

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**CLEITON LUCATEL**

**EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA EM CLIMATIZADORES DE AR  
UTILIZANDO PARTIDA SUAVE NA COMUTAÇÃO DO COMPRESSOR  
E DESLIGAMENTOS PRÉ-PROGRAMADOS**

**Alegrete  
2017**

**CLEITON LUCATEL**

**EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA EM CLIMATIZADORES DE AR  
UTILIZANDO PARTIDA SUAVE NA COMUTAÇÃO DO COMPRESSOR  
E DESLIGAMENTOS PRÉ-PROGRAMADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Vitor Cristiano Bender

**Alegrete  
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

L933e Lucatel, Cleiton

EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA EM CLIMATIZADORES DE AR  
UTILIZANDO PARTIDA SUAVE NA COMUTAÇÃO DO COMPRESSOR E  
DESLIGAMENTOS PRÉ-PROGRAMADOS / Cleiton Lucatel.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2017.

"Orientação: Vitor Cristiano Bender".

1. Acionamento. 2. Ar condicionado. 3. Economia. 4.  
Eficiência. 5. Split. I. Título.

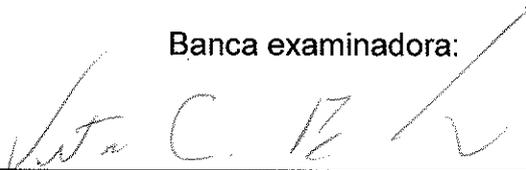
CLEITON LUCATEL

**EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA EM CLIMATIZADORES DE AR  
UTILIZANDO PARTIDA SUAVE NA COMUTAÇÃO DO COMPRESSOR  
E DESLIGAMENTOS PRÉ-PROGRAMADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

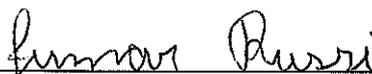
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28 de junho de 2017.

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Vitor Cristiano Bender  
Orientador  
UNIPAMPA



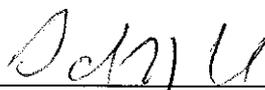
---

Prof. Dr. Jumar Luis Russi  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Felipe Bovolini Grigoletto  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Adriano Roberto da Silva Carotenuto  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho a Ana, Alexandra e  
Manuela, mãe, esposa e filha  
respectivamente. E a todos que me  
apoiaram durante esta jornada.

## **AGRADECIMENTO**

A minha mãe que sempre me apoio, perseverando diante das dificuldades, a fim de prestigiar minha formatura.

Ao Professor Doutor Vitor Cristiano Bender, meu orientador e amigo, o qual foi meu alicerce, pessoa de elevado caráter e conhecimento técnico/científico. Não só me orientou durante o desenvolvimento deste trabalho, mas também serviu-me de inspiração para tornar-me um profissional exemplar.

Ao colega Engenheiro Eletricista Haiglan Plotzki por sua colaboração em diversas etapas de desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores e colegas de trabalho e graduação, que inevitavelmente me ajudaram, tanto quando me ensinavam quanto quando me criticavam.

A ciência e a evolução tornando-nos a cada geração mais aptos e sábios para contribuirmos com a sociedade.

“Na medida em que vamos adquirindo mais conhecimento, as coisas se tornam menos compreensíveis e mais misteriosas.”

Albert Schweitzer

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta para melhorar a eficiência energética em aparelhos de ar condicionado modelo Split. Para realização do trabalho foi adotada uma metodologia baseada em estudo teórico e análises experimentais com aparelhos Splits para entender seu funcionamento. A partir destes dados foi desenvolvido um circuito eletrônico que alimenta um circuito de controle, e de potência, normalmente referenciado como protótipo. O protótipo quando alimentado liga o compressor através de uma rampa crescente de tensão por 4 segundos, um relé de by-pass é acionado e o motor do compressor é mantido ligado por 7 minutos, após este tempo o relé de by-pass é desligado e uma rampa de decrescimento de tensão é imposta ao motor até que ele pare. O motor permanece desligado por um tempo de 3 minutos, estes tempos se repetem até o ambiente atingir a temperatura desejada programada pelo usuário ou o relé do sistema original do Split desligar o compressor. Ensaio comparando o sistema original e com o protótipo mostraram que instalação do protótipo proporciona uma melhor capacidade de troca térmica, principalmente quando usado a opção de resfriamento do ambiente. A umidade relativa (UR) do ar não decai tão rapidamente no sistema com o protótipo, porém este é um aspecto positivo para o ambiente estudado, proporcionando melhor conforto térmico, além de prevenir possíveis problemas decorrentes da baixa umidade do ar. Durante os testes com e sem o protótipo instalado, foram mostrados os problemas do acionamento direto do compressor na partida, referentes a afundamentos de tensão e picos de corrente elétrica, problema também encontrado durante o desligamento do compressor usando o protótipo, sendo desnecessário e inclusive prejudicial o processo de desligamento por rampa. Em suma, o sistema proposto apresentou a capacidade de reduzir em 27,5% o consumo de energia elétrica, otimizando o uso do condicionador de ar e reduzindo os efeitos de interferência causados pelos distúrbios da rede elétrica oriundos do acionamento direto.

Palavras-Chave: Acionamento, Ar condicionado, Economia, Eficiência, Protótipo, Split.

## **ABSTRACT**

This paper presents a proposal to improve energy efficiency in air conditioners Split model. For the accomplishment of the work was adopted a methodology based on theoretical and study and experimental analyzes with apparatus Splits to understand its operation. From these data an electronic circuit was developed that feeds a control circuit, and power, usually referenced as prototype. The prototype, when powered, turns on the compressor through a rising voltage ramp for 4 seconds, a by-pass relay is activated and the compressor motor is kept on for 7 minutes, after which time the by-pass relay is turned off and a voltage dampening ramp is imposed on the motor until it stops. The motor remains off for a time of 3 minutes, times that are repeated until the ambient reaches desired temperature programmed by the user or the relay of the original Split system turns off the compressor. Tests comparing the original system and the prototype showed that the installation of the prototype provides better thermal exchange capacity, especially when it is used the environment cooling option. The relative humidity (RH) of the air does not fall as fast in the system with the prototype, but this is a positive aspect for the studied environment, providing better thermal comfort, besides preventing possible problems due to the low humidity of the air. During the tests with and without the prototype installed, the problems of the direct drive of the compressor in the departure, referring to sags of voltage and peaks of electrical current were shown, problem also found during the shutdown of the compressor using the prototype, being unnecessary and even damaging the ramp-off process. In short, the proposed system presented the capacity to reduce electric energy consumption by 27.5%, optimizing the use of the air conditioner and reducing the effects of interference caused by the disturbances of the electric network from the direct drive.

Keywords: Actuation, Air Conditioning, Economy, Efficiency, Prototype, Split.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo elétrico residencial por uso final.....	16
Figura 2 - Componentes básicos de um condicionador de ar.....	16
Figura 3 - Ciclo básico de refrigeração.....	18
Figura 4 - Tipos de compressores.....	18
Figura 5 - Conjugado X Velocidade do compressor.....	19
Figura 6 - Ciclo frio.....	20
Figura 7 - Ciclo quente e frio.....	21
Figura 8 - Unidade condensador de Split.....	22
Figura 9 - Unidade evaporadora de Split.....	22
Figura 10 - Ciclo de temperatura em regime.....	24
Figura 11 - Ligações de motores monofásicos.....	26
Figura 12 - Conjugado X Velocidade para motores monofásicos.....	27
Figura 13 - Placa de uma Soft-Starter modelo SSW 04 da WEG.....	28
Figura 14 - Partida e parada soft-starter monofásica.....	29
Figura 15 - Monitoramento de acionamento.....	32
Figura 16 - Ligação elétrica Split.....	33
Figura 17 - Posição do circuito adicionado.....	34
Figura 18 - Circuito de acionamento controlado CAC proposto.....	35
Figura 19 - Circuito CAC montado.....	35
Figura 20 - Temperatura. Compressor ligado continuamente.....	37
Figura 21 - Temperatura. Compressor e ventilador liga/desliga manual.....	37
Figura 22 - Temperatura. Compressor ligado e desligado pelo protótipo.....	38
Figura 23 - Diferença de temperaturas entre os 3 sistemas de acionamento.....	39
Figura 24 - UR ar. Compressor ligado continuamente.....	40
Figura 25 - UR ar. Compressor ligado e desligado pelo protótipo.....	41
Figura 26 - Diferença de UR do ar entre os 2 sistemas de acionamento.....	41
Figura 27 - Tensão e corrente sem o compressor.....	43
Figura 28 - Tensão e corrente com o compressor.....	44
Figura 29 - Tensão e corrente durante a partida direta do compressor.....	45
Figura 30 - Tensão e corrente durante a partida com CAC do compressor.....	46
Figura 31 - Tensão e corrente durante a parada com CAC do compressor.....	46
Figura 32 - Tensão e corrente durante início da partida com CAC no compressor....	47
Figura 33 - Tensão e corrente durante o fim da partida com CAC no compressor....	48
Figura 34 - Tensão e corrente durante a parada em rampa no compressor.....	48
Figura 35 - Tensão e corrente durante a partida direta do compressor.....	49
Figura 36 - Tensão e corrente durante regime e parada direta do compressor.....	50
Figura 37 - Tensão e corrente durante partida com CAC do compressor.....	50
Figura 38 - Tensão e corrente durante parada com CAC do compressor.....	51
Figura 39 - Fator de potência e potência durante partida direta do compressor.....	51
Figura 40 - Fator de potência e potência durante partida suave do compressor.....	52

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	13
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 - Condicionadores de ar.....	15
2.1.1 Histórico.....	15
2.1.2 Princípio de funcionamento.....	16
2.1.3 Tipos de Ar Condicionado.....	20
2.1.4 Tipos de instalação e dimensionamento.....	22
2.1.5 Tecnologia Inverter.....	24
2.2 - Motores elétricos e acionamentos.....	25
2.3 - Temperatura operativa e umidade relativa do ar.....	29
3 - METODOLOGIA.....	31
3.1 Ensaios experimentais no circuito original.....	31
3.2 Proposta de alteração do circuito de acionamento do compressor.....	32
3.3 Circuito de Acionamento Controlado (CAC) proposto.....	34
4 – INSTALAÇÃO DO CAC E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	36
4.1 Ensaios experimentais - Temperatura.....	36
4.2 Ensaios experimentais – Umidade relativa do ar.....	39
4.3 Ensaios experimentais – Energia elétrica.....	43
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS.....	55
ANEXOS.....	57

## 1 - INTRODUÇÃO

O primeiro sistema condicionador de ar relatado na história foi usado para retirar a umidade relativa (UR) do ar em uma gráfica onde se imprimiam jornais em meados de 1902, os quais saíam borrados caso a UR fosse muito elevada [1].

Desde então os condicionadores de ar, popularmente chamados de “ar condicionados”, sofreram inúmeras melhorias. Atualmente um ar condicionado possui várias funções como aquecer, esfriar, desumificar, ventilar, filtrar o ar entre outras. Na maioria dos casos são usados para proporcionar conforto térmico aos usuários de um determinado ambiente.

Com o aumento do poder aquisitivo das pessoas, e/ou por melhorar o conforto térmico em um ambiente, houve um grande aumento no número de aparelhos de ar condicionado, principalmente os do tipo Split, nos últimos anos. Tal tendência deve se repetir nos próximos anos motivados também pela redução no custo e disponibilidade destes aparelhos. Desta forma é relevante que os sistemas sejam mais eficientes afim de não gerar um grande aumento de demanda na rede elétrica, e também reduzir o valor pago pelo usuário em sua conta de energia elétrica.

No presente trabalho um aparelho do tipo Split foi estudado e foram formuladas hipóteses de como melhorias poderiam ser aplicadas, com o objetivo de gerar economia de energia, mantendo ou melhorando o conforto térmico e a capacidade de troca térmica do sistema. Também houve a preocupação com a qualidade de energia elétrica, já que em sistemas com motores de potência elevada provocam distúrbios na rede elétrica. Como o maior motor presente no sistema é o do compressor, que faz circular o fluido refrigerante no aparelho, foi nele a ênfase dada para a efficientização energética do aparelho.

Os objetivos do trabalho visam: Manter ou reduzir o consumo energético. Partir suavemente o motor do compressor melhorando a qualidade de energia. Ligar e desligar o compressor em intervalos pré-programados e cíclicos. Manter ou melhorar a capacidade de troca térmica do ambiente.

A metodologia empregada baseou-se no estudo do compressor realizado a partir da literatura e da caracterização experimental realizada através de ensaios e testes em um aparelho Split de 12000 BTUs. A caracterização experimental se fez necessária devido à carência de material para referência, e também devido às

informações limitadas e parciais disponíveis nos manuais técnicos que acompanham os aparelhos.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta uma introdução e a revisão bibliográfica relativa aos sistemas de condicionamento de ar existentes; o capítulo 3 descreve a metodologia empregada para o desenvolvimento de um circuito eletrônico capaz de melhorar a eficiência energética do condicionador de ar, o capítulo 4 apresenta a instalação do circuito protótipo proposto; o capítulo 5 faz a análise dos resultados obtidos com o circuito proposto e sua correlação com os objetivos previamente apresentados, por fim são apresentadas as considerações finais, conclusões, e trabalhos futuros oriundos do presente estudo.

## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo tem por objetivo apresentar a revisão bibliográfica realizada sobre os conceitos aplicados a sistemas de condicionamento de ar residencial, a fundamentação relativa à partidas suaves aplicadas em motores elétricos monofásicos e à qualidade de energia elétrica, além de conceitos sobre conforto térmico.

### **2.1 - Condicionadores de ar**

#### **2.1.1 Histórico**

É atribuído a Willis Carrier a invenção do primeiro sistema de ar condicionado em 1902. Tal equipamento foi destinado a uma gráfica em Nova York, e tinha a função de refrigerar e retirar a umidade do ambiente, uma vez que as impressões apresentavam defeitos ou borrões devido principalmente à alta umidade do ar [1].

Em 1914 Carrier desenvolveu o primeiro ar condicionado residencial que pode ser comparado aos modelos atuais. Em 1950 os aparelhos residenciais começaram a ser fabricados em larga escala alcançando um mercado global [2].

Carrier e outras autoridades da época determinaram que um sistema de ar condicionado deveria atender no mínimo quatro funções: controle de temperatura, controle de umidade, controle de circulação de ar/ventilação e purificação do ar. Atualmente um aparelho de ar condicionado normalmente possui funções como refrigeração, aquecimento, ventilação, umidificação, desumidificação, e até mesmo filtro que retém bactérias, ácaros e vírus.

Mais de um século depois sistemas que permitem a climatização de ambientes continuam em crescente expansão e recebendo inovações e melhorias constantes. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) através dos dados da Nota Técnica DEA 10/14, que analisa e compila os dados de geração e consumo energético no Brasil, mostram que sistemas de climatização residencial consumiam em 2005 cerca de 6,7%, este percentual se elevou para 8% em 2012 [3], conforme Figura 1. Tal aumento ressalta a importância de iniciativas para melhoria da eficiência de aparelhos de condicionamento de ar.

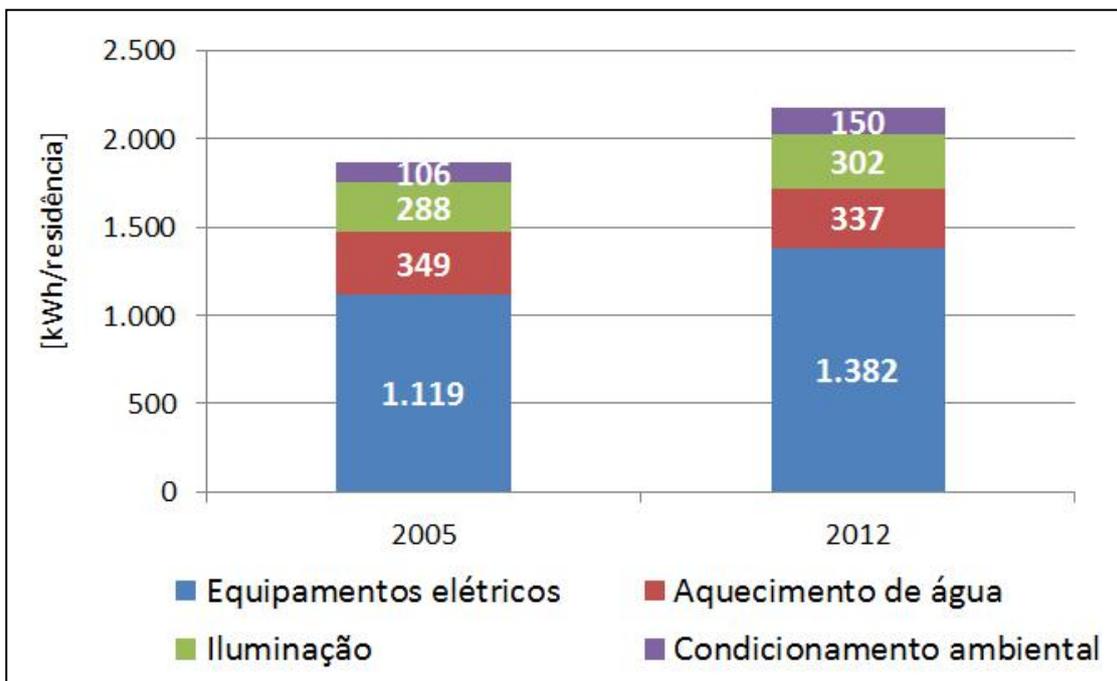


Figura 1 - Consumo elétrico residencial por uso final  
Fonte: EPE (2014)

### 2.1.2 Princípio de funcionamento

O condicionamento do ar é possível devido a um sistema que refrigera ou aquece ambientes fechados, fazendo com que este tenha sua temperatura ajustada de acordo com o desejo do usuário, ou finalidade do ambiente.

Para funcionarem, os sistemas de condicionamento de ar, independente do modelo, possuem quatro componentes básicos, são eles: compressor, condensador, evaporador e ventilador, como ilustra a Figura 2.



Figura 2 - Componentes básicos de um condicionador de ar  
Fonte: <http://www.arcondicionado.com.br>

Em aparelhos modelo Split, que são o objeto deste trabalho e serão detalhados a seguir, o compressor e condensador ficam na unidade externa e esta unidade é frequentemente denominada apenas como condensador, normalmente

para aumentar a capacidade de troca térmica, a unidade externa também contém um ventilador. O evaporador e ventilador ficam na unidade interna e esta unidade é frequentemente denominada apenas como evaporador.

O condicionador de ar tem como seu principal objetivo deixar ambientes em temperaturas agradáveis criando uma sensação de conforto térmico (aquecendo ou refrigerando) ou até mesmo auxiliar nas atividades desenvolvidas no ambiente em que o seu uso é indispensável, como laboratórios, hospitais, centrais de processamento de dados, etc.

O princípio de funcionamento dos condicionadores de ar, baseia-se na troca de temperatura do ambiente, através da passagem do ar por uma serpentina localizada no evaporador. Por contato o ar sofre queda ou aumento de temperatura, dependendo do ciclo utilizado, em ambos os casos é retirada a umidade do ambiente climatizado, baixando a umidade relativa do ar.

