pela equação 1.

Equação 1 - Coeficiente de Eficiência Energética
Fonte: Elaborado pelo Autor

$$CEE = \frac{\textit{Capacidade Refrigeração}(W)}{\textit{Consumo Elétrico}(W)}$$

Com isso o Inmetro pode estabelecer o padrão mínimo a ser aplicado nos equipamentos comercializados, evitando a produção ou importação de equipamentos que comprometam o sistema elétrico brasileiro em função da ineficiência energética.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão apresentadas as etapas de desenvolvimento do sistema proposto.

3.1 Materiais Utilizados

Diversos materiais foram utilizados no desenvolvimento desse projeto, tais como: calorímetro, bomba de vácuo, ferramentas gerais, osciloscópio, condicionador de ar e Arduino Uno.

3.1.1 CALORÍMETRO

Marques (2013) define o calorímetro como “um aparelho isolado termicamente do meio ambiente utilizado para realizar estudos sobre a quantidade de calor trocado entre dois corpos de temperaturas diferentes” (MARQUES, 2013).

Para a obtenção dos resultados, foi utilizado um calorímetro instalado na empresa Komeco, aferido pela Eletrobrás, oferecendo, assim, confiabilidade aos resultados obtidos, conforme especificação da norma, NBR12010, que define a capacidade de refrigeração.

No calorímetro foram realizadas medições da capacidade de refrigeração do aparelho ensaiado, seu consumo de energia elétrica, consumo médio de umidade relativa do ar. Os ensaios foram realizados com o condicionador de ar operando em carga parcial e máxima.

3.1.2 SELEÇÃO DO CONDICIONADOR DE AR

Uma etapa importante foi a definição de qual modelo de condicionador de ar seria utilizado no projeto.

O condicionador de ar disponibilizado pela empresa Komlog, para ser utilizado neste projeto, foi o modelo KOS09FC-3HX de 9000 BTU/h, classe "A".

As figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, as unidades interna e externa do condicionador de ar utilizado.



Figura 7 - Unidade Interna
Fonte: Elaborado pelo Autor



Figura 8 - Unidade Externa
Fonte: Elaborado pelo Autor

3.1.3 ARDUINO UNO

Para o desenvolvimento do firmware, foi utilizado o Arduino Uno, pois permite acelerar o processo de prototipagem.

O Arduino Uno é uma placa baseada no microcontrolador ATmega328. Possui diversos pinos de entrada e saída digitais e analógicas e diversas funcionalidades podem ser implementadas com a utilização de *Shields* (ARDUINO, 2014). A figura 9 ilustra o Arduino Uno.



Figura 9 - Arduino Uno
Fonte: Arduino (2014)

O Arduino possui uma IDE própria para o desenvolvimento do *firmware*, porém perde-se muito espaço da memória com as bibliotecas já existentes no *bootloader* do microcontrolador.

O firmware foi desenvolvido no ambiente de desenvolvimento AVR Studio, disponibilizado pela Atmel, obtendo-se um melhor aproveitamento da memória do microcontrolador e permitindo organizar melhor as bibliotecas utilizadas no projeto.

3.1.4 VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA

Grande parte dos sistemas de refrigeração utiliza tubos de expansão para promover a queda da pressão do fluido refrigerante, efeito necessário para que ocorra a queda da temperatura em função do aumento da velocidade do fluido. Uma outra opção é a utilização de válvulas de expansão (SOUZA, 1982).

A figura 10, apresenta o ciclo de refrigeração e pode-se observar a aplicação do dispositivo de expansão (tubo de expansão ou válvula de expansão).

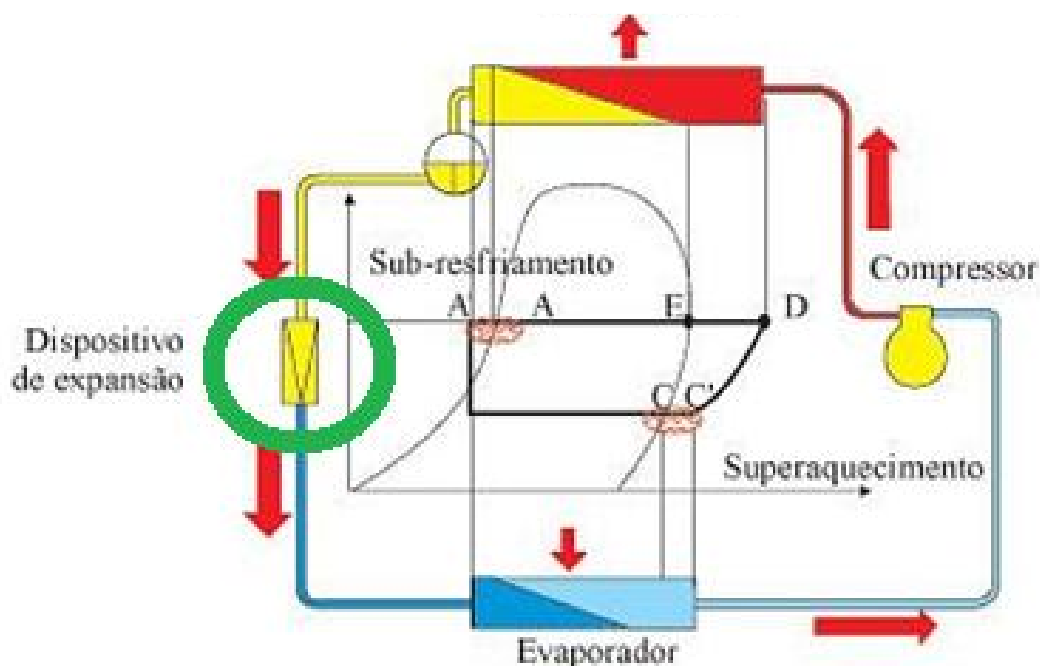


Figura 10 - Sistema de Refrigeração Convencional
Fonte: Adaptada da Internet

No equipamento selecionado para a aplicação desse projeto, o dispositivo de expansão é do tipo tubo de expansão, com diâmetro fixo, fazendo com que a pressão do fluido seja constante.

A válvula de expansão eletrônica consiste em um dispositivo capaz de controlar a vazão do fluido refrigerante mediante o controle do posicionamento de um pistão. O controle desse pistão

é realizado de forma similar ao posicionamento de um motor de passo.

A figura 11 ilustra a válvula eletrônica e suas partes.

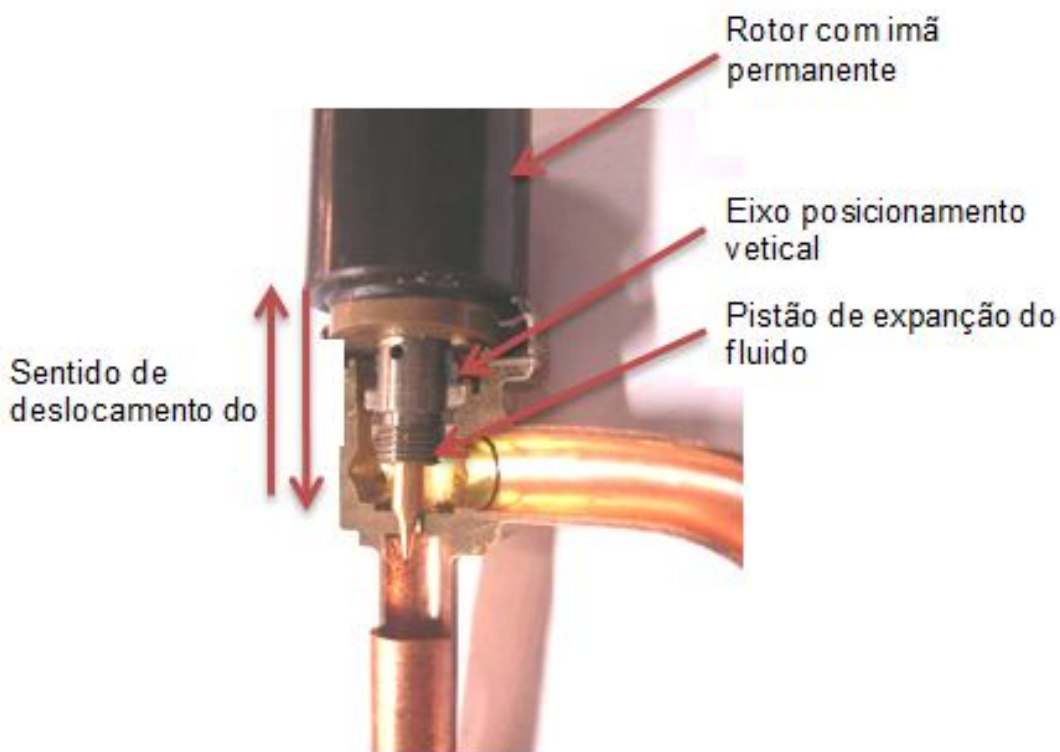


Figura 11 - Válvula de Expansão Eletrônica
Fonte: Banco de dados Komeco

O conjunto de expansão eletrônica, apresentado na Figura 12, é composto por duas peças: a válvula mecânica e o rotor. O rotor, por sua vez, recebe os sinais da placa de comando eletrônico modulando a posição do pistão na válvula.

A parte mecânica do conjunto é composta de uma estrutura de cobre conectada à unidade externa (condensador) e outra conectada à válvula de líquidos.

A parte eletrônica do conjunto de expansão é composta por uma bobina de passo. Esta bobina é formada por um encapsulamento de polímero de termo fusão com conexão para cinco condutores elétricos.

A Figura 12, ilustra a bobina da válvula de expansão eletrônica.

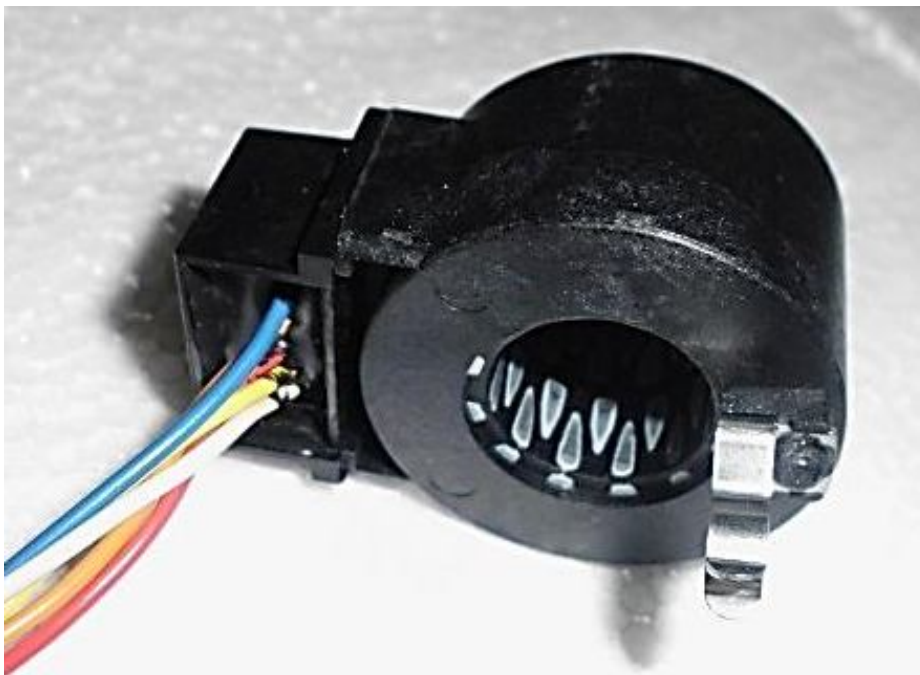


Figura 12 - Bobina da Válvula de Expansão Eletrônica
Fonte: Elaborado pelo Autor

Tendo em vista a falta de documentação do modelo de válvula de expansão eletrônica utilizada no projeto, um sistema de condicionadores de médio porte (figura 13) necessitou ser instalado para identificar as características funcionais da válvula.



Figura 13 - Sistema VRF (Fluxo Variável de Refrigerante)
Fonte: Banco de dados Komeco

3.2 Comando eletrônico

Iniciou-se com o levantamento quantitativo das entradas e saídas necessárias para a concretização do projeto e a definição de quantas placas seriam utilizadas.

3.2.1 PLACAS ELETRÔNICAS

Foram projetadas e desenvolvidas duas placas eletrônicas: uma localizada na unidade interna e outra na unidade externa contendo seus respectivos periféricos, conforme ilustra a figura 14.

