

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LENON BORRHER PINHEIRO

WELLINGTON LEONARDO ANITELLI CARDOZO



SISTEMA SUPERVISÓRIO SEM FIO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA DE
AR CONDICIONADO.

CURITIBA

2019

LENON BORRHER PINHEIRO
WELLINGTON LEONARDO ANITELLI CARDOZO

SISTEMA SUPERVISÓRIO SEM FIO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA DE
AR-CONDICIONADO.

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito parcial à obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista ao Curso de
Engenharia Elétrica do Setor de Tecnologia da
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ph.D. André Augusto Mariano

CURITIBA

2019

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus e Jesus Cristo que com sua graça e bondade nos concedeu a oportunidade de estar onde nunca imaginávamos que poderíamos estar. Deus é bom o tempo todo!

Agradecemos à banca avaliadora e a todos os professores do DELT, por seus ensinamentos, paciência e compreensão, os quais são inestimáveis para nós.

Eu Lenon, agradeço minha esposa Tatiane pelo apoio incondicional, carinho e compreensão durante toda essa longa e difícil caminhada, você faz parte desta conquista.

Ao meu sempre professor e maestro Daniel Paulo Silva que me incentivou, me ajudou, e além de tudo foi uma grande referência para mim.

Aos meus amigos Welington Cardozo, Bruno Xavier e Luis Fernando Lang pela parceria, por cada risada, cada trabalho, cada prova, cada café... Se tornou mais fácil a caminhada com a ajuda de vocês.

Ao professor André Augusto Mariano, por ser meu orientador, tutor e amigo. Por acreditar em mim quando nem eu acreditava que poderia me tornar um engenheiro. Lembro-me bem de suas palavras: Sua formatura será um objetivo nosso daqui para frente, e assim aconteceu. Gratidão!

Agradeço aos demais familiares e amigos por cada palavra de incentivo, por cada oração, por tudo! Gratidão a todos que fizeram parte desta jornada.

Eu Wellington, agradeço ao meu avô Lonardo Anitelli por todo o esforço que fez pela minha família, e meu tio Algacir Cardozo. Não pude agracia-los em vida com o orgulho de ter um neto e sobrinho engenheiro, mas honro suas memórias agora.

À toda minha família que acreditou em mim, me apoiou e lembrou de mim em suas orações durante a jornada mais difícil da minha vida até então.

Aos meus amigos Carlos, Giancarlo, Gustavo, Lenon, Luis Fernando e Bruno pelo seu companheirismo. Aos meus amigos Cristian e Gabriela que me agraciaram com a minha linda afilhada Ana Mariáh. Vocês são todos meus irmãos, serei sempre grato a vocês. E a todos os amigos, meu mais sincero obrigado.

RESUMO

Os sistemas de comunicação sem fio estão cada vez mais presentes no cotidiano da população, isso graças a sua praticidade e economia em relação aos sistemas cabeados convencionais. Com o progresso tecnológico, também vem o aumento no consumo da energia elétrica. Esta já vinha sofrendo um grande aumento com o uso de dispositivos que não eram tão comuns no século passado, como o ar-condicionado. Estudos estão sendo realizados para diminuir o consumo de energia. Neste trabalho é proposto um estudo do uso de um sistema de comunicação sem fio para o controle de máquinas de climatização, através de um sistema supervisorio. O intuito é diminuir o consumo de energia das mesmas, e observar se esse controle fornece o conforto térmico previsto pela NBR 16410. Este estudo é realizado através do desenvolvimento prático do sistema de comunicação, e realização de testes no mesmo. Ao final são apresentados os resultados dos testes de eficiência energética e conforto térmico, e também uma conclusão se o sistema é ou não eficiente energeticamente, e se a característica do conforto térmico é mantida.

Palavras-chave: Sistema supervisorio. Comunicação sem fio. Eficiência energética. Conforto térmico.

ABSTRACT

Wireless communication systems are increasingly present in the daily lives of the population, thanks to their practicality and economy compared to conventional wired systems. With the technological progress, also comes the increase in the consumption of electric energy. This energy was already undergoing a major increase with the use of devices that were not so common in the last century, such as air conditioning. In this assignment, it is proposed a study of the use of a wireless communication system to control the air conditioning machines, through a supervisory system. The intention is to reduce the energy consumption of the same, and to observe if this control provides the thermal comfort predicted by the NBR 16410. This study has been realized through the practical development of the communication system, and conducting tests in it. At the end, the results of energy efficiency and thermal comfort tests are presented, as well as a conclusion as to whether or not the system is energy efficient, and whether the thermal comfort feature is maintained.

Keywords: Supervisory system. Wireless communication. Energy efficiency. Thermal comfort.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	15
FIGURA 2 - EXEMPLO DE COMUNICAÇÃO PONTO-A-PONTO	16
FIGURA 3 - EXEMPLO DE COMUNICAÇÃO PONTO A MULTIPONTO.....	16
FIGURA 4 - EXEMPLO DE SINAL DIGITAL	17
FIGURA 5 - SINAL MODULADO EM 2PSK	19
FIGURA 6 - PRIMEIRO ESBOÇO DO PROJETO	22
FIGURA 7 - ESBOÇO COM A IDEIA DOS RÁDIOS.....	23
FIGURA 8 - MÓDULO MESTRE	24
FIGURA 9 - MÓDULO DIGITAL.....	25
FIGURA 10 - MÓDULO ANALÓGICO.....	27
FIGURA 11 - ANTENA	27
FIGURA 12 - MEDIDOR DE ENERGIA.....	29
FIGURA 13 - DISPLAY DO AMPERIMETRO.....	30
FIGURA 14 - DISPLAY DO MEDIDOR	30
FIGURA 15 - AR-CONDICIONADO E CONDENSADORA	31
FIGURA 16 - SENSOR PTC 100	32
FIGURA 17 - CALIBRADOR DO SENSOR.....	32
FIGURA 18 - TEMPERATURA REGISTRADA PELO APLICATIVO DE CELULAR .	33
FIGURA 19 - TEMPERATURA REGISTRADA NO SUPERVISÓRIO.....	33
FIGURA 20 - FOTO DO AQUECEDOR	35
FIGURA 21 - EXAUSTOR DE BANHEIRO	35
FIGURA 22 - FONTE DC	36
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DA LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO.....	37
FIGURA 24 - IMAGEM DO SISTEMA SUPERVISÓRIO.....	37
FIGURA 25 - SUPERVISÓRIO TESTE.....	38
FIGURA 26 - ESBOÇO DO ESQUEMÁTICO DE TESTE	38
FIGURA 27 - FOTO DA MONTAGEM INICIAL DO TESTE	39
FIGURA 28 - TESTE DE ROBUSTEZ.....	40
FIGURA 29 - ATENUADOR DE 10 dB.....	40
FIGURA 30 - MÓDULOS DENTRO DA CÂMARA ANECÓICA.....	41
FIGURA 31 - CONTATOR.....	42
FIGURA 32 - ESQUEMÁTICO DE MONTAGEM DA LÓGICA DE ACIONAMENTO	42

FIGURA 33 - TEMPERATURA DA SALA DURATE O AQUECIMENTO COM O AQUECEDOR	45
FIGURA 34 - GRÁFICO DA TEMPERATURA NO PERIODO DE 10 MINUTOS	48
FIGURA 35 - GRÁFICO DA TEMPERATURA NO PERIODO DE 2 HORAS, SET POINT 30 °C	49
FIGURA 36 - GRÁFICO DA TEMPERATURA NO PERIODO DE 2 HORAS, SET POINT 33 °C	49
FIGURA 37 - TELA DO OSCILOSCÓPIO	50
FIGURA 38 - COMPONENTE HARMÔNICO	50
FIGURA 39 - GRÁFICO DA TEMPERATURA EM UM INTERVALO DE 16 HORAS	51
FIGURA 40 - GRÁFICO DA TEMPERATURA EM UM INTERVALO DE 2 HORAS..	52
FIGURA 41 - CONSUMO DE ENERGIA REGISTRADO PELO MEDIDOR NA 1ª ETAPA	52
FIGURA 42 - GRÁFICO DE TEMPERATURA EM UM INTERVALO DE 10 HORAS	53
FIGURA 43 - GRÁFICO DE TEMPERATURA EM UM INTERVALO DE 2 HORAS..	53
FIGURA 44 - CONSUMO DE ENERGIA REGISTRADO PELO MEDIDOR NA 2ª ETAPA	53
FIGURA 45 - GRÁFICO TEMPERATURA EM UM INTERVALO DE TEMPO DE 7 HORAS	54
FIGURA 46 - CONSUMO DE ENERGIA OBTIDO PELO MEDIDOR DE ENERGIA.	54
FIGURA 47 - GRAFICO DO MOMENTO EM QUE O SISTEMA É LIGADO	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TEMPERATURA DE CORTO TÉMICO PARA VERÃO E INVERNO....	21
TABELA 2 - PARÂMETROS DO MÓDULO MESTRE	24
TABELA 3 - PARÂMETROS DO MÓDULO DIGITAL	25
TABELA 4 - PARÂMETROS DO MÓDULO ANALÓGICO	26
TABELA 5 - PARÂMETROS DO MEDIDOR DE ENERGIA	28
TABELA 6 - PARÂMETROS DO AR-CONDICIONADO.....	31
TABELA 7 - DADOS DO AQUECEDOR.	34
TABELA 8 - PARÂMETROS DO EXAUSTOR	35
TABELA 9 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E/OU SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	–	<i>Alternating Current</i>
ANATEL	–	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	–	Agência Nacional de Energia Elétrica
BTU	–	British Thermal Unit
CREA	–	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DC	–	<i>Direct Current</i>
MME	–	Ministério de Minas e Energia
PSK	–	Phase Shift Keying
PTC	–	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
RF	–	Radiofrequência
SEP	–	Sistema Elétrico de Potência
VIM	–	Vocabulário Internacional de Metrologia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTO	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	COMUNICAÇÃO	15
2.1.1	Comunicação ponto-a-ponto	15
2.1.2	Comunicação ponto-a-multiponto	16
2.2	SINAIS	16
2.2.1	Sinal Digital	17
2.2.2	Sinal Analógico	17
2.3	MODULAÇÃO E DEMODULAÇÃO DE SINAIS	18
2.3.1	Modulação PSK	18
2.4	SENSORES INDUSTRIAIS E TRANSDUTORES	19
2.4.1	Sensores	19
2.4.2	Transdutores	19
2.4.3	Termistores	20
2.4.4	Termistores PTC	20
2.5	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (EE)	20
2.6	CONFORTO TÉRMICO	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	MÓDULO MESTRE	23
3.2	MÓDULO DIGITAL	24
3.3	MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE DADOS ANALÓGICO	26
3.4	ANTENAS	27
3.5	MEDIDOR DE GRANDEZAS ELÉTRICAS DIGITAL	28
3.5.1	Alocação do medidor	29
3.5.2	Aferição do medidor de energia	29
3.6	AR-CONDICIONADO	30

3.7	SENSOR DE TEMPERATURA	31
3.8	CALIBRADOR DO SENSOR DE TEMPERATURA.....	32
3.8.1	Calibração do sensor.....	32
3.8.2	Cálculo da temperatura medida pelo sensor	33
3.9	AQUECEDOR	34
3.10	EXAUSTOR DE BANHEIRO	35
3.11	FONTE DE TENSÃO DC	36
3.12	SISTEMA SUPERVISÓRIO	36
3.13	MONTAGEM INICIAL PARA TESTE DOS MÓDULOS.....	37
3.14	TESTE DE ROBUSTEZ	39
3.15	TESTE NA CÂMARA ANECÓICA.....	40
3.16	LÓGICA DE ACIONAMENTO DO AR-CONDICIONADO.....	42
3.17	MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA RF.....	43
3.18	PREPARAÇÃO DO AMBIENTE	44
3.19	TESTE DE CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	45
4	RESULTADOS.....	48
4.1	TESTE DE ROBUSTEZ	48
4.2	TESTE NA CÂMARA ANECÓICA.....	49
4.3	TESTE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO	51
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	58
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

É cada vez mais comum o uso das redes sem fio em sistemas de comunicação que antes usavam cabos. Pode-se dizer que com crescente aumento do uso dos aparelhos celulares, essa tendência vem aumentando junto. Um exemplo disso foi o uso dos *smartphones*, que também incorporaram as redes *Wi-Fi*, que são cada vez mais indispensáveis em lugares onde nas duas últimas décadas não haviam como, casas, restaurantes, bares, shoppings.

Hoje, mais estudos estão sendo feitos para substituir a antiga rede cabeada por redes *wireless*. Afinal, esta possui muitas vantagens em relação à outra. Uma delas é a flexibilidade, pode-se chegar com a rede sem fio onde a rede cabeada não chegava ou tinha difícil acesso. Além disso, a ocupação do espaço físico é muito mais eficiente, pois não há cabos passando por paredes, calhas, forros. E ainda é possível usar a mesma rede para vários tipos de comunicação ao mesmo tempo como, voz, imagem e dados. O custo de uma rede sem fio geralmente é menor do que o de uma rede cabeada a longo prazo. Apesar dos componentes da rede sem fio normalmente serem mais caros, ela possui uma manutenção muito mais simplificada e fácil de ser feita. (RAPPAPORT, 2009).

Os únicos sistemas cabeados que ainda não podem ser substituídos pelos sem fio são os de energia elétrica. Ainda não há uma maneira de fazer a transmissão e a distribuição de energia elétrica sem os cabos. Mas as redes sem fio podem ter outro papel muito importante no que diz respeito à eletricidade. Este papel está relacionado à eficiência energética e a redução do consumo de energia.

O Brasil é um país com uma matriz energética muito rica. Um dos fatores que auxiliam nisso é a quantidade de rios em todo o território. A maior parte da matriz energética é a que provem das hidrelétricas. Isso não muda o fato do aumento do consumo de energia elétrica ser uma preocupação. Vários planos de economia de energia estão sendo elaborados todos os anos. Assim como tentativas de conscientização da população para reduzir o consumo de energia, e trocar aparelhos com um consumo muito elevado por outros mais eficientes energeticamente. (ANEEL, 2019).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Fazer o controle de temperatura, utilizando um sistema supervisor com a transmissão de dados digitais e analógicos através de um dispositivo de radiofrequência e ainda elaborar uma lógica de acionamento aplicável em máquinas de climatização.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento de um sistema de controle de temperatura para máquinas de climatização;
- Elaboração de um estudo de eficiência energética do sistema proposto;
- Elaboração de um estudo de conforto térmico do sistema proposto.

1.3 JUSTIFICATIVA

No ano de 2019, o governo decidiu suspender o horário de verão. Deve-se ao fato de ele não ser mais tão benéfico como era antigamente. O objetivo do horário de verão era reduzir o pico de consumo que havia no final da tarde, entre as 18 e 21 horas. Com o excessivo uso dos ares-condicionados, este pico de consumo, principalmente no verão, passou a ser entre as 13 e 17 horas. Assim já não há uma necessidade de um horário de verão no ponto de vista energético. (ANEEL, 2019).

O SEP (Sistema Elétrico de Potência), que é o responsável pela geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. É dimensionado para atender um valor de demanda de energia sempre acima da máxima esperada no horário do pico de consumo. E o sistema deve estar pronto para fornecer a demanda máxima em qualquer período do dia. Assim a geração de energia deve ser a mesma quantidade no horário do pico de consumo, quanto na madrugada, que o consumo é muito menor. O mesmo vale para transmissão e distribuição. Assim sendo, quanto maior for o pico de consumo, maior, mais caro e robusto deve ser o dimensionamento. Se a demanda aumenta, esse dimensionamento aumenta. Esse é um motivo para os ares-condicionados serem considerados os vilões do consumo de energia pela ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica). (ANEEL, 2019).

