Universidade Brasil

Campus de São Paulo

MAURICIO FERNANDO FRANCISCO

PROPOSTA DE MONITORAMENTO ENERGÉTICO NO AMBIENTE HOSPITALAR

ENERGY MONITORING PROPOSAL IN THE HOSPITAL ENVIRONMENT

São Paulo, SP

2019

Mauricio Fernando Francisco

PROPOSTA DE MONITORAMENTO ENERGÉTICO NO AMBIENTE HOSPITALAR

Orientadora: Profa. Dra. Gisele Herbst Vazquez

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

São Paulo, SP

2019

FICHA CATALOGRAFICA

Francisco, Maurício Fernando.
F893p Proposta de Monitoramento Energético no Ambiente Hospitalar/ Maurício Fernando Francisco.
São Paulo – SP: [s.n.], 2019.
103 p.: il.; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. (a) Dr. (a) Gisele Herbst Vazquez.

1.Energia. 2.Consumo Energético. 3.Hospital. 4.Arduino. 5.Sustentabilidade. I.Título.

CDD 333.79

FOLHA DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DO TEXTO NA PÁGINA UNIVERSIDADE BRASIL E BANCO DE TESES DA CAPES E REPRODUÇÃO DO TRABALHO

UNIVERSIDADE BRASIL

Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respectivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site http://www.universidadebrasil.edu.br, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site http://bancodeteses.capes.gov.br, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: **"MONITORAMENTO ENERGÉTICO NO AMBIENTE HOSPITALAR"**

Autor(es):

Discente: Mauricio Fernando Francisco

Assinatura: _____

Orientadora: Gisele Herbst Vazquez

Assinatura: _____

Data: 30/setembro/2019

TERMO DE APROVAÇÃO

UNIVERSIDADE BRASIL

TERMO DE APROVAÇÃO

MAURICIO FERNANDO FRANCISCO

"MONITORAMENTO ENERGÉTICO NO AMBIENTE HOSPITALAR"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

Prof(a). Dr(a) Gisele Herbst Vazquez (Presidente)

Prof(a). Dr(a). Cleber Fernando Menegaso Mansano (Universidade Brasil)

Prof(a). Dr(a). Rodrigo Cleber da Silva (Instituto Federal de São Paulo)

Fernandópolis, 30 de setembro de 2019.

DEDICATÓRIA

À mulher da minha vida Valquiria pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos. Sem você nenhuma conquista valeria a pena.

A professora Gisele Herbst Vazquez, que sempre foi muito paciente, conselheira e acessível. Sem ela, não seria possível desenvolver esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao amigo José Mario Amâncio, por dividir o mesmo entusiasmo pela ciência e tecnologia.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

PROPOSTA DE MONITORAMENTO ENERGÉTICO NO AMBIENTE HOSPITALAR

RESUMO

Os hospitais estão posicionados como o segundo tipo de edificação que mais consomem energia nos EUA, sendo no Brasil, responsáveis por 10,6% do consumo comercial total. O objetivo neste estudo consistiu em monitorar o uso de energia de edifícios, seja qual for o ramo de negócio, incluindo todas as fontes de energia elétrica. Assim, este trabalho teve como foco principal, desenvolver um equipamento que possa monitorar o consumo energético do hospital da Unimed Regional Jaú, que está em fase de construção, com inauguração prevista para outubro/2020. Inicialmente, a medição será feita por alas, mas para uma maior eficiência, avançará a nível de leito e equipamentos. Para tanto, foi desenvolvido um equipamento eletrônico utilizando arduino (plataforma de prototipagem eletrônica de hardware) e demais materiais como sensor de corrente, resistores, transistores e capacitor. Os dados coletados ficam armazenados e são exibidos através de dashboards no site https://openenergymonitor.org/. Com a finalidade de testar a eficiência do equipamento enquanto o hospital não é finalizado, foi utilizada uma sala no prédio administrativo da Unimed Regional Jaú, mais precisamente a sala de tecnologia da informação (T.I.), contendo 4 servidores por um período de 20 dias (de 4 a 26 de maio/2019). O equipamento desenvolvido se mostrou extremamente estável, de fácil instalação, mesmo que o tipo de negócio já esteja funcionando, não havendo a necessidade de alterações em alvenaria e na rede elétrica. A disseminação do uso de sistemas de gestão e supervisão de consumo de energia só é possível se o custo de aquisição destes equipamentos for baixo, o que ocorreu neste projeto, sendo também, importante, que o mercado reconheça a necessidade destes sistemas. Por fim, concluiu-se, que um sistema de gestão e supervisão voltada para o monitoramento energético é uma ferramenta primordial para a sustentabilidade do negócio e para o meio ambiente.

Palavras-chave: Energia, consumo energético, hospital, arduino, sustentabilidade.

ENERGY MONITORING PROPOSAL IN THE HOSPITAL ENVIRONMENT

ABSTRACT

Hospitals are situated as the second most energy-consuming buildings in the USA, accounting for 10.6% of total commercial consumption in Brazil. The purpose of this study was to monitor the energy use in buildings, regardless of their business, including all sources of electricity. Therefore, this work focused mainly on developing equipment that can monitor the energy consumption of the Unimed Regional Jaú Hospital, which is under construction, scheduled to open in October 2020. Initially, the measurement will be done in wings, but for greater efficiency, it will advance in terms of beds and equipment. For such, a piece of electronic equipment was developed using Arduino (Electronic Hardware Prototyping Platform) and other materials such as current sensors, resistors, transistors, and capacitors. The collected data is stored and displayed through dashboards at https://openenergymonitor.org/. To test the efficiency of the equipment while the hospital is not finished, a room was used in the administrative building of Unimed Regional Jaú, more precisely the information technology (IT) room, containing 4 servers for 20 days (May 4-26, 2019). The equipment developed proved to be extremely stable, easy to install, even if the type of business is already running, with no need for changes in masonry and the electricity grid. The dissemination of the use of energy consumption management and supervision systems is only possible if the cost of purchasing this equipment is low, which occurred in this project, and it is also important that the market recognizes the need for these systems. Lastly, it was concluded that a management and supervision system focused on energy monitoring is a key tool for business sustainability and the environment.

Keywords: Energy, energy consumption, hospital, arduino, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz Energética Mundial. 22
Figura 2: Matriz Energética no Brasil 23
Figura 3: Símbolo sustentabilidade. 24
Figura 4: Willis Carrier ao lado de sua invenção: o primeiro aparelho de ar condicionado da história. 26
Figura 5: Central de água gelada. 28
Figura 6: Fan Coil é o equipamento indicado para climatizar grandes ambientes, onde os climatizadores convencionais não conseguem fornecer refrigeração necessária. 29
Figura 7: Thomas Edison (1847-1931). 32
Figura 8: Alas e corredores com luminotécnica, estímulo para o paciente e redução de custo na recuperação. 33
Figura 9: Recepções e salas de espera, luz indireta e mais suaves. 34
Figura 10: Sistema de iluminação utilizado para acalmar pacientes durante exames de alta complexidade 35
Figura 11: Circuito eletrônico do projeto. 36
Figura 12: Placa arduino. 37
Figura 13: Componentes nomeados na placa do Arduino UNO 40
Figura 14: Esquemático referente ao processador USB. 41
Figura 15: Esquemático referente ao processador principal. 42
Figura 16: Ressonador cerâmico do ATmega328. 43
Figura 17: Conector de programação do ATmega328. 44
Figura 18: Botão de reset do ATmega328 45
Figura 19: Conectores do ATmega328 para encaixe dos shields. 45
Figura 20: Esquemático referente à alimentação do Arduino UNO. 46
Figura 21: Alimentação 46
Figura 22: Jack para fonte externa. 47
Figura 23: Imagem do plugue de 2,1mm necessário para conexão com Arduino. 48
Figura 24: Diodo protegendo a placa contra ligação reversa. 49
Figura 25: Funcionamento do regulador de 5 Volts 51
Figura 26: Funcionamento do regulador de 3,3 Volts 52

Figura 27: Funcionamento simplificado do MOSFET canal P. 53
Figura 28: Funcionamento do amp-op como comparador. 54
Figura 29: Divisor resistivo formado pelos resistores RN1A e RN1B. 55
Figura 30: Capacitor de desacoplamento C1. 56
Figura 31: LED acionado pelo pino D13 do Arduino. 57
Figura 32: LED indicador de alimentação. 58
Figura 33: Localização dos três círculos. 59
Figura 34: Exemplos de pontos fiduciais. 60
Figura 35: Conectores de alimentação. 61
Figura 36: Pinagem ATmega328 usado no Arduino UNO. 61
Figura 37: Pinos analógicos e digitais. 62
Figura 38: Arduino ethernet shield. 63
Figura 39: Formas de energia em um sensor. 64
Figura 40: Sensor de corrente SCT013. 64
Figura 41: Campo magnético gerado pela corrente elétrica. 65
Figura 42: Senoide corrente alternada. 65
Figura 43: Bobina do sensor de corrente não invasivo. 66
Figura 44: Bobina dentro do sensor. 66
Figura 45: Diferentes modelos de sensores não invasivos. 67
Figura 46: Protoboard. 68
Figura 47: Resistor. 69
Figura 48: Capacitor. 69
Figura 49: Jumper. 70
Figura 50: IDE arduino. 71
Figura 51: Icone do Wamp Server. 72
Figura 52: Menu Wamp Server. 73
Figura 53: Tela Wamp Server. 73
Figura 54: Login phpMyAdmin. 74
Figura 55: Criação banco de dados. 74
Figura 56: Arquivos emoncms 75
Figura 57: Página de teste emoncms. 76
Figura 58: Tela de login emoncms. 76
Figura 59: Node 1 com os valores. 77
Figura 60: Tela de login emoncms. 77

Figura 61: Acesso aos Inputs. 78
Figura 62: Código para envio da APIKEY. 78
Figura 63: Menu para acessar o dashboard. 79
Figura 64: Dashboards. 80
Figura 65: Térreo. 82
Figura 66: 1º Pavimento. 83
Figura 67: 2º Pavimento. 83
Figura 68: Gráfico demonstrando o início do monitoramento. 84
Figura 69: Evolução gráfica do período monitorado. 84
Figura 70: Interrupção e reconexão do monitoramento. 85
Figura 71: Valor consumo médio apurado 85
Figura 72: Dashboards tipo Gauge. 86
Figura 73: Tela de configuração de cada elemento. 86
Figura 74: Fonte Dell R430. 89
Figura 75: Fontes Dell R530 90
Figura 76: Fontes Dell R730 90
Figura 77: Nobreak APC 3000VA 91
Figura 78: Nobreak 1 92
Figura 79: Tomada dos servidores. 92
Figura 80: Tomada que o nobreak está ligado. 93
Figura 81: Arduino e sensor monitorando. 94
Figura 82: Gráfico com o desempenho analisado. 94
Figura 83: Análise do período de 20 a 26 de maio. 95
Figura 84: Pico de energia após as 17:00 h do dia 27/05/2019. 95
Figura 85: Monitoramento em Watts. 96
Figura 86: Monitoramento em Reais. 97
Figura 87: Aplicativo para celular Emoncms. 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Capacidade e consumo de Chillers Hospitalares 31
Tabela 2: Comparativo entre os tipos de arduinos 38
Tabela 3: Componentes para montagem 67
Tabela 4: Custo com o equipamento. 87
Tabela 5: Servidores monitorados.....89

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 17
1.1 Relevância do tema 17
1.2 Objetivos 20
1.2.1 Objetivo geral 20
1.2.2 Objetivos específicos 20
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA 21
2.1 A Matriz energética brasileira 21
2.1.1 Energia 21
2.2 Matriz energética 22
2.3 Matriz Energética Nacional 23
2.4 Sustentabilidade 23
2.5 Sustentabilidade em edificações 24
2.5.1 Sustentabilidade em edificações hospitalares 24
2.6 Equipamentos que mais consomem energia no ambiente hospitalar 25
2.6.1 Sistema de refrigeração 25
2.6.2 Climatização hospitalar 26
2.6.3 Central de água gelada 27
2.6.4 Fan Coil 28
2.6.5 Chiller hospitalar 30
2.6.6 Btu/h, Kcal/h, TR e Watts 30
2.6.8 Luminotécnica 32
3. MATERIAL E MÉTODOS 36
3.1 Arduino e seus componentes 37
3.1.2 Características de hardware e recursos 39
3.2 Diagrama esquemático 39
3.2.1 Processador USB 40
3.2.2 Processador principal 41
3.2.3 Oscilador 42
3.2.4 Conector programação 44
3.2.5 Botão de reset 44
3.2.6 Conectores para Shields 45
3.2.7 Alimentação 46

3.2.8 Jack de entrada 47
3.2.9 Diodo de proteção 48
3.2.10 Regulador 5V 49
3.2.11 Regulador 3,3V 51
3.2.12 Circuito de chaveamento 52
3.2.13 LED D13 56
3.2.14 LED ON 58
3.2.15 Fiduciais 59
3.2.16 Conectores de alimentação 60
3.2.17 Microcontrolador 61
3.2.18 Entradas e saídas 62
3.3 Hardwares e Softwares 63
3.3.1 Shield w5100 63
3.3.2 Sensores 63
3.3.3 Corrente alternada 65
3.3.4 Transformador de corrente SCT-013 66
3.3.5 Protoboard 68
3.3.6 Resistor 68
3.3.7 Capacitor 69
3.3.8 Jumper 70
3.3.9 Ide 70
3.4 Servidores 71
3.4.1 Emoncms em servidor local 71
3.4.2 Configuração do servidor 72
3.4.3 Banco de dados mysql 73
3.4.4 Definições do emoncms 75
3.4.5 Emoncms.org 77
3.4.6 Exibição de dados 79
3.5 Plano de execução 80
3.5.1 Gerenciamento energético hospitalar 80
3.5.2 Dimensionamento do equipamento 81
4. RESULTADOS E DISCUSSAO 84
4.1 Conexão do arduino com a internet 84
4.1.1 Função dos dashboards tipo Gauge 85
4.2 CUSTO DO EQUIPAMENTO 87

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 87
5. CONCLUSÕES 98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 99

1. INTRODUÇÃO

1.1 Relevância do tema

O consumo de energia de um hospital, também chamado de EAS (Estabelecimento de Assistência à Saúde), tende a ser extremamente alto. Esse consumo é elevado devido à necessidade de manter uma variedade de equipamentos ligados, como também a iluminação, controle de temperatura, higienização de roupas e materiais, além do consumo pelos visitantes. Assim, como em qualquer outro seguimento, a busca por medidas que possibilitem o melhoramento da eficiência energética é constantemente perseguida nos hospitais.

No Brasil, a produção energética não tem acompanhado o crescimento e a demanda cada vez maiores, além da ocorrência de desperdício de energia, que gera perdas bilionárias. Uma pesquisa da Abesco (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia) revelou que só entre 2013 e 2016, o Brasil desperdiçou 143.647 GWh (gigawatt/hora) de energia, o que representa uma perda de R$ 61,71 bilhões, sendo esse valor maior que o produto interno bruto (PIB) dos 12 estados com menor PIB no Brasil (SIQUEIRA, 2017).

De acordo com Guenther (2014), a maioria dos grandes hospitais requerem um uso considerável de energia para o aquecimento de água, controle de temperatura e umidade do ar interior, iluminação, ventilação e vários processos clínicos, o que gera custos financeiros significativos e emissões de gases estufa. Enquanto hospitais norte americanos consomem em média 820 kWh/m^2, os hospitais localizados ao norte da Europa consomem 320 kWh/m^2, meta essa a ser estabelecida pela Agenda Global de Hospitais Verdes e Saudáveis (FESP, 2016).

A palavra sustentabilidade vem do latim, *sustentare*, que significa sustentar, apoiar, conservar e cuidar.

Seu conceito teve origem em Estocolmo, na Suécia, na Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente humano, que ocorreu em 1972. Este conceito aborda a maneira como se deve agir em relação à natureza.

O objetivo do desenvolvimento sustentável é preservar o planeta e as necessidades humanas. De modo que um recurso natural explorado de forma sustentável dure para sempre. Além disso, a sustentabilidade é baseada em três

fatores que integrados fazem a ação acontecer, já que sem eles a sustentabilidade não se sustenta, ou seja:

- Sustentabilidade social: O papel social engloba pessoas e condições de vida, como educação, saúde, violência, lazer, e muitos outros aspectos.
- Sustentabilidade ambiental: São os recursos naturais do planeta e a forma como são utilizados pela sociedade, empresas e comunidades.
- Sustentabilidade econômica: Está relacionado à produção, distribuição e consumo de serviços, considerando a questão social e ambiental.

O uso consciente de recursos naturais, as novas alternativas e as ações relacionadas ao planeta são iniciativas para o bem-estar coletivo, já que o desequilíbrio causado por nossas atitudes erradas com o meio ambiente é um problema em nosso presente. É de extrema importância buscar novos caminhos para a economia, sociedade e cultura, de modo que garanta a continuidade da existência humana e do planeta Terra. A questão importante é conhecer o modelo de sociedade em que vivemos e saber se somos baseados no consumo extremo ou nos cuidados com o meio ambiente. Questionar se realmente estamos fazendo algo errado, que está impactando a natureza e a sociedade (VERDE, 2018).

O sistema de saúde público brasileiro é composto por mais de 70 mil unidades entre UPAs, Postos de Saúde e 7500 hospitais que somam mais de 500 mil leitos. O Sistema Único de Saúde (SUS) é um dos maiores e mais complexos sistemas de saúde pública do mundo, abrangendo desde o simples atendimento para avaliação da pressão arterial, por meio da Atenção Básica, até o transplante de órgãos, garantindo acesso integral, universal e gratuito para toda a população do país. Com a sua criação, o SUS proporcionou o acesso universal ao sistema público de saúde, sem discriminação. A atenção integral à saúde, e não somente aos cuidados assistenciais, passou a ser um direito de todos os brasileiros, desde a gestação e por toda a vida, com foco na saúde com qualidade de vida, visando a prevenção e a promoção da saúde (SUS, 2017).

No final da década de 1960, a medicina assistencial no Brasil atravessava um momento de grande efervescência pela perplexidade que as transformações estruturais da Previdência Social traziam. Houve a unificação dos Institutos de Aposentadorias e Pensões (IAPs) no Instituto Nacional de Assistência Médica de Previdência Social (INPS), que mais tarde viria a se transformar no Instituto Nacional

de Assistência Médica da Previdência Social (Inamps), extinto em 1990 para dar lugar ao Sistema Único de Saúde (SUS).

Além da queda no padrão de atendimento, as mudanças levaram ao surgimento de seguradoras de saúde, à mercantilização da medicina e à proletarização do profissional médico, que ficava impedido de exercer com liberdade e dignidade sua atividade liberal. Em resposta, surgiu a primeira cooperativa de trabalho na área de medicina do país e das Américas: a União dos Médicos – Unimed, fundada na cidade de Santos (SP), em 1967.

A nova experiência cooperativista nasce da iniciativa do ginecologista obstetra Edmundo Castilho e de um grupo de médicos que queria evitar a intermediação das empresas, respeitando a autonomia dos profissionais e o atendimento em consultório. Também desejavam oferecer a mesma qualidade de assistência aos diferentes níveis existentes nas empresas. O conceito era complementar o trabalho do INPS. Cubatão, Guarujá, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande e São Vicente estavam entre os outros municípios que constituíam a base da ação da cooperativa, que depois passou a se chamar Unimed Santos.

Desta forma, em 2018 a Unimed foi considerada a maior cooperativa de saúde do mundo (BRASIL, 2018), sendo composta por: 345 cooperativas, 115 mil médicos cooperados, 18 milhões de beneficiários, 2.506 hospitais credenciados e 119 hospitais próprios com 2900 leitos, além de pronto atendimentos, laboratórios e ambulâncias para garantir qualidade na assistência médica, hospitalar e de diagnóstico complementar oferecidos.

Assim, devido a tamanha complexidade dos EAS, somada a dificuldade em gerenciar e otimizar os custos relacionados a eficiência energética, o desenvolvimento de um equipamento eletrônico com uma programação voltada ao monitoramento energético e que pretendeu vencer os obstáculos de forma prática, não onerosa e principalmente sustentável, justificou a realização deste trabalho.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi desenvolver um equipamento eletrônico capaz de receber instruções via programação e por meio de sensores monitorar e mensurar a utilização energética de um ambiente, registrando essas informações em um banco de dados para análise e tomada de decisão para a redução de custos e o aumento da eficiência energética, contribuindo para a redução de CO_2, aplicando o conceito de sustentabilidade.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar o conceito, a história e as aplicações da tecnologia da automação objetivando a sustentabilidade e a eficiência energética.
- Avaliar o melhor custo/benefício para o desenvolvimento do projeto.
- Desenvolver um código via programação que interaja com componentes eletrônicos, realize monitoramento e extração de dados para fins de melhoramento no consumo energético.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 A Matriz energética brasileira

2.1.1 Energia

Antes de relatar sobre matriz energética, é necessário primeiramente entender o que é energia.

Ao acordar todas as manhãs, é possível ver e sentir a maior fonte de energia para o planeta Terra: o sol. O sol faz a água do mar e dos rios evaporar e formar as nuvens de chuva. Ao aquecer a Terra, ajuda a formar os ventos. As plantas utilizam o sol para se desenvolver. O ser humano pode utilizar diretamente o sol como fonte de energia ou utilizar outras fontes de energia influenciadas pelo sol.

Para entender o que é energia, é preciso conhecer as várias outras formas em que ela está presente na natureza e como podemos utilizá-la.

Como o ser humano utiliza energia?

O fogo foi a primeira forma de energia dominada pela humanidade. Com o fogo, o ser humano aprendeu a espantar animais selvagens, cozinhar alimentos e fazer ferramentas e utensílios para o uso em sua jornada pela Terra.

Os primeiros utensílios feitos com o uso do fogo foram panelas e jarros de barro cozido, que facilitaram a vida do ser humano. Posteriormente, o homem começou a utilizar o fogo para fundir metais e fazer lanças, flechas, espadas e outros instrumentos mais elaborados. Outra forma de energia utilizada pela humanidade foi o movimento dos fluidos, como a água dos rios e o vento. Ainda existem no Brasil e em outras partes do mundo as rodas d'água e os monjolos, que utilizam a energia das águas para trituração de grãos. Os moinhos de vento também serviram para moer grãos, como o trigo, para fazer alimentos e hoje em dia servem principalmente para bombear água para locais mais altos. Utilizar a energia dos animais domesticados ajudou o ser humano a preparar a terra para cultivar alimentos, transportar cargas pesadas e ainda, se deslocar com maior velocidade (ENERGÉTICA, 2019).

Hoje o homem convive com várias formas de energia, utilizada em sua vida diária. As residências possuem geladeira, televisão, lâmpadas, brinquedos a pilha – e todos necessitam de energia para funcionar. Uma pipa no ar está utilizando a energia

do vento, uma panela no fogão cozinhando alimentos está utilizando a energia do fogo, uma criança correndo está usando a energia dos alimentos que ela ingeriu e a televisão usa energia elétrica para que seja possível assistir a filmes e desenhos. Em um banho quente, também é utilizado energia para aquecer a água, seja a eletricidade para o chuveiro elétrico, o gás natural do aquecedor ou a energia do sol captada por painéis no telhado (ENERGÉTICA, 2019).

2.2 Matriz energética

Muitas pessoas confundem a matriz energética com a matriz elétrica, mas elas são distintas. Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, é possível concluir que a matriz elétrica é parte da matriz energética (ENERGÉTICA, 2019).