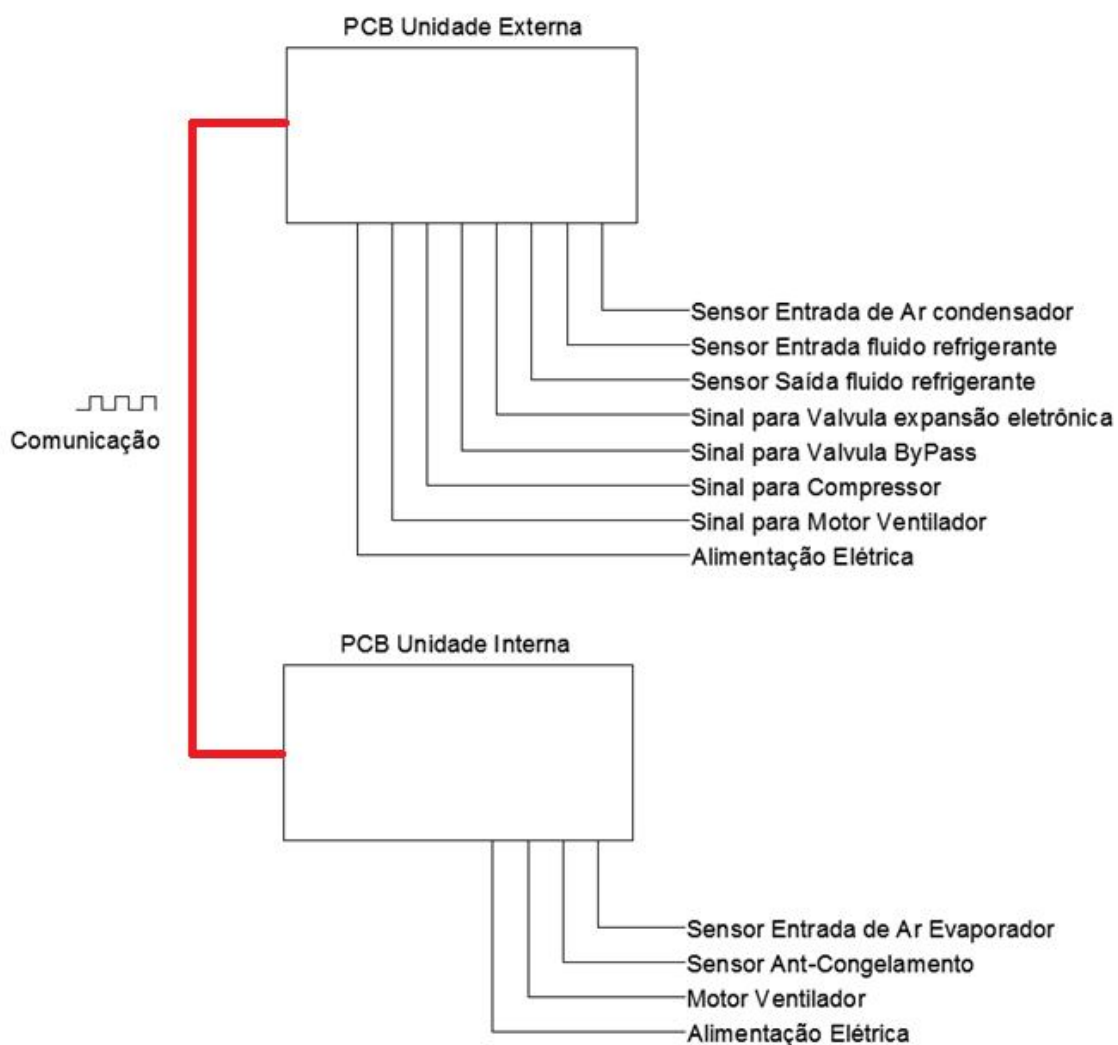


Figura 14 - Topologia das Placas Eletrônicas
Fonte: Elaborado pelo Autor

3.2.1.1 Placa eletrônica – Unidade externa

A placa instalada na unidade externa do condicionador de ar possui os periféricos listados a seguir.

- **Sensor de Entrada do Condensador** – Obtém uma amostra da temperatura do ar que passa pelo trocador de calor da unidade externa (Condensador).
- **Sensor de Entrada do Fluido Refrigerante** – Obtém uma amostra da temperatura do fluido que retorna da unidade interna (Evaporador).
- **Sensor de Saída do Fluido Refrigerante** – Obtém uma amostra da temperatura do fluido que se desloca para a unidade interna (após a válvula de expansão eletrônica).
- **Sinal da Válvula de Expansão Eletrônica** – Controla a quantidade de fluido refrigerante deve ser utilizado para a troca de calor na unidade interna.
- **Sinal da Válvula de By-pass** – Controla a vazão de fluido refrigerante no compressor buscando equalizar a pressão entre o tubo de descarga e o tubo de sucção.
- **Sinal do Compressor** – Aciona uma saída que alimenta o compressor.
- **Sinal do Motor Ventilador** – Aciona uma saída que alimenta o ventilador, deslocando a massa de ar através do trocador de calor.
- **Alimentação Elétrica** – Energiza todo o equipamento através da rede elétrica.

A figura 15 e 16 apresentam o circuito elétrico desenvolvido para a unidade externa.

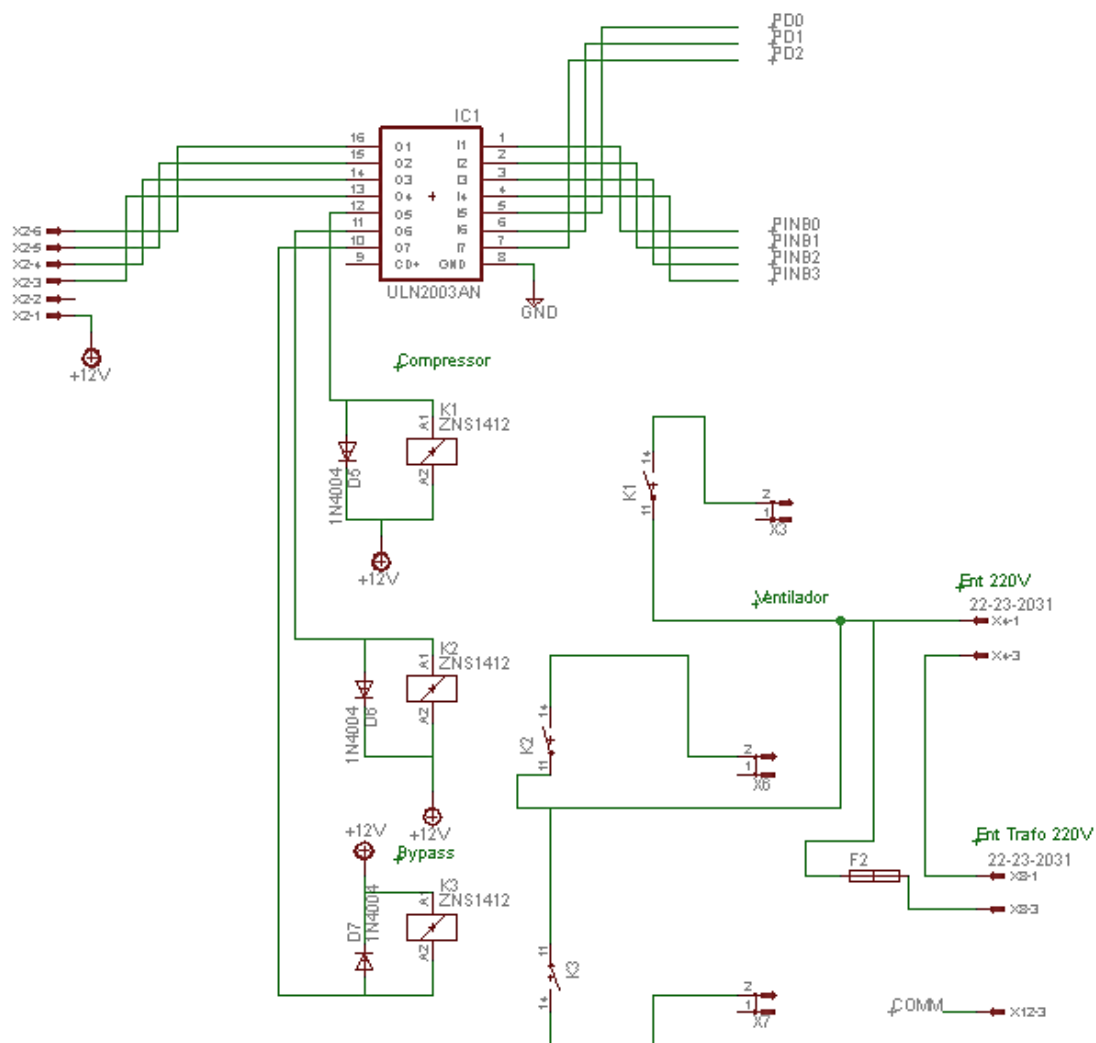


Figura 15 - Circuito Elétrico - Unidade Externa Parte1
Fonte: Elaborado pelo Autor

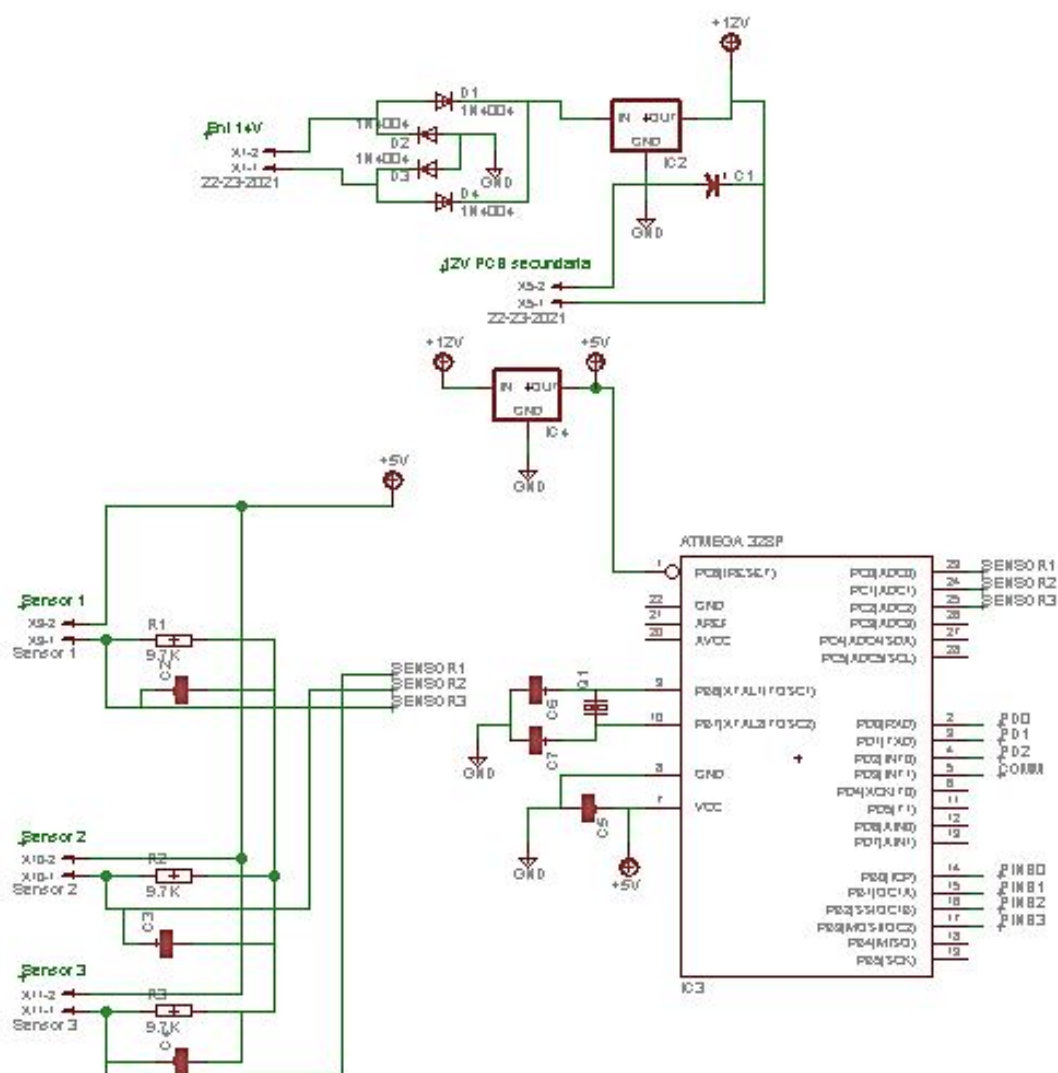


Figura 16 - Circuito Elétrico - Unidade Externa Parte2
 Fonte: Elaborado pelo Autor

3.2.1.2 Placa eletrônica – Unidade interna

A placa instalada na unidade interna do condicionador de ar possui os periféricos listados a seguir.

- **Sensor de Entrada de Ar do Evaporador** - Recebe a informação da temperatura do ar na entrada do trocador de calor da unidade interna. Utilizado como controle de temperatura de ar do ambiente.

- **Sensor Anticongelamento** – Recebe a informação da temperatura na tubulação de saída do trocador de calor.
- **Sinal do Motor Ventilador** – Aciona uma saída que alimenta o ventilador, deslocando a massa de ar através do trocador de calor.
- **Alimentação Elétrica** – Energiza todo o equipamento através da rede elétrica.
- **Comunicação** – Envia informações quanto à operação de cada módulo, seja esse interno ou externo.

A figura 18 apresenta o circuito elétrico desenvolvido para a unidade interna.

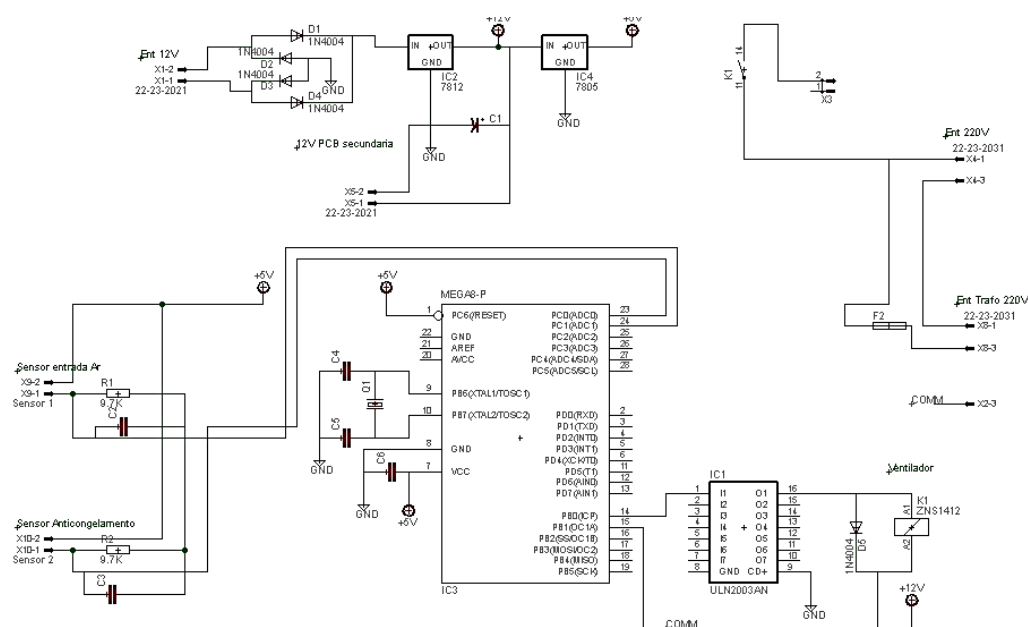


Figura 17 - Circuito Elétrico - Unidade Interna
Fonte: Elaborado pelo Autor

3.2.2 FIRMWARE DO MICROCONTROLADOR

Tendo em vista a utilização de três sensores de temperatura acoplados às placas desenvolvidas, foi necessário verificar o nível

de tensão enviado por cada sensor ao microcontrolador, determinando, assim, a tabela de conversão do valor analógico para o digital.