Sendo assim, o estudo realizado aqui, visa tentar amenizar este problema, e ainda tendo como consequência, economia na conta de energia dos consumidores.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será composto de cinco capítulos.

O primeiro capítulo traz um pouco do contexto do tema abordado, apresentando também os objetivos, justificativa e estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é apresentado a revisão bibliográfica sobre comunicação, sinais, modulação de sinais, sensores e transdutores, eficiência energética e conforto térmico.

No terceiro capítulo são apresentados os materiais usados no desenvolvimento do sistema e nos testes realizados, bem como os testes de robustez, na câmara anecóica, eficiência energética e conforto térmico. Este último com/sem o sistema RF (radiofrequência) proposto.

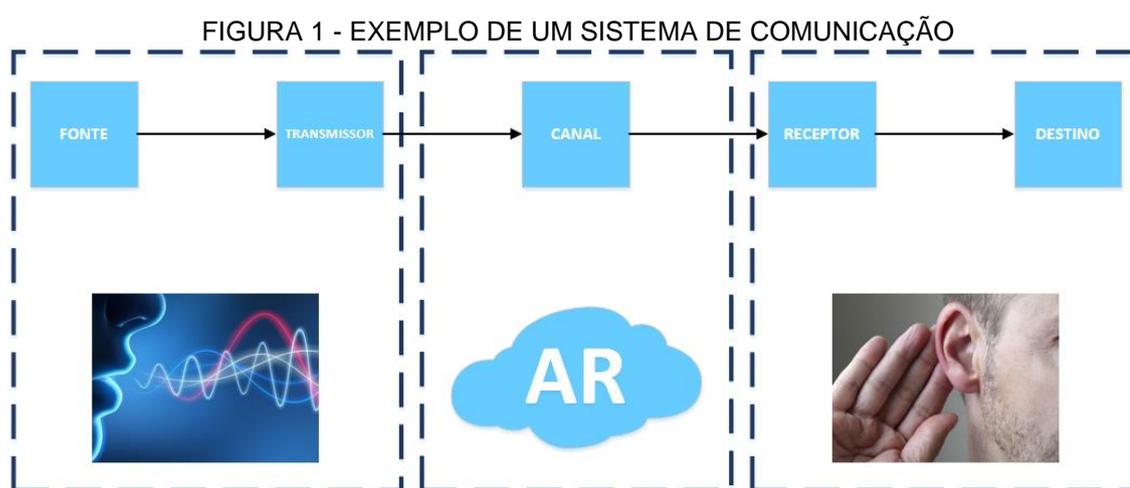
No quarto capítulo são apresentados os resultados dos testes realizados.

Por fim, no último capítulo, é apresentada a conclusão sobre o trabalho como um todo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMUNICAÇÃO

É um termo genérico que tem aplicação em várias áreas de estudo e pode ser definido de diferentes maneiras. A que será usada aqui é a definição referente a transmissão de informação, ou seja, transmitir informação de um ponto a outro no espaço físico. Para que isso ocorra é necessário um sistema de comunicação que é composto por alguns componentes. A fonte de informação é o ponto inicial, como o nome diz, é ela que irá fornecer a informação que será transmitida, como: imagens, áudio, vídeo, sinais, etc. O transmissor, é o que processa a informação e a transforma em algo que possa ser transmitido, como uma onda eletromagnética, esse processo é chamado de modulação. O canal de comunicação é o meio onde será transmitido a informação, esse meio pode ser guiado, como cabos e fibras ópticas por exemplo, ou pode ser o espaço livre, como o ar ou o vácuo. O receptor é o que recebe a informação modulada pelo transmissor, e a converte de novo na informação original, esse processo é chamado de demodulação. E por fim o destinatário é o ponto final, onde era desejado que a informação chegasse. (HAYKIN; MOHER, 2011).



FONTE: Os Autores (2019).

2.1.1 Comunicação ponto-a-ponto

Sistemas de comunicação ponto-a-ponto (*peer-to-peer*), são aqueles que possuem uma rede de comunicação formada por dois pontos de comunicação, onde

um dispositivo de comunicação é usado em cada ponto. São usados para o compartilhamento de dados em larga escala entre si. (Coulouris; Dollimore; Kindberg; Blair, 2012).



FONTE: Os Autores.

2.1.2 Comunicação ponto-a-multiponto

São aqueles compostos por vários pontos de comunicação, onde um ponto de comunicação pode ser comunicar com os demais pontos da rede. Assim como o ponto-a-ponto também são usados para compartilhamento de dados entre si. (Forouzan, 2006).

FIGURA 3 - EXEMPLO DE COMUNICAÇÃO PONTO A MULTIPONTO



FONTE: KOFRE TELECOMUNICAÇÕES (2019).

2.2 SINAIS

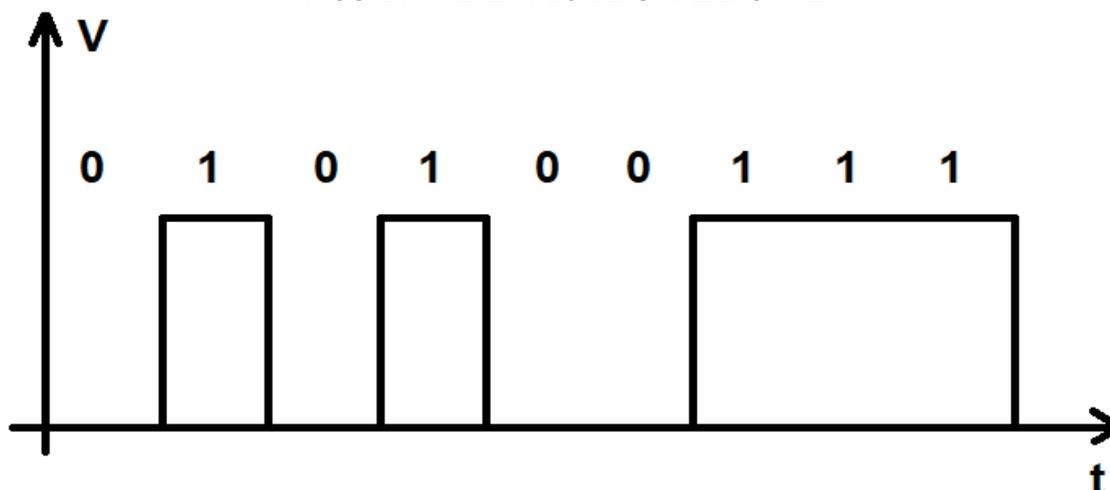
A palavra abrange diversas definições. Neste caso é mais apropriado defini-los como informações variantes ou invariantes no tempo de uma determinada grandeza física ou fenômeno da natureza como: temperatura, vazão de fluídos, etc.

Dentre os sinais, existem os sinais elétricos, esses são valores de tensão e corrente elétrica que variam no tempo. Os sinais possuem uma forma de onda, que são usadas para interpretá-los através da variação de amplitude da forma de onda. A série e transformada de Fourier fornecem o espectro de frequência, sendo possível representar sinais no domínio da frequência, como ondas senoidais, por exemplo. (SEDRA; SMITH, 2007).

2.2.1 Sinal Digital

É a representação discreta através de um sistema numérico da forma de onda do sinal original. Possui um determinado valor em determinados intervalos de tempo. Para se obter um sinal digital, primeiro é necessário passar a forma de onda por um processo conhecido como amostragem, pegando seus valores em intervalos de tempo equidistantes. A partir do sinal discreto no tempo, escolhe-se um sistema numérico para representar as amplitudes do sinal, normalmente o binário. Assim, os maiores valores de amplitude recebem o valor “1”, e os menores valores de amplitude recebem o valor “0”. (SEDRA; SMITH, 2007).

FIGURA 4 - EXEMPLO DE SINAL DIGITAL



FONTE: Os Autores (2019).

2.2.2 Sinal Analógico

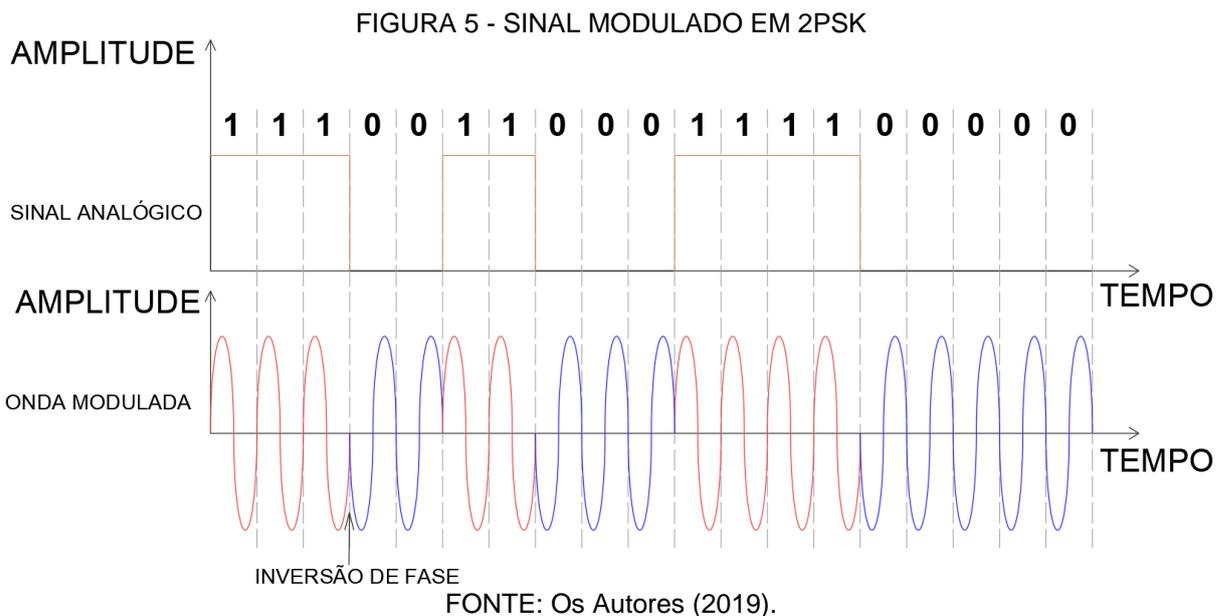
Recebe esse nome por ser análogo ao sinal do fenômeno físico que o gerou. Não tem limite para o valor da sua amplitude, que possui uma variação contínua no período em que ocorre. (SEDRA; SMITH, 2007).

2.3 MODULAÇÃO E DEMODULAÇÃO DE SINAIS

A modulação de sinais consiste em variar alguma característica de uma portadora usando uma onda modulante para variar tais características. A onda modulante é o sinal que deseja ser transmitido, podendo ser analógico ou digital. A portadora é a que transportará essa informação de um ponto ao outro, ela pode ser uma onda senoidal por exemplo. A onda portadora com suas características alteradas é o que chamamos de onda modulada. Este processo é realizado por um modulador, que fornece a onda modulada para uma antena transmissora. A demodulação consiste em recuperar o sinal em banda base original a partir da onda modulada, o processo é feito por um demodulador. Existem várias técnicas de modulação/demodulação, alguns exemplos podem ser citados: AM, modulação em amplitude (*Amplitude Modulation*); FM, modulação em frequência (*Frequency Modulation*). Essas duas técnicas são de modulação de onda contínua (*Continuous Wave, CW*), são as duas mais usadas na rádio transmissão. (HAYKIN; MOHER, 2011).

2.3.1 Modulação PSK

A modulação PSK (*Phase Shift Keying*), conhecida como modulação por chaveamento de fase, é uma técnica usada na transmissão de sinais digitais. A fase da onda portadora é invertida em 180° toda vez que há uma mudança de nível lógico. Usada por ter uma melhor imunidade à ruídos e maior velocidade na transmissão. Ela possui uma denominação M-ária (MPSK) para indicar quantos símbolos são usados para fazer esta modulação, no caso $M = 2^k$, onde $k = 1, 2, 3, \dots$. Se a fonte de sinal for binária por exemplo, significa que o número de símbolos usados para modular a portadora são dois (0 ou 1), então $k = 1$, $M = 2$. Assim a denominação para modulação binária em PSK fica, 2PSK. (RIBEIRO, 2013).



2.4 SENSORES INDUSTRIAIS E TRANSDUTORES

2.4.1 Sensores

Sensores industriais são dispositivos usados para medir fenômenos físicos, convertendo algum tipo de energia em outra forma de energia, transmitindo-a do objeto ou fenômeno que está sendo medido para o sensor. Essa definição é dada pelos autores Alexandre Balbinot e Valner João Brusamarello, no livro Instrumentação e Fundamentos de Medidas, mas os mesmos dizem que não há uma padronização na definição de sensores e transdutores. (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011). De acordo com o VIM (Vocabulário Internacional de Metrologia), “Sensor é um elemento de um sistema de medição que é diretamente afetado por um fenômeno, corpo ou substância que contém a grandeza a ser medida”. (VIM, 2012, p. 35).

2.4.2 Transdutores

São dispositivos que fazem a conversão de uma grandeza física em outro tipo de grandeza, como uma grandeza elétrica (corrente, tensão, etc.), sem causar nenhuma espécie de distúrbio no sistema a ser medido, ou ser tão insignificante que não altere em nada o processo no qual ele está inserido. Para isso é necessária uma escolha cuidadosa do transdutor, fazendo com que ele seja adequado ao uso previamente especificado. Para ser um transdutor é necessário que a variável física

de entrada e saída não sejam do mesmo tipo. Existem transdutores de entrada, que recebem sinais (físicos ou elétricos). E transdutores de saída, que são chamados de atuadores pelo fato de “atuarem” em outros dispositivos ou processos, como acionamento de máquinas elétricas. Mas às vezes os transdutores de saída apenas entregam em sua saída um sinal elétrico, ou mostram algo em um display. (BALBINOT, BRUSAMARELLO, 2011). Ainda de acordo com o VIM, “Transdutor de medida é um dispositivo de medição que fornece uma grandeza de saída que tem uma correlação específica com a grandeza de entrada”. (VIM, 2012, p. 35).

2.4.3 Termistores

São sensores resistivos de temperatura não lineares com sensibilidade elevada. Podem ser PTC's (*Positive temperature coefficient*, ou, coeficiente de temperatura positivo), ou NTC's (*Negative temperature coefficient*, ou, coeficiente de temperatura negativo). Podem operar na faixa de -100°C a $+300^{\circ}\text{C}$. (BALBINOT, BRUSAMARELLO, 2011).

2.4.4 Termistores PTC

São termistores em que o aumento da resistência do PTC é proporcional ao aumento da temperatura. Alguns são feitos de silício, fazendo com que a dependência da resistência em relação à temperatura seja linear. São chamados de tempistores ou silistores. (BALBINOT, BRUSAMARELLO, 2011).

2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (EE)

São várias as fontes de energia que fazem parte do balanço energético nacional. E hoje é indispensável o uso de energia elétrica para qualquer atividade a ser exercida pela população. As pessoas possuem em sua casa, trabalho, etc., bens que utilizam a energia elétrica para funcionar. Quanto melhor a qualidade no uso da energia elétrica na sociedade, melhor é a eficiência energética. Para exemplificar, a lâmpada que transforma energia elétrica em luz, também transforma parte da energia elétrica em calor. Como o objetivo da lâmpada é fazer a transformação da energia em

luz, a parte que é transformada em calor é considerada uma perda de energia. Então quanto maior for esta perda, menor será a eficiência da lâmpada. (CREA-PR, 2016).