A Figura 1 apresenta a matriz energética mundial, onde se destaca a produção de energia a partir de petróleo e derivados (31,9%) e carvão mineral (27,1%), ambas não renováveis.

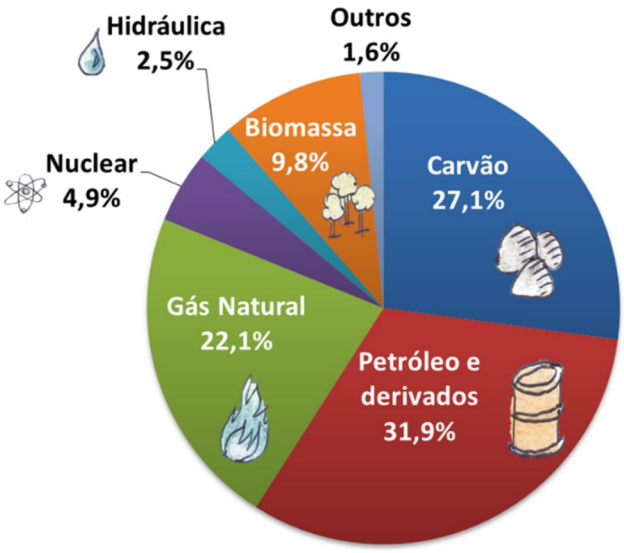


Figura 1: Matriz Energética Mundial.

Fonte: Energética, 2019.

2.3 Matriz Energética Nacional

A matriz energética brasileira é muito diferente da mundial. No Brasil, apesar do consumo de energia de fontes não renováveis ser maior do que o de renováveis, são utilizadas mais fontes renováveis que no restante do mundo. Somando-se lenha e carvão vegetal (8%), hidráulica (12%), derivados de cana (17%) e outras renováveis (5,9%), as renováveis totalizam 42,9%, quase metade da matriz energética brasileira. Na Figura 2 podemos observar a matriz energética nacional, onde se destaca a produção de energia a partir de petróleo e derivados (36,4%), gás natural (13,0%), hidráulica (12,0%) e derivados da cana (17,0%) ambas não renováveis.

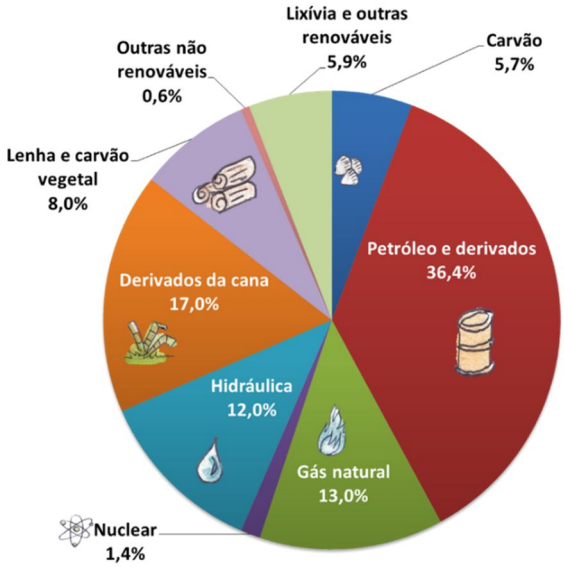


Figura 2: Matriz Energética no Brasil.

Fonte: Energética, 2019.

2.4 Sustentabilidade

A palavra sustentabilidade começou a ser mundialmente propagada a partir da realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano – United Nations Conference on the Human Environment (UNCHE), que aconteceu em junho de 1972, em Estocolmo. A partir deste evento o conceito de sustentabilidade passou a ganhar uma maior importância; mas levou 20 anos para a expressão “sustentabilidade” ganhar força no Brasil. Isso só aconteceu após a realização da

Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO), em 1992, no Rio de Janeiro (SERRA, 2015). A figura geométrica de três ângulos iguais é o símbolo da sustentabilidade (Figura 3) e representa o equilíbrio e a justiça, que devem reger as partes que a compõem, ou seja, o lado econômico e o lado social, em base ambiental.

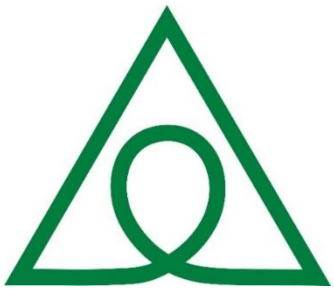


Figura 3: Símbolo sustentabilidade.
Fonte: Mitos, 2012.

2.5 Sustentabilidade em edificações

Construção sustentável é um conceito que denomina um conjunto de medidas adotadas durante todas as etapas da obra que visam a sustentabilidade de uma edificação. Por meio da adoção dessas medidas é possível minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente, além de promover a economia dos recursos naturais e a melhoria na qualidade de vida dos seus ocupantes (AMBIENTE, 2019).

Uma obra sustentável leva em consideração todo o projeto desde a sua pré-construção, onde devem ser analisados o ciclo de vida do empreendimento e dos materiais que serão utilizados, passando por cuidados com a geração de resíduos e minimização do uso de matérias-primas com reaproveitamento de materiais durante a execução da obra, até o tempo de vida útil da obra e a sustentabilidade da sua manutenção (AMBIENTE, 2019).

2.5.1 Sustentabilidade em edificações hospitalares

Sustentabilidade já não um tema a ser tratado como algo do futuro, a longo prazo, e os hospitais não devem ser excluídos dessa nova regra, afinal, a sustentabilidade, na área da saúde, não pode ser tratada como um modismo, mas sim como algo sério a ser cuidada estruturalmente e com a conscientização de todos. Dados da Organização

Mundial da Saúde mostram que as casas hospitalares no Brasil são responsáveis por cerca de 10% do consumo nacional de toda energia comercial. Para se ter uma ideia da importância da arquitetura sustentável, especialistas relatam que uma construção nestes moldes, voltada aos espaços hospitalares, ajudam no bem-estar dos pacientes, além do que as execuções devem interferir minimamente na vida dos colaboradores e dos clientes (ZIONI, 2019).

Entre os pontos a serem destacados em um projeto estão o descarte correto dos resíduos, os riscos de contaminação e até mesmo o uso da energia. Tudo pensado para diminuir o impacto ambiental.

Existe, atualmente um órgão responsável por atestar as edificações clínicas como sendo hospitais sustentáveis, conhecido mundialmente como Green Building Council, ou GCB. A entidade possui tanta relevância no meio clínico, que chegou a criar uma certificação que compreende as necessidades próprias a um hospital, o LEED® for Healthcare (BRASIL, 2019).

2.6 Equipamentos que mais consomem energia no ambiente hospitalar

2.6.1 Sistema de refrigeração

O sistema de refrigeração foi criado em meados do século XX por Willis Carrier (Figura 4) e logo passou a se popularizar nos ambientes corporativos, como escritórios, por exemplo. Entretanto, o sistema de refrigeração não está restrito aos ares-condicionados, ele está também relacionado aos aquecedores e congeladores, assim como refrigeradores de matérias primas, de produtos perecíveis e câmaras frigoríficas. Entre os locais que mais necessitam de um sistema de refrigeração eficiente, estão os açougues, os supermercados, as indústrias farmacêuticas, os frigoríferos e outros empreendimentos que precisam manter os ambientes climatizados para maior conforto dos clientes, como, por exemplo, os hotéis (CPFL, 2019).



Figura 4: Willis Carrier ao lado de sua invenção: o primeiro aparelho de ar condicionado da história.
Fonte: Condicionado, 2010.

2.6.2 Climatização hospitalar

Diante dos diversos riscos presentes dentro dos ambientes hospitalares, torna-se essencial que o local tenha um sistema de climatização adequado e eficiente. Dessa forma, é possível evitar que fungos, bactérias e outros microrganismos prejudiciais à saúde se propaguem pelo ambiente, além de garantir maior conforto térmico aos pacientes e colaboradores que atuam no local. Por sua vez, um sistema de climatização adequado e eficiente, também auxilia na higienização das salas de cirurgia, pós-operatórios, UTI, UTI Neonatal e UTI Pediátrica, mantendo os locais purificados e livres de agentes infecciosos (AIRLINK, 2018).

Para que haja um controle maior do ambiente hospitalar, foram criadas algumas normas e leis com o intuito de manter o ar do local sempre adequado e saudável, ou seja:

- Norma e Lei para o controle do ambiente: Lei 13.589/2018 (ARQUITETURA, 2018).
- Norma 7256:2005 (ARQUITETURA, 2019).

A lei 13.589/2018, sancionada em 4 de janeiro de 2018, tornou obrigatória a manutenção de ar-condicionado dentro de prédios públicos e privados coletivos, assim como em hospitais. O objetivo é proporcionar uma qualidade boa dentro do ambiente interno e minimizar e/ou eliminar possíveis riscos existentes. A manutenção do equipamento também deve ser realizada periodicamente, a fim de aumentar a vida útil do dispositivo, trazer maior economia de energia, prevenção da saúde dos

ocupantes do local e garantir maior eficiência. A troca dos filtros também deve ser incluída nessa manutenção, pois são os principais responsáveis pelo bom desempenho do aparelho (AIRLINK, 2018).

Visando assegurar a eficiência total desse sistema, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou a norma 7256:2005, que tem como principal objetivo estabelecer parâmetros e requisitos mínimos dentro dos estabelecimentos assistenciais de saúde. A principal função da norma é controlar como deve ser feita a instalação do sistema de climatização hospitalar, verificar o controle de ruídos, o índice de temperatura ideal, a velocidade do ar e a umidade relativa, além de estabelecer a necessidade da limpeza e manutenção periódica, garantindo que tudo esteja funcionando corretamente (ARQUITETURA, 2019).

2.6.3 Central de água gelada

Equipamentos relacionados ao ajuste de temperatura de ambientes podem ser separados em duas categorias, os que promovem a expansão direta, ou seja, que possuem um sistema direto para resfriamento do ar, ou de expansão indireta, que através de um contato indireto com uma superfície resfriada, é capaz de fornecer temperaturas mais baixas (TRANSCALOR, 2019).

Na expansão indireta, é necessário que o equipamento seja dotado de uma central de água gelada, que garantirá as baixas temperaturas na distribuição do ar e para o seu funcionamento, existe um equipamento chamado “Chiller”. Um Chiller é responsável por gelar a água e manter sua temperatura sempre baixa. Em seu processo de funcionamento, o ar e a água gelada circulam em conjunto, fazendo com que a temperatura do ar diminua devido à baixa temperatura da água. Esse processo ocorre com a ajuda de outro equipamento chamado “Fan Coil”, que funciona como um ventilador fazendo com que a baseado água e o ar circulem.

O uso de um sistema de resfriamento em uma central de água gelada pode ser empregado em lugares grandes que necessitem de um sistema complexo de resfriamento para que a temperatura seja constante, como shopping centers e grandes hotéis, sendo imprescindíveis em locais em que a precisão no controle de temperatura é muito importante, como hospitais e laboratórios (TRANSCALOR, 2019).

Qualquer instalação de refrigeração de ambientes deve ser feita por empresas especializadas, para que os processos envolvidos na instalação não comprometam estruturas prediais, ou o desempenho do equipamento durante o uso. A eficiência e durabilidade de um sistema de resfriamento com central de água gelada é garantida por dois aspectos importantes, um deles é a qualidade do produto e da instalação, e o outro, está relacionado à realização periódica da manutenção preventiva, de acordo com as orientações do fabricante. A manutenção preventiva de equipamentos como a central de água gelada, deve ser feita de forma periódica para evitar danos às estruturas ou aos equipamentos (TRANSCALOR, 2019). Na Figura 5 está demonstrado o equipamento para a central de água gelada.



Figura 5: Central de água gelada.
Fonte: Sec, 2019.

2.6.4 Fan Coil

O sistema de funcionamento do Fan Coil é semelhante ao de um evaporador comum dos sistemas de ar condicionado convencionais, porém, em vez de utilizar gás refrigerante, utiliza água com temperatura controlada e tratada em seu sistema para fazer a climatização. Para funcionar, o sistema do tipo Fan Coil faz uso de um fluido intermediário, que nada mais é do que água gelada exclusivamente ou misturada com etileno-glicol (o mesmo produto adicionado no sistema de arrefecimento dos carros).

O Fan Coil, portanto, é uma caixa que tem uma serpentina de cobre/alumínio por onde circula essa água gelada. O ar é direcionado por meio de um ventilador para o sistema de filtragem e depois para as serpentinas de onde será insuflado até o ambiente. Quando a água passa pelo Fan Coil, o ambiente é climatizado retirando-se o calor, que é absorvido pela água sendo levado ao chiller, onde ocorre a condensação em uma torre de arrefecimento para resfriá-la e retornar ao mesmo ciclo novamente. Em casos de sistemas menores, a condensação também pode ser realizada por trocadores de calor conhecidos como ar/ar. A água circulante na serpentina do Fan Coil deve estar em temperatura por volta de 7ºC, devolvendo para o chiller com cerca de 12ºC. Em resumo, o Fan Coil contém em seu interior uma serpentina de cobre ou alumínio, na qual circula a água, um ventilador dotado de motor e correias que captam o ar do ambiente, conduzindo-o a um sistema de filtros, que depois passa pela serpentina a uma temperatura mais baixa que a do ambiente, onde acontece a refrigeração e a devolução do ar ao ambiente externo, devidamente refrigerado e filtrado. Dependendo do modelo do aparelho e sua capacidade, os dutos podem existir ou o insuflamento pode ser direto (GERADORA, 2017). Na Figura 6 encontra-se um exemplo de Fan Coil utilizado para climatização de grandes ambientes.



Figura 6: Fan Coil é o equipamento indicado para climatizar grandes ambientes, onde os climatizadores convencionais não conseguem fornecer refrigeração necessária.
Fonte: Geradora, 2017.

2.6.5 Chiller hospitalar

O chiller é um equipamento utilizado em diversos segmentos da indústria, construção civil, setor de serviços, hospitais entre outros locais. Esse equipamento é utilizado para a manutenção da temperatura em equipamentos ou para realizar a climatização do ambiente. Para a área da saúde, por exemplo, o chiller hospitalar é um importante aliado para garantir o bom funcionamento de aparelhos e, assim, também a segurança do operador (TRANSCALOR, 2019).

O chiller hospitalar é especialmente desenvolvido para a aplicação no setor da saúde, e é produzido para a aplicação em aparelhos como os de diagnóstico por imagem e exames laboratoriais, que é o caso dos aparelhos de tomografia, ressonância magnética, entre outros. Nesses aparelhos, o chiller hospitalar exerce a função de regulador térmico, controlando a temperatura durante o funcionamento e mesmo em *stand by*, o que contribui positivamente para a precisão dos processos realizados – fundamental para os diagnósticos – além de evitar que o equipamento seja exposto a temperaturas inadequadas, que provocam desgaste. A economia que o equipamento proporciona é vantajosa, pois existe controle para evitar a perda de gás Hélio, um material de custo alto. Além desse fator, os equipamentos beneficiados com a utilização do chiller hospitalar tem garantido o seu funcionamento adequado, o que influencia no tempo de vida útil e, consequentemente, proporciona redução de custos (TRANSCALOR, 2019).

2.6.6 Btu/h, Kcal/h, TR e Watts

- Btu (British Thermal Unit) é definida como a quantidade de calor necessário para elevar a temperatura de 1lb (libra) de água de 63ºF para 64ºF. A unidade de potência Btu/h é uma unidade muito usada em equipamentos de ar condicionado de janela.
- Kcal (quilocaloria) é um múltiplo de caloria (cal), ou seja: 1Kcal = 1000 cal e 1 cal é o calor necessário para elevar a temperatura de um grama de água de 14,5ºC para 15, 5ºC. A unidade de potência Kcal/h é muito usada em cálculo de refrigeração.

- TR (tonelada de refrigeração) – Unidade Inglesa – Definição: 1 TR é a quantidade de calor necessária para derreter uma tonelada inglesa de gelo em um período de 24 horas. TR é uma unidade muito usada em equipamento de grande capacidade frigorifica, tais como: chillers e selfs. Nesse caso usa-se o TR porque seus valores são em números, menores do que em outras unidades.
- W (watts) – unidade de potência do sistema internacional de unidades (S.I.), é obtida da divisão J/s (joule por segundo). Por ser unidade do S.I. é a unidade encontrada em catálogos de fabricantes de equipamentos, por isso os cálculos para dimensionamento e selecionamento são desenvolvidos em watts (W). Exemplo de equivalência entre as unidades mencionadas: 12.000 Btu/h = 1,0 TR = 3.024 Kcal/h = 3.516,28 W (FRIOCLIMATIZADO, 2016). Na Tabela 1 está detalhado os critérios de capacidade e potência levando em consideração as dimensões e peso de cada modelo do equipamento.

Tabela 1: Capacidade e consumo de Chillers Hospitalares

Capacidade	**Dimensões[1]**			**Peso**	**Potência[2]**
kcal/h	**Alt.**	**Larg.**	**Prof.**	**kg**	**kw**
9.000	1.250	750	950	395	11,6
15.000	1.500	800	1.200	435	12,7
22.000	1.750	850	1.500	550	14,4
30.000	1.910	950	1.850	631	18,1
40.000	1.910	950	1.850	631	21,9
45.000	1.910	950	1.850	631	22,5
60.000	2.200	1.000	2.500	954	30,2
75.000	2.250	1.000	2.500	1110	41,7

[1] Dimensões aproximadas

[2] Potência máxima estimada

Fonte: Friotec, 2017.

2.6.7 Sistema de iluminação

Thomas Alva Edison inventou a lâmpada incandescente em meados da segunda metade do século XX e logo a invenção se mostrou muito prestativa, sendo largamente utilizada em espaços públicos e privados (Figura 7). Dominou o mercado

das luminárias por quase um século, até surgirem as lâmpadas fluorescentes e LEDs, essa última mais recentemente. A iluminação é uma estratégia utilizada nos mais diversos tipos de negócios, ainda que de forma diferente. Por exemplo, em uma loja de roupas, o objetivo da iluminação deve ser apresentar os produtos, enquanto em um escritório de arquitetura ela deve servir para criar um ambiente adequado para o trabalho (CPFL, 2019).

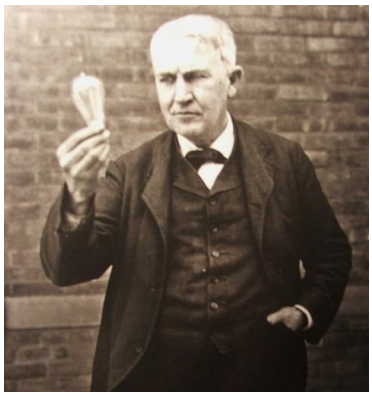


Figura 7: Thomas Edison (1847-1931).
Fonte: Frazão, 2019.

2.6.8 Luminotécnica

A luz dentro de um ambiente é muito mais do que uma ferramenta para ajudar a visão humana a distinguir objetos e sombras. A intensidade, cores e quantidade de luminosidade interferem diretamente nas sensações que cada pessoa tem ao entrar pela porta. Dentro de hospitais, lugar geralmente associado a uma situação de risco, controlar a luz para oferecer estímulos tranquilizadores e acolhedores é fundamental. Por isso, a luminotécnica, o estudo da aplicação da iluminação artificial em áreas internas e externas, é um aspecto cada vez mais importante dentro dos projetos arquitetônicos de edifícios da saúde.

Com o auxílio de um especialista no assunto, os hospitais conseguem equipar seus ambientes de espera, internação e procedimentos com um sistema de iluminação que proporcionará conforto e bem-estar aos usuários e às equipes que trabalham no local. Além disso, contribuirá bastante para diminuir os custos com um dos itens mais importantes para o hospital. “Investir em um projeto eficiente é fundamental, pois, entre outras coisas, reduz o consumo de energia com uma

iluminação que não pode ser racionalizada", afirma Neide Senzi, arquiteta e especialista em lighting designer. O nível de redução de energia com uma iluminação mais racional dependerá muito do porte da organização e do uso que for feito nos ambientes internos. Contudo, pesquisas internacionais estimam que seja possível diminuir em até 40% o custo com esse quesito com a aplicação de sistemas e lâmpadas mais eficientes. No Brasil, muitos edifícios de saúde possuem instalações mal dimensionadas e antiquadas, o que pode contribuir para uma economia ainda maior depois de feitos todos os acertos necessários (NUPEHA, 2019). Na Figura 8 é apresentado um exemplo de local onde foi aplicada a luminotécnica.



Figura 8: Alas e corredores com luminotécnica, estímulo para o paciente e redução de custo na recuperação.
Fonte: Nupeha, 2019.

Graças ao desenvolvimento da luminotécnica, bastante difundida na Europa e nos Estados Unidos, hoje é possível projetar ambientes com iluminação individualizada, levando em conta a utilização que será feita do espaço. Alas infantis de hospitais, por exemplo, precisam ter maior uniformidade nas cores e tonalidades de luz, porque o contraste e a escuridão total deixam as crianças assustadas. Já em setores geriátricos, a prioridade é evitar o ofuscamento da vista, uma situação comum ocasionada pelo desgaste tanto da retina quanto da córnea.

Espaços como a fachada de um prédio hospitalar devem ser bem iluminados, porém o uso de holofotes convencionais é um método rejeitado por organismos

internacionais, como o Leed – em inglês, Liderança em Energia e Design Ambiental. Na recepção, luzes com menor intensidade de cor criam um clima mais aconchegante para os pacientes e seus acompanhantes. A sala de espera do Pronto Atendimento pode receber abajures e luzes indiretas, para criar um ambiente quase residencial e assim diminuir o nível de estresse geralmente encontrado. Por outro lado, o centro cirúrgico e áreas, de procedimento, onde a eficiência do corpo clínico é a prioridade, devem oferecer a maior quantidade de luz possível e sem que haja reflexos causados por objetos metálicos, por exemplo. Nesse ambiente é preciso seguir estritamente as normas técnicas e preocupar-se com a assepsia, mantendo luminárias e interruptores vedados. A Figura 9 demonstra uma recepção onde foi aplicada a luminotécnica para harmonizar o ambiente.



Figura 9: Recepções e salas de espera, luz indireta e mais suaves.
Fonte: Nupeha, 2019.

As UTIs provavelmente são os setores dos hospitais que mais evoluíram com a luminotécnica. Isso porque a área precisa ser iluminada satisfatoriamente para que médicos e enfermeiros trabalhem, mas sem interferir no conforto dos pacientes, que precisam de um ambiente o mais acolhedor possível para se recuperar. Segundo Neide Senzi a automação é a melhor solução para o caso. “Com as luzes setorizadas, as enfermeiras podem trabalhar durante a noite sem atrapalhar os que dormem e os pacientes podem controlar individualmente a intensidade da luz durante o dia. Esse controle, além de contribuir para a recuperação do paciente ainda diminui o consumo

de energia” (NUPEHA, 2019). Na Figura 10 é apresentado um exemplo de luminotécnica em uma sala com equipamento de ressonância magnética.



Figura 10: Sistema de iluminação utilizado para acalmar pacientes durante exames de alta complexidade.

Fonte: Nupeha, 2019.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O processo foi executando em três etapas. Na primeira etapa foi desenvolvido o software que dará as instruções ao arduino. Na segunda etapa ocorreu a seleção para montagem e testes com os componentes que efetuaram de fato o monitoramento físico dos equipamentos. E finalmente, na terceira etapa, ocorreram os testes com o software executando no equipamento e o monitoramento de um local com uma elevada demanda energética.