Quando alcançada a temperatura desejada se faz uma leitura através de um sensor localizado no evaporador. E este, por sua vez, desliga o compressor da unidade externa, fazendo com que o equipamento mantenha a temperatura do recinto. Ocorrendo qualquer variação na temperatura estipulada, aciona-se novamente o compressor que é responsável pela circulação do gás refrigerante dentro do sistema.

A Figura 3 ilustra um ciclo básico de refrigeração. Não mostrado na figura, mas importante no ciclo, o ventilador da unidade interna desenvolve um importante trabalho, o calor é retirado do recinto através da circulação de ar promovida por este ventilador. O ar entra no evaporador à temperatura ambiente, perde calor na serpentina do evaporador que está a uma temperatura muito baixa, e é forçado a voltar ao recinto em uma temperatura mais baixa.

O processo de refrigeração consiste em circular um gás refrigerante entre o condensador e o evaporador usando a energia mecânica fornecida pelo compressor. Ao entrar no compressor o gás está na forma gasosa e sob baixa pressão (Figura 3 ponto a). No compressor o gás é comprimido e sua temperatura é elevada (Figura 3 pontos b até c). Quando este gás resfria através do ventilador externo, condensa-se em forma de um líquido saturado (Figura 3 pontos d até e). Sob elevada pressão o gás se torna líquido saturado ao perder calor para o ambiente externo, assim ao voltar para o evaporador, o mesmo entrega este ar frio ao recinto (figura 3 ponto f).

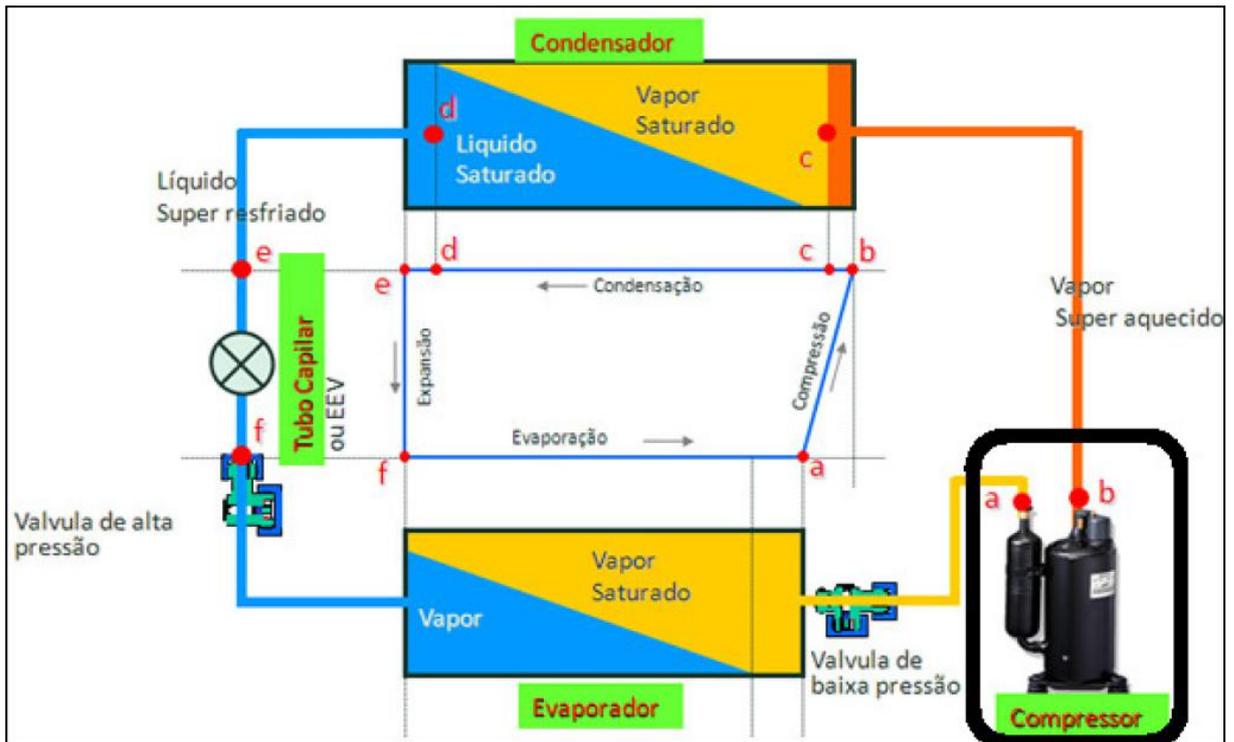


Figura 3 - Ciclo básico de refrigeração  
 Fonte: DIAS (2014)

Os tipos mais comuns de compressores usados em sistemas de baixa potência como os residenciais são o rotativo e o scroll, o recíprocativo é usado para sistema com maior potência, conforme a Figura 4.

Tipo	Recíprocativo	Rotativo	Scroll
Vista			
Mecanismo	 Sucção    Descarga	 Sucção    Descarga	 Sucção    Descarga
Aplicação	Refrigerador, A/C, Chiller (0.1 ~ 200hp)	A/C (0.5 ~ 3.0 hp)	A/C (2.5 hp ~ )

Figura 4 - Tipos de compressores  
 Fonte: <http://www.arcondicionado.com.br>

O compressor é o elemento que mais consome energia elétrica no sistema do ar condicionado, podendo chegar a 90% do consumo em um climatizador residencial, portanto deve ser eficiente energeticamente afim de reduzir o consumo de energia elétrica.

O motor que aciona o compressor tem um conjugado resistente de 30%; durante a partida o conjugado se eleva tendendo a se comportar de forma quadrática com a velocidade [1], por este motivo é comum que ao partir o compressor do ar condicionado ocorram distúrbios na rede elétrica, normalmente evidenciados pelo cintilamento de lâmpadas e afundamentos de tensão momentâneos.

Para os compressores em que o gás ainda não está comprimido o conjugado resistente se comporta de acordo com a curva como mostrada na Figura 5, ou seja, ele necessita de um baixo conjugado durante a partida e se eleva de acordo com o aumento da velocidade, chegando ao máximo em velocidade nominal.

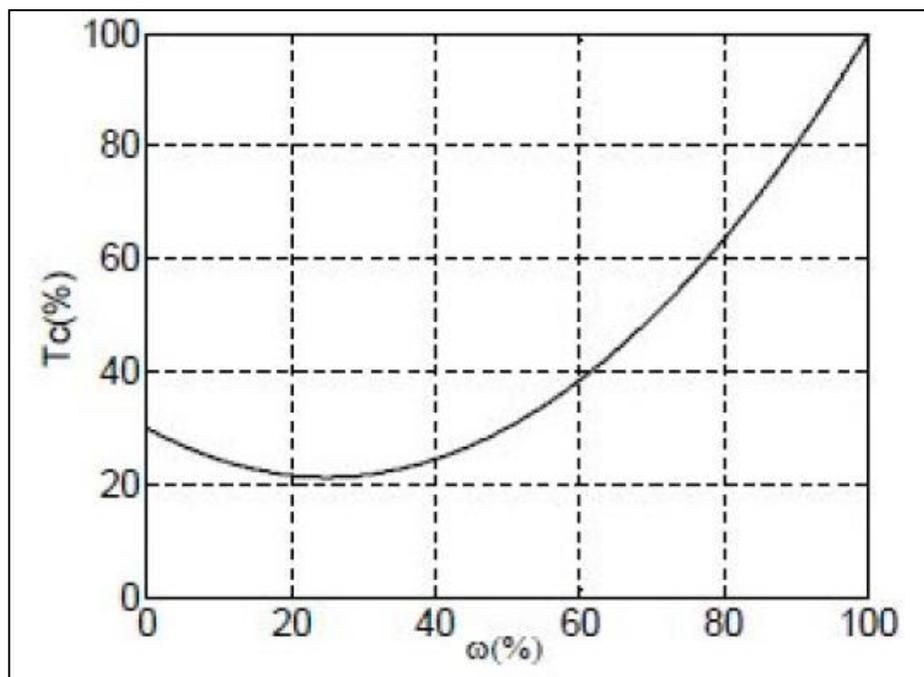


Figura 5 - Conjugado X Velocidade do compressor  
Fonte: FITZGERALD (1971)

O conjugado resistente permanece constante após o motor atingir velocidade nominal. O compressor ao ser desligado, só pode voltar a ser ligado quando ocorrer a descompressão do gás, pois o motor deve partir com o compressor descarregado. Caso contrário o motor sofrerá esforço eletromecânico excessivo e

consequentemente terá uma corrente de partida maior que a normal, e o compressor uma diminuição na vida útil.

Através de testes em alguns modelos de ar condicionado percebeu-se que o tempo mínimo entre desligar o compressor e voltar a ligá-lo é de 3 minutos, este tempo é o mínimo necessário para que ocorra a descompressão do gás evitando elevações indesejadas de corrente.

### 2.1.3 Tipos de Ar Condicionado

Nem todos os condicionadores de ar possuem as mesmas funções. Existem diversos tipos de sistemas, onde cada um possui uma tecnologia, ou, uma característica diferente.

Alguns sistemas permitem apenas a refrigeração, desumidificação, ventilação e filtragem, como ilustra a Figura 6. Outros que possuem ciclo reverso além das funções do anterior permitem também aquecimento e umidificação, como mostra a Figura 7. A principal diferença entre eles é a presença da válvula solenoide que permite a inversão do fluxo do gás refrigerante. Ambos precisam de um dispositivo de controle para manter a temperatura programada pelo usuário, e é cada vez mais comum o uso de automação para proporcionar este controle.

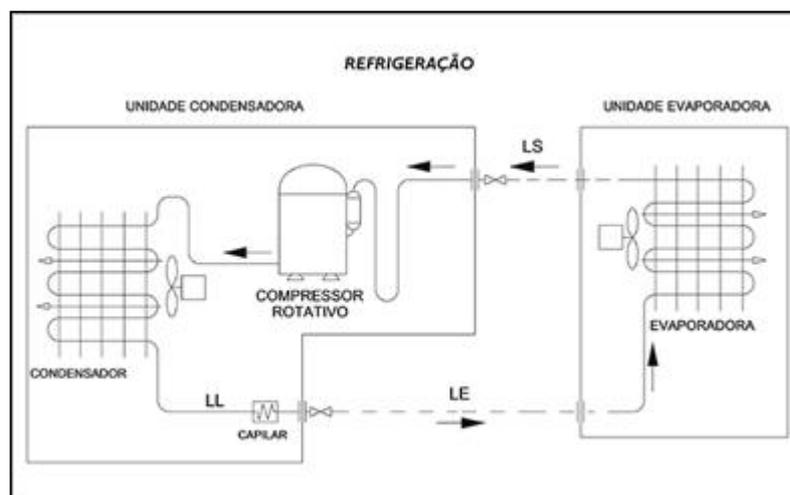


Figura 6 - Ciclo frio  
Fonte: <http://www.arcondicionado.com.br>

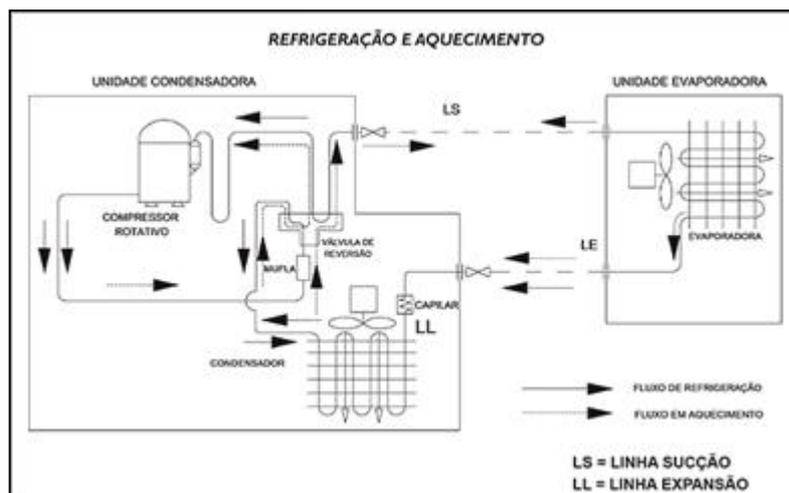


Figura 7 - Ciclo quente e frio

Fonte: <http://www.arcondicionado.com.br>

Detalhando os modelos existentes de condicionadores de ar de acordo com sua utilização, tem-se:

- A linha comercial em que os aparelhos/produtos necessariamente precisam de um projeto e especificações para atenderem especificamente o ambiente.
- A linha residencial são produtos padronizados da categoria janela, Split ou de volume refrigerante variável (VRF).

Modelos VRF são usados em sistemas onde existe um condensador para dois ou mais evaporadores.

Em alguns casos os modelos residenciais são instalados também em ambientes comerciais, como, por exemplo, em lojas destinadas a venda de produtos onde o objetivo é apenas o resfriamento do ambiente e a filtragem de ar.

Os condicionadores tipo janela são aparelhos compactos, produzidos em um corpo único, que pode ser instalado na parede ou na janela, hoje estes produtos já possuem um baixo consumo de energia. Não são tão silenciosos quanto a linha Split, porém os modelos mais atuais já possuem um ruído menor. O evaporador e o condensador ficam juntos dentro do mesmo gabinete. Este tipo de equipamento apresenta algumas restrições para instalação em determinados edifícios ou residências, como por exemplo, a alteração estética da fachada.

Os modelos Split são atualmente os mais usados devido ao menor ruído no ambiente climatizado. Exemplos de Splits são mostrados nas Figuras 8 e 9, onde apresentam-se a unidade condensadora externa e unidade evaporadora interna, respectivamente. Um nível menor de ruído no ambiente climatizado pode ser obtido com este aparelho, isso se deve ao fato do compressor, ficar na unidade externa

(condensadora). A interligação térmica entre as unidades é feita através de uma tubulação frigorífica, utilizando cobre ou alumínio.

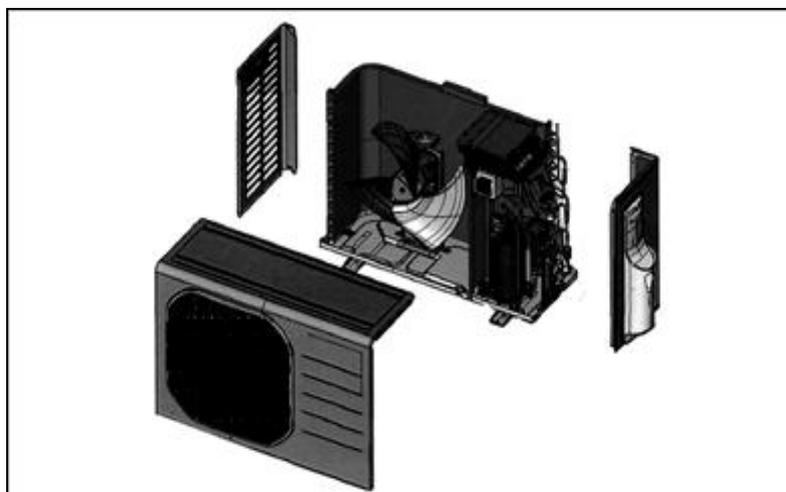


Figura 8 - Unidade condensador de Split  
Fonte: <http://www.arcondicionado.com.br>



Figura 9 - Unidade evaporadora de Split  
Fonte: <http://www.arcondicionado.com.br>

#### 2.1.4 Tipos de instalação e dimensionamento

A potência do ar-condicionado é medida através de BTU/h, que significa, uma unidade de potência: BTU (*British Thermal Unit* = Unidade Térmica Britânica (ou inglesa)). Para converter a potência em BTUs para Watts, deve-se dividir a potência em BTUs por 3,413.

Para escolher um ar-condicionado é preciso considerar o tamanho do ambiente, o seu isolamento térmico, a sua exposição ao sol ou sombra e o número de pessoas/equipamentos que farão uso do ambiente. Outro dado importante para

sua eficiência é o local onde está instalado. O ideal são paredes voltadas para leste ou sul, onde a incidência solar não é tão forte. Caso não seja possível evitar raios solares diretos, deve-se, sempre que possível, instalar um anteparo.

Quanto à potência, os fabricantes indicam em seus sites e manuais a correta combinação entre áreas/volume do cômodo e a potência necessária, mas como comparação geral pode-se considerar as informações da Quadro 1:

Quadro 1 - Área X Potência

Área m <sup>2</sup>	Sol a tarde ou o dia todo		Sol de manhã ou sombra	
6	7000	BTUs	7000	BTUs
9	9000	BTUs	7000	BTUs
12	12000	BTUs	9000	BTUs
15	15000	BTUs	12000	BTUs
20	21000	BTUs	15000	BTUs
25	24000	BTUs	21000	BTUs
30	30000	BTUs	24000	BTUs
40	42000	BTUs	30000	BTUs
50	48000	BTUs	42000	BTUs
60	60000	BTUs	48000	BTUs
70	80000	BTUs	60000	BTUs

Existem várias sugestões dependendo do fabricante para desenvolver um cálculo de capacidade térmica para determinado ambiente, normalmente usa-se 950 BTUs/h por m<sup>2</sup> em locais ensolarados, ou 750 BTUs/h por m<sup>2</sup> em locais sem insolação, considerando até duas pessoas por ambiente (para cada pessoa adicional são acrescidos 750 BTUs/h).

Os aparelhos de ar condicionado trabalham em uma faixa de temperatura próxima à escolhida pelo usuário, a qual é medida por um sensor de temperatura localizado em frente ao evaporador da unidade. Quando em regime permanente a temperatura do ambiente deve se comportar como mostrado na Figura 10, onde  $\Theta$  é a temperatura do ambiente. Considerando um Split resfriando o ambiente pode-se dizer que ele desliga ao chegar a temperatura mínima ( $\Theta_{\min}$ ) que é a temperatura de *set point*, e volta a ligar quando chega a temperatura máxima ( $\Theta_{\max}$ ), esta diferença é a variação de temperatura também definida como histerese, e nos ensaios realizados é de 2°C. Os ciclos de acionamento e desligamento são representados por  $P_{on}$  na Figura 10.

