

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

PAULO VINICIUS GABRIEL CALLAI

AUTOMAÇÃO DE UM UMIDIFICADOR DE AR ULTRASSÔNICO.

Alegrete

2019

PAULO VINICIUS GABRIEL CALLAI

AUTOMAÇÃO DE UM UMIDIFICADOR DE AR ULTRASSÔNICO.

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

Orientador: Jumar Luís Russi

**Alegrete
2019**

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) .

C118a Callai, Paulo Vinicius Gabriel
Automação de um umidificador de ar ultrassônico / Paulo
Vinicius Gabriel Callai.
47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2019.

"Orientação: Jumar Luis Russi".

1. Umidade relativa do ar. 2. Umidificador ultrassônico. 3.
Automação residencial. 4. Sustentabilidade ambiental. 5.
Reuso da água do ar condicionado. I. Título.

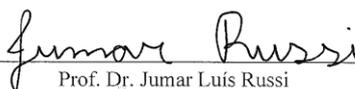
PAULO VINICIUS GABRIEL CALLAI

AUTOMAÇÃO DE UM UMIDIFICADOR DE AR ULTRASSÔNICO

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: 26 de Novembro de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Jumar Luís Russi
Orientador



Prof. Dr. Giovanni Guarienti Pozzebon
UNIPAMPA



Prof. Dr. Paulo César Comassetto de Aguirre
UNIPAMPA

Ao meu pai Paulo Callai, In Memoriam,
Minha mãe Janes Gabriel,
Todos meus irmãos,
Pelo apoio, ensinamentos e todos momentos
vividos.

“Descobrir consiste em olhar para o que todo mundo está vendo e pensar uma coisa diferente”.

Roger Von Oech

RESUMO

Regiões com alto índice de umidade relativa do ar apresentam uma difusão muito grande de doenças respiratórias, pois são ambientes onde a presença de fungos e bactérias é mais comum. Por outro lado, níveis muito baixos de umidade, também causam problemas no sistema respiratório, pois ressecam a mucosa e causam irritação. Ambientes com climatização durante longos períodos, tem por característica, uma redução grande na umidade do ar, e isto é causado pela maneira que os sistemas de refrigeração funcionam. A umidade retirada, normalmente escoar para a terra, e em poucos casos ocorre o seu reuso, como na irrigação de plantas, por exemplo. Este trabalho propõe um sistema de automação de um umidificador de ar, demonstra quais os modelos de umidificador são mais utilizados e por fim desenvolve um protótipo de controle para um umidificador realizando testes práticos para obtenção dos resultados.

Palavras-chave: Umidade relativa do ar. Umidificador ultrassônico. Reuso da água do ar condicionado. Automação residencial. Sustentabilidade ambiental.

ABSTRACT

Regions with a high relative concentration index, presenting a very large diffusion of respiratory diseases, since they are environments where the presence of fungi and bacteria is more common. On the other hand, very low humidity levels also cause problems in the respiratory system as they dry out a mucous membrane and cause irritation. Climatizing environments over long periods of time typically feature a large reduction in air humidity, and this is caused by the way cooling systems work. Withdrawal usually flows to the earth, and in few cases reuse occurs, such as irrigation of plants, for example. This work requires an air humidifier automation system, demonstrates which models of air humidifier are most used and finally develop a humidifier control prototype performing practical tests to test the results.

Keywords: Relative humidity. Ultrasonic humidifier. Reuse of water from air conditioning. Home automation. Environmental sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas do processo de refrigeração dos condicionadores de ar.....	15
Figura 2 - Ilustração de um modelo de condicionador de ar.....	16
Figura 3 - Umidificador evaporativo.....	17
Figura 4 - Umidificador tipo vaporizador.....	17
Figura 5 - Umidificador disco rotor.....	18
Figura 6 - Sistema de um umidificador ultrassônico.....	19
Figura 7 - Transdutor piezoelétrico.....	19
Figura 8 - Detalhe da implosão das cavidades.....	20
Figura 9 - Circuito gerador de sinal do umidificador utilizado.....	20
Figura 10 - Exemplo de circuito gerador de sinal para um umidificador.....	21
Figura 11 - Placa BlackBoard Pro Mini.....	23
Figura 12 - Display LCD de 16x2.....	23
Figura 13 - Sensor DHT22.....	24
Figura 14 - Módulo I2C.....	24
Figura 15 - Módulos RF 433Mhz.....	24
Figura 16 - Módulo Relé.....	25
Figura 17 - Sistema de controle montado em protoboard para testes.....	25
Figura 18 - Modulação ASK.....	27
Figura 19 - Fluxograma do circuito emissor.....	28
Figura 20 - Fluxograma do circuito Master parte 1/2.....	29
Figura 21 - Fluxograma do circuito MASTER parte 2/2.....	30
Figura 22 - Simulação final dos circuitos Emissor e Master.....	31
Figura 23 - Simulação parte 1.....	31
Figura 24 - Simulação parte 2.....	32
Figura 25 - Simulação parte 3.....	32
Figura 26 - Simulação parte 4.....	33
Figura 27 - Simulação parte 5.....	33
Figura 28 - Captura do efeito Bouncing sem capacitor.....	35
Figura 29 - Aferição da tensão dos capacitores de debouncing.....	36
Figura 30 - Carga do capacitor de debouncing.....	36
Figura 31 - Layout de uma das placas de circuito impresso.....	37
Figura 32 - Placas dos circuitos emissor e master.....	38

Figura 33 - Teste de vazão do umidificador	39
Figura 34 - Ilustração do ambiente utilizado nos testes.....	40
Figura 35 - Gráfico da umidade relativa do ar no primeiro teste.....	41
Figura 36 - Gráfico da temperatura no primeiro teste.	42
Figura 37 - Gráfico da umidade relativa do ar no segundo teste.	42
Figura 38 - Gráfico da temperatura no segundo teste.....	43
Figura 39 - Gráfico da umidade relativa do ar no teste três.....	44
Figura 40 - Gráfico da temperatura no teste três.	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa.....	13
1.2 Objetivos	13
1.3 Estrutura do Trabalho.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Condicionadores de ar	15
2.2 Umidificadores de ar	16
2.2.1 Evaporativo.....	16
2.2.2 Vaporizador	17
2.2.3 Disco Rotor.....	17
2.2.4 Ultrassônico	18
2.3 Conclusões	21
3 SISTEMA PROPOSTO	22
3.1 Materiais utilizados no sistema	22
3.2 Princípio de funcionamento	26
3.3 Estrutura de comunicação	26
3.4 Fluxogramas de monitoramento e controle.....	28
3.5 Simulação dos circuitos.....	30
3.5.1 Resultados da simulação.....	31
3.6 Conclusões	33
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	35
4.1 Efeito bouncing	35
4.2 Desenvolvimento e montagem do protótipo	37
4.3 Teste de vazão do umidificador	38
4.4 Comparativo de vazão entre umidificador e condicionador de ar.....	39
4.5 Testes práticos	40

4.5.1 Teste um -ambiente sem umidificador e condicionador de ar	41
4.5.2 Teste dois - Somente o condicionador de ar ligado	42
4.5.3 Teste três - Umidificador e condicionador de ar ligados	44
4.6 Conclusões	45
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46
5.1 Conclusões	46
5.2 Sugestões de trabalhos futuros.....	46
Bibliografia.....	47

1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de resolver problemas em uma gráfica, Willis Carrier projetou em 1902 o primeiro sistema de ar condicionado moderno, e posteriormente fundou a empresa Carrier (Carrier do Brasil, s.d.), até hoje muito reconhecida.

Nos dias de hoje, equipamentos de condicionador de ar são altamente difundidos em todas as esferas da sociedade, estando presentes na maioria dos prédios empresariais, repartições públicas, prédios residenciais e casas. A popularidade é tanta que esses equipamentos não são exclusivos para a população de classe média e alta, com maior poder aquisitivo, pois é comum encontrar o equipamento em residências da população mais pobre.

Os benefícios destes equipamentos são sentidos com pouco tempo de uso, pois o condicionador de ar é um equipamento que busca regular a temperatura do ambiente a um nível ao qual seu usuário sinta um maior conforto térmico, descrito pela NR 17 com os valores de temperatura entre 23°C e 20°C e umidade relativa do ar acima de 40% (Portaria 3.214, 1978). Há uma redução da umidade relativa do ar, a qual pode ser benéfica até certo ponto, diminuindo a incidência de mofo e doenças respiratórias que se beneficiam de altos níveis de umidade (Nedel, 2008), mas também prejudicial se prolongada até níveis abaixo de 30%, considerado de risco para a integridade das vias aéreas. Justamente neste aspecto pode-se dizer que os condicionadores de ar comuns pecam, pois há um controle da temperatura do ambiente, mas não da umidade do ar, assim, com o uso prolongado do equipamento em um ambiente fechado, os índices de umidade do ar podem ficar abaixo dos valores ideais.

Com essas considerações, chega-se aos níveis ideais de umidade relativa do ar para que não haja propagação de doenças e nem danos ao sistema respiratório, algo entre 40% e 50% (EPA, 2008).

Já no aspecto ambiental, também há o que se discutir, já que em grande maioria, toda a água que é retirada do ar pelos equipamentos, não tem um aproveitamento adequado. Comumente esta água é destinada ao sistema de esgoto da estrutura em que se encontra, mas trabalhos como (Rigotti, 2014) e (Bolina, 2017), demonstram que o reuso desta água é viável e sustentável.

Dessa forma, um umidificador ultrassônico, que cria uma neblina de gotículas de água através de vibrações em alta frequência, sendo controlado por um sistema com sensores de umidade pode trazer o equilíbrio para o sistema de refrigeração.

1.1 Justificativa

Percebendo a falta de um equipamento autônomo e de fácil acesso, que possa reutilizar a água do condicionador de ar, que consiga controlar os níveis da umidade relativa do ar sem que deixe muito úmido ou que não consiga elevar a umidade aos níveis desejados, este trabalho se torna viável.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral:

- Criar um sistema de automação para um umidificador ultrassônico.

Os objetivos específicos são:

- Montar um circuito de simulação;
- Montar um protótipo do esquemático;
- Realizar a comunicação entre dois sistemas, sendo um a responsável pela atuação no Umidificador, e o outro uma plataforma de interação com o usuário;
- Manter a umidade relativa do ar, de um ambiente climatizado, dentro dos níveis desejados.

1.3 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 2 traz a revisão bibliográfica, mostrando uma visão geral dos modelos e funcionamento dos condicionadores de ar, assim como dos umidificadores de ar.

No Capítulo 3, é apresentado o sistema proposto, demonstrando o princípio de funcionamento, a estrutura de comunicação e os fluxogramas desenvolvidos, além de demonstrar as simulações realizadas.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com os protótipos.

Ao fim, as conclusões do trabalho são apresentadas no Capítulo 5, além das propostas de trabalhos futuros.