O local escolhido para testes avaliação do equipamento, foi uma das salas de servidores localizada no departamento de Tecnologia da Informação no prédio administrativo da Unimed Regional Jaú. Para tal, o sistema composto pela placa arduino, sensor e demais equipamentos permaneceu monitorando por 22 dias ininterruptos, quatro servidores Dell, sendo que esses possuem consumos diferentes. O monitoramento referente aos quatro servidores foi realizado no período de 4 a 26 de maio de 2019.

Para o cálculo de monitoramento foram utilizadas duas variáveis:

- Tensão, que naquele ambiente é de 120 volts (V).
- Irms, que é o valor obtido pelo sensor em amperes (A).

Desse modo o cálculo é tensão (V) multiplicado pela amperagem (A) resultando na potência em Watts (W).

Exemplo: 120V * 3A = 360W.

A Figura 11 demonstra o projeto do circuito eletrônico em protoboard (placa de ensaio), com seus componentes interligados.

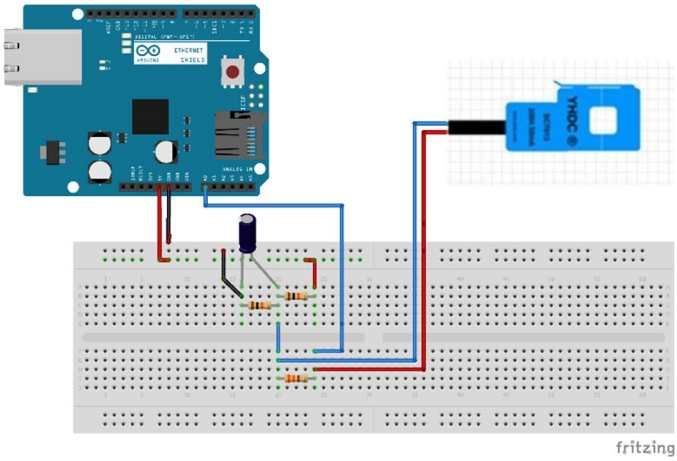


Figura 11: Circuito eletrônico do projeto.

Fonte: o autor.

3.1 Arduino e seus componentes

O arduino é uma placa eletrônica de código aberto baseada em hardwares e softwares com uma maior facilidade de desenvolvimento e utilização (Figura 12). O que o arduino faz é basicamente receber uma informação através de sensores e atuar como resposta. O arduino pode receber a informação de um sensor de captura de movimento instalado em uma sala, ligar o ar condicionado enquanto pessoas estiverem presentes e desligar caso não detecte movimento após o tempo determinado em sua programação. Desse modo ele está sempre recebendo uma informação e devolvendo outra ou atuando de outra forma, se necessário, pois depende de sua finalidade.



Figura 12: Placa arduino.
Fonte: Arduino, 2019.

Por muitos anos o arduino tem sido o cérebro de milhares de projetos, iniciando por objetos do dia a dia até equipamentos científicos complexos.

O projeto da criação do arduino iniciou-se na cidade de Ivrea, Itália, em 2005, com o intuito de interagir em projetos escolares de forma a ter um orçamento menor que outros sistemas de prototipagem disponíveis naquela época. O sucesso foi sinalizado com a obtenção de uma menção honrosa na categoria Comunidades Digitais em 2006, pela Prix Ars Electronica, além da marca de mais de 50.000 placas vendidas até outubro de 2008. Atualmente, o seu hardware contém a parte principal que é um microcontrolador Atmel AVR, sendo que este não é um requisito formal e pode ser alterado ou estendido, se tanto ele quanto a ferramenta alternativa suportarem a linguagem arduino, e forem aceites pelo seu projeto (ARDUINO, 2018).

A Tabela 2 demonstra a variedade de placas arduino existentes e suas respectivas características.

Tabela 2: Comparativo entre os tipos de arduinos

Name	Processor	Operating/Input Voltage	CPU Speed	Analog In/Out	EEPROM [kB]	SRAM [kB]	Flash [kB]
101	Intel® Curie	3.3 V/ 7-12V	32MHz	6/0	-	24	196
Gemma	ATtiny85	3.3 V / 4-16 V	8 MHz	1/0	0.5	0.5	8
LilyPad	ATmega168V	2.7-5.5 V /	8MHz	6/0	0.512	1	16
	ATmega328P	2.7-5.5 V					
LilyPad SimpleSnap	ATmega328P	2.7-5.5 V /	8 MHz	4/0	1	2	32
		2.7-5.5 V					
LilyPad USB	ATmega32U4	3.3 V / 3.8-5 V	8 MHz	4/0	1	2.5	32
Mega 2560	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16 MHz	16/0	4	8	256
Micro	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16 MHz	12/0	1	2.5	32
MKR1000	SAMD21 Cortex-M0+	3.3 V/ 5V	48MHz	07/jan	-	32	256
Pro	ATmega168	3.3 V / 3.35-12 V	8 MHz	6/0	0.512	1	16
	ATmega328P	5 V / 5-12 V	16 MHz		1	2	32
Pro Mini	ATmega328P	3.3 V / 3.35-12 V	8 MHz	6/0	1	2	32
		5 V / 5-12 V	16 MHz				
Uno	ATmega328P	5 V / 7-12 V	16 MHz	6/0	1	2	32
Zero	ATSAMD21G18	3.3 V / 7-12 V	48 MHz	06/jan	-	32	256
Due	ATSAM3X8E	3.3 V / 7-12 V	84 MHz	12/fev	-	96	512
Esplora	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16 MHz	-	1	2.5	32
Ethernet	ATmega328P	5 V / 7-12 V	16 MHz	6/0	1	2	32
Leonardo	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16 MHz	12/0	1	2.5	32
Mega ADK	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16 MHz	16/0	4	8	256
Mini	ATmega328P	5 V / 7-9 V	16 MHz	8/0	1	2	32
Nano	ATmega168	5 V / 7-9 V	16 MHz	8/0	0.512	1	16
	ATmega328P				1	2	32
Yùn	ATmega32U4	5 V	16 MHz	12/0	1	2.5	32
	AR9331 Linux		400MHz			16MB	64MB
Arduino Robot	ATmega32u4	5 V	16 MHz	6/0	1 KB (ATmega32u4)/	2.5 KB	32 KB (ATmega32u4) of which
					512 Kbit (I2C)	(ATmega32u4)	4 KB used by bootloader
MKRZero	SAMD21	3.3 V	48 MHz	7 (ADC 8/10/12 bit)/1	No	32 KB	256 KB
	Cortex-M0+			(DAC 10 bit)			
	32bit low power						
	ARM MCU						

Fonte: Arduino, 2019.

3.1.2 Características de hardware e recursos

Atualmente, o arduino UNO é a versão mais popular e mais vendida de toda a linha Arduino, além de servir como base para outros modelos, como o Arduino MEGA 2560 por exemplo. Os projetos de toda a linha oficial do Arduino são feitos utilizando o software Eagle. Existe uma versão grátis do Eagle para baixar e usar para abrir ou modificar os projetos originais do Arduino. O projeto original do Arduino UNO pode ser baixado diretamente do site do Arduino.

O esquemático do arduino pode parecer um pouco intimidador, e até mesmo um pouco confuso à primeira vista. Para facilitar o entendimento, o layout original foi separado em partes. Isso foi feito apenas alinhando o nome e o valor dos componentes, e também melhorando um pouco a separação entre eles. Porém, nenhum componente foi modificado, retirado ou adicionado, mantendo 100% da compatibilidade (FURLAN, 2019).

3.2 Diagrama esquemático

Outra dificuldade que normalmente ocorre na análise do funcionamento do Arduino, é a dificuldade de se localizar um componente específico na placa, já que a mesma não possui impressa a identificação de todos eles. Apenas os LEDs, conectores e botão de reset têm identificação. Resistores, capacitores, chips e demais componentes não são identificados.

Na Figura 13 estão identificados todos os componentes da placa com os mesmos nomes utilizados no esquemático. Poderá ser utilizado como guia para localizar os componentes (MURTA, 2019).

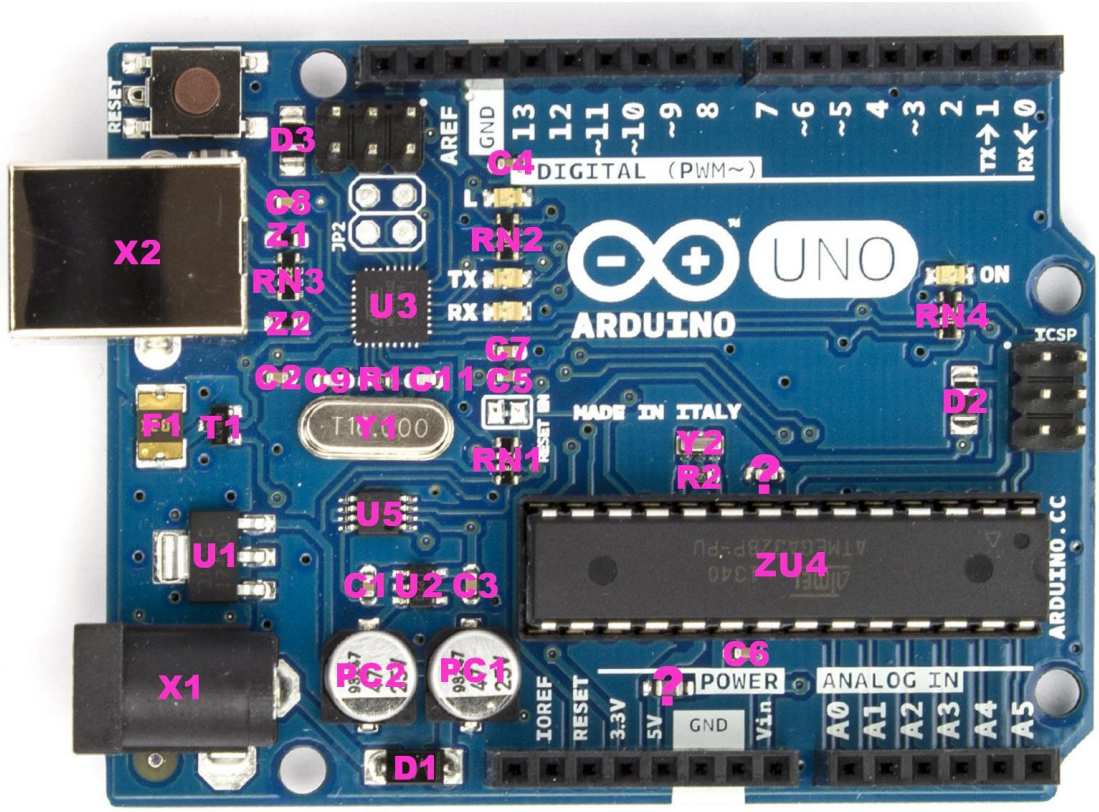


Figura 13: Componentes nomeados na placa do Arduino UNO.

Fonte: Robotics, 2017.

3.2.1 Processador USB

O processador USB, nomeado como U3 no esquemático, é responsável por fazer a comunicação do Arduino com o PC através da porta USB. Ele é necessário, pois o processador principal do Arduino (ATmega328) não suporta conexão direta com uma porta USB. Dessa forma, o processador USB converte os dados da USB do PC para um sinal serial (UART), e este sim pode lido pelo processador principal.

Dessa forma o processador USB funciona como um conversor USB-Serial. O processador utilizado para essa função é o ATmega16U2. Versões anteriores do Arduino, como Arduino Duemilanove, Diecimila, Nano, MEGA (anterior ao R3) e muitas outras placas similares, utilizam outro componente para essa função, o FT232 fabricado pela empresa FTDI. Porém, muitos usuários reclamaram que a troca do FT232 pelo ATmega16U2 ocasionou problemas de compatibilidade com Windows e MAC.

Desta forma, ainda hoje, muitas placas "Arduino compatível" continuam utilizando os chips FTDI (FURLAN, 2019). Na Figura 14 está demonstrado através do esquemático técnico o processador USB responsável por efetuar a conexão do arduino com o PC.

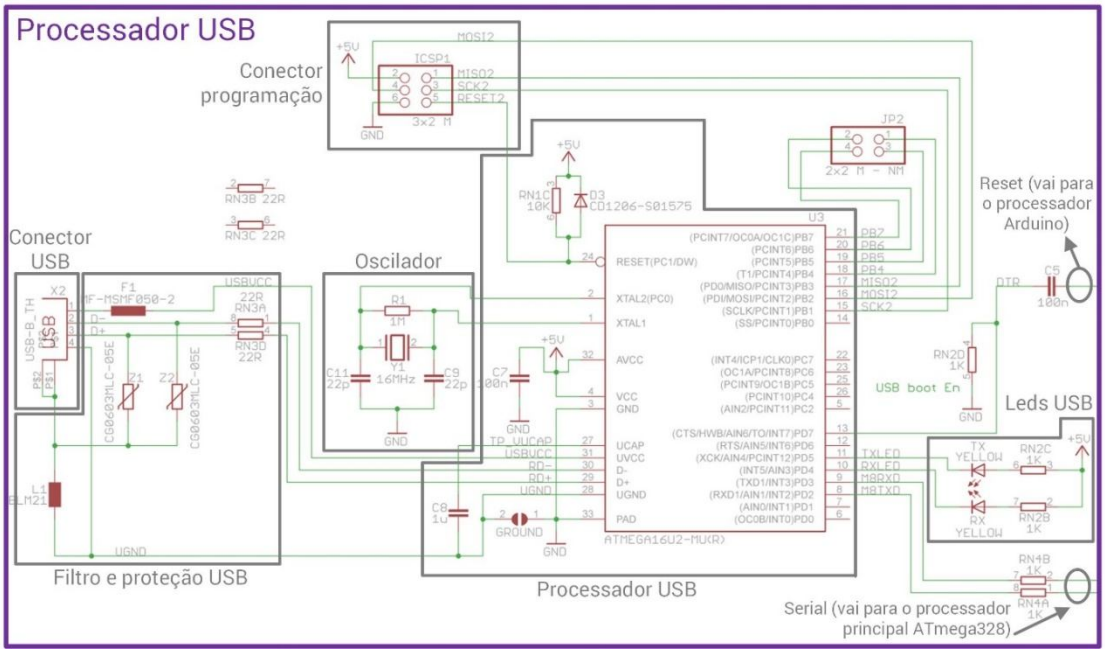


Figura 14: Esquemático referente ao processador USB.

Fonte: Robotics, 2017.

3.2.2 Processador principal

No Arduino UNO, o componente que faz o papel de processador principal é o ATmega328, também fabricado pela Atmel Semiconductor e nomeado como ZU4 no esquemático.

Outros modelos de Arduino utilizam processadores diferentes. Existem versões do Arduino Nano e Duemilanove que utilizam o ATmega168, que basicamente é um componente idêntico ao ATmega328, porém com menos memória. O Arduino MEGA 2560 utiliza o ATmega2560, que possui mais pinos e mais memória do que o ATmega328. O Arduino Leonardo utiliza o processador ATmega32U4, que possui características semelhantes ao ATmega328, porém ele possui interface USB embutida, resultando em uma placa com apenas um processador (porém essa versão acabou não se tornando muito popular). Por fim, existem ainda versões de Arduino que utilizam processadores ARM, como é o caso do Arduino DUE (AT91SAM3X8E),

e ainda outras plataformas como o Intel Galileo, que utiliza um processador Intel (Intel® Quark SoC X1000) (FURLAN, 2019).

O ATmega328 é o "cérebro" do Arduino UNO e, resumidamente tem três funções:

- Recebe, envia e interpreta os sinais da serial que vêm do processador USB ATmega16U2.
- Executa o software que está programado nele.
- Interage diretamente com os shields e elementos externos, realizando acionamento de dispositivos e leitura de sensores.

A Figura 15 demonstra no esquemático o processador principal.

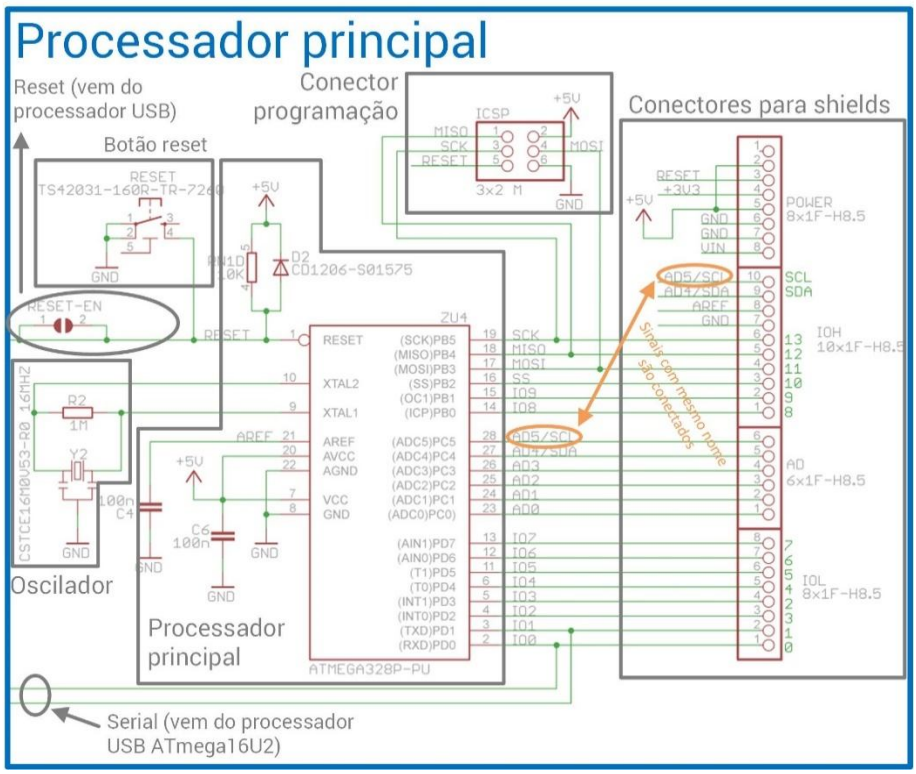


Figura 15: Esquemático referente ao processador principal.

Fonte: Furlan, 2019.

3.2.3 Oscilador

O oscilador do ATmega328 funciona de modo bem semelhante ao oscilador do ATmega16U2 apresentado anteriormente, e ambos têm frequência de 16 MHz. A principal diferença, é que o oscilador do ATmega328 foi feito com um ressonador

cerâmico ao invés do cristal utilizado no ATmega16U2. O ressonador cerâmico é nomeado como Y2 no esquemático, e o modelo utilizado é o CSTCE16M0V53-R0 fabricado pela Murata.

Ressonadores cerâmicos são componentes com função semelhante à do cristal, ou seja, eles também são responsáveis por gerar a onda senoidal que servirá como base para o sinal de clock do processador. Normalmente, o ressonador cerâmico é mais compacto do que o cristal, e já vêm com os capacitores de ajuste instalados internamente, deixando o circuito mais simples. Porém, em termos de precisão, o ressonador cerâmico costuma ter desempenho inferior do que o de cristal, em linhas gerais o ressonador tem precisão de 0,5% contra 0,003% do cristal. Por isso, ressonadores são mais usados em aplicações compactas e com pouco espaço disponível.

Versões do Arduino como Duemilanove, Diecimila e MEGA usam cristal como elemento ressonante. Não se sabe ao certo o que levou essa troca para o ressonador cerâmico no Arduino UNO. Talvez tenha sido uma herança do Arduino Nano, já que ele sempre usou ressonador, mas é difícil saber com certeza.

De qualquer forma, o importante é saber que o circuito no geral é o mesmo conforme demonstrado no esquemático na Figura 16, apenas os capacitores são omitidos (por já estarem dentro do ressonador), e o resistor de 1 Mega Ohm que auxilia no início do funcionamento (R2) continua (ROBOTICS, 2017).

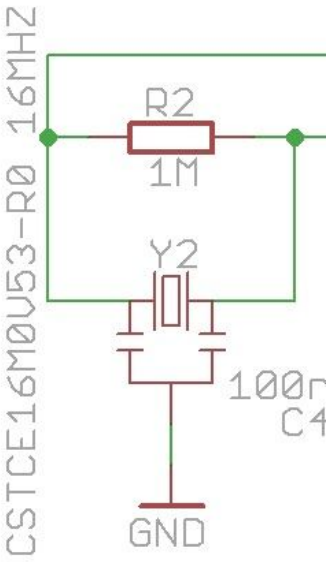


Figura 16: Ressonador cerâmico do ATmega328.

Fonte: Robotics, 2017.

3.2.4 Conector programação

Este conector, assim como no processador USB, é usado para a programação do primeiro software feito ainda na fábrica do Arduino (este software tem o nome de bootloader) (ROBOTICS, 2017).

A Figura 17 apresenta um detalhe do esquemático demonstrando o conector responsável por receber a primeira programação inserida na fabricação do arduino necessária para o funcionamento básico da placa.

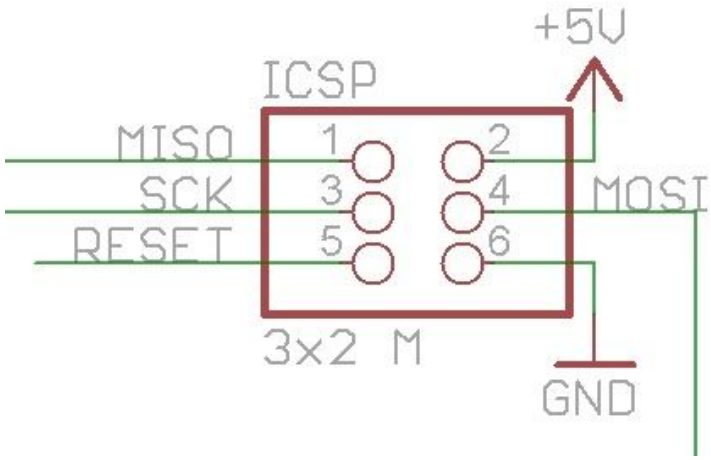


Figura 17: Conector de programação do ATmega328.

Fonte: Robotics, 2017.

3.2.5 Botão de reset

O botão é nomeado como RESET no esquemático representado na Figura 18. Quando pressionado, o botão fecha o contato dos pinos 1 e 2 com os pinos 3 e 4, ligando o pino de reset do processador diretamente ao GND. Isso faz com que haja um nível lógico baixo neste pino, o que reseta (reinicia) o processador (FURLAN, 2019).

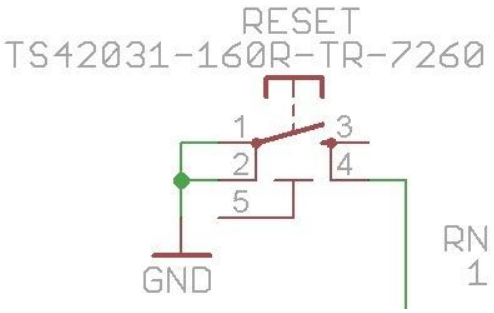


Figura 18: Botão de reset do ATmega328.

Fonte: Furlan, 2019.

3.2.6 Conectores para Shields

Estes são os conectores utilizados para plugar os shields ao Arduino. Eles são ligados diretamente aos pinos de I/O do processador, e também às tensões de alimentação 5V, VIN, 3,3V e GND. No esquemático, todos os sinais com o mesmo nome estão interligados, independentemente de haver uma conexão física entre os mesmos.