Foram realizados ensaios sobre os sensores utilizados. A figura 19 ilustra a temperatura de um recipiente (23°C) e o valor analógico (3,23V) enviado pelo sensor. Este procedimento foi realizado para determinar a curva de resposta dos sensores.

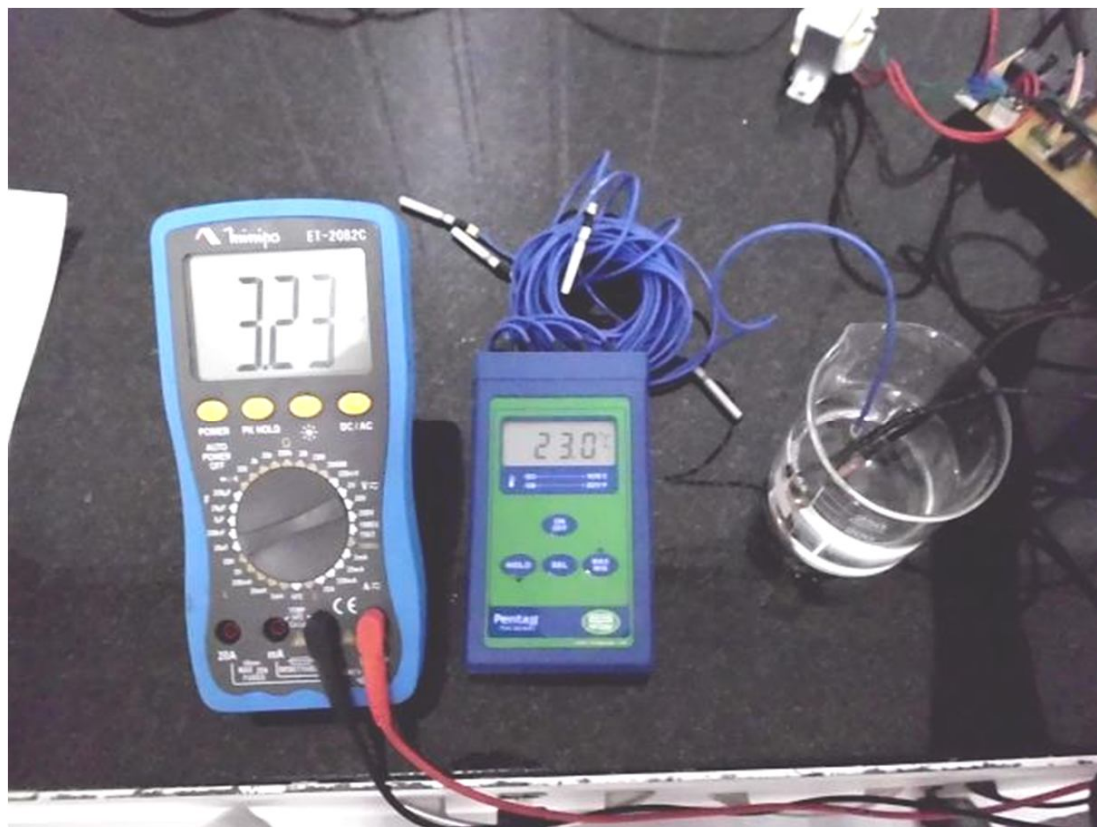


Figura 18 - Ensaio dos Sensores de Temperatura
Fonte: Elaborado pelo Autor

Após o término do ensaio dos sensores, valores foram obtidos e inseridos a um gráfico, conforme ilustra a figura 20.

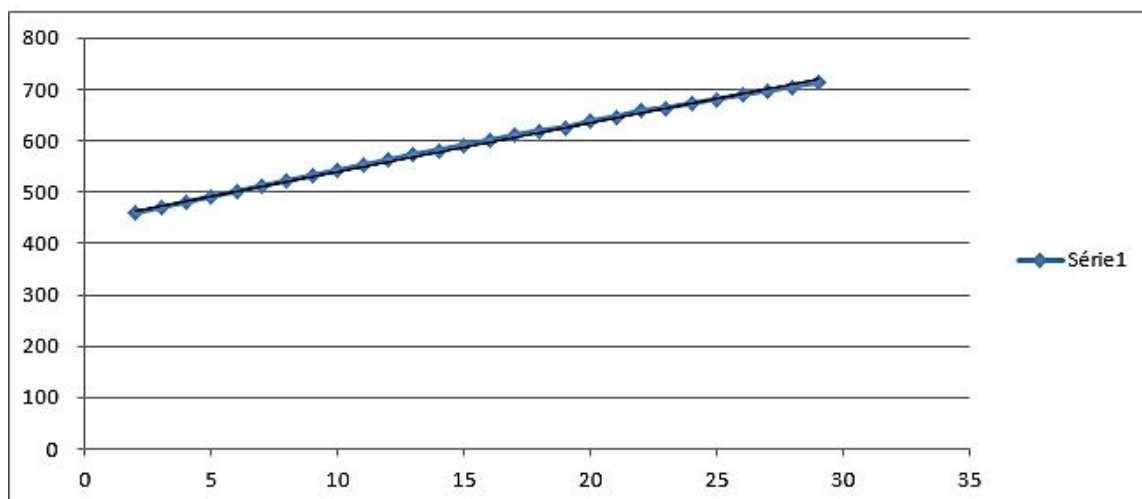


Figura 19 - Curva Tensão x Temperatura do Sensor
Fonte: Elaborado pelo Autor

O conversor analógico/digital (ADC) do microcontrolador Atmega328P, utilizado no Arduino Uno, possui as seguintes características:

- Amostragem:
 - a. *Sample and Hold*;
 - b. Aproximação sucessiva;
- Resolução: 8 ou 10 *bits*.
- Tempo de conversão: 13 a 260 μ s.
- Frequência própria / Redução de ruído.
- Conversão manual ou automática.

Com a informação da curva característica dos sensores utilizados no projeto, foram configurados parâmetros no firmware do microcontrolador, tais como: pré-escalador, resolução, valor de referência e as portas de entrada do microcontrolador.

Na figura 21 mostra o fluxograma desenvolvido para a unidade evaporadora ou unidade interna.

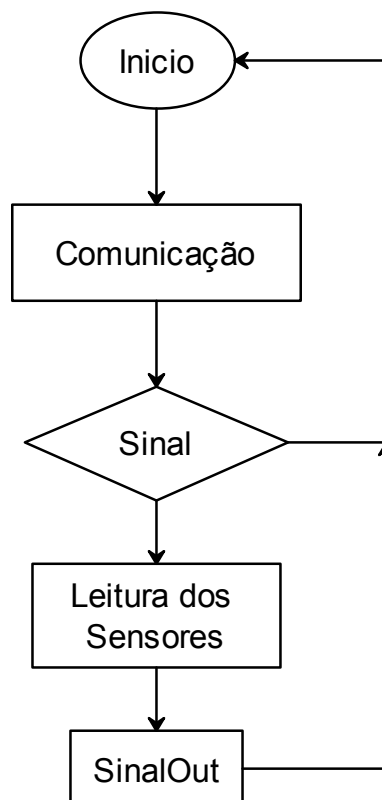


Figura 20 - Fluxograma de Funcionamento da unidade interna
Fonte – Elaborado pelo Autor

1. **Início:** Após o carregamento de todas as bibliotecas e com as definições das variáveis e funções escritas no microcontrolador, o sistema aguarda o sinal do controle remoto.
2. **Comunicação:** Verifica a comunicação com a placa da unidade externa (Condensadora).
3. **Sinal:** Aguarda o sinal do controle remoto para com o parâmetro de temperatura.
4. **Sensores:** Neste momento o sistema efetua as leituras das amostras dos AD dos dois sensores instalados no evaporador.
5. **Sinalout:** Envia o parâmetro de temperatura ambiente recebido pelo controle remoto para a unidade externa.

Na figura 22 mostra o fluxograma do software da placa de comando eletrônica da unidade externa.

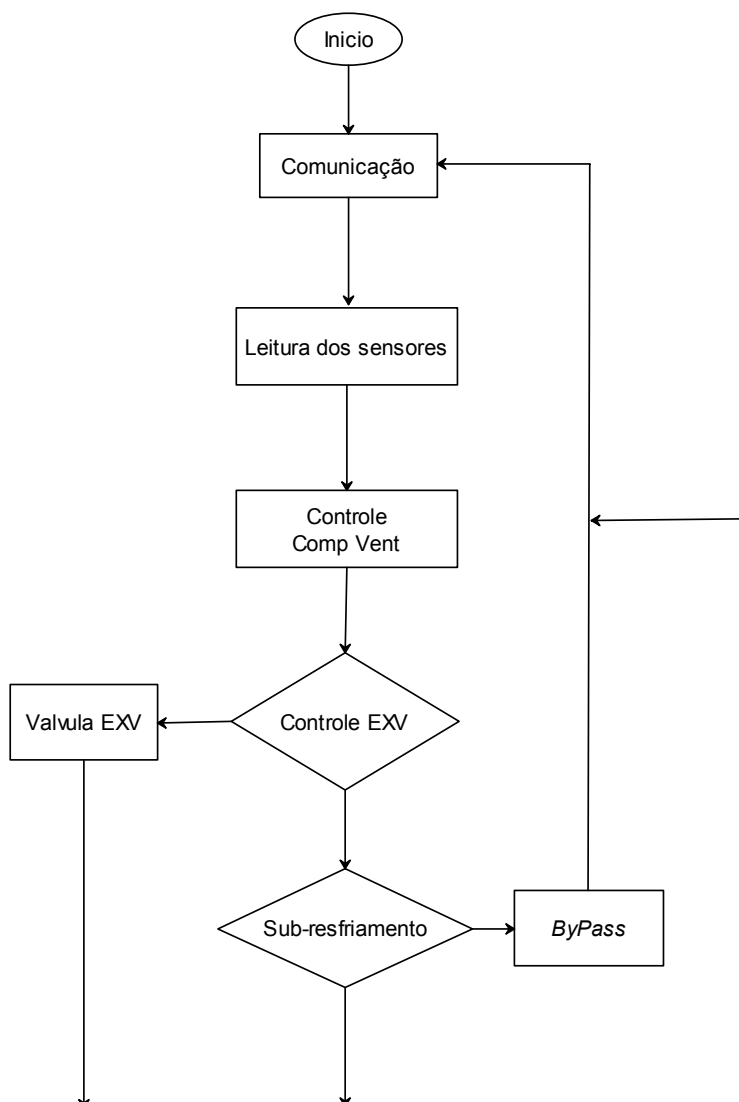


Figura 21 - Fluxograma de Funcionamento da unidade interna
Fonte – Elaborado pelo Autor

1. **Início:** Carrega as bibliotecas com as definições das variáveis e funções escritas no software do microcontrolador e aguarda o sinal da comunicação da unidade interna para iniciar o funcionamento.
2. **Comunicação:** Verifica a comunicação com a placa da unidade interna (Evaporador), que receberá um sinal para acionamento.

3. **Leitura dos sensores:** Efetua a leitura do AD da placa de comando eletrônico da unidade externa.
4. **Sinal Sensores e ERROR:** Ocorre neste processo a condição de falta de falta de sinal analógico dos sensores de temperatura.
5. **Controle Comp e Vent:** Após a leitura e conversão dos sinais dos sensores o sistema aciona o compressor e o motor ventilador.
6. **Controle EXV:** Com o valor de leitura dos sensores o sistema condiciona se a temperatura de entrada e saída for superior a 2°C, irá modular a válvula de expansão eletrônica.
7. **Válvula EXV:** Em função do sinal de controle a válvula irá abrir ou fechar. Caso a temperatura de saída do trocador de calor for superior a temperatura de entrada com a diferença entre ambas superiores a 2°C a válvula abrirá, aumentando a passagem do fluido refrigerante. Caso a temperatura de entrada do fluido for superior a saída, a válvula irá fechar, diminuindo a passagem do fluido refrigerante.
8. **Sub-resfriamento:** Nesta etapa, o sistema avalia a temperatura individual do fluido, sendo que, se a temperatura de saída do trocador de calor ou entrada for inferior a 9°C com diferencial entre ambos inferiores a 2°C, a válvula *ByPass*, irá ser acionada com tempo de 1 segundo.

3.3 Ensaio Técnico

O ensaio técnico tem por objetivo fornecer parâmetros para posterior comparação entre os condicionadores de ar “padrão” e o condicionador de ar com a solução proposta nesse projeto.

O condicionador de ar disponibilizado foi energizado e submetido a ensaios realizados no interior do calorímetro para a obtenção dos dados de referência.

3.3.1 ENSAIO DA VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA

Para o ensaio da válvula eletrônica foi utilizado um osciloscópio com o intuito de obter a frequência dos pulsos enviados pela placa de comando eletrônico à válvula. Além disso, foi desenvolvida uma giga de teste (figura 22) para auxiliar na obtenção da sequência de pulsos que determinava o fechamento e a abertura da válvula. Os resultados revelaram que a válvula tem o funcionamento similar ao do motor de passo.



Figura 22 - Giga de Teste
Fonte: Elaborado pelo Autor

Para sinalizar a abertura e fechamento da válvula eletrônica foram utilizados led conectados a uma matriz de contatos (figura 2), permitindo a constatação dos acionamentos.



Figura 23 - Ensaio da Válvula de Expansão Eletrônica
Fonte: Elaborado pelo Autor

A figura 24 ilustra a sequência de passos necessários para o funcionamento da válvula de expansão eletrônica.