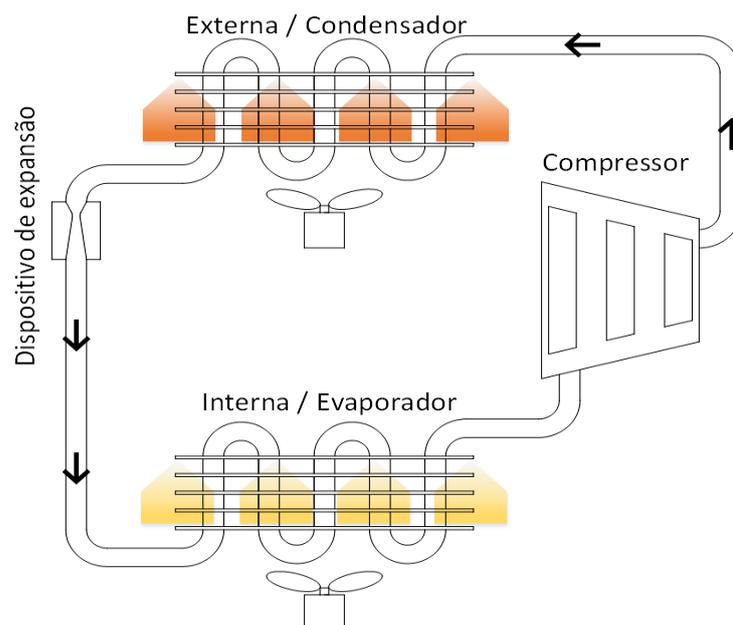
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este Capítulo trata do funcionamento dos condicionadores de ar, descrevendo o ciclo de funcionamento. Também são demonstrados os modelos mais comuns de umidificadores, comentando o funcionamento de cada tipo. Por fim, conclui-se qual é o modelo que melhor se adequa à este projeto.

2.1 Condicionadores de ar

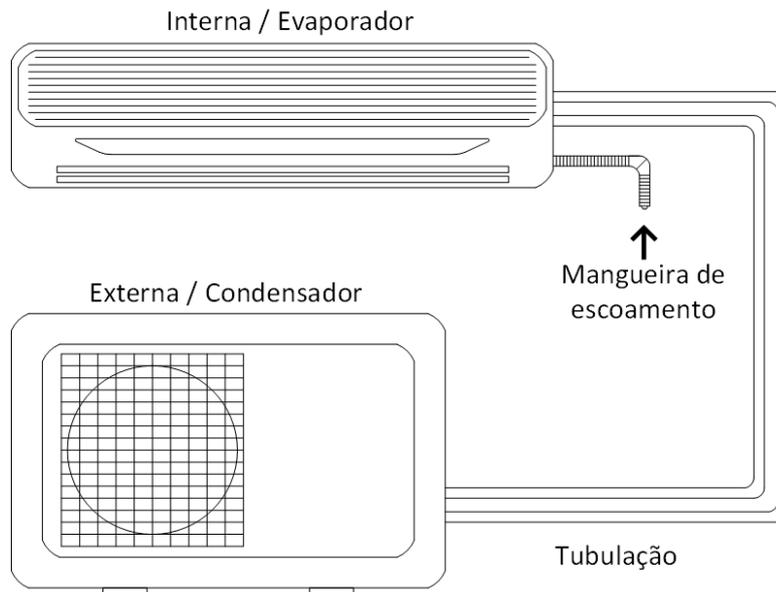
Os condicionadores de ar, em sua grande maioria, funcionam pelo ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor, onde um fluido refrigerante à baixa pressão passa por uma serpentina e retira energia térmica. Esta parte do sistema é chamada de evaporadora. No próximo estágio, o fluido refrigerante entra em um compressor que o comprime e bombeia, em forma de vapor superaquecido até o condensador, outra serpentina na qual o fluido libera a energia. O fluido então passa pelo dispositivo de expansão que separa a parte de alta e a de baixa pressão. Agora com pressão e temperatura reduzidas reinicia o ciclo (Ferraz, 2008). A Figura 1 demonstra o processo de refrigeração, assim como a Figura 2 traz o aspecto externo de um equipamento comercial.

Figura 1- Etapas do processo de refrigeração dos condicionadores de ar.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2 - Ilustração de um modelo de condicionador de ar.



Fonte: Autoria própria.

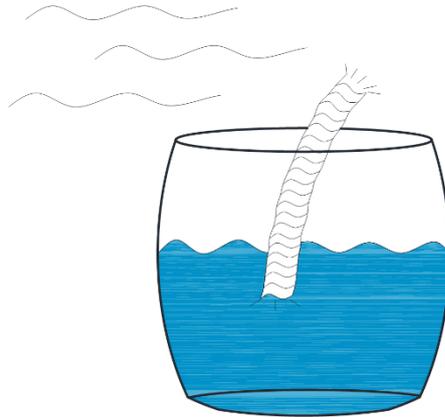
2.2 Umidificadores de ar

Neste item são mostrados os tipos mais comuns de umidificadores de ar e são explicados brevemente o funcionamento de cada um deles.

2.2.1 Evaporativo

Consiste em um umidificador “natural”, pois normalmente é feito em um recipiente com água e um barbante que se utiliza da ação capilar para ficar úmido, assim com o vento corrente, ou um ventilador, a umidade do barbante é passada para o ambiente. É um processo relativamente lento, que depende da umidade relativa do ar para ser mais eficaz ou menos. A Figura 3 ilustra um umidificador evaporativo.

Figura 3 - Umidificador evaporativo.

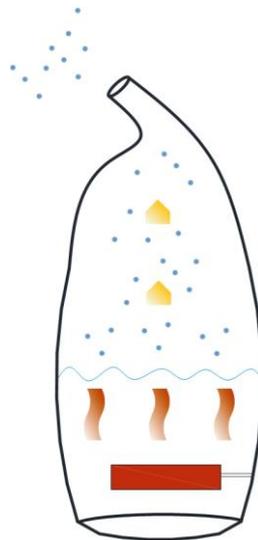


Fonte: Autoria própria.

2.2.2 Vaporizador

Este nada mais é que um equipamento para ebulição da água, que solta o vapor quente no ambiente, tornando-o assim mais úmido.

Figura 4 - Umidificador tipo vaporizador.



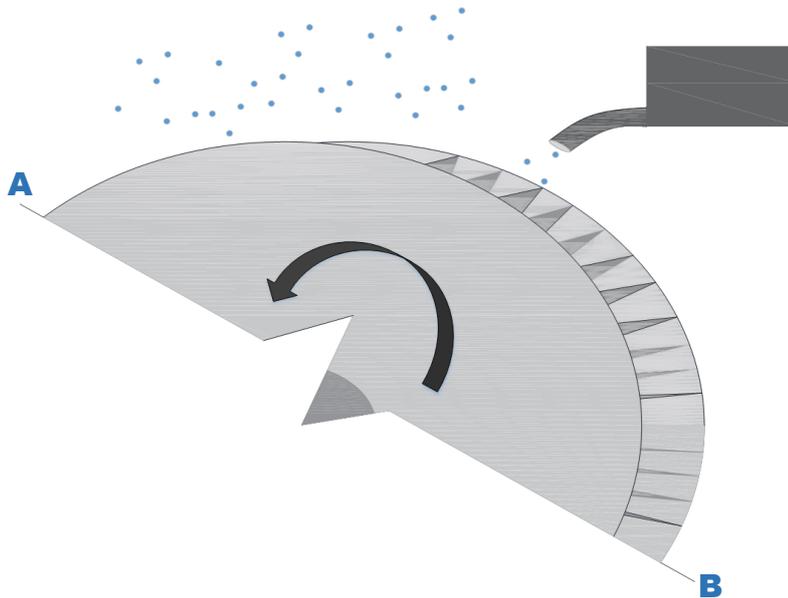
Fonte: Autoria própria.

2.2.3 Disco Rotor

Com um disco girando em uma rotação relativamente alta, uma pequena quantidade de água é jogada sobre ele, que espalha pequenas gotículas para o ambiente. Este tipo de

umidificador normalmente é montado em conjunto com um ventilador e utilizado em eventos com um grande fluxo de pessoas, pois tem um funcionamento simples, robusto e alta vazão.

Figura 5 - Umidificador disco rotor.

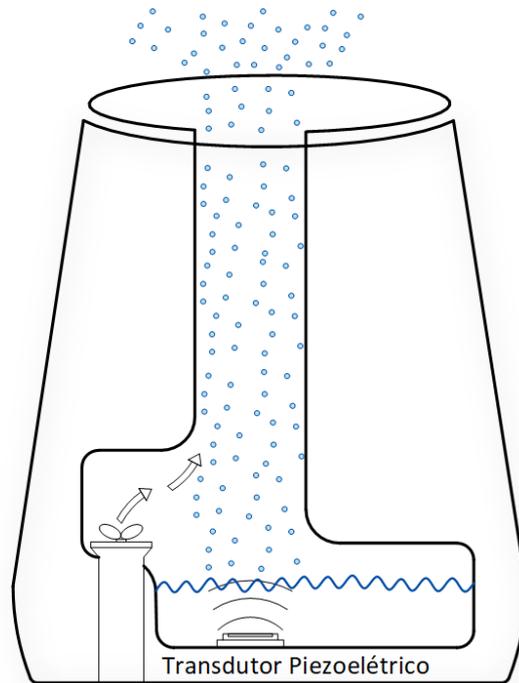


Fonte: Autoria própria.

2.2.4 Ultrassônico

Dentre os equipamentos citados nesta seção, é o que possui a maior tecnologia embarcada, um diafragma de cerâmica é excitado com uma frequência entre 1MHz e 2MHz, que resulta em uma vibração ultrassônica. Esta vibração é passada para o líquido, que devido à sua inércia não responde na mesma frequência, então pequenas cavidades são formadas e ao implodirem com uma grande energia, são expelidas pequenas gotículas que resultam em um névoa fria (Rodes, 1990). Na Figura 6 o sistema do umidificador é demonstrado, a Figura 7 mostra o transdutor que gera as cavitações na água, já a na Figura 8 demonstra a formação das cavidades e na Figura 9 está o circuito que gera o sinal para o transdutor.

Figura 6 - Sistema de um umidificador ultrassônico.



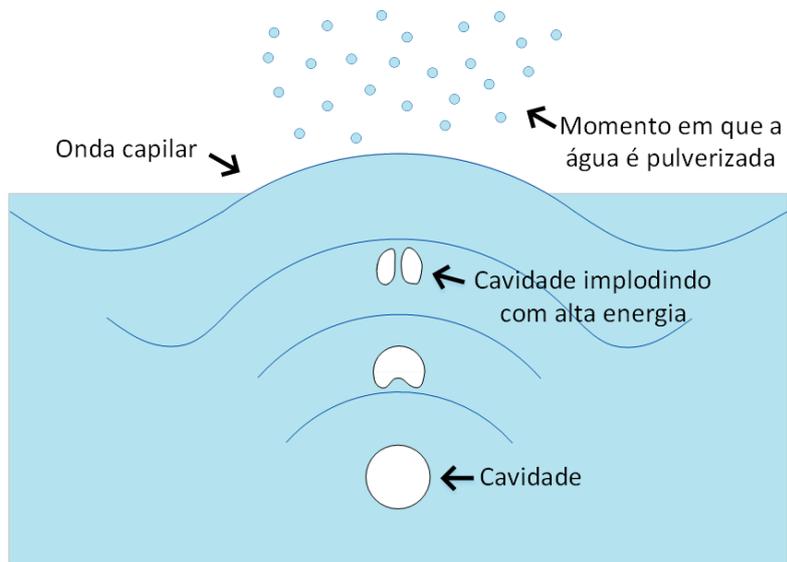
Fonte: Autoria própria.