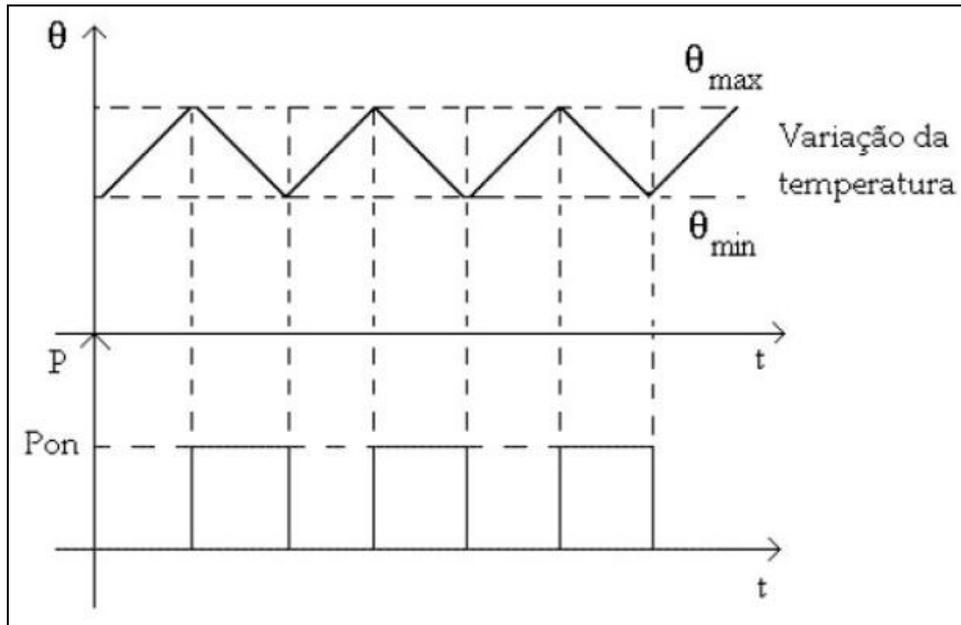


Figura 10 - Ciclo de temperatura em regime  
Fonte: FITZGERALD (1971)

Considerando um Split operando no ciclo de refrigeração, é comum em sistemas subdimensionados, ou onde o valor do *set point* seja muito baixo, ou ainda em situações onde a unidade externa está exposta a alta insolação que o valor de *set point* nunca seja atingido, isso faz com que o compressor nunca desligue, elevando ainda mais a temperatura da unidade externa, provocando esforço excessivo, desgaste prematuro de todo o sistema, principalmente do compressor e elevado consumo de energia elétrica. Com o objetivo de solucionar este problema o presente trabalho propõem desligamentos pré-programados para evitar o aquecimento excessivo da unidade externa.

### 2.1.5 Tecnologia Inverter

A tecnologia inverter, presente nos aparelhos de ar condicionado mais atuais, pode ser comparada à tecnologia existente num automóvel, onde quanto maior a aceleração, mais rápido é o deslocamento. Sendo assim ela aumenta ou diminui a rotação do motor do compressor de acordo com a necessidade de refrigeração, podendo trabalhar por exemplo, hora na rotação nominal, hora em 50% da rotação.

Uma unidade inverter aumentará ou diminuirá gradualmente a sua capacidade de troca térmica com a variação da rotação do compressor, adequando a necessidade do ambiente que se pretende esfriar ou aquecer.

Em aparelhos que não possuem a tecnologia inverter, ou seja, unidades não-inverter (*on-off*) não ocorre a aceleração ou desaceleração na rotação do motor elétrico do compressor, neste caso o compressor funcionará no máximo de sua rotação e potência até ser desligado quando atingir a temperatura desejada, ou até que o aparelho seja desligado. Pode ser dito que o mesmo trabalha com 0% ou 100% de sua capacidade, não existindo níveis intermediários de potência ou rotação.

Um Split inverter após ligado não desliga quando chega próximo à temperatura desejada, e sim reduz a velocidade do compressor, isso faz com que a capacidade seja diminuída. Pode ser dito que pode trabalhar com 30%, 70% ou 100% de sua capacidade, variando de acordo com a necessidade.

A tecnologia inverter pode gerar economia de até 40% de energia elétrica, se comparado com um sistema *on-off*. Além de evitar distúrbios e afundamentos de tensão quando o compressor está partindo.

Este trabalho em parte tentará evitar que distúrbios e afundamentos de tensão ocorram quando o compressor está partindo, além de agregar economia de energia semelhante à tecnologia inverter mesmo usando um sistema *on-off*.

## **2.2 - Motores elétricos e acionamentos**

Um aparelho de ar condicionado tem seu compressor acionado por um motor elétrico de indução. Para equipamentos de baixa capacidade este motor normalmente é do tipo monofásico. Este motor necessita de um enrolamento auxiliar para produzir conjugado de partida, com a finalidade de criar um campo magnético girante [5].

Os tipos mais comuns de motores com criação de conjugado de partida são:

Motor com enrolamento auxiliar (fase dividida);

Motor com capacitor de partida;

Motor com capacitor permanente;

Motor com capacitor de partida e permanente.

Todos os métodos de partida visam defasar a corrente do enrolamento auxiliar em aproximadamente  $90^\circ$  em relação à corrente do enrolamento principal. A Figura 11 lista os possíveis tipos de motores monofásicos usados para acionamento de compressores em condicionadores de ar. O mais utilizado é o motor com capacitor permanente, apresentado na Figura 11(c). Tal motor possui menor rendimento, no entanto é mais simples e de custo menor, além disso seu arranjo faz com que o capacitor permanente funcione como um filtro das vibrações provocadas devido às ondas de fluxo e força magneto-motriz que giram em sentidos opostos [5].

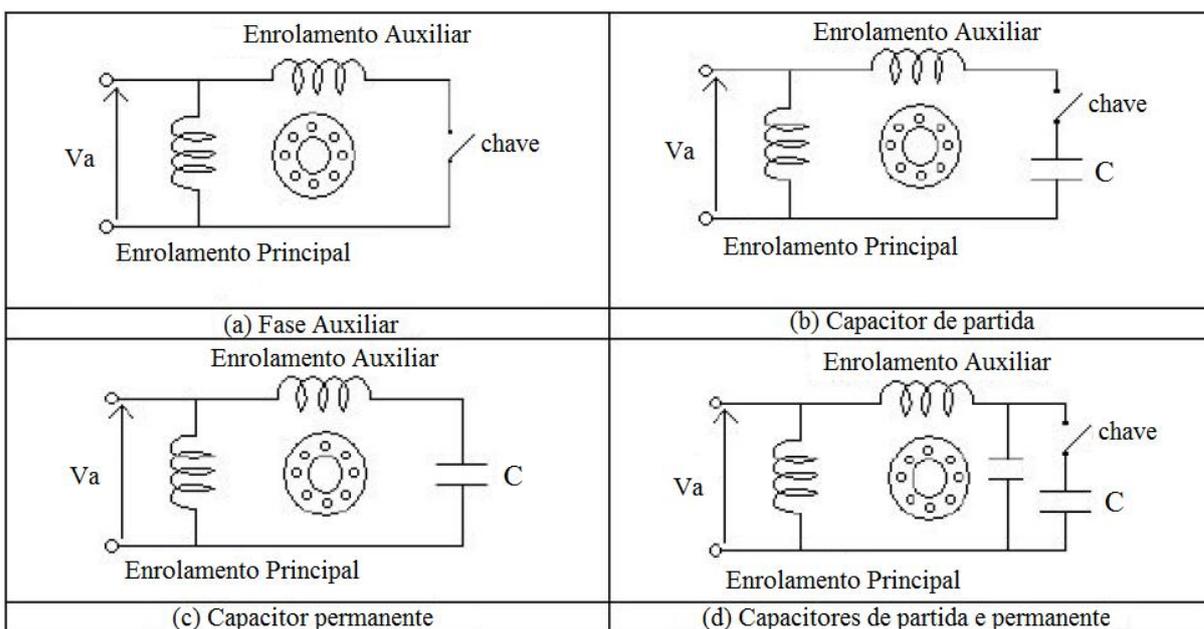


Figura 11 - Ligações de motores monofásicos  
 Fonte: FITZGERALD (1971)

A Figura 12 mostra as curvas de conjugado de partida para os motores monofásicos enunciados na Figura 11. Esta curva está diretamente relacionada com a corrente elétrica do motor, porém no momento de partida, para romper a inércia, mesmo o motor de capacitor permanente, apresenta uma corrente expressiva que pode chegar à 6 vezes a corrente nominal.

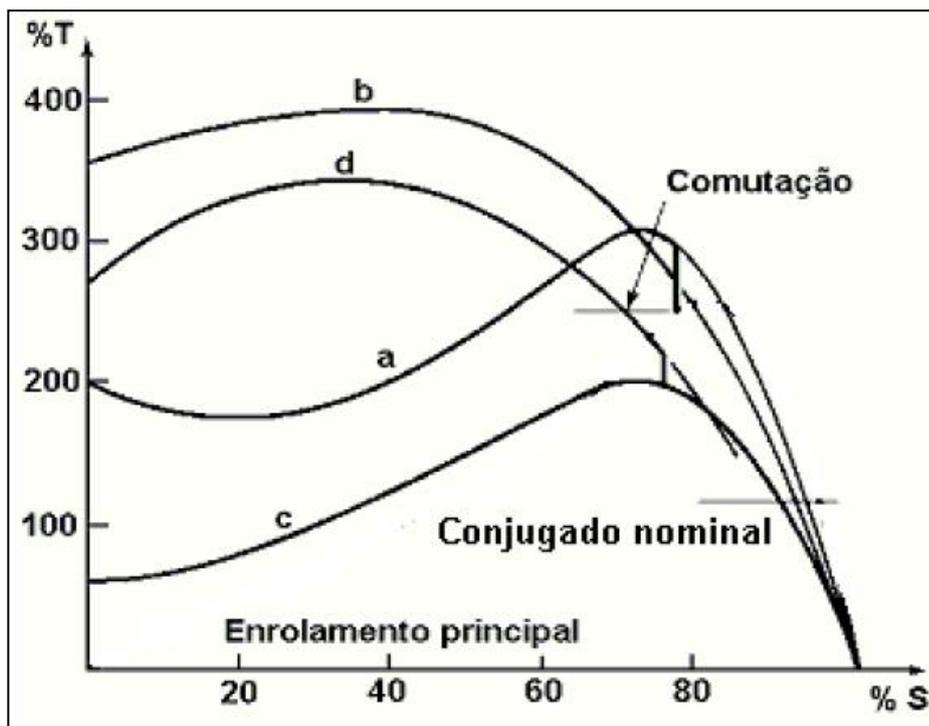


Figura 12 - Conjugado X Velocidade para motores monofásicos  
 Fonte: FITZGERALD (1971)

Os sistemas de ar condicionado ligam seus motores monofásicos que acionam os compressores através de um simples relé, que funciona como uma chave liga/desliga, provocando elevada corrente elétrica durante a partida e perturbações em outros equipamentos eletroeletrônicos ligados na mesma rede elétrica.

Chaves de partida eletrônica (soft-starter) são chaves estáticas micro processadas projetadas para acelerar/desacelerar (partida/parada) e proteger motores de indução trifásicos. Através do ajuste do ângulo de disparo dos tiristores, controla-se a redução da tensão aplicada ao motor. Circuitos semelhantes podem ser usados para partir e parar motores monofásicos, principalmente motores universais ou motores com capacitor permanente.

Proporcionar uma partida suave ao motor de indução evita as sobrecorrentes transitórias de partida e, portanto, as subtensões na rede elétrica, sendo muitas vezes recomendado seu uso para motores de elevada potência. Para motores trifásicos pode-se substituir com vantagens sistemas tradicionais como chave de partida estrela-triângulo e chave compensadora.

A soft-starter varia a velocidade do motor apenas na partida e na parada, por isso é usual o uso de interruptores que promovem o desvio da corrente por um curto-circuito entre anodo e catodo dos tiristores (*by-pass*) quando o motor está em regime, ou seja, os tiristores são desligados e um relé fecha o contato entre a rede

elétrica e o motor no período após a partida e antes da parada, proporcionado aumento da vida útil, redução da temperatura de operação e diminuição da perdas de condução dos tiristores.

A soft-starter não altera a forma de onda e a tensão de entrada, apenas promove a entrega parcial da tensão durante um tempo pré-programado [14], ou seja, a tensão entregue a carga é parte da tensão de entrada, apenas o valor da tensão eficaz na carga é variada.

A Figura 13 mostra a placa de identificação de uma soft-starter, modelo SSW 04 da WEG.

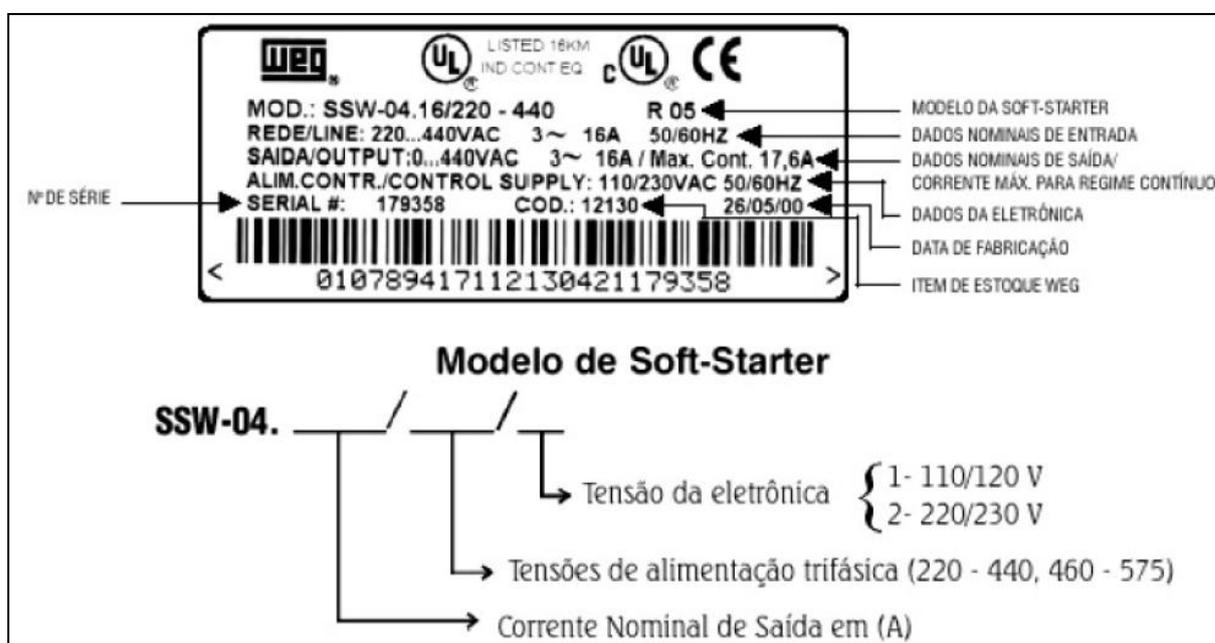


Figura 13 - Placa de uma Soft-Starter modelo SSW 04 da WEG  
Fonte: Catálogo WEG

A figura 14 mostra uma forma de onda senoidal de tensão, onde a envoltória é a tensão da rede elétrica e a parte marcada em preto teoricamente é a tensão entregue ao motor elétrico durante a partida, e durante a parada. Percebe-se um aumento gradual na tensão entregue ao motor durante a partida e uma redução durante a parada, proporcionando assim a partida/parada suave.

A situação mostrada na figura 14, ou seja, onde a corrente acompanha perfeitamente a tensão só é adquirida em cargas resistivas. Para cargas indutivas o bloqueio da tensão só ocorre quando a corrente chega a zero.

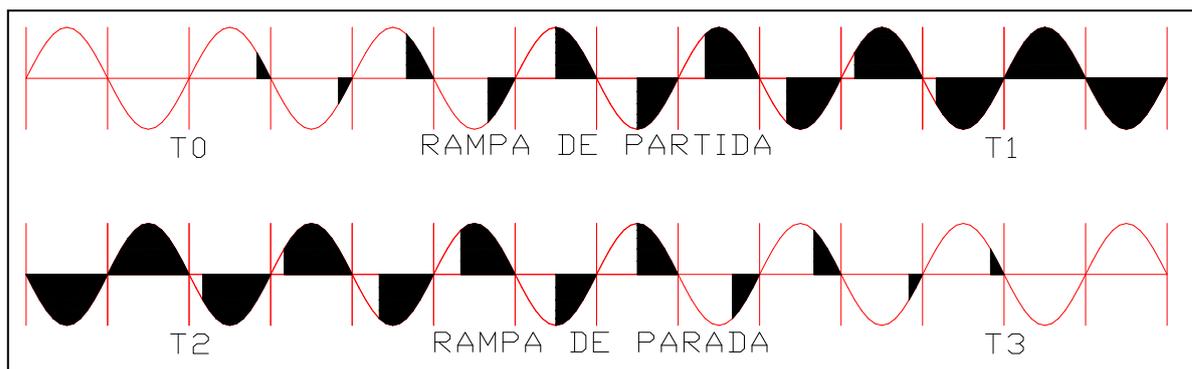


Figura 14 - Partida e parada soft-starter monofásica

Inversores de frequência também podem ser usados para acionar e variar a rotação de motores. Porém seu custo é elevado comparados a soft-starters, e são usados exclusivamente em motores trifásicos, por isso não serão abordados.

Os inversores de frequência transformam a tensão/corrente alternada de entrada em corrente contínua, posteriormente em alternada novamente para ser entregue ao motor, podendo assim variar tanto frequência quanto amplitude dentro de determinados limites.

Os motores elétricos são construídos para o máximo desempenho em suas características nominais de tensão, corrente, potência, rotação, etc. Desta forma qualquer alteração deve ser analisada e verificada a viabilidade de utilização.

### 2.3 - Temperatura operativa e umidade relativa do ar

A Norma Brasileira Regulamentadora NBR 16401-2 de 2008, define o ponto de conforto térmico para 80% ou mais de pessoas, de um grupo homogêneo em termos atividades físicas e vestimenta, presentes por mais de 15 minutos em um determinado recinto provido de ar-condicionado [8].

De acordo com a NBR 16401-2, os principais parâmetros ambientais que afetam o conforto térmico são [8]:

- A temperatura operativa;
- A umidade relativa do ar;
- A velocidade do ar.

No verão, um período onde as pessoas usam roupas leves, a temperatura operativa média deve ser aproximadamente de 24°C e a umidade relativa do ar 65%.

No inverno, um período onde as pessoas usam roupas com maior isolamento térmico, a temperatura operativa média deve ser de 22°C e a umidade relativa do ar 60%.

Em ambos os casos o aumento da velocidade do ar, ou diminuição da umidade relativa do ar para uma mesma temperatura provocará uma sensação de ambiente mais frio do que realmente está. Desta forma se diminui-se a umidade relativa e/ou eleva-se a velocidade do ar tem-se que compensar elevando-se a temperatura operativa para manter o conforto térmico da maior parte do grupo.

### 3 - METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o tipo de pesquisa realizado, os métodos e procedimentos adotados para o desenvolvimento do trabalho.

A coleta de informações experimentais e práticas para desenvolver o trabalho foi realizada em uma residência que possui três Splits 12000 BTUs cada, de marcas distintas.

#### 3.1 Ensaios experimentais no circuito original

Para entender o funcionamento do sistema de acionamento dos componentes da unidade condensadora dos condicionadores de ar modelo Split, foi desenvolvido um circuito simples com 3 LEDs, onde cada componente elétrico teve seu acionamento monitorado. Com a observação destes 3 LEDs ligados ou desligados puderam ser definidos o ciclo de acionamento e os tempos ligados do compressor, ventilador externo e válvula solenoide.