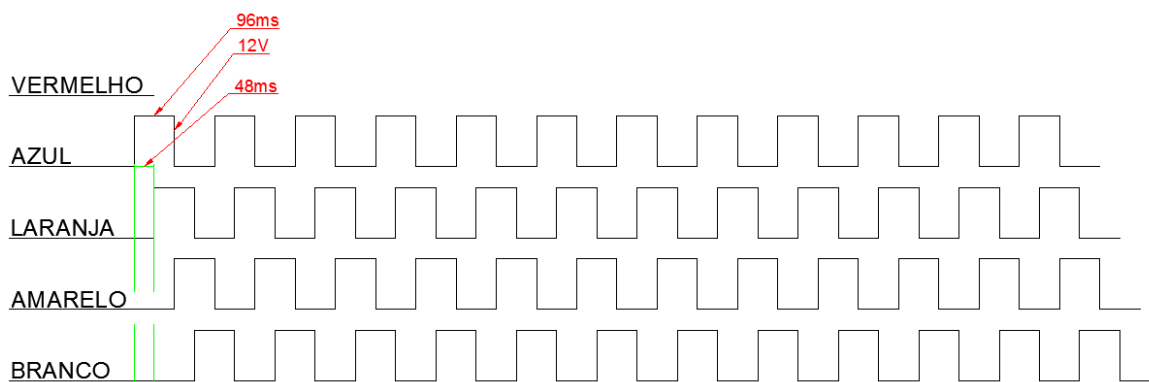


Figura 24 - Pulsos para Funcionamento da Válvula
Fonte: Elaborado pelo Autor

A figura 25 apresenta a válvula de expansão eletrônica instalada no condicionador de ar.

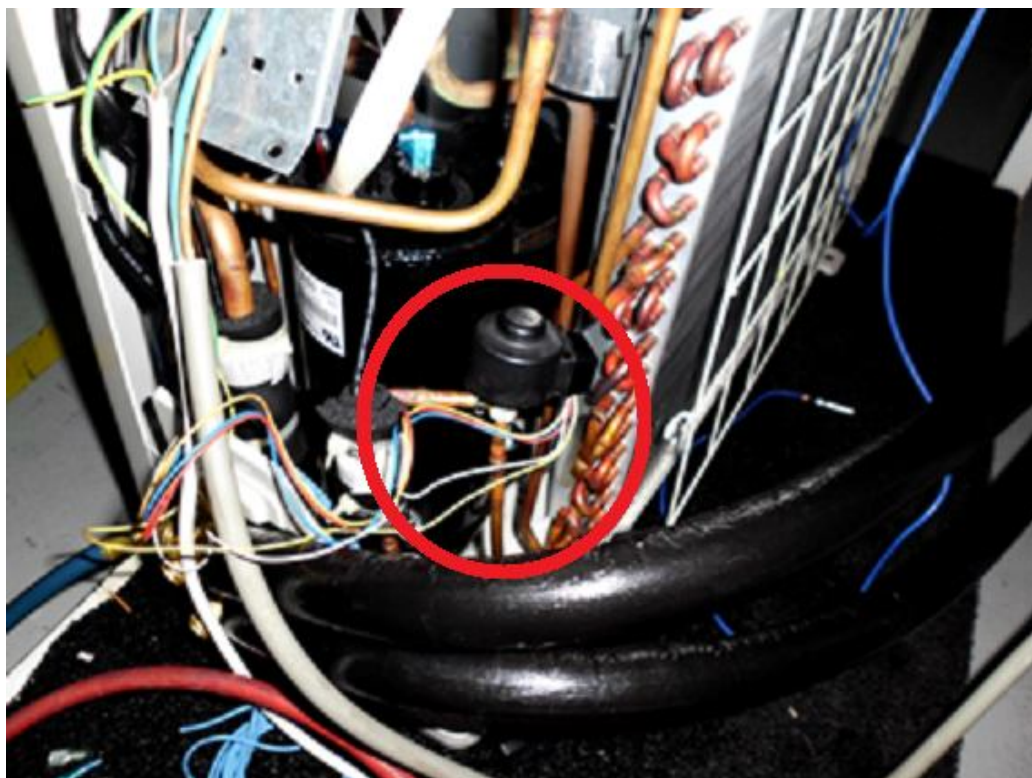


Figura 25 - Válvula de Expansão Eletrônica Instalada
Fonte: Elaborado pelo Autor

3.3.2 ENSAIO DA VÁLVULA DE BY-PASS

O compressor do condicionador de ar possui dois tubos que se conectam ao sistema: tubo de entrada (sucção) e de saída (descarga).

O tubo de descarga opera a uma pressão entre 200 ~ 250PSI e o tubo de sucção opera entre 55 ~ 65PSI de acordo com a temperatura de ensaio no calorímetro (VAN WYLEN, 1973).

Foram realizados dois ensaios no condicionador de ar. Num primeiro momento utilizou-se a carga de 700g de massa de fluido refrigerante e observou-se uma corrente de 2,8A necessária para alimentar o compressor. No segundo momento aumentou-se a carga de fluido refrigerante e constatou-se um aumento na corrente na ordem de 32% (3,7A).

A figura 26 ilustra o condicionador de ar sem válvula de by-pass.

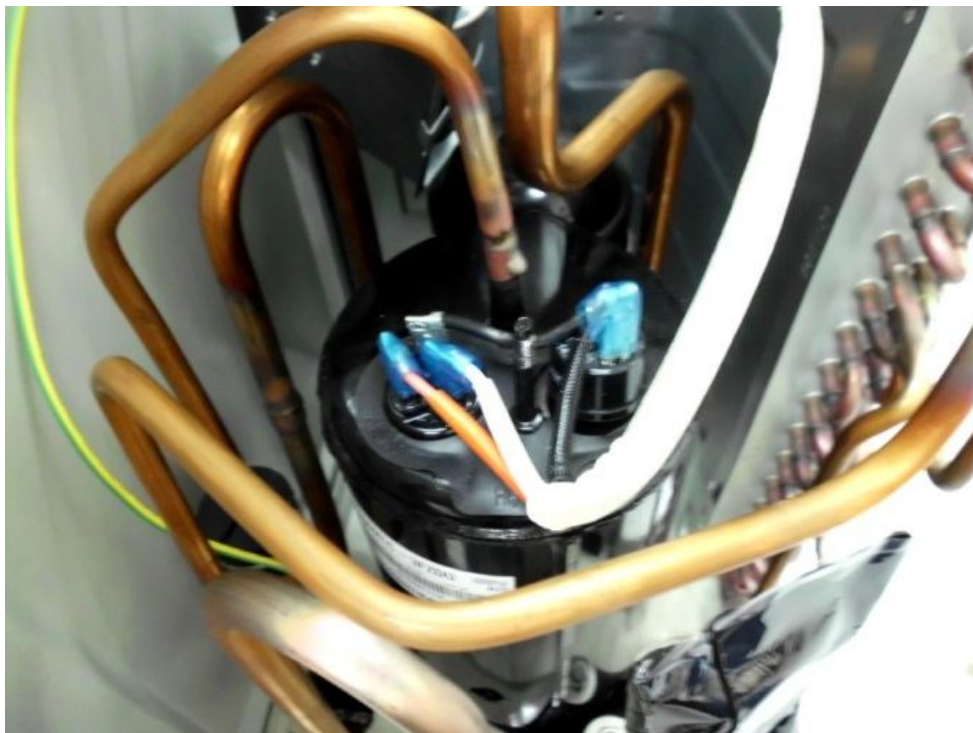


Figura 26 - Compressor sem Válvula de By-pass
Fonte: Elaborado pelo Autor

Para reduzir o consumo de energia elétrica, utilizou-se uma válvula eletromecânica (válvula de by-pass) acionada pela placa eletrônica desenvolvida. A válvula foi instalada entre a entrada e a saída do compressor.

A válvula de by-pass (figura 24) instalada no tubo de descarga do compressor que contem fluido refrigerante em alta pressão, faz com que o fluido deixe de ser comprimido para o trocador de calor da unidade externa e retorne para a sucção do compressor. Esse processo permite a diminuição da pressão de 200 ~ 250PSI para 55 ~ 65PSI. Com esta equalização de pressão entre a sucção e descarga do compressor, a vazão de fluido refrigerante diminui, e conseqüentemente, diminui o consumo de energia elétrica.



Figura 27 - Válvula de By-pass
Fonte: Elaborado pelo Autor

A figura 28 apresenta o local de instalação da válvula de by-pass no interior do condicionador de ar.

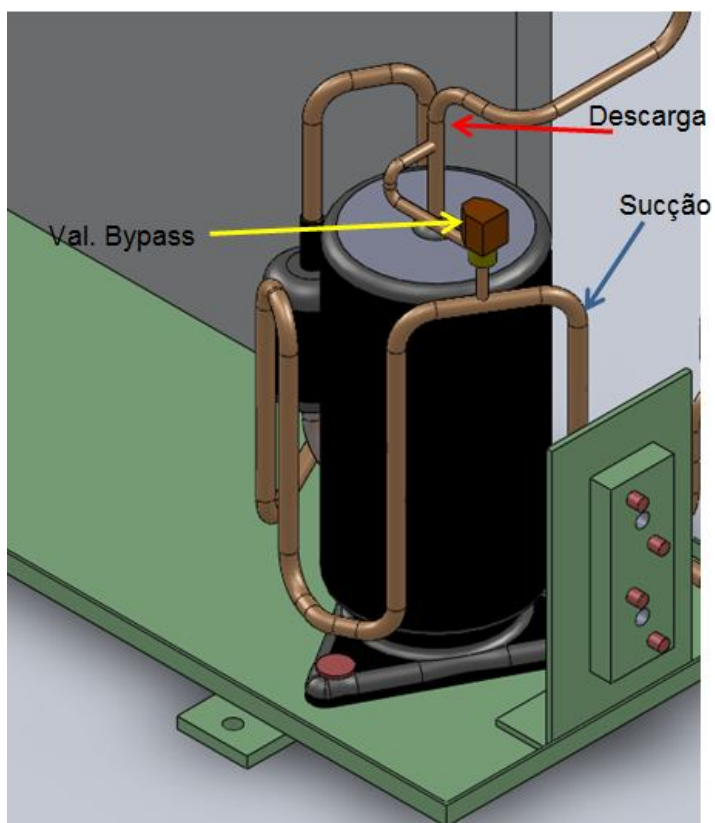


Figura 28 - Instalação da Válvula de By-pass
Fonte: Elaborado pelo Autor

3.4 Instalação das Placas Eletrônicas

Duas placas foram desenvolvidas e cada unidade, interna e externa, recebeu uma placa. A figura 29 ilustra onde cada placa foi instalada e o cabo de comunicação interligando-as.

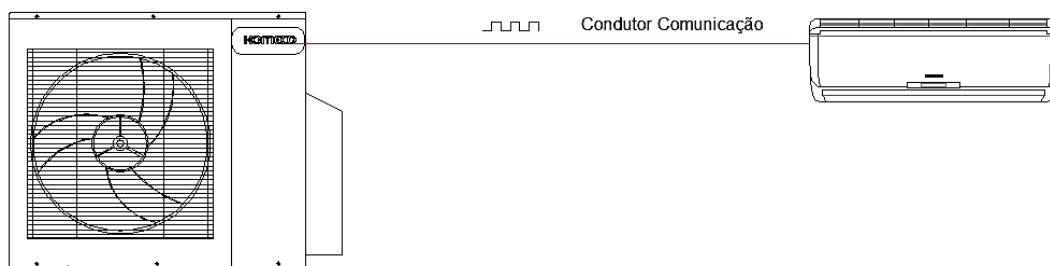


Figura 29 - Local de Instalação das Placas Eletrônicas
Fonte: Elaborado pelo Autor

A unidade externa recebeu a placa do Arduino Uno com o firmware desenvolvido para iniciar os testes e obter os primeiros resultados.

A figura 30 ilustra o protótipo fixado na unidade externa.

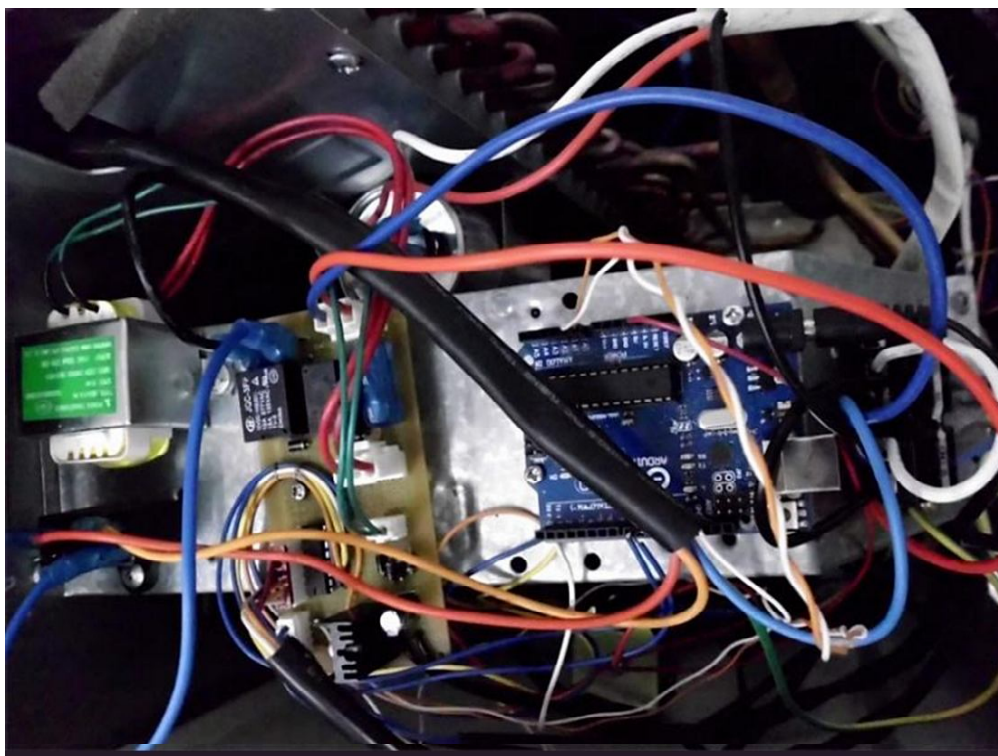


Figura 30 - Protótipo na Unidade Externa
Fonte: Elaborado pelo Autor

Durante a execução dos primeiros testes observou-se que a válvula de by-pass gerava vibração mecânica.

Não foi identificado como um problema, pois, no momento em que a válvula entra em operação, o sistema tende a equalizar a pressão do fluido refrigerante e as curvas, que estão em torno do compressor, absorvem toda a vibração e não transferem essa vibração para a carenagem.

Para evitar a vibração identificada, e evitar futuros ruídos, moldou-se a tubulação de cobre e inseriu-se uma curva na saída da válvula de by-pass. Esse procedimento eliminou a vibração e o ruído e pode ser observado na figura 31.