Figura 7 - Transdutor piezoelétrico.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 8 - Detalhe da implosão das cavidades.



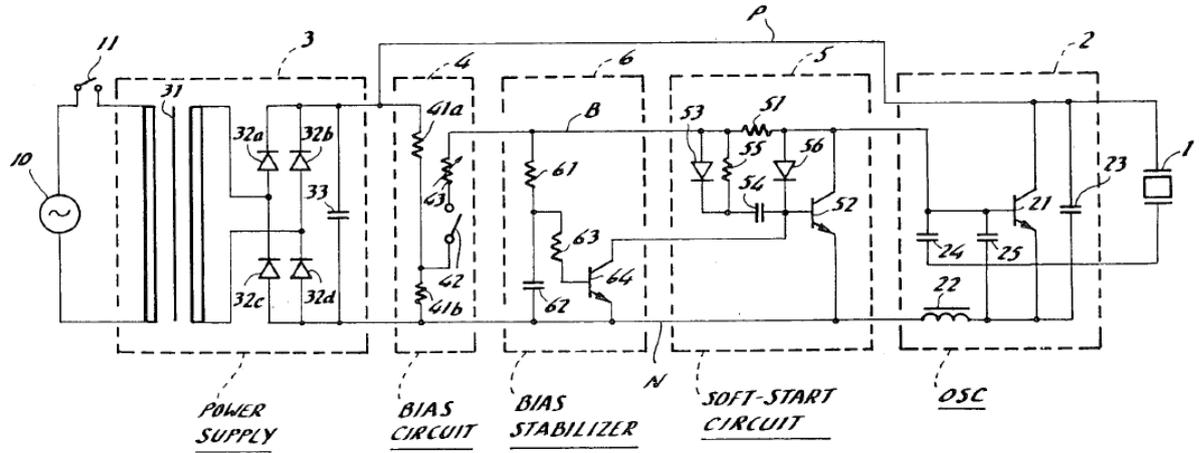
Fonte: Autoria própria.

Figura 9 - Circuito gerador de sinal do umidificador utilizado.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 10 - Exemplo de circuito gerador de sinal para um umidificador.



Fonte: (United States Patent No. 4,641,053, 1987)

2.3 Conclusões

Em relação aos condicionadores de ar, foi possível identificar que o princípio de funcionamento é o mesmo dentre os modelos no mercado, o que se pode escolher são aprimoramentos que trazem um melhor rendimento, mais segurança ambiental ou formato adequado com o ambiente a ser inserido. Fatores que não influenciam no trabalho atual.

Dentre os umidificadores, o que demonstra um funcionamento mais compatível com o intuito do trabalho, foi o ultrassônico, pois com sua névoa fria a eficiência do condicionador de ar terá uma menor redução, e por conter um sistema eletrônico embarcado, a incorporação ao sistema de controle tornasse mais fácil.

3 SISTEMA PROPOSTO

Para este trabalho, propõem-se um sistema que utilize as informações de umidade e temperatura do ambiente e reutilize a água condensada pelo condicionador de ar para manter a umidade relativa do ar dentro dos níveis adequados. Além disso, também é proposto um sistema remoto de controle do sistema para que o nível de umidade desejado seja definido pelo usuário. Este controle contém um sensor de umidade para que a medição seja feita tanto na estrutura do umidificador, quanto nas proximidades do usuário e assim pode-se determinar qual das medições será utilizada como referência, ou se a referência será ponderada pelos dois níveis medidos. Esta dupla medição também possibilitará uma maior confiabilidade no sistema, pois na falha de um sensor, o outro poderá assumir a sua função.

3.1 Materiais utilizados no sistema

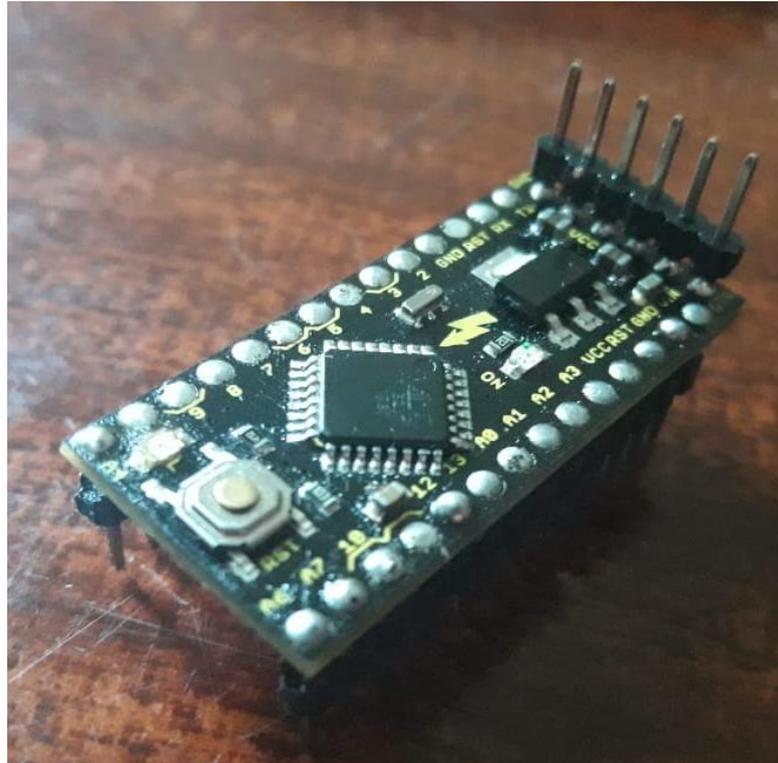
O sistema proposto utiliza os seguintes componentes:

Tabela 1 - Lista de componentes do sistema proposto.

ITEM	QUANTIDADE
Umidificador ultrassônico 18W	1
BlackBoard pro mini	2
Display de crystal liquido 16x2	2
Sensor DHT22	2
Módulo I2C	2
Kit de comunicação RF 433MHz	1
Relé 5 VDC	2
Botões, fontes, resistores, etc.	#

Fonte: Autoria própria.

Figura 11 - Placa BlackBoard Pro Mini.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 12 - Display LCD de 16x2.



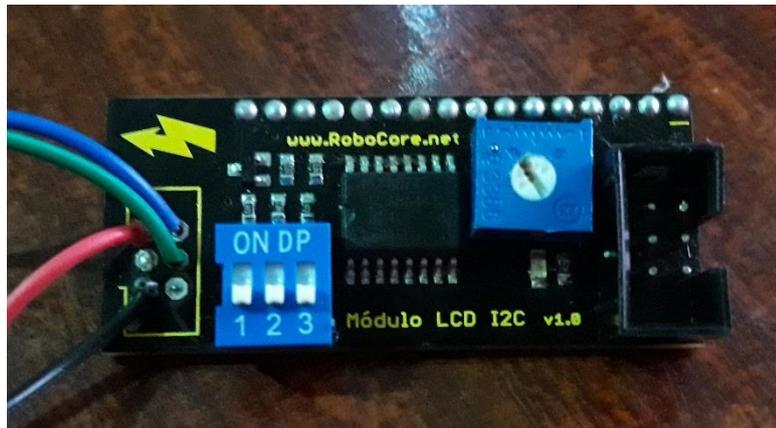
Fonte: Arquivo do autor.

Figura 13 - Sensor DHT22.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 14 - Módulo I2C.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 15 - Módulos RF 433Mhz.



Fonte: Arquivo do autor.

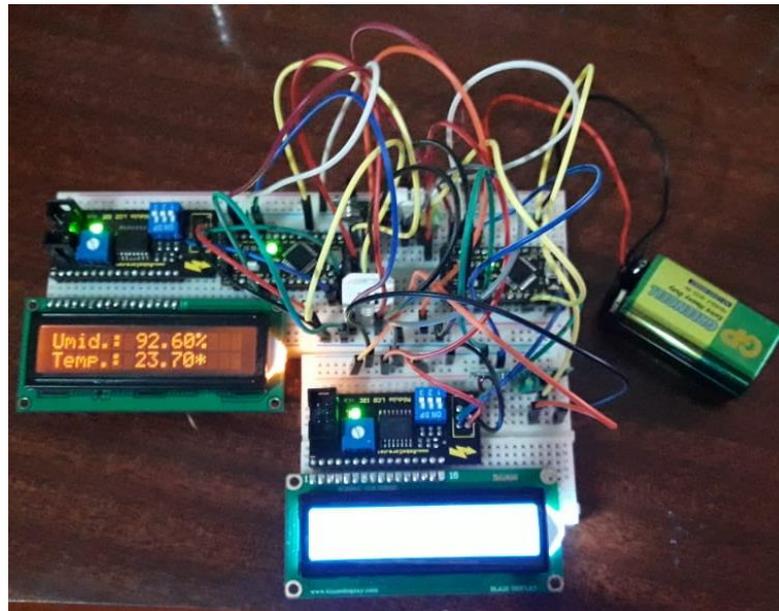
Figura 16 - Módulo Relé.



Fonte: Arquivo do autor.

Na Figura 17 é possível ver a estrutura montada em uma placa de testes.

Figura 17 - Sistema de controle montado em protoboard para testes.



Fonte: Arquivo do autor.

Tais equipamentos foram escolhidos pela facilidade de aquisição e simples funcionalidade.

A placa BlackBoard Pro Mini, tem como função ser o processador dos protótipos, e pelo seu tamanho reduzido, é extremamente fácil de alocar dentro do projeto.

Os módulos I2C tem como função reduzir o número de portas utilizadas na placa arduino, assim sobram saídas para todas as funções desejadas e também futuras intervenções no circuito.

Já os sensores foram escolhidos os DHT22, pois também são de fácil acesso e possuem uma ampla faixa de medição, que vai de 0% a 100% para a umidade relativa do ar e de -40°C a 80°C.

Os displays de 16x2 foram escolhidos pelo baixo custo e por atender os requisitos do sistema.

3.2 Princípio de funcionamento

O sistema é composto por dois circuitos, onde um é o módulo de interação com o usuário, denominado Emissor, e o outro é o atuador do sistema, que trata os dados e efetua as ações cabíveis, denominado Master.

O Emissor possui um sensor DHT22, Figura 13, e é responsável por aferir as condições de temperatura e umidade próximo ao usuário, transmitir os dados coletados e os comandos efetuados pelo usuário, como aumentar ou diminuir o nível de umidade desejado, e também a ação de ligar e desligar o circuito Master.

Assim como o Emissor, o circuito Master também possui um sensor DHT22, o que proporciona poder escolher uma média entre as aferições, ou utilizar somente os dados de um dos circuitos caso o outro apresente alguma falha. Este circuito possui entradas e saídas físicas de sinal, que alimentam o relé do umidificador, Figura 16, e também possibilitam o circuito receber novas funções, como sensores de nível, por exemplo.

Os dois circuitos apresentam quatro botões: Liga, Seta, Mais, Menos. Assim, a configuração pode ser feita tanto no Emissor, quanto no Master. E também possuem telas LCD, Figura 12, para a exibição dos dados coletados e configuração realizada.

