



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**APLICAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO
ELÉTRICA DE BAIXO CUSTO COMO MÉTODO DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

DEMETRIUS BARAHUNA GUIMARÃES BEZERRA

RIO BRANCO

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**APLICAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO ELÉTRICA
DE BAIXO CUSTO COMO MÉTODO DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

DEMETRIUS BARAHUNA GUIMARÃES BEZERRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Acre – Ufac, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Omar Alexander Chura Vilcanqui
Coorientador: Me. Thiago Melo de Lima

RIO BRANCO
2019

COMISSÃO JULGADORA

Trabalho de Conclusão de Curso

Autor: DEMETRIUS BARAHUNA GUIMARÃES BEZERRA

Data da Defesa: 22/08/2019

Título do Trabalho: APLICAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO ELÉTRICA DE BAIXO CUSTO COMO MÉTODO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Prof. Dr. Omar Alexander Chura Vilcanqui
Orientador – CCET/Ufac

Prof. Dr. Roger Fredy Larico Chávez
CCET/Ufac

Prof. Esp. Uendel Diego da Silva Alves
Uninorte

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, criador de tudo e todos, por me presentear com a vida e permitir que eu chegasse neste momento da minha vida.

Agradeço em especial a minha mãe, Audenice Lima Guimarães Bezerra, e ao meu Pai, Deleuse Barahuna Bezerra Filho, que sempre cuidaram de mim, me apoiaram e estiveram presentes em diversos momentos especiais da minha vida.

Agradeço aos meus irmãos, Deleuse Barahuna Bezerra Neto e Dandara Barahuna Guimarães Bezerra, que me ajudaram em alguns momentos da vida.

Também agradeço aos diversos amigos que fiz e me ajudaram durante este curso, Alipio Moreira Motta (grane Mottinha, amigo que me ajudou em diversos trabalhos inclusive neste), Tiago Royer (calado e bastante inteligente), Kairon Andrade (grande mestre pokemon), Ricardo de Paula (o maior assoviador da Ufac), Moises Arthur (amigo bastante esforçado que me acompanhou em vários projetos), Erivelton (amigo que também me acompanhou em vários projetos), José Alexandre (famoso Zé do leite), Francisco Andrade Neto, Débora, Michely e Bruna Flangini.

Agradeço a Natália, Hylari, Gabriel, Jerfferson, Gustavo, Raphael, Nicollas, Eduarda e Lucas Matheus, que são colegas e amigos de outras turmas que também fiz durante o curso.

Agradeço ao Ceeac que disponibilizou o recurso financeiro necessário para a implementação do protótipo, e aos diversos colegas e amigos que me ajudaram bastante no desenvolvimento deste projeto, Lucas Matheus, Eng^a Luzenilda, Gabriel Guilherme, Eng. Marcos Maia, Gabriel Marx, Lucas Vinshinsky, Claudiane e Evanilda. Em especial ao Eng. Thiago Melo pela orientação neste trabalho e ao Matheus Paolo por auxiliar na montagem e programação do protótipo.

Agradeço ao meu amigo João Gabriel, que mesmo se mudando para o outro lado do Brasil continua me chamando para jogar mesmo quando eu não quero ou não posso.

Agradeço a Universidade Federal do Acre e a todos os professores e funcionários que me ajudaram durante esse curso, especialmente meu orientador Prof. Omar Alexander Chura Vilcanqui.

Resumo

Este trabalho propõe o estudo e desenvolvimento de um protótipo de automação de baixo custo capaz de reduzir o desperdício de energia elétrica em um determinado local e proporcionar maior eficiência energética. Neste aspecto, foram pesquisadas centrais de automação que realizam funções parecidas com deste projeto a fim de se fazer um comparativo com o sistema proposto. Após isso, é apresentado o que o sistema deve fazer, o local onde pretende-se instalá-lo e quais equipamentos escolher para a montagem do protótipo. Por fim, é explicado como o protótipo foi montado até ficar pronto para a instalação.

Palavras-chave: Protótipo de automação, desperdício de energia, eficiência energética. .

Abstract

This work proposes the study and development of a low cost automation prototype capable of reducing the waste of electricity in a given location and providing greater energy efficiency. In this aspect, automation centers that perform similar functions of this project were researched in order to make a comparison with the proposed system. After that, it is presented what the system should do, where it is intended to install the prototype and which equipment to choose for the prototype assembly. Finally, it explains how the prototype was assembled until ready for installation.

Keywords: Automation prototype, waste of electricity, energy efficiency.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Controle Remoto universal BroadLink RM Pro (BROADLINK, 2019).	17
Figura 2 – Aparelho Central Easy home (THOLZ, 2017).	18
Figura 3 – Extensor Easy Home (THOLZ, 2017).	18
Figura 4 – a) Central de automação, b) controle no celular ou tablet, c) painel de controle (ELETROHAEN, 2019)	19
Figura 5 – Descrição de Hardware do sistema	20
Figura 6 – Sensores que farão a contagem	21
Figura 7 – Alocação de sensores de forma a cobrir todo o ambiente	22
Figura 8 – Interação dos componentes do sistema	23
Figura 9 – Placa Arduino Mega 2560 REV3 (ARDUINO, 2019).	24
Figura 10 – Módulo sensor de movimento PIR (THOMSEN, 2013a).	25
Figura 11 – Display LCD 16×2 Backlight Azul (THOMSEN, 2011).	26
Figura 12 – Módulo RTC DS1307 (THOMSEN, 2014).	27
Figura 13 – Sensor SCT-013 (DEMETRAS, 2017).	28
Figura 14 – Corrente de saída do sensor (DEMETRAS, 2017).	29
Figura 15 – Circuito divisor de tensão (DEMETRAS, 2017).	30
Figura 16 – Circuito divisor de tensão com capacitor (DEMETRAS, 2017).	31
Figura 17 – Tensão de saída do sensor (DEMETRAS, 2017).	31
Figura 18 – Receptáculo projetado para o protótipo.	32
Figura 19 – Vista de frente do receptáculo.	32
Figura 20 – Fluxograma do Protótipo.	33
Figura 21 – Simulação do Protótipo.	35
Figura 22 – Teste do sensor de corrente.	38
Figura 23 – Primeiro protótipo.	39
Figura 24 – Protótipo Final.	40
Figura 25 – Dados mostrados na tela.	40
Figura 26 – Layout para a caixa de sobrepor do protótipo	48

Lista de tabelas

Tabela 1 – Consumo evitado	36
Tabela 2 – Tabela de testes	41

Lista de códigos

1	Algoritmo do Protótipo	49
---	----------------------------------	----

Lista de abreviaturas e siglas

DC	Corrente Contínua (<i>Direct current</i>)
WI-FI	Fidelidade sem fio (<i>Wireless Fidelity</i>)
PIR	Sensor infravermelho passivo (<i>Passive Infrared Sensor</i>)
RTC	Relógio de tempo real (<i>Real Time Clock</i>)
PWM	Modulação por largura de pulso (<i>Pulse Width Modulation</i>)
IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado (<i>Integrated Development Environment</i>)
GND	Terra
OUT	Pino de saída
SSR	Relé de estado sólido (<i>Solid State Relay</i>)
LCD	Display de cristal líquido (<i>Liquid Crystal Display</i>)
V_{CC}	Tensão de alimentação
SCT	Transformador de corrente de núcleo dividido (<i>Split-Core Current Transformer</i>)
RMS	Valor eficaz (<i>Root Medium Square</i>)
I	Corrente
N	Quantidade de voltas na bobina
R	Resistência
V	Tensão
C	Capacitor

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Uso Racional de Energia na Universidade Federal do Acre	12
1.2	Motivação	13
1.3	Justificativa	13
1.4	Objetivos	14
1.5	Organização do trabalho	14
2	AUTOMAÇÃO ELÉTRICA	16
2.1	Centrais de automação	16
2.2	Automação residencial	16
2.3	Automação comercial	19
3	PLANEJAMENTO DO PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO	20
3.1	Ambiente de estudo	22
3.2	Protótipo	24
3.2.1	Controlador	24
3.2.2	Sensores de detecção de presença	25
3.2.3	Equipamentos auxiliares	25
3.2.4	Fluxograma	33
3.2.5	Simulação	35
3.2.6	Resultados esperados	35
4	DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO	37
5	CONCLUSÃO	42
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
6.1	Dificuldades encontradas	43
6.2	Trabalhos futuros	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICES	47
	APÊNDICE A – LAYOUT DA CAIXA DE SOBREPOR PROJETADA	48

APÊNDICE B – CÓDIGO USADO NO PROJETO 49

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética na redução de consumo e aproveitamento de energia é um tema que é muito discutido na atualidade, já que ela pode trazer muitos benefícios econômicos. Ela pode ser definida como a necessidade de retirar o desperdício do planejamento da expansão do sistema elétrico, o que reduz o investimento no setor elétrico sem comprometer o fornecimento e qualidade de energia (MARQUES et al., 2006).

O desperdício de energia elétrica está fortemente associado com a demanda de energia elétrica e como ela é utilizada. Atualmente o consumo de energia elétrica é realizado sem nenhum controle, então ineficiente. Para ter um sistema eficiente em consumo de energia são necessárias medidas que resultem em uma maior eficiência energética.

Vale ressaltar que a redução dos gastos econômicos, além de ajudar na eficiência energética e na redução do consumo de energia combatendo o desperdício, pode trazer benefícios econômicos, pois assim pode-se adiar a necessidade de novas usinas elétricas geradora e sistemas de distribuição e transmissão de energia, resultando na disponibilidade de recursos para outras áreas e na contribuição para a preservação da natureza (mesma referencia).

A eficiência energética pode ser definida como a utilização de processos e equipamentos que resultem no melhor desempenho na produção dos serviços com um menor consumo de energia. Um jeito de alcançar essa eficiência, além de utilizar equipamentos mais eficientes, desligar aparelhos que não estivessem sendo usados.

Atualmente a Universidade Federal do Acre (UFAC), por não ter um controle adequado dos equipamentos usados como ar-condicionados, entre outros, gasta muito em pagamentos altos de consumo de energia. Assim, é necessário a instalação de um sistema autônomo que possa monitorar os intervalos de uso de energia elétrica nos diferentes equipamentos e desligar estes quando não houver a presença de pessoas. Sendo fundamental o estudo da viabilidade deste sistema.

1.1 Uso Racional de Energia na Universidade Federal do Acre

A UFAC possui um alto consumo de energia que está relacionado a diversos aparelhos como ar-condicionados e lâmpadas de mercúrio e LED. E algumas vezes estes equipamentos, além de consumirem muita potencia, estão ligados sem realmente serem necessários, como ar-condicionados refrigerando salas vazias. Por causa disso faz-se necessário o uso racional de energia para evitar custos desnecessários.

Em 28 de maio de 2019 a UFAC, o Centro de Excelência em Energia do Acre (CEEAC) e a Eletroacre, empresa do Grupo Energisa, assinaram um convênio que visa o uso racional de energia elétrica na universidade. Este acordo garante verba para o Programa de Eficiência

Energética, Pesquisa e Desenvolvimento (UFAC, 2019). Isso demonstra o interesse coletivo em melhorar a eficiência energética na universidade.

Segundo o portal de notícias da UFAC (2019), o projeto de eficiência que a CEEAC desenvolveu prevê a instalação de painéis fotovoltaicos no campus da universidade, junto com a troca de mais de 14 mil lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de LED, consideradas muito mais eficientes, e o monitoramento do consumo de energia em tempo real em todos os prédios do campus. Todas essas medidas podem reduzir entre 8% a 10% o o gasto com energia elétrica na universidade (UFAC, 2019).