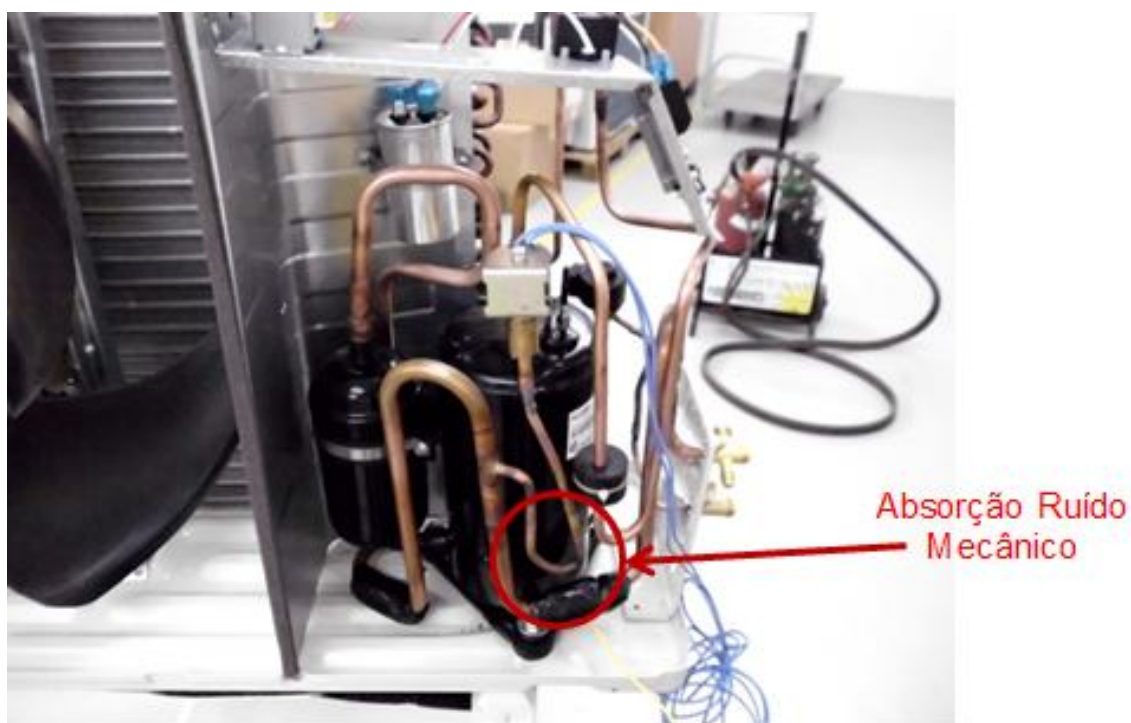


Figura 31 - Curva Adicional na Tubulação de Cobre
Fonte: Elaborado pelo Autor

4 RESULTADOS

Neste capítulo estão contidos os resultados necessários para verificar a real melhoria do condicionador de ar contendo o dispositivo desenvolvido.

Esse comparativo consiste em avaliar as diferenças entre a amostra inicial e os resultados do equipamento com o sistema eletrônico embarcado, além da alteração mecânica com a inserção da válvula de expansão eletrônica.

Foram feitas cinco aquisições de dados. O primeiro ensaio foi realizado para comprovar que o condicionador de ar não perdeu rendimento com as alterações. Os demais ensaios serviram para avaliar o comportamento das temperaturas na entrada e saída da tubulação da unidade interna, validar a modulação aplicada sobre a válvula de by-pass e verificar o consumo de energia elétrica para posterior comparação.

4.1 Teste em carga Máxima

Esse teste serviu para avaliar, de forma comparativa, a eficiência do equipamento antes e depois da instalação das válvulas e do sistema eletrônico.

O condicionador de ar contendo o dispositivo desenvolvido foi ensaiado com as mesmas condições dos ensaios realizados com o equipamento sem alterações. Os parâmetros do ensaio realizado estão descritos a seguir conforme Norma **NBR12010**.

Ambiente Interno:

- * Temperatura do Bulbo Úmido (TBU) – 19,4°C
- * Temperatura de Bulbo Seco (TBS) – 26,7°C

Ambiente Externo:

- * Temperatura do Bulbo Úmido (TBU) – 23,9°C
- * Temperatura de Bulbo Seco (TBS) – 35,0°C

Um parâmetro que poderia alterar os resultados era a quantidade de carga de fluido refrigerante, pois no ensaio preliminar foi adicionada massa de fluido ao equipamento.

A massa de fluido que continha no equipamento originalmente era 0,932kg. Essa mesma quantidade de massa foi aplicada ao sistema para os testes após a alteração da parte mecânica e a adição do sistema eletrônico.

A figura 32 apresenta a diminuição da temperatura de insuflamento, demonstrando o aumento da capacidade frigorífica do condicionador de ar.

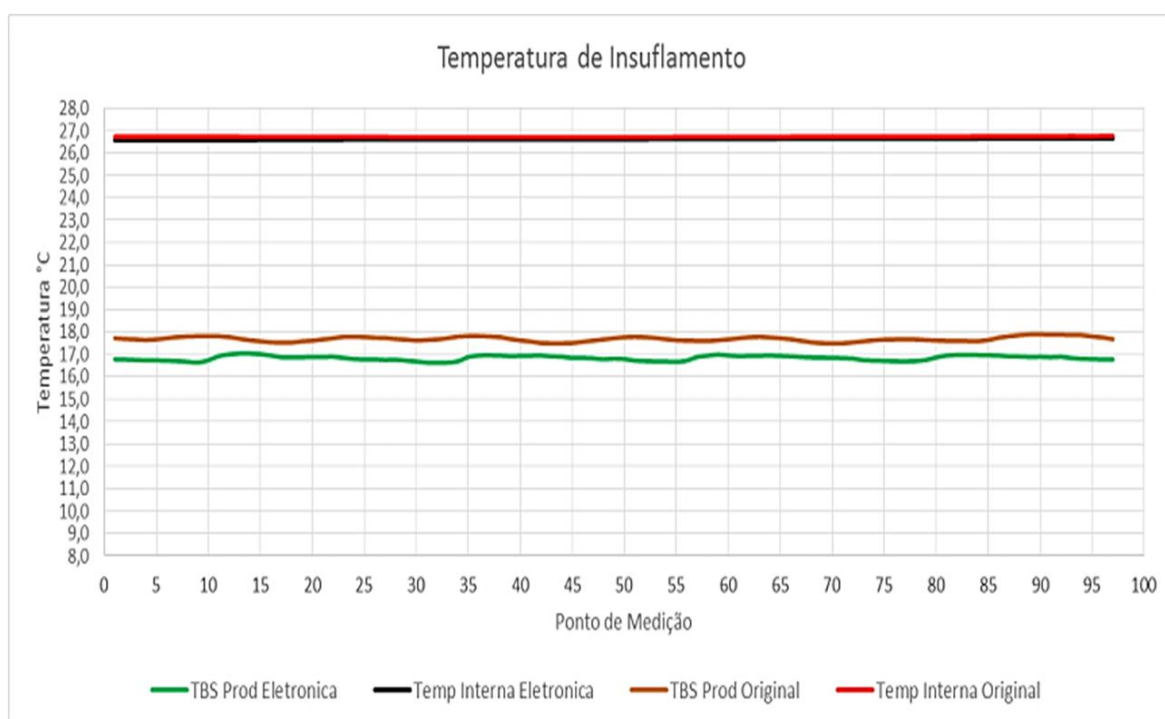


Figura 32 – Gráfico da Temperatura de Insuflamento
Fonte: Elaborado pelo Autor

O sensor de temperatura de insuflamento foi posicionado no centro da saída de ar da unidade interna (figura 33), permanecendo no mesmo ponto durante a realização de todos os ensaios executados no laboratório, a fim de permitir uma maior confiabilidade nas medições.



Figura 33 - Posição do Sensor de Insuflamento
Fonte: Elaborado pelo Autor

A figura 34 apresenta o quadro quantitativo da potência elétrica consumida por unidade de tempo, comparando o equipamento original com o modificado.

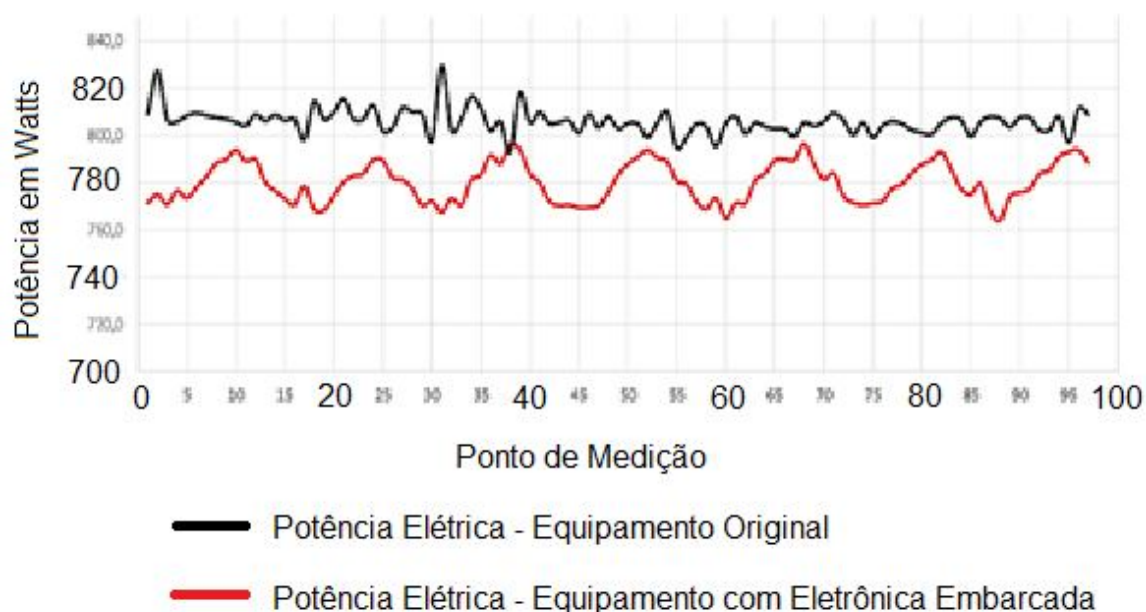


Figura 34 - Gráfico Comparativo de Potência Consumida
Fonte: Elaborado pelo Autor

O condicionador de ar contendo o dispositivo desenvolvido obteve um consumo de energia elétrica inferior quando comparado com o equipamento ensaiado originalmente.

O gráfico da figura 31 também apresenta um consumo variável no tempo, resultado, esse, da atuação da válvula de by-pass no compressor.

Outro item verificado nesse teste foi a temperatura de entrada e saída do trocador na unidade interna. Esse teste permite avaliar o rendimento e a quantidade de energia absorvida pelo condicionador de ar.

A figura 35 apresenta a temperatura de entrada e saída de fluido refrigerante na unidade interna.

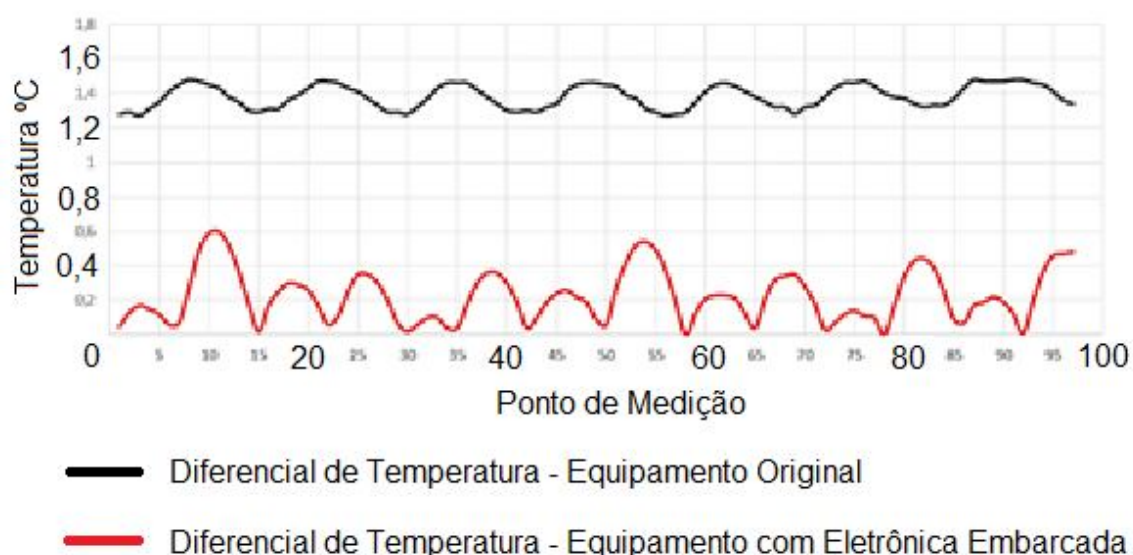


Figura 35 - Gráfico Comparativo da Temperatura do Fluido

Fonte: Elaborado pelo Autor

A diferença de temperatura nesse condicionador de ar foi maior antes da instalação do dispositivo desenvolvido.

Foi realizado o teste da temperatura do líquido e da sucção e a figura 36 apresenta o gráfico da temperatura da unidade interna mantendo-se próxima de 2°C. Nessa medição o condicionador de ar não havia recebido o dispositivo desenvolvido.