Ao ligar o(s) Split(s) para aquecer o ambiente, inicialmente é ligada a válvula solenoide que faz a inversão de fluxo do fluido refrigerante, e após 5 segundos são acionados simultaneamente o ventilador e o compressor. Nesta configuração o Split desliga o ventilador e compressor a cada 8 minutos, e os mantém desligados por 4 minutos, voltando a ligá-los por mais 8 minutos. O ciclo se repete até atingir a temperatura desejada. Ao atingir a temperatura desejada o compressor e o ventilador desligam, e após 30 segundos a válvula solenoide também desliga, voltando a ligar para fazer um novo ciclo quando a temperatura diminui 2°C em relação ao *set point*.

Ao ligar o(s) Split(s) para resfriar o ambiente ligam imediatamente o ventilador e o compressor, estes continuam ligados até atingir a temperatura desejada. Ao atingir a temperatura de *set point*, o compressor e ventilador desligam. O ciclo se repete quando a temperatura se eleva 2°C em relação ao *set point*.

A Figura 15 mostra os LEDs instalados no evaporador sinalizando quais componentes da unidade condensadora estavam ligados, neste caso, durante o ciclo de aquecimento, estavam ligados a válvula solenoide, o ventilador e o compressor.



Figura 15 - Monitoramento de acionamento  
Fonte: Autor

De posse destes dados pode-se concluir que ao fazer o compressor ligar e desligar em tempos determinados não é prejudicial, pois já ocorre no ciclo de aquecimento.

### **3.2 Proposta de alteração do circuito de acionamento do compressor**

A proposta de alteração do circuito original visa adicionar um circuito em série com o atual relé que liga e desliga o motor do compressor do Split, permitindo a partida e parada em rampa como quando usada uma Soft-Starter, além de poder ser desligado em intervalos pré-programados, permitindo a melhor troca térmica no condensador. Esta pequena alteração permitirá uma melhoria na eficiência do sistema, fato que será explicado e validado posteriormente.

O circuito proposto que será adicionado em série com o circuito elétrico original do Split será denominado Circuito de Acionamento Controlado (CAC).

Sempre que o compressor for ligado pelo relé do sistema original do Split o CAC fará o compressor partir de forma suave, aumentando gradativamente o nível de tensão eficaz de 30 a 180 V em corrente alternada (CA) isso ocorrerá em um período de 4 segundos. Passados os 4 segundos iniciais, um relé de *by-pass* será acionado pelo CAC, o qual aplica a tensão nominal de 220 V ao motor. O motor do compressor permanecerá ligado durante 7 minutos sob esta condição e depois desligará o relé e fará a desaceleração por rampa reduzindo a tensão durante 4 segundos de 180 a 30 V, desligando e permanecendo desligado por 3 minutos. O ciclo se repetirá até que a temperatura desejada seja atingida, e durante este tempo o compressor ficará ligado apenas 70% do tempo que originalmente ficaria.

Este mecanismo cíclico de operação proporciona algumas vantagens ao sistema. A rampa diminuirá o esforço do motor do compressor durante a partida ou parada, e conseqüentemente dos demais componentes mecânicos de todo o Split. Os desligamentos programados permitirão economia de energia, e no ciclo de resfriamento permitirá que o ventilador da unidade externa retire mais calor da serpentina aumentando a eficiência energética.

O CAC proposto para fazer este controle é pequeno e poderá ser integrado ao Split sem alteração do circuito original.

Splits monofásicos de até 24000 BTUs possuem a ligação entre a unidade interna e externa como os mostrados na figura 16 e a alimentação elétrica normalmente é feita na unidade interna, sendo assim a possibilidade de venda e uso do CAC é elevada.

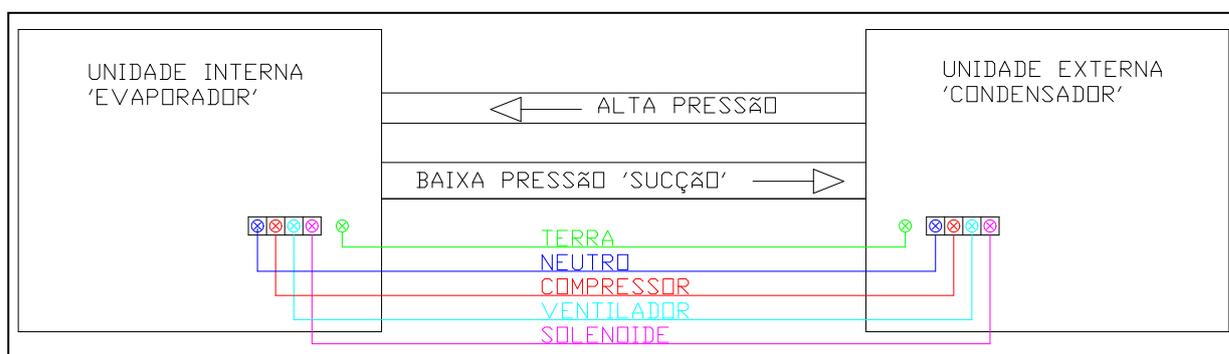


Figura 16 - Ligação elétrica Split  
Fonte: Autor

A figura 17 mostra onde será inserido o circuito de controle proposto.

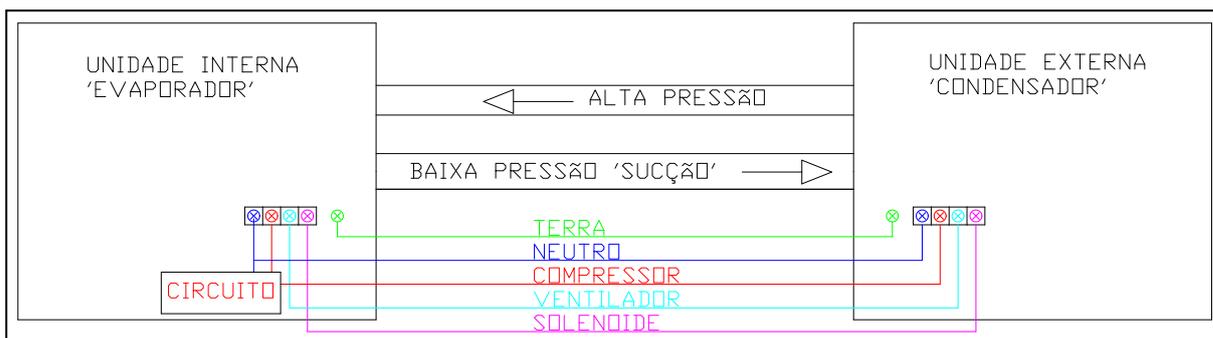


Figura 17 - Posição do circuito adicionado  
Fonte: Autor

Percebe-se pela Figura 17 que o único condutor a ser desconectado do sistema original é o do condutor fase que alimenta do compressor. O condutor que iria diretamente para compressor é retirado e ligado na saída do CAC funcionando como um retorno. Sendo que o condutor fase é conectado na entrada do CAC que fara a sua conexão/desconexão com o retorno de acordo com a lógica empregada. O condutor neutro do novo circuito é ligado em junto ao neutro original.

### 3.3 Circuito de Acionamento Controlado (CAC) proposto

A Figura 18 mostra o CAC desenhado e simulado no programa computacional Proteus. Este circuito baseia-se em uma fonte sem transformador. Através de um capacitor ( $C_1$ ) de  $1,5 \mu\text{F}$ , uma ponte retificadora de onda completa e um diodo Zener ( $D_1$ ) de  $10\text{V}/5\text{W}$ , transforma a entrada de  $220 \text{ Vac}$  em  $10 \text{ Vcc}$ , e posteriormente em  $5 \text{ Vcc}$ .

Os  $10 \text{ Vcc}$  presentes nas extremidades de  $D_1$  são estabilizados e rebaixados utilizando dois reguladores lineares 78L05, os quais mantêm em suas saídas tensões fixas de  $5 \text{ Vcc}$ . Uma das saídas é exclusiva para ligar o relé de *by-pass* que é o componente que mais consome energia no CAC. A segunda saída  $5 \text{ Vcc}$  alimenta um circuito integrado (CI) 4N25, que é um optoacoplador que tem por função detectar a passagem por  $0 \text{ V}$  da onda senoidal da rede elétrica. O CI MOC3020, também um optoacoplador, faz o acionamento do TRIAC responsável pela comutação, e um micro-controlador PIC 12F675, o qual realiza a lógica de controle como a leitura 4N25, o acionamento do MOC3020 e o acionamento do relé de *by-pass*.

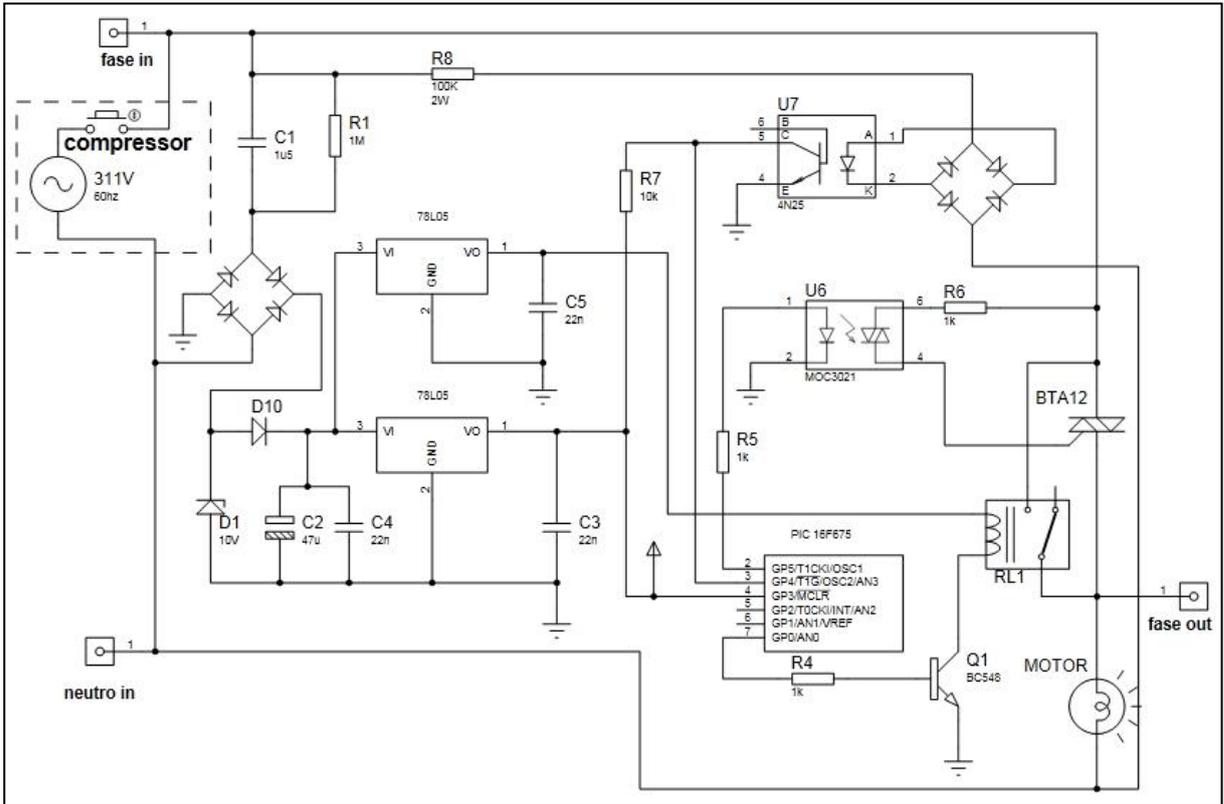


Figura 18 - Circuito de acionamento controlado CAC proposto  
Fonte: Autor

O programa inserido no micro-controlador foi desenvolvido no software MPLAB e pode ser visto na íntegra no Anexo 1.

A Figura 19 mostra o CAC montado em uma *protoboard* e também montado em uma placa de circuito impresso, este último usado durante as simulações práticas.

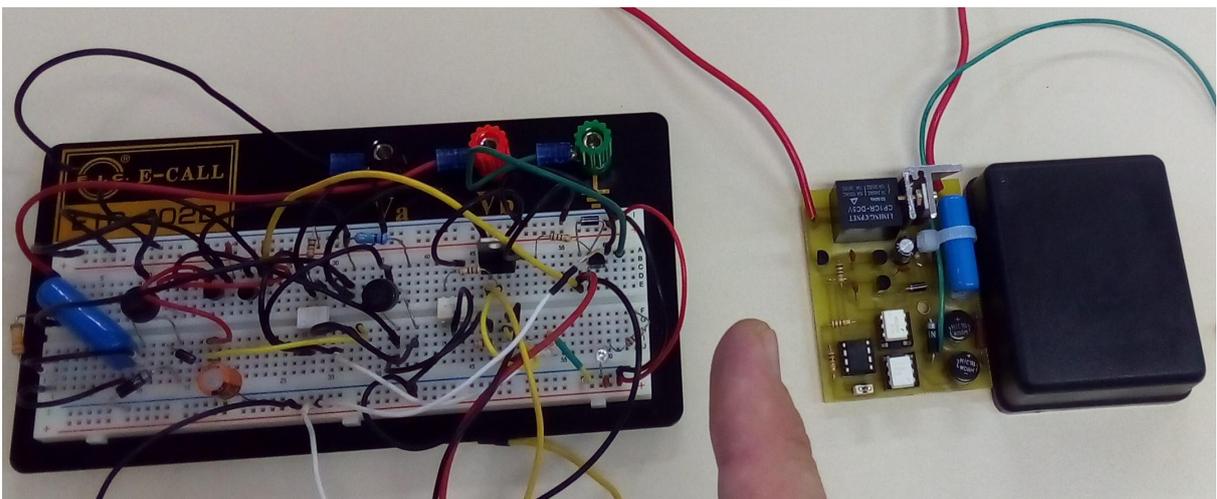


Figura 19 - Circuito CAC montado  
Fonte: Autor

## **4 – INSTALAÇÃO DO CAC E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentados os resultados de medições de temperatura e umidade antes e após instalação do CAC junto ao Split, e também a condição da energia elétrica.

### **4.1 Ensaio experimentais - Temperatura**

Um Split de 12000 BTUS, modelo DJKA12FSADK, do fabricante YORK, mostrado na Figura 15, operando inicialmente no modo original, e posteriormente operando com o CAC, teve sua temperatura monitorada e medida durante dois dias, os quais apresentaram temperatura ambiente, umidade relativa do ar e condições climáticas semelhantes.

Durante os ciclos de resfriamento também foi monitorada a temperatura desligando-se manualmente o compressor e o ventilador da unidade evaporadora, apenas para comparação de valores encontrados os sistemas de acionamento.

Foram realizadas duas leituras de temperatura para cada sistema em cada um dos dois dias avaliados. Para este fim foram usados dois sensores de temperatura dispostos em diferentes pontos do ambiente monitorado, desta forma, os resultados mostrados nos gráficos a seguir são a média entre 8 leituras efetuadas, ou seja, 4 leituras com cada sensor. O sensor mais preciso utilizado foi o termo higrômetro modelo AHC-80 Plus, da marca FULLGAUGE, acompanhado do também termo higrômetro modelo MT-530 E Plus, da mesma marca, porém com menor precisão.

Durante o inverno, em dias frios, operando com o objetivo de aquecer um ambiente de 13,5m<sup>2</sup> e 33,75m<sup>3</sup>, com temperatura definida para a máxima possível, 31 °C, não apareceram diferenças significativas de temperatura entre o sistema original e o com o protótipo instalado.

Durante o verão, em dias quentes, operando para resfriar um ambiente anteriormente descrito, com temperatura definida para a mínima possível, 17 °C, percebeu-se que a temperatura tende a baixar mais rápido no sistema original, porém esta diferença se torna insignificante a partir de aproximadamente 15 minutos. A partir de 15 minutos o sistema original e o sistema com o protótipo instalado são praticamente equivalentes, com pequenas variações de temperatura neste último devido ao período de desligamento do compressor.

A Figura 20 mostra a queda de temperatura no ambiente usando o sistema original, quando compressor ficou ligado continuamente durante 30 minutos.

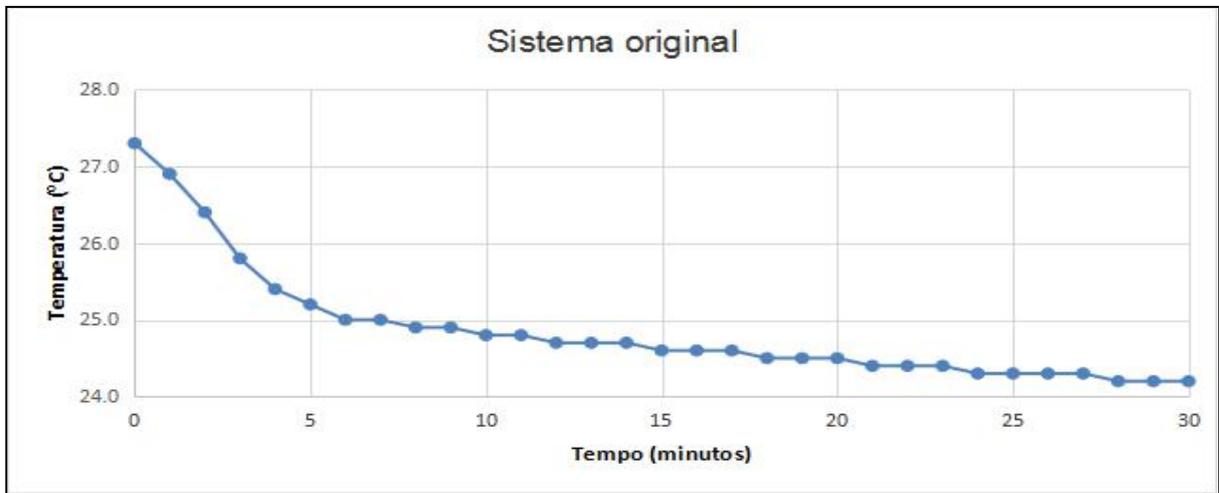


Figura 20 - Temperatura. Compressor ligado continuamente  
Fonte: Autor

Pela Figura 20 percebe-se que nos primeiros 7 minutos a temperatura diminui abruptamente, apresentando uma variação de aproximadamente  $2,3^{\circ}\text{C}$ , e posteriormente, após o sétimo minuto, demora cerca de 20 minutos para diminuir  $0,7^{\circ}\text{C}$ .

A Figura 21 mostra a queda de temperatura no ambiente quando o compressor e o ventilador da unidade evaporadora são mantidos ligados durante 7 minutos e desligados durante 3 minutos. Estes valores foram obtidos visando avaliar se era ou não possível desligar inclusive o ventilador da unidade externa ao mesmo tempo em que o compressor era desligado.