Para o diretor-presidente do CEEAC (2019), um dos maiores objetivos do centro de excelência é conscientizar as pessoas para o uso racional de energia através de pesquisa e projetos, para que, assim, elas mudem o habito de consumo. Tais mudanças podem reduzir consideravelmente o desperdício de energia, reduzindo custos que podem ser investidos em outras áreas.

Além desses projetos, o CEEAC está investindo em um projeto de automação que visa aumentar a eficiência energética em uma sala através de um sistema que monitore a quantidade de pessoas no local e, caso não não tenha pessoas na sala, ele desligue as lampadas e ar-condicionados, aparelhos que muitas vezes são esquecidos ligados quando o usuário deixa o ambiente. Isso resultará em um uso mais racional de energia na UFAC.

1.2 Motivação

Atualmente existe um alto consumo de energia na UFAC, que pode ser reduzido se grande parte dos parelhos forem usados de forma mais eficiente. Este trabalho visa a criação de um protótipo que possa evitar o desperdício de energia em um local da universidade, evitando que equipamentos fiquem ligados sem estarem realmente em uso.

1.3 Justificativa

Um dos fatores que influenciá no atual cenário de alto consumo de energia no campus da Universidade Federal do Acre é a falta de eficiência no controle dos aparelhos de elevado consumo que muitas vezes permanecem ligados sem estarem sendo realmente utilizados. Portanto um sistema de automação que controle o funcionamento de tais equipamentos de modo a desligá-los quando não estão sendo utilizados por determinado tempo ou em determinado horário pode gerar certa eficiência, além de diminuir o desperdício de energia.

A proposta deste projeto é implementar um sistema que monitore e desligue tais aparelhos de alto consumo em horários que estes não estiverem sendo utilizados. O sistema projetado consiste em um equipamento simples que possa ser programado para determinar se alguém está usando um ambiente e que possa desativar os equipamentos caso não estejam em uso.

A UFAC é um local onde diversas lampadas e aparelhos de ar condicionado são constantemente ligados, o que gera uma alta demanda de energia. Nestas áreas, onde a iluminação e condicionadores de ar são cruciais, é de extrema importância haver algum sistema que consiga economizar energia (OKINDA et al., 2015). Com este projeto, pode-se ter uma redução do desperdício com um aumento da eficiência energética.

1.4 Objetivos

Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é a redução do consumo de energia elétrica mediante a implementação de um equipamento de baixo custo capaz de monitorar o consumo de energia elétrica, e, caso necessário, interfira no seu funcionamento.

Objetivos específicos

- Estudo de viabilidade da instalação de sensores capaz monitorar a corrente e presença;
- Simulação do sistema de monitoramento em um sistema computacional;
- Implementação de um sistema de monitoramento baseado num sensor de corrente e presença;
- Aquisição de dados;
- Análise do sistema de monitoramento.

1.5 Organização do trabalho

O **Capítulo 2** aborda sobre aparelhos de automação que são usados nas áreas residencial e comercial a fim de fazer um comparativo dos preços e das funções de cada um. Assim, através desta pesquisa, pode-se adotar soluções menos custosas com funções específicas.

No **Capítulo 3** é mostrada uma descrição do sistema projetado e, também, explica as funções que ele deve ter, assim como é apresentado o ambiente escolhido para o teste do protótipo. Além disso, são expostos todos os componentes escolhidos para o desenvolvimento do projeto, o fluxograma que descreve a parte lógica do sistema, uma pequena simulação feita para testá-lo e a possível economia de energia ao instalá-lo nos blocos da UFAC.

O **Capítulo 4** descreve a montagem do protótipo e do desenvolvimento do código para controlá-lo. São apresentados duas versões do protótipo, uma que serviu para testar os componentes e a versão final que será instalada na sala.

O **Capítulo 5** mostra as considerações finais sobre o sistema a ser instalado, dando ênfase no que foi apresentado durante o trabalho e no que será feito durante o período de testes do

protótipo. Também expões as dificuldades encontradas durante a pesquisa e desenvolvimento do projeto, assim como propostas para trabalhos futuros.

2 AUTOMAÇÃO ELÉTRICA

2.1 Centrais de automação

Como o projeto é um protótipo de automação elétrica, foram pesquisados outros equipamentos *smart grid* de automação atualmente comercializados que pudessem desempenhar funções parecidas às do projeto. Dessa forma, pode-se fazer um comparativo geral entre o protótipo planejado e outros já existentes a fim de trazer melhorias durante o planejamento do protótipo.

Os equipamentos pesquisados são centrais de automação, estes dispositivos tem a função de controlar diversos equipamentos da casa a fim de automatizar o local.

Pode -se notar durante a pesquisa que a maioria das centrais de automação vendidos pela internet funcionam como um tipo de controle remoto universal para os interruptores, tomadas e alguns aparelhos, como ar-condicionados e televisões no local, ou seja, eles mandam comandos, na maioria das vezes por infra-vermelho ou radio frequência para equipamentos que estejam no alcance do sinal. O grande problema dessas centrais de automação é que elas conseguem apenas controlar interruptores e tomadas que possam receber os sinais que elas emitem. Isso faz com que seja necessário uma adaptação no local, o que aumenta consideravelmente o custo da automação elétrica.

Além da adaptação de interruptores e tomadas para receber os comandos da central, muitas delas só conseguem controlar os aparelhos de uma sala, fazendo necessário a compra de uma extensão ou de outra central para aumentar o alcance do sinal. Além disso, outras casualidades podem ocorrer, como a interrupção do sinal infra-vermelho por objetos perto da central ou, também, o equipamento que deseja controlar não aceitar o comando do sinal.

2.2 Automação residencial

Automação pode ser definida como um sistema de controle pelo qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e correções, sem a necessidade de interferência humana (PELLINI, 2017).

Foram pesquisadas três centrais de automação residencial, todos com funções parecidas mas com preços diferentes, que serão apresentados a seguir.

Broadlink Rm pro

O Broadlink Rm pro (Figura 1) é um dispositivo de controle remoto universal desenvolvido para automação residencial. Segundo a Propriária empresa Broadlink (2019), ele suporta mais de 5000 aparelhos eletrodomésticos, como televisão, iluminação, ar-condicionado, entre outros,

utilizando sensores infravermelhos e rádio frequência, e é controlado através de *smartphone* via conexão WI-FI (*Wireless Fidelity*).

A instalação é simples. O aplicativo para o controlar o Broadlink é baixado gratuitamente; o aparelho após ligado na tomada gera um QRcode que é escaneado e então o usuário informa a senha do WI-FI. Depois de instalado ele recebe os comandos do aplicativo pela internet e controla os eletrodomésticos que possam receber instruções por infravermelho ou rádio frequência.

Segundo a Broadlink (2019) o sinal de rádio frequência transmitido é de 433 MHz estável e com ampla cobertura. O infravermelho funciona a uma distância de 8 a 15 metros. E estas são outras especificações técnicas:

- Tensão de entrada 5 V DC.
- Corrente de entrada ≥ 1 A.
- Frequência (Wi-Fi) 2.4 GHz 802.11b/g/n.
- Consumo em Standby ≤ 1 W.
- Preço: R\$ 249,89.

Figura 1 – Controle Remoto universal BroadLink RM Pro (BROADLINK, 2019).



Central Easy Home

Segundo Tholz (2017), empresa que criou o aparelho, a central *Easy Home*, mostrado na Figura 2 tem a capacidade de clonar os comandos de controles remotos de diversos eletrodomésticos, como televisão, ar-condicionado, lâmpadas e outros, desde que sejam compatíveis com infravermelho ou rádio frequência.

Segundo o site da Tholz (2017), o alcance da rádio frequência é de 25 metros sem obstáculos, e o equipamento também pode receber um auxílio do extensor *Easy Home* (Figura 3) que só funciona com a central, este repete o comando da central para outros cômodos, podendo realizar o controle de toda a casa.

O aplicativo de controle possui uma interface programável, podendo criar controle remotos personalizados e botões com comandos específicos. Além disso ele pode agendar

comandos para serem executados em horas específicas. O preço do Central *Easy Home* mais a extensão é R\$ 798,00 sem frete no site da Tholz (2017).

Figura 2 – Aparelho Central Easy home (THOLZ, 2017).



Figura 3 – Extensor Easy Home (THOLZ, 2017).



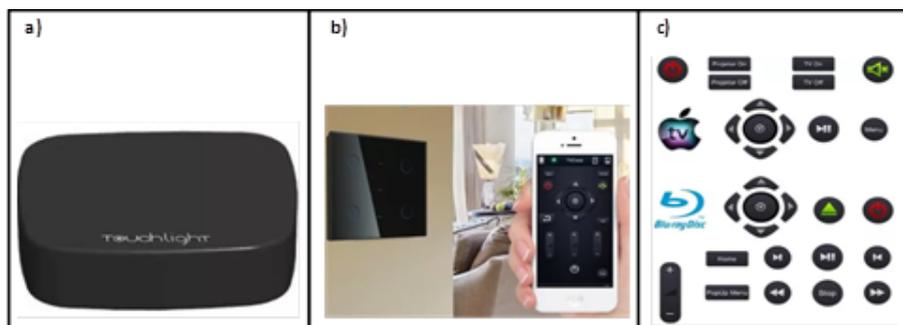
Central De Automação Residencial - Touchlight Smart

Esse equipamento pode utilizar o *SmartPhone* como controle para os diversos equipamentos de um ambiente. A Central *Smart* (Figura 4) utiliza comandos infravermelho ou rádio-frequência e pode controlar equipamentos como: Tv, Blu-Ray, DVD, Ar Condicionado, Persianas e Cortinas motorizadas compatíveis e iluminação (através dos teclados *Touchlight*) (ELETROHAEN, 2019).

Sua programação inclui tarefas como: agendar eventos e acessar o sistema remotamente de qualquer lugar que tenha internet. A programação inclui a opção de cenários, onde para cada cenário determinados equipamentos são ligados ou desligados.

Segundo Eletrohaen (2019) a instalação do produto é simples e consiste apenas na instalação do aplicativo no *SmartPhone*, de forma que este por sua vez irá substituir o controle dos aparelhos nos quais se deseja utilizar o sistema. Para o controle da iluminação, se torna necessário a troca do interruptor da lâmpada por um interruptor *Touchlight*. O preço da Central *Smart* é R\$ 785,00 sem o frete.

Figura 4 – a) Central de automação, b) controle no celular ou tablet, c) painel de controle (ELETROHAEN, 2019)



2.3 Automação comercial

Muitas vezes o setor comercial e industrial, quando querem reduzir custos, optam pela diminuição de matéria prima, quadro de funcionários, entre outros fatores na cadeia produtiva, sendo que pode haver opções melhores (SANTOS, 2019). Isso se deve ao fato da eficiência energética não ser um item muito discutido nessas áreas.

Segundo a ABESCO (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia), é possível para as companhias aumentarem os negócios enquanto mantém a mesma quantidade de colaboradores através de ações de eficiência energética (SANTOS, 2019). Esse processo pode ajudar economicamente varias empresas e o inicio dele se dá de forma simples, através de poucas mudanças no ambiente comercial.

Após uma pesquisa não foi possível encontrar centrais de automação destinadas para automação comercial que seja parecido com o projeto que pretende-se ser desenvolvido no presente trabalho. Muitas vezes eles adotam outras medidas para melhorar a eficiência energética, como a troca de lampadas tradicionais pelas de LED.