3.3 Estrutura de comunicação

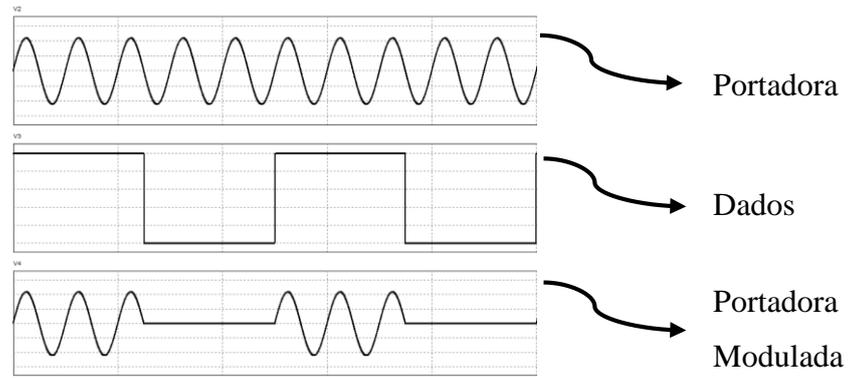
A comunicação entre os circuitos é implementada através de dois módulos de rádio frequência (RF) 433MHz, Figura 15, com comunicação Simplex, ou seja, unidirecional. Um dos módulos é responsável pelo envio do sinal e o outro pela sua recepção.

O sinal é enviado através da modulação ASK (Amplitude Shift Keying), esta modulação altera a portadora com a mudança da amplitude do sinal, mantendo a frequência e o ângulo inalterados. A modulação ASK é bastante utilizada em transmissão por fibra óptica, pois é de

simples aplicação, e por mais que seja susceptível a interferências, na fibra óptica esta desvantagem não é significativa (Ibrahim, 2015).

Na Figura 18 é exemplificado como o método ASK modula o sinal.

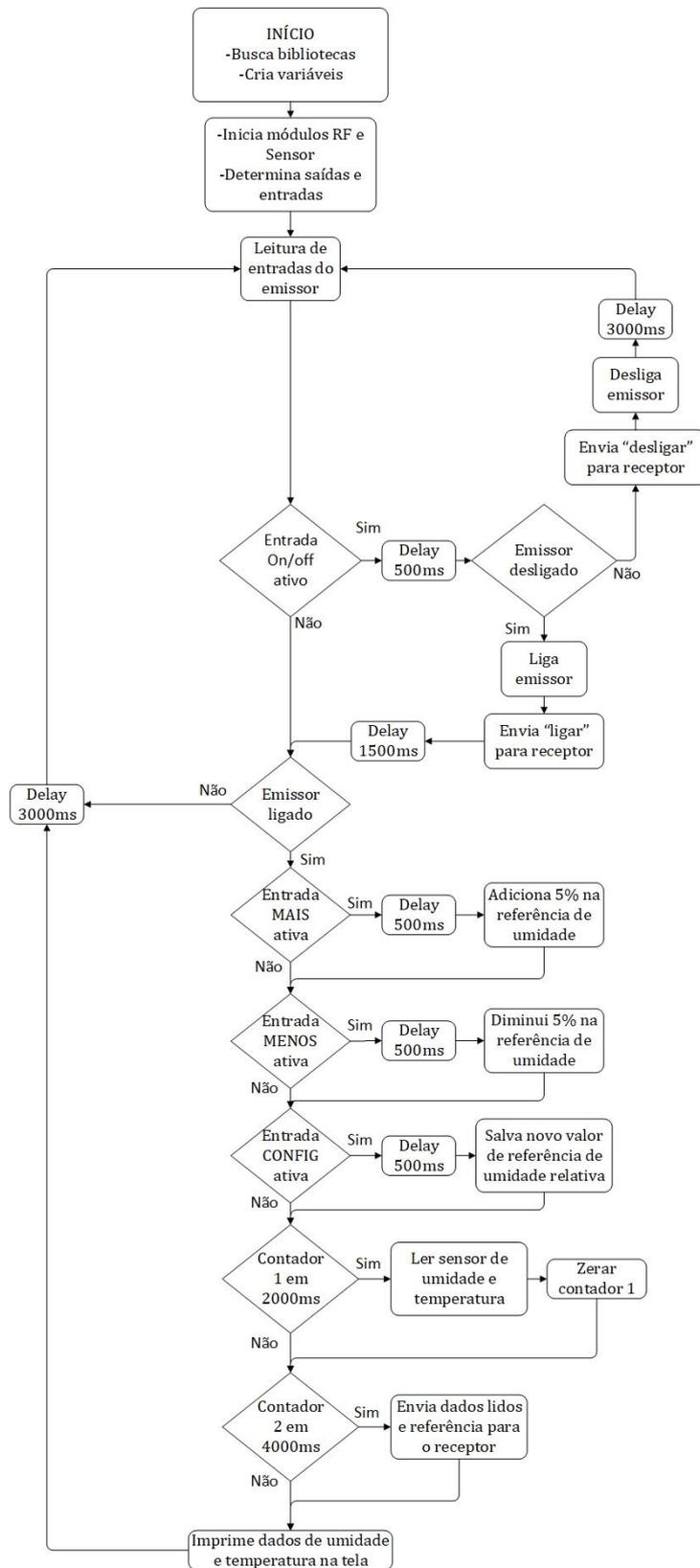
Figura 18 - Modulação ASK.



Fonte: Autoria própria.

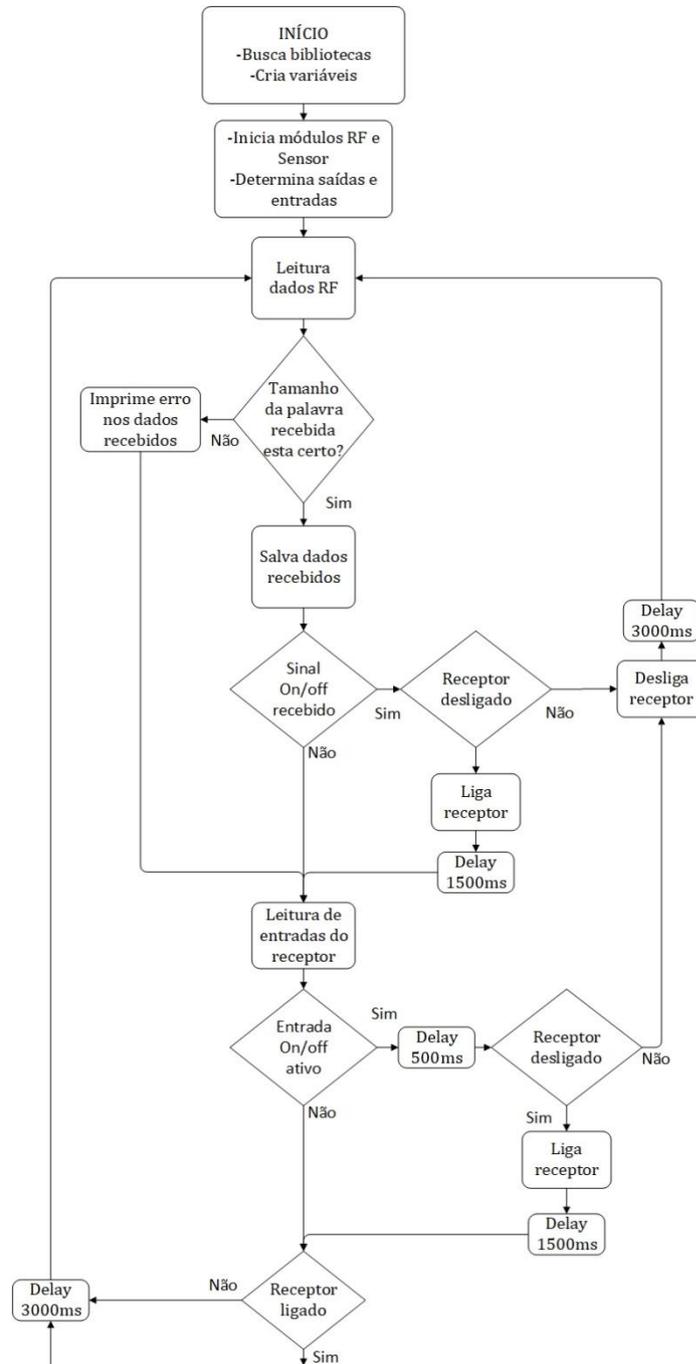
3.4 Fluxogramas de monitoramento e controle

Figura 19 - Fluxograma do circuito emissor.



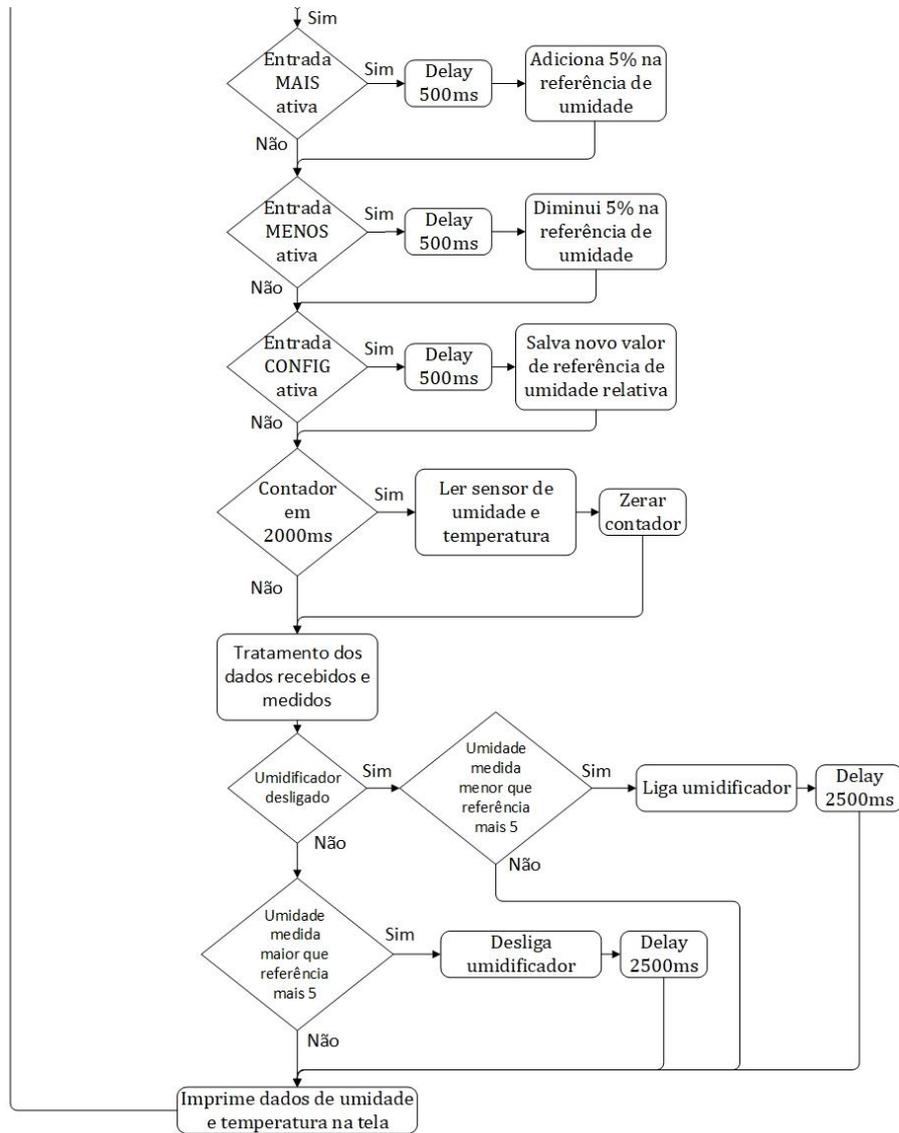
Fonte: Autoria própria.