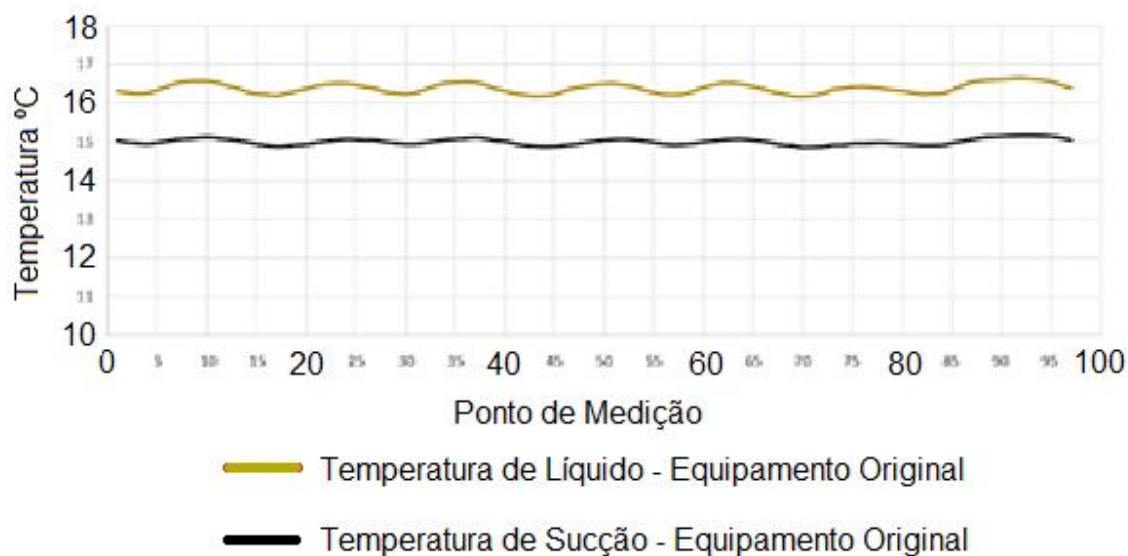


Figura 36 – Temperatura do Líquido e Sucção - Equipamento Original
Fonte: Elaborado pelo Autor

Já o teste realizado após a instalação do dispositivo desenvolvido, mostrou que as duas temperaturas sempre apresentaram uma variação muito pequena da temperatura entre a entrada e saída de fluido refrigerante do trocador de calor da unidade interna, conforme ilustra a figura 37.

Com isso pôde-se observar a atuação da eletrônica sobre a válvula de expansão eletrônica.

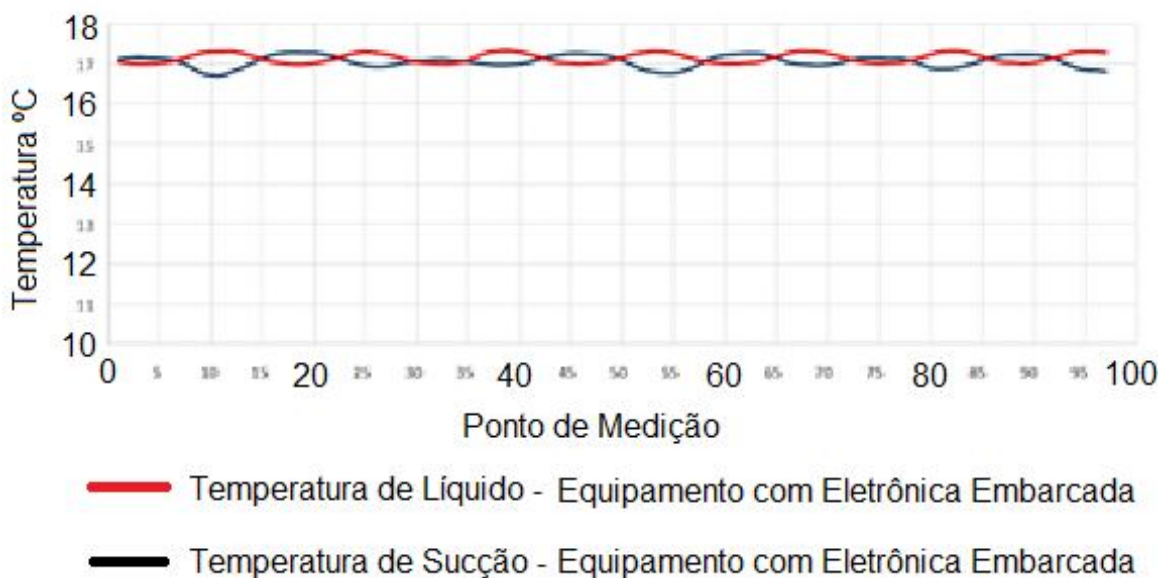


Figura 37 - Temperatura do Líquido e Sucção - Equipamento com Eletrônica Embarcada
Fonte: Elaborado pelo Autor

As figuras 38 e 39 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos nos ensaios de capacidade máxima do condicionador de ar original e contendo o dispositivo desenvolvido.

Tendo em vista que a eficiência energética é a relação da capacidade com consumo de energia elétrica, após a instalação do dispositivo desenvolvido, o condicionador de ar, em carga máxima, obteve um menor consumo de energia elétrica e o aumento da sua capacidade frigorífica.

D e s e m p e n h o			
Capacidade total de refrigeração		2.453,5	W
		8.377,2	BTU/h
			93,1% em relação ao valor nominal declarado
Capacidade sensível		1.804,1	W
Capacidade latente		649,4	W
FCS		0,74	-
Coeficiente de eficiência energética	COP	3,05	W/W
	EER	10,40	BTU/Wh
			94,9% em relação ao valor nominal declarado

Figura 38 - Eficiência Energética - Equipamento Original

Fonte: Elaborado pelo Autor

D e s e m p e n h o			
Capacidade total de refrigeração		2.574,7	W
		8.791,2	BTU/h
			97,7% em relação ao valor nominal declarado
Capacidade sensível		1.955,9	W
Capacidade latente		618,8	W
FCS		0,76	-
Coeficiente de eficiência energética	COP	3,30	W/W
	EER	11,26	BTU/Wh
			102,6% em relação ao valor nominal declarado

Figura 39 - Eficiência Energética - Equipamento com Dispositivo Desenvolvido

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os dados apresentados indicam a melhoria na capacidade de refrigeração na ordem de 4,6% enquanto a eficiência energética melhorou em 7,7%.

4.2 Teste com variação da temperatura interna

Neste teste foi mantida a temperatura do ambiente externo no valor 30°C, diferentemente do ensaio anterior, onde a temperatura no ambiente interno e externo era fixa.

A variação foi necessária para verificar o comportamento da temperatura na entrada e saída do trocador de calor, em função da válvula de expansão eletrônica.

A figura 40 ilustra a variação da temperatura do ambiente interno de 20°C para 23°C.

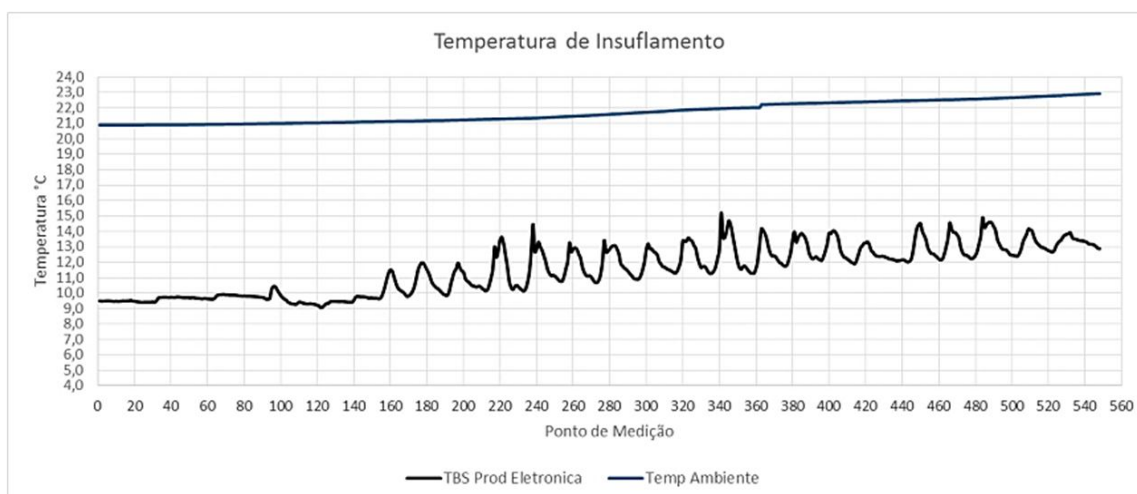


Figura 40 - Variação da Temperatura Interna
Fonte: Elaborado pelo Autor

A variação da temperatura de insuflamento respondeu de acordo com a variação da temperatura ambiente.

O diferencial da temperatura na entrada e saída do trocador de calor apresentou um valor modulado, como mostra figura 38. Isso ocorreu devido à resposta da válvula de expansão eletrônica em função do acionamento do circuito eletrônico desenvolvido.

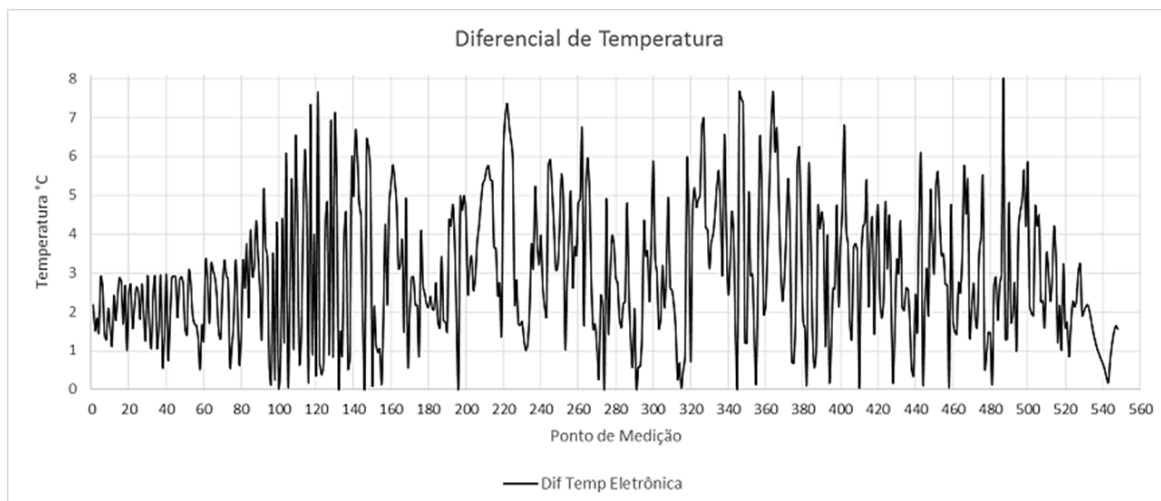


Figura 41 - Temperatura na Unidade Interna
Fonte: Elaborado pelo Autor

A figura 42 apresenta a temperatura de entrada e saída dos tubos da unidade interna. Observa-se a modulação constante da válvula de expansão eletrônica buscando responder à variação da temperatura nos tubos.

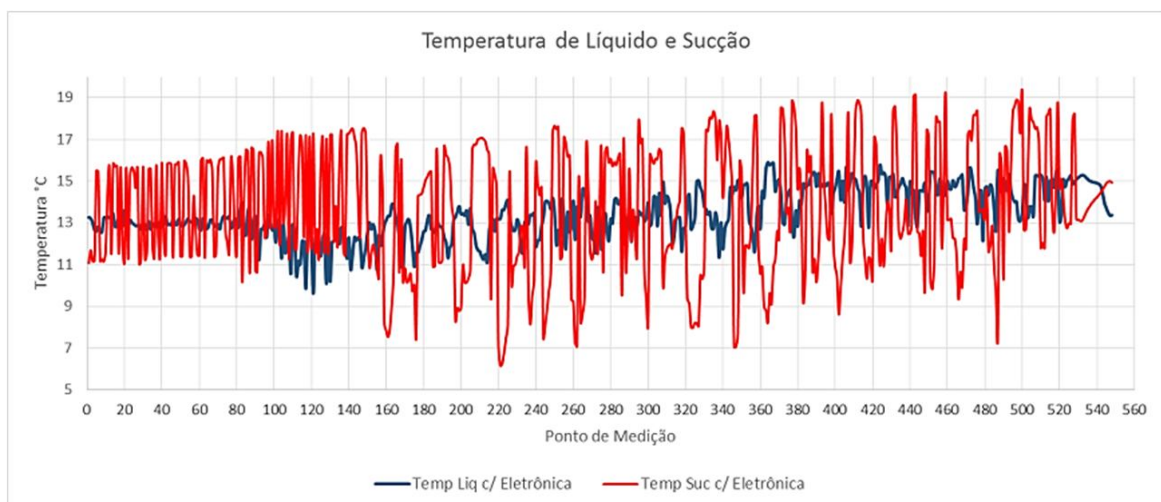


Figura 42 - Temperatura nos Tubos da Unidade Interna
Fonte: Elaborado pelo Autor

A potência elétrica também não é constante, conforme ilustra a figura 43. Pode-se observar no gráfico que a potência registrou pontos abaixo de 600W. Isso foi possível devido à modulação da válvula de by-pass em função da temperatura nos tubos.

No firmware a válvula de by-pass entra em operação quando a temperatura de líquido ou sucção estiver abaixo de 9°C. Além disso, é necessário que a temperatura diferencial do líquido e

sucção esteja com, no máximo, 2°C, permitindo que a válvula de expansão eletrônica entre em operação e estabilize a temperatura acima de 9°C.

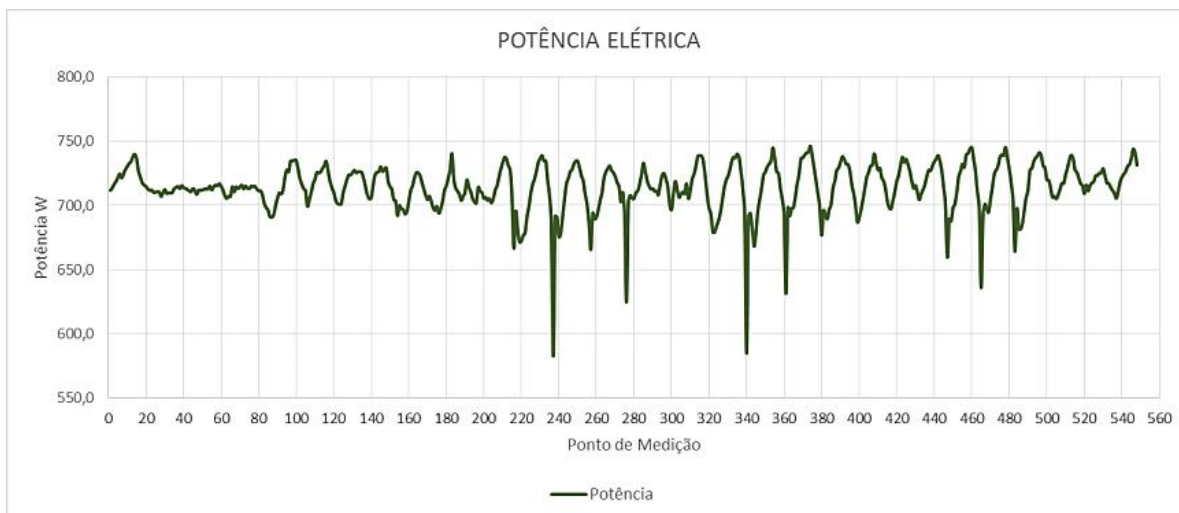


Figura 43 - Potência Elétrica Consumida
Fonte: Elaborado pelo Autor

4.3 Teste com temperatura interna estabilizada

Nesse teste, o condicionador de ar entrou em funcionamento e a temperatura interna estabilizou, conforme ilustra a figura 44. Nota-se que, a partir do ponto 80, a temperatura apresenta valores que tendem a estabilização.