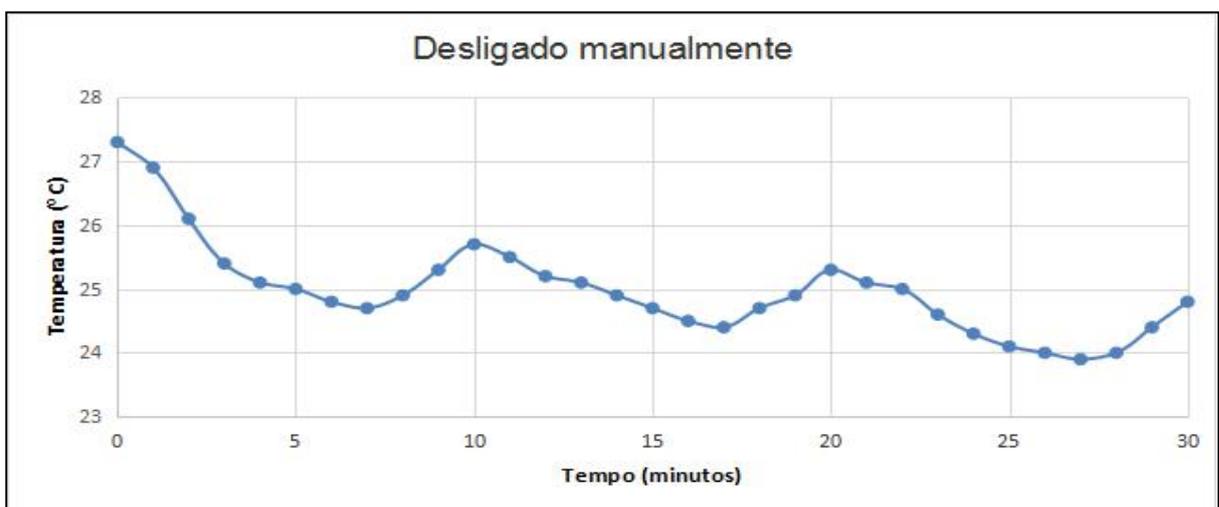


Figura 21 - Temperatura. Compressor e ventilador liga/desliga manual

Fonte: Autor

Percebe-se que nos primeiros 7 minutos a temperatura diminui rapidamente  $2,4^{\circ}\text{C}$ , e posteriormente demora mais 20 minutos para diminuir  $0,8^{\circ}\text{C}$ .

Entre as Figuras 20 e 21 percebe-se que a temperatura no sistema onde o compressor e o ventilador não ficaram continuamente ligados chegou a valores menores. Mesmo a temperatura elevando-se um pouco nos intervalos onde o compressor estava desligado esta diferença não foi perceptível à pessoa que estava realizando as medições.

A Figuras 22 mostra a queda de temperatura no ambiente quando o motor do compressor é acionado pelo CAC instalado, o motor é mantido ligado durante 7 minutos e desligado durante 3 minutos.

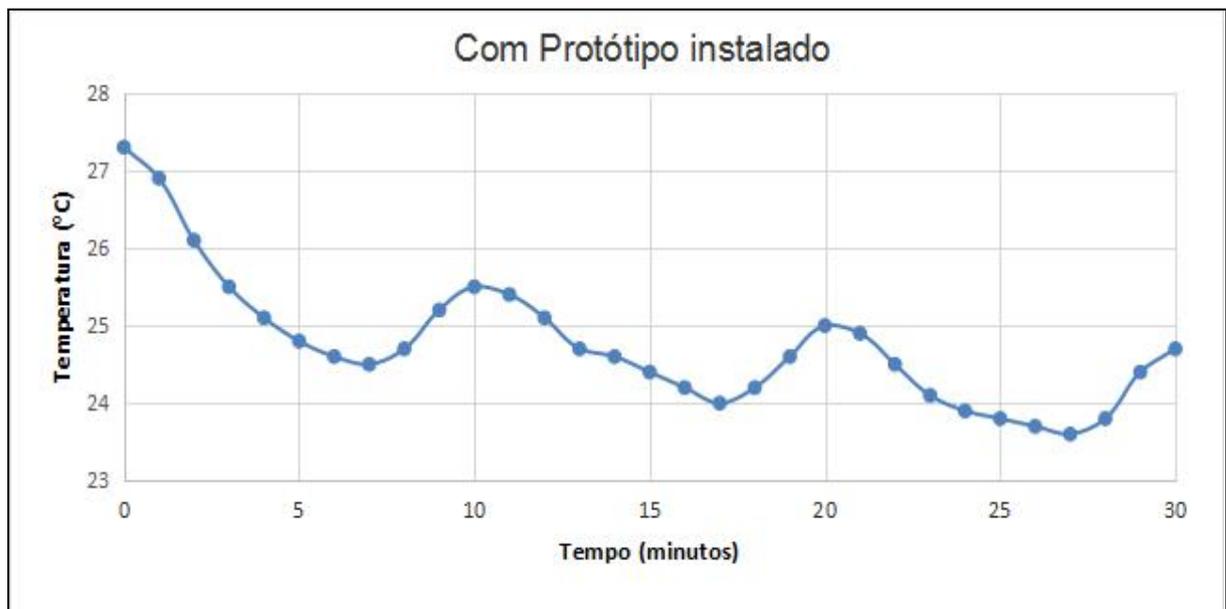


Figura 22 - Temperatura. Compressor ligado e desligado pelo protótipo  
Fonte: Autor

Observando a Figura 22 percebe-se que nos primeiros 7 minutos a temperatura cai rapidamente  $2,7^{\circ}\text{C}$ , e posteriormente demora mais 20 minutos para diminuir  $0,8^{\circ}\text{C}$ .

Entre as Figuras 21 e 22 percebe-se que também houve um pequeno aumento na queda de temperatura no sistema quando o compressor não ficou continuamente ligado.

A Figura 23 mostra a diferença de temperatura entre os 3 tipos de acionamento.

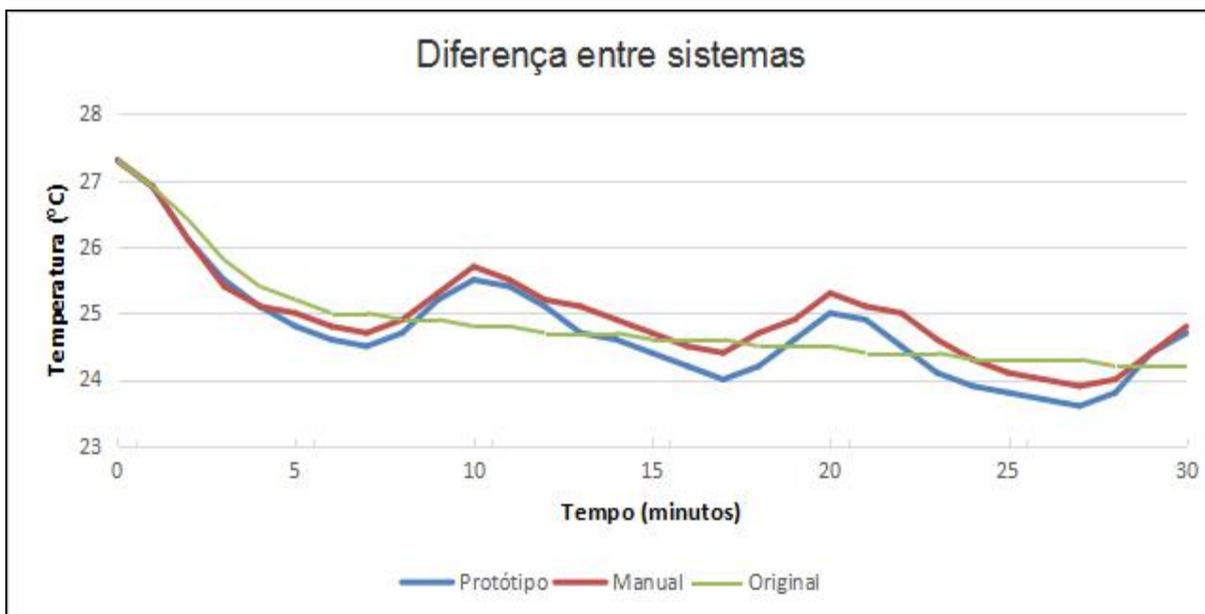


Figura 23 - Diferença de temperaturas entre os 3 sistemas de acionamento  
 Fonte: Autor

Percebe-se que para os ensaios onde foram desligados o compressor e o ventilador ou só o compressor, a temperatura voltou a aumentar no intervalo 7 a 10 minutos, e novamente entre 17 a 20 e 27 a 30 minutos, intervalos estes onde o compressor estava desligado. Porém quando o compressor volta a ser ligado a temperatura começa a diminuir em uma velocidade superior à vista no sistema em que o compressor fica continuamente ligado, chegando os sistemas com desligamentos cíclicos apresentarem temperaturas mais baixas do que o que permaneceu continuamente ligado a partir dos 15 minutos.

Para estas amostras, onde a temperatura do ambiente iniciou igualmente em 27,2°C, percebe-se que aos 17 minutos a amostra com o protótipo instalado foi a primeira a atingir a temperatura operativa ideal de 24°C, situação que não ocorreu ao final de 30 minutos para o sistema original. Esta análise mostra que a instalação do protótipo melhorou o funcionamento do sistema quanto a capacidade de troca térmica.

#### 4.2 Ensaios experimentais – Umidade relativa do ar

Durante as leituras de temperatura também foram realizadas leituras de umidade relativa do ar para os 3 tipos sistemas, sendo analisados os dados entre o sistema original e o com o protótipo instalado.

Durante o inverno, em dias frios, operando visando aquecer o ambiente onde os testes foram feitos, não apareceram diferenças significativas de umidade entre o sistema original e o com o protótipo instalado.

Durante o verão, em dias quentes, operando visando resfriar um quarto nas dimensões supracitadas, com temperatura definida para a mínima possível, 17 °C, percebeu-se que a umidade baixou de forma contínua no sistema original, e de forma mais lenta com o CAC instalado.

A Figura 24 mostra a variação na umidade relativa do ar no ambiente usando o sistema original do ar condicionado, ou seja, quando o compressor ficou ligado continuamente durante um intervalo de 60 minutos.

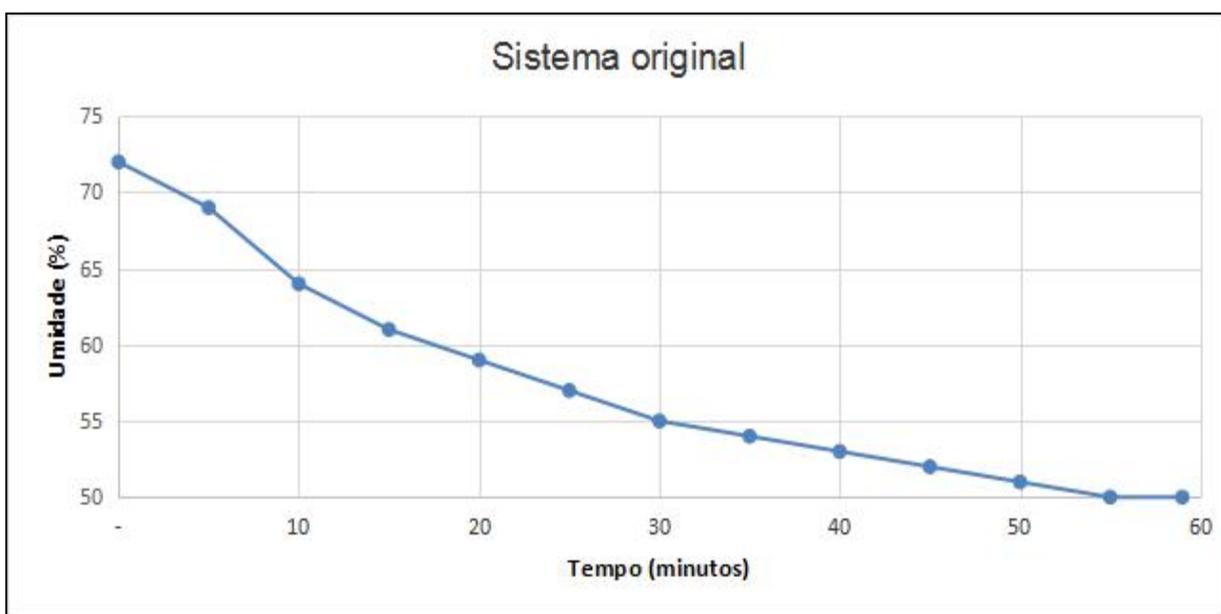


Figura 24 - UR ar. Compressor ligado continuamente  
Fonte: Autor

Percebe-se que operando no sistema original a umidade relativa do ar decai continuamente, de forma quase que linear de 72% chegando a 50% ao final dos 60 minutos, tem-se portanto, uma variação de 22% na umidade relativa do ar.

A Figura 25 mostra a variação na umidade relativa do ar no ambiente usando o protótipo controlando o compressor.

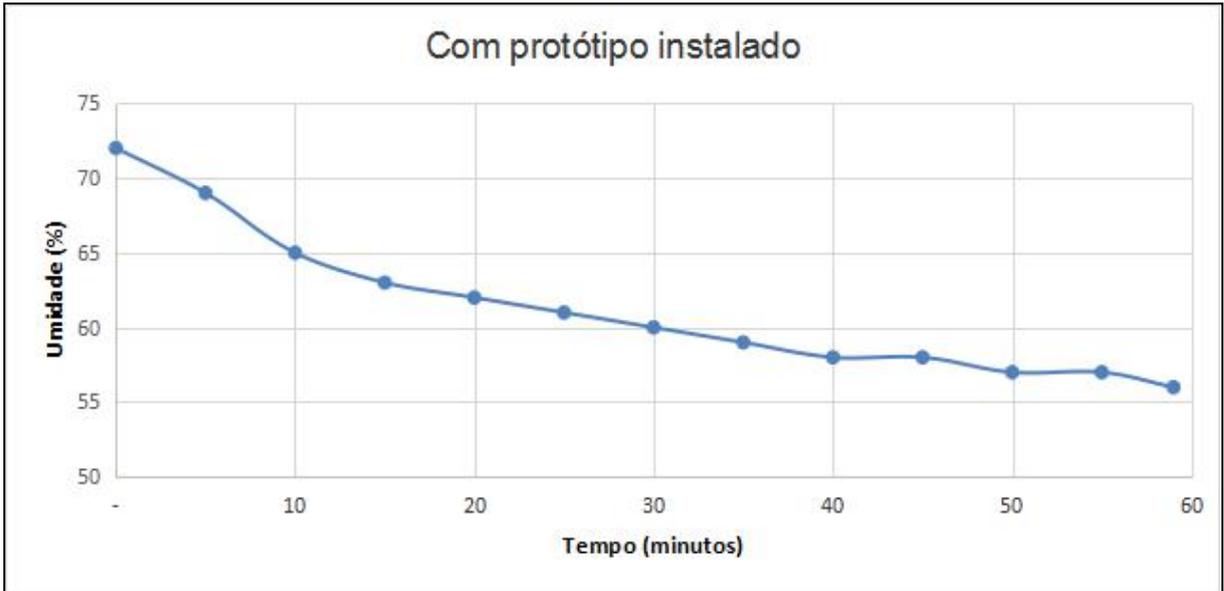


Figura 25 - UR ar. Compressor ligado e desligado pelo protótipo  
Fonte: Autor

Pela Figura 25 observa-se que operando no sistema com o protótipo a umidade relativa do ar diminui de 72% chegando a 56% ao final de uma hora, ou seja, uma variação de 16%.

A diferença de umidade relativa do ar entre os dois sistemas é de 6% após 60 minutos.

A Figura 26 mostra a diferença na variação na umidade relativa do ar no ambiente para ambos os modos de controle.

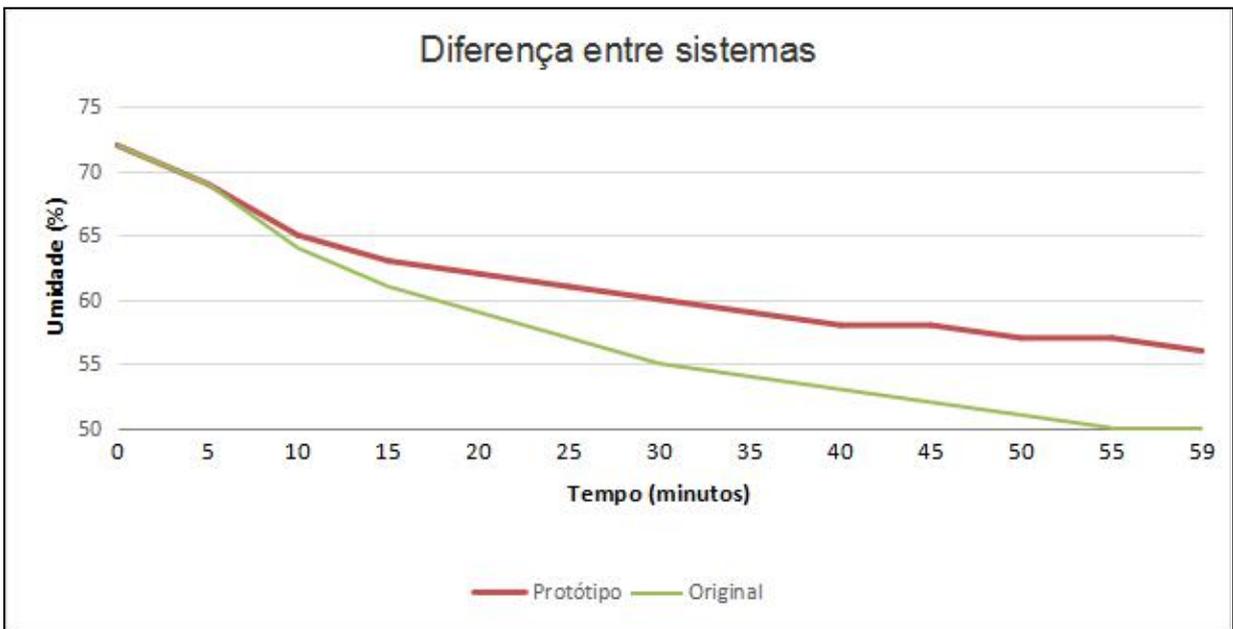


Figura 26 - Diferença de UR do ar entre os 2 sistemas de acionamento

Para o teste onde o sistema ficou ligado continuamente, ao final de uma hora a diminuição da umidade relativa do ar foi mais significativa, porém já está abaixo da esperada para uma situação de conforto térmico.

Conforme enunciado na norma NBR 16401-2, para que 80% ou mais das pessoas adultas presentes em um recinto há mais de 15 minutos se sintam termicamente confortáveis, o parâmetro umidade relativa do ar para esta situação deve ser 65%, ou seja, com o ar condicionado ligado continuamente a umidade relativa do ar atinge o valor de 50% abaixo do necessário.

Para o teste com o protótipo, onde o compressor desligou nos intervalos entre 7 a 10 minutos, 17 a 20 minutos, 27 a 30 minutos, 37 a 40 minutos, 47 a 50 minutos, e 57 a 60 minutos, a umidade relativa do ar não decaiu tão rapidamente, chegando a 56%. Ao final de uma hora ficou em um nível também abaixo do necessário para uma situação de conforto térmico, porém mais próxima ao valor esperado.

Para esta amostra, onde a umidade relativa do ar iniciou igualmente em 72%, percebe-se que para os dois sistemas, aos 10 minutos ambos já atingem a situação de umidade relativa do ar ideal, após este tempo não seria mais necessário retirar umidade do ambiente, e sim apenas mantê-la constante. Esta análise mostra que a instalação do protótipo não alterou o significativamente o funcionamento do sistema, inclusive melhorou-o.