Figura 20 - Fluxograma do circuito Master parte 1/2.



Fonte: Autoria própria.

Figura 21 - Fluxograma do circuito MASTER parte 2/2.

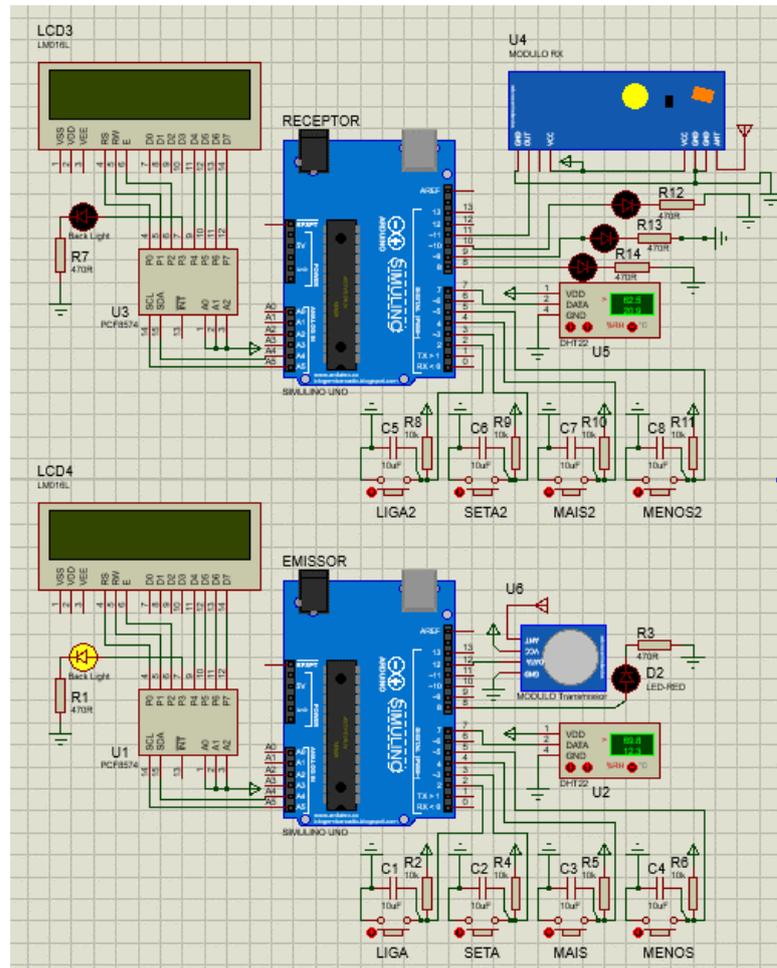


Fonte: Autoria própria.

3.5 Simulação dos circuitos

Para a simulação dos circuitos que compõem do projeto, foi utilizado o software Proteus 8, com adição de bibliotecas das placas arduino e dos módulos de RF.

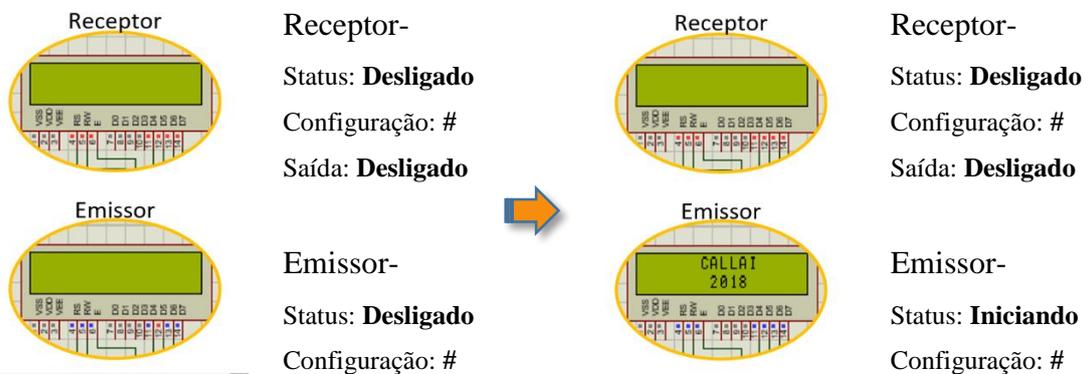
Figura 22 - Simulação final dos circuitos Emissor e Master.



Fonte: Autoria própria.

3.5.1 Resultados da simulação

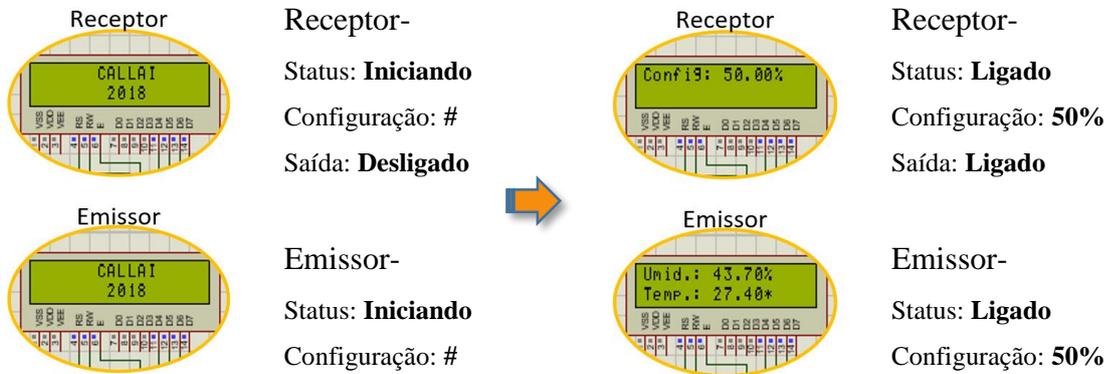
Figura 23 - Simulação parte 1.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 23 no lado esquerdo é possível ver o emissor e o receptor desligados, então no lado direito o emissor é ligado, mudando o status para iniciando.

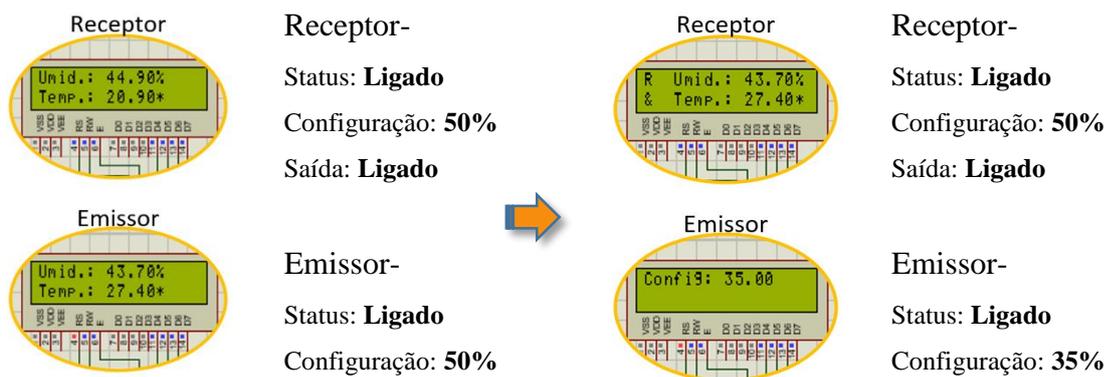
Figura 24 - Simulação parte 2.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 24 do lado esquerdo, enquanto o emissor é iniciado ele envia o comando para ligar o receptor, então os dois passam para o status ligado. Na direita da figura o receptor demonstra sua configuração inicial de referência para umidade relativa e já liga a saída, enquanto o emissor mostra seus valores lidos.

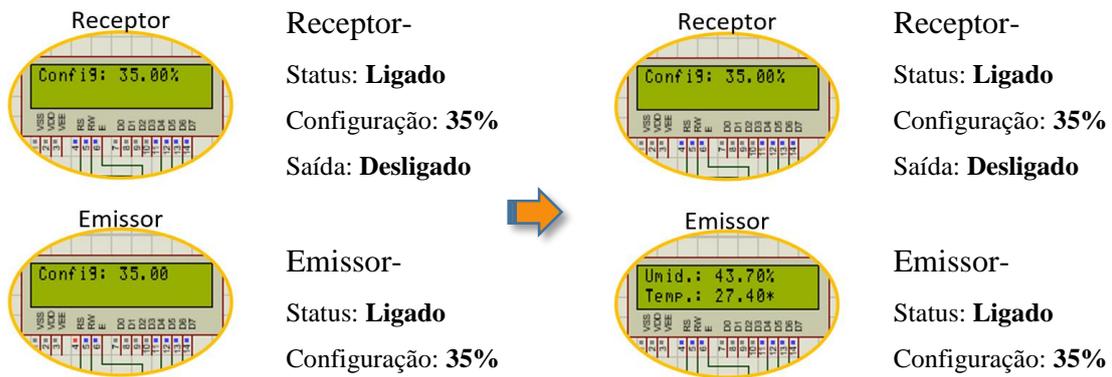
Figura 25 - Simulação parte 3.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 25 do lado esquerdo, os dois circuitos estão em operação normal, o receptor ainda está com a saída ativada pois sua leitura de umidade está abaixo do valor de configuração mais 5. Já na direita a o valor de referência é alterado para 35% no emissor, também do lado direito é possível notar o receptor mostrando as medições feitas pelo emissor, isso ocorre periodicamente, pois o receptor alterna entre mostrar as medições lidas por ele e pelo emissor.

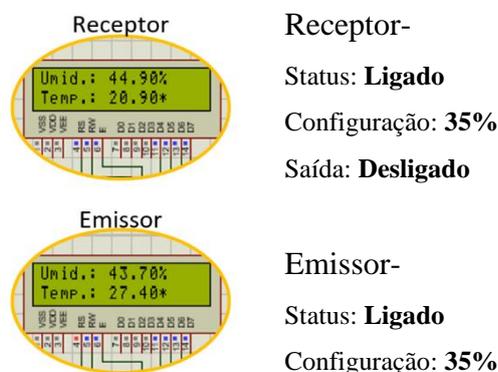
Figura 26 - Simulação parte 4.



Fonte: Autoria própria.

Após a configuração ter sido alterada na Figura 25, na Figura 26 do lado esquerdo o receptor recebeu a ordem do emissor e também alterou a configuração para 35%, e a saída do receptor é desligada pois agora o valor de referência de umidade está abaixo do valor lido menos 5. Do lado direito da Figura 26 o emissor já voltou a apresentar suas medições e o receptor ainda demonstra a configuração que foi alterada.

Figura 27 - Simulação parte 5.



Fonte: Autoria própria.

Agora na última etapa da simulação, a Figura 27 demonstra o receptor voltando a apresentar as suas leituras, assim como o emissor que opera em modo normal.