Ainda, segundo o documento do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), do Ministério de Minas e Energia, atender as demandas do serviço de energia da sociedade e da economia, com o menor uso de energia primária possível, é eficiência energética. Para isso, foram desenvolvidos estudos para estimular o “Progresso Autônomo”. Este é feito por parte do consumidor, fazendo troca de equipamentos, processos e tecnologias, por outros mais eficientes, que façam o mesmo serviço. (MME, 2011).

2.6 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico é a condição de temperatura ambiente em que o indivíduo não se sente importunado pela sua sensação térmica do local. Esta condição varia de pessoa para pessoa, pois a sensação térmica depende das condições psicológicas e fisiológicas de cada um, como o metabolismo, roupas usadas, atividade física sendo exercida, e outros. (SCHMID, 2005; COSTA 1982).

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) elaborou uma norma técnica, a NBR 16401, revisão 2. Nela são estipulados parâmetros para que o conforto térmico seja aceitável para a maioria de 80%, ou mais, das pessoas dividindo um mesmo local. Para isso foi feito um estudo que designa a temperatura em dois períodos, o verão e o inverno. As temperaturas são mostradas na TABELA 1. (ABNT, 2008).

TABELA 1 - TEMPERATURA DE CORTO TÉRMICO PARA VERÃO E INVERNO

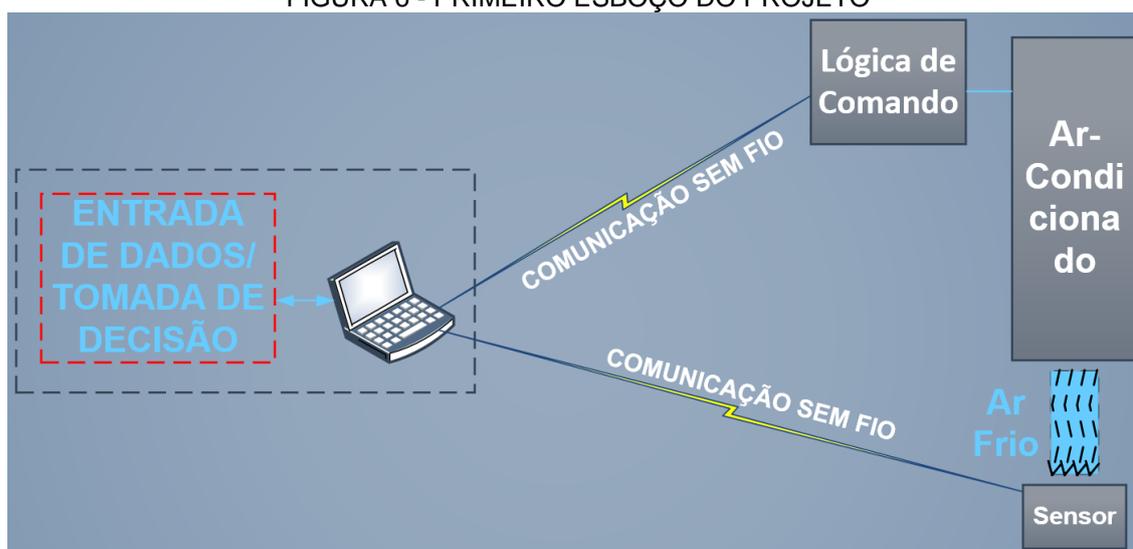
Período	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Umidade relativa (%)
Verão	22,5	25,5	65
	23,0	26,0	35
Inverno	21,0	23,5	60
	21,5	24,0	30

FONTE: Adaptado da norma técnica NBR 16401-2 (2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para fazer o controle da temperatura do ar-condicionado, foi proposto primeiro que a entrada de dados como temperatura e variação de temperatura desejadas, e também a tomada de decisão (ligar/desligar o ar-condicionado) seria feito através de uma interface no computador, que deveria ser de fácil uso. Em seguida, foi visto que, era necessário um sensor de temperatura, para verificar a temperatura do ambiente. A tomada de decisão seria feita com base nos dados fornecidos por este. Como os ar-condicionados não possuem um botão liga/desliga (a não ser em seu controle remoto), era indispensável a elaboração de uma lógica de comando para ligar/desligar o ar-condicionado. A informação do sensor, assim como a lógica de comando, teriam que ser acessadas pelo computador sem o uso de cabos.

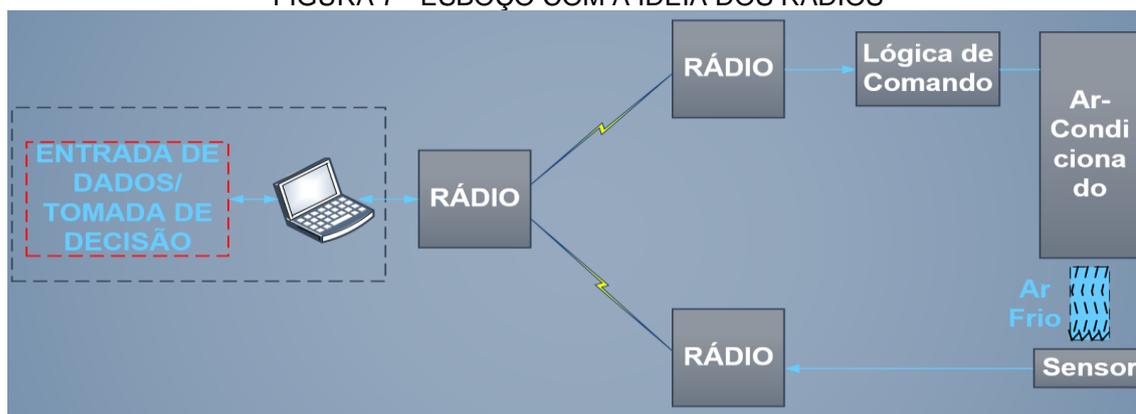
FIGURA 6 - PRIMEIRO ESBOÇO DO PROJETO



FONTE: Os Autores (2019).

Para fazer a comunicação sem fio seria necessário algum aparelho que possibilitasse uma comunicação ponto-a-multiponto. Era fundamental a presença de um transmissor para o medidor, um receptor para a lógica de comando, e um transceptor (transmissor/receptor) para o computador. A ideia foi então utilizar rádios para fazer essa comunicação. A partir disso, a ideia foi esboçada, como mostra na FIGURA 7.

FIGURA 7 - ESBOÇO COM A IDEIA DOS RÁDIOS



FONTE: Os Autores (2019).

Deu início então a procura de dispositivos que se encaixassem na execução do projeto. A especificação indispensável para o transmissor, era que este tivesse uma entrada para sinais analógicos, pois a maioria dos sensores fornecem um sinal analógico de corrente ou tensão. A do receptor era que possuísse saídas digitais para a lógica de comando. E o transceptor teria que possuir algum tipo de comunicação serial com o computador como o USB por exemplo. Transmissor e o receptor não precisavam se comunicar entre si, mas ambos precisavam se comunicar com o transceptor.

Foi encontrada uma solução com um fabricante que fabrica módulos industriais que operam com RF (radiofrequência), permitindo comunicação ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto. Estes módulos possuem rádios embutidos, com um bom alcance, satisfazendo as condições necessárias para o projeto, a um preço acessível. Os módulos são apresentados nos capítulos 3.1, 3.2 e 3.3, junto com os demais dispositivos usados na montagem do sistema e na realização dos testes.

3.1 MÓDULO MESTRE

O módulo mestre foi escolhido por ser uma unidade terminal de dados (DTU, *Data Terminal Unit*), permitindo a conexão *wireless* ponto-a-multiponto, do computador com os demais módulos, podendo ser mais de um. Além da conexão fácil dele com o computador, via USB, a interação entre eles se dá através de um supervisor instalado no computador (capítulo 3.12). Este módulo possui um rádio transceptor, podendo tanto receber, como enviar sinais, através de uma antena. Assim

como todos os outros módulos que foram escolhidos, opera no canal de frequência livre especificada pela Anatel (Agencia Nacional de Telecomunicações) de 433 MHz. Os parâmetros de funcionamento do módulo são mostrados na TABELA 2.

TABELA 2 - PARÂMETROS DO MÓDULO MESTRE

Parâmetros	
Potência de saída	1 W
Tensão de alimentação	9 V até 30 V
Alcance	2 km
Networking	
Networking	Ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto
Descrição das portas	
Porta de comunicação	USB
Geral	
Frequência	433 MHz, 450 MHz, 470 MHz, ou outras bandas
Nº de canais	15 canais
Propriedades físicas	
Dimensões	175x115x32 (mm)
Conector da antena	SMA
Tipo de antena	GMS/GPRS <i>sucker antenna</i>
Temperatura	35 °C até 75 °C
Modulação	
Tipo de Modulação	PSK (<i>Phase Shift Keying</i>)

FONTE: Adaptado do *datasheet* do módulo (2019).

FIGURA 8 - MÓDULO MESTRE



FONTE: Os Autores (2019).

3.2 MÓDULO DIGITAL

O módulo digital foi escolhido por ter os mesmos requisitos de comunicação *wireless* do módulo mestre, sendo possível a comunicação com o mesmo. Outro requisito que foi atendido por ele, é ter 4 saídas para sinais digitais. O seu rádio

também é um transceptor, e pode ser configurado para comunicação ponto-a-ponto. Este módulo é um controlador digital, pode ser analogamente comparado à um CLP (controlador lógico programável), o que permitiu que não só ele fizesse a comunicação da lógica de acionamento com o computador, mas também ser parte dessa lógica (capítulo 3.16). A TABELA 3 mostra alguns parâmetros do dispositivo.

TABELA 3 - PARÂMETROS DO MÓDULO DIGITAL

Parâmetros	
Potência de saída	1 W
Tensão de alimentação	9 V até 30 V
Alcance	2 km
Taxa de transmissão	2400 bps default
Sensibilidade de recepção	-118 dBm @ 9600 bps
Networking	
Networking	Ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto
Descrição das portas	
Entradas	4 entradas digitais
Saídas	4 saídas digitais
Porta de comunicação	RS485
Corrente	
Corrente do transmissor	< 100 mA
Corrente do receptor	< 20 mA
Geral	
Frequência	433 MHz, 450 MHz, 470 MHz, ou outras bandas
Nº de canais	16 canais
Propriedades físicas	
Dimensões	115x90x40 (mm)
Conector da antena	SMA
Tipo de antena	GMS/GPRS <i>sucker antenna</i>
Temperatura	35 °C até 75 °C
Modulação	
Tipo de Modulação	PSK (<i>Phase Shift Keying</i>)

FONTE: Adaptado do *datasheet* do módulo (2019).

FIGURA 9 - MÓDULO DIGITAL



FONTE: Os Autores (2019).

3.3 MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE DADOS ANALÓGICO

Além dos requisitos em comum com os outros módulos que já foram apresentados nos capítulos 3.1 e 3.2, a escolha deste módulo se deu ao fato de este ter 2 entradas analógicas para o sensor (FIGURA 16), que suportam uma corrente de 4 a 20 mA. Sendo compatível com o tipo de saída do sensor.

TABELA 4 - PARÂMETROS DO MÓDULO ANALÓGICO

Parâmetros	
Potência de saída	1 W
Tensão de alimentação	9 V até 30 V
Alcance	2 km
Taxa de resolução	24 bit
Precisão	±0,02%
Networking	
Networking	Ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto
Descrição das portas	
Entradas	2 entradas analógicas
Tipo da entrada	4 a 20 mA ou 0 a 5 V ou 0 a 10 V
Saídas	2 saídas analógicas
Tipo da saída	4 a 20 mA ou 0 a 5 V ou 0 a 10 V
Porta de comunicação	RS485
Corrente	
Corrente de transmissor	< 100 mA
Corrente de receptor	< 20 mA
Geral	
Frequência	433 MHz, 450 MHz, 470 MHz, ou outras bandas
N° de canais	16 canais
Propriedades físicas	
Dimensões	115x90x40 (mm)
Conector da antena	SMA
Tipo de antena	GMS/GPRS <i>sucker antenna</i>
Temperatura	35 °C até 75 °C
Modulação	
Tipo de Modulação	PSK (<i>Phase Shift Keying</i>)

FONTE: Adaptado do *datasheet* do módulo (2019).

FIGURA 10 - MÓDULO ANALÓGICO



FONTE: Os Autores (2019).

3.4 ANTENAS

As antenas usadas nos módulos foram as SMA *sucker antenna*. Elas são omnidirecionais, ou seja, propagam sinal em todas as direções. São melhores para lugares muito grandes ou com muitas barreiras como paredes e móveis. Outra vantagem é que, por propagarem sinal em todas as direções, os módulos digital (FIGURA 9) e analógico (FIGURA 10) podem em lugares distintos, e até mesmo apostos, já que, a antena do módulo mestre (FIGURA 8) enviará/receberá sinais de todas as direções.

FIGURA 11 - ANTENA



FONTE: Os Autores (2019).

3.5 MEDIDOR DE GRANDEZAS ELÉTRICAS DIGITAL.

Para testar a eficiência energética do ar-condicionado com o sistema, era necessário medir a energia elétrica para obter o consumo de energia do ar com/sem o sistema RF. Por isso foi escolhido um medidor de grandezas elétricas digital, que media os valores instantâneos de energia, assim como o consumo. O medidor possui uma conexão RJ-45, permitindo obter os seus dados na tela do computador via interface de comunicação ethernet, facilitando assim o uso dos mesmos. As grandezas são fornecidas em valor eficaz (TRUE RMS). Registra os dados periodicamente em sua memória de 2 MB (memória de massa). É possível também visualizar as medições através de seu display de LED de 16 caracteres (8x2). Na TABELA 5 são apresentados os parâmetros listados no *datasheet* do dispositivo.

TABELA 5 - PARÂMETROS DO MEDIDOR DE ENERGIA

Parâmetros	
Tensão de Alimentação	60 a 280 V CA (corrente alternada) ou 100 a 350 V CC (corrente contínua)
Frequência de operação	50 Hz (42,5 até 57,5 Hz) 60 Hz (51 até 69 Hz)
Faixa de Medição de Corrente (modo direto)	200 mA até 63 A CA
Faixa de Medição de Tensão (modo direto)	20 a 500 V CA (fase-fase)
Sobrecarga	1,5 (V máximo) (1 s)
Interfaces de Comunicação	Ethernet
Conexão	RJ-45
Velocidade	10/100 Mbps
Protocolo	Modbus TCP/IP, MQTT ou Bacnet IP
Interfaces digitais	
Entradas	
Quantidade	3 Entradas
Tensão	12-24 V CC
Frequência Máxima	2 Hz
Saídas	
Quantidade	2 Saídas a Relé
Características Elétricas	250 V, 2 A (CA ou CC)
Acionamento	Comando via interface serial
Interfaces Analógicas	
Entradas	2 Entradas analógicas
Características Elétricas	0 a 10 V CC ou 4 a 20 mA CC
Temperatura	1 entrada para PT-100 (0 a 150°C)

FONTE: Adaptado do *datasheet* do medidor (2019).

FIGURA 12 - MEDIDOR DE ENERGIA



FONTE: Os Autores (2019).

3.5.1 Alocação do medidor

Como o medidor possui, dois métodos de medição, direta e indireta. Um desses métodos teria que ser escolhido. Devido a ordem de grandeza da corrente elétrica demandada pelo do ar-condicionado é aconselhável utilizar a medição indireta.