O Quadro 2 resume os dados coletados referentes a temperatura e umidade, comparando o sistema original e o com o CAC instalado.

Quadro 2 - Variações de temperatura e UR do ar.

	Temperatura (°C)			UR ar (%)		
	Inicial (0 min)	Final (27 min)	Variação	Inicial (0 min)	Final (30 min)	Variação
Original	27,2	24,3	2,9	72	55	17
Com CAC	27,2	23,6	3,6	72	60	12
Diferença			0,7			5

### 4.3 Ensaios experimentais – Energia elétrica

Para o Split utilizado para os ensaios experimentais, hora operando no modo original, hora operando com o circuito adicional, foram retiradas amostras de tensão e corrente elétrica, sendo monitoradas as partidas e paradas do compressor que é o componente que mais consome energia. O funcionamento em regime foi registrado, mas não avaliado por não sofrer alteração com ou sem o protótipo.

Os resultados mostrados a seguir foram coletados em parte utilizando um osciloscópio modelo DPO 2024 marca Tektronix, e parte empregando um analisador de qualidade de energia modelo 43B da marca FLUKE.

As figuras 27 a 31 foram retiradas com o osciloscópio mostrando a tensão e corrente elétrica geral do Split, com e sem o CAC, com as pontas de prova do aparelho ligadas diretamente na tomada do aparelho, sendo usadas preferencialmente as escalas de 100 V/divisão para a tensão e 10 Ampères/divisão para a corrente, o período de amostragem foi definido para capturar pelo menos dois ciclos da rede elétrica. Quando possível escalas foram alteradas para melhor visualização das formas de onda.

A figura 27 mostra a tensão e a corrente durante o funcionamento do aparelho antes do compressor ligar, ou seja, mede apenas o consumo dos demais componentes elétricos do sistema. Percebe-se uma corrente eficaz de apenas 0,465 A. A tensão eficaz para essa situação é 213V.

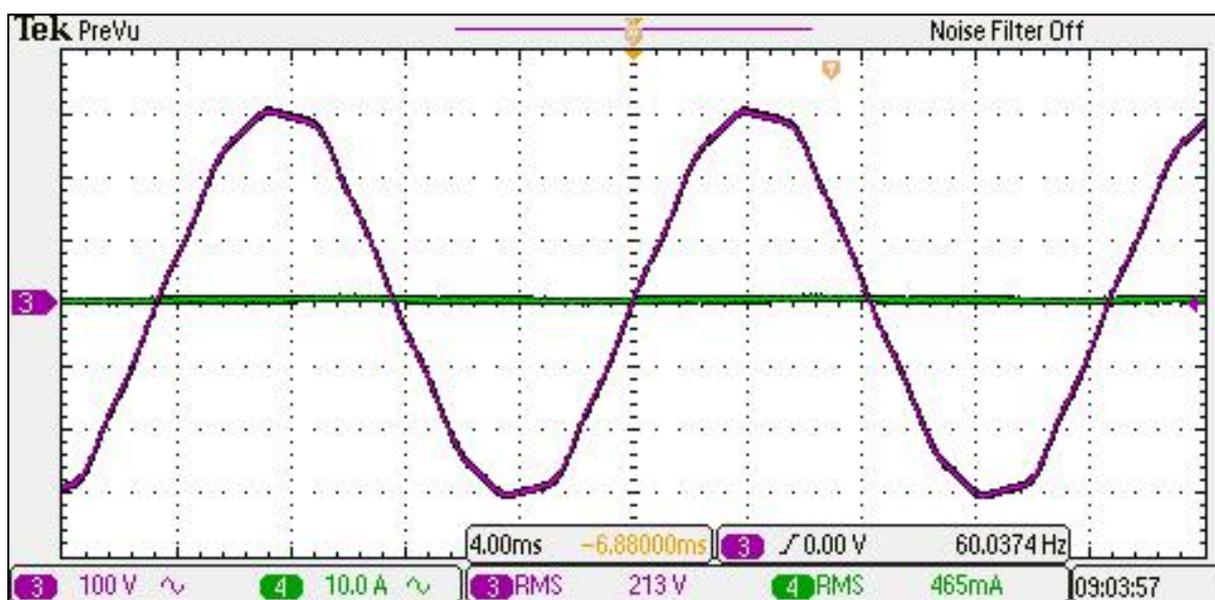


Figura 27 - Tensão e corrente sem o compressor  
Fonte: Autor

A figura 28 mostra a tensão e a corrente durante o funcionamento do aparelho em regime permanente com o compressor ligado, ou seja, foram medidos a corrente e a tensão considerando a operação de todos os componentes elétricos do sistema. Percebe-se uma corrente de 3,75A, esta corrente tende a subir chegando a 6A após 30 segundos, mantendo-se neste nível até que o compressor desligue. A tensão eficaz para esta situação é 212V.

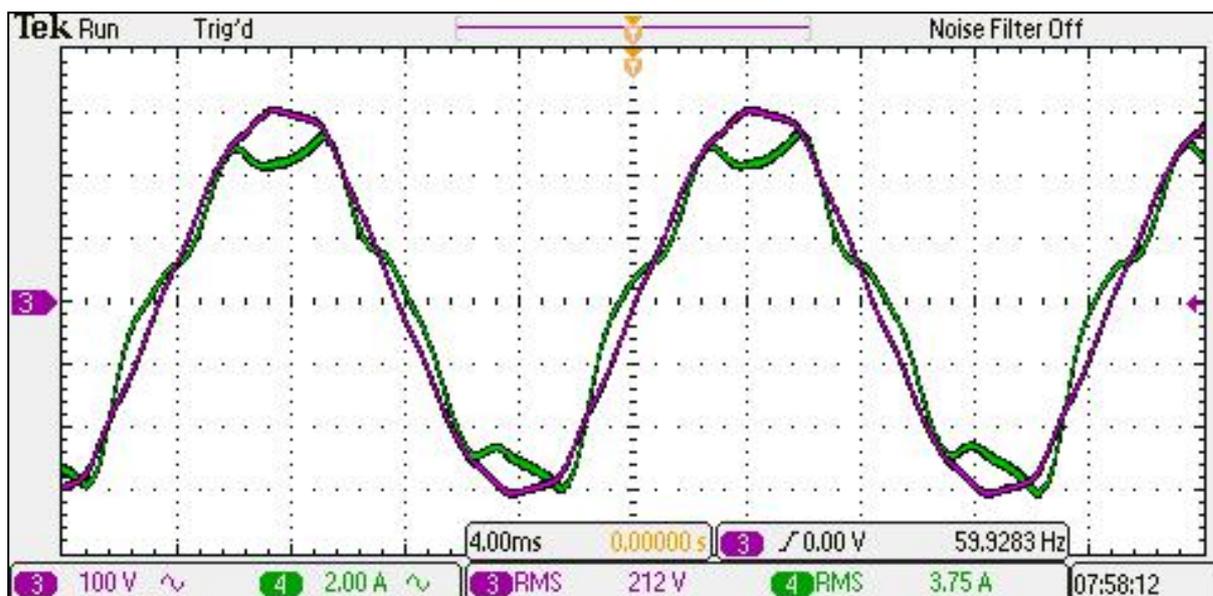


Figura 28 - Tensão e corrente com o compressor  
Fonte: Autor

A figura 29 mostra a tensão e a corrente durante a partida direta do compressor somada aos demais componentes elétricos do sistema. Percebe-se uma corrente eficaz elevada que chega a 23,2A, esta corrente se mantém por aproximadamente 1 segundo, caindo rapidamente após a partida. Durante a partida a tensão diminui para 188V e provoca distúrbios nos demais equipamentos ligados na mesma rede.

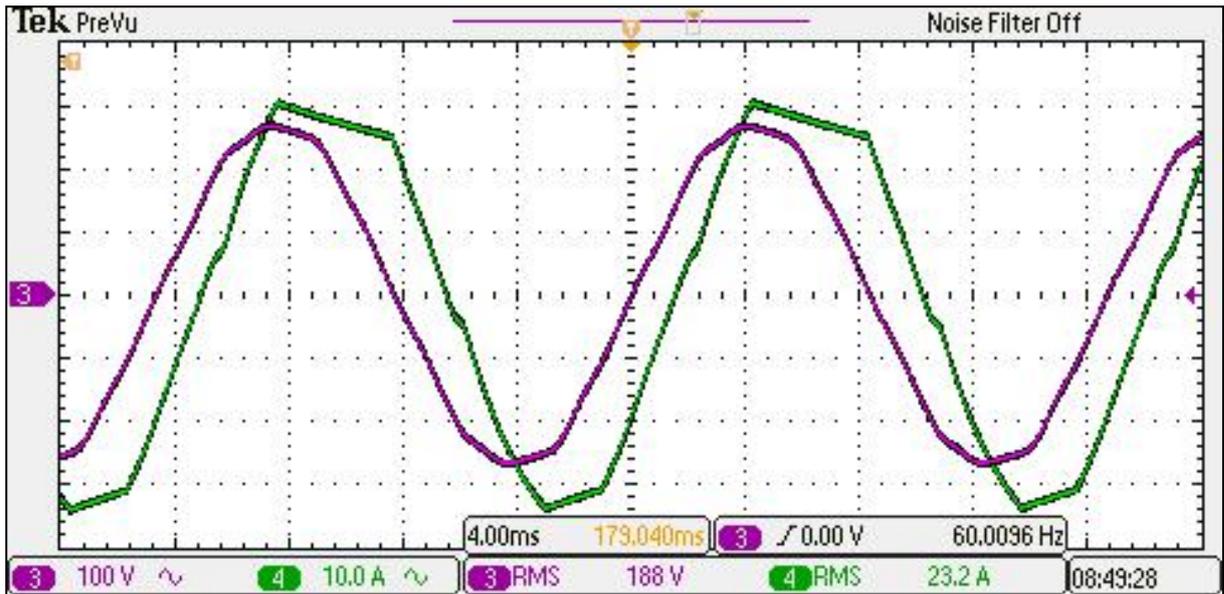


Figura 29 - Tensão e corrente durante a partida direta do compressor  
Fonte: Autor

Durante a parada direta do compressor foram observadas pequenas variações de tensão devido a súbita redução na corrente, alterações pouco significativas.

A figura 30 mostra a tensão e a corrente durante a partida do compressor usando o CAC, a corrente do compressor é somada aos demais componentes elétricos do Split. Percebe-se na pior situação uma corrente eficaz de 16,1A, esta corrente elevada se mantém por 2 segundos, no período intermediário da partida. A tensão não cai tanto quanto na partida direta, sendo a pior situação 208V, estando dentro dos limites determinados pela ANEEL [16]. Devido ao sistema de chaveamento empregado também provoca distúrbios nos demais equipamentos ligados na mesma rede, não tão significativos quanto os provocados durante a partida direta.

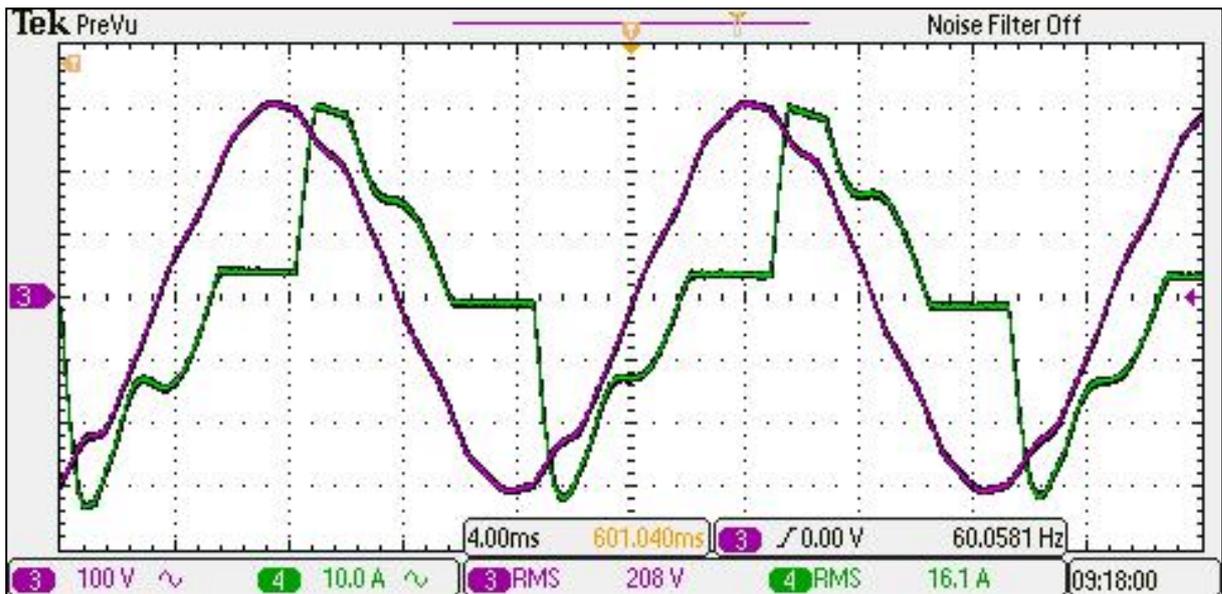


Figura 30 - Tensão e corrente durante a partida com CAC do compressor  
 Fonte: Autor

A figura 31 mostra a tensão e a corrente durante a parada em rampa do compressor somada aos demais componentes elétricos do sistema. Percebe-se uma queda rápida da corrente que resulta em uma rápida e momentânea elevação na tensão. Durante a parada a tensão sobe para 223V dentro do limite previsto no PRODIST, mesmo assim provoca distúrbios nos demais equipamentos ligados na mesma rede, não tão significativos quanto os provocados durante na partida.

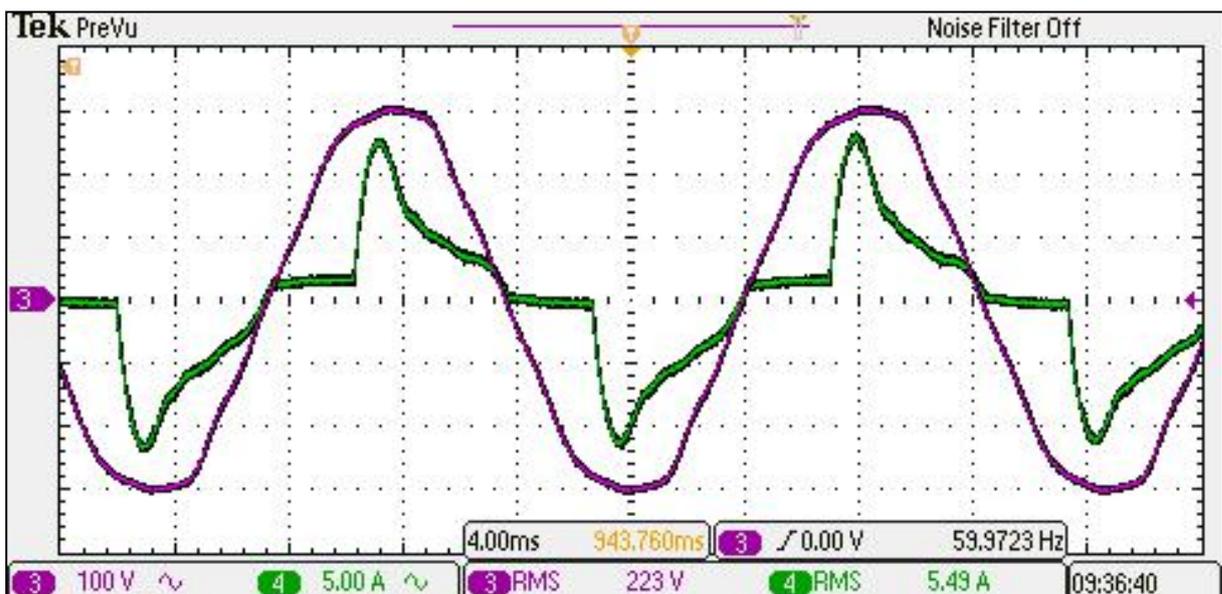


Figura 31 - Tensão e corrente durante a parada com CAC do compressor  
 Fonte: Autor

As figuras 32 a 34 foram retiradas com o osciloscópio mostrando a tensão e corrente elétrica exclusivamente no compressor acionado pelo CAC, com as pontas de prova do aparelho ligadas diretamente aos terminais do motor, as demais considerações são as mesmas das figuras 27 a 31.

A figura 32 mostra a tensão e a corrente durante o início da partida em rampa do compressor. Para esta situação foi medida uma tensão de 122V e uma corrente de 11,1A, esta corrente eleva-se um pouco no intervalo central da partida, vindo a decair novamente antes do motor entrar em regime. A forma de onda da tensão mostra uma grande deformidade que não se propaga para o restante da rede, ficando apenas o motor do compressor sujeito e esta situação temporária.

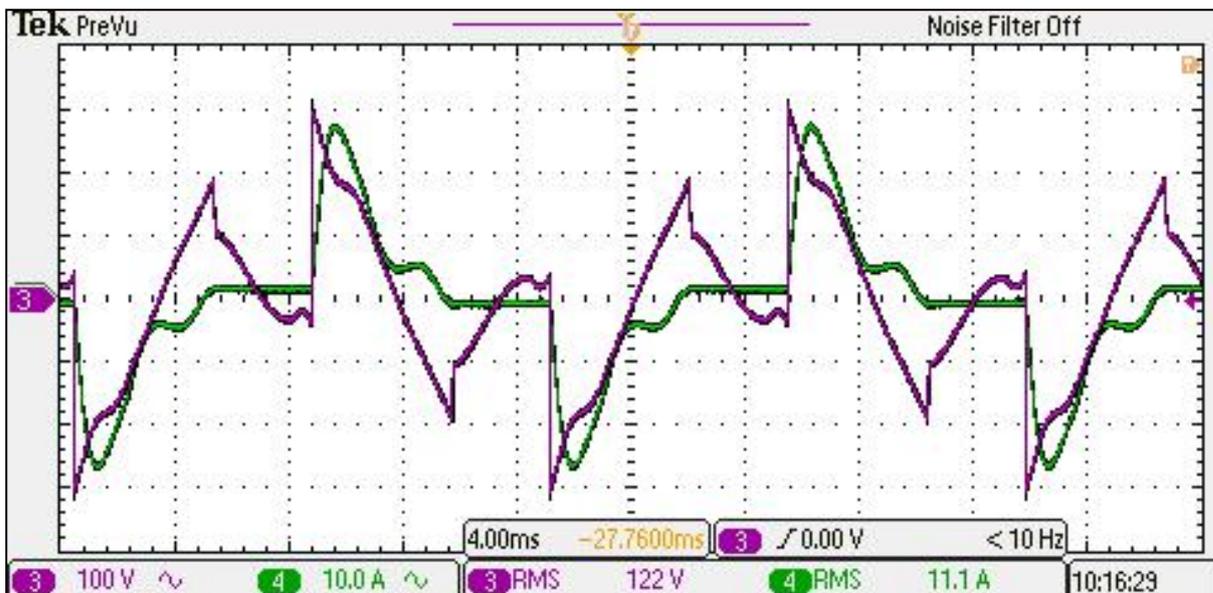


Figura 32 - Tensão e corrente durante início da partida com CAC no compressor  
Fonte: Autor

A figura 33 mostra a tensão e a corrente durante o fim da partida em rampa do compressor. Para o fim da partida, pouco antes de ligar o relé de *by-pass*, foi medida uma tensão de 197V e uma corrente de 4,88A.