Por exemplo, os dois ramos nomeados como AD5/SCL estão ligados eletricamente, mesmo parecendo haver uma ponta "solta" no conector, isso também acontece com os sinais de 3,3V, RESET, GND e todos os outros. Os conectores são nomeados como POWER, IOH, AD e IOL, e a legenda em verde indica qual é a numeração ou a função do pino no Arduino. Além disso, há uma inscrição que demonstra qual é o tamanho e o modelo do conector, por exemplo, a legenda "8x1F-H8.5" na Figura 19 indica que se trata de um conector com 8 pinos, uma coluna, tipo fêmea, e com altura de 8,5mm (FURLAN, 2019).

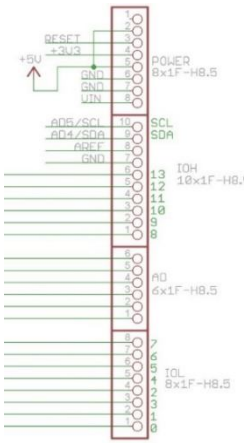


Figura 19: Conectores do ATmega328 para encaixe dos shields.

Fonte: Furlan, 2019.

3.2.7 Alimentação

A placa arduino pode ser alimentada via USB ou por uma fonte externa. A fonte externa deverá ser feita através de conector Jack com o positivo no centro. A tensão recomendada para fonte externa está entre 7V e 12V, pois abaixo de 7V a placa poderá ficar instável e acima de 12V o regulador de tesão da placa poderá superaquecer (FURLAN, 2019).

A Figura 20 demonstra através do esquemático que além de servir como comunicação, o USB do arduino também tem a função de alimentação da placa.

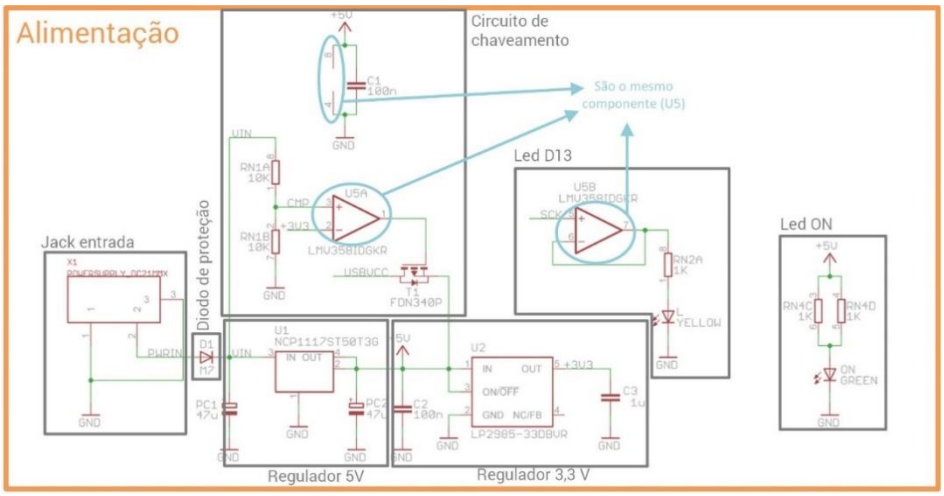


Figura 20: Esquemático referente à alimentação do Arduino UNO.

Fonte: FURLAN, 2019.

Para alimentar a placa via USB basta plugar o cabo a um PC não sendo necessário estabilizar a tensão. A entrada USB contém componentes que protegem a placa caso ocorram anomalias. Além de ser uma fonte de alimentação, a entrada USB também é utilizada como comunicação entre o PC e a placa (Figura 21).

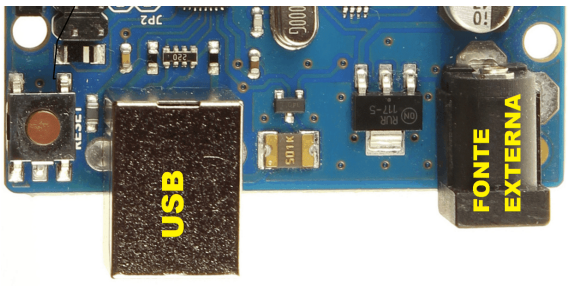


Figura 21: Alimentação.

Fonte: Souza, 2013.

3.2.8 Jack de entrada

O conector, nomeado como X1, é onde se conecta o plugue de alimentação da fonte externa. É conveniente usar uma fonte externa para alimentar o Arduino quando o mesmo não pode ficar conectado sempre na porta USB do PC, quando há algum elemento na aplicação que precise ser alimentado com uma tensão maior do que 5 Volts, ou quando o circuito exige uma corrente maior do que os 500mA suportados pela porta USB do PC (ROBOTICS, 2017).

Na Figura 22 é demonstrado o conector para a função única de alimentação.

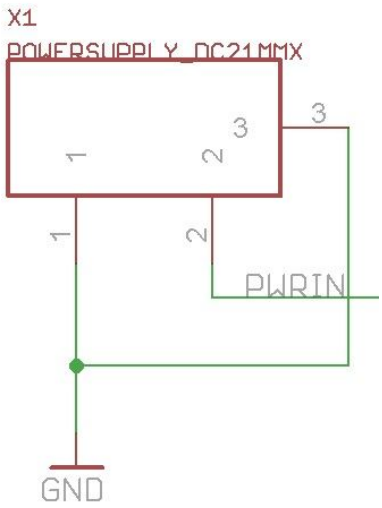


Figura 22: Jack para fonte externa.
Fonte: Robotics, 2017.

O intervalo de tensão recomendado para alimentação do Arduino com fonte externa é de 7 até 12 Volts, ainda que a placa suporte tensões de até 20 Volts. O uso de tensões superiores à 12 Volts pode ocasionar aquecimento excessivo dos reguladores, não sendo recomendada. Este conector é do tipo fêmea, e definido como 2,1 mm, o que significa que o pino no seu centro tem 2,1 milímetros de diâmetro. Isso quer dizer que a fonte utilizada deve ter um conector do tipo macho, também com 2,1 milímetros e centro positivo (ou seja, o interior do plugue tem tensão positiva em relação ao exterior, que é o GND) (FURLAN, 2019).

Na Figura 23 encontra-se um exemplo de conector utilizado para alimentar a energia necessária para manter o arduino funcionando sem a necessidade da alimentação via USB.



Figura 23: Imagem do plugue de 2,1mm necessário para conexão com Arduino.
Fonte: Furlan, 2019.

3.2.9 Diodo de proteção

A corrente que chega pelo jack de entrada logo encontra o primeiro componente, que se trata do diodo de proteção D1. Sua função é a de proteger o Arduino caso uma fonte com polaridade invertida seja conectada acidentalmente no jack. Uma fonte com polaridade invertida, nesse caso, seria um modelo com centro negativo. Quando se conecta acidentalmente uma fonte com polaridade invertida em uma placa eletrônica que não é protegida, isso causa a circulação de corrente no sentido reverso, o que ocasiona a queima de vários componentes, destruindo a maioria dos circuitos. No caso do Arduino, o diodo D1 evita que a corrente circule no sentido contrário, protegendo a placa.

Resumidamente, o diodo funciona como uma chave fechada para fontes com a polaridade correta, e como chave aberta para fontes com polaridade invertida. É importante notar que na situação em que uma fonte com polaridade invertida é ligada ao o Arduino, o mesmo fica protegido, porém não funciona, sendo necessário acertar a polaridade da fonte para que o funcionamento volte ao normal.

Após passar pelo diodo de proteção, a tensão proveniente da fonte é chamada de VIN, e também está disponível em um dos conectores do Arduino. O diodo utilizado é o modelo M7, que se trata da versão SMD do popular 1N4007, e a corrente máxima suportada é de 1A. Porém, a queda de tensão sobre este diodo é grande, chegando a 1,1 Volts, o que pode trazer efeitos indesejáveis como aumento da dissipação térmica, ocasionando perda de eficiência. Nesse caso, um diodo tipo Schottky seria mais adequado, pois a queda de tensão sobre ele é menor.

A maior parte das outras versões de Arduino não especifica qual modelo de diodo foi usado. Além disso, algumas versões como o Nano, não possuem essa

proteção contra inversão de polaridade. Há ainda outras versões como o Leonardo e o Arduino Micro que utilizam outros componentes, ou o mesmo diodo ligado de uma forma diferente (ROBOTICS, 2017).

Na Figura 24 está apresentado o diodo de proteção D1.

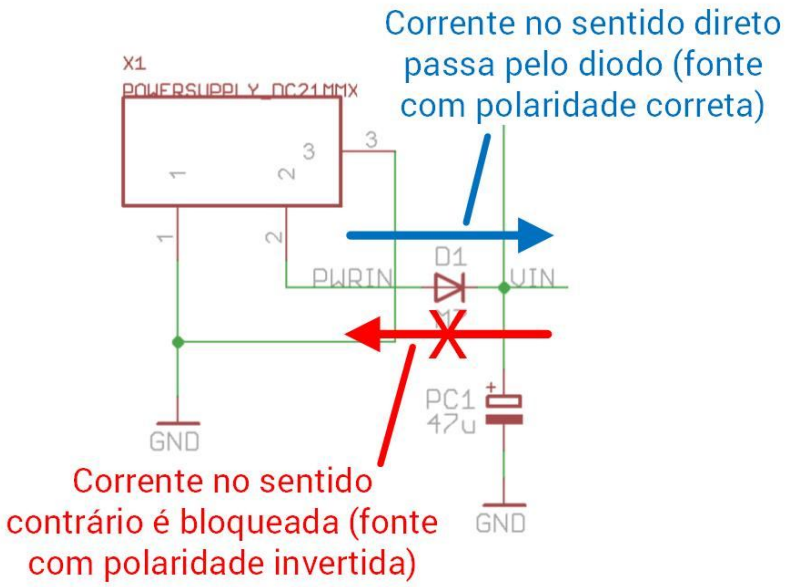


Figura 24: Diodo protegendo a placa contra ligação reversa.

Fonte: Robotics, 2017.

3.2.10 Regulador 5V

O regulador de 5 Volts nomeado como U1 tem como função baixar a tensão da fonte (que pode ter um valor entre 7 e 20 Volts) e estabilizá-la em 5 Volts, que é a tensão recomendada para o funcionamento dos componentes do Arduino, como os dois processadores por exemplo. Além disso, o regulador também funciona como um filtro, atenuando os ruídos que possam estar presentes na tensão gerada pela fonte de alimentação.

Este regulador é chamado de regulador linear, e basicamente o recurso que ele usa para baixar a tensão da fonte é simplesmente dissipar o excesso de energia, jogando-a fora como calor. Por esse motivo, ele apresenta uma eficiência baixa, e costuma esquentar bastante em alguns casos. Se alimentar o Arduino com uma fonte de 12 Volts por exemplo, estará aproveitando apenas 40% da energia fornecida pela

fonte, sendo os outros 60% jogados fora na forma de calor. Isso acontece com qualquer regulador linear, independente do fabricante e do modelo.

Portanto, se esse componente começar a esquentar quando se usa o Arduino com uma fonte externa é normal, pois ele está lá para essa função. Quanto mais se aumenta a tensão da fonte externa, menos eficiente se torna o funcionamento do regulador linear. Usando uma fonte de 20V por exemplo, apenas 25% da energia é aproveitada, sendo 75% jogada fora na forma de calor. Dessa forma, sempre que possível, é recomendado a utilização de fontes de alimentação com valor reduzido, como 9 ou 7,5 Volts por exemplo.

No Arduino UNO, o componente utilizado para o regulador de 5 Volts é o NCP1117 fabricado pela ON Semiconductor, e ele usa dois capacitores para ajudá-lo nessa tarefa, PC1 e PC2, ambos de 47uF. Estes capacitores são importantes para o bom funcionamento do regulador. O PC1 ajuda a estabilizar a tensão de entrada proveniente da fonte de alimentação, e também fornece a energia necessária para suprir os eventuais picos de corrente que acontecem durante a utilização da placa. O capacitor PC2 tem o mesmo papel de estabilização, porém na tensão da saída. Além disso, este capacitor ainda exerce um importante papel na estabilidade do regulador, devendo ser escolhido cuidadosamente de acordo com as instruções do fabricante em termos de capacitância e de resistência em série (esta é uma resistência parasita que todo capacitor tem, é chamada de ESR ou "equivalent series resistance" em inglês). Uma falha na escolha do capacitor de saída pode ocasionar oscilações indesejáveis no regulador.

Apesar da baixa eficiência, praticamente todas as versões do Arduino utilizam um regulador linear, pois eles são fáceis de usar, baratos e confiáveis. Alguns modelos utilizam o mesmo NCP1117, já outras versões utilizam chips diferentes. O Arduino Duemilanove usa por exemplo o MC33269D-5.0, já o Arduino Nano utiliza o UA78M05. Porém, a função e o funcionamento são sempre semelhantes. Ainda há outras versões, como o Arduino Due, que não usa um regulador linear para gerar a tensão de 5 Volts (FURLAN, 2019). A Figura 25 demonstra a funcionalidade básica, porém confiável para o regulador de tensão U1.

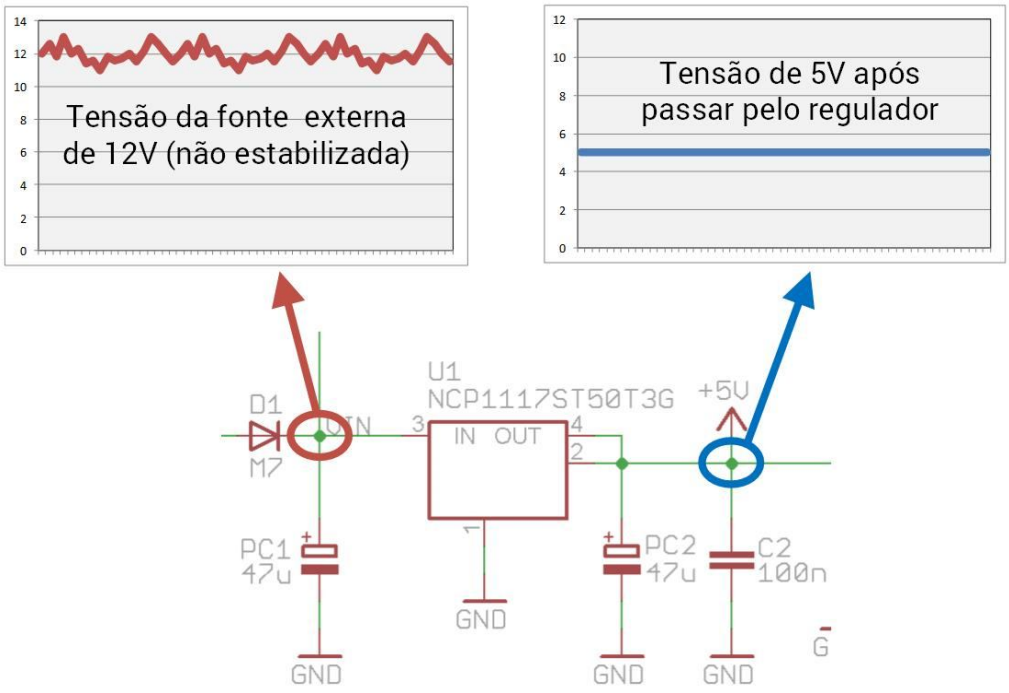


Figura 25: Funcionamento do regulador de 5 Volts.

Fonte: Furlan, 2019.

3.2.11 Regulador 3,3V

O Arduino UNO também tem um segundo regulador, que baixa a tensão de 5 Volts provenientes do regulador U1 para uma tensão de 3,3 Volts. Este componente é nomeado como U2, e é o modelo LP2985 fabricado originalmente pela National Semiconductor (hoje essa empresa faz parte da Texas Instruments).

No projeto do Arduino UNO, a tensão de 3,3 Volts é usada somente no componente U5 (que faz parte do circuito de chaveamento abordado posteriormente), nenhum outro componente é alimentado por ela. Normalmente, a tensão de 3,3V é usada para alimentar outros circuitos externos, ou shields que utilizem essa tensão, principalmente os circuitos eletrônicos mais modernos pois estão migrando da tensão clássica de 5 Volts para 3,3 Volts, sendo hoje muito comum em vários dispositivos. Por isso é útil ter esse recurso disponível no Arduino. A implementação do regulador U2 é semelhante à do U1. O capacitor de entrada nesse caso é o C2 com 100 nano Farad, e o capacitor de saída é o C3, com 1 micro Farad.

Algumas versões do Arduino que utilizam o chip FT232 para a função de conversor USB-serial, como por exemplo o Duemilanove, Nano e MEGA, não

possuem um segundo regulador para gerar a tensão de 3,3V. Nesse caso ela é proveniente de um regulador interno presente no próprio chip FT232. Apesar da capacidade de corrente ser reduzida (50 miliamperes), ela é suficiente para a grande maioria dos casos (FURLAN, 2019). A Figura 26 demonstra a funcionalidade para o regulador de tensão U2, utilizado para alimentar circuitos externos.

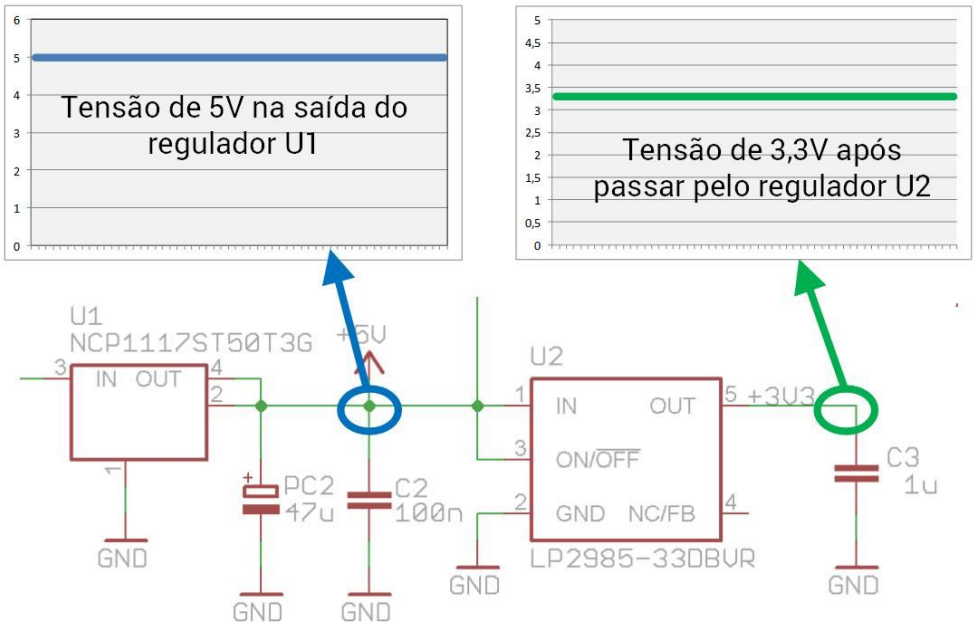


Figura 26: Funcionamento do regulador de 3,3 Volts.

Fonte: Furlan, 2019.

3.2.12 Circuito de chaveamento

O Arduino pode ser alimentado tanto por uma fonte de alimentação externa, como diretamente pela porta USB do PC. Nos casos em que o Arduino está conectado à porta USB, e ainda há uma fonte externa ligada a ele, haveria um conflito entre as mesmas, já que ambas tentariam alimentar o Arduino ao mesmo tempo. Isso poderia causar danos à fonte, à porta USB do PC e também ao Arduino.

O circuito de chaveamento tem a função de resolver esse conflito. Ele desconecta a alimentação proveniente da porta USB sempre que houver uma fonte de alimentação conectada ao Arduino. Dessa forma a fonte externa sempre terá preferência para alimentar o conjunto. Esse processo é transparente, de modo que possa conectar e desconectar a fonte de alimentação mesmo com a placa em funcionamento (supondo que a USB tenha capacidade de alimentar todo o conjunto).

Os componentes responsáveis por essa função são os resistores RN1A, RN1B, o transistor T1 e o chip U5. O transistor T1 (o modelo FDN340P fabricado pela Fairchild Semiconductor). Como o entendimento completo deste componente envolve conceitos mais complexos como dopagem de silício e junções PN, será demonstrado uma abstração mais pratica.

O transistor T1 faz parte de uma família de transistores conhecida como MOSFET (neste caso é um MOSFET de canal P). Um MOSFET é um dispositivo que possui três terminais, um deles é o terminal de comando (chamado de porta ou gate), e os outros dois são terminais que conduzem corrente (denominados dreno e fonte, ou drain e source respectivamente). Seu funcionamento pode ser descrito como a de uma chave liga e desliga. Dessa forma ele deixa passar, ou corta a corrente que passa pelos terminais de dreno e fonte dependendo do comando que é enviado a ele. Resumidamente pode-se dizer que:

- O MOSFET permanece desligado (cortando a corrente entre os terminais de dreno e fonte) enquanto a tensão no seu terminal de comando estiver em nível lógico alto,
- O MOSFET permanece ligado (deixando passar a corrente entre os terminais de dreno e fonte) enquanto a tensão no seu terminal de comando estiver em nível lógico baixo (ROBOTICS, 2017).

A Figura 27 demonstra de forma técnica o funcionamento do circuito de chaveamento responsável por desativar a alimentação via USB quando conectado uma outra alimentação externa ao mesmo tempo.

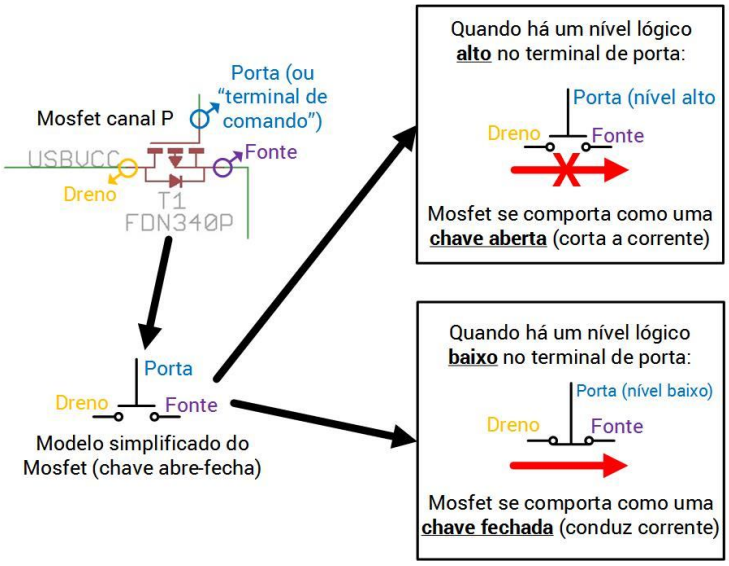


Figura 27: Funcionamento simplificado do MOSFET canal P.

Fonte: Robotics, 2017.

Quem envia o comando para ligar e desligar o transistor T1 é o componente U5. Este componente é um amplificador operacional (amp-op). O amp-op é um dos componentes mais versáteis que existe, é muito utilizado em projetos eletrônicos analógicos, com ele é possível fazer osciladores, filtros, buffers, somadores, e uma série de outras aplicações. Porém, no circuito de chaveamento do Arduino UNO, o amp-op é utilizado como um comparador. O componente usado é o LMV358, fabricado por diversas empresas como Texas, On Semiconductor, ST, etc.

Um comparador possui 2 terminais de entrada, que são denominados (-) e (+), além de um terminal de saída. Sua função é comparar a tensão presente nos terminais (-) e (+), indicando através do nível lógico do terminal de saída, qual dessas tensões é a maior. O funcionamento pode ser descrito como:

- A tensão no terminal de saída permanece em nível lógico alto, enquanto a tensão no terminal (+) for maior do que a tensão no terminal (-).
- A tensão no terminal de saída permanece em nível lógico baixo, enquanto a tensão no terminal (+) for menor do que a tensão no terminal (-) (ROBOTICS, 2017).