Decido o método de medição, a alocação do medidor foi feita, para isso, colocou-se o medidor próximo aos cabos de alimentação do ar-condicionado. Estes cabos então foram passados por dentro do medidor. O medidor possui um transformador de corrente dentro dele. A corrente dos cabos gera um campo magnético em volta dos mesmos. O campo magnético dos cabos se acoplam nas espiras do transformador do medidor, induzindo uma corrente elétrica, esta corrente é medida. Depois o microcontrolador do medidor utiliza uma relação matemática para saber qual foi a corrente que induziu a corrente medida. Com o resultado, ele utiliza outras relações matemáticas para fornecer as demais grandezas.

3.5.2 Aferição do medidor de energia

Para validação dos valores das grandezas do medidor de foi feito uma aferição. Colocou-se um amperímetro nos cabos de alimentação do ar-condicionado e medida a corrente. Ajustou-se o medidor para medir a mesma corrente. A medida obtida pelo medidor podia ser vista em seu display. E os resultados foram compatíveis.

FIGURA 13 - DISPLAY DO AMPERIMETRO



FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 14 - DISPLAY DO MEDIDOR



FONTE: Os Autores (2019).

3.6 AR-CONDICIONADO

O condicionador de ar escolhido foi um split convencional com 9000 BTUs/h. A temperatura mínima é de 17 °C, suficiente para climatizar o ambiente escolhido (FIGURA 15), além de ter o selo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Isso significa que o consumo da máquina é baixo, ideal para comparar com o sistema RF proposto. Possui uma condensadora externa. As especificações são mostradas na TABELA 6.

TABELA 6 - PARÂMETROS DO AR-CONDICIONADO

Alimentação	
Tensão de alimentação	220 V
Consumo	814 W
Parâmetros de Operação	
Capacidade	9000 BTU/h
Vazão	570 m ³ /h
Gás Refrigerante	R-410A
Ciclo	Quente/Frio
Temperatura de refrigeração	20 °C – 32 °C (para 28 °C – 40 °C externo)
Temperatura de aquecimento	17 °C – 30 °C (para 0 °C – 24 °C externo)
Dimensões	
LarguraxAlturaxProfundidade	44x56,3x36,6 mm

FONTE: Adaptado do catálogo do dispositivo (2019).

FIGURA 15 - AR-CONDICIONADO E CONDENSADORA



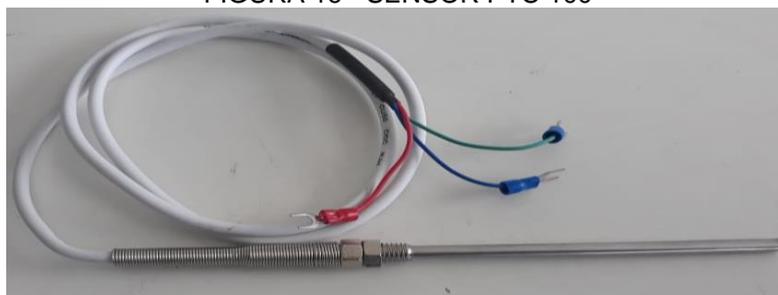
FONTE: Os Autores (2019).

3.7 SENSOR DE TEMPERATURA

Para fazer as medições de temperatura, era necessário um sensor de temperatura para medir a temperatura ambiente, a escolha estava entre um RTD

(*Resistance Temperature Detector*) e um Termistor. O termistor PTC 100 foi o escolhido, pois, sua calibração era fácil, seus parâmetros de medição eram compatíveis com os que eram necessário no sistema, e seus dados de temperatura eram bem precisos.

FIGURA 16 - SENSOR PTC 100



FONTE: Os Autores (2019).

3.8 CALIBRADOR DO SENSOR DE TEMPERATURA

O calibrador do sensor de temperatura foi necessário pois o sensor de temperatura atingia uma temperatura de 99 °C sem um limitador de corrente, função que foi exercida pelo calibrador.

FIGURA 17 - CALIBRADOR DO SENSOR



FONTE: Os Autores (2019).

3.8.1 Calibração do sensor

Para o funcionamento do sensor, foi necessário o uso de um limitador de corrente para diminuir a corrente que fluía pelo sensor. Pois se ambos não forem usados em conjunto, a temperatura no sensor elevasse de tal modo que fica impossível de realizar qualquer medida com o mesmo. Para exercer a função de limitador foi usado o calibrador (FIGURA 17). O limitador fez com que o sensor fornecesse uma corrente de 4 a 20 mA em sua saída. Conectou-se o calibrador à uma das portas do módulo analógico, e o PT-100, ao calibrador. Usou-se um aplicativo de

celular para ver qual era a temperatura ambiente (FIGURA 18), e comparada com o valor de temperatura no sistema supervisório (FIGURA 19). Como os valores não eram compatíveis, foi necessário fazer um ajuste no calibrador.

O calibrador possui dois trimpots, um deles para um ajuste mais robusto, e outro para ajuste fino. Então girou-se os trimpots até que a temperatura que era mostrada no supervisório fosse a igual a temperatura mostrada pelo aplicativo de celular.

FIGURA 18 - TEMPERATURA REGISTRADA PELO APLICATIVO DE CELULAR



FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 19 - TEMPERATURA REGISTRADA NO SUPERVISÓRIO



FONTE: Os Autores (2019).

3.8.2 Cálculo da temperatura medida pelo sensor

Como o sensor não fornece um valor de temperatura, mas sim um valor de corrente que varia com a temperatura. Uma conversão é feita pelo supervisório, para saber qual é a temperatura. O sistema supervisório, fica instalado como um software no computador, no qual é colocado a temperatura desejada para o ambiente (*setpoint*), e um valor para a variação de temperatura ΔT . Este sistema é o que “toma a decisão” de ligar/desligar o condicionador de ar. Também mostra a temperatura do

sensor em tempo real. A temperatura no PT-100 é convertida em um sinal de 4 (temperatura mínima) até 20 mA (temperatura máxima) pelo próprio sensor. Este sinal é transmitido ao módulo analógico, que por sua vez, transmite ao módulo mestre. Do módulo mestre, a informação é recebida pelo supervisor, que através da relação matemática (1), transforma essa informação em temperatura. (Para saber mais sobre o supervisor ver a seção 3.12).

$$VTS = (VCS - 4 \text{ mA}) * \left(\frac{T_{max}}{T_{min}} \right) \quad (1)$$

onde:

VTS = Valor atual da temperatura no sensor

VCS = Valor atual da corrente fornecida pelo sensor

T_{max} = Temperatura máxima do sensor

T_{min} = Temperatura mínima do sensor

3.9 AQUECEDOR

Em determinada etapa dos testes (capítulo 3.18) foi necessário aquecer o ambiente devido as condições climáticas no momento de realização, a temperatura externa estava muito baixa. Foi escolhido um aquecedor para aquecer o ambiente, que aumentava em aproximadamente 8 °C a temperatura interna, com alimentação monofásica (127 V) e com baixo consumo. As características do equipamento estão na TABELA 7.

TABELA 7 - DADOS DO AQUECEDOR.

Parâmetros		
Tensão de alimentação	127 V	
Corrente	11 A	
Frequência da alimentação	60 Hz	
Volume de ar	275 m ³ /h	
Potência de aquecimento	Nível 1	800 W
	Nível 2	1300 W
Peso	7,5 kg	
Dimensões (Largura x Altura x Profundidade)	680x240x320 mm	
CLASSE	I	

FONTE: Adaptado do manual do ar-condicionado (2019).

FIGURA 20 - FOTO DO AQUECEDOR



FONTE: Os Autores (2019).

3.10 EXAUSTOR DE BANHEIRO

Este foi usado para o teste de robustez, devido a simplicidade do teste, não era preciso o uso de um material muito complexo, apenas um dispositivo de ventilação para circular o ar em cima do sensor.

TABELA 8 - PARÂMETROS DO EXAUSTOR

Parâmetros	
Tensão de alimentação	127 V/ 220 V
Frequência de alimentação	60 Hz
Potência consumida	28 W/ 22 W

FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 21 - EXAUSTOR DE BANHEIRO



FONTE: Os Autores (2019).

3.11 FONTE DE TENSÃO DC

A fonte de tensão DC da WEG usada foi escolhida devido ao uso anterior em projetos de painéis de automação, e seus excelentes resultados. A fonte é usada para alimentar os módulos e também o cantator usado na lógica de comando. Ela fornece uma tensão de 24 V DC na sua saída.

FIGURA 22 - FONTE DC

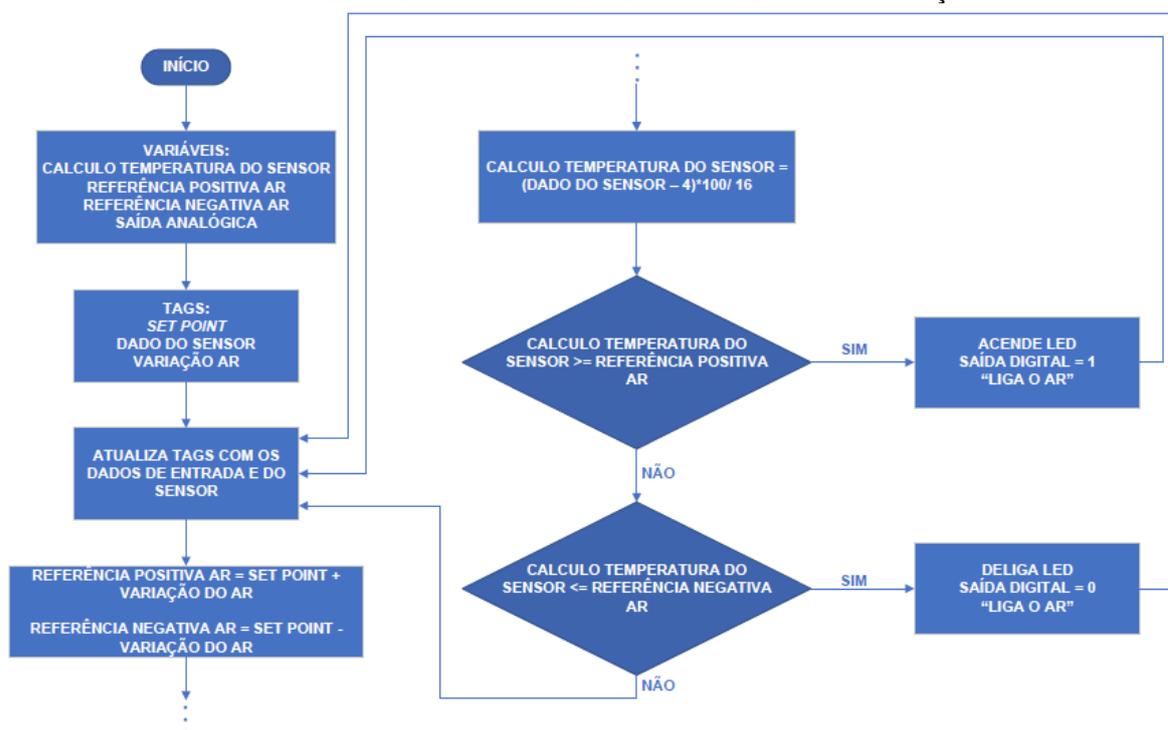


FONTE: Os Autores (2019).

3.12 SISTEMA SUPERVISÓRIO

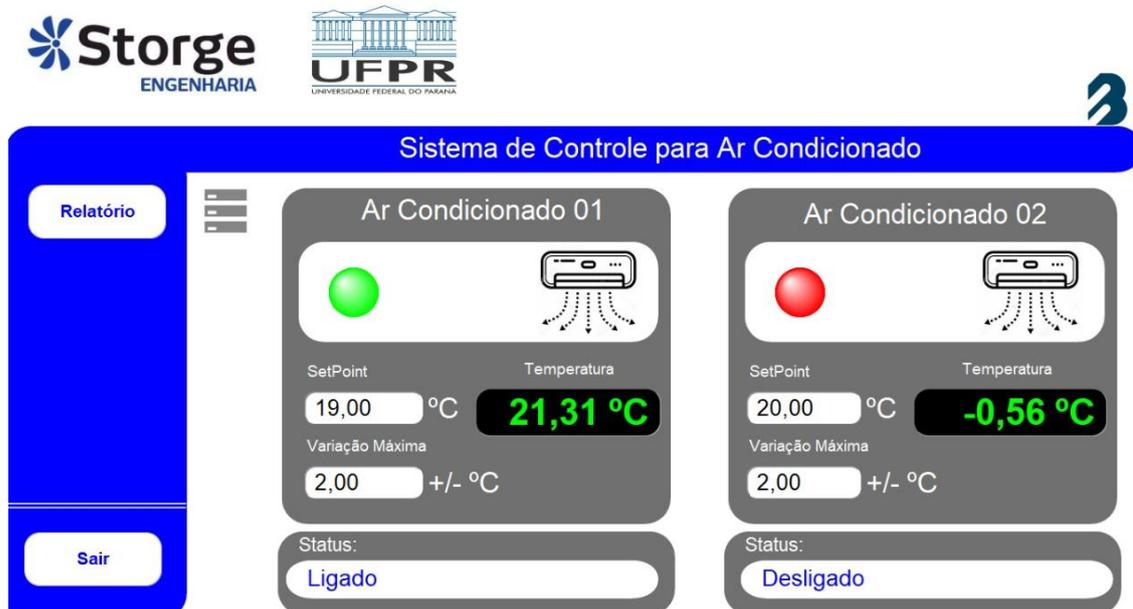
O sistema supervisório foi desenvolvido em um software chamado LAquis versão 4.1. Este é um software que usa a programação em SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), para a criação do visual do esquemático. Este tipo de programação permite o uso de componentes visuais que existem em sua biblioteca, como leds, displays e caixas de texto para entrada de dados. O software também permite o uso de linguagens de programação como C, C#, C++, visual basic, para criar lógicas de programação. A linguagem usada foi a linguagem *script*. O uso de TAGS foi necessário para armazenar valores das mesmas em um banco de dados. Esse banco de dados é usado para gerar relatórios no supervisório com set *point*, variação de temperatura, data, hora, temperatura no sensor. Com estes dados o supervisório também pode gerar gráficos, mostrando a variação da temperatura no sensor em função do tempo. A lógica de programação é mostrada no fluxograma abaixo:

FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DA LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO



FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 24 - IMAGEM DO SISTEMA SUPERVISÓRIO



FONTE: Os Autores (2019).