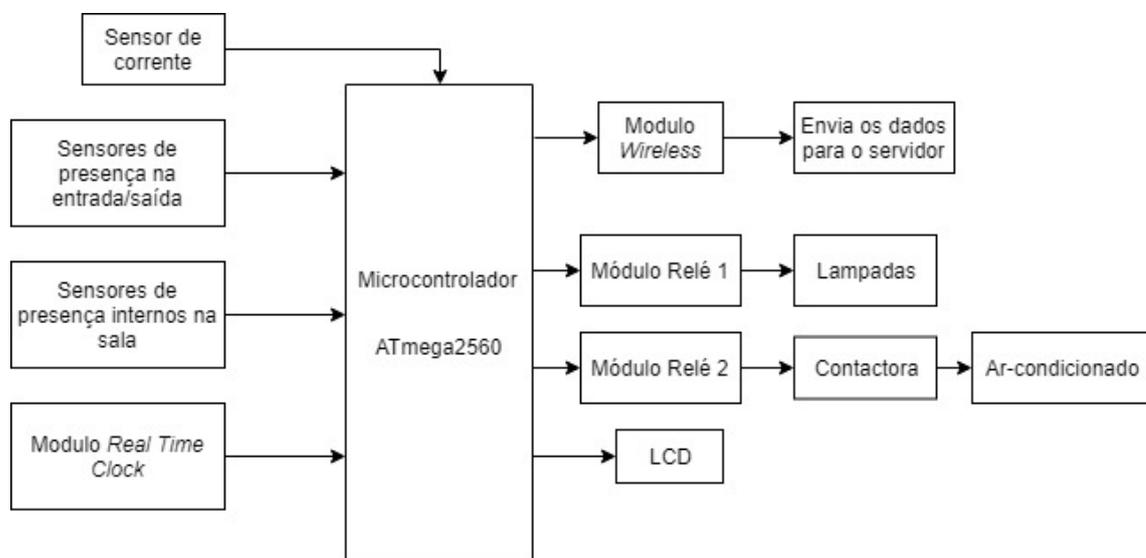
3 PLANEJAMENTO DO PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO

O protótipo oriundo deste trabalho deverá realizar:

- Monitoramento da presença de pessoas no ambiente.
- Se não tiver pessoas no ambiente por um determinado tempo desliga as luzes.
- Se não tiver pessoas no ambiente por um determinado tempo em um horário agendado, então desliga os aparelhos condicionadores de ar.
- Medir a corrente que passa no ar condicionado.
- A cada 15 minutos mandar a informação da corrente medida para o servidor do CEEAC.

O protótipo a ser desenvolvido neste trabalho será descrito conforme a Figura 5.

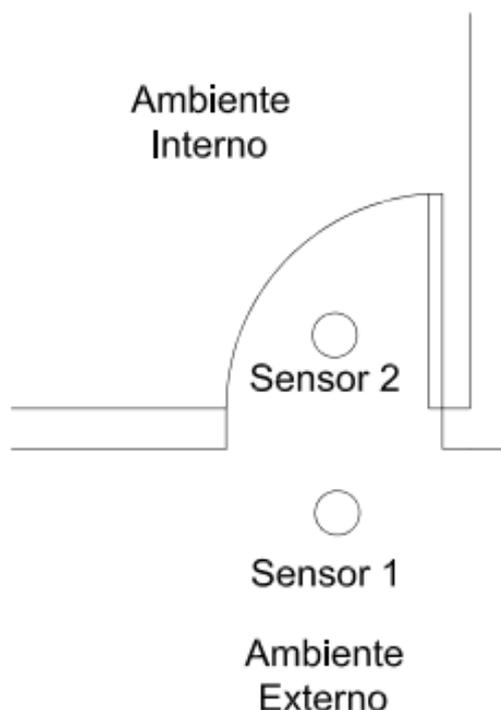
Figura 5 – Descrição de Hardware do sistema



Este projeto irá detectar a partir de sensores de movimento PIR (*Passive Infrared Sensor*) quantas pessoas entram ou saem de uma sala para com isto realizar o controle dos equipamentos elétricos no local, de forma que se obtenha economia de energia.

Para o protótipo fazer a contagem de pessoas que entram ou saem do local, serão instalados 2 sensores de presença PIR na entrada e saída da sala, um no ambiente exterior próximo a entrada da porta (sensor 1) e outro na entrada do ambiente interior (sensor 2) como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Sensores que farão a contagem



Quando uma pessoa passar do ambiente externo para o interno será detectado o sinal no sensor 1 e pouco tempo depois o sensor 2 irá mandar o sinal, de forma que um processador irá ler isto e determinar que uma pessoa entrou na sala acrescentando (+1) à quantidade de pessoas presentes.

De forma análoga, quando alguém sair da sala o sinal no sensor 2 ocorrerá antes do sensor 1, de modo que o microcontrolador diminuirá (-1) um na quantidade de pessoas presentes.

Se utilizados apenas os 2 sensores podem ocorrer imprecisões nas medições, onde, por exemplo, se entrarem duas pessoas juntas na sala em tempos muito próximos o microcontrolador pode entender o sinal do sensor como se apenas uma pessoa estivesse entrando na sala. Isto, por sua vez, pode acabar desligando equipamentos enquanto ainda houver pessoas dentro do ambiente.

Para contornar este problema, propõe-se a utilização de mais sensores no ambiente interno, de modo que se os sensores internos detectarem presença, o microcontrolador manterá os equipamentos ligados, independentemente da quantidade de pessoas na sala.

O microcontrolador mandará sinais para os módulos relés para que eles acionem o circuitos da sala. Como o ar-condicionado usa uma corrente muito alta para o relé, este irá acionar uma contatora, que por sua vez ligará o condicionador de ar.

Um módulo RTC (*Real Time Clock*), que funciona como uma relógio, irá mandar informações do atual horário para o microcontrolador para que ele acione o relé do ar-condicionado apenas em horários específicos.

Além disso será usado um sensor de corrente para monitorar a corrente das lampadas e mandar essa informação para o microcontrolador. Com isso, o mesmo poderá calcular a potencia

que está sendo consumida pelo sistema de iluminação.

O módulo *wireless* permite que o sistema se conecte à internet por WI-FI. Com isso, a cada 15 minutos o protótipo mandará as informações medidas para o servidor do CEEAC. Dessa forma, pode-se ter uma noção da energia que está sendo gasta durante o uso do protótipo do projeto.

O sistema conta com uma tela LCD que mostrará a quantidade de pessoas contadas, a potência calculada e as horas do RTC.

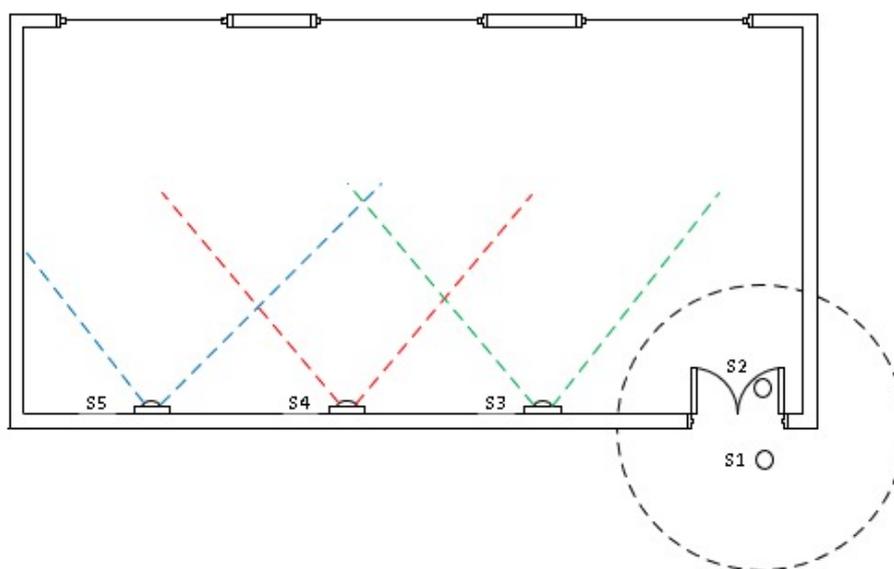
3.1 Ambiente de estudo

A sala escolhida para o teste do protótipo de *smart grid* foi a sala 2 do bloco Áulio Gelio Alves de Souza, onde há o curso de engenharia elétrica. Este local é muito utilizado por alunos e professores e só possui uma entrada e saída.

A sala escolhida é bastante utilizada para aulas, o que a torna ótima para o teste do protótipo, já que há um grande número de pessoas que entram e saem daquele local. Com isso, será bem viável testar as principais funções do projeto, contar a quantidade de pessoas que entram e saem do local e detectar a presença de pessoas na sala.

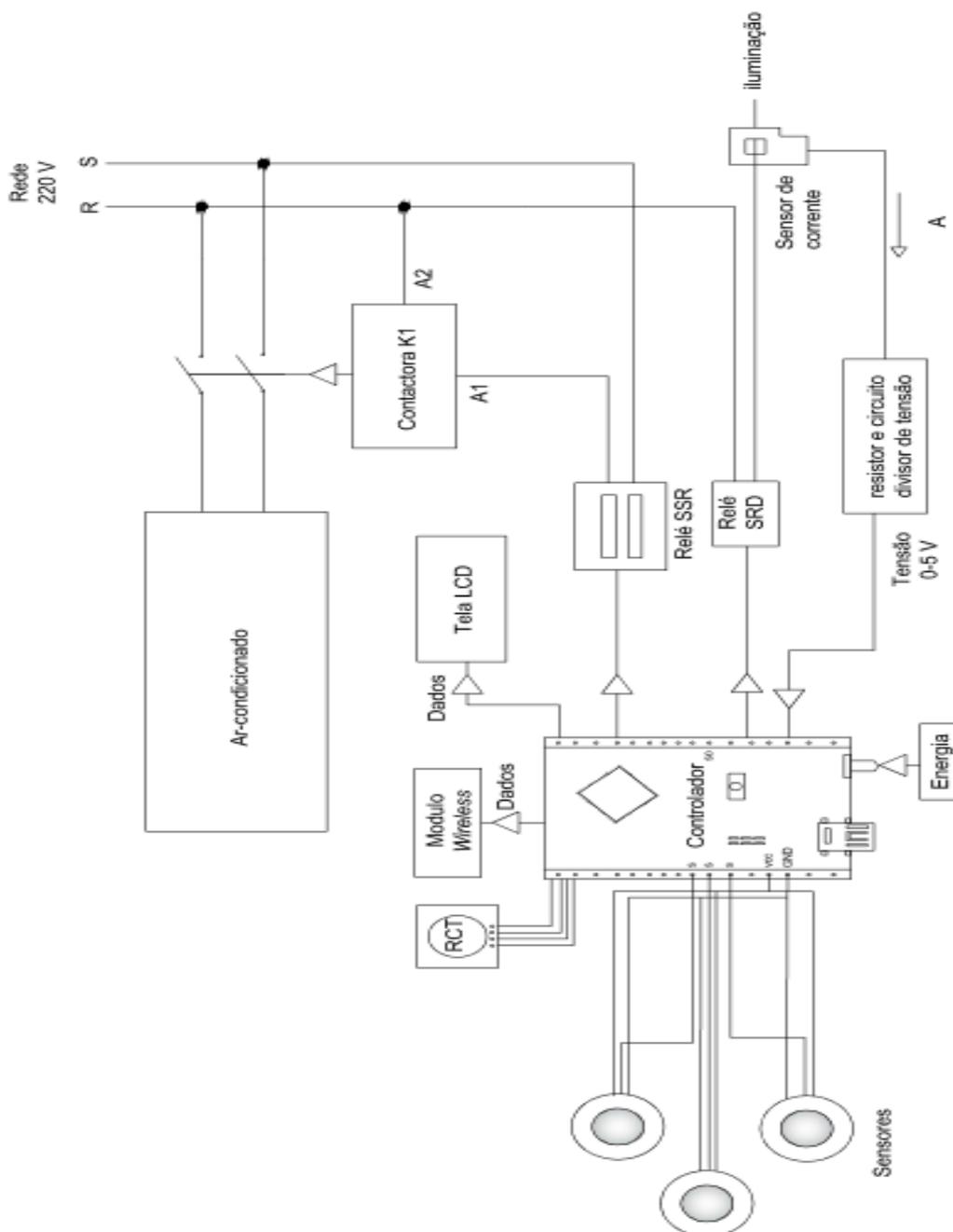
Os sensores PIR ficaram distribuídos na sala de forma que consigam detectar presença em todo o local da sala. Dessa forma, dois sensores ficarão na entrada, como foi mostrado na Figura 6, enquanto os outros sensores serão colocados na parede direita da sala, com uma distancia de aproximadamente 2 metros um do outro (Figura7). Dessa forma, o raio de detecção dos sensores irá cobrir toda a sala.