A Figura 28 demonstra o esquemático com o componente U5.

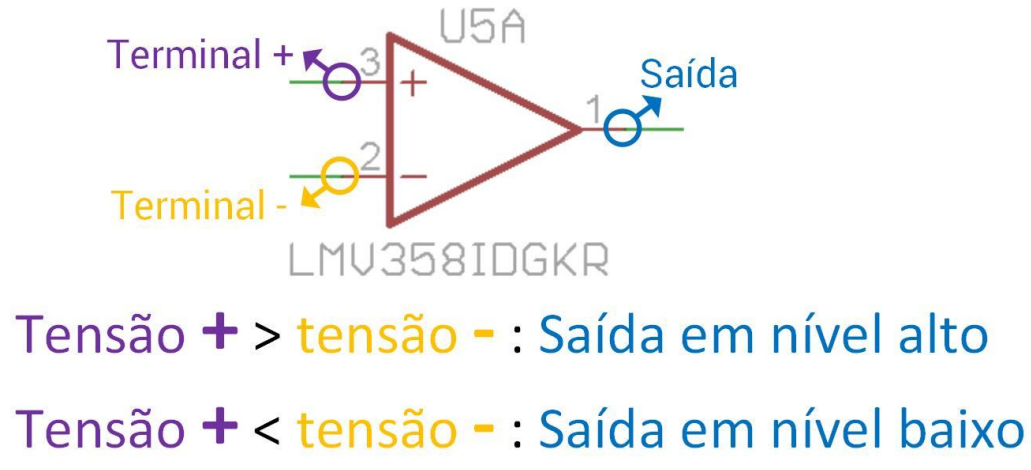


Figura 28: Funcionamento do amp-op como comparador.

Fonte: Robotics, 2017.

Observa-se que a tensão presente no terminal (-) é a própria tensão de 3,3V gerada no regulador U2. Já a tensão presente no terminal (+) é a tensão VIN proveniente da fonte externa após passar pelo divisor resistivo formado pelos resistores RN1A e RN1B. Como os dois resistores têm valores iguais (10 kilo Ohms nesse caso), eles formam um divisor por dois, de modo que a tensão presente no terminal (+) do comparador é a metade da tensão VIN (na verdade seria preciso descontar também a queda de tensão sobre o diodo D1, mas será ignorado, pois a sua influência é baixa), conforme demonstrado na Figura 29.

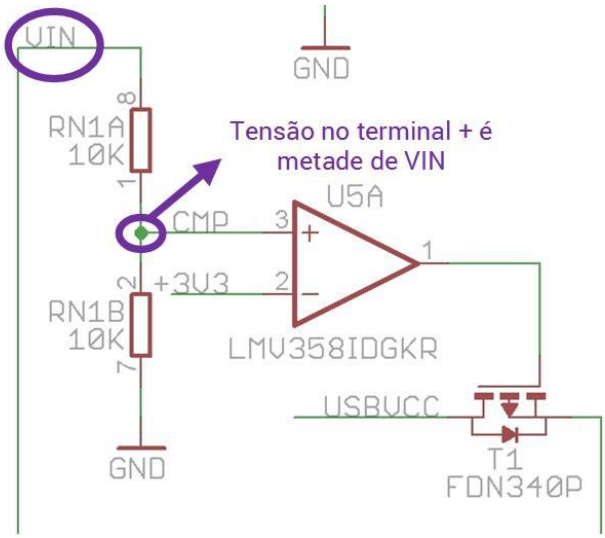


Figura 29: Divisor resistivo formado pelos resistores RN1A e RN1B.

Fonte: Robotics, 2017.

Quando há apenas a tensão da USB presente, VIN é igual a zero, já que não há fonte externa conectada. Nessa situação, a tensão no terminal (+) é menor do que tensão no terminal (-), fazendo com que a saída do comparador permaneça em nível lógico baixo. Esse nível lógico baixo é enviado diretamente ao terminal de comando do MOSFET, fazendo com que o mesmo ligue e conduza a corrente proveniente da porta USB. Isso permite que ela alimente todo o circuito (no esquemático, a corrente proveniente da USB vem pelo sinal denominado como USBVCC que é originado logo após passar pelo fusível F1, lembrando que sinais com o mesmo nome são sempre conectados entre si, mesmo que não haja ligação física).

Porém, quando uma fonte de alimentação de 12 Volts por exemplo é ligada ao Arduino, haverá uma tensão de 6 Volts presente no terminal (+) do comparador (lembrando do divisor resistivo por dois). Nessa situação, a tensão no terminal (+) é

maior do que a tensão no terminal (-) (que é sempre de 3,3V), o que faz com que a saída do comparador permaneça em nível lógico alto. Esse nível lógico é alto é enviado diretamente ao terminal de comando do MOSFET, fazendo com que o mesmo desligue e impeça que a corrente da USB passe por ele, efetivamente desligando a alimentação da porta USB. Portanto, a corrente proveniente da fonte externa passa a ter preferência, e é ela quem alimenta o Arduino. Como a tensão da fonte é sempre dividida por dois na entrada do comparador, o valor mínimo necessário para que ela tenha a capacidade de desligar o MOSFET é de 6,6 Volts.

Esse valor está abaixo do limite mínimo recomendado para alimentação do Arduino com fonte externa (que é de 7 Volts), portanto, a fonte externa sempre terá preferência. Ainda há outro componente presente no circuito de chaveamento, que é o capacitor C1 de 100 nano Farad. No esquemático, ele está ligado a dois pinos que parecem "soltos" logo acima do comparador U5A, porém estes pinos fazem parte do mesmo componente U5 (ROBOTICS, 2017).

A Figura 30 demonstra o esquemático técnico do capacitor C1.

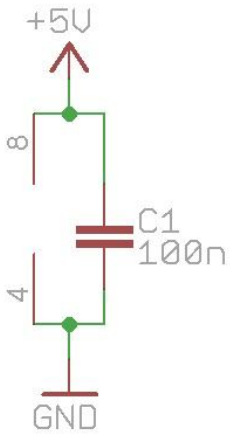


Figura 30: Capacitor de desacoplamento C1.

Fonte: Robotics, 2017.

3.2.13 LED D13

O próximo circuito é o LED acionado pelo pino D13 do Arduino, ele é nomeado com L no esquemático. Esse é o LED que pisca quando se usa o exemplo Blink disponível na IDE de desenvolvimento. Este circuito não faz parte do circuito de alimentação, porém está inserido nesta seção pois ele compartilha o mesmo componente U5 do

circuito de chaveamento. Este LED tem um resistor RN2A de 1 kilo Ohm ligado em série com o mesmo para limitar a sua corrente, e eles estão conectados diretamente na saída de outro amp-op. Por outro lado, apesar de haver dois amp-ops no esquemático (U5A e U5B), ambos estão inseridos dentro do mesmo encapsulamento, ou seja, eles fazem parte do mesmo componente (FURLAN, 2019).

A Figura 31 representa o funcionamento do LED D13.

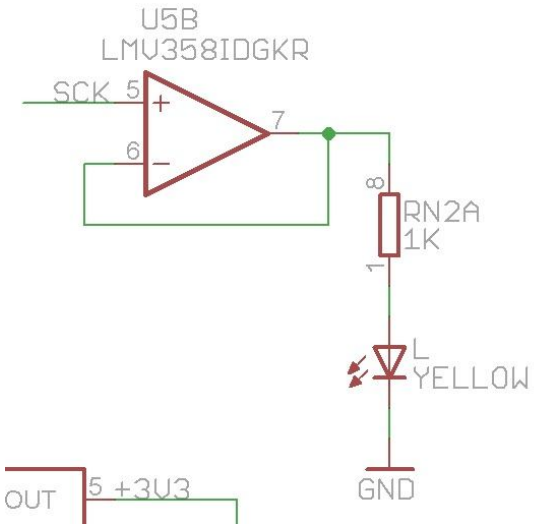


Figura 31: LED acionado pelo pino D13 do Arduino.

Fonte: Furlan, 2019.

Portanto, o terminal (+) do amp-op está ligado no sinal SCK, que vem do pino D13 do Arduino, e é este sinal que fará o acionamento do LED. O terminal (-) do amp-op está ligado diretamente à saída. Esta montagem do amp-op é chamada de seguidor de tensão ou buffer. Na prática, ele não exerce nenhuma função lógica, já que o LED acende toda vez que há um nível alto no pino 13 e apaga toda vez que há um nível lógico baixo. Efetivamente é como se o LED estivesse ligado diretamente a esse pino.

Por que usar o amp-op para acionar o LED?

O amp-op foi utilizado, porque o pino D13 não tem a função exclusiva de acender e apagar o LED. Ele também é por exemplo, o pino de clock da comunicação SPI (SCK). Se o LED fosse ligado diretamente, ele drenaria do pino D13 uma corrente aproximada de 3 miliampéres enquanto estivesse aceso, acrescentando uma carga extra. Isso poderia influenciar e prejudicar o uso do pino D13 em outras aplicações.

O amp-op, por sua vez, possui uma alta impedância nos seus pinos de entrada. Isso quer dizer que a corrente consumida por eles é muito pequena (em torno

de 250 nanoampéres). Dessa forma, ele praticamente não acrescenta carga extra ao pino D13 do Arduino, eliminando a influência do LED.

Resumindo, drena-se do pino uma corrente de apenas 250 nanoampéres para acionar uma carga de 3 miliampéres (12000 vezes menos). O amp-op não é o único circuito que pode ser usado para essa finalidade, também é possível utilizar buffers ou transistores. Outra opção é o uso de LEDs de alto brilho, que têm mais eficiência. Desse modo, aumenta-se o valor do resistor, diminuindo a carga sobre o pino, o que torna desprezível a influência do LED. O Arduino Nano não utiliza esse circuito – LED vai ligado diretamente no pino do processador (ROBOTICS, 2017).

3.2.14 LED ON

É o mais simples, porém trata-se do LED que sempre fica aceso enquanto o Arduino está ligado, ele é nomeado no esquemático como ON.

O circuito tem dois resistores, RN4C e RN4D, ambos com 1 kilo Ohms e ligados em paralelo. Efetivamente eles funcionam como um resistor único de 500 Ohms, e tem o papel de limitar a corrente no LED (ROBOTICS, 2017).

Na Figura 32 encontra-se a representação do LED ON.

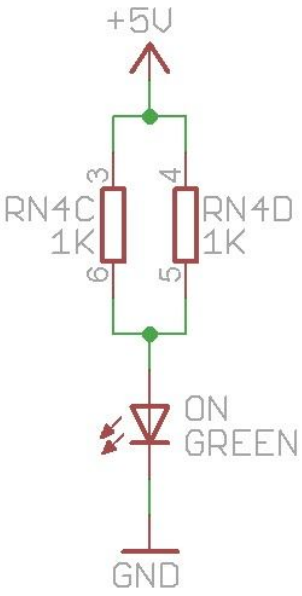


Figura 32: LED indicador de alimentação.

Fonte: Robotics, 2017.

3.2.15 Fiduciais

Esses não são componentes propriamente ditos, são os três círculos que aparecem soltos logo ao lado do conector POWER no esquemático original. Eles representam algumas marcações na placa, e são chamados de pontos fiduciais.

Esses pontos servem como pontos de referência para as máquinas que fazem a montagem automática dos componentes na fábrica do Arduino, pois assim se consegue um melhor alinhamento (FURLAN, 2019).

Na Figura 33 está destacado em azul os pontos fidunciais.

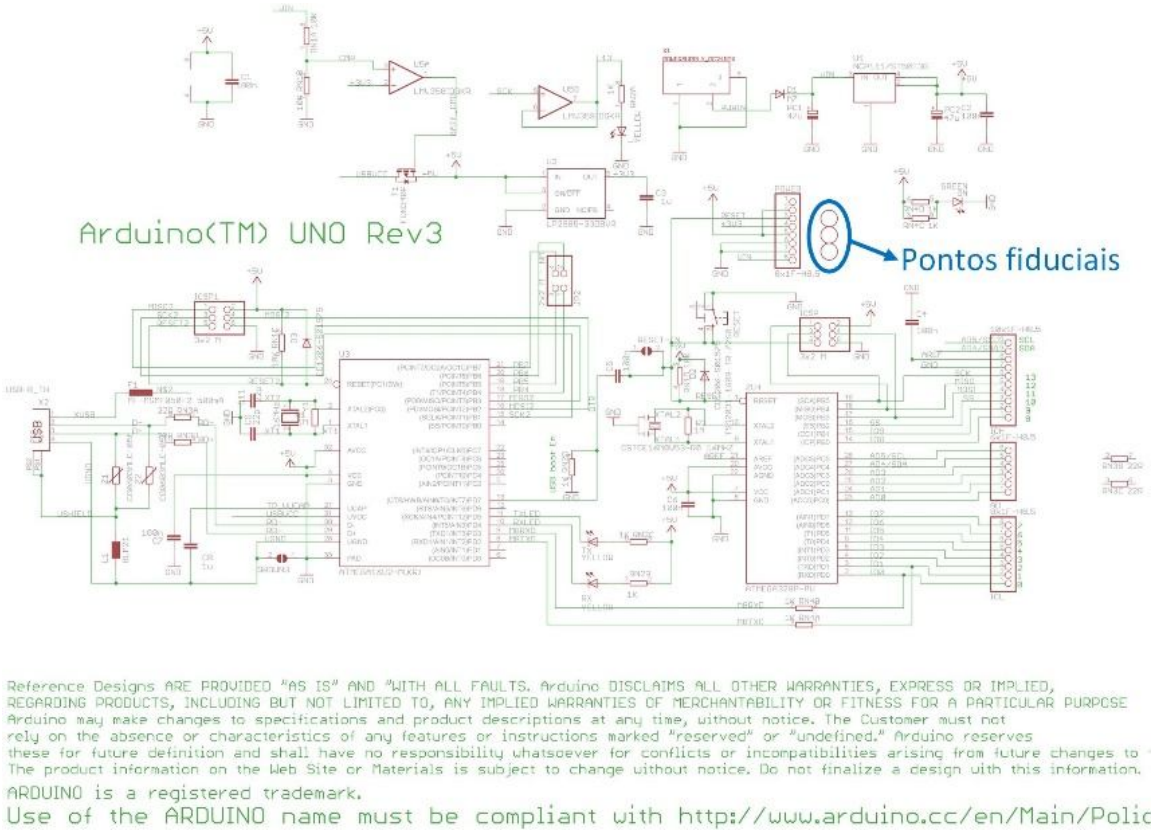


Figura 33: Localização dos três círculos.

Fonte: Furlan, 2019.

Existem 3 pontos fiduciais, e eles ficam localizados abaixo do jack de entrada para fonte, do botão de reset e do ATmega328. Desse modo não é mais possível vê-los depois que os componentes estão montados.

Existe uma outra versão do Arduino UNO, com o processador ATmega328 em encapsulamento SMD, onde é possível ver dois pontos fiduciais.

A Figura 34 apresenta os pontos fiduciais e suas localizações reais na placa arduino.

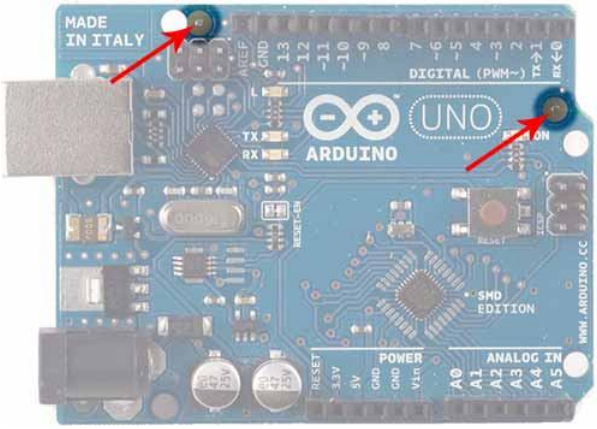


Figura 34: Exemplos de pontos fiduciais.

Fonte: Furlan, 2019.

3.2.16 Conectores de alimentação

IOREF - Fornece uma tensão de referência para que shields possam selecionar o tipo de interface apropriada, dessa forma shields que funcionam com a placas Arduino que são alimentadas com 3,3V. podem se adaptar para ser utilizados em 5V. e vice-versa.

RESET - pino conectado a pino de RESET do microcontrolador. Pode ser utilizado para um reset externo da placa Arduino.

3,3 V. - Fornece tensão de 3,3V. para alimentação de shield e módulos externos. Corrente máxima de 50 mA.

5 V - Fornece tensão de 5V. para alimentação de shields e circuitos externos.

GND - pinos de referência, terra.

VIN - pino para alimentar a placa através de shield ou bateria externa. Quando a placa é alimentada através do conector Jack, a tensão da fonte estará nesse pino (SOUZA, 2013).

A Figura 35 demonstra a localização dos conectores de alimentação.

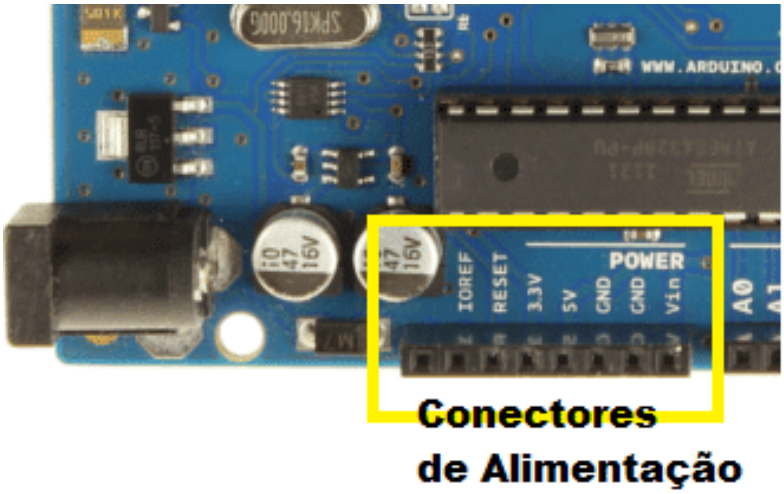


Figura 35: Conectores de alimentação.

Fonte: Souza, 2013.

3.2.17 Microcontrolador

É o componente principal do arduino. O ATMEL ATMEGA328 possui 8 bits e é da família AVR com arquitetura RISC avançada. Conta com 32 KB de memória Flash, 2KB de memória RAM e 1KB de EEPROM. Pode operar a até 20 MHz, porém na placa Arduino UNO opera em 16 MHz, valor do cristal externo que está conectado aos pinos 9 e 10 do microcontrolador. Além disso, para o projeto dessa placa, os projetistas escolheram um cristal com dimensões bem reduzidas.

Possui 28 pinos, sendo que 23 desses podem ser utilizados como I/O (SOUZA, 2013), a Figura 36 exibe a sua pinagem.

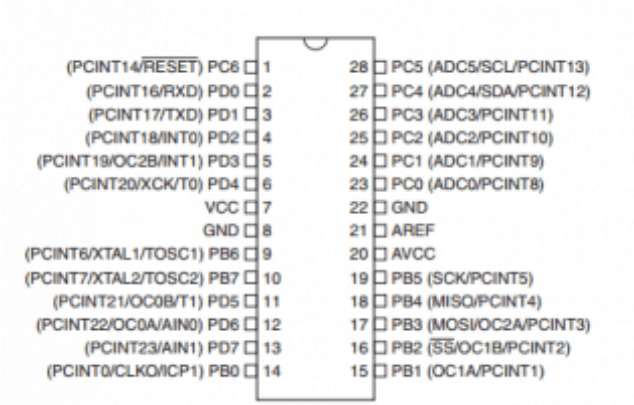


Figura 36: Pinagem ATmega328 usado no Arduino UNO.

Fonte: Souza, 2013.

Esse microcontrolador pode operar com tensões bem baixas, de até 1,8 V., mas nessa tensão apenas opera até 4MHz. Possui dois modos de consumo extremamente baixos, o Power-down Mode e o Power-save Mode, para que o sistema possa poupar energia em situações de espera. Possui, como periféricos uma USART que funciona a até 250kbps, uma SPI, que vai a até 5MHz, e uma I2C que pode operar até 400kHz. Conta com um comparador analógico interno ao CI e diversos timers, além de 6 PWMs. A corrente máxima por pino é de 40mA, mas a soma da corrente de todo o CI não pode ultrapassar 200mA. Ele possui um oscilador interno de 32kHz que pode ser utilizado, por exemplo, em situações de baixo consumo (SOUZA, 2013).

3.2.18 Entradas e saídas

O arduino possui entradas e saídas digitais e entradas e saídas analógicas. São 14 pinos que podem operar como entradas e saídas digitais. Já com relação aos pinos analógicos o arduino possui 6 entradas (Figura 37).



Figura 37: Pinos analógicos e digitais.

Fonte: Souza, 2013.

3.3 Hardwares e Softwares

3.3.1 Shield w5100

Dentre as enormes vantagens de se utilizar o arduino está a possibilidade de utilizar vários tipos de Shields (Figura 38). Os shields são placas que podem ser encaixadas conectando-se ao arduino possibilitando a expansão de sua capacidade. O shield W5100 permite que o arduino conecte-se a internet utilizando os pinos 10, 11, 12 e 13.



Figura 38: Arduino ethernet shield.
Fonte: STORE.ARDUINO.CC, 2018.

3.3.2 Sensores

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2009), sensores são componentes eletrônicos que suportam variações de amplitude elétrica, como corrente e tensão, a partir de uma outra grandeza física como por exemplo, temperatura, umidade, movimento e outros, desde que ocorra uma ligação entre essas duas variações (Figura 39).

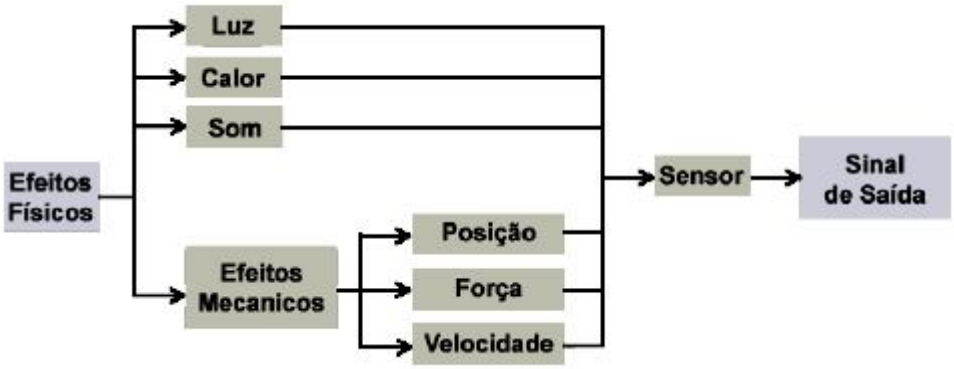


Figura 39: Formas de energia em um sensor.
Fonte: Thomazini e Albuquerque, 2009.

A utilização de sensor de corrente não invasivo como o SCT-13 tem como principal vantagem não necessitar de contato elétrico para medir a corrente elétrica alternada (Figura 40).



Figura 40: Sensor de corrente SCT013.
Fonte: Demetras, 2017.

Para efetuar a medição sem a necessidade de contato físico entre o sensor e os fios, utiliza-se as propriedades magnéticas da corrente alternada, ou seja, a Lei de Ampere, que diz que todo condutor que passa por uma corrente elétrica cria ao seu redor um campo magnético (INFOESCOLA, 2004).