3.13 MONTAGEM INICIAL PARA TESTE DOS MÓDULOS

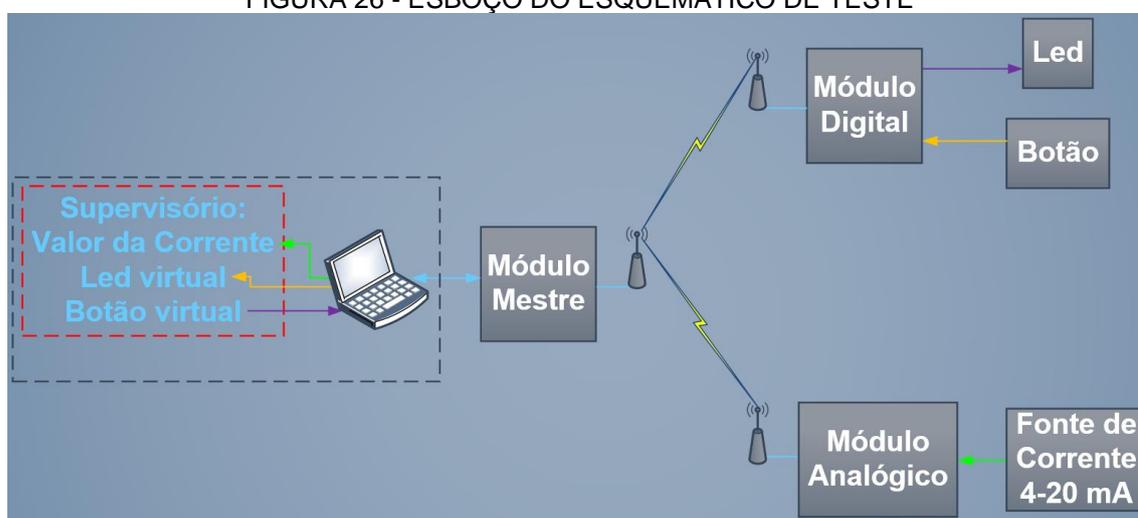
Para entender como funcionavam os módulos e a interação entre si, foi feito um esquema teste. Este consistia em usar uma fonte de corrente variável para simular um sensor e testar o módulo analógico, o valor da corrente era mostrado no

supervisório (FIGURA 25). Foi usado em conjunto com o módulo digital um led e um botão que aqui serão chamados de “led real” e “botão real”. Os componentes reais são mostrados na FIGURA 27. O led real era acionado por um “botão virtual”, e o botão real acionava um “led virtual”. Os “componentes virtuais” eram parte de um sistema supervisório teste desenvolvido para essa etapa do trabalho apresentado na FIGURA 25.



FONTE: Os Autores (2019).

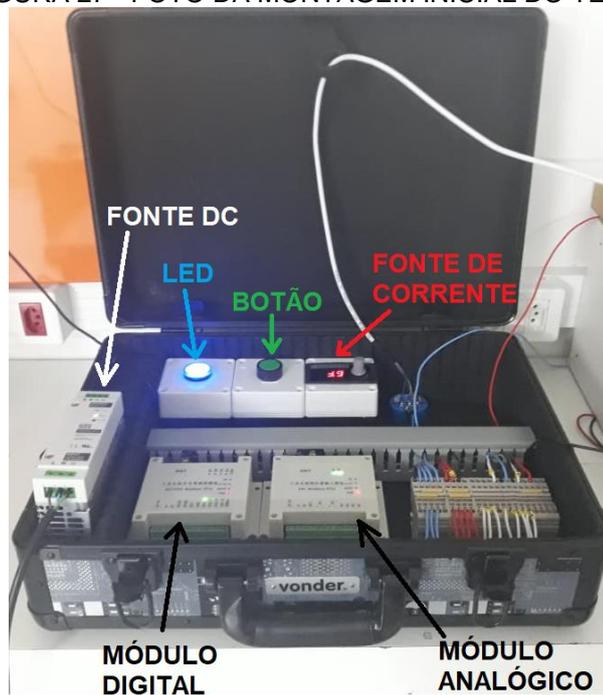
FIGURA 26 - ESBOÇO DO ESQUEMÁTICO DE TESTE



FONTE: Os Autores (2019).

O módulo mestre (FIGURA 8) foi conectado ao computador via cabo USB. A fonte de corrente conectada ao módulo analógico (FIGURA 10), o led real e o botão real conectados ao módulo digital (FIGURA 9). Ambas as conexões são RS-485. Então toda a vez que o valor da fonte de corrente era variado, o valor desta corrente era mostrada na tela do computador. Toda vez que o botão virtual no supervisório era acionado, o led real acendia/apagava. Toda vez que o botão real era pressionado, o led virtual acendia/apagava.

FIGURA 27 - FOTO DA MONTAGEM INICIAL DO TESTE

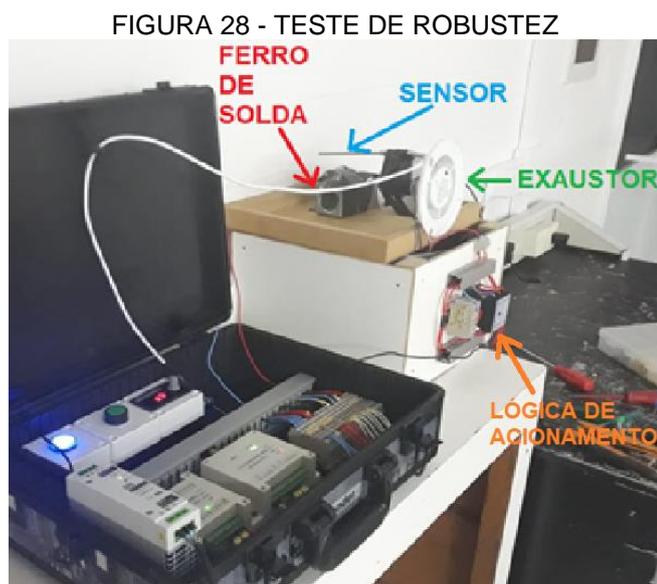


FONTE: Os Autores (2019).

3.14 TESTE DE ROBUSTEZ

O teste foi realizado para testar a robustez do produto, afim de saber se o sistema suporta inúmeros ligamentos/desligamentos durante um longo período de funcionamento ininterrupto sem apresentar falhas durante o processo.

O exaustor (FIGURA 21) foi ligado a uma lógica de acionamento, que o ligaria/desligaria. A lógica é conectada ao módulo digital (FIGURA 9). Ao módulo analógico (FIGURA 10), foi conectado o calibrador (FIGURA 17) em conjunto com o PTC 100 (FIGURA 16). Para aquecer o sensor, foi fixado próximo dele um ferro de solda que ficou ligado intermitentemente durante o processo. Para resfriar foi usado um exaustor de banheiro. Foi definido um *set point* de 30 °C, e uma variação de temperatura de $\pm 2,5$ °C no supervisório (FIGURA 24). O *set point* não poderia ser muito baixo, pois o exaustor não resfria o ar, apenas o faz circular, e então o sistema ficaria sempre ligado porque, a temperatura no sensor nunca chegaria no valor determinado. Começado o teste, toda vez que a temperatura medida pelo sensor ultrapassava o valor 32,5 °C, o ventilador ligava. Quando a temperatura ficava abaixo de 27,5 °C, o ventilador desligava. Ao final do último dia de teste o *set point* foi alterado para 33 °C.



FONTE: Os Autores (2019).

3.15 TESTE NA CÂMARA ANECÓICA

Os módulos se comunicam via radiofrequência. Então o professor orientador sugeriu que os dispositivos fossem levados para um teste na câmara anecóica, para a validação dos dados do *datasheet* do equipamento. A câmara é uma sala projetada para conter reflexões, tanto de ondas sonoras como eletromagnéticas. Fora da câmara foram medidas algumas características dos dispositivos, como frequência de operação, harmônicas, potência de saída do sinal. Esses dados são necessários para uma futura homologação dos módulos na ANATEL.

Para iniciar os testes, foi colocado um atenuador de 10 dB (FIGURA 29) na saída do módulo digital (FIGURA 9), que foi conectado a um osciloscópio. O osciloscópio forneceu a potência de saída do sinal, assim como a frequência da onda emitida e as componentes harmônicas.

FIGURA 29 - ATENUADOR DE 10 dB



FONTE: Os Autores (2019).

Durante a execução do teste de robustez (capítulo 3.14), foi notado que ao aproximar muito as antenas (FIGURA 11) dos módulos digital e analógico, uma da outra, o sistema apresentava alguns problemas como: *delay* no acionamento dos leds, *delay* na aquisição de dados da fonte de corrente. Para verificar o que provocava isso, os módulos foram inseridos dentro da câmara anecóica. Dentro da câmara existe uma antena. Foram posicionados os módulos perto da antena. O módulo (FIGURA 8) mestre ficou do lado de fora da câmara com sua antena (FIGURA 11) à uma distância de 3 metros da antena do módulo digital. A antena de dentro da câmara começou a irradiar um campo elétrico em direção à antena do módulo. O valor deste campo foi aumentado cada vez mais, até que chegasse à um valor de potência que embaralhasse o sinal enviado pelo módulo analógico.

FIGURA 30 - MÓDULOS DENTRO DA CÂMARA ANECÓICA



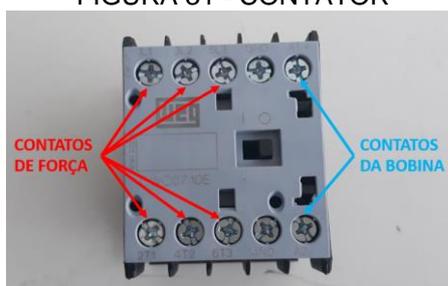
FONTE: Os Autores (2019).

3.16 LÓGICA DE ACIONAMENTO DO AR-CONDICIONADO

A lógica de acionamento (FIGURA 32) foi desenvolvida em duas partes, a de comando e a de força.

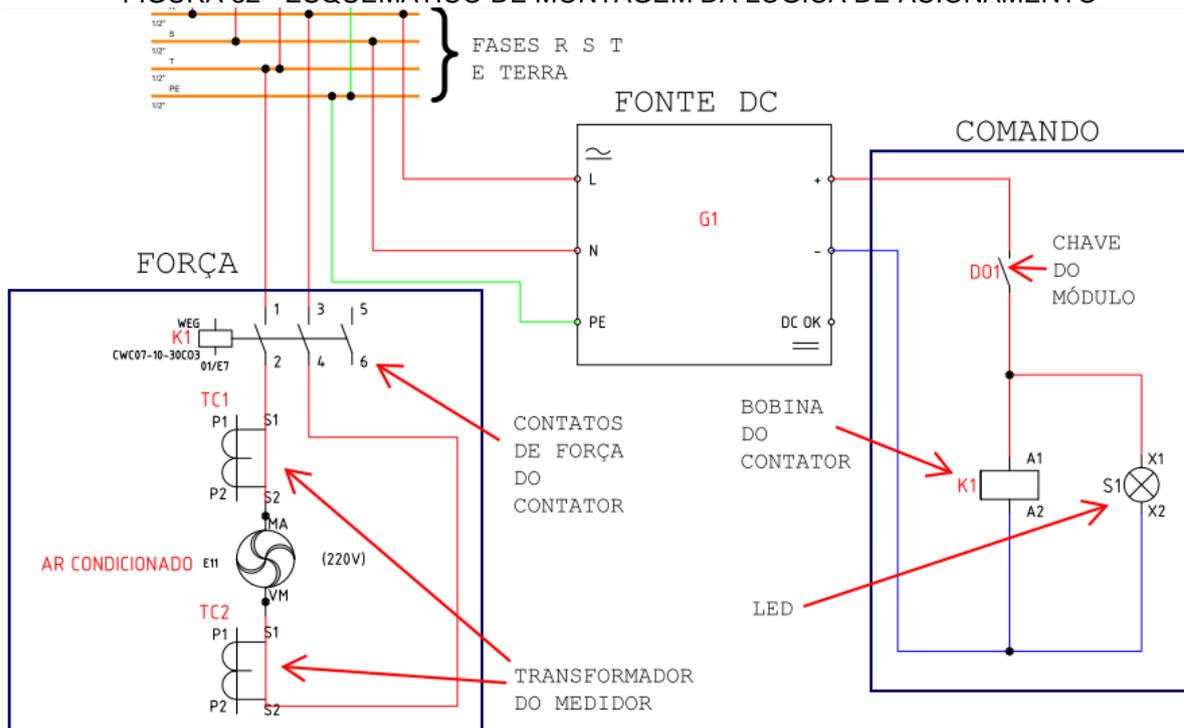
A lógica de comando inclui o módulo digital (FIGURA 9) operando como chave, e a bobina de um contator (FIGURA 31) para acionar ou desligar a parte de força (energização/desligamento do ar-condicionado). O módulo recebe um sinal do supervisor (FIGURA 24) para abrir ou fechar a chave. A chave fechada energizava uma bobina do contator, fechando os contatos de força e energizando o led, acionando a parte de força e ligando o ar. A chave aberta desliga a energia da bobina do contator, abrindo os demais contatos, desligando a parte de força e o ar.

FIGURA 31 - CONTATOR



FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 32 - ESQUEMÁTICO DE MONTAGEM DA LÓGICA DE ACIONAMENTO



FONTE Os Autores (2019).

3.17 MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA RF

Para começar os testes de conforto térmico e eficiência energética (capítulo 3.19), a montagem do sistema que seria usado em conjunto ao ar-condicionado (FIGURA 15) foi feita.

Os módulos analógico (FIGURA 10) e digital (FIGURA 9) foram fixados dentro de uma maleta (FIGURA 27), com o uso de trilhos DIN, o mesmo tipo de fixação usada em painéis de comando. Para arrumar os cabos que foram ligados aos componentes dentro da maleta, foram usadas canaletas. Para facilitar a conexão e desconexão entre os dispositivos, foram usados bornes de conexão tipo mola.

O módulo mestre (FIGURA 8) foi conectado ao computador via cabo USB. Este módulo possui uma antena (FIGURA 11), que funciona como receptora e/ou transmissora, que cuja conexão é do tipo SMA. O módulo mestre se comunica com o sistema supervisor no computador, passando a informação recebida do sensor para o supervisor ou recebendo do supervisor o comando para ligar ou desligar o ar-condicionado. O sensor de temperatura (FIGURA 16) foi conectado a um limitador de corrente (FIGURA 17), este ligado ao módulo analógico. O módulo analógico se comunica com o módulo mestre repassando a informação do sensor via RF, através de sua antena que opera como transmissora, e é conectada na entrada SMA do módulo. O módulo digital se comunica com o módulo mestre via RF, recebendo o sinal para ligar/desligar o condicionador de ar. O módulo faz parte de uma lógica de comando (FIGURA 32) que liga/desliga o ar-condicionado. Todos os módulos foram alimentados por fontes de tensão de 24 V DC.

Com o condicionador de ar desligado, o supervisor faz a soma do *set point* com a variação de temperatura e subtrai o valor da temperatura obtida pelo sensor. Se o resultado for 0 ou negativo, então o módulo mestre manda um sinal ao módulo digital, e a lógica de comando liga o ar condicionado. Se o resultado for positivo, não faz nada.

Com o condicionador de ar ligado, o software subtrai do valor do *set point* a variação de temperatura e compara com o valor da temperatura no sensor. Se o resultado for 0 ou positivo, o módulo mestre mais uma vez manda um sinal ao módulo digital e a lógica de comando desliga o ar-condicionado. Se o resultado for negativo, não faz nada.