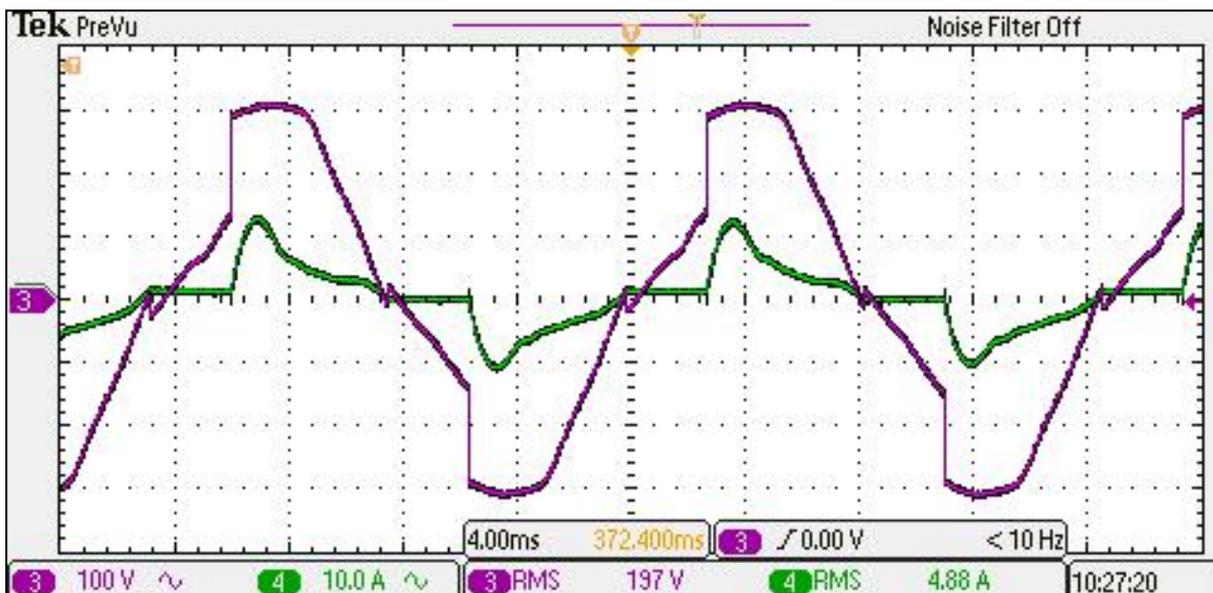


Figura 33 - Tensão e corrente durante o fim da partida com CAC no compressor  
 Fonte: Autor

A figura 34 mostra a tensão e a corrente durante a parada em rampa do compressor. Para esta medida, na parada em rampa percebe-se uma corrente um pouco elevada, chegando a 16,6A no pior caso.

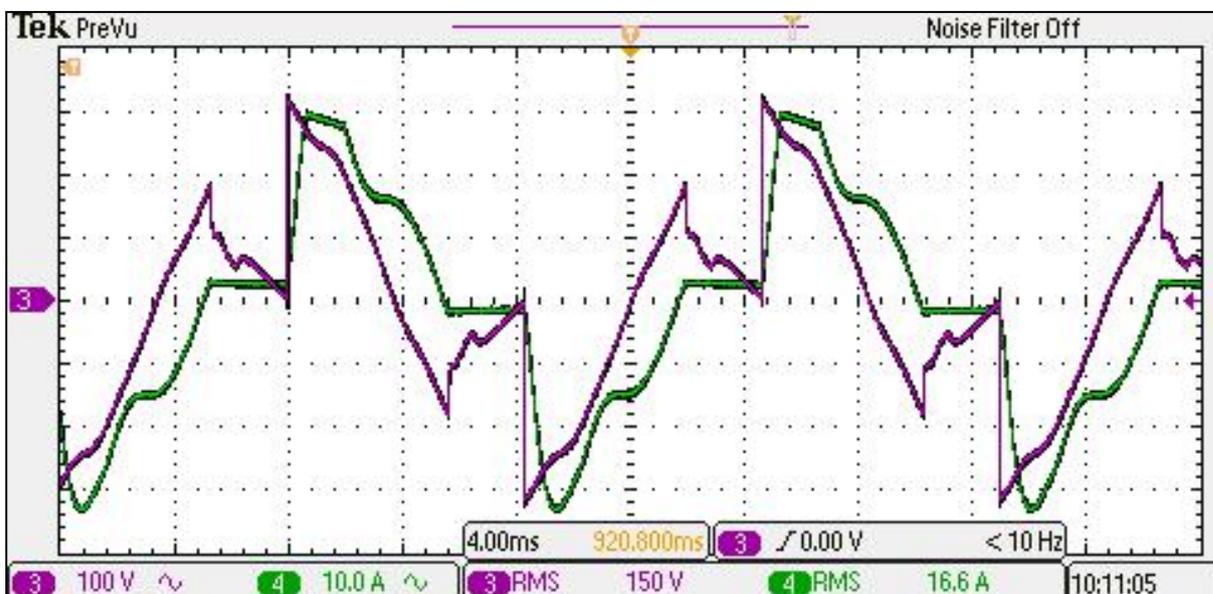


Figura 34 - Tensão e corrente durante a parada em rampa no compressor  
 Fonte: Autor

O quadro 3 resume os dados coletados referentes a tensões e correntes na rede elétrica, ou seja, no ponto de conexão da tomada, comparando o sistema original e o com o CAC instalado. Cabe destacar que como as condições de tensão na rede podem variar.

Quadro 3 - Variações de tensão e corrente.

	Original		Com protótipo	
	Partida	Regime	Início rampa partida	Início rampa parada
Volts (V)	188	212	208	223
Amperes (A)	23,2	3,75	16,1	5,49

Do quadro 3 percebe-se problemas no valor da tensão na partida direta o qual está fora do padrão estabelecido pela ANEEL, e também a expressiva corrente durante a partida direta.

As mesmas medidas obtidas com o osciloscópio foram realizadas com o analisador de energia FLUKE 43B, por ser um equipamento destinado a coletar dados específicos relacionados a qualidade de energia, apresenta valores mais confiáveis e próximos dos reais, porém com menos detalhes que os apresentados no osciloscópio. Por este motivo os dados analisados para desenvolvimento de conclusões preferencialmente se fundamentarão nestas medidas.

A figura 35 mostra a tensão e a corrente durante a partida direta do compressor, e posterior parada direta. Neste caso tensão medida cai de 219V para 198V durante a partida, uma diferença de 20V, e a corrente de partida ultrapassa a escala selecionada, ou seja, foi superior a 25A.

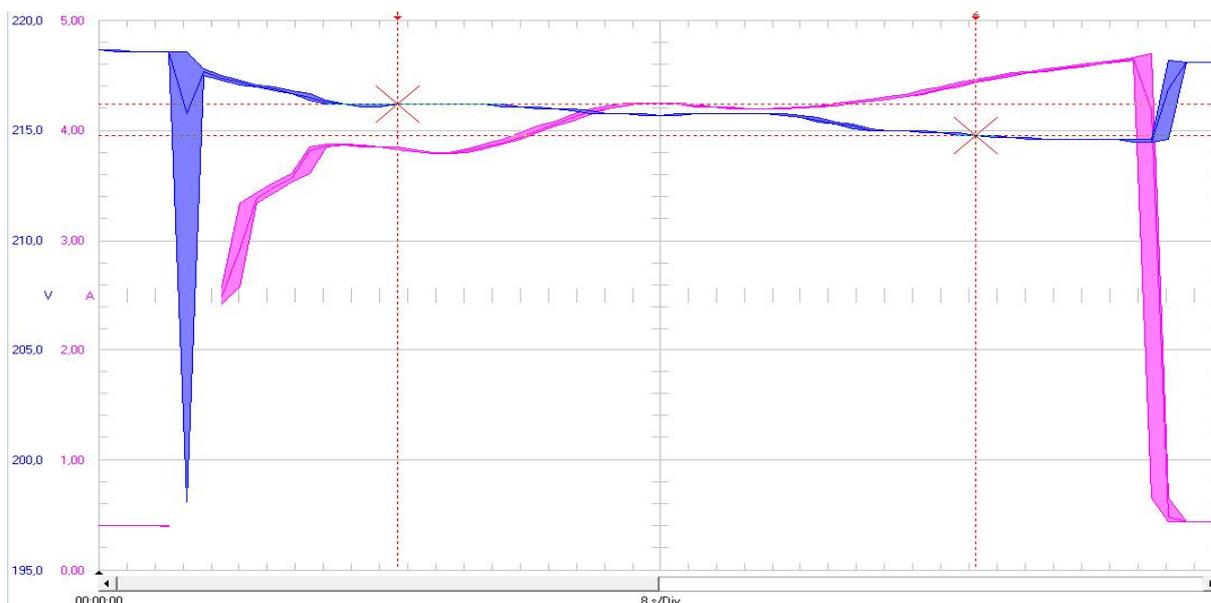


Figura 35 - Tensão e corrente durante a partida direta do compressor  
Fonte: Autor

A figura 36 mostra a tensão e a corrente logo após a partida direta do compressor, durante o primeiro minuto, e posterior desligamento. Neste caso corrente máxima medida em regime chega a 6,5A, e a tensão durante o desligamento direto não sofre alteração relevante, é inferior a 6V.

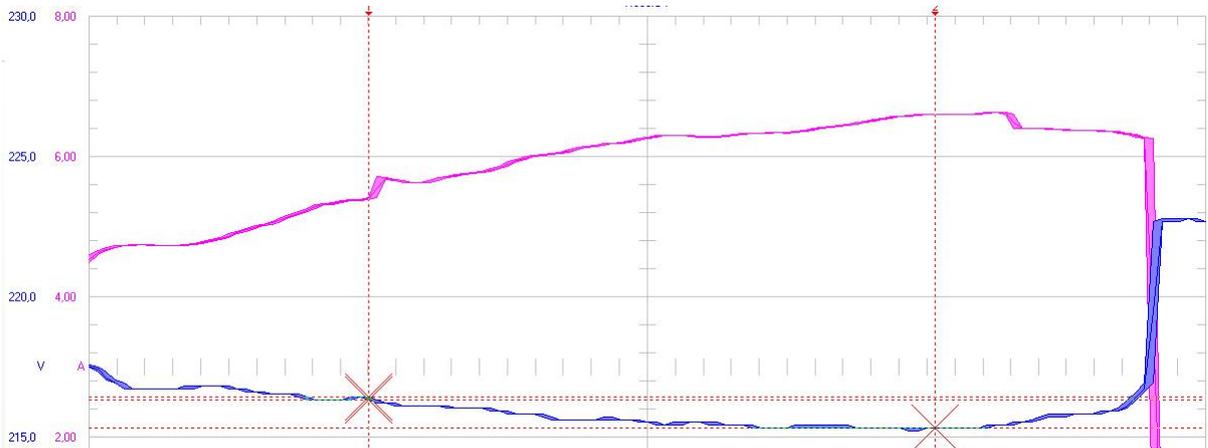


Figura 36 - Tensão e corrente durante regime e parada direta do compressor  
Fonte: Autor

A figura 37 mostra a tensão e a corrente durante a partida usando o protótipo, ou seja, a partida suave do motor do compressor. Neste caso tensão medida cai de 225V para 215V durante a partida, uma diferença de 10V, e a corrente não chega ao valor de 16A.

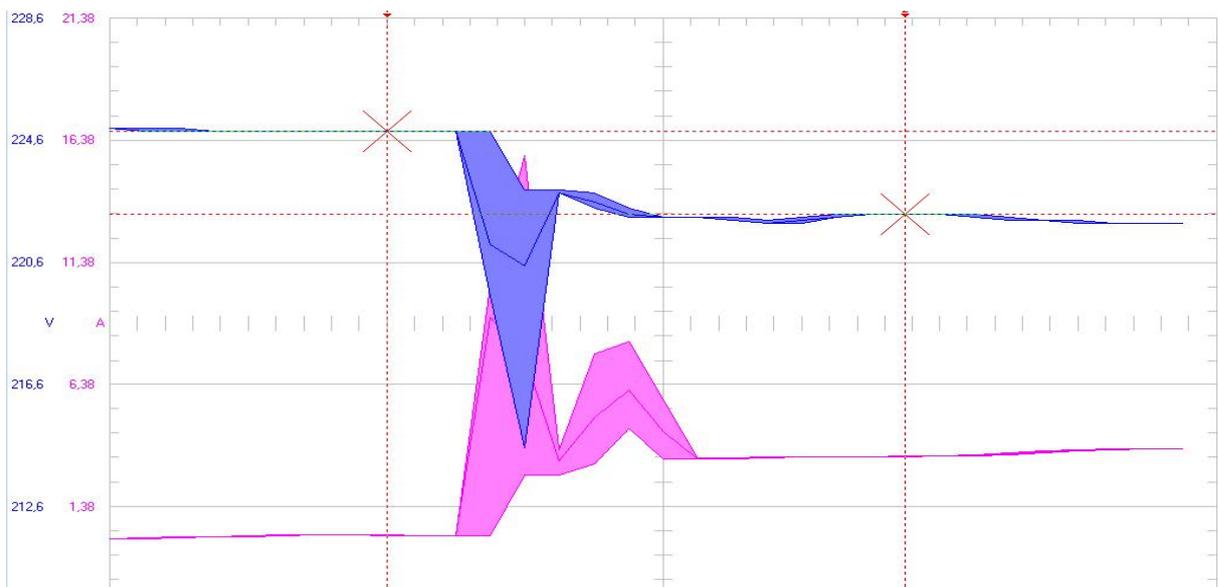


Figura 37 - Tensão e corrente durante partida com CAC do compressor  
Fonte: Autor

A figura 38 mostra a tensão e a corrente durante a parada usando o protótipo, ou seja, a parada suave do motor do compressor. Neste caso durante a parada a tensão medida inicialmente cai de 217V para 202V e posteriormente sobe de 202V para 221V, uma diferença de 19V. Está grande variação na tensão se deve a uma variação inversamente proporcional na corrente, ou seja, a corrente sai de 5A e chega ao pico de 24A, uma diferença de 19A.

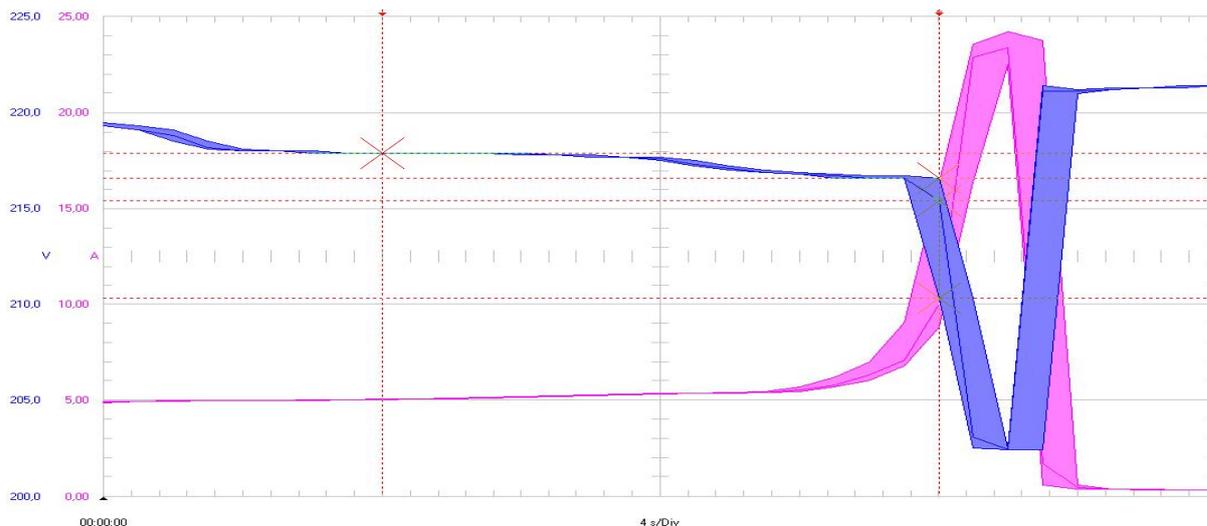


Figura 388 - Tensão e corrente durante parada com CAC do compressor  
Fonte: Autor

A figura 39 mostra como o fator de potência é afetado durante o intervalo de partida direta do compressor. Durante a partida o fator de potência chega a 0,63, e durante o regime chega a 0,99. A potência durante a partida direta chega a 2,24KW.

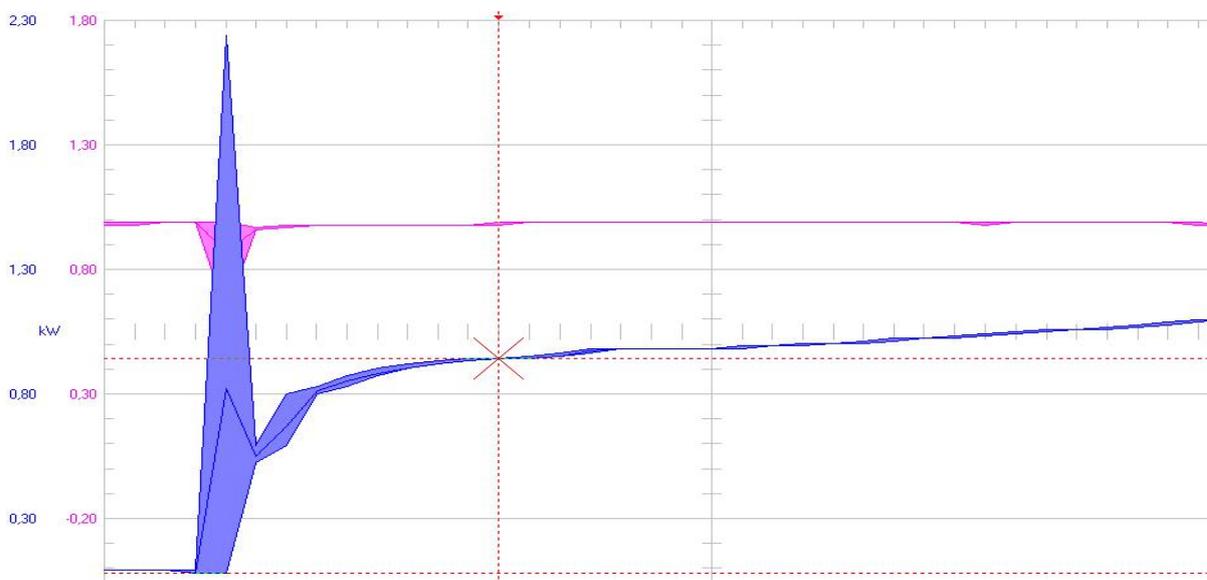


Figura 39 - Fator de potência e potência durante partida direta do compressor  
Fonte: Autor

A figura 40 mostra como o fator de potência é afetado durante o intervalo de partida usando o protótipo. Durante a partida o fator de potência chega a 0,45, e durante o regime chega a 0,99. A potência durante a partida direta chega a 1,9KW.