A Figura 41 demonstra a formação do campo magnético.

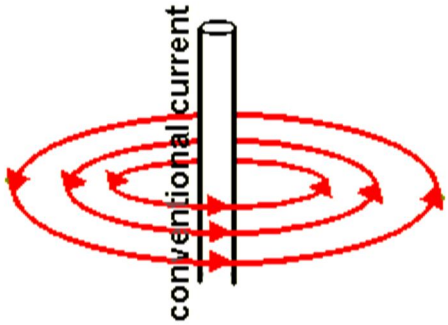


Figura 41: Campo magnético gerado pela corrente elétrica.

Fonte: Demetras, 2017.

Nesse caso, o sensor de corrente que também é chamado de Transformador de Corrente, que em inglês corresponde a CT (Current Transformer), nada mais é do que um conjunto de espiras que deve ser colocado ao redor do condutor que será medido.

3.3.3 Corrente alternada

A corrente alternada tem uma peculiaridade de se comportar como uma senoide, sendo assim sua intensidade varia ao longo do tempo indo do máximo positivo ao máximo negativo. Esse comportamento oscilatório tem uma frequência que pode ser de 50Hz ou de 60Hz conforme o país ou região. No Brasil é adotado a frequência de 60Hz, ou seja: a corrente elétrica varia entre positivo e negativo 60 vezes em 1 segundo (DEMETRAS, 2017).

A Figura 42 demonstra visualmente o comportamento da corrente alternada.

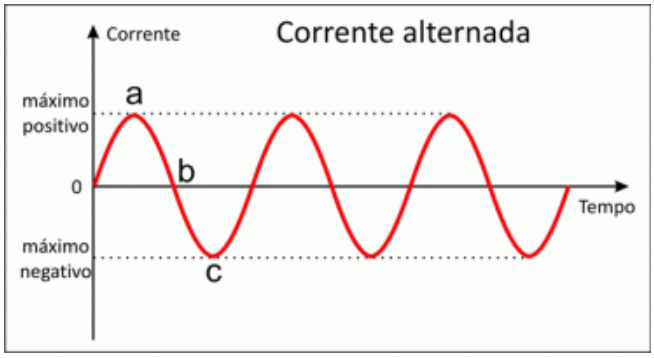


Figura 42: Senoide corrente alternada.

Fonte: Demetras, 2017.

3.3.4 Transformador de corrente SCT-013

Split-core Current Transformer (SCT) ou Transformador de corrente de núcleo dividido é um sensor não invasivo (SCT-13), que dispõe de uma bobina interna (espiras) em sua estrutura conforme Figuras 43 e 44.



Figura 43: Bobina do sensor de corrente não invasivo.
Fonte: O autor, 2019.

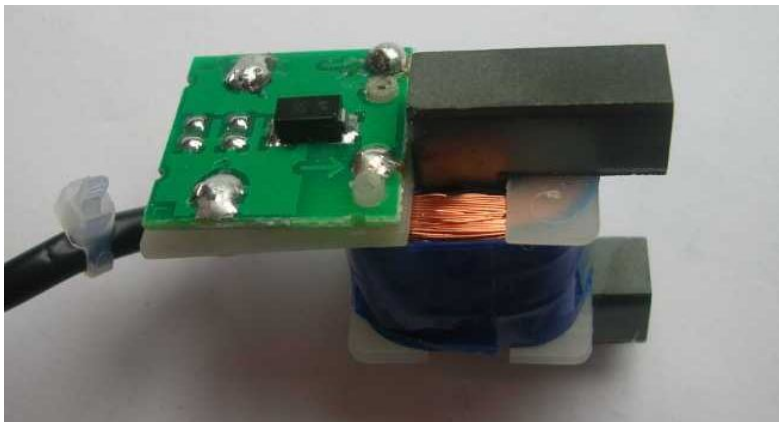


Figura 44: Bobina dentro do sensor.
Fonte: Demetras, 2017.

Assim, com base no funcionamento desses sensores, foram desenvolvidos diferentes modelos não invasivos, como observado em seus datasheet (YHDC, 2013), com o propósito de atender as mais diversas necessidades. Portanto, não existe o melhor e sim o mais recomendado para as variadas aplicações.

A Figura 45 demonstra os diferentes modelos de sensor não invasivo e suas características.

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output type	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
Output type	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

Figura 45: Diferentes modelos de sensores não invasivos.

Fonte: YHDC, 2013.

Para se determinar qual será a taxa variação, tanto de corrente quanto de tensão, basta dividir o valor máximo da saída pelo valor máximo a ser medido. Exemplos deste cálculo:

- SCT-013-000: 0,05 / 100 = 0,5mA. A cada um Ampere a mais ou a menos, sua saída será de 0,5mA para mais ou a menos;
- SCT-013-005: 1 / 5 = 0,2V. A cada um Ampere a mais ou a menos, sua saída será de 0,2V para mais ou a menos;
- SCT-013-050: 1 / 50 = 0,02V. A cada um Ampere a mais ou a menos, sua saída será de 0,02V para mais ou a menos.

Sensores como o SCT-013-000 – 100A / 0-50mA podem medir valores de 0 até 100A (amperes) de corrente alternada, sendo necessário também montar um circuito auxiliar para que a corrente possa percorrer e possibilitar a conversão dos valores de corrente gerado pelo sensor em valores de tensão e potência em Watts (DEMETRAS, 2017).

Será necessário o uso dos seguintes componentes para a montagem de um circuito auxiliar conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Componentes para montagem

Quantidade	Componentes
1	Protoboard
2	Resistores de 10kΩ
1	Resistor de 330Ω
1	Capacitor eletrolítico de 100uF
6	Jumpers
1	Placa Arduino Uno
1	Placa Shield Ethernet
1	Sensor não invasivo SCT-13

Fonte: O autor, 2019.

3.3.5 Protoboard

Também conhecida como matriz de contatos, é um componente utilizado para efetuar testes de projetos, montagens provisórias e outras aplicações. É uma base plástica formada por vários orifícios ao qual serão inseridos os terminais de componentes eletrônicos, permitindo a prototipagem sem a necessidade de solda, podendo reutilizar os componentes em outros projetos. Os orifícios da protoboard estão dispostos em coluna e linhas. Linhas nas extremidades e colunas ao centro, sendo que os cinco orifícios da mesma coluna estão internamente ligados não possuindo conexão com outras colunas. Os orifícios das linhas estão conectados entre si e não há conexão entre linhas (Figura 46).

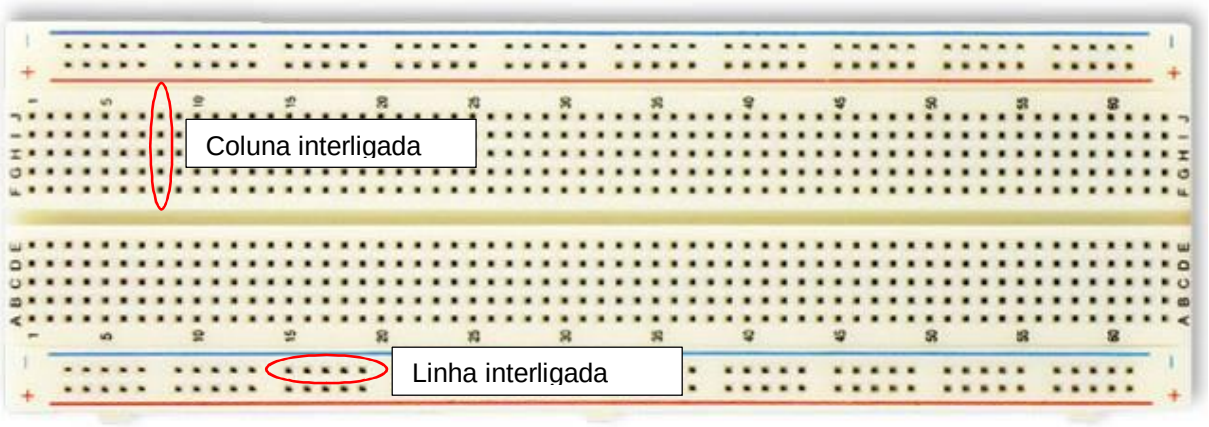


Figura 46: Protoboard.

Fonte: O autor, 2019.

3.3.6 Resistor

De acordo com Mcroberts, (2011), resistor é um dispositivo projetado para resistência a uma corrente elétrica, causando uma queda na voltagem em seus terminais. Um resistor pode ser comparado a um cano de água muito mais fino conectado a ele. Conforme a água (ou a corrente elétrica) entra no resistor, o cano se torna mais fino e o volume de água (corrente) saindo na outra ponta é, dessa forma, reduzido. Sua utilização básica é para diminuir a voltagem ou a corrente para outros dispositivos (Figura 47).

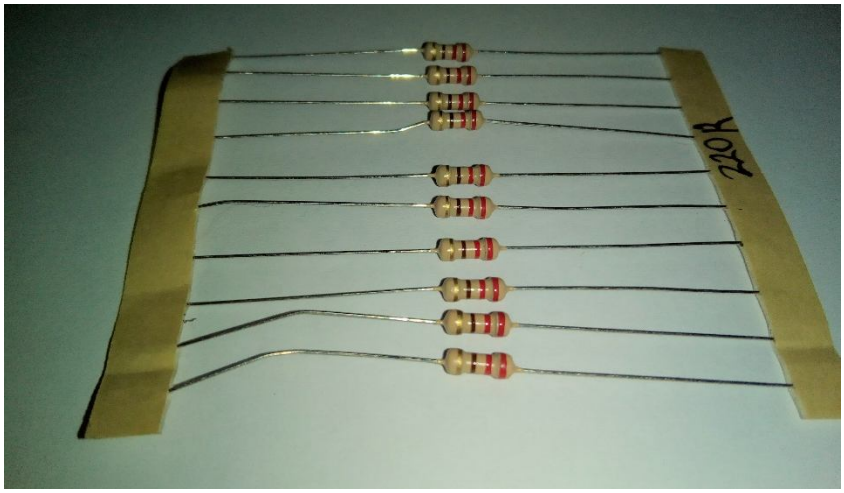


Figura 47: Resistor.
Fonte: O autor, 2019.

3.3.7 Capacitor

Capacitores são praticamente opcionais, porém tem a função de suavizar a corrente e impedir a interferência com o arduino (Figura 48).

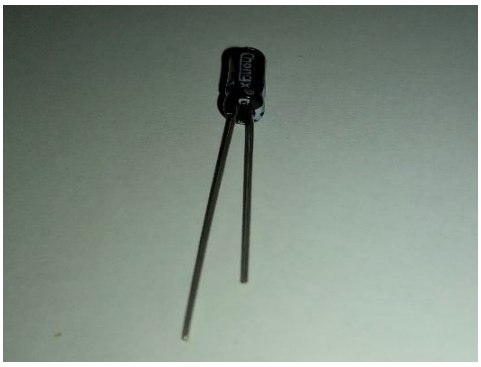


Figura 48: Capacitor.
Fonte: O autor, 2019.

Capacitores são elementos reativos que reagem à passagem de corrente através do acúmulo de cargas elétricas, ou seja, o capacitor é capaz de armazenar energia eletroestática. Os capacitores mais comuns são construídos por duas placas condutivas (metálicas), separadas por um material dielétrico (material isolante).

O princípio de funcionamento de um capacitor acontece quando uma tensão elétrica é aplicada entre suas placas condutoras, conhecidas como “armaduras”. Um

lado da armadura condutora armazena cargas positivas, o outro lado armazena cargas negativas. As cargas são acumuladas de igual modo, balanceado, tanto cargas negativas quanto as positivas possuem o mesmo valor em módulo. O material dielétrico utilizado para isolar as placas geralmente dá o nome ao capacitor (cerâmica, poliéster, mica e etc.). Pode-se dizer que a principal função de um capacitor é acumular cargas elétricas em um circuito para posteriormente descarregar estas mesmas cargas (ELÉTRICA, 2019).

3.3.8 Jumper

Jumpers são fios elétricos com as pontas devidamente preparadas para realizar as conexões elétricas entre os componentes de um circuito eletrônico possibilitando conduzir eletricidade conforme demonstrado na Figura 49.

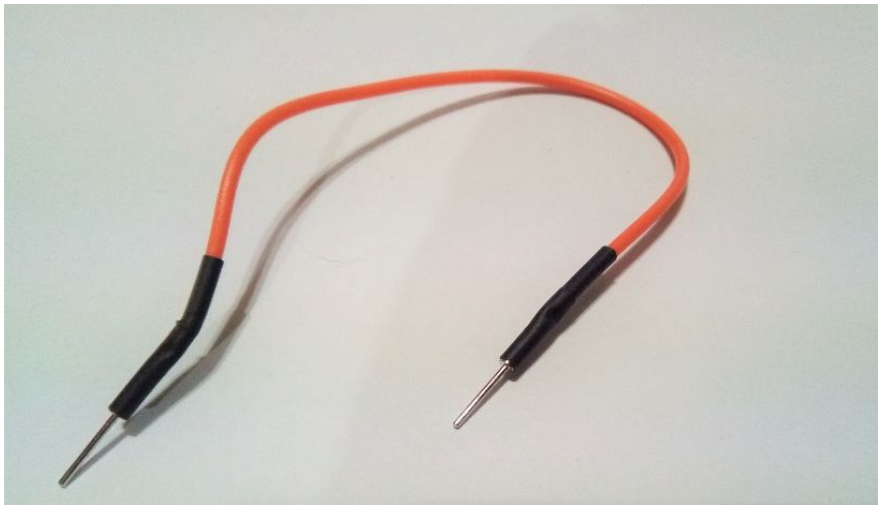


Figura 49: Jumper.
Fonte: O autor, 2019.

3.3.9 Ide

O Integrated Development Environment (IDE), que em português significa ambiente de desenvolvimento integrado, é a plataforma utilizada para desenvolver a programação que faz o arduino funcionar. O código fonte para IDE é liberado sob a General Public Licence, isso quer dizer que é uma licença de software livre. A linguagem de programação do arduino é a C e C++. A IDE do arduino faz uso do

programa avrdude, que converte o código executável para um arquivo texto na codificação hexadecimal que é carregado para o arduino. A Figura 50 demonstra uma IDE utilizada para a programação de um arduino.

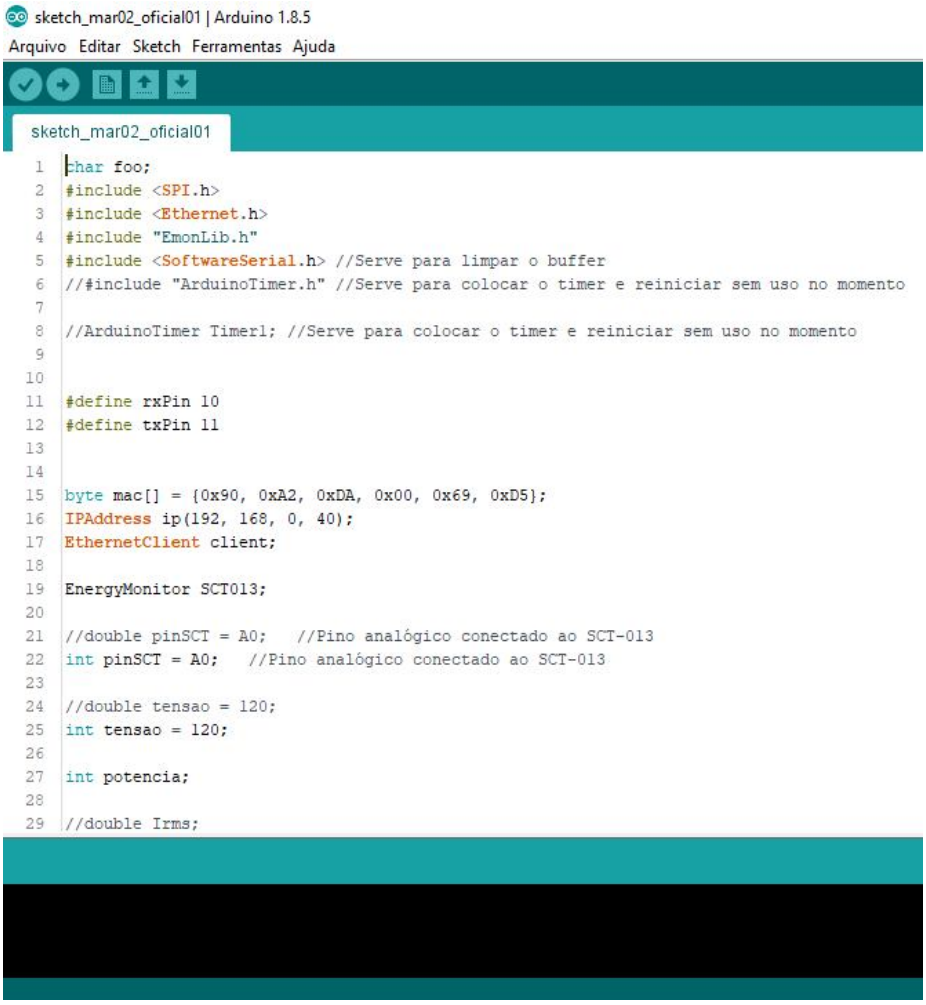


Figura 50: IDE arduino.

Fonte: O autor, 2019.

3.4 Servidores

3.4.1 Emoncms em servidor local

O Emoncms é um aplicativo de código aberto para recepção e processamento, registro e visualização de energia, temperatura e outros dados ambientais. Os requisitos de software para utilizar o Emoncms em um servidor local (sistema operacional Windows 10) são:

- PHP 7.2.14

- MYSQL 5.7.24 ou MariaDB 15.1
- Apache 2.4.37

Para facilitar a instalação existe um pacote completo no GitHub (HUDSON, 2016) conhecido como Wamp Server 3.1.7 (versão que estava na data de instalação).

3.4.2 Configuração do servidor

O servidor do Emoncms necessita de algumas configurações. Após a instalação do Wamp Server utilizando-se o padrão next, o Emoncms necessita do mod_rewrite do htaccess para funcionar corretamente. Para sua habilitação no Wamp Server é necessário ir até ícone do Wamp, localizado próximo ao relógio e procurar pela opção Apache, submenu Apache Modules, clicar em PHP e depois em rewrite_module. Feito isso, deve-se ir até a opção reiniciar serviços também no mesmo ícone do Wamp Server (Figura 51).

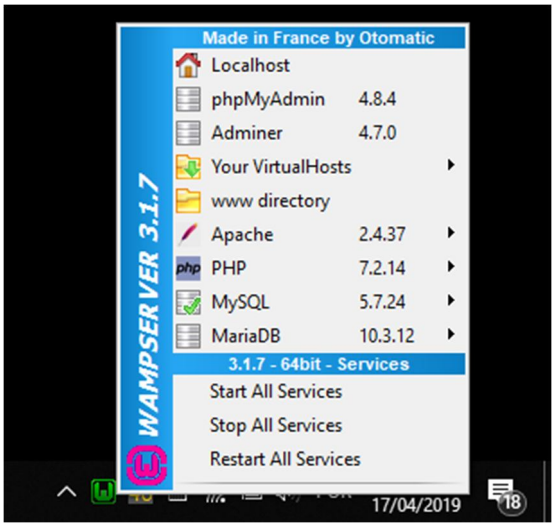


Figura 51: Icone do Wamp Server.

Fonte O autor, 2019.

Outro fator importante é a instalação e ativação do gettex. Para tal é necessário ir até o ícone do Wamp Server, opção PHP e depois clicar em php.ini.. Esse passo fará com que um arquivo seja aberto no bloco de notas provavelmente, devendo-se em seguida localizar a palavra gettext, que estará da seguinte forma: gettext":; extension = php_gettext.dll, remover o ponto e vírgula e salvar o arquivo, sendo necessário mais uma vez reiniciar o serviço do Wamp Server (Figura 52).

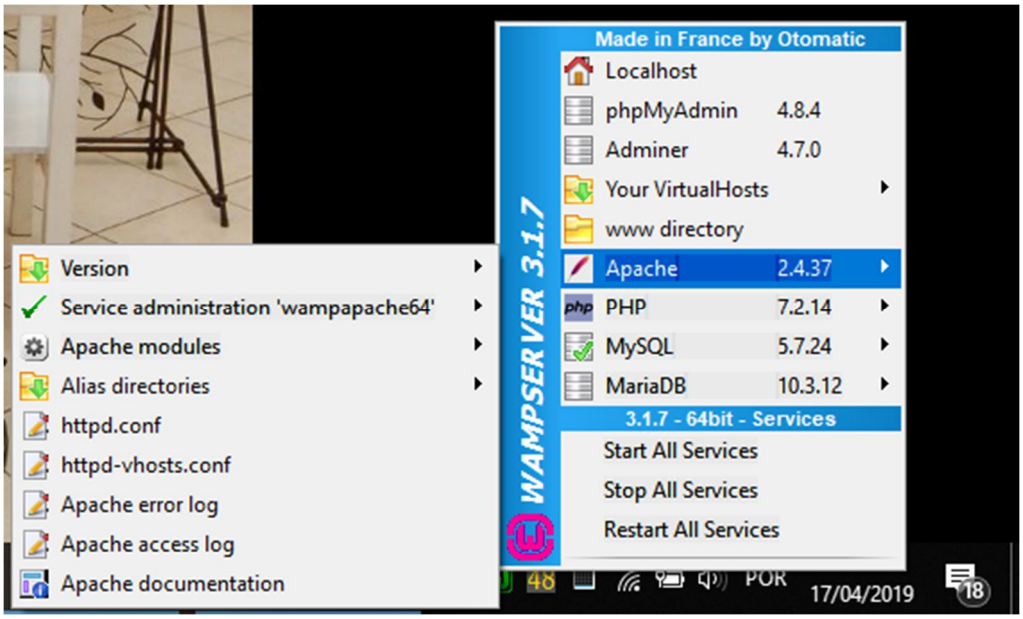


Figura 52: Menu Wamp Server.

Fonte: O autor, 2019.

3.4.3 Banco de dados mysql

A maneira mais pratica de configurar o banco de dados é por meio do phpmyadmin. Desse modo, após a instalação e configuração do Wamp Server, a próxima etapa é testar se os serviços estão ativos, para isso basta digitar http://localhost/ na barra do navegador, e se tudo estiver correto, será aberto uma página semelhante à Figura 53.

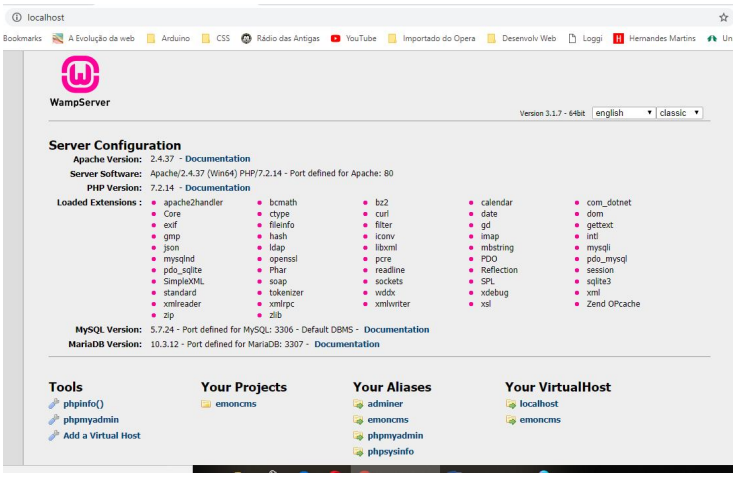


Figura 53: Tela Wamp Server.