3.6 Conclusões

Com uma quantidade relativamente pequena de materiais, e uma lógica não muito complexa, foi possível desenvolver o sistema para a automação do umidificador. De acordo

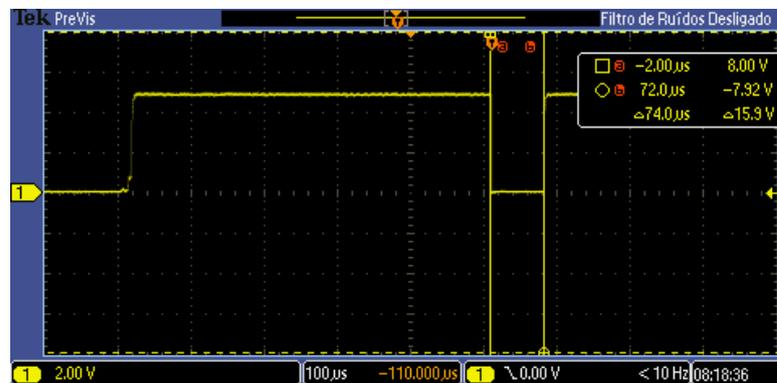
com os resultados de simulação, notasse que a programação obteve os resultados esperados, estando assim pronta para ser inserida no protótipo.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Efeito bouncing

Após a montagem do protótipo da Figura 17, notou-se um erro ao pressionar os botões. Este erro é chamado de efeito bouncing, o qual ao apertar o botão, ele gera o sinal de saída, mas logo após soltá-lo, outro sinal é gerado, porém este é falso. Isso pode acarretar em uma leitura errônea na quantidade de vezes que o botão foi pressionado. O efeito foi capturado na Figura 28, onde um novo sinal baixo com duração de 74us pode ser visto.

Figura 28 - Captura do efeito Bouncing sem capacitor.

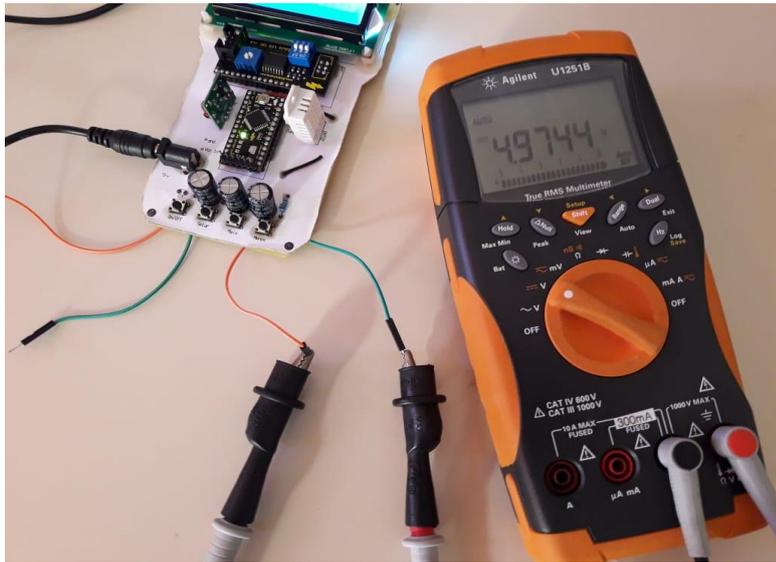


Fonte: Autoria própria.

Para correção desta falsa leitura, foi adotado dois métodos de debouncing:

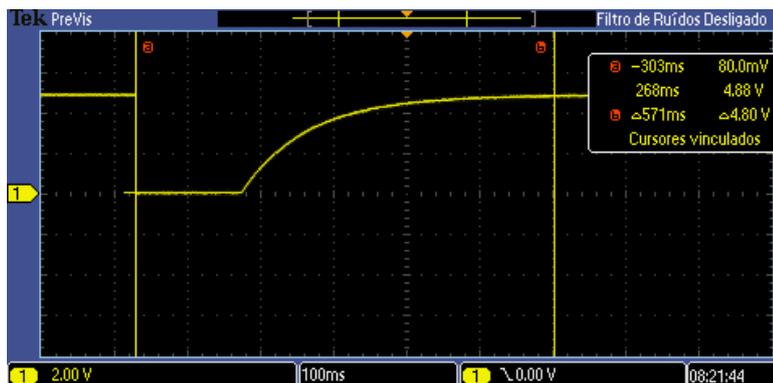
- Circuito RC com tempo de carregamento suficiente para estabilização da tensão;
- Delay de 500ms no software de leitura, para que novas entradas não sejam captadas durante este período.

Figura 29 - Aferição da tensão dos capacitores de debouncing.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 30 - Carga do capacitor de debouncing.



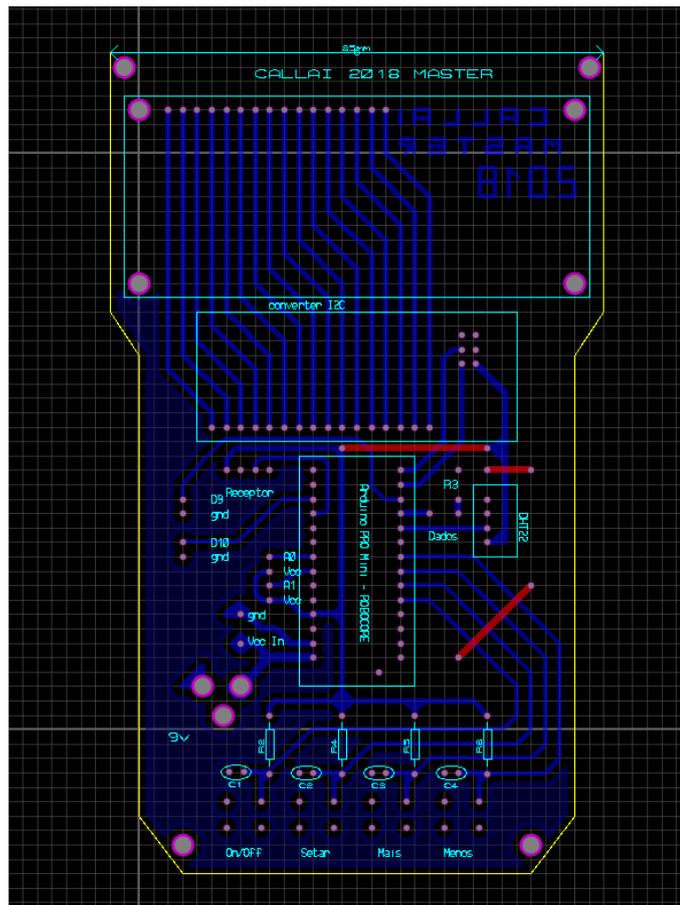
Fonte: Autoria própria.

Após a inserção dos capacitores de debouncing, ao pressionar o botão o sinal que era alto passa ser baixo, e após soltar o botão o capacitor é carregado com um tempo determinado pela sua capacitância e a resistência aplicada ao circuito, este serve como um filtro para eliminar os falsos sinais no sistema. Para este projeto, foi utilizado um capacitor de 10 μF e um resistor de 10 $\text{k}\Omega$ para cada botão, e seu tempo de carregamento pode ser visto na Figura 30. Então na programação foi acrescentado um delay de 500ms após a leitura de um sinal do botão, assim há tempo para que o capacitor se carregue e fique pronto para uma nova leitura.

4.2 Desenvolvimento e montagem do protótipo

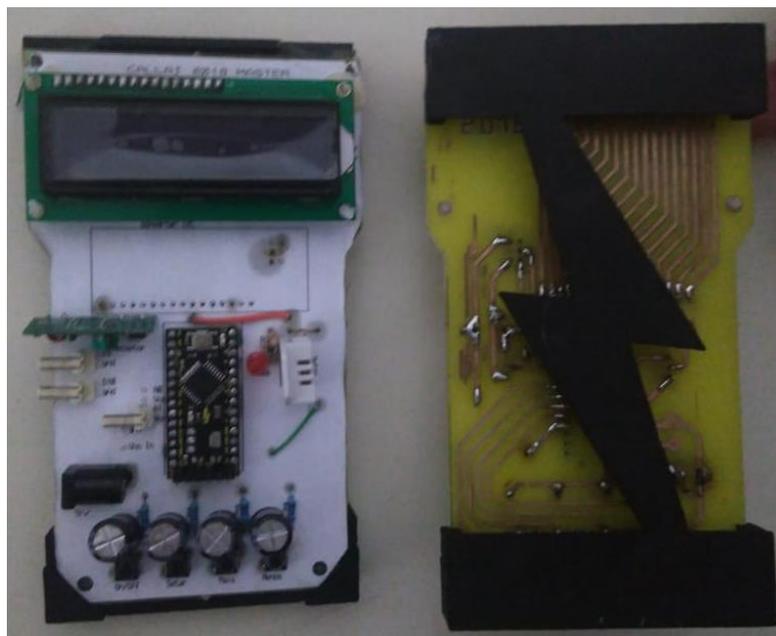
Utilizando o software Proteus 8 foi projetado o layout das placas de circuito impresso, depois foi utilizada uma fresa para a confecção das placas e feita a soldagem dos componentes. A Figura 31 e a Figura 32 demonstram este processo.

Figura 31 - Layout de uma das placas de circuito impresso.



Fonte: Autoria própria.

Figura 32 - Placas dos circuitos emissor e master.



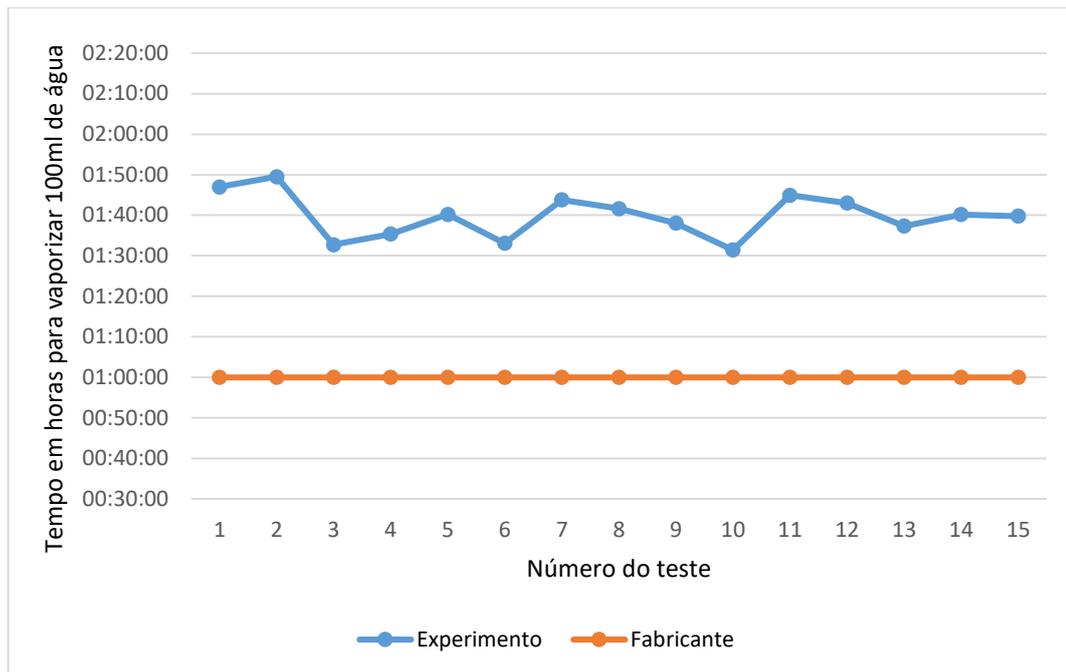
Fonte: Arquivo do autor.