Figura 7 – Alocação de sensores de forma a cobrir todo o ambiente



O controle das lampadas será feito por meio de um relé mecânico que abrirá a fase que vai para as lampadas quando necessário. Como o ar-condicionado possui alta corrente, ele será desligado por uma contatora trifásica que é acionada por um relé de estado sólido. A Figura 8 mostra como os componentes irão interagir entre si.

Figura 8 – Interação dos componentes do sistema



A alimentação do ar-condicionado passa pelos contatos da contatora K1. O relé SSR (*Solid State Relay*), quando necessário, desliga uma das fases que energiza K1, fazendo com que o mesmo desligue e abra os contatos. Com isso, o condicionador de ar será desligado.

3.2 Protótipo

A seguir são descritos os principais elementos utilizados para a montagem do protótipo de *smart grid*, bem como seus aspectos de funcionamento em conjunto.

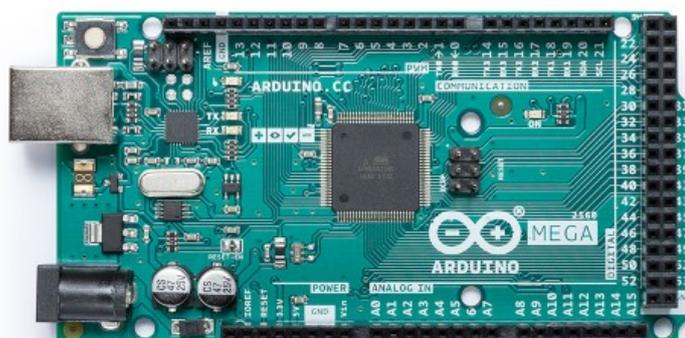
3.2.1 Controlador

O microcontrolador utilizado é o Arduíno Mega 2560 (Figura 9). Esta é uma placa microcontroladora baseada no ATmega2560. Segundo o site oficial do arduino (2019), esta placa possui 54 pinos de entrada e saída digitais, onde 15 podem ser usados como saída PWM (*Pulse Width Modulation*), 16 entradas analógicas e 4 portas de comunicação serial. Por superar o Arduíno UNO em diversos aspectos, ela pode ser utilizada em projetos maiores e mais complexos.

O Arduíno mega pode ser alimentado via conexão USB ou com uma fonte de alimentação externa através de um conector *Jack* com o positivo no centro. A placa pode ser alimentada com uma tensão entre 6 V a 20 V, porém se for fornecido uma tensão abaixo de 7 V, o pino de 5 V pode fornecer uma tensão abaixo do que deveria, o que torna o funcionamento da placa instável, e se a tensão de alimentação externa for maior que 12 V, o regulador de tensão pode sobreaquecer e danificar a placa. Por isso, a tensão recomendada é entre 7 V a 12 V para fontes de alimentação externa (ARDUINO, 2019).

O principal motivo do Arduíno Mega 2560 ser escolhido como controlador do projeto é porque esta placa é fácil de programar devido a sua IDE, que é baseada em linguagem C. E ainda existem diversos módulos, como sensores, relés, display, entre outros que trabalham com o dispositivo e também podem ser programados pela mesma IDE, o que facilita a montagem do projeto. Além disso estes componentes estão disponíveis para vendas em diversos sites comerciais, o que os torna bastante acessíveis.

Figura 9 – Placa Arduino Mega 2560 REV3 (ARDUINO, 2019).



3.2.2 Sensores de detecção de presença

Será utilizado o sensor de presença PIR (*Passive Infrared Sensor*) (Figura 10) para detectar movimentos no ambiente. Este sensor irradia raios infra-vermelhos, depois recebem a reflexão e detectam a presença de pessoas (MALAVATHU, 2016). Além disso, a sensibilidade do sensor é ajustável, podendo modificar a distância em que o objeto será detectado, variando de 3 a 7 metros, e também é possível modificar o tempo em que o sensor permanece em estado alto, de 5 a 200 segundos (THOMSEN, 2013a).

Figura 10 – Módulo sensor de movimento PIR (THOMSEN, 2013a).



No módulo há 3 pinos para se conectar ao Arduino: o *Vcc* que é a alimentação que será conectada na porta de 5 V da placa, o *GND* que é o retorno para se conectar na porta de mesmo nome do Arduino e o pino *OUT*, que é a saída do sinal do sensor. Este último é conectado em uma das portas digitais que é definida pelo código do projeto.

O módulo sensor PIR aceita alimentação de 4,5 V à 20 V e utiliza apenas um pino para mandar as informações para o Arduino. Este sensor funciona da seguinte forma: quando há movimentação na área de alcance do sensor, ele apresenta estado alto (*HIGH*), caso o contrário, ele fica em estado baixo (*LOW*) (THOMSEN, 2013a); isso torna o sensor PIR o mais recomendado para este projeto.

3.2.3 Equipamentos auxiliares

Módulo Relé

Para controle dos equipamentos foi utilizado o Módulo Relé de Estado Sólido SSR (*Solid State Relay*) 2 Canais 5 V. Este módulo acompanha 2 relés de estado sólido acoplados em um circuito, que torna mais fácil a utilização do equipamento, além de que já vem com um circuito de proteção embutido. Este relé é ativo em estado baixo (*LOW*) e desliga em estado alto (*HIGH*).

Os relés de estado sólido são equipamentos semicondutores capazes de desempenhar as mesmas funções de um relé eletromecânico comum, porém eles não possuem contatos mecânicos; isso diminui os ruídos durante o acionamento do dispositivo, aumenta a vida útil e a segurança durante a operação. O modelo utilizado de relé é o *G3MB-202P*, que funciona com cargas com corrente de até 2 A em uma tensão entre 100 V à 240 V alternada (OMRON, 2009).

Outro módulo utilizado é o *SRD-05VDC-SL-C*. Este é um relé mecânico com tensão de operação de 5 V em corrente contínua, o que o torna bom para ser utilizado com o Arduino, e ele suporta até 10 A de corrente em 125 V e 250 V de tensão alternada ou 30 V de tensão contínua (THOMSEN, 2013b). Assim como o relé de estado sólido este módulo também possui um circuito de proteção embutido, o que torna fácil utilizá-lo.

Por suportar uma corrente de até 10 A o relé mecânico para Arduino será utilizado para controlar o circuito das lâmpadas, pois caso o relé de estado sólido fosse utilizado seria necessário mais uma contactora, o que iria aumentar os custos do projeto.

Fonte de alimentação

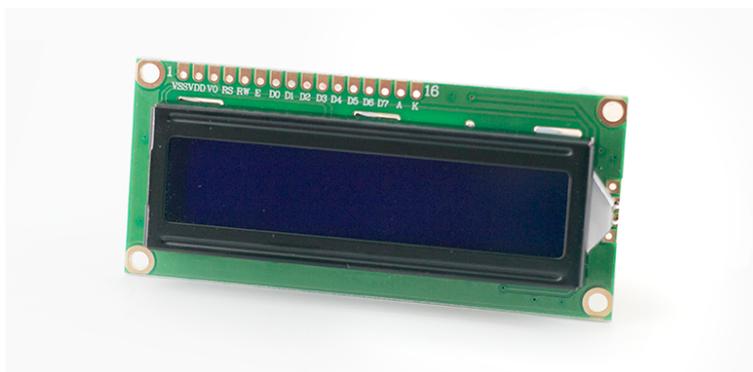
Para a alimentação do Arduino foi escolhida uma fonte DC chaveada 9 V de 1A com Pluge P4. Este equipamento é considerado o ideal para o projeto, pois o valor de tensão de saída está entre o recomendado para o Arduino (entre 7 V a 12 V); a corrente de saída tem valor de 1 ampere; o pluge se encaixa perfeitamente na placa e a fonte se ajusta automaticamente à tensão de entrada, podendo ser de 110 V ou 220 V.

Tela LCD

Será também utilizada uma tela LCD (*Liquid Crystal Display*) para mostrar dados do protótipo durante seu funcionamento, como a quantidade de pessoas contadas. O LCD está aos poucos tomando o lugar dos LEDs, por diversas razões, como o baixo preço ou a habilidade de mostrar números, caracteres ou gráficos com mais facilidade (MALAVATHU, 2016).

O modelo de *display* escolhido para este protótipo é o da Figura 11. Este é muito comum em projetos com Arduino. Ele funciona com o microcontrolador HD44780 e possui 2 linhas e 16 colunas. Nesse espaço ele pode mostrar todas as letras do alfabeto, letras gregas, acentuação, pontuação, símbolos matemáticos, entre outros (MALAVATHU, 2016). Por causa disso ele é útil em diversas situações.

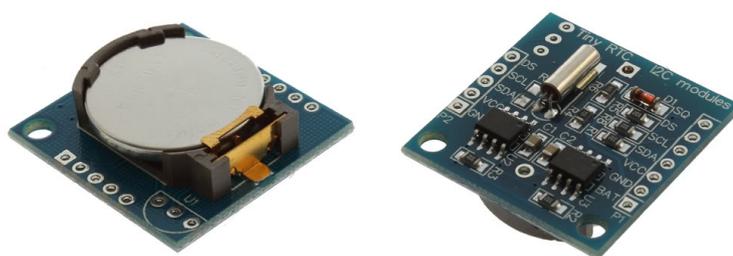
Figura 11 – Display LCD 16x2 Backlight Azul (THOMSEN, 2011).



Real Time Clock DS1307

Como pretende-se ajustar o projeto para só desligar o ar-condicionado durante certas horas do dia, faz-se necessário o uso de um periférico que possa contar as horas a passar as informações para o Arduino. Com essa ideia em mente foi escolhido o módulo RTC (*Real Time Clock*) DS1307 (Figura 12). Ele funciona como um relógio e calendário que pode ajudar a agendar algum comando do microcontrolador.

Figura 12 – Módulo RTC DS1307 (THOMSEN, 2014).



O módulo RTC DS1307 é um relógio e calendário completo com mais de 56 bytes de SRAM. Ele fornece para o microcontrolador informações de segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano, e o relógio opera tanto no formato de 24 horas quanto no formato de 12 horas com o indicador *AM/PM* (MAXIM, 2015). Além disso, segundo a empresa que criou o chip MAXIM (2015), o DS1307 possui um sistema embutido que detecta falhas de energia e automaticamente muda para o suprimento reserva, que é uma bateria acoplada no módulo, assim o sistema não perde as configurações de horas e data quando é desligado.