Fonte: O autor, 2019.

Nessa página está o link para acesso e configuração do banco de dados. Para acessar basta clicar na opção phpmyadmin, onde o usuário será direcionado para outra tela. O login padrão é root sem senha (Figura 54).

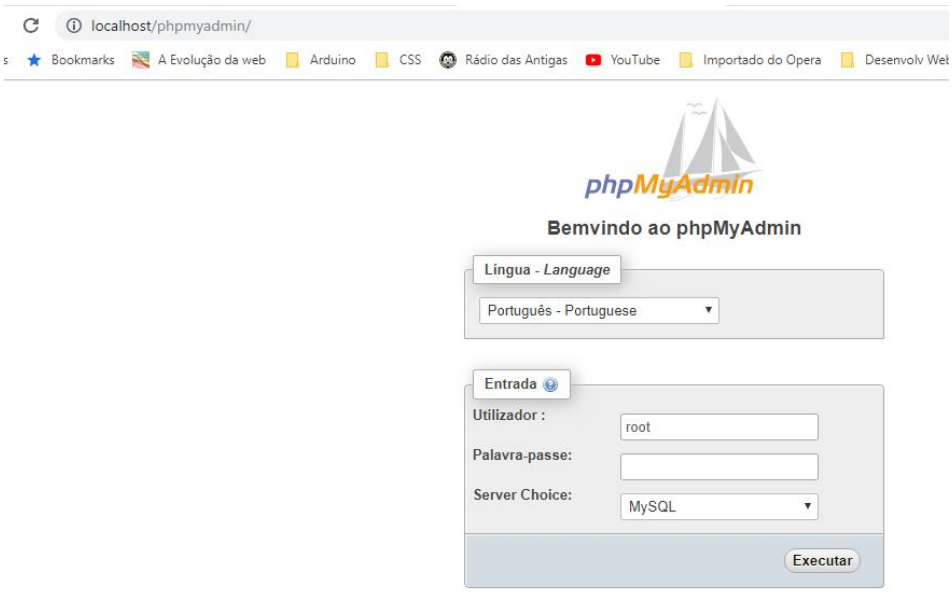


Figura 54: Login phpMyAdmin.

Fonte: O autor, 2019.

Para criar um banco de dados no phpmyadmin, deverá ser escolhida a opção Database (Base de Dados) na parte superior e colocar o nome de emoncms na caixa de entrada de texto e por fim clicar em criar (Figura 55).

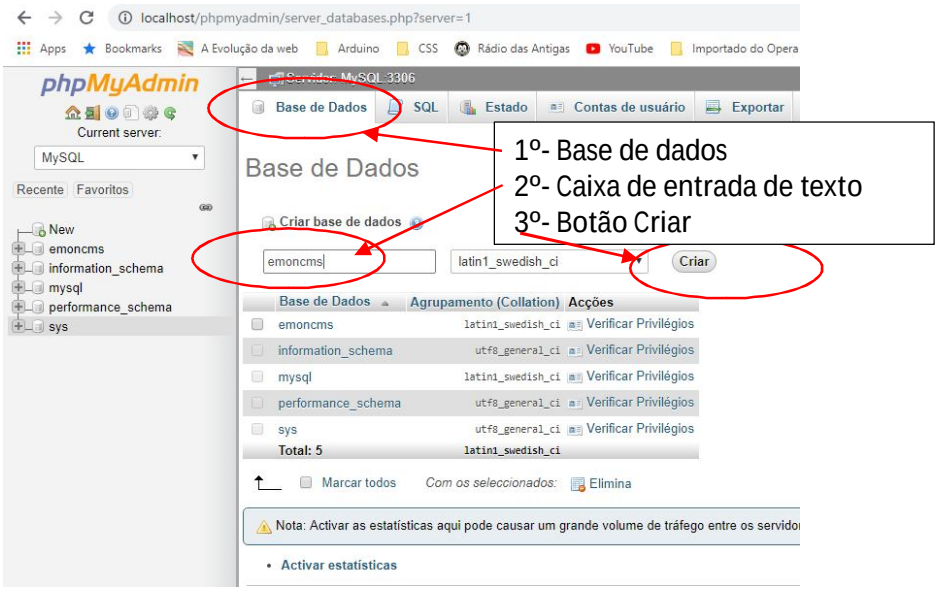


Figura 55: Criação banco de dados.

Fonte: O autor, 2019.

Após a criação do banco de dados deverá ser criado também o diretório onde os dados do emoncms serão salvos, C:\Users\Username\emoncmsdata. Dentro da pasta emoncmsdata deverá ser criado outras três pastas: phpfiwa, phpfina e phptimeseries, estas serão os principais mecanismos para o feed (alimentação de dados) usados pelo emoncms.

3.4.4 Definições do emoncms

O arquivo default.settings.php deverá ser copiado e renomeado para settings.php (Figura 56).

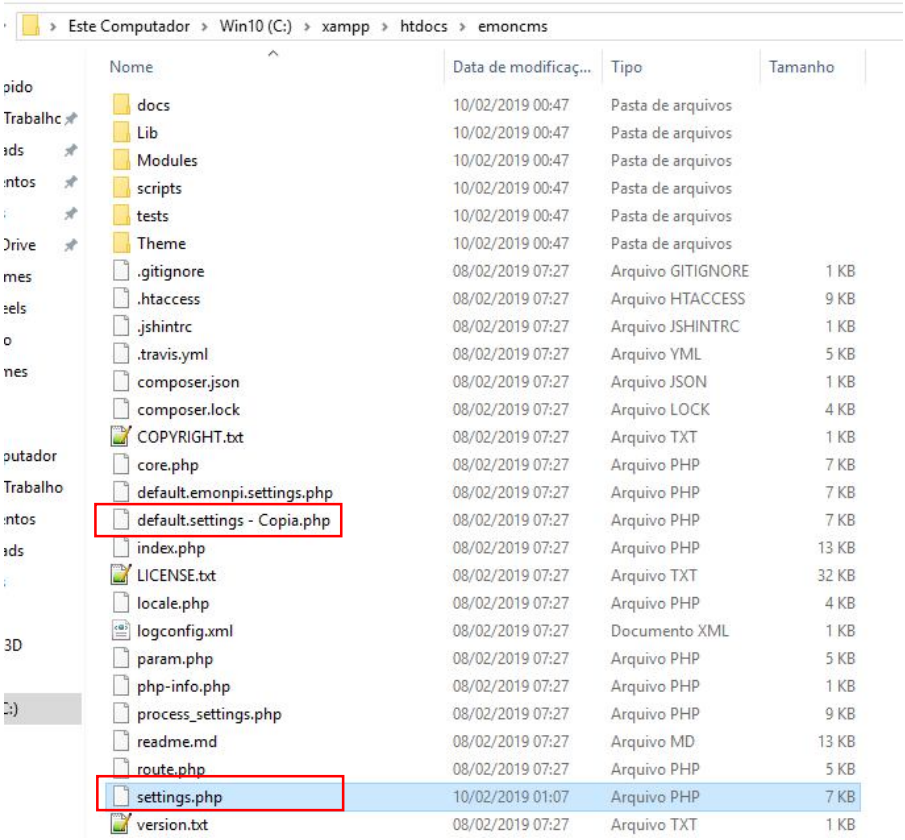


Figura 56: Arquivos emoncms

Fonte: O autor, 2019.

Na seção de feeds, descomentar as definições de datadir e defini-las para o local de cada uma das pastas de dados do mecanismo de alimentação, ou seja:

```
'phpfiwa'=>array(
    'datadir'=>"C:\\Users\\Username\\emoncmsdata\\phpfiwa\\"
),
'phpfina'=>array(
    'datadir'=>"C:\\Users\\Username\\emoncmsdata\\phpfina\\"
```

```
),
'phptimeseries'=>array(
    'datadir'=>"C:\\Users\\Username\\emoncmsdata\\phptimeseries\\"
)
```

Na seção Other settings alterar o local $ log_filename para $log_filename = '/var/log/emoncms.log';.

Feita as alterações deve-se abrir o navegador e digitar http://localhost/emoncms/, para abrir a tela de login do emoncms, porém antes convém efetuar um teste básico para se certificar se todas as configurações deram certo enviando-se o seguinte comando: http://localhost/emoncms/input/post.json?node=1&csv=100,200,300 através do navegador. Caso esteja tudo correto, deverá aparecer uma página com “ok” (Figuras 57 e 58).

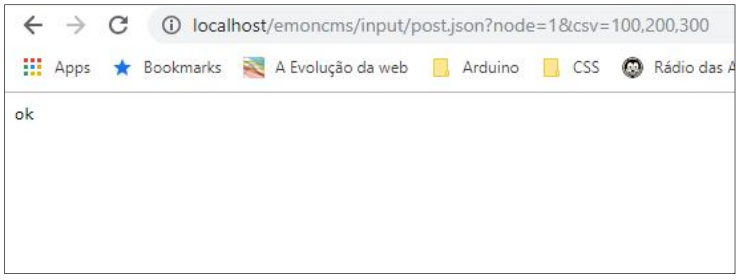


Figura 57: Página de teste emoncms.

Fonte: O autor, 2019.

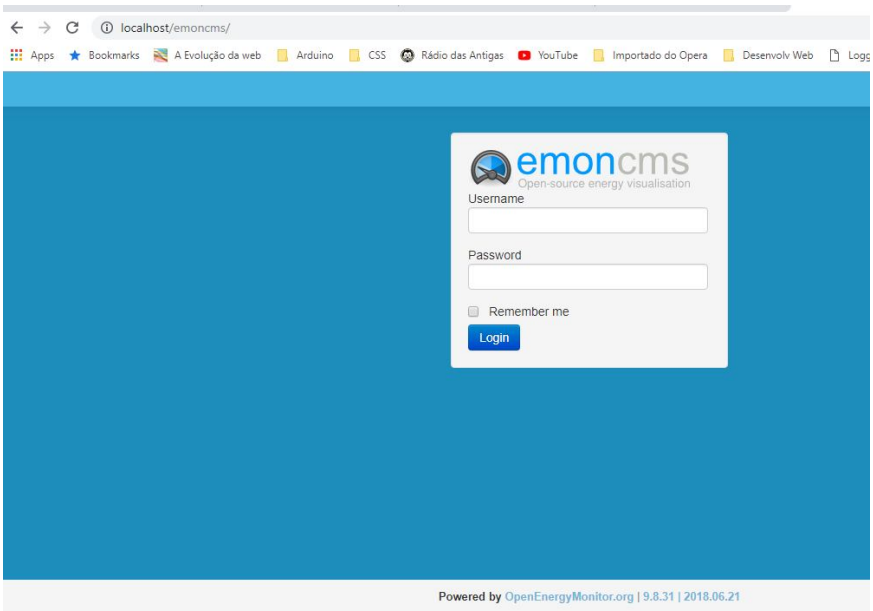


Figura 58: Tela de login emoncms.

Fonte: O autor, 2019.

Dentro do emoncms constará o feed com as informações que foram passadas via comando e definido como Node 1, para isso deverá ser selecionado no menu setup a opção Inputs (Figura 59).



Figura 59: Node 1 com os valores.

Fonte: O autor, 2019.

3.4.5 Emoncms.org

Existe também uma outra possibilidade que é a de enviar os dados para um servidor remoto (serviço na nuvem) não sendo necessário montar um servidor local, porém esse serviço é pago. Tanto para instalação local, como na nuvem, a primeira etapa é a criação de uma conta para acesso a plataforma. A maior diferença entre utilizar o serviço local ou na nuvem é o fato do acesso a nuvem poder ser realizado de qualquer local ou equipamento, inclusive o emoncms também disponibiliza um app (aplicativo) que pode ser instalado em um celular (Figura 60).

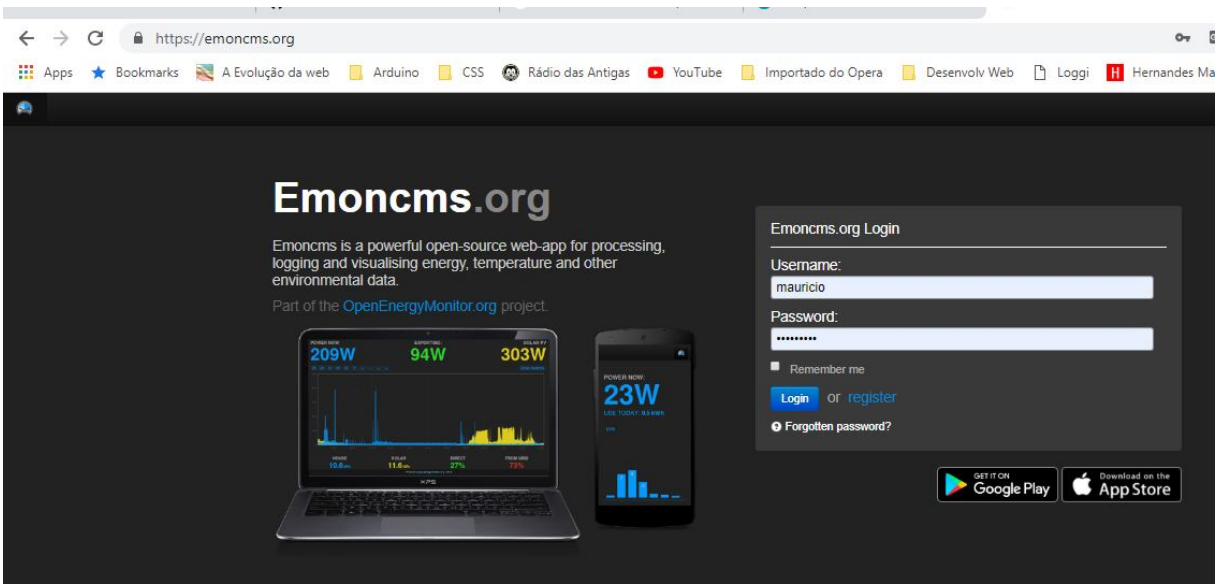


Figura 60: Tela de login emoncms.

Fonte: Emoncms, 2019.

Seguindo o mesmo padrão de configuração do servidor local, após o acesso ao emoncms.org será feito o redirecionamento para a página de perfil. Porém, para que seja possível acessar os recursos do servidor ou postar dados, seja ele local ou na nuvem, é necessário recuperar a APIKEY. No topo da página após o acesso terá o menu com a opção Inputs (Figura 61).



Figura 61: Acesso aos Inputs.

Fonte: Emoncms, 2019.

Para ter acesso a APIKEY, é necessário acessar a opção Input API Help também localizada na parte superior da página de configurações do emoncms.

Para postar dados de um dispositivo remoto, é necessário incluir na solicitação url o APIKEY de gravação. Isso dá ao dispositivo acesso de gravação na conta do emoncms, permitindo que ele publique dados. Por exemplo, usando a primeira solicitação de tipo json, basta adicionar o apikey da seguinte forma (Figura 62).



Figura 62: Código para envio da APIKEY.

Fonte: Emoncms, 2019.

Para enviar dados, será utilizado a consulta get da seguinte forma: <emoncmsm.url> representa a URL (deve ser substituída por emoncms.org no caso de uso da nuvem). <apikey> representa o código exclusivo de 32 caracteres hexadecimais, que serão exclusivos para cada usuário. Neste caso, os dados são passados para emoncms no formato json. O par variável (aqui power): value (aqui 100, 200 e 300, são valores completamente aleatórios para testes) é colocado entre chaves.

> JSON (JavaScript Object Notation) é um modelo para armazenamento e transmissão de informações no formato texto. Apesar de muito simples, tem sido bastante utilizado por aplicações Web devido a sua capacidade de estruturar informações de uma forma bem mais compacta do que a conseguida pelo modelo XML, tornando mais rápido o parsing dessas informações. Isto explica o fato de o JSON ter sido adotado por empresas como Google e Yahoo, cujas aplicações precisam transmitir grandes volumes de dados (GONÇALVES, 2012).

3.4.6 Exibição de dados

Para exibir os dados que foram capturados de maneira gráfica, várias maneiras podem ser utilizadas, porém o que permite maior liberdade é o uso de painéis. Em um painel é possível inserir gráficos, marcadores, texto, html, etc.

Tecnicamente esse painel é chamado de dashboard, desse modo utilizando-se das diversas configurações oferecidas pelo emoncms é possível criar dashboards ou marcadores para cada finalidade ou necessidade (Figura 63).

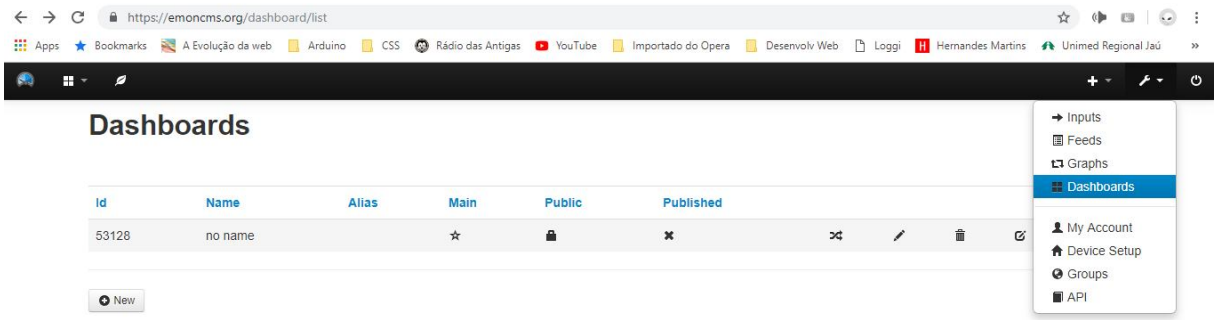


Figura 63: Menu para acessar o dashboard.
Fonte: Emoncms, 2019.

Para o projeto de monitoramento energético foram utilizados 5 dashboards, sendo 3 gráficos de barras e 2 marcadores tipo gauge. Para os gráficos de barras ficaram os dados referentes ao consumo em Watts por horas e minutos, consumo em Watts por dia, semana, mês e ano e o custo Watts hora em reais por dia. Já os outros dois marcadores tipo gauge ficaram encarregados de marcar o consumo em tempo real de 0 a 800 Watts e 700 a 4000 Watts. Porém, esses dashboards são voltados para uma situação exclusivamente analítica (Figura 64).

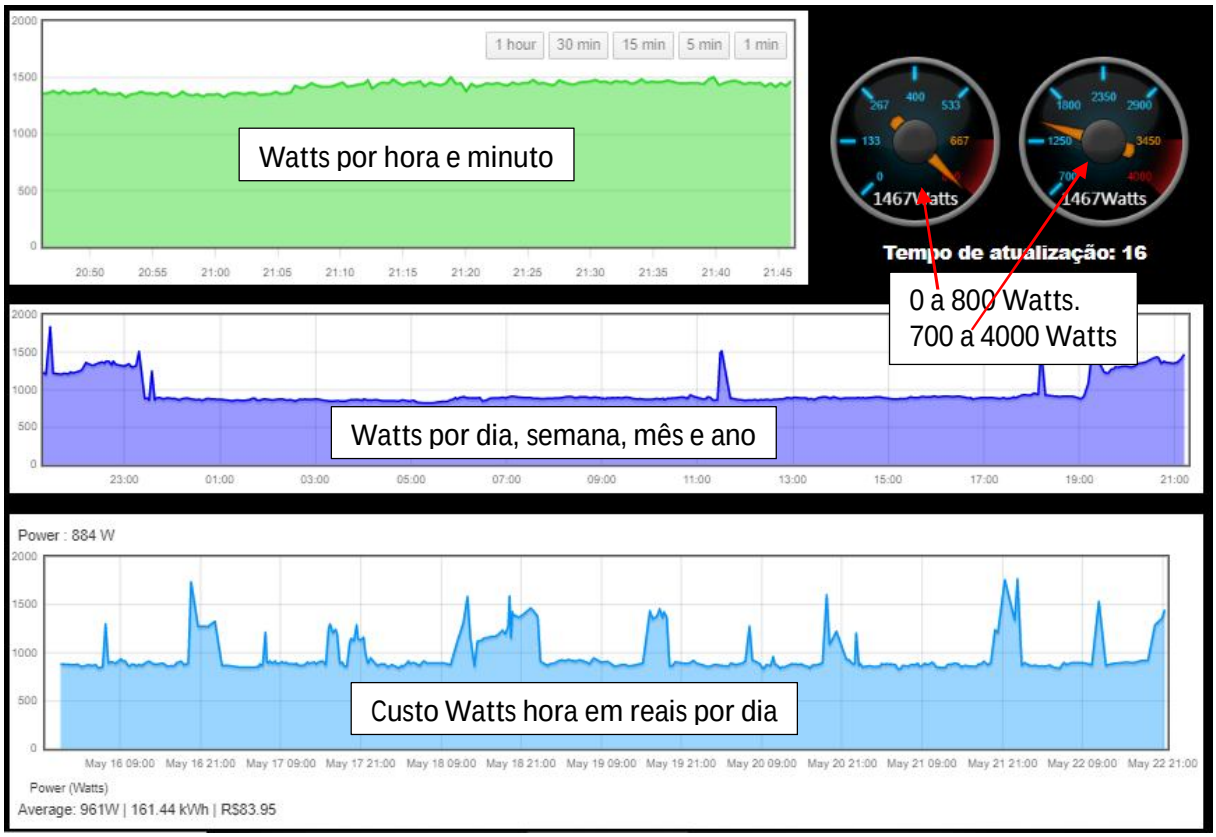


Figura 64: Dashboards.

Fonte: Emoncms, 2019.

3.5 Plano de execução

3.5.1 Gerenciamento energético hospitalar

Para o correto gerenciamento dos recursos energéticos é essencial que se disponha de informações de alta confiabilidade, fundamentados em dados coletados em tempo real, melhorado por relatórios analíticos e gráficos objetivos, que ofereçam o perfeito acompanhamento das condições técnicas e econômicas das instalações do hospital.

A relação custo benefício é altamente positiva para os objetivos econômico-financeiros das instituições hospitalares em razão das perspectivas, mediatas e imediatas, de eliminação de perdas motivadas, especialmente, por:

- Cultura do desperdício de energia;
- Penalidades por contratos de energia mal elaborados (Exemplo: demandas mal dimensionadas);

- Descontrole nas medições dos insumos energéticos;
- Dimensionamento inadequado de fontes consumidoras de energia (iluminação, motores, e outros dispositivos);
- Sobrecarga nos transformadores e cabos de energia;
- Inexatidão das contas de energia;
- Inadequações nas chaves de rateio de custos (centro de custo ou custo por departamento);

A implantação de um sistema de monitoramento visa sobretudo, a busca da eficiência energética, cujos objetivos principais são:

- Eliminação dos desperdícios;
- Aumento da eficiência das unidades consumidoras de energia;
- Mudança nos padrões de consumo.

As medições setoriais possibilitarão a obtenção da relação KWh/setor, onde a otimização deste índice poderá implicar muitas vezes em uma eficiência também, no processo produtivo, permitindo um acompanhamento total das ações a serem implementadas, e ainda adoções de medidas corretivas tais como dimensionamento de motores (a potência de acordo com a operação) e dimensionamento de transformadores e cabos elétricos.

As medições setoriais permitem ainda a obtenção de chaves de rateio de consumo, atribuindo a parcela correta de consumo de energia para cada centro de custo. Porém, não será possível alcançar êxito sem um monitoramento conforme estudo de caso publicado e disponibilizado pelo Hospital Amaral Carvalho de Jaú (OMETTO, 2014, p. 3).