Nesta etapa foi descoberto um conflito entre a biblioteca utilizada pelo módulo I2C e a biblioteca utilizada pelo sensor DHT22, então optou-se por não utilizar o Módulo, e por consequência, o display LCD ficou inoperante. Para contornar esse conflito foram feitos os teste com as BlackBoard pro mini ligadas ao computador e utilizado o monitor serial do Arduino, assim foi possível operar as placas emissor e master normalmente.

4.3 Teste de vazão do umidificador

Com o intuito de medir a vazão de água vaporizada pelo umidificador utilizado, foram feitos testes com 100ml de água por quinze vezes, em dias distintos e todos com o condicionador de ar do ambiente de teste ligado, porém com o sistema de controle configurado para funcionamento contínuo, tendo em vista o objetivo de avaliar a vazão de água vaporizada pelo equipamento em sua potência máxima. Com esse teste, obteve-se o gráfico da Figura 33.

Figura 33 - Teste de vazão do umidificador



Fonte: Autoria própria.

4.4 Comparativo de vazão entre umidificador e condicionador de ar

Com base em dados coletados em (Bolina, 2017) e mostrados na Tabela 2, pode-se fazer uma análise de vazão entre o umidificador e condicionadores de ar, a Tabela 3 demonstra a potência estimada do umidificador para que o nível de umidade relativa do ar seja mantido no valor estipulado pelo usuário.

Tabela 2 - Volume mensal produzido em cada condensadora.

Aparelho (BTU)	Estação	Volume (L/h)	Dias	Horas por dia	Volume produzido total (L)
12.000	SECA	1,12	22	5	123,09
12.000	CHUVOSA	2,04	22	5	224,82
60.000	SECA	2,15	22	5	236,97
60.000	CHUVOSA	3,52	22	5	387,31

Fonte: (Bolina, 2017).

Tabela 3 - Estimativa de potência do umidificador para dois casos

Condicionador de ar (BTU)	Volume condensado (L/h)	Potência estimada do umidificador (fabricante)	Potência estimada do umidificador (teste)
12.000	1,12	202W	336W
12.000	2,04	367W	612W
60.000	2,15	387W	645W
60.000	3,52	633W	1056W

Fonte: Autoria própria.

4.5 Testes práticos

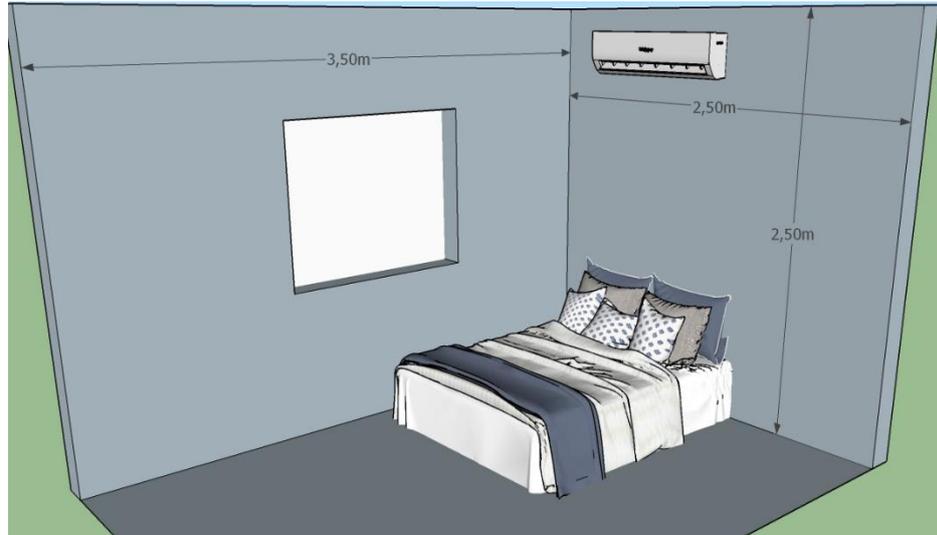
Para os testes práticos, foi escolhido um ambiente climatizado onde foram feitos três teste distintos. No primeiro, o sistema ficou ligado durante quatro horas obtendo dados de temperatura e umidade do local sem a interferência do umidificador nem do condicionador de ar.

No segundo teste foi ligado somente o condicionador de ar, modelo Midea MSAF-12HRN1 com potência de 12500 Btu/h, ajustado para 23 °C.

Então no terceiro teste, já com o condicionador de ar ajustado em 23 °C, foi inserido o sistema proposto com o umidificador ultrassônico controlado.

Os testes foram realizados entre os dias 29 de novembro de 2019 e 1 de dezembro de 2019, todos em horários próximos ao meio dia, as medidas do ambiente podem ser vistas na Figura 34.

Figura 34 - Ilustração do ambiente utilizado nos testes.

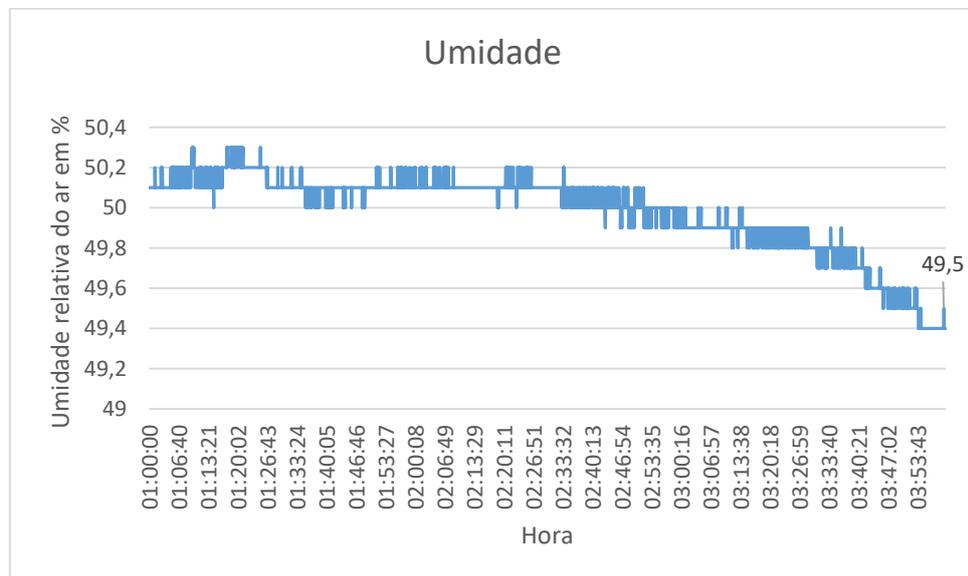


Fonte: Autoria própria.

Estes testes geraram os seguintes gráficos de humidade e temperatura.

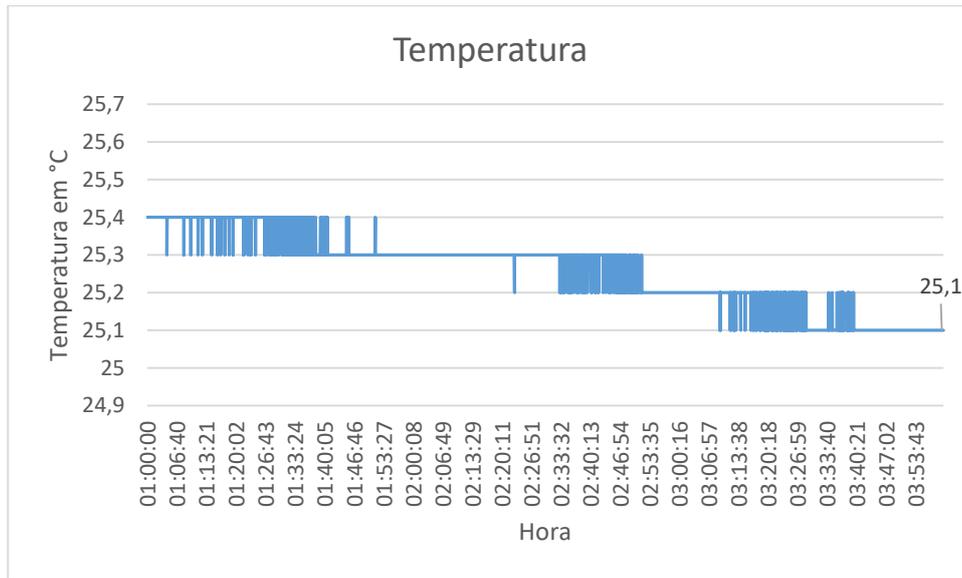
4.5.1 Teste um -ambiente sem umidificador e condicionador de ar

Figura 35 - Gráfico da umidade relativa do ar no primeiro teste.



Fonte: Autoria própria.

Figura 36 - Gráfico da temperatura no primeiro teste.

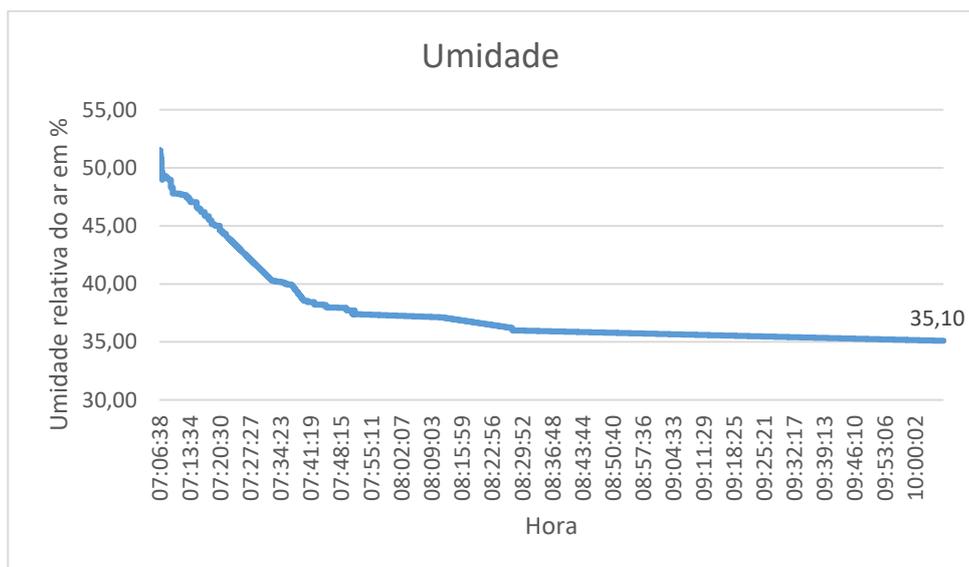


Fonte: Autoria própria.

Apesar de uma leve alteração nos valores medidos durante o primeiro teste, pode se ver que tanto a umidade relativa do ar, quanto a temperatura, sofreram pequenas alterações. Isso se deve ao fato de o ambiente não ter grandes estímulos externos.