O módulo DS1307 possui pinos *Vcc* e *GND* para alimentação e portas *SLC* e *SDA* para se comunicar com o microcontrolador através de barramentos I²C (MAXIM, 2015), estes pinos de comunicação são conectados nas portas 20 e 21 do Arduino Mega pois estas são as que aceitam este tipo de comunicação.

Módulo *Wireless* ESP8266

Para que o protótipo possa se conectar com a internet e passar os dados da energia medida será utilizado o módulo *Wireless* ESP8266. Este equipamento se comunica com o Arduino através de uma interface serial e possui uma *firmware* que pode ser atualizada (THOMSEN, 2015b).

Segundo Thomsen (2015b) este módulo possui o alcance de 91 metros e pode se comunicar através de redes padrão 802.11 b/g/n e sua tensão de operação é de 3.3 V contínua. Ele irá mandar valores de potência calculados pelo microcontrolador para o site do CEEAC em horários pré-definidos. Esses dados serão registrados para futuras tomadas de decisões.

Este módulo funciona com uma alimentação de 3,3 V, porém pode ter picos de corrente de até 200 mA. O Arduino não suporta fornecer isso tudo de corrente. Então será usada uma

pequena fonte para fornecer os 3,3V e que suporta a corrente que o modulo WI-FI pode precisar.

Sensor Amperímetro

Para que se possa analisar a corrente que passa pelo sistema de energia durante o uso do protótipo, será adicionado no projeto um sensor de corrente não invasivo SCT-013 (*Split-Core Current Transformer*) (Figura 13). Ele funciona como um alicate amperímetro e não precisa ser ligado em serie com a carga. A corrente de entrada neste equipamento pode variar de 0 a 100 amperes e ele tem como saída uma corrente variando entre 0 a 50 mA (DEMETRAS, 2017). Por não ser necessário a interrupção da carga, ele se torna muito versátil para o projeto

Figura 13 – Sensor SCT-013 (DEMETRAS, 2017).



O problema com este amperímetro é que a saída dele é em corrente e o Arduino aceita apenas sinais em tensão. Então, faz-se necessário um circuito auxiliar que transforme a saída de 0 a 50mA em um sinal entre 0 a 5 V que seja legível para o Arduino.

Segundo Thomsen (2015a), é preciso um resistor de carga que gere a variação de tensão a partir da corrente de saída do sensor; esse resistor é calculado da seguinte forma: Inicialmente é necessário encontrar a corrente de pico, maior valor que o sensor poderá medir, sendo 100 A corrente máxima do componente. Este valor é a corrente eficaz, também conhecida como corrente RMS; ela é o valor máximo da de pico dividida pela raiz quadrada de 2 (DEMETRAS, 2017). Então temos a corrente de pico é:

$$I(\text{Pico}) = I(\text{rms})\sqrt{2} = 100\sqrt{2} = 141,4\text{A} \quad (3.1)$$

O SCT-013 é um transformador de corrente de núcleo dividido. Ele possui uma bobina interna para fazer a medição de corrente elétrica (DEMETRAS, 2017). Então, para encontrar

o número de espiras que essa bobina secundária tem, é preciso usar a fórmula de relação de transformação dada na Equação (3.2).

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3.2)$$

Sendo I_1 a corrente no primário (que será medida), I_2 no secundário (a corrente de saída do sinal), N_1 o número de voltas no primário (neste sensor é 1) e N_2 a quantidade de voltas no secundário. Sendo que quando a corrente no primário é 100 A, no secundário é produzida uma com o valor de 50 mA, com isso tem-se:

$$\frac{1}{N_2} = \frac{0,05}{100} \quad (3.3)$$

$$N_2 = \frac{100}{0,05} = 2000 \quad (3.4)$$

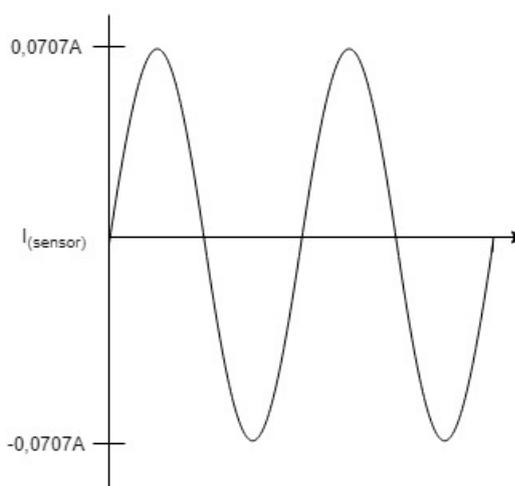
Reutilizando a Equação (3.2), sendo $N_2 = 2000$ espiras e $I_1 = 141,4A$, temos que a corrente de pico na saída do sensor é:

$$\frac{1}{2000} = \frac{I(\text{sensor})}{141,4} \quad (3.5)$$

$$I(\text{sensor}) = \frac{141,4}{2000} = 0,0707A \quad (3.6)$$

Com isso temos que a corrente aproximada de saída no sensor, para uma corrente de 100 amperes medida é representada pela figura 14.

Figura 14 – Corrente de saída do sensor (DEMETRAS, 2017).



Para que se tenha uma melhor resolução na hora de se efetuar a medição, a tensão de pico que passa no resistor de carga deve ser metade da tensão de referência do Arduíno (THOMSEN,

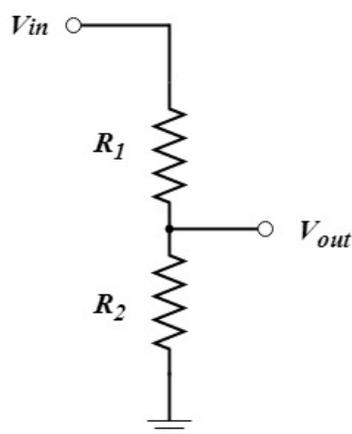
2015a). Sendo 5 V a tensão de referência, temos $V(\text{sensor}) = 2,5V$. Então, usando a fórmula da resistência $R = \frac{V}{I}$, temos:

$$R(\text{carga}) = \frac{V(\text{sensor})}{I(\text{sensor})} = \frac{2,5}{0,0707} = 35,4\Omega \quad (3.7)$$

O resistor de carga ideal é de 35,4 Ω , porém não existe esse valor disponível no mercado; por isso será usado um de 33 Ω no seu lugar. Com isso, a variação de corrente da saída do sensor, caso ele meça uma corrente de 100 A de valor eficaz, será entre 2,5 A e -2,5 A. esse valor ainda não é legível pelo a Arduíno, pois o mesmo não realiza leituras negativas na entrada analógica (DEMETRAS, 2017). Com isso faz-se necessário um circuito que torne essa tensão ideal para o microcontrolador.

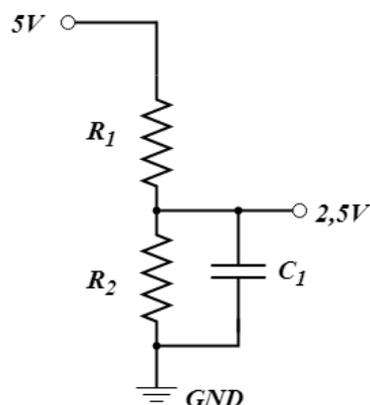
Para torna a saída do sensor de corrente legível será feito um circuito *offset* que desloque em 2,5 V a tensão do sinal, fazendo o mesmo variar entra 0 V a 5 V no máximo. Segundo Demetras (2017), uma maneira de fazer isso é criando um divisor de tensão como o da Figura 15 usando a alimentação de 5 V da placa do Arduino, assim criando um circuito que funcione como uma fonte de 5 V DC.

Figura 15 – Circuito divisor de tensão (DEMETRAS, 2017).



Adicionando um capacitor em paralelo com R_2 temos o circuito representado na Figura 16. Com isso este circuito funcionará como uma bateria que irá adicionar 2,5 V à saída do sensor, fazendo a mesma variar entre 0 V a 5 V, dessa forma temos uma saída legível para o Arduíno e a partir da leitura do amperímetro pode-se calcular um valor aproximado da energia que esta sendo gasta no local de atuação do sistema

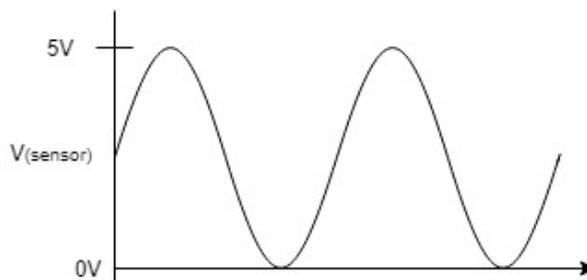
Figura 16 – Circuito divisor de tensão com capacitor (DEMETRAS, 2017).



O os resistores R_1 e R_2 utilizados são de $10K \Omega$, pois com resistências maiores o erro que o circuito divisor de tensão pode apresentar é menor, e o capacitor escolhido é de $100\mu F$.

Apos a implementação do circuito da Figura 16 tem-se uma saída de tensão representada pela figura 17.

Figura 17 – Tensão de saída do sensor (DEMETRAS, 2017).



Caixa de sobrepor para organização e proteção do protótipo

Foi projetada uma caixa de sobrepor para atender as necessidades específicas do projeto. Este recipiente possui forma retangular com 17 cm de largura, 18 cm de altura e 8 cm de profundidade, conforme mostra o layout que pode ser visto na Figura 26 no anexo.

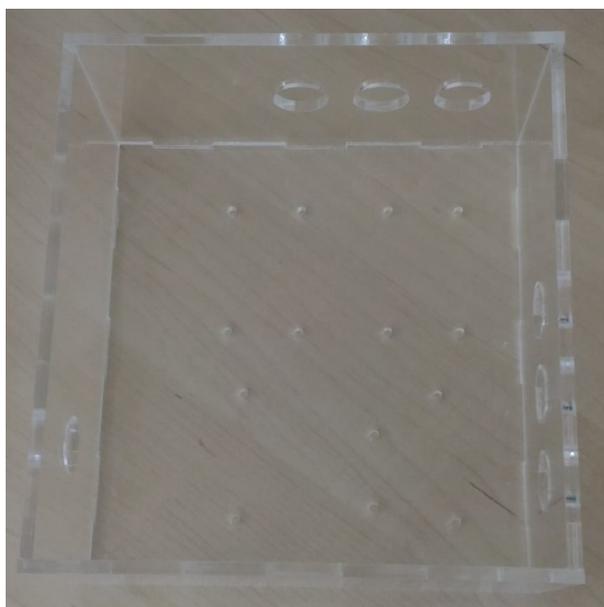
A caixa é construída em material translucido (placas de acrílico em perfil de 4 mm). Assim pode-se ver todos os componentes internos do projeto para analisar se tudo está funcionando conforme planejado. O recipiente fabricado pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Receptáculo projetado para o protótipo.



O fundo da caixa possui pequenos furos projetados para encaixar o Arduino e os relés e prende-los com parafusos. No lado direito existem 3 aberturas circulares com 2 cm de diâmetro para a saída dos fios que saem do Arduino até os sensores de presença. Na parte superior, também há 3 aberturas similares, mas estas servem para conectar os fios do quadro de distribuição nos relés dentro da recipiente. Já no lado esquerdo existe um buraco de 2 cm que vai servir para o fio da alimentação do Arduino.