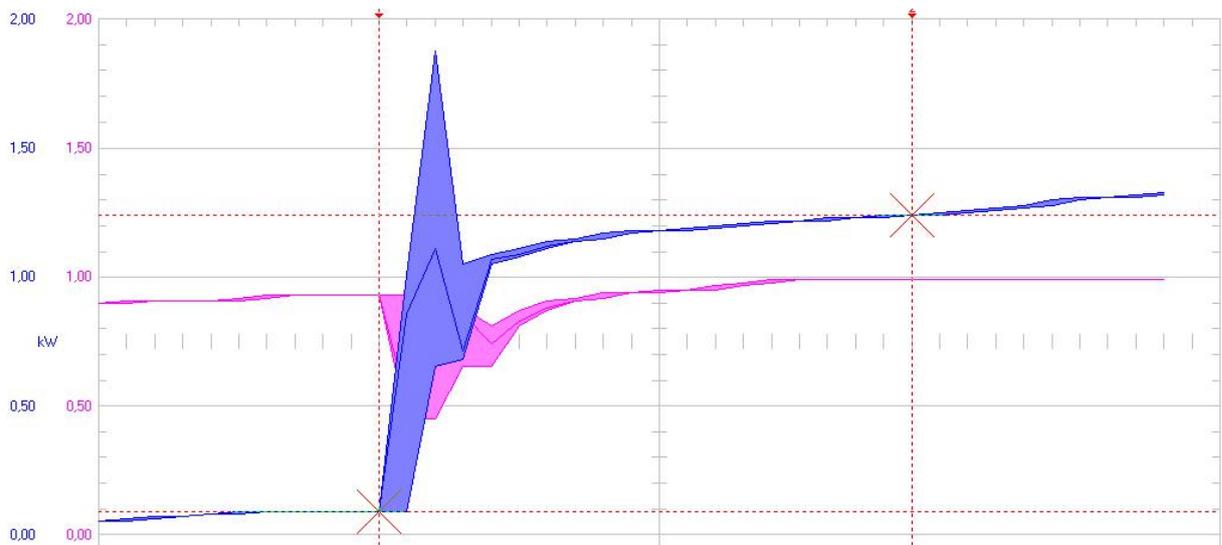


Figura 40 - Fator de potência e potência durante partida suave do compressor  
Fonte: Autor

De posse dos dados coletados, desenvolver-se-á as análises e conclusões apresentadas no capítulo 5 denominado Considerações Finais. Sendo a mais significativa do ponto de vista do autor a economia de energia. Considerando um consumo médio do compressor igual a 5,5A e do restante do sistema 0,5A, e os respectivos intervalos de acionamento do compressor de 7 minutos ligado e 3 minutos desligado, pode-se perceber uma economia de energia de 27,5%.

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as figuras apresentadas referentes a temperatura, conclui-se que o sistema usando o protótipo, onde o motor do compressor é desligado por alguns minutos (figura 22) é o mais eficiente, ou seja, com a adição do CAC foi possível aprimorar a troca térmica e o sistema foi capaz de retirar o que consegue trocar retirar mais calor do ambiente que se deseja resfriar.

Em ambos os casos, usando ou não o protótipo, a temperatura ficou abaixo da esperada para obtenção do conforto térmico, tal situação pode ser evitada selecionando uma temperatura de operação correta de 24°C aproximadamente, a qual não era desejada durante os testes.

Na Figura 23 percebe-se que mesmo durante o pequeno intervalo onde a temperatura se eleva durante o período em que o compressor está desligado, a elevação não excede 1°C, sendo imperceptível ao usuário, e é menor que a própria diferença de temperatura por histerese intrínseca do sistema original que é de 2°C.

Das figuras referentes a umidade relativa do ar, pode-se concluir que o sistema que usa o protótipo não consegue retirar a umidade do ar de forma tão eficiente quando o sistema original, o qual fica continuamente ligado. Porém a umidade relativa do ar do sistema com o protótipo ficou mais perto da esperada para uma situação de conforto térmico que é de 65%.

Considerando o intervalo de 30 minutos para relacionar temperatura e umidade, no sistema original a umidade relativa do ar continuaria caindo chegando a valores abaixo dos 55% (aos 30 minutos) mostrados na figura 24, pois a temperatura mesmo ajustada corretamente a 24°C levaria um tempo considerável para ser alcançada, como pode ser observado na figura 28, onde praticamente ficou estável a 24,3°C.

Igualmente considerando o intervalo de 30 minutos e uma temperatura correta de 24°C selecionada, o sistema com o protótipo começaria a desligar o sistema original do aparelho aos 17 minutos (figura 30), fato que elevaria ainda mais a umidade relativa do ar chegando a valores ainda mais próximos aos 65% esperados para o conforto térmico.

Caso uma temperatura de operação inadequada seja escolhida, como durante os testes desenvolvidos, a economia de energia será de exatos 27,5%. Caso a

temperatura adequada seja selecionada, a economia de energia pode e será superior a 27,5%.

Em se tratando dos resultados experimentais relativos à energia elétrica, com os dados e as relações entre as figuras 35 e 37 (medições com osciloscópio), e novamente entre as figuras 35 e 37 (medições com o analisador de energia), percebe-se que usando o CAC e conseqüentemente uma partida suave no motor do compressor, ocorre uma considerável diminuição na queda de tensão e no pico de corrente durante a partida. Tal fato diminui a interferência do Split nos demais equipamentos ligados a mesma rede. Na partida direta figura 35 percebe-se uma queda de tensão de 20V, e na partida suave figura 37 apenas 10V.

Das figuras 36 e 38 percebe-se que durante a parada direta não existe elevação na corrente, e a tensão só se eleva 6V, porem um efeito indesejado é percebido durante a parada por rampa, onde níveis elevados de corrente que chegam a 19A, e de afundamentos de tensão de 19V são percebidos. Entende-se que para a parada, o melhor a ser feito, ou seja, o que menos prejudicará a rede elétrica e os demais equipamentos conectados a ela seja a parada direta, sendo a parada por rampa desaconselhável pelos efeitos apresentados. Caso seja desenvolvido um produto com finalidade comercial a parada em rampa será removida, perdendo o CAC a função de parada suave, porem melhorando a qualidade de energia.

Avaliando as variáveis que sustentam o conforto térmico, que são temperatura, umidade relativa do ar e ventilação (não alterada). Considerando a economia de energia elétrica ao longo de horas de operação, onde durante o ciclo de resfriamento a economia de energia poderá ser superior a 27,5%. Analisando a qualidade da energia, onde principalmente durante a partida dos motores onde a queda de tensão e os picos de corrente são consideravelmente reduzidos, percebe-se a viabilidade da instalação do CAC em sistemas de climatização de ar.

## REFERÊNCIAS

- [1] Carrier Air Company (United States). ***Handbook of Air Conditioning System Design Carrier***. New York: McGraw-Hill. 1965.
- [2] S. M. R., Sanhuela. **Modelagem e Análise de Condicionadores de Ar dos Tipos Convencionais e Inteligente e Influência no Comportamento Dinâmico das Redes Elétricas**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- [3] Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo de Energia no Brasil**, Nota Técnica DEA 10/14. Rio de Janeiro, 2014.
- [4] DIAS, Gustavo Pires. **Análise do Uso de Inversores Para Motores Monofásicos em Aparelhos de ar Condicionado Visando à Eficiência Energética**. Trabalho de conclusão de curso. São Carlos. 2014.
- [5] A. F. Fitzgerald; C. Kingsley; A. Kusko. ***Electric Machinery: the processes, devices, and systems of electromechanical energy conversion***. New York: McGraw-Hill. 1971.
- [6] YORK. **Manual do usuário**: Condicionadores de ar. Modelos YKS. 2010.
- [7] LUIZETTO, Luciano E. F.. **Conforto Térmico em Ambientes de Escritório**. Monografia. São Paulo. 2014.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**. Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- [9] Silva, José de Castro; Silva, Ana Cristina G. Castro. **Refrigeração e Climatização para Técnicos e Engenheiros**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna. 2007.

[10] Costa, Ênnio Cruz da. **REFRIGERAÇÃO**. 3ª edição. São Paulo: Edgard Blücher LTDA. 1982.

[11] Malvino, Albert Paul. **ELETRÔNICA**: Volume 1. 4ª edição. São Paulo: Pearson. 1997.

[12] Kaspary, Adalberto J. **REDAÇÃO OFICIAL**: Normas e Modelos. 14ª edição. Porto Alegre: Edita. 1998.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação: Citações em documentos: Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

[14 ] WEG. **Automação: Soft-Starters SSW07 e SSW08**. Catálogo. 2016.

[15] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PPRODIST: Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica**. 2017.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

```
.*****Código
,

PROCESSOR pic12f675
#include "p12F675.INC"

.*****
,
;----- DECLARAR REGISTRADORES E VARIÁVEIS -----
; FSR -> ENDEREÇO
; INDF -> REGISTRADOR

; Valores para respectivas contagens de tempo
#define VALOR_CONT_1S .4
#define VALOR_CONT_1M .6
#define VALOR_CONT_2M .6
#define VALOR_CONT_3M .7
#define VALOR_CONT_4M .7
#define VALOR_CONT_5M .8
#define VALOR_CONT_6M .8

#define VALOR_CONT_7MIM .8;.8
#define VALOR_CONT_3MIM .12; com .12 conta exatamente 3 minutos
#define VALOR_CONT_N1S .4

; Registrador que controla operações
FLAGS EQU 0X20
#define CICLO_6M 0 ; indica que deve contar 6 mimiSeg
#define CICLO_5M 1 ; indica que deve contar 5 mimiSeg
#define CICLO_4M 2 ; indica que deve contar 4 mimiSeg
#define CICLO_3M 3 ; indica que deve contar 3 mimiSeg
#define CICLO_2M 4 ; indica que deve contar 2 mimiSeg
#define CICLO_1M 5 ; indica que deve contar 1 mimiSeg
#define EH_PARADA 6 ; verifica se é desaceleração
#define FIM_CICLOS 7 ; verifica se acabou uma rampa

CONT_1S EQU 0X21 ; contador auxiliar para contar 1s
CONT_CICLO EQU 0X22 ; contador para verificar qual tempo da rampa é
aplicado
CONT_DE_CICLOS EQU 0X23 ; mesmo que de cima, mas atualizado de
forma diferente
CONT_TEMP EQU 0X24 ; contador auxiliar para contagem de tempos
grandes

.*****
,
ORG 0X00
GOTO CONFIGURACAO

ORG 0X04
GOTO INTERRUPTACAO
```



```
BCF INTCON,T0IF ; prepara para habilitar interrupcao novamente
BCF INTCON,GPIF ; desabilita flag de interrupcao da mudanca de estado
```

```
MOVLW B'11100000' ; HABILITA INTERRUPCOES
MOVWF INTCON
```

```
Loop_principal
GOTO Loop_principal
```

```
.*****
;
```

```
.*****
;
INTERRUPCAO
```

```
BTFSC PIR1,TMR1IF ; verifica se interrupcao foi do Timer1
GOTO ATUALIZAR_TEMPO_7MIN
```

```
; BTFSS INTCON, GPIE
; GOTO $+.3
BTFSC INTCON, GPIF ; verifica se interrupcao foi da mudanca de estados
GOTO COMECAR
```

```
BTFSC INTCON,T0IF ; verifica se interrupcao foi do Timer0
GOTO ATUALIZAR_TEMPOS
```

```
RETFIE
```

```
#include <Temporizador.inc>
#include <Comeco.inc>
```

```
;((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((
```

```
.*****
;
;FUNCOES
```

```
TABELA_CICLOS
ADDWF PCL,F
NOP
RETLW VALOR_CONT_6M
RETLW VALOR_CONT_5M ; SIM
RETLW VALOR_CONT_4M
RETLW VALOR_CONT_3M
RETLW VALOR_CONT_2M
RETLW VALOR_CONT_1M
RETLW .0 ; GARANTE QUE NAO VA PARA LUGARES INDESEJADOS
RETLW .0 ; GARANTE QUE NAO VA PARA LUGARES INDESEJADOS
```

```
END
```

```

;*****|Inicio
;

COMECAR
BCF INTCON,GPIF ; prepara para proximas interrupcoes

BTFSS GPIO,GP4 ; verifica se foi o GP4 quem mudou de estado
RETFIE ; GP4 EH 0 ou nao foi o GP4

; RESTAURA VALORES INICIAIS PARA MANTER SINCRONISMO
CLRF TMR0
BCF INTCON,GPIE ; DESABILIDA INTERRUPCAO GPI4

; VERIFICA QUAL CICLO ESTA
MOVLW .255 ; verifica se o contador da tabela eh menor que zero
SUBWF CONT_DE_CICLOS,W
BTFSS STATUS,Z ; se CONT_DE_CICLOS == .255, contou menos que zero
GOTO SEGUNDO_TESTE; CONT_DE_CICLOS eh >= 0
CLRF CONT_DE_CICLOS ; = 0
BSF FLAGS,FIM_CICLOS ; acabou a rampa
BCF FLAGS,EH_PARADA ; informa que eh a proxima rampa eh de
subida
GOTO CONTINUACAO_LOGICA_ACIONAMENTO
SEGUNDO_TESTE
MOVLW .6 ; verifica se o contador da tabela eh maior que 6
SUBWF CONT_DE_CICLOS,W
BTFSS STATUS,C ; VERIFICA SE CONT_DE_CICLOS <= 6
GOTO CONTINUACAO_LOGICA_ACIONAMENTO ; eh verdadeira a
condicao
MOVLW .5 ; nao eh verdadeira, atualiza para o valor maximo da tabela
MOVWF CONT_DE_CICLOS ; RESTAURA LIMITE
BSF FLAGS,FIM_CICLOS ; informa que acabou a rampa
BSF FLAGS,EH_PARADA ; informa que a proxima rampa eh de
desaceleracao

CONTINUACAO_LOGICA_ACIONAMENTO
BTFSC FLAGS,FIM_CICLOS ; VERIFICA SE ATINGIU O TODOS OS
CICLOS
GOTO FIM_CICLO_1SEGUNDO ; ATINGIU

; NAO ACABOU O CICLO
BCF GPIO,GP5 ; DESLIGA GP5

CHAMAR_TABELA
INCF CONT_DE_CICLOS,W ; MODIFICACAO temporaria PARA ENTRAR
NA TABELA
CALL TABELA_CICLOS
MOVWF CONT_CICLO ; ATUALIZA TEMPO DE CONTAGEM
BSF INTCON,T0IE ; habilita Timer0 novamente
BCF INTCON,T0IF
CLRF TMR0

```



```

; Ts = 3 min
; 3 min x 1 MHz = Pre ( 256*256 - tmr1 ), tmr1 = 0;
; Pre = 3 x 60 x 1M / (256*256) / 256 **Escolher valor mais proximo
; O registrador tmr1 nao serah suficiente, logo tem que usar
; o contador auxiliar
MOVLW B'00000001' ; CONFIGURA TMR1
MOVWF T1CON

MOVLW VALOR_CONT_3MIM ; CONTA 7 MINUTOS
MOVWF CONT_CICLO
CLRF CONT_TEMP
RETFIE

;*****Temporizadores

ATUALIZAR_TEMPOS ; parte responsavel por aplicar as rampas
BCF INTCON,T0IF ; libera para proxima interrupcao

DECFSZ CONT_TEMP,F ; contador auxiliar para o tempo de 1 segndo
GOTO $+.4 ; proximo passo
DECFSZ CONT_1S,F ; CONTADOR DE 1SEGUNDO
GOTO $+.2 ; proximo passo
GOTO CONTOU_1S ; PASSOU UM CICLO de 1 segundo

DECFSZ CONT_CICLO ; CONTADOR PARA DAR O CICLO DESEJADO
(6,5,4,3,2,1) mSeg
RETFIE ; nao atingiu o ciclo desejado

INCF CONT_DE_CICLOS,W ; como passou 1 seg. deve ser atualizado o ciclo
de contagem
CALL TABELA_CICLOS ; tabela que chama qual tempo (mSeg) deve
ser contado
MOVWF CONT_CICLO ; RESTAURA TEMPO DE CONTAGEM

BTFSC GPIO,GP5 ; verifica se pino GP5 esta ativo
RETFIE ; esta, entao soh deve contar 1 seg e sair do codigo
; se nao:
BSF GPIO,GP5 ; ACIONA GP5
BSF INTCON,GPIE ; habilita interrupcao para sincronizar o codigo
BCF INTCON,GPIF ; limpa estado da interrupcao
RETFIE

CONTOU_1S
; CONTOU 1 SEGUNDO
MOVLW VALOR_CONT_1S
MOVWF CONT_1S ; ATUALIZA contagem do TEMPORIZADOR

BTFSC FLAGS,EH_PARADA ; VERIFICA SE ESTA PARTINDO
**EH_PARADA = 0

```

```

GOTO INICIO_RAMPA_DESACELERACAO ; esta parando **EHPARADA = 1

; ESTA PARTINDO LOGO:
; MUDA O CICLO DE CONTAGEM
INCF CONT_DE_CICLOS,F ; MOVE PARA O PROXIMO TEMPO DE
CONTAGEM

BCF INTCON,GPIF ; GARANTE QUE NAO ENTRE EM INTERRUPCOES
PASSADAS
BSF INTCON,GPIE ; habilita interrupcao para sincronismo
RETFIE

INICIO_RAMPA_DESACELERACAO
BCF GPIO,GP0 ; desabilita GP0, soh precisa uma vez, mas como sempre
vai estar
; desligado, eh mais rapido fazer isso do que ficar
testando sempre
DECF CONT_DE_CICLOS,F ; decrementa a contagem tabela para o proximo
ciclo

BSF INTCON,GPIE ; HABILITA LEITURA DO GP4
BCF INTCON,GPIF
RETFIE

;////////////////////////////////////
;*****
;
ATUALIZAR_TEMPO_7MIN

BCF PIR1,TMR1IF ; prepara para proxima interrupcao

DECFSZ CONT_1S,F ; CONTADOR DE 1SEGUNDO
GOTO $.+2 ; nao contou ainda
BCF GPIO,GP5 ; DESLIGA GP5

DECFSZ CONT_TEMP,F ; contagem para os 7 ou 3 min
GOTO $.+2 ; contador auxiliar nao zerado ainda
DECFSZ CONT_CICLO ; CONTADOR PARA DAR O CICLO DESEJADO
( 7 || 3 )
RETFIE
; contou o tempo desejado
BTSS FLAGS,EH_PARADA ; verifica qual logica deve seguir agora
GOTO LOGICA_DE_PARADA_TIMER ; contagem foi de 3 mim, pois esta
desacelerando

; CONTOU 7MIM
BSF GPIO,GP5 ; habilita GP5
; CONTA 1 SEG TMR0
MOVLW VALOR_CONT_1S ; CONTA 1 SEG
MOVWF CONT_1S
; CONTA UM CICLO DE UM SEGUNDO

```