3.18 PREPARAÇÃO DO AMBIENTE

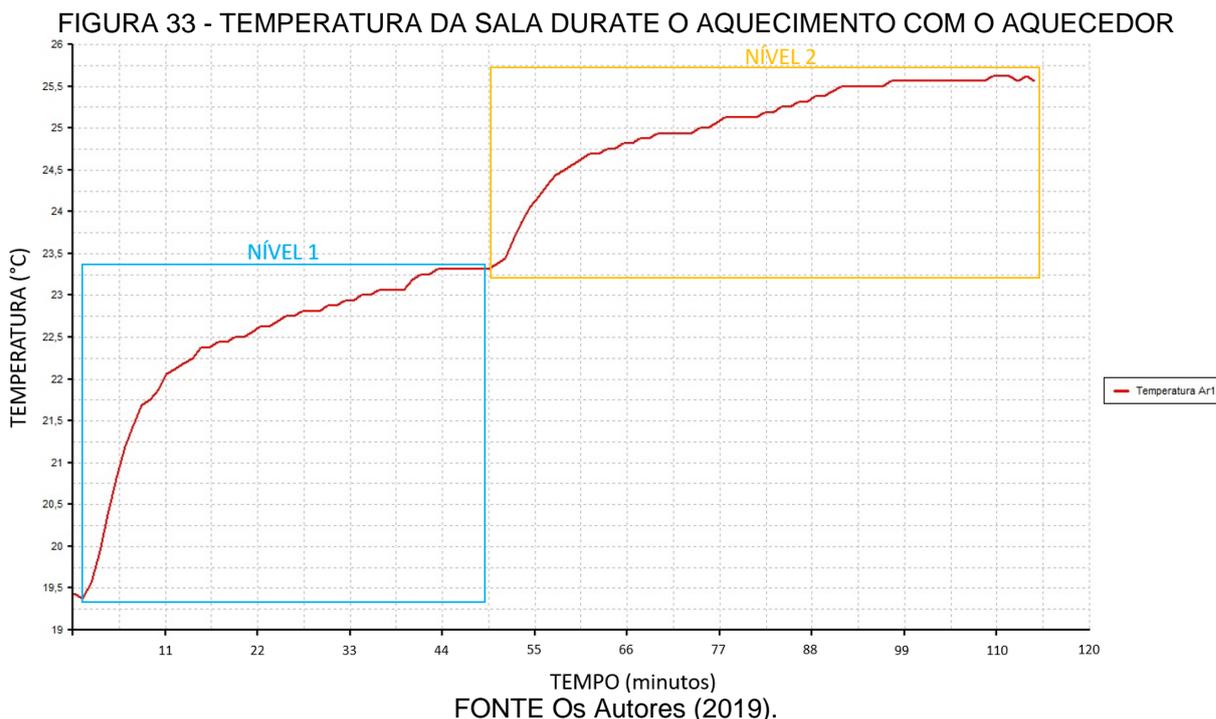
Os testes são completamente dependentes do clima. Sendo assim a consulta à previsão do tempo foi feita no período de testes. Neste período, a temperatura externa de Curitiba e região estava muito desfavorável aos testes. A previsão era de tempo frio durante 2 semanas aproximadamente. A temperatura prevista era em média 18 °C durante as semanas. A temperatura interna deviria ser de pelo menos 20 °C durante o dia e noite, para ter certeza que as medições não seriam comprometidas com o não funcionamento do ar-condicionado (FIGURA 15). Pois se a temperatura interna fosse menor que 17 °C, o ar condicionado não ligaria, já que esta é temperatura mínima que ele atinge.

Adaptações foram feitas na sala onde o ar-condicionado ficava, para poder extrair todos os dados que eram necessários. Fechadas as portas da sala, permaneceram assim por 30 minutos. A finalidade disso era saber qual era a temperatura interna em relação à temperatura externa. A temperatura interna marcada pelo sensor foi 19,06 °C, pelo aplicativo de celular era 19 °C, e a previsão era 18 °C.

Como isso foi feito durante o dia, era de se esperar que a noite, principalmente no período da madrugada, a temperatura seria menor. Como a lógica de comando já estava feita para o ar-condicionado operando no modo resfriamento, era necessário aquecer o ambiente de alguma forma.

Foi então usado um aquecedor portátil (FIGURA 20) para aquecer o ambiente. Como este possui dois níveis de aquecimento, foram testados os dois níveis para ver qual mais se adequava aos testes. Com as portas fechadas, ficou operando no seu nível 1 de aquecimento durante 30 minutos para saber até que temperatura interna era possível alcançar. A temperatura ambiente do local chegou a 23,06 °C. Depois foi deixado mais 30 minutos no seu nível 2 de aquecimento. A temperatura ficou em 25,56 °C. Para evitar que o frio da madrugada interferisse nas medidas, decidiu-se deixar o aquecedor operando no nível 2 de aquecimento.

O sensor (FIGURA 16) foi colocado na parede oposta em relação a parede em que estavam posicionados o condicionador de ar e o aquecedor, na metade da altura da parede. Assim o sensor tinha a mesma exposição à ambos os condicionadores.



3.19 TESTE DE CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Uma vez o sistema montado e pronto para operar, é necessário a coleta de dados para fazer os estudos de conforto térmico e eficiência energética. Os objetivos principais do projeto são: avaliar a eficiência energética (economia de energia) (capítulo 3.19) com o sistema RF e ver se o conforto térmico (capítulo 3.19) é comprometido. Para isso estes testes foram realizados ao mesmo tempo, já que, os dados para ambos seriam retirados do funcionamento do condicionador de ar com e sem o sistema RF. Com os resultados dos testes do condicionador de ar funcionando independentemente e depois com o sistema RF, seria possível compara-los e tirar as conclusões necessária. Os dados para o conforto térmico eram armazenados no banco de dados do supervisor, através da temperatura fornecida pelo sensor. Os dados de consumo de energia elétrica eram armazenados no medidor de energia.

Para a realização dos testes foi escolhido um período que tivesse uma condição climática que permanecesse constante por mais ou menos 8 dias, para que a temperatura influenciasse uniformemente no desempenho do ar condicionado em todos os testes. O *set point* de temperatura do ar-condicionado também deveria ser o mesmo para ambas as etapas do teste.

1ª Etapa – Ar-Condicionado Operando de Maneira Independente

Com a sala preparada para iniciar os testes, primeiro o ar-condicionado foi deixado em pleno funcionamento num período de 48 horas ininterruptamente. Isso foi feito para obter a variação de temperatura do ar condicionado, bem como o consumo de energia do mesmo. Os dias em que os testes foram realizados foram 01/06/2019 e 02/06/2019. Nestes dias, a temperatura do primeiro dia estava entre 15 °C e 18 °C, e do segundo dia foi entre 14 °C e 17 °C. O *set point* do condicionador foi ajustado em seu próprio controle, ficou em 21°C. O sistema supervisor foi usado unicamente para receber as informações de temperatura do sensor, retirando assim dados para o estudo do conforto térmico. A variação de temperatura do ar condicionado é aproximadamente $\pm 0,5$ °C.

2º Etapa – Ar-Condicionado Operando Com o Sistema RF Com Variação de Temperatura de $\pm 1,0$ °C.

Na segunda etapa, o sistema RF entra em operação junto ao condicionador de ar também por 48 horas. Desta maneira o sensor de temperatura era usado não só para obter informação e ser armazenada no banco de dados, mas também como informação para tomada de decisão pelo supervisor. Os dias em que os testes foram realizados foram 03/06/2019 e 04/06/2019. A temperatura externa no primeiro dia era entre de 13 °C e 19 °C. No segundo dia era entre 9 °C e 16 °C. O *set point* de temperatura de operação do condicionador de ar agora foi ajustado no supervisor, assim o acionamento do ar-condicionado seria feito pelo supervisor. O *set point* ajustado foi de 21 °C.

3º Etapa – Ar-Condicionado Operando Com o Sistema RF Com Variação de Temperatura de $\pm 1,5$ °C.

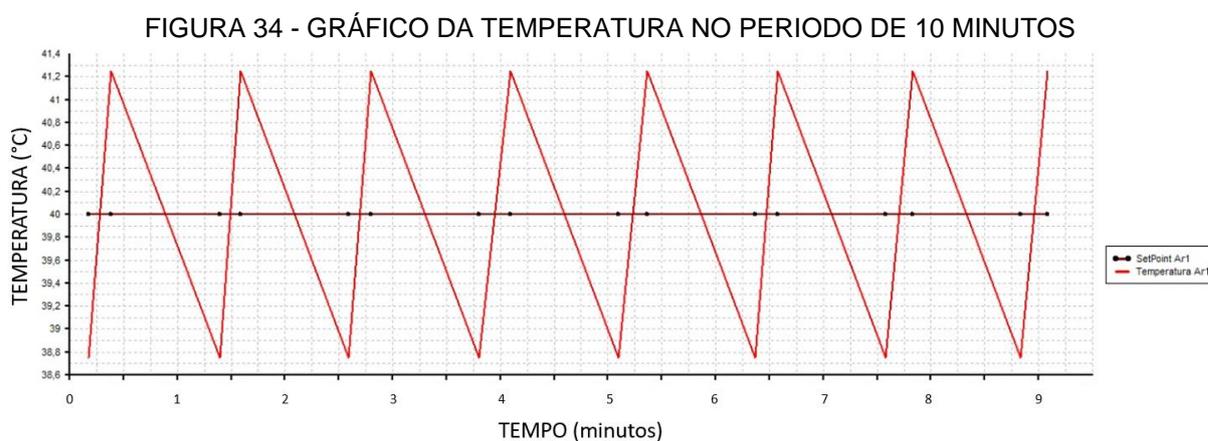
Nesta etapa a variação de temperatura foi aumentada para $\pm 1,5$ °C. Assim era possível ter uma ideia de como a variação de temperatura influenciava no tempo de operação do condicionador de ar, e como variava o consumo de energia. O tempo de teste foi o mesmo, 48 horas. Os dias em que os testes foram realizados foram 10/06/2019 e 11/06/2019. Temperatura no primeiro dia foi entre 17 °C e 22 °C, no

segundo foi entre 16 °C e 23 °C. *Set point* ficou em 21 °C. Depois de coletados todos os dados, os estudos de eficiência energética e conforto térmicos foram realizados (capítulo 4.3).

4 RESULTADOS

4.1 TESTE DE ROBUSTEZ

Após o início do teste, foi possível plotar os gráficos da temperatura medida pelo PTC 100 em função do tempo do bando de dados do sistema supervisório. Uma amostra é exposta na FIGURA 34.



FONTE: Os Autores (2019).

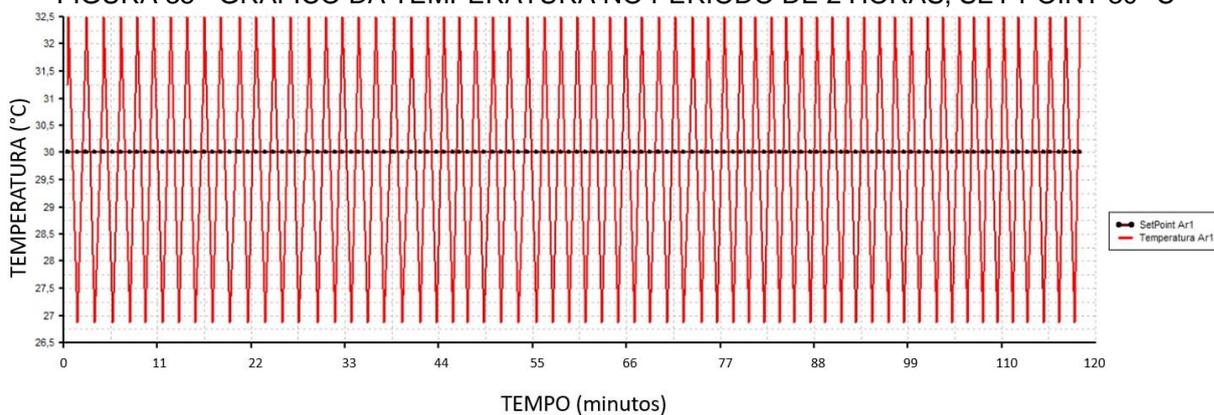
Para interpretar o gráfico, a linha preta é a temperatura do *set point*. A linha vermelha é a temperatura registrada pelo sensor. A linha vermelha “subindo” é o tempo que o exaustor está desligado. O pico positivo é quando o exaustor liga, a linha vermelha “descendo” é o tempo que o exaustor está desligado. E o pico mínimo é quando o exaustor desliga.

Como é mostrado na FIGURA 34, a operação do exaustor é bem regular quando usado com o sistema sem fio. Isso pode ser observado na temperatura que varia equivalentemente acima e abaixo do *set point*.

Depois de algum tempo de funcionamento, o sistema parou de funcionar. O ar condicionado não ligava. Isso por que o sensor foi danificado por ficar exposto ao calor do ferro de solda em uma distância muito curta, a temperatura nele não baixava de 30 °C. A solução foi aumentar o *set point* para 33 °C. Assim o sistema voltou a funcionar normalmente o restante do teste.

Ao final do teste, o sistema ainda funcionava em perfeitas condições. Algumas amostras da medida de temperatura ao longo do teste são mostradas na FIGURA 35 e FIGURA 36.

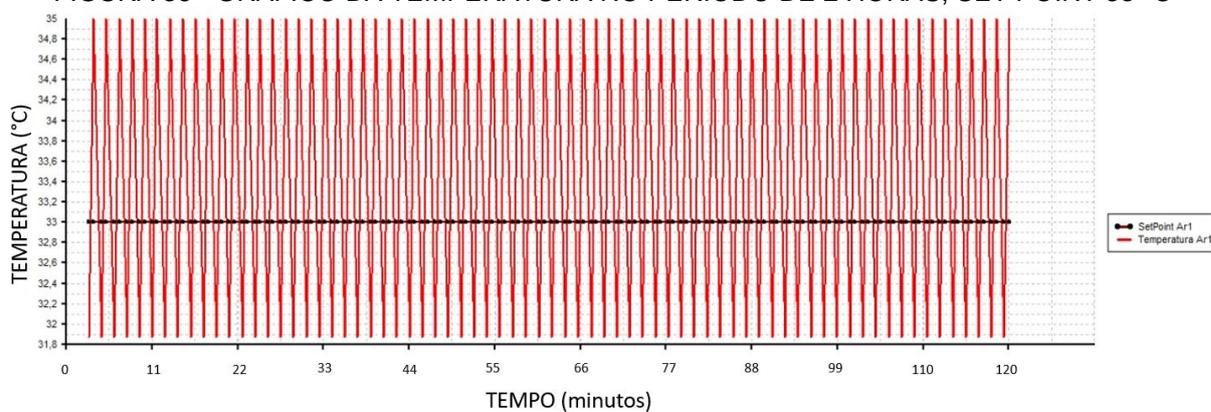
FIGURA 35 - GRÁFICO DA TEMPERATURA NO PERÍODO DE 2 HORAS, SET POINT 30 °C



TEMPO (minutos)

FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 36 - GRÁFICO DA TEMPERATURA NO PERÍODO DE 2 HORAS, SET POINT 33 °C



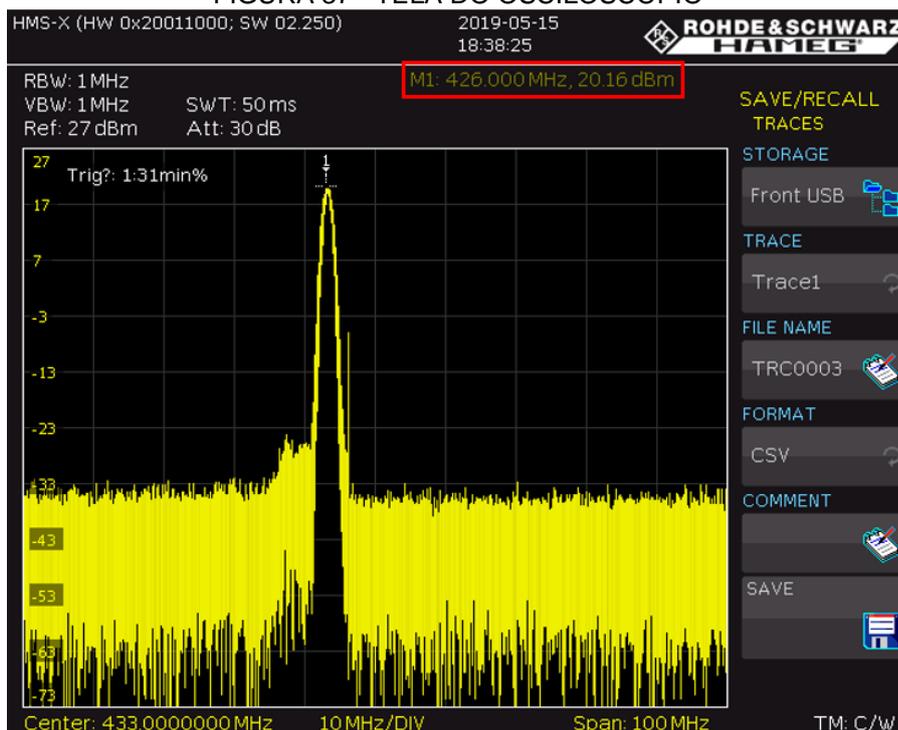
TEMPO (minutos)

FONTE: Os Autores (2019).