Figura 19 – Vista de frente do receptáculo.

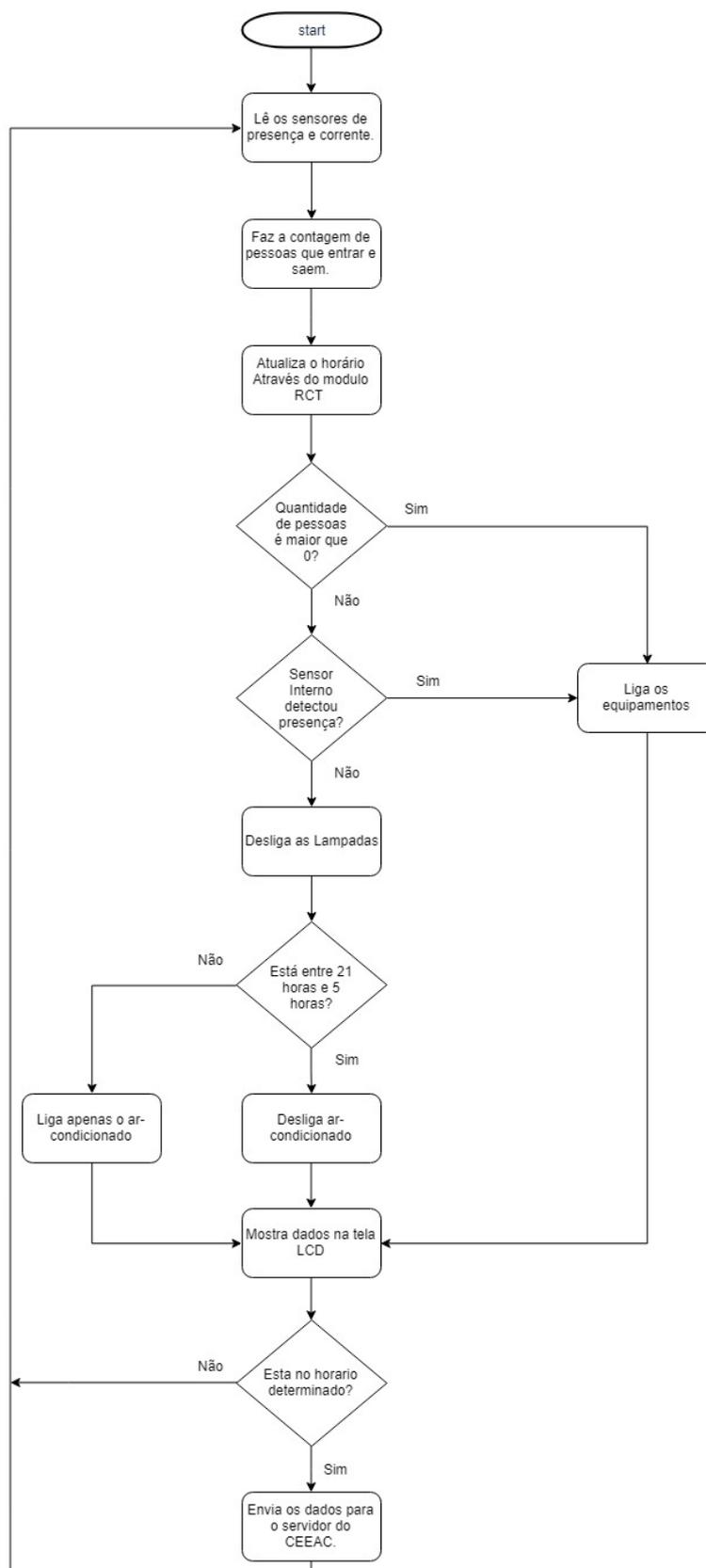


O Arduino mega e os relés vão ficar presos com parafusos dentro da caixa, os outros componentes como o módulo *RTC* serão acoplados em partes internas da caixa para auxiliar o microcontrolador em suas funções. Todos os sensores serão instalados fora do recipiente em locais estratégicos, os de presença na sala e o de corrente no condutor que alimenta as lâmpadas, e fios condutores irão mandar o sinal destes sensores para a placa controladora.

3.2.4 Fluxograma

O fluxograma do código é mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Fluxograma do Protótipo.



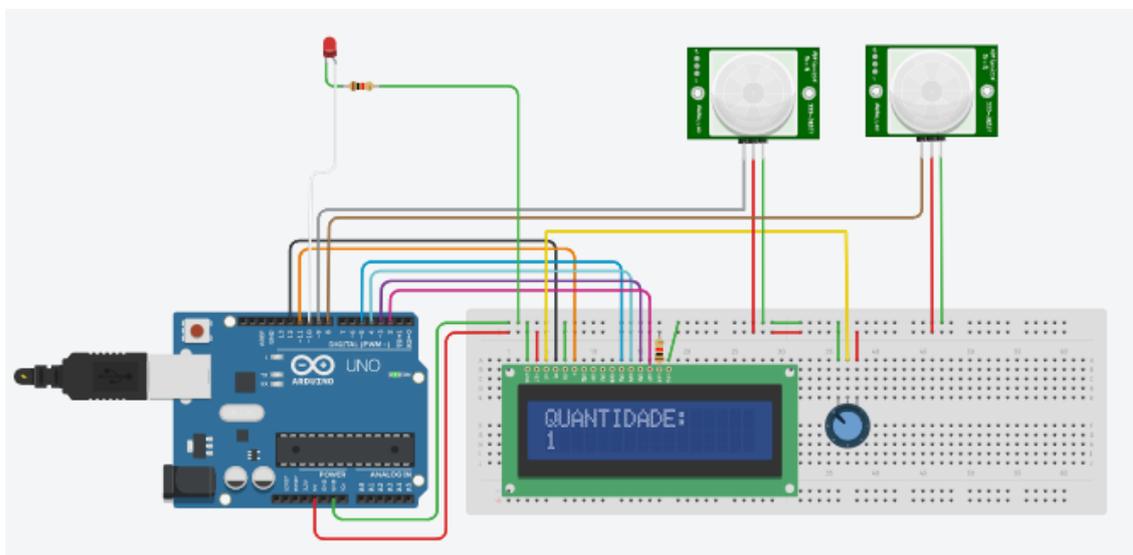
O algoritmo para o controle do projeto realiza as seguintes etapas:

- Quando o protótipo é ligado a contagem de pessoas é zerada.
- O dispositivo se conecta com a internet e com o servidor do CEEAC.
- O dispositivo calcula o valor da corrente no sistema elétrico que ele deve controlar e faz uma leitura de todos os sensores de presença.
- Sendo o sensor S1 e o sensor S2 os sensores de presença que ficam nas proximidades da porta, um no ambiente externo e outro no interno respectivamente. Estes realizam a contagem de pessoas que entram e saem do local.
- Se S1 detecta presença o sistema espera S2 mandar um sinal durante alguns segundos. Caso ocorra o valor da contagem é incrementado (+1), pois isso quer dizer que alguém entrou na sala.
- Caso ocorra o contrário, S2 detecte presença e após poucos segundos S1 mande um sinal, a contagem é diminuída (-1), porque quer dizer que alguém saiu da sala.
- Se a contagem for maior que 0, o sistema ativa os relés e liga os equipamentos.
- Os sensores S3, S4 e S5 são os internos que garantem que os equipamentos não desliguem com pessoas na sala, pois caso o dispositivo conte errado pode acontecer de ter pessoas na sala com a contagem em zero. Se estes detectarem presença o sistema irá acionar os relés mesmo que a contagem esteja em zero.
- Depois de checar todos os sensores e fazer a contagem o sistema atualiza as horas lendo as informações do *RTC*.
- Caso a contagem seja 0 e os sensores 3 e 4 não detectem presença os relés abrem o circuito e desligam as lâmpadas da sala.
- O ar-condicionado desliga apenas se for entre 21 horas e 5 horas da manhã e se as lâmpadas desligarem.
- A partir da corrente medida e usando um valor de tensão constante o sistema calcula a potência usada pelo equipamento.
- Após isso os dados de quantidade de pessoas contadas, potência calculada, horas e minutos do *RTC* são mostrados na tela LCD.
- Os dados de corrente medida e potência calculada são mandados para o servidor do CEEAC em horários pré-determinados.

3.2.5 Simulação

Uma simulação foi feita para para testar o código no simulador gratuito do *tinkercard* (disponível no site: www.tinkercad.com) como mostra a Figura 21 :

Figura 21 – Simulação do Protótipo.



O simulador não possuía o relé necessário para o projeto, então ele foi substituído por uma led vermelho, se aceso quer dizer que o relé estaria fechado. Os sensores foram projetados para, se o sensor da direita ligasse primeiro, a quantidade seria incrementada, e se o da esquerda fosse ativo primeiro, a quantidade iria decrementar. Foi possível observar que o projeto realizava a contagem certa e ela nunca resultaria em um número negativo, além disso o led ligava no momento certo.

Outros componentes como os módulos de relógio e sensor de corrente também não estavam disponível na simulação, então eles só puderam ser testados na prática.

3.2.6 Resultados esperados

O consumo evitado quando ações de desligamento automático forem implementadas pode ser calculado multiplicando a potencia do equipamento pelo tempo em que o aparelho de *smart grid* estará executando o desligamento automático, como mostra a Equação (3.8).

$$\text{Consumo}(kWh) = \text{potencia}(W) * \text{tempo}(h) \quad (3.8)$$

Segundo o levantamento de cargas instaladas feito pelo CEEAC, um condicionador de ar tem a potência de aproximadamente 2,6 kW, enquanto as lampadas possuem potencia de 32 W cada. A sala onde o sistema será implementado possui apenas um ar-condicionado e 36 lampadas, o que resulta em 1,15 kW de iluminação e 2,6 kW de climatização. Com isso pode-se estimar o consumo de energia evitado na sala durante o desligamento automático dos equipamentos, principalmente quando considerado o turno noturno, como mostra na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo evitado

Tempo desligado	Consumo Evitado (kWh)	
	Iluminação	Ar-condicionado
1 h	1,15	2,6
2 h	2,3	5,2
3 h	3,45	7,8
4 h	4,6	10,4
5 h	5,75	13
6 h	6,9	15,6
7 h	8,05	18,2
8 h	9,2	20,8
9 h	10,35	23,4

Se o protótipo desligar as lâmpadas e ar-condicionados durante uma hora, tem-se o consumo evitado de 1,15 kWh de iluminação e 2,6 kWh de climatização, caso o protótipo desligue por duas horas o consumo evitado é dobrado e assim por diante. Dessa forma, quanto mais tempo o aparelho de *smart grid* estiver atuando no sistema, menor é o desperdício.

Caso o protótipo seja instalado em mais salas, o consumo evitado, também, aumentará baseado na quantidade de lâmpadas e aparelhos de ar-condicionado que estiverem nos outros locais. Com isso pode-se ter uma economia de energia considerável.

4 DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO

Antes na montagem do protótipo foi feito um código com apenas algumas funções básicas do projeto: a de contar o numero de pessoas que entram e saem da sala mostrar a quantidade na tela. Após isso foi construído o primeiro protótipo apenas com o Arduino, dois sensores *PIR* e a tela LCD. Com isso pode-se testar apenas uma função simples do sistema e corrigir qualquer erro, tanto no código quanto na montagem.

Após os primeiros testes, foi adicionado a parte do código referente ao relê e o mesmo foi colocado no projeto e testado. Assim, caso houvesse algum erro na programação, este provavelmente seria referente a nova parte adicionada, pois as linhas anteriores já haviam sido testadas e corrigidas antes.