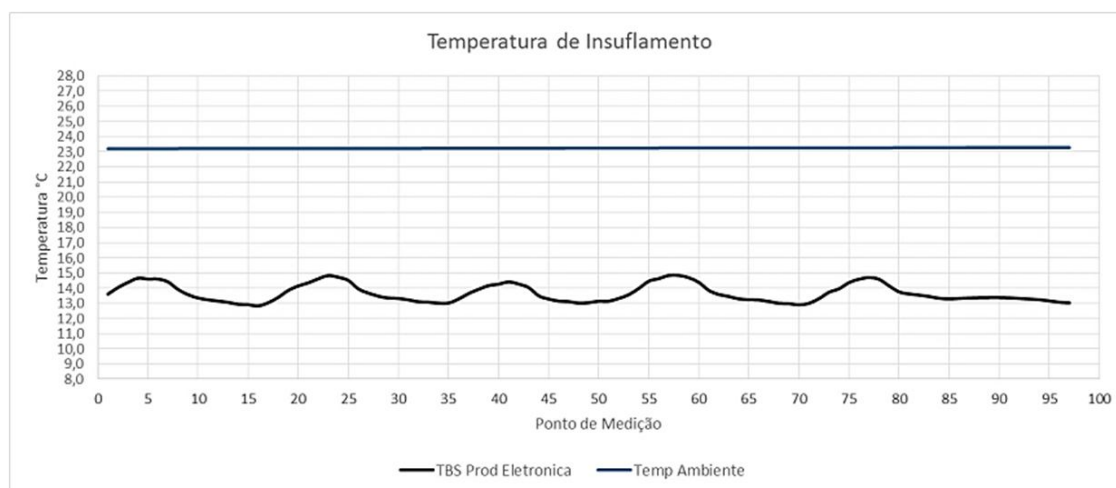


Figura 44 - Temperatura de Insuflamento
Fonte: Elaborado pelo Autor

Na figura 45 é possível acompanhar que a potência consumida pelo condicionador de ar varia, pois a temperatura no ambiente interno não exige mais 100% da potência nominal do equipamento.

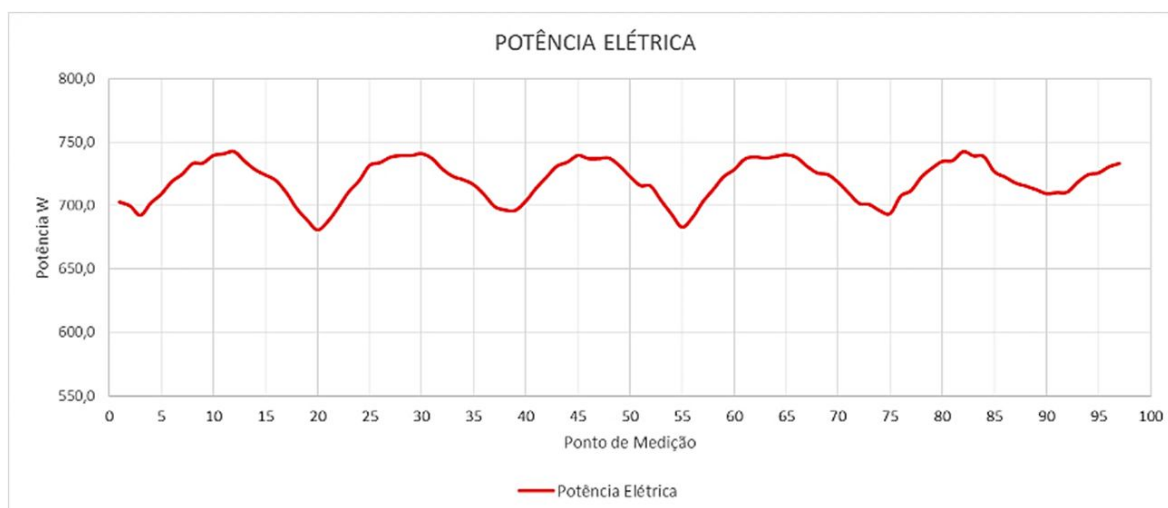


Figura 45 - Potência Elétrica com Temperatura de 23°C
Fonte: Elaborado pelo Autor

A figura 46 apresenta a temperatura diferencial da entrada e saída do trocador de calor, começando a diminuir a partir do ponto de medição 85, pois o ambiente apresenta uma temperatura próxima da configurada (23°C).

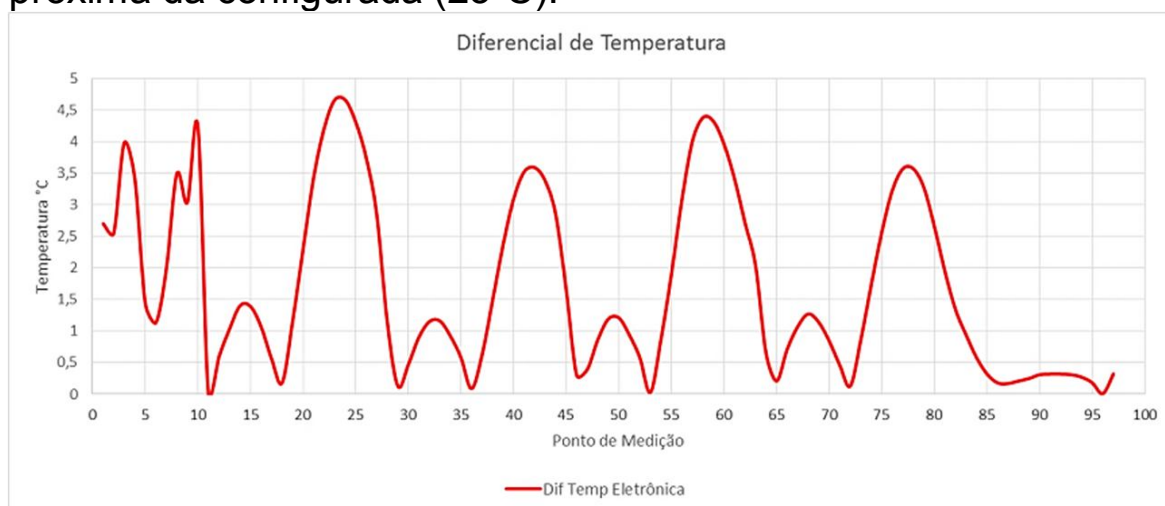


Figura 46 - Temperatura Diferencial nos Tubos - 23°C
Fonte: Elaborado pelo Autor

Na figura 47 é possível visualizar a temperatura real nos tubos do líquido e da sucção. Até o ponto 80, a válvula vai modulando sua posição de acordo com a temperatura nos tubos. Após um determinado tempo não há mais alteração de carga

térmica, fazendo com que as temperaturas entrem em regime e diminuam seu diferencial.

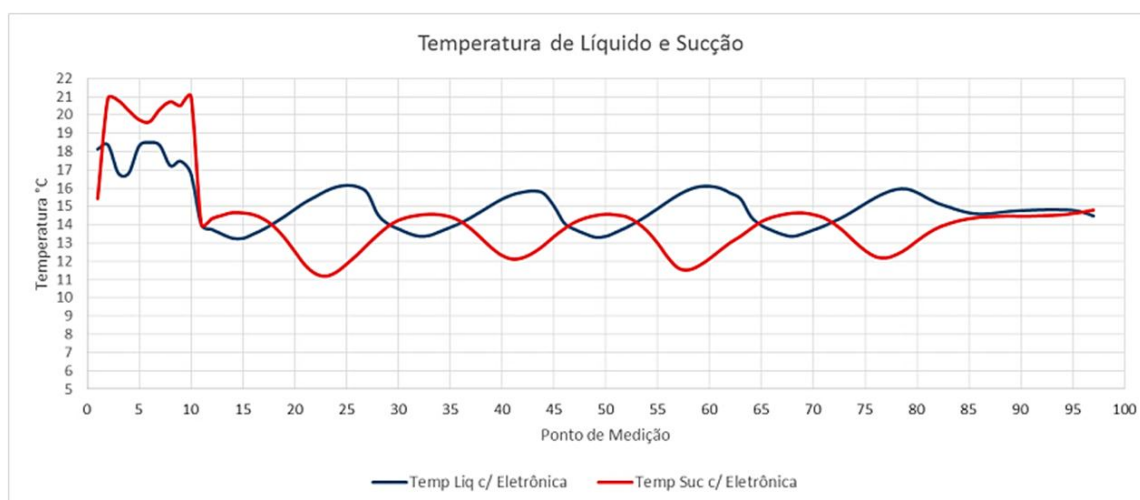


Figura 47 - Temperatura na Entrada e Saída dos Tubos
Fonte: Elaborado pelo Autor

4.4 Teste com variação da temperatura externa

Neste teste foi verificado o comportamento da válvula de expansão eletrônica e a potência consumida alterando-se a temperatura externa de 35°C para 30°C. A figura 48 ilustra a queda da temperatura externa controlada pelo calorímetro.

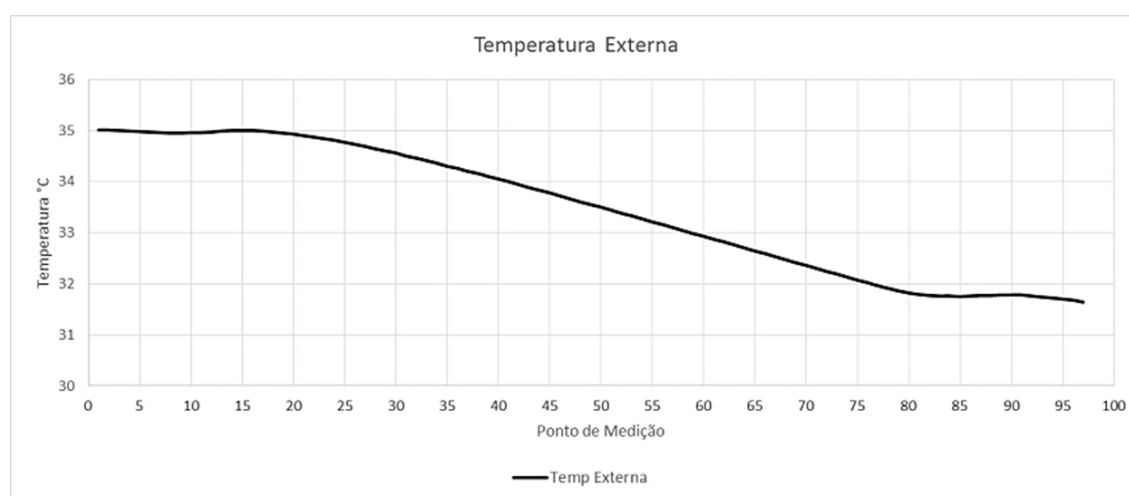


Figura 48 - Configuração da Temperatura Externa para 30°C
Fonte Elaborado pelo Autor

A temperatura interna do ambiente permaneceu constante e próxima de $26,7^{\circ}\text{C}$, como ilustra a figura 49.

A temperatura de saída de ar da unidade interna, sem manteve parcialmente estável, pois não teve alteração na energia térmica do ambiente.

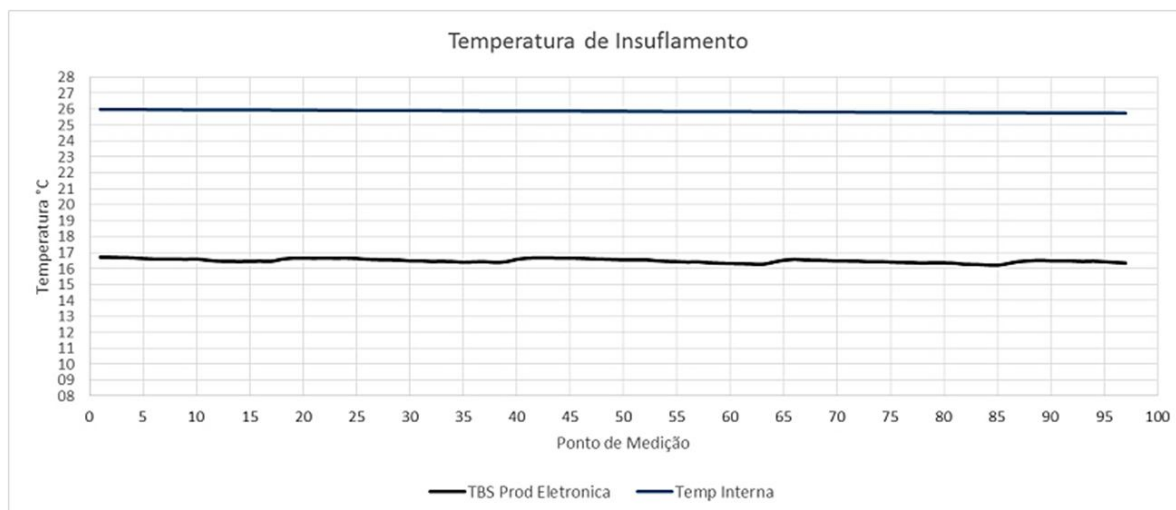


Figura 49 - Temperatura Interna Constante - Externa 30°C
Fonte: Elaborado pelo Autor

Similar ao comportamento nas outras situações, a potência elétrica consumida sofreu alteração devido à variação de temperatura externa, conforme ilustra a figura 50.