4.2 TESTE NA CÂMARA ANECÓICA

As primeiras informações obtidas foram, potência de saída e frequência de operação, através do osciloscópio. A potência de saída é 20 dBm com o atenuador. Sem o atenuador fica em 30 dBm, ou 1 W, o que corresponde ao valor do *datasheet*. A frequência de operação ficou em 426 MHz, um pouco abaixo do especificado pelo fabricante. A imagem do display do osciloscópio é mostrada na FIGURA 37.

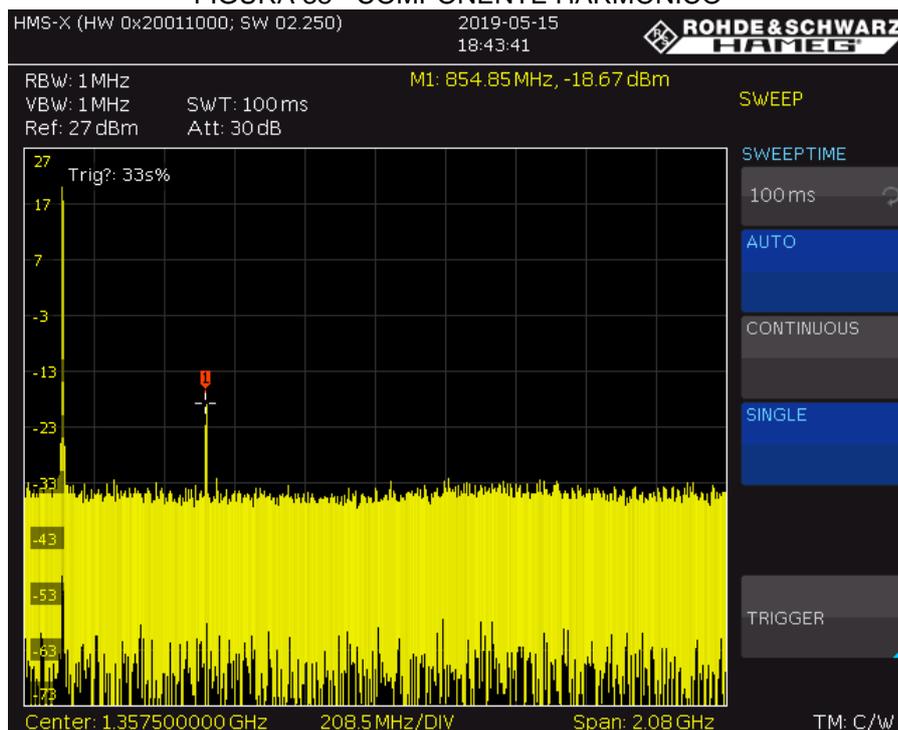
FIGURA 37 - TELA DO OSCILOSCÓPIO



FONTE: Os Autores (2019).

Foi descoberto durante este teste, foi descoberto que o sinal possui o 2º harmônico em 854 MHz, o mesmo canal de frequências dos celulares, com potência de -18,67 dBm.

FIGURA 38 - COMPONENTE HARMÔNICO

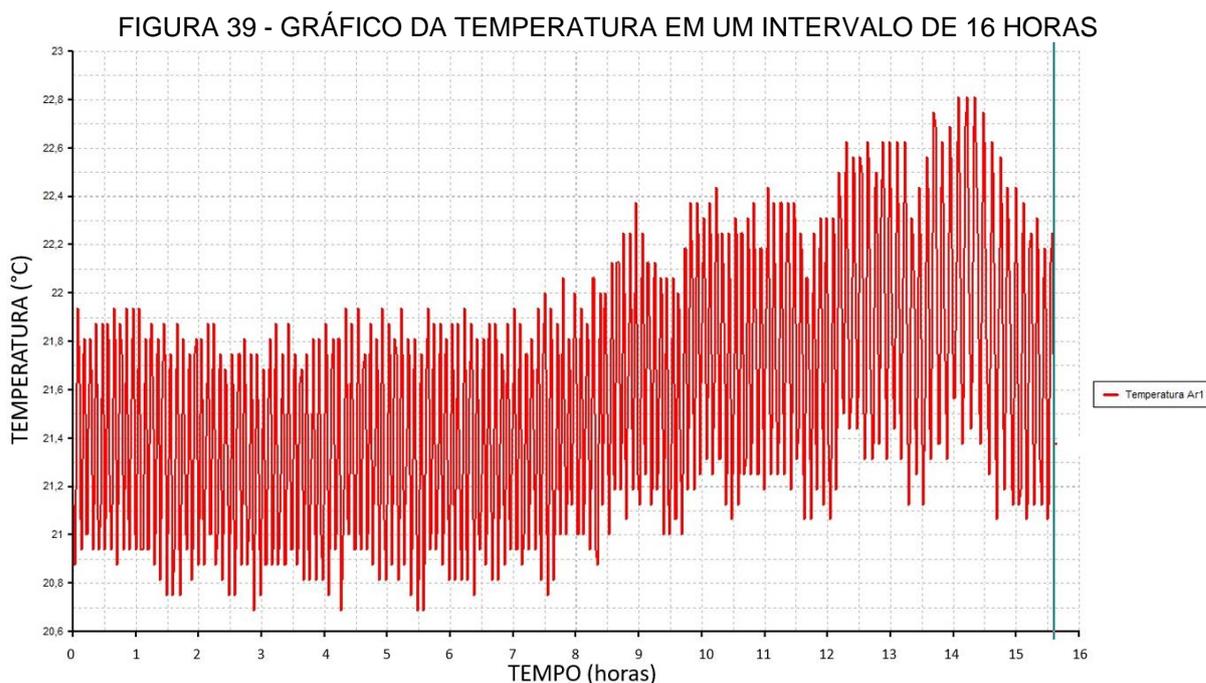


FONTE: Os Autores (2019).

Dentro da câmara anecóica, o rádio suportou um campo elétrico de 0,46 V/m sem embaralhar o sinal que ele enviava. A potência do sinal do campo elétrico foi de 5 dBm. Como a potencia emitida pelas antenas dos módulos analógico e digital são maiores que 5 dBm, uma interfere no sinal da outro quando estão muito próximas

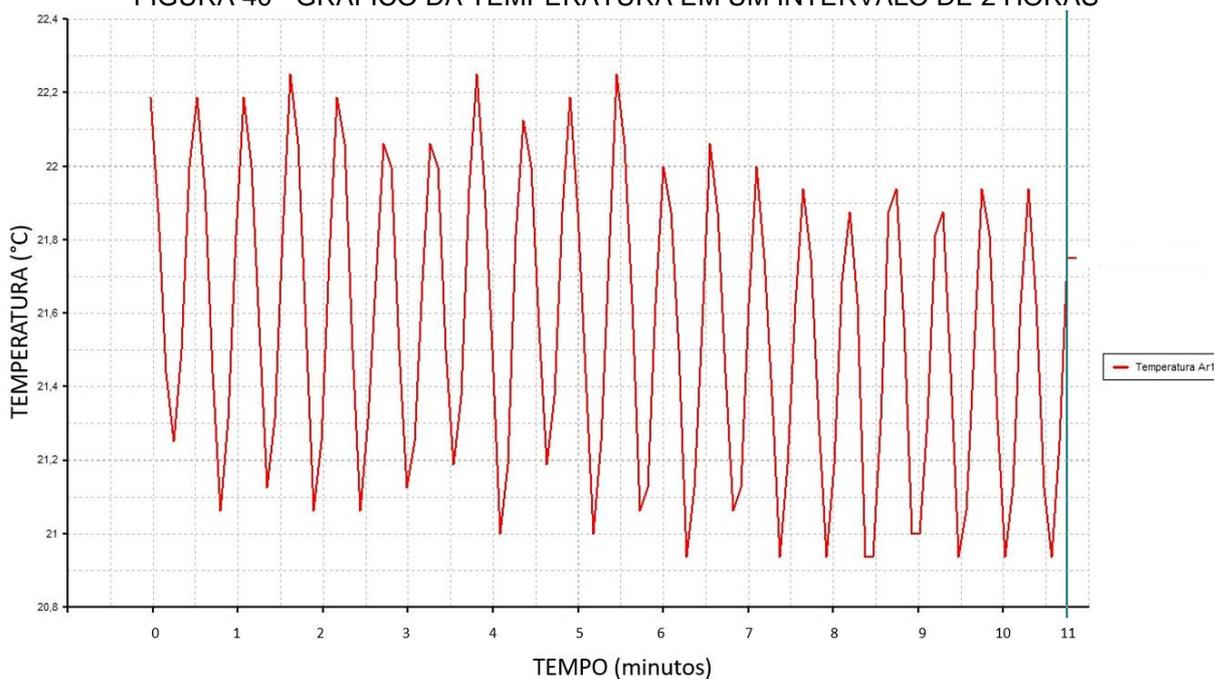
4.3 TESTE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO

1ª Etapa: Como foi dito no capítulo 3.19, a primeira etapa foi medir a temperatura e o consumo de energia do ar-condicionado operando de forma independente. Usando o sistema supervisorio apenas para medir a temperatura do ambiente, sem que o próprio sistema interferisse no funcionamento do ar-condicionado. O gráfico da temperatura, e o consumo registrado pelo medidor de energia são mostrados na FIGURA 39, FIGURA 40 e FIGURA 41.



FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 40 - GRÁFICO DA TEMPERATURA EM UM INTERVALO DE 2 HORAS



FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 41 - CONSUMO DE ENERGIA REGISTRADO PELO MEDIDOR NA 1ª ETAPA

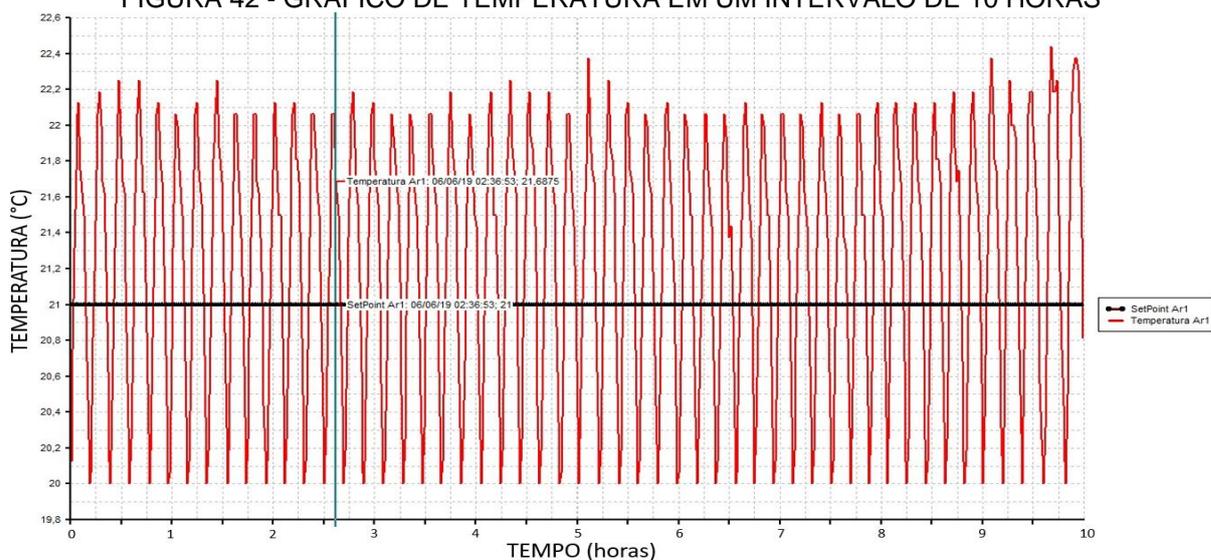
Energia		
EA+	12,753	kWh
ER+	1,081	kVArh
EA-	-0,001	Wh
ER-	-1,904	kVArh
Demanda		
DA	203,041	W
MDA	669,482	W
DS	223,354	VA
MDS	673,386	VA

FONTE: Os Autores (2019).

Pode-se observar na FIGURA 40, que a operação do ar-condicionado é muito irregular, afirma-se isso pois a temperatura no sensor também é irregular. As temperaturas em que o ar liga/desliga são sempre diferentes, e em determinado momento, a temperatura máxima do ambiente chega quase a 2 °C acima do *set point* da máquina.

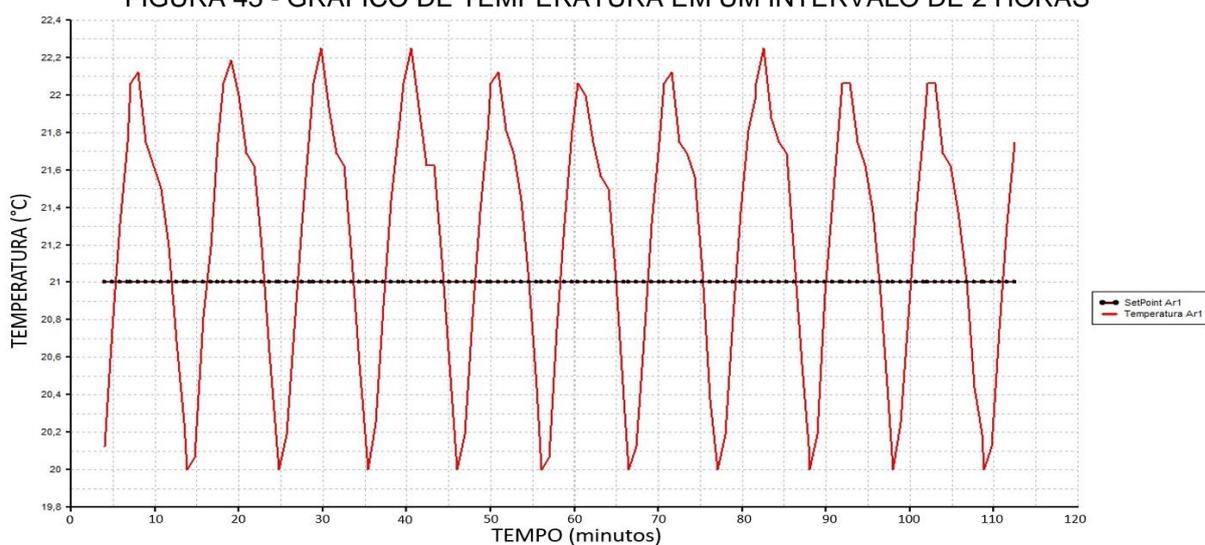
2ª Etapa: Nesta etapa, o sistema RF foi colocado em conjunto com o condicionador de ar, e a variação de temperatura foi de $\pm 1,0$ °C. Os gráficos e o consumo na FIGURA 42, FIGURA 43 e FIGURA 44.