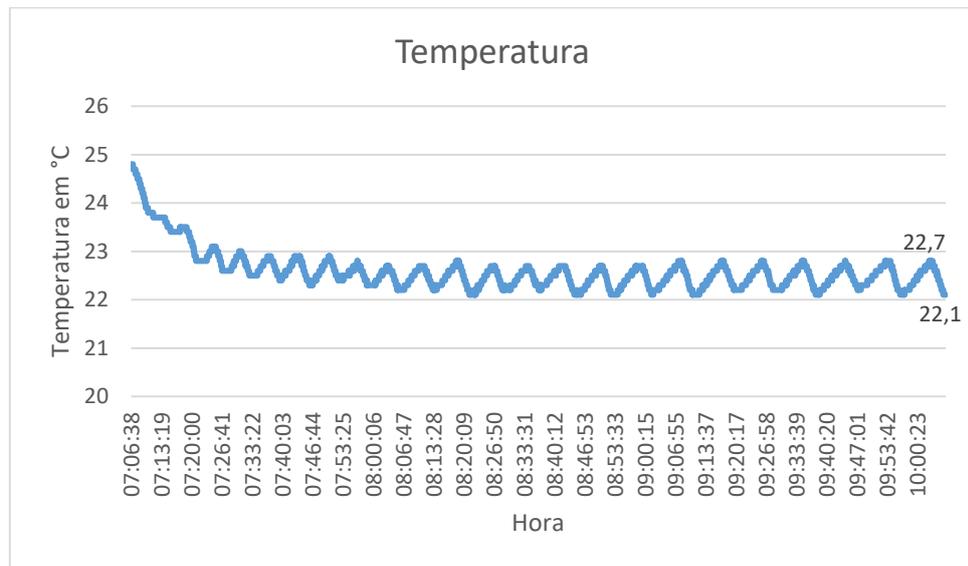
4.5.2 Teste dois - Somente o condicionador de ar ligado

Figura 37 - Gráfico da umidade relativa do ar no segundo teste.



Fonte: Autoria própria.

Figura 38 - Gráfico da temperatura no segundo teste.

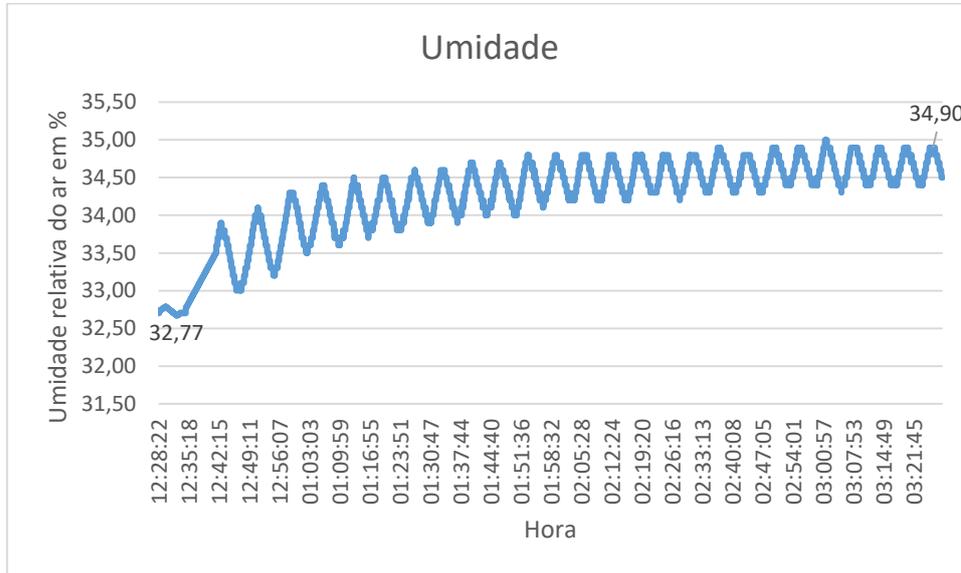


Fonte: Autoria própria.

Com o segundo teste, é possível observar a ação do condicionador de ar no ambiente, o qual reduz a temperatura para a programada, mas com isso também reduz a umidade relativa do ar. Na Figura 37 é possível ver que após um período de tempo a umidade relativa do ar tem seu nível quase que estabilizado. Isso se deve ao fato de que o condicionador de ar reduz sua operação após estar próximo a sua temperatura programada, e também quando o ambiente começa ficar mais seco, a condensação dentro do condicionador de ar tende a diminuir.

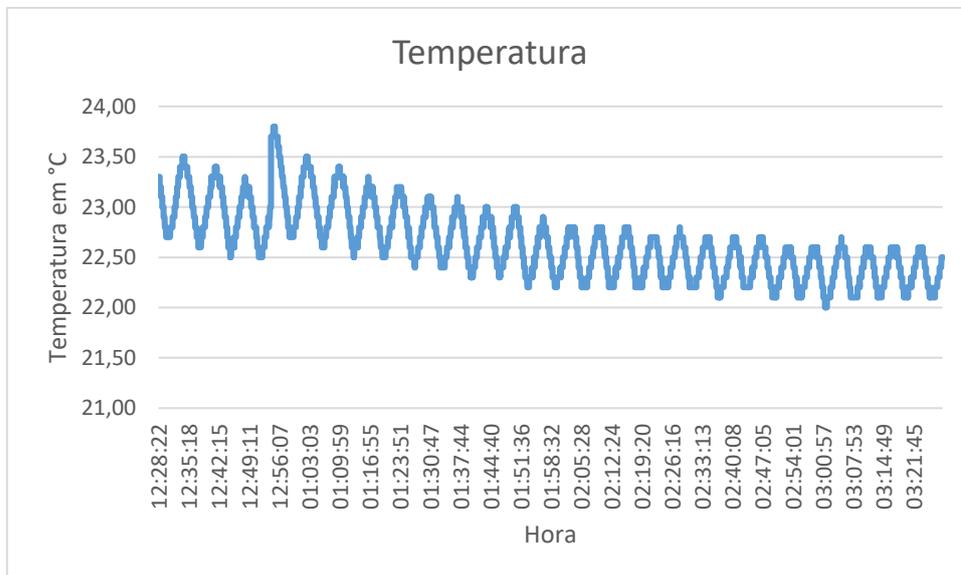
4.5.3 Teste três - Umidificador e condicionador de ar ligados

Figura 39 - Gráfico da umidade relativa do ar no teste três.



Fonte: Autoria própria.

Figura 40 - Gráfico da temperatura no teste três.



Fonte: Autoria própria.

Neste teste fica evidenciado um ganho na umidade relativa do ar, porém os resultados não são os desejados, pois o umidificador estava configurado para atingir 45% de umidade e foi possível somente alcançar a marca de 34,9% de umidade relativa do ar.

No item 4.4 é feito um comparativo entre a vazão de água retirada do ar pelo condicionador de ar e a quantidade de água que o umidificador consegue vaporizar. Com esses valores, os resultados obtidos no teste três ficam bastante claros, pois a vazão entre os equipamentos é bastante distinta.

Para resultados mais expressivos, será necessário aumentar o número de vaporizadores controlados no ambiente.

4.6 Conclusões

Apesar das dificuldades encontradas durante a montagem dos circuitos, foi possível contornar as situações e achar soluções, ainda que algumas temporárias. Ao testar os equipamentos, ficou claro a importância de realizar as simulações, pois o sistema interagiu como o esperado e simulado anteriormente.

Ao analisar os testes de vazão do umidificador, fica claro a disparidade dos resultados com os valores especificados pelo fabricante, o que pode ser efeito do ambiente de testes ou até das propriedades da água utilizada.

Com esses valores de vazão, tem-se uma média de 01h 39m 52s para vaporizar 100ml de água, ou então algo em torno de 60ml/h, então pode-se ter um valor de potência de referência para dimensionar um sistema aplicável na prática.

Ao fazer os testes reais com o protótipo, foi percebido que mesmo tendo uma disparidade muito grande nos valores obtidos na comparação de vazão, obteve-se um ganho real na umidade relativa do ar, o que sugere que devido aos parâmetros utilizados e as dimensões do ambiente de teste, a potência necessária de umidificadores possa ser menor do que o estimado anteriormente neste trabalho.

Então apesar não de obter resultados totalmente dentro dos objetivos, este trabalho obteve resultados que podem ajudar no desenvolvimento de equipamentos mais precisos e funcionais.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Este trabalho demonstrou como a umidade relativa do ar pode ser prejudicial se não estiver em seus níveis ideais. Também apresentou uma maneira de reutilizar a água que é retirada do ar pelos sistemas de refrigeração, o que diminui o desperdício dos recursos hídricos.

No Capítulo 2, pode-se analisar o funcionamento dos condicionadores de ar modernos, que apresentam o mesmo princípio de funcionamento desde a sua criação, além de demonstrar quais são os tipos mais populares de umidificadores de ar, e qual a melhor tecnologia para se adotar no desenvolvimento deste projeto.

O Capítulo 3 apresentou o sistema proposto neste trabalho, desde a programação e o sistema de comunicação a ser utilizada pelos componentes, até a simulação de todo sistema de controle do umidificador, assim foi possível verificar que o sistema funciona de maneira simples, mas com os resultados desejados.

Já o Capítulo 4 tratou da prototipagem e testes com os equipamentos. Foi onde algumas decisões importantes foram tomadas para que o projeto tivesse êxito, e então foi feito o dimensionamento do umidificador utilizado, além de realizar os testes práticos do protótipo.

Após os quatro primeiros capítulos, fica evidenciado a viabilidade deste sistema proposto ser implementado em futuros projetos, tanto projetos acadêmicos como comerciais. Sua simplicidade na construção e programação é uma característica fundamental para que futuros trabalhos possam ser começados ou complementados por este.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

Diversas fontes demonstram que alguns filtros, como os com paredes com prata coloidal, são capazes de retirar a maior parte das impurezas da água, como as bactérias. Como sugestão de trabalho futuro, proponho montar o umidificador ultrassônico com o sistema de automação em um ambiente real, com o reaproveitamento da água do condicionador de ar e analisar se esta água retirada do equipamento estará própria para ser utilizada no umidificador, e analisar também após passar por um sistema de filtração.

Como sugestão, este sistema pode ser aproveitado por grupos de pesquisa que necessitam ambientes com a umidade relativa do ar controlada para que seus resultados sejam satisfatórios. Pesquisas com plantações em estufa, por exemplo.

Bibliografia

Carrier do Brasil, acesso em 4 de Outubro de 2018, disponível em: <https://www.carrierdobrasil.com.br/willis-carrier>

Bolina, C. et al.(2017). *Reúso de água de dreno de ar condicionado para fins não potáveis*. ENGEVISTA, V. 19, n.5, 1387-1400.

Brasil. (8 de Junho de 1978). Portaria n. 3.214, 08 DE Jun. de 1978. *Aprova as Normas Regulamentadoras - NR*, p. 140.

EPA, U. (2008). *Una breve guía para el moho la humedad y su hogar*. p. 11.

Ferraz, F. (2008). *Apostila de Refrigeração*. Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, Santo Amaro - BA.

Ibrahim, S. (2015). *REMOTE WIRELESS SYSTEM USING AMPLITUDE SHIFT KEYING MODULATION*. Malaysia Space Centre, Operation and Space System Division, Banting, Selangor, Malaysia.

Nedel, A. (2008). *Condições Meteorológicas Favoráveis à Ocorrência de Doenças Respiratórias em Crianças da Cidade de São Paulo*. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Rigotti, P. (2014). *PROJETO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA CONDENSADA DE SISTEMA DE CONDICIONADORES DE AR*. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Rodes, C. (1990). Measurements of the Size Distribution of Aerosols Produced by Ultrasonic Humidification. *Aerosol Science and Technology*, 220-229.

Takeda, M. (1987). *United States Patent No. 4,641,053*.