Figura 50 - Potência Consumida - Temperatura Externa 30°C
Fonte: Elaborado pelo Autor

Quando comparado com o compressor fixo, o diferencial da temperatura com o condicionador de ar contendo a válvula de expansão eletrônica apresentou valores reduzidos.

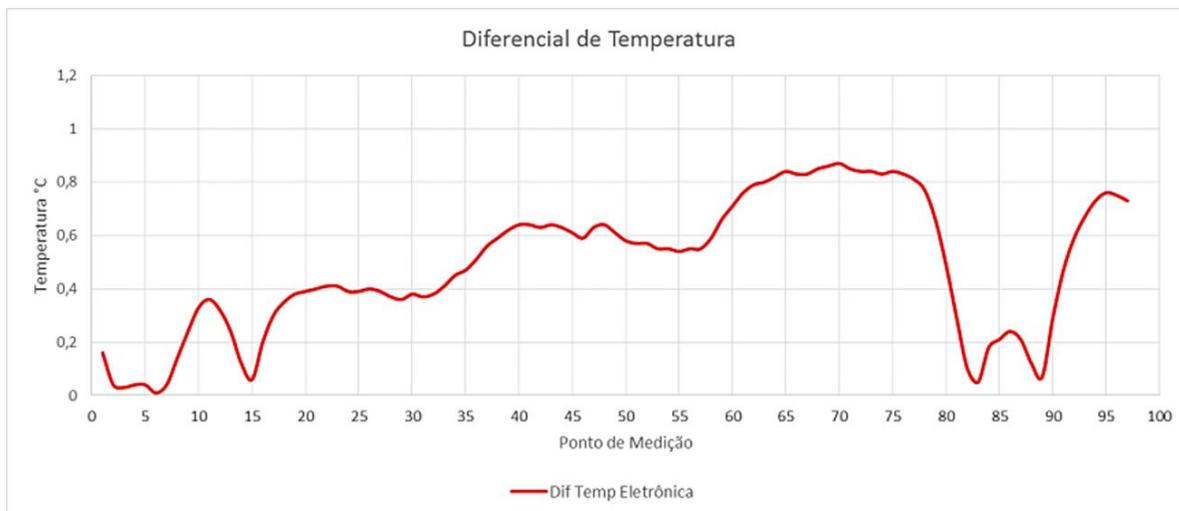


Figura 51 - Diferencial da Temperatura nos Tubos - Externa 30°C
Fonte: Elaborado pelo Autor

Mesmo com a variação da temperatura do ambiente externo, a válvula de expansão eletrônica conseguiu manter a mesma temperatura dos tubos de entrada e saída da tubulação, conforme ilustra a figura 52.

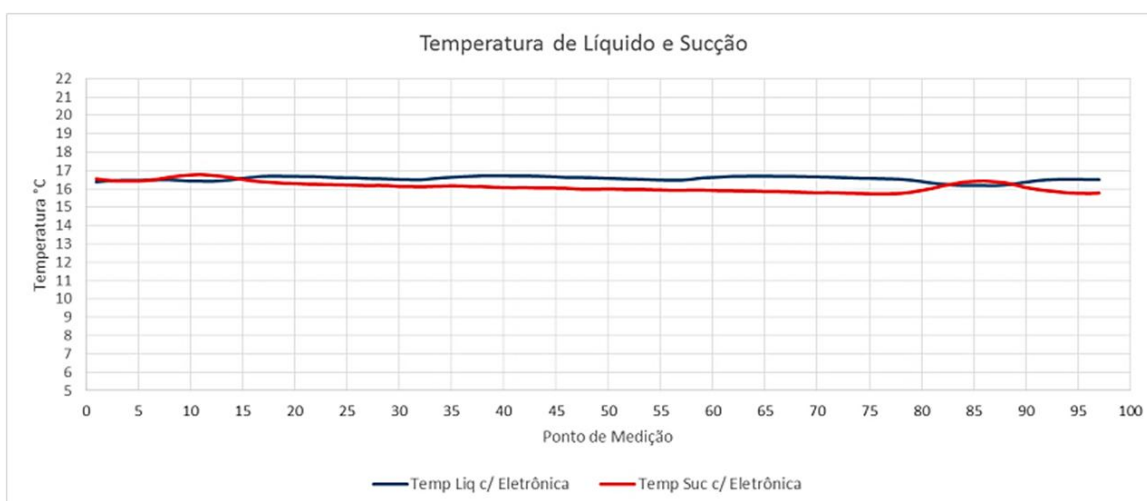


Figura 52 - Temperatura nos Tubos - Externa 30°C
Fonte: Elaborado pelo Autor

5. CONCLUSÃO

Este trabalho iniciou-se com estudo sobre sistema de refrigeração e o conceito dos dois modelos principais comercializados de pequeno porte, o modelo *Split* convencional e o modelo de *Split* inverter. Posteriormente descreveu-se o modo de avaliação de capacidade frigorífica e o consumo de energia elétrica, de um condicionador de ar *Split*, no calorímetro.

Como proposta para desenvolvimento deste projeto era a instalação de dois sistemas de controle eletrônico, um na unidade evaporadora e outro na unidade condensadora, com intuito de se obter uma redução no consumo de energia elétrica e um melhor desempenho em sua capacidade frigorífica e ainda obter uma redução do consumo de umidade relativa do ar pela evaporadora.

No capítulo de desenvolvimento definiu-se a capacidade frigorífica do condicionador de ar *Split*. Após a definição foi feito o primeiro teste para ter uma referência comparativa de capacidade frigorífica e consumo elétrico.

Em seguida avaliou-se os sensores de temperatura para se ter uma clareza do sinal analógico recebido pela placa de comando eletrônico da unidade externa e interna. Instalação da válvula de by-pass que interligou o tubo de sucção e o tubo de líquido do compressor, lembrando que quando entrar em funcionamento iria retirar a carga de fluido refrigerante sobre o compressor com a intenção de reduzir o consumo elétrico. Instalação da válvula de expansão eletrônica teve a função de modular o fluido refrigerante no trocador de calor da unidade interna (Evaporador). E por fim a instalação dos dois circuitos eletrônicos, tanto na evaporadora como na condensadora.

O desenvolvimento do dispositivo proposto permitiu analisar o desempenho de um condicionador de ar classe “A” e, a avaliação dos resultados, sugere a validação da proposta.

Com a instalação do dispositivo desenvolvido no condicionador de ar observou-se o controle da válvula de expansão eletrônica e, com isso, o controle sobre a quantidade de massa de fluido no trocador de calor interno (evaporador).

Pôde-se observar o aumento na capacidade frigorífica do condicionador de ar e a redução no consumo de energia elétrica

aumentando, assim sua eficiência energética. O item da proposta que almejava a redução do consumo de umidade relativa do ar, não obteve o resultado esperado, o valor de umidade ficou próximo ao valor encontrado sem modificação no equipamento.

A temperatura interna não sofreu alterações devido a variação da temperatura externa, pois a válvula de expansão eletrônica, em conjunto com a válvula de by-pass, permitiu a modulação da quantidade de massa no fluido do trocador de calor.

Os resultados comprovaram a eficiência da proposta apresentada e demonstraram uma melhora significativa no condicionador de ar selecionado para o projeto.

5.1 Projetos Futuros

Sugere-se o controle da umidade relativa do ar através da instalação de um sensor específico para essa finalidade, buscando, assim, obter o valor da umidade do ar consumida pelo condicionador de ar.

Outra sugestão seria a instalação de um tubo de expansão eletrônica em série com a válvula de by-pass limitando a vazão de fluido no compressor. Observou-se nos testes uma variação brusca na vazão de fluido no compressor o que poderia causar a diminuição na vida útil do condicionador de ar. Com a instalação desse tubo seria possível controlar a vazão reduzindo, inclusive, o consumo de energia elétrica, aumentando a sua eficiência energética.

Sugere-se projetar apenas uma placa eletrônica para o controle do dispositivo eliminando a placa instalada no interior do condicionador de ar. Essa placa permaneceria em standby até a recepção de sinal pela unidade interna, padronizando o dispositivo desenvolvido para aplicação em outras marcas e modelos de condicionadores de ar e facilitando sua instalação.

Validar e testar o dispositivo desenvolvido em condicionadores de ar com potências térmicas diferentes do testado buscando identificar resultados inconsistentes ou diferentes os obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA. **Venda de Condicionadores de Ar no Brasil**. 2014. Disponível em: <<http://www.abrava.com.br/venda-de-aparelhos-de-ar-condicionado-deve-crescer-10-no-rio-grande-do>>. Acesso em: 24 set. 2014.

ADIAS. **O que é Inverter?** 2014. Disponível em: <<http://www.adias.com.br/oqueeinverter>>. Acesso em: 23 set. 2014.

ARDUINO. **Arduino Uno**. 2014. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>>. Acesso em: 25 set. 2014.

ATMEL, **Arquitetura e Configuração das Portas Lógicas do Microcontrolador Atmega328P**. 2014. Disponível em: <<http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx>>. Acesso em: 25 ago. 2014.

CELESC. **Simulador de Consumo**. 2014. Disponível em: <<http://proceleeficiencia.celesc.com.br/index.php/simulador-de-consumo>>. Acesso em: 22 set. 2014.

ELETROBRAS. **Procel e o Meio Ambiente**. 2014. Disponível em: <<http://www.elektrobras.com/elb/main.asp?TeamID=%7BB3AA0142-B1FE-4AAD-AB15-E8426471B739%7D>>. Acesso em: 24 set. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013**, 2013. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2014.

INMETRO. **Selo Procel de Eficiência Energética**. 2014. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeselo.asp>>. Acesso em 24 set. 2014.

KOMEÇO. **Banco de Dados Internos**. 2014. Documentos Restritos.

LIMA, C. B. **Os Poderosos μ controladores AVR**. 01 jun. 2013, 15 dez. 2013. Notas de Aula.

MARQUES, D. **Calorímetro**. 2013. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/calorimetro.htm>>. Acesso em: 25 set. 2014.

MARTINELLI, Luiz Carlos. **Refrigeração e Ar-Condicionado**. Parte IV - Psicometria, 2008. Disponível em: <http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/7/72/RAC_IV.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2014.

MMA. **Eficiência Energética e Conservação de Energia**. 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica>>. Acesso em 24 set. 2014.

PORTAL PCH. **Ar-Condicionado o Novo Vilão**. 2014. Disponível em: <http://portalpch.com.br/index.php/noticias-e-opniao/noticias-pch-s/2437-22-01-2014-ar-condicionado-o-novo-vilao#.VBL3_PldWSp>. Acesso em: 20 ago. 2014.

SOUZA, E. C. **Refrigeração**. 3. ed. Porto Alegre: Edgard Blucher Ltda, 1982. 322 p.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1973. 613 p.

WEBGLOBAL. **Tipos de Compressores**: Compressor Rotativo. 2014. Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br/tipos-de-compressores-utilizados-em-ar-condicionado>>. Acesso em: 23 set. 2014.

WEBARCONDICIONADO. O QUE É SPLIT INVERTER. 2011. Disponível em: <http://www.webarcondicionado.com.br/o-que-e-split-inverter>

ANEXOS

SOFTWARE PCB DA UNIDADE INTERNA

```
#include "Library_Padraointerna.h"

#define VENT PB1
#define CommExterna
#define ControleRemoto

unsigned char TimerCiclo;

int main()
{
    //AbreSwingI();
    _delay_ms(100);
    FechaSwingTotal
    _delay_ms(100);
    AbreCool();
    // _delay_ms(10000);
    set_bit(PORTB, VENT);
    P002:
    for (TimerCiclo=0; TimerCiclo<100 ;TimerCiclo++)
    {
        InitAD0();
        Sensor1();
        closedAD();
        InitAD1();
        Sensor2();
        closedAD();
        closedAD();
    }
    if (sinalComm)
    {
        Acionaexterna();
    }
    else
    {
        DesligaExterna();
        goto P002;
    }
    clr_bit(PORTB, VENT);
}
```

SOFTWARE PCB DA UNIDADE EXTERNA

```
#include "Library_PadraoExterna.h"

#define COMP PB0
#define VENT PB1
#define ByPass PB2
#define Commint
unsigned char TimerCiclo;

int main()
{
    //AbreEXVtotal();
    _delay_ms(100);
    FechaEXVtotal();//Zera a posicao valv
    _delay_ms(100);
    AbreCool();
    // _delay_ms(10000);//Delay de 10s Estabilizar o fluido
    set_bit(PORTB,COMP);
    set_bit(PORTB,VENT);

P001:
P002:
    for (TimerCiclo=0; TimerCiclo<100 ;TimerCiclo++)//Laço para 10s
    {
        // Leitura das entradas analogicas
        InitAD0();
        Sensor1();
        closedAD();
        InitAD1();
        Sensor2();
        closedAD();
        InitAD2();
        Sensor3();
        closedAD();

        if ((TempSens1<531)|(TempSens2<531))
        {
            if(((TempSens2-TempSens1)<15)|((TempSens1-TempSens2)<15))//<2°C
            {
                set_bit(PORTB,ByPass);
                _delay_ms(1000);
                clr_bit(PORTB,ByPass);
            }
        }
        _delay_ms(100);
    }
}
```

```

if (TempSens1 < TempSens2)
{
    if ((TempSens2-TempSens1)<40)//menor 4°C
    {
        if ((TempSens2-TempSens1)>22)//2°C
        {
            OpAbreCool1x();
            _delay_ms(100);
        }
        goto P001;
    }
    if ((TempSens2-TempSens1)>40)//maior 4°C
    {
        OpAbreCool2x();
        _delay_ms(100);
        goto P001;
    }
}

if (TempSens1 > TempSens2)
{
    if ((TempSens1-TempSens2)<40)// menor 4°C
    {
        if ((TempSens1-TempSens2)>22)//maior 2°C
        {
            OpFechaCool1x();
            _delay_ms(100);
        }
        goto P001;
    }
    if ((TempSens1-TempSens2)>40)//4°C
    {
        OpFechaCool2x();
        _delay_ms(100);
        goto P001;
    }
}

    goto P002;
clr_bit(PORTB,COMP);
clr_bit(PORTB, VENT);
}

```