FIGURA 42 - GRÁFICO DE TEMPERATURA EM UM INTERVALO DE 10 HORAS



FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 43 - GRÁFICO DE TEMPERATURA EM UM INTERVALO DE 2 HORAS



FONTE: Os Autores (2019).

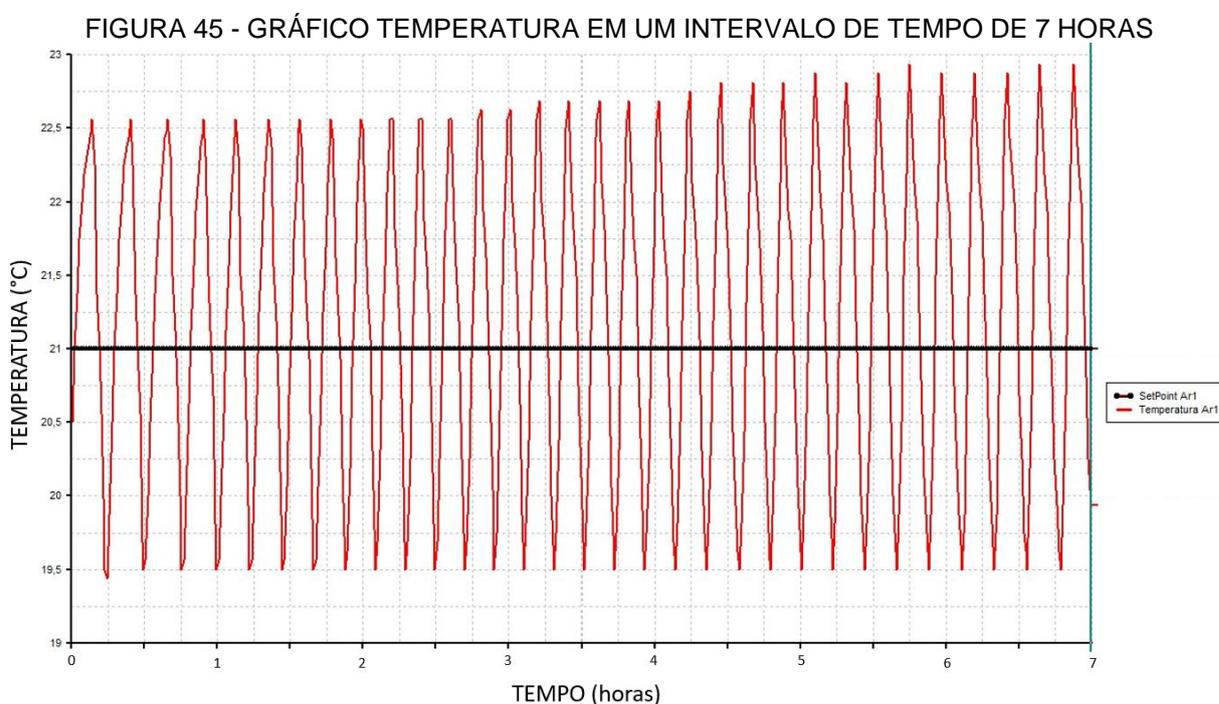
FIGURA 44 - CONSUMO DE ENERGIA REGISTRADO PELO MEDIDOR NA 2ª ETAPA

Energia		
EA+	10,349	kWh
ER+	1,102	kVArh
EA-	0,000	Wh
ER-	-1,247	kVArh
Demanda		
DA	0,000	W
MDA	516,423	W
DS	0,000	VA
MDS	518,415	VA

FONTE: Os Autores (2019).

Com o sistema RF, a operação do ar-condicionado é mais regular que sem o sistema. É possível perceber isso comparando as FIGURA 39 e FIGURA 42. O *set point* da FIGURA 42 fica posicionado no centro da variação de temperatura, enquanto a variação de temperatura na FIGURA 39, oscila de maneira diferente em torno do set point ao longo do tempo.

3ª Etapa: Nesta etapa, com a variação de temperatura de $\pm 1,5$ °C. Foram extraídos os gráficos da variação de temperatura e o consumo, para ser comparado com os outros casos. Gráfico da operação do ar-condicionado e o registro do consumo medido pelo medidor são mostrados na FIGURA 45 e FIGURA 46.



FONTE: Os Autores (2019).

FIGURA 46 - CONSUMO DE ENERGIA OBTIDO PELO MEDIDOR DE ENERGIA

Energia		
EA+	9,637	kWh
ER+	1,381	kVArh
EA-	-0,005	Wh
ER-	-1,167	kVArh
Demanda		
DA	0,000	W
MDA	525,697	W
DS	0,000	VA
MDS	531,986	VA

FONTE: Os Autores (2019).

Notou-se que a operação do condicionador de ar nas etapas 2 e 3, são completamente compatíveis. A variação de temperatura é uniforme em ambos os casos, tanto para temperaturas acima do *set point*, quanto abaixo dele.

Comparação dos resultados das etapas 1 e 2:

A primeira etapa teve um consumo de 12,753 kWh (FIGURA 41). A segunda etapa, teve o consumo de 10,349 kWh (FIGURA 44). Fazendo a comparação dos consumos usando uma regra de três:

$$\begin{array}{l} 12,753 \text{ kWh} - 100\% \\ 10,349 \text{ kWh} - X\% \end{array} \quad (2)$$

$$X = \frac{10,349 \text{ kWh}}{12,753 \text{ kWh}} * 100\% \quad (3)$$

$$X = 81,15 \% \quad (4)$$

$$100 \% - 81,15 \% = 18,85 \% \quad (5)$$

Aumentando a variação de temperatura em $\pm 0,5$ °C, foi possível ter uma redução no consumo de energia de 18,32 %. Com esse dado é possível fazer um cálculo bem simples da economia na fatura anual de energia. Levando em conta que o preço do kWh é R\$ 0,54 (sem levar em consideração a demanda).

Para o ar-condicionado sem o sistema RF, com um consumo total de 12,753 kWh (FIGURA 41) em 48 horas, supondo que fique operando 12 h/dia, 22 dias/mês, 265 dias/ano:

$$1 \text{ ano} = 3180 \text{ h} \quad (6)$$

$$\text{Consumo anual} = \frac{12,753 * 3180}{48} = 844,88625 \text{ kWh} \quad (7)$$

$$\text{Tarifa anual} = 0,54 * 844,88625 = \text{R\$ } 456,24 \quad (8)$$

Para o ar-condicionado com o sistema RF e variação de temperatura de $\pm 1,0$ °C com um consumo de 10,349 kWh (FIGURA 44), 12 h/dia, 20 dias/mês, 265 dias/ano:

$$1 \text{ ano} = 3180 \text{ h} \quad (9)$$

$$\text{Consumo anual} = \frac{10,349 * 3180}{48} = 685,6212 \text{ kWh} \quad (10)$$

$$\text{Tarifa anual} = 0,54 * 685,6212 = \text{R\$ } 370,24 \quad (11)$$

A redução na conta anual fica:

$$456,24 - 370,24 = \text{R\$ } 86,00 \quad (12)$$

Comparando as etapas 1 e 3:

A primeira etapa teve um consumo de 12,753 kWh (FIGURA 41). A segunda etapa, teve o consumo de 9,637kWh (FIGURA 46). Fazendo a comparação dos consumos:

$$\begin{array}{l} 12,753 \text{ kWh} - 100\% \\ 9,637 \text{ kWh} - X\% \end{array} \quad (13)$$

$$X = \frac{9,637 \text{ kWh}}{12,753 \text{ kWh}} * 100\% \quad (14)$$

$$X = 75,57 \% \quad (15)$$

$$100 \% - 75,57 \% = 24,43 \% \quad (16)$$

Com o resultado da equação (8), é possível saber quanto gera de economia a variação de $\pm 1,5$ °C, usando uma regra de três:

$$100\% - \text{R\$ } 456,24 \quad (17)$$

$$24,43\% - Y$$

$$Y = \frac{456,24 * 24,43}{100} = R\$ 111,46 \quad (18)$$

A economia com o sistema RF com variação de temperatura é R\$ 111,46. A

TABELA 9 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

COM/SEM SISTEMA RF	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA (°C)	CONSUMO EM 48 HORAS (kWh)	TARIFA ANUAL (R\$)
Sem	±0,5	12,753	456,24
Com	±1,0	10,349	370,24
Com	±1,5	9,637	344,78

FONTE: Os Autores (2019).

Quanto ao conforto térmico, o aumento de ±0,5 °C na variação de temperatura, entre o sistema sem o sistema RF e com o sistema RF, não interfere com o padrão estabelecido pela NBR 16401-2 (capítulo 2.6). Já que, no pior caso (inverno, 21,0 °C a 23,5 °C, ou, 21,5 °C a 24,0 °C), é possível ter uma variação de ±1,25 °C em torno de 22,25 °C (ou em torno de 22,75 °C). Então o sistema RF operando com uma variação de temperatura de ±1,0 °C, não afeta o conforto térmico.

Já no verão, a faixa de temperatura que garante conforto térmico é 22,5 °C a 25,5 °C (TABELA 1), então uma variação de ±1,5 °C em torno de 24°C, pode garantir o conforto térmico do ambiente.

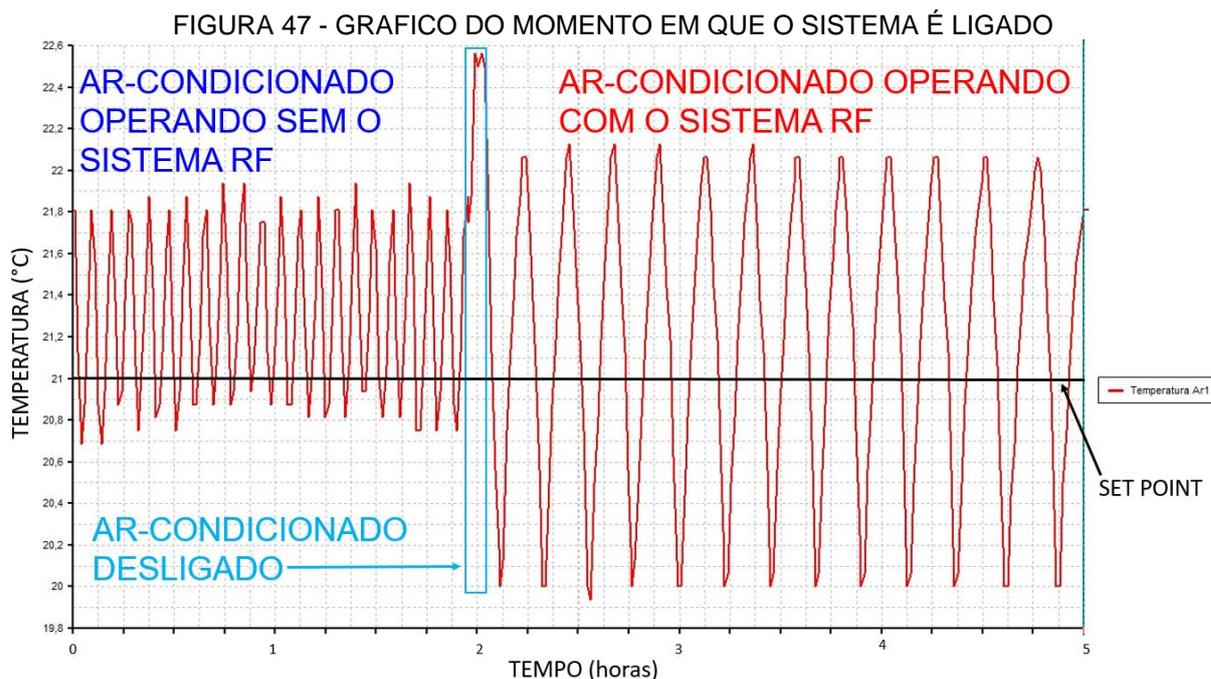
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Depois de analisar os gráficos do teste de robustez, e verificar que não houve nenhuma falha ou danos nos módulos, que o supervisor não apresentou nenhum problema, e que o ar-condicionado operou intermitentemente no período estabelecido. Pode-se concluir que o sistema aguenta inúmeros ligamentos/desligamentos, durante um longo período de tempo. Assim o sistema é robusto o suficiente para ingressar no mercado.

Na câmara anecóica, verificou-se potência de saída dos sinais dos controladores, tanto analógico quanto digital, é exatamente 1 W, como especifica o *datasheet* (LENSEN-TECH, 2019). Um problema é que, o sinal possui um componente harmônico na frequência de 826 MHz. Esta faixa de frequência é usada pelos celulares, o que pode gerar problemas com a ANATEL, já que esta frequência é exclusiva para o uso dos celulares. Foi recomendado pelo professor que auxiliou nos testes, o uso de um filtro na saída de cada um dos módulos.

O teste de eficiência energética correspondeu às expectativas iniciais. O sistema, aumentando a variação de temperatura gera redução no consumo de energia, pois o equipamento permanece menos tempo ligado. Também o número de partidas do compressor, que consome mais energia na partida é menor, tornando-o mais eficiente. Portanto um pequeno acréscimo da variação de temperatura resultou em uma considerável economia de energia, sem comprometer o conforto térmico do usuário.

Com os resultados dos testes de conforto térmico e eficiência energética, foi observado que, a variação da temperatura pode ser controlada de forma simples e precisa. Dando a possibilidade de aplicar o sistema onde é necessário manter a temperatura mais constante.



Neste gráfico é possível reparar bem na diferença entre a variação de temperatura do ambiente com o sistema RF e sem o sistema RF. A variação mais regular da temperatura também causa um melhor conforto térmico.

Algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Resolver o problema da 2 harmônica;
- Usar mais de um sensor no mesmo recinto, e utilizar o valor da média da temperatura dos sensores para fazer o controle de temperatura;
- Colocar todos os dados do supervisório em nuvem;
- Aplicação do sistema na indústria 4.0.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **O Sistema Elétrico de Potência**. 2019. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 27 abr. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Faixas de comunicação**. 2016. Disponível em: <www.anatel.gov.br>. Acesso em: 29 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16401-2:2008: **Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamento de medidas**. v. 1. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2011.

COSTA. E. C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1982.

CREA-PR. **Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar**. Eficiência energética. 2016. Disponível em: <www.crea-pr.gov.br>. Acesso em: 27 abr. 2019.

COULOURIS, G.; DOLLIMORE, J.; KINDBERG, T.; GORDON B. **Distributed Systems: Concepts and design**. 5 ed. New York: 2012.

FOROUZAN, B. A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 3 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006.

FABRICANTE. **Datasheet dos módulos analógico, digital e mestre**. 2019.

HAYKIN, S.; MOHER, M. **Sistemas de comunicação**. 5 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2011.

KOFRE TELECOMUNICAÇÕES. **Sistemas de comunicação ponto-a-multiponto**. 2019. Disponível em <<http://www.kofre.com.br/>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

KRON MEDIDORES. **Datasheet do medidor de energia**. 2019. Disponível em: <<http://www.kronweb.com.br/br/index.php>>. Acesso em: 07 jun. 2019.

Ministério de minas e energia (MME). **Plano nacional de eficiência energética**. 2016. Disponível em: <www.mme.gov.br> 27 abr. 2019.

RAPPAPORT, T. S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. 2 ed São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2009.

RIBEIRO, J. B. B. **Telecomunicações**. v. 5. 1 ed Rio de Janeiro: 2013.

SCHMID, A. L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Editora Pacto Ambiental, 2005.

SEDRA, A.; Smith, K. **Microeletrônica**. 4 ed São Paulo: Editora MAKRON Books, 2019.

Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM). **Vocabulário Internacional de Metrologia**: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). Duque de Caxias, Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.