Todo o protótipo foi montado dessa mesma forma, uma funcionalidade nova era adicionada ao código, o componente referente àquela função era adicionado e testado, caso algum erro fosse encontrado na parte nova do projeto, ele era corrigido e um novo teste era feito ate que não houvessem mais erros. Após isso uma nova função e um novo equipamento eram adicionados, repetindo o processo. Desta forma pode-se evitar o acúmulo de erros durante a montagem e codificação.

Para testar o medidor de corrente foi necessário o uso de um amperímetro para comparar os valores medidos a fim de ver se o do projeto estava certo. Após montar um circuito com apenas uma lâmpada e um multímetro em serie, foi possível fazer um medição da corrente usando ambos equipamentos.

Durante o teste foi usado outro código, que apenas media a corrente e calculava a potência usando uma tensão que foi dada como constante no código, então na tela LCD mostrava apenas a corrente medida e a potência calculada, como mostra na Figura 22. Pode-se notar uma diferença de 0,03 A entre as correntes medidas, e alguns outros testes mostraram que esse erro pode variar ate 0,6 A. Esta é uma diferença aceitável para o projeto.

Figura 22 – Teste do sensor de corrente.



Com isso todo o projeto foi montado e testado aos poucos: primeiro os sensores *PIR* e a tela LCD, depois os relês, o módulo *RCT*, o sensor de corrente e ainda o ESP8266. No final a primeira versão do protótipo estava pronta, faltando apenas testar o código completo, colocar o projeto no receptáculo e fazer o teste em um local específico.

O primeiro protótipo realizava a contagem de pessoas a partir de dois sensores *PIR*, e usava um terceiro para identificar usuários dentro do ambiente. Caso a contagem fosse maior que zero, o relê seria acionado, senão o microcontrolador o desligava. A função do terceiro sensor *PIR* era acionar o relê caso detectasse presença com a quantidade contada igual a 0, isso significaria que há pessoas na sala que não foram contadas.

O módulo relógio contava horas, minutos e segundos e passava essa informação para o microcontrolador que se baseava apenas nas horas para desligar o relê que controla o ar-condicionado. Caso fosse entre 21 horas e 5 horas da manhã e, além disso, não houvesse pessoas na sala, ele desligava o condicionador de ar através do relê. Isso evita situações em que, quando a pessoa sozinha na sala fosse sair por pouco tempo, como para ir ao banheiro, o ar-condicionado desligasse sem necessidade.

A tela LCD mostrará a quantidade contada na primeira linha; abaixo é mostrado a potência calculada a partir do sensor de corrente e em seguida as horas e minutos. Com isso, pode-se analisar as variáveis do projeto enquanto o mesmo está em funcionamento. Deste modo pode-se saber se todas as medidas e dados estão corretos.

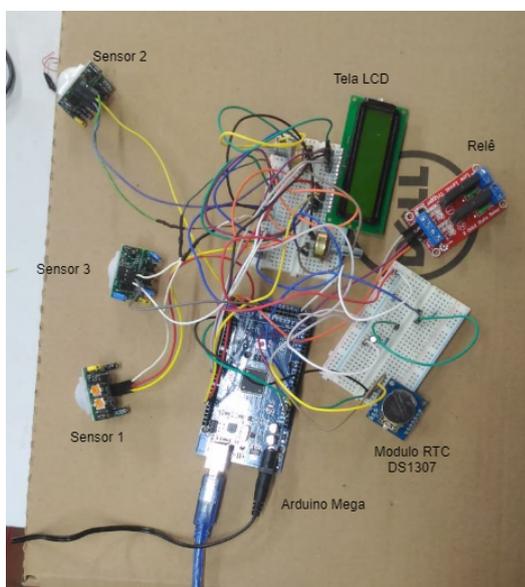
Como o primeiro protótipo foi feito com o intuito de testar o código e alguns componentes, ele foi projetado apenas com *jumpers*, *protoboard* e os equipamentos de modo que fosse fácil de montar. Depois dos primeiros testes ele será modificado para que todos os sensores estejam instalados estrategicamente na sala.

A caixa de sobrepor não foi utilizada na primeira montagem, pois a mesma ainda não tinha sido feita e, além disso, ainda estava sendo testado o funcionamento dos componentes. Então não seria prático já instalá-los dentro do recipiente.

A Figura 23 mostra como ficou o primeiro protótipo, os sensores 1 e 2 indicados na imagem são os que fazem a contagem e o sensor 3 é o responsável por ligar o relê quando a

contagem está em 0. Outros sensores de presença não foram colocados pois o principal objetivo era testar cada função do código, e o medidor de corrente só era colocado no circuito na hora de medir, pois ele era frágil e os fios de saída não ficavam firmes no encaixe do *proto-board*.

Figura 23 – Primeiro protótipo.



Após os primeiros testes o protótipo demonstrou funcionar como deveria. Então faltava apenas organizá-lo dentro da caixa e instalá-lo na sala. Durante a montagem dentro do recipiente, alguns componentes como resistores, capacitor e o módulo *RTC* foram soldados em uma placa de prototipagem de forma que o circuito ocupasse menos espaço e evitasse mal contato entre os componentes.

A caixa sofreu algumas alterações, como alguns novos furos, a fim de melhorar o funcionamento do protótipo. Além disso, foi acoplado uma tampa com dobradiças para fecha-la. Na tampa da caixa será acoplada a tela LCD.

Todos os componentes foram acoplados dentro do recipiente de acrílico através de parafusos, e os módulos eram conectados uns aos outros por meio de placas de prototipagem, um *proto-board* e *jumpers*. Dessa forma o protótipo final já estava pronto (Figura 24).

Figura 24 – Protótipo Final.



Os dados na tela eram mostrados da seguinte forma: na primeira linha mostrava a quantidade contada e na segunda linha a potência calculada seguido pelas horas do relógio, como mostra a Figura 25.

Figura 25 – Dados mostrados na tela.



Apos alguns testes pode-se notar como o protótipo controla os equipamentos a partir da entrada dos sensores e do módulo RCT, como mostra na Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela de testes

Variáveis	1	2	3	4
Presença Detectada	Sim	Não	Não	Não
Quantidade Q	x	$Q > 0$	$Q = 0$	$Q = 0$
Horas H	x	x	$5h < H < 21h$	$H \leq 5h$ ou $H \geq 21h$
Resultado	Equipamentos Ligados	Equipamentos Ligados	Apenas as lampadas desligadas	Equipamentos Desligados

Os testes feitos no protótipo mostram que ele funciona conforme o planejado. Então o sistema está pronto para ser instalado e testado na prática.

O valor final do protótipo foi R\$ 359,00 reais sem incluir o frete para a entrega dos equipamentos, com o frete o preço aumenta para R\$ 490,12 reais. Isso mostra que este sistema *smart grid* é segundo mais barato se comparado com as centrais de automação pesquisadas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho tinha o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica através de um equipamento de baixo custo que monitore a presença de pessoas no ambiente e interfira na rede elétrica quando necessário. Além disso o protótipo precisava, também, medir a corrente usada na iluminação e enviar dados para o CEEAC.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram pesquisados diversos componentes que pudessem auxiliar o protótipo na redução do consumo de energia elétrica. Ainda, o código foi criado e otimizado de forma que o sistema pudesse realizar suas funções sem atrapalhar as pessoas que estivessem usando a sala.

O aparelho de *smart grid* foi montado, programado, e todas as suas funções foram testadas individualmente. Desta forma o protótipo ficou pronto para ser testado em um ambiente. Porém permissão formal para a instalação do equipamento não foi expedida a tempo, o que impossibilitou testes do aparelho em pratica e impediu que o objetivo deste trabalho fosse alcançado.

Como não foi possível instalar o protótipo a tempo, foi feito uma análise utilizando dados fornecidos pelo CEEAC do consumo de energia que poderá ser evitado durante o funcionamento do aparelho.

Apos a expedição de permissão formal para a instalação do protótipo, o mesmo será instalado e testado. Apos isso será feita uma nova análise da redução do consumo de energia elétrica que será comparada com os resultados esperados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou as etapas da criação de um protótipo de automação elétrica de baixo custo com o objetivo de se obter uma maior eficiência energética. Além disso, foram mostrados os equipamentos escolhidos e o código usado para a realização deste projeto. Após ser escolhida a sala para o teste do projeto, o mesmo será instalado para que se possa monitorar a economia de energia que ele pode trazer.

Após a instalação do sistema faz-se necessário apenas checar durante os meses de teste se o projeto está funcionando conforme o planejado. Em casos de erros durante o teste do protótipo, o mesmo receberá manutenções com o objetivo de corrigir qualquer falha encontrada. Desta forma pode-se garantir com que o sistema desligue os equipamentos da sala apenas nos momentos exatos, sem atrapalhar quem estiver a usando.

O monitoramento de equipamentos na sala 2 do bloco Áulio Gelio Alves de Souza pode trazer uma diminuição do consumo de energia do local. Caso o protótipo mostre ser viável e eficiente ele pode ser instalado em outros locais da UFAC trazendo uma maior eficiência energética para a universidade.

6.1 Dificuldades encontradas

O principal esforço foi o dito desenvolvimento em si da central de automação, com a realização de controles específicos que atendesse não somente requisitos técnicos, mas orçamentários. Isto posto, algumas dificuldades foram encontradas durante o planejamento e montagem do mesmo e estão elencadas a seguir:

- Simular o protótipo em um sistema computacional - A maioria dos simuladores pesquisados não possuíam grande parte dos módulos usados. Com isso foi possível simular apenas os sensores PIR e a tela LCD conectados no Arduíno. Os demais componentes tiveram que ser testados apenas na prática;
- Pesquisa e escolha dos materiais necessários para a elaboração do projeto - O mesmo era de baixo custo e com isso foi preciso pesquisar diversos equipamentos de forma que o protótipo realizasse as funções fundamentais sem que o orçamento para criá-lo fosse elevado;
- Operacionalização do sistema - Sem a expedição do documento necessário, item que tramita através de processo administrativo entre setores da universidade, a implantação do sistema *in loco* foi impossibilitada durante a elaboração deste trabalho, o que refletiu na não apresentação de resultados mais sólidos nesta versão.

6.2 Trabalhos futuros

Apos o recebimento da permissão formal pela prefeitura do Campus Universitário, pretende-se instalar o protótipo na sala 2 do bloco Áulio Gelio Alves de Souza a fim de mensurar dados referente a redução do consumo de energia elétrica, e compara-los com os resultados esperados.

Como uma forma de melhorar o protótipo pretende-se otimizar o código em trabalhos futuros baseado em qualquer erro encontrado durante o período de teste do projeto. Assim, pode-es obter uma melhor precisão na detecção de presença no ambiente e no controle do desligamento dos equipamentos.

Visando aumentar as ações de eficiência energética, pode-se estender a aplicação do protótipo a outros ambientes, inclusive corredores, que têm 100% de energia consumida enquanto não estão sendo utilizados (após o término das aulas no período noturno e início das aulas no período da manhã). Dessa forma, apenas um equipamento evitaria o desperdício de energia de diversos locais, melhorando a relação custo-benefício aplicada ao projeto realizado.

Ainda, um ponto interessante é a possibilidade de futuramente adicionar novas funções no protótipo como o controle de temperatura e luminosidade do ambiente, deixando o local cada vez mais automatizado. E ainda adicionar um sensor de tensão, com isso a leitura de energia gasta pelos circuitos da sala serão mais precisas.