3.5.2 Dimensionamento do equipamento

A princípio, com a finalidade de testes, o equipamento foi instalado em um ambiente não hospitalar, porém com consumo semelhante ao de qualquer outro tipo de negócio que possua equipamentos de informática, mais precisamente servidores.

É sempre válido lembrar que este projeto foi voltado para atender as necessidades de um ambiente que exige um alto consumo energético, como é o caso de um hospital, e para que sejam atendidas às necessidades dessa estrutura contendo vários ambientes e com uma grande diversidade de equipamentos e

variações energéticas, é de extrema importância que os sensores estejam dispostos de modo que não ocorram fugas, ou seja, toda a energia consumida deverá passar por um dos sensores, esteja ele ligado diretamente em uma máquina, equipamento ou medindo um setor por completo.

O hospital está em construção, com previsão de término para abril de 2020 e início das atividades em outubro de 2020 e deverá receber o equipamento desenvolvido neste projeto.

Desse modo, quando o equipamento estiver de fato instalado em um ambiente hospitalar, deverá a princípio, monitorar os setores divididos da seguinte forma: serviço de apoio diagnostico e terapêutico (SADT) subdividido em exames laboratoriais e exames por imagem, pronto atendimento adulto e infantil, U.T.I., 6 salas do centro cirúrgico, recuperação pós anestésica (RPA), hospital dia (pequenas cirurgias), casa de máquinas, berçário, maternidade, segundo, terceiro e quarto andar contendo 30 leitos em cada andar.

Os locais que serão monitorados estão simbolizados com o desenho do sensor não invasivo em azul conforme demonstrado nas Figuras 65, 66 e 67.



Figura 65: Térreo.

Fonte: Projeto arquitetônico Hospital Unimed Jaú, 2019.

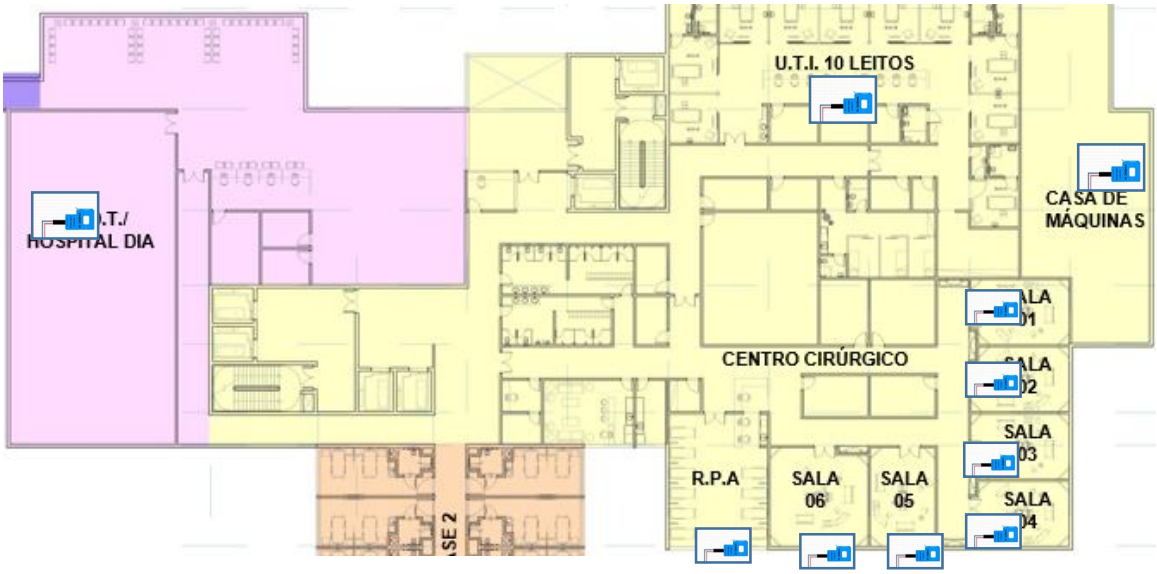


Figura 66: 1º Pavimento.

Fonte: Projeto arquitetônico Hospital Unimed Jaú, 2019.



Figura 67: 2º Pavimento.

Fonte: Projeto arquitetônico Hospital Unimed Jaú, 2019.

4. RESULTADOS E DISCUSSAO

4.1 Conexão do arduino com a internet

Essa primeira avaliação teve como principal objetivo demonstrar como o arduino se comportou depois de quase 3 semanas ligado initerruptamente, sendo iniciada no dia 04 de maio as 22 horas e 22 minutos (Figura 68).

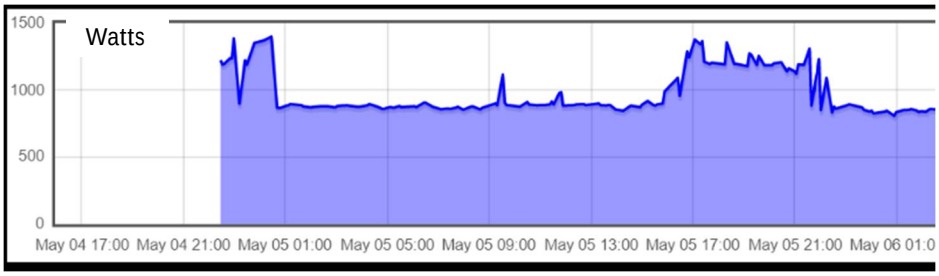


Figura 68: Gráfico demonstrando o início do monitoramento.

Fonte: Emoncms, 2019.

O monitoramento seguiu por 20 dias sem cortes ou paradas por motivos gerados por falhas da placa Arduino ou o Shield de internet. O consumo médio esperado é por volta de 890W com os servidores em produção no período das 22:00h até as 17:00h do outro dia e picos de 1400W no período das 17:00h até as 22:00h, horário esse que os servidores estão executando tarefas que exigem maior consumo.

Porém, com os processadores e discos em *stand-by* (modo de espera) o consumo caiu para 500W, no entanto essa situação não foi detectada. Mesmo com as poucas interrupções geradas pela operadora de internet banda larga, o equipamento retomou sua atividade imediatamente após a normalização da rede, demonstrando que além de ser um hardware confiável, o código desenvolvido está preparado para atuar corretamente efetuando a reconexão e prosseguindo sem que seja necessária a intervenção humana (Figura 69).

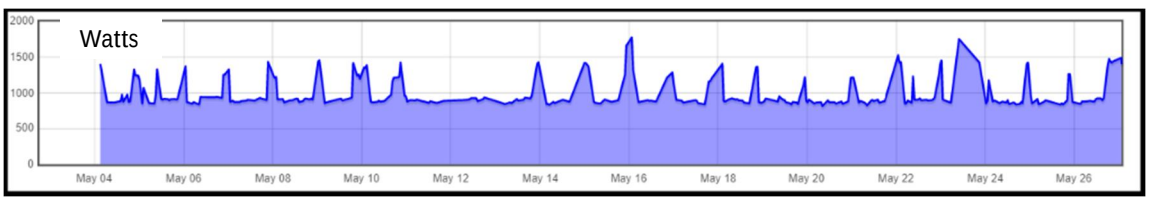


Figura 69: Evolução gráfica do período monitorado.

Fonte: Emoncms, 2019.

Somente uma interrupção foi detectada no dia 15 de maio de 2019 por volta das 03h:32m:45s da manhã, sendo que essa interrupção durou 20 segundos e só pode ser diagnosticada através de um servidor que monitora exclusivamente o comportamento da rede de computadores (Figura 70). Portanto houve uma queda de 24W na interrupção.

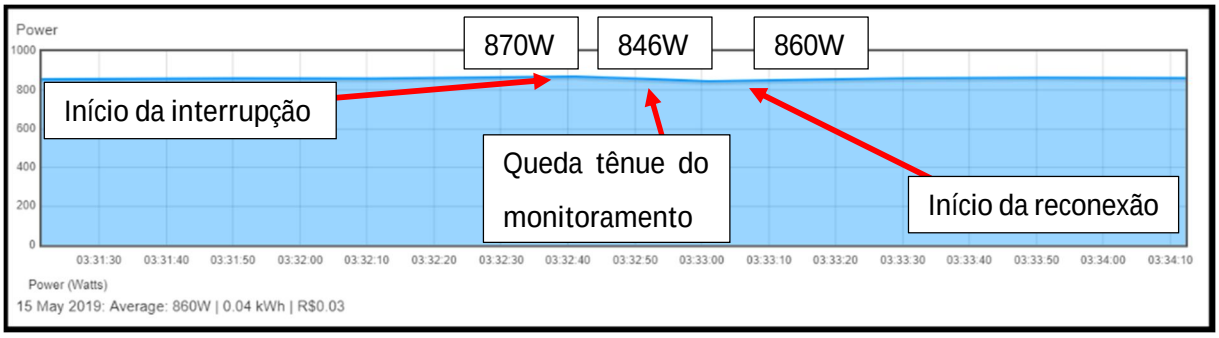


Figura 70: Interrupção e reconexão do monitoramento.

Fonte: Emoncms, 2019.

4.1.1 Função dos dashboards tipo Gauge

Dois dashboards tipo gauge foram implantados objetivando duas funções. A primeira função é delimitar e criar um alerta para o consumo médio dos equipamentos monitorados (Figura 71).

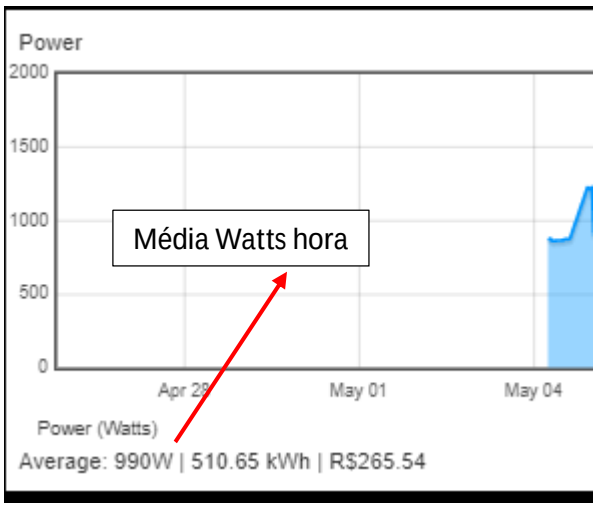


Figura 71: Valor consumo médio apurado.

Fonte: Emoncms, 2019.

Caso o segundo marcador que inicia o monitoramento a partir dos 1000W entre em ação, uma atenção deverá ser oferecida ao sistema levando-se em consideração a hora e o tipo de tarefa que o servidor está executando no momento.

Na Figura 72 está demonstrado o segundo marcador.



Figura 72: Dashboards tipo Gauge.

Fonte: Emoncms, 2019.

A segunda função desse marcador é informar ao gestor caso ocorram interrupções acima de 30 segundos ou mais. Na Figura 73 estão os parâmetros utilizados para gerar o alerta caso o sistema seja interrompido por mais de 30 segundos.

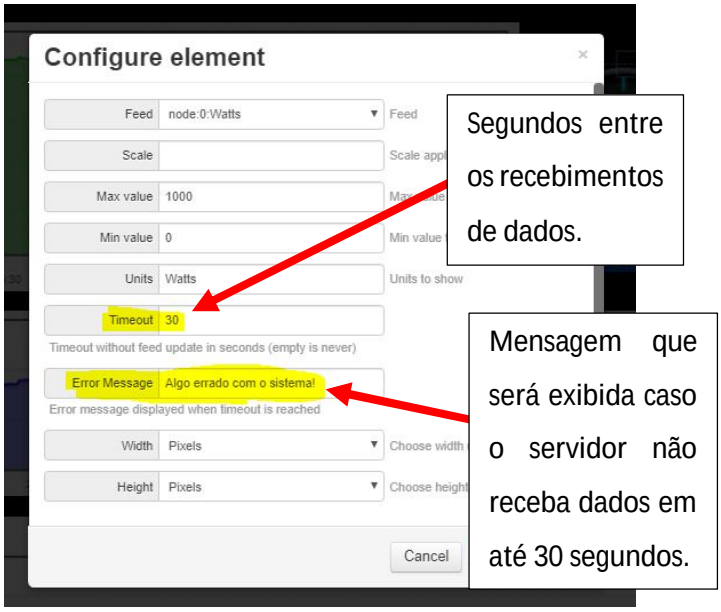


Figura 73: Tela de configuração de cada elemento.

Fonte: Emoncms, 2019.

4.2 Custo do Equipamento

Na Tabela 4 está apresentada a quantidade e o valor de cada item utilizado para a construção do equipamento. Porém, esse valor pode ser reduzido substancialmente se comprado em grande escala. Nesse caso, o total foi de $ 69,77 (R$ 268,61 com o dólar a $ 3,85 na data da compra), mas poderia ter um custo menor se fossem adquiridos equipamentos paralelos, que não perdem em nada para os originais.

Tabela 4: Custo com o equipamento.

Quantidade	Componentes	Custo em dólar Original	Custo em dólar Paralelo
1	Protoboard	$ 2,46	$ 2,46
2	Resistores de 10kΩ	$ 2,30 (100 unidades)	$ 2,30 (100 unidades)
1	Resistor de 330Ω	$ 2,63 (40 unidades)	$ 2,63 (40 unidades)
1	Capacitor eletrolítico de 100uF	$ 1,75	$ 1,75
6	Jumpers	$ 2,73 (65 unidades)	$ 2,73 (65 unidades)
1	Placa Arduino Uno	$ 22,00	$ 6,00
1	Placa Shield Ethernet	$ 23,65	$ 9,36
1	Sensor não invasivo SCT-13	$ 12,25	$ 12,25
Total		**$ 69,67**	**$ 39,38**

Fonte: O autor, 2019.

4.3 Considerações Finais

No início deste estudo, conceitos e novas tecnologias foram apresentadas e demonstradas a respeito do desenvolvimento de um equipamento para medir o consumo de energia elétrica com o intuito de primeiramente despertar o debate e a reflexão da sociedade referente a questão das fontes energéticas.

A todo momento foram observadas desde propostas de melhoria do meio ambiente até reformas sociais, propostas sustentáveis e de desenvolvimento da parte urbana. Essas propostas sempre trazem consigo uma imposição por quem a constrói, seja de iniciativa pública ou privada, entretanto poucas efetividades dessas ações são observadas.

Tratando-se de iniciativas e novidades no setor energético, uma questão extremamente importante não abordada na maioria dos trabalhos analisados, é a implementação no mercado do dispositivo aqui estudado. Existem muitas invenções que poderiam definitivamente mudar o mundo, mas poucas estão realmente a disposição do consumidor.

O projeto teve a pretensão de ser uma ferramenta para gestores monitorarem o consumo energético de qualquer tipo de seguimento, e principalmente servir como meio de tomada de decisão com relação a investimentos voltados a sustentabilidade.

Nesse caso observou-se o seguimento de saúde por estar entre aqueles que mais consomem energia. Assim, surgiu a necessidade de se desenvolver um equipamento de baixo custo que despertasse o interesse e resolvesse uma das maiores barreiras que é o retorno que aquele investimento dará de fato. Por outro lado, mesmo que indiretamente, mostrar para a sociedade que algo está sendo feito para o meio ambiente.

Na atualidade (2018-2019), as operadoras de planos de saúde vêm enfrentando um momento decisivo com relação a sua sobrevivência. Desde que o mercado de saúde foi aberto em 2014 pela então presidente Dilma Roussef (BRASÍLIA, 2014) para ser adquirido pelo capital estrangeiro, imediatamente ações foram tomadas objetivando blindar esse mercado. Desse modo, a ação melhor avaliada é a verticalização dos serviços, ou seja, normalmente as operadoras credenciam os serviços que não possuem, como laboratórios, serviços de diagnósticos por imagem e hospitais, e com a verticalização as operadoras partem para o lado da aquisição de serviços próprios, construindo seus próprios laboratórios e hospitais.

Com a construção dos serviços citados, o sistema de monitoramento energético vem ao encontro da necessidade de se ter em mãos e instantaneamente os custos com energia em qualquer setor desse seguimento.

Como exemplo, o capítulo 2.5.8 Luminotécnica, é uma questão que está totalmente fora do objetivo principal que é a economia de energia, afinal a Luminotécnica oferece um tratamento, porém utilizando a iluminação. Mas como saber de fato se realmente os custos com internações foram reduzidos se o gestor não tiver em mãos os custos detalhados com iluminação? Em contrapartida um paciente que tem seu tempo de recuperação reduzido, reduz também os custos com

sistema de climatização, água, alimentação, gases como oxigênio e outros não citados, que impactam diretamente no quesito da sustentabilidade.

4.4 Estudo do projeto implantado

O esquema elétrico envolvendo o arduino e o sensor foram instalados como forma de testes para observar e avaliar o consumo dos seguintes servidores (Tabela 5).

Tabela 4: Servidores monitorados

Quantidade	Modelo
1	Servidor Dell R730
3	Servidores Dell R530
1	Servidor Dell R430

Fonte: O autor, 2019.

4.5 Especificações dos servidores

O modelo Dell R430 em sua configuração possui duas fontes de 550W, processadores Intel® Xeon® E5-2600 v4, 2 HDs SSDs de 250GB e 2 HDs SAS de 500GB e 32GB de memória RAM. O consumo médio de cada fonte é de 61W totalizando 122W (Figura 74).



Figura 74: Fonte Dell R430.

Fonte: Dell, 2014.

O modelo Dell R530 conta com duas fontes de energia 750W, dois processadores Intel® Xeon® E5-2600 v4, quatro HDs SSDs de 250GB e 64GB de memória DDR4. O consumo médio de cada fonte fica por volta de 91W somando um total de 176W (Figura 75).



Figura 75: Fontes Dell R530.

Fonte: O autor, 2019.

E por último, o Dell R730 também com duas fontes de 750W, dois processadores XEON E5-2630V3 2.4, 12 HDs SAS de 500GB e 96GB de memória RAM DDR4. O consumo médio de cada fonte de energia está por volta de 100W, totalizando 200W (Figura 76).

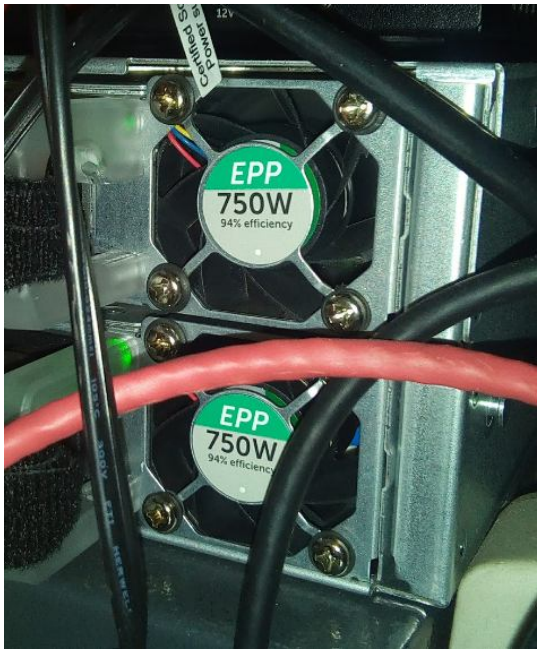


Figura 76: Fontes Dell R730.

Fonte O autor, 2019.

4.6 Nobreak

O modelo de nobreak que os servidores estão conectados é o APC de 3000VA (Figura 77).

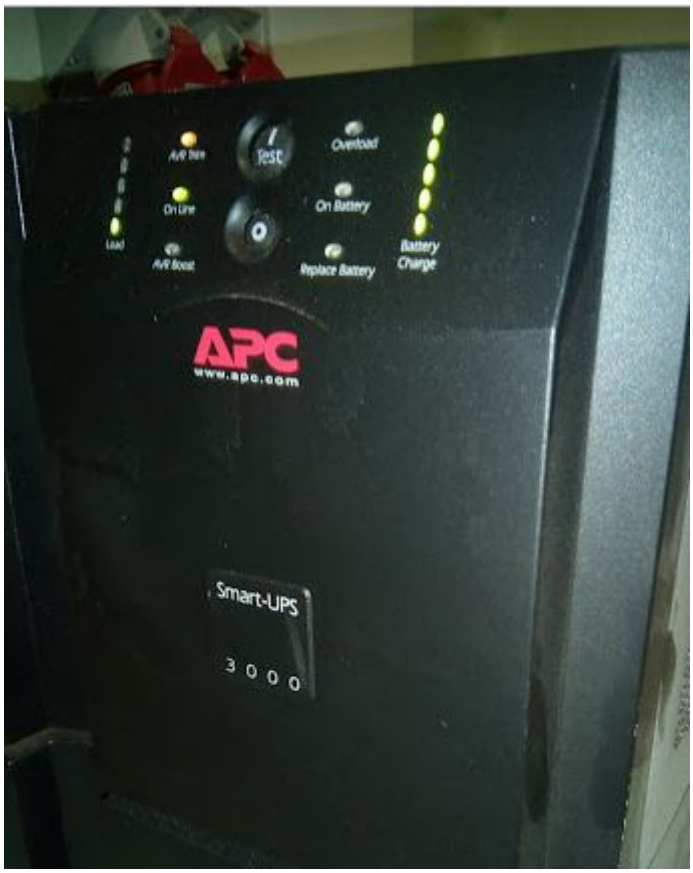


Figura 77: Nobreak APC 3000VA.
Fonte O autor, 2019.

Esse modelo de nobreak suporta uma potência máxima de 2700W, portando está bem dimensionado para os equipamentos. Caso ocorra uma queda de energia o nobreak poderá manter os servidores ligados por aproximadamente 20 minutos quando em baixo consumo (por volta de 800W), porém, caso a energia da rede elétrica não retorne em 10 segundos, o gerador será ativado automaticamente suprindo essa necessidade com segurança (Figura 78).

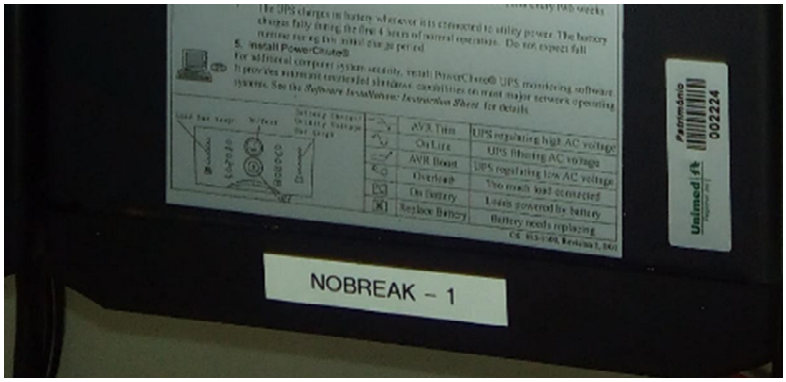


Figura 78: Nobreak 1.

Fonte O autor, 2019.

Desse modo, todas as tomadas dos servidores estão conectadas diretamente no nobreak conforme demonstrado na Figura 79.



Figura 79: Tomada dos servidores.

Fonte O autor, 2019.

Para monitorar os servidores foi necessário instalar o sensor diretamente em um dos fios na tomada de energia ao qual o nobreak está conectado (Figura 80).



Figura 80: Tomada que o nobreak está ligado.
Fonte O autor, 2019.

A Figura 81 apresenta uma visão com o arduino disposto em cima do nobreak e o sensor não invasivo monitorando uma das fases da tomada que está alimentando o nobreak e respectivamente os servidores.