Referências

ARDUINO. Arduino mega 2560. *arduino*, 2019. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>>. Acesso em: 11 Jun. 2019.

BROADLINK. *Broadlink RM Pro. Broadlink international*, 2019. Disponível em: <www.ibroadlink.com/#/product/rm4pro>. Acesso em: 25 Abr. 2019.

DEMETRAS, E. Sct-013 – sensor de corrente alternada arduino. Outubro 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada/>>. Acesso em: 19 Jun. 2019.

ELETROHAEN. Central de automação residencial - *Touchlight Smart. Eletrohalen*, 2019. Disponível em: <www.eletrahlen.com.br/central-de-automai-io-residencial-touchlight-smart>. Acesso em: 10 Jun. 2019.

MALAVATHU, G. Arduino based of smart energy saving system. *Department of Computer Science and Engineering National Institute of Technology Rourkela*, Maio 2016.

MARQUES, M. C. S. et al. *Conservação de Energia: Eficiência Energética de equipamentos e instalações*. 3. ed. Itajubá: Eletrobrás, 2006. Revisão técnica de Pátricia Machado Silva.

MAXIM. Ds1307 64 x 8, serial, i2c real-time clock. Setembro 2015. Disponível em: <<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>>. Acesso em: 19 Jun. 2019.

OKINDA, C. S. et al. Intelligent energy saving system. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2015. Disponível em: <www.researchgate.net/publication/307639340_Intelligent_Energy_Saving_System>. Acesso em: 05 jun. 2019.

OMRON. Solid state relay g3mb. Junho 2009. Disponível em: <www.openhacks.com/uploads/productos/g3mb-ssr-datasheet.pdf>. Acesso em: 17 Jun. 2019.

PELLINI, E. L. Introdução a automação de sistemas elétricos. Março 2017. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2767959/mod_folder/content/0/Materiais%20de%20algumas%20aulas%20expositivas/Aula%20S1/Conceitos%20Basicos%20Automa%C3%A7%C3%A3o%20-%20PEA%203411%20-%20V0.pdf?forcedownload=1>. Acesso em: 19 Jun. 2019.

SANTOS, G. Eficiência energética ainda é um tema pouco conhecida na industria, segundo a abesco. *automação industrial*, 2019. Disponível em: <www.automacaoindustrial.info/eficiencia-energetica-ainda-e-um-tema-pouco-conhecido-na-industria-segundo-a-abesco/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

THOLZ. *Easy Home. Manual do Usuário*, 2017. Disponível em: <www.tholz.com.br/residenciais/easy-home/>. Acesso em: 25 Abr. 2019.

THOMSEN, A. Display lcd 16x2 backlight azul. Setembro 2011. Disponível em: <www.filipeflop.com/blog/controlando-um-lcd-16x2-com-arduino/>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

THOMSEN, A. Acendendo uma lampada com sensor de presença. Dezembro 2013. Disponível em: <www.filipeflop.com/blog/acendendo-uma-lampada-com-sensor-de-presenca/>. Acesso em: 13 Jun. 2019.

THOMSEN, A. Controlando lampadas com modulo relé arduino. Fevereiro 2013. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/controla-modulo-rele-arduino/>>. Acesso em: 04 Ago. 2019.

THOMSEN, A. Relógio com modulo rtc ds1307. Junho 2014. Disponível em: <www.filipeflop.com/blog/relogio-rtc-ds1307-arduino/>. Acesso em: 19 Jun. 2019.

THOMSEN, A. Medidor de corrente não invasivo com arduino. Novembro 2015. Disponível em: <www.filipeflop.com/blog/medidor-de-corrente-sct013-com-arduino/>. Acesso em: 07 Jul. 2019.

THOMSEN, A. Tutorial modulo *Wireless* esp8266 com arduino. Junho 2015. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/esp8266-arduino-tutorial/>>. Acesso em: 02 Ago. 2019.

UFAC. Ufac renova convenio para economia de energia elétrica. *notícias da ufac*, 2019. Disponível em: <www.ufac.br/site/noticias/2019/ufac-renova-convenio-para-economia-de-energia-eletrica>. Acesso em: 05 jun. 2019.

Apêndices

APÊNDICE A – LAYOUT DA CAIXA DE SOBREPOR PROJETADA

Figura 26 – Layout para a caixa de sobrepor do protótipo



Notas:	Projeto de: Projeto de central de automação	Escola: ÚNICA
	Localidade: Universidade Federal do Acre - UFAC Campus Rio Branco	Série: S/E
	Descrição: Central de automação elétrica de baixo custo - Visas: frontal, laterais, superior e inferior.	Data: maio/2019
		Aluno: Alípio Moreira Demétrius Borahuna
		Preço: 00,00



APÊNDICE B – CÓDIGO USADO NO PROJETO

Código 1 – Algoritmo do Protótipo

```

1 #include <LiquidCrystal.h>
2 #include <WiFiEsp.h>
3 #include "Wire.h"
4 #include "EmonLib.h"
5 #define DS1307_ADDRESS 0x68
6 EnergyMonitor SensorAmp;
7 byte zero = 0x00;
8 bool estadoSensor1;
9 bool estadoSensor2;
10 bool estadoSensor3;
11 bool estadoSensor4;
12 bool estadoSensor5;
13 bool estadoSensor6;
14 bool estadoSensor7;
15 int quant = 0;
16 int i;
17 int segundos;
18 int minutos;
19 int horas;
20 int SCT = A0;
21 int status;
22 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //define as portas da tela LCD
23 // Configuracao de conexao
24 char ssid[] = "CEEAC";
25 char pass[] = "c33@ufac";
26 // _____
27 char server[] = "medidor.ceeac.org";
28 WiFiEspClient client;
29
30 void Mostrahoras()
31 {
32   Wire.beginTransmission(DS1307_ADDRESS);
33   Wire.write(zero);
34   Wire.endTransmission();
35   Wire.requestFrom(DS1307_ADDRESS, 7);
36   segundos = BCDtoDecimal(Wire.read());
37   minutos = BCDtoDecimal(Wire.read());
38   horas = BCDtoDecimal(Wire.read() & 0b111111);
39 }
40
41 void setup() {
42   SensorAmp.current(SCT, 60.606); //Calibracao do sensor de corrente
43   lcd.begin(16, 2);
44   Serial.begin(115200);
45   Serial1.begin(115200);
46   Wire.begin();
47   pinMode(26,OUTPUT);//saida do rele 1
48   pinMode(27,OUTPUT);//saida do rele 2
49   pinMode(30,INPUT);//entrada do sensor 1

```

```
50 pinMode(32,INPUT); // entrada do sensor 2
51 pinMode(34,INPUT); // entrada do sensor 3
52 pinMode(36,INPUT); // entrada do sensor 4
53 pinMode(38,INPUT); // entrada do sensor 5
54 pinMode(40,INPUT); // entrada do sensor 6
55 pinMode(42,INPUT); // entrada do sensor 7
56 digitalWrite(26, HIGH); // Inicia com o rele 1 desligado
57 digitalWrite(27, HIGH); // Inicia com o rele 2 desligado
58 setupWiFi();
59 }
60 void loop() {
61   double Irms = SensorAmp.calcIrms(1480); // Calcula o valor da corrente
62   estadoSensor1 = digitalRead(30);
63   estadoSensor2 = digitalRead(32);
64   estadoSensor3 = digitalRead(34);
65   estadoSensor4 = digitalRead(36);
66   estadoSensor5 = digitalRead(38);
67   estadoSensor6 = digitalRead(40);
68   estadoSensor7 = digitalRead(42);
69
70   // caso o sensor 1 seja o primeiro a ser detectado
71   if ( estadoSensor1 == HIGH ){
72     for (i=0;i<25;i++){ // checa o sensor 2 por cinco segundos
73       delay(200);
74       estadoSensor2 = digitalRead(32);
75       if ( estadoSensor2 == HIGH){ //
76         quant++; // incrementa o numero de pessoas
77         delay(2500);
78         break;
79       }
80     }
81   } else{ // caso o sensor 2 seja o primeiro a ser detectado
82     if( estadoSensor2 == HIGH){
83       for (i=0;i<25;i++){ // checa o sensor 1 por cinco segundos
84         delay(200);
85         estadoSensor1 = digitalRead(30);
86         if ( estadoSensor1 == HIGH){
87           quant--; // decrementa o numero de pessoas
88           delay(2500);
89           break;
90         }
91       }
92     }
93   }
94   // impede que a quantidade de pessoas fique negativa.
95   if (quant < 0){
96     quant = 0;
97   }
98   Mostrahoras();
99   // aciona o rele a partir da quantidade de pessoas na sala
100  if (quant == 0 && estadoSensor3 == LOW && estadoSensor4 == LOW && estadoSensor5 ==
    LOW && estadoSensor6 == LOW && estadoSensor7 == LOW){
101    digitalWrite(26, HIGH);
102    if ( horas < 6 || horas > 21 ){
103      digitalWrite(27, HIGH);
104    }
105  } else{
106    digitalWrite(26, LOW);
107    digitalWrite(27, LOW);
108  }
```

```
109
110 // escreve no LCD a quantidade de pessoas contadas.
111 lcd.clear();
112 lcd.setCursor(0, 0);
113 lcd.print("QUANTIDADE: ");
114 lcd.print(quant);
115 lcd.setCursor(0, 1);
116 lcd.print("P=");
117 lcd.print(Irms*127);
118 lcd.print("W");
119 lcd.print(" ");
120 lcd.print(horas);
121 lcd.print(":");
122 lcd.print(minutos);
123 // lcd.print(":");
124 // lcd.print(segundos);
125
126 if (minutos%15 == 0){
127     if (status != WL_CONNECTED){
128         setupWiFi();
129     }
130     if (status == WL_CONNECTED){
131         EnviarDados(127,Irms,127*Irms); // 'a', 'b' e 'c' devem ser float
132     }
133 }
134
135 }
136
137 byte BCDtoDecimal(byte var) { //Converte de BCD para decimal
138     return ( (var/16*10) + (var%16) );
139 }
140
141 void setupWiFi()
142 {
143     //Serial onde esta o ESP-01 com o firmware AT ja instalado
144     WiFi.init(&Serial1);
145
146     Serial.print("Conectando a ");
147     Serial.println(ssid);
148
149     status = WL_IDLE_STATUS;
150
151     for(int i = 0; i < 5; i++){
152         status = WiFi.begin(ssid, pass);
153         if(status == WL_CONNECTED){
154             Serial.println();
155             Serial.println("Conectado");
156
157             IPAddress localIP = WiFi.localIP();
158             Serial.print("IP: ");
159             Serial.println(localIP);
160             break;
161         }
162
163         else{
164             Serial.println("Nao conectado");
165         }
166
167         delay(1000);
168     }
```

```
169 }
170
171 void EnviarDados(float tensao , float corrente , float potencia){
172     // Converte os argumentos de inteiros para strings (necessario para realizar o GET)
173     String t = String(tensao);
174     String c = String(corrente);
175     String p = String(tensao*corrente);
176     Serial.println("Inicializando requisicao HTTP.");
177     if (client.connect(server , 80)) {
178         Serial.println("Conectado ao servidor.");
179         String url = "/index.php/Inserir/medicao/" + t + "/" + c + "/" + p;
180         client.println("GET " + url + " HTTP/1.1");
181         client.println("Host: medidor.ceeac.org");
182         client.println("Connection: close");
183         client.println();
184         client.stop();
185     }
186     Serial.println("Requisicao finalizada.");
187 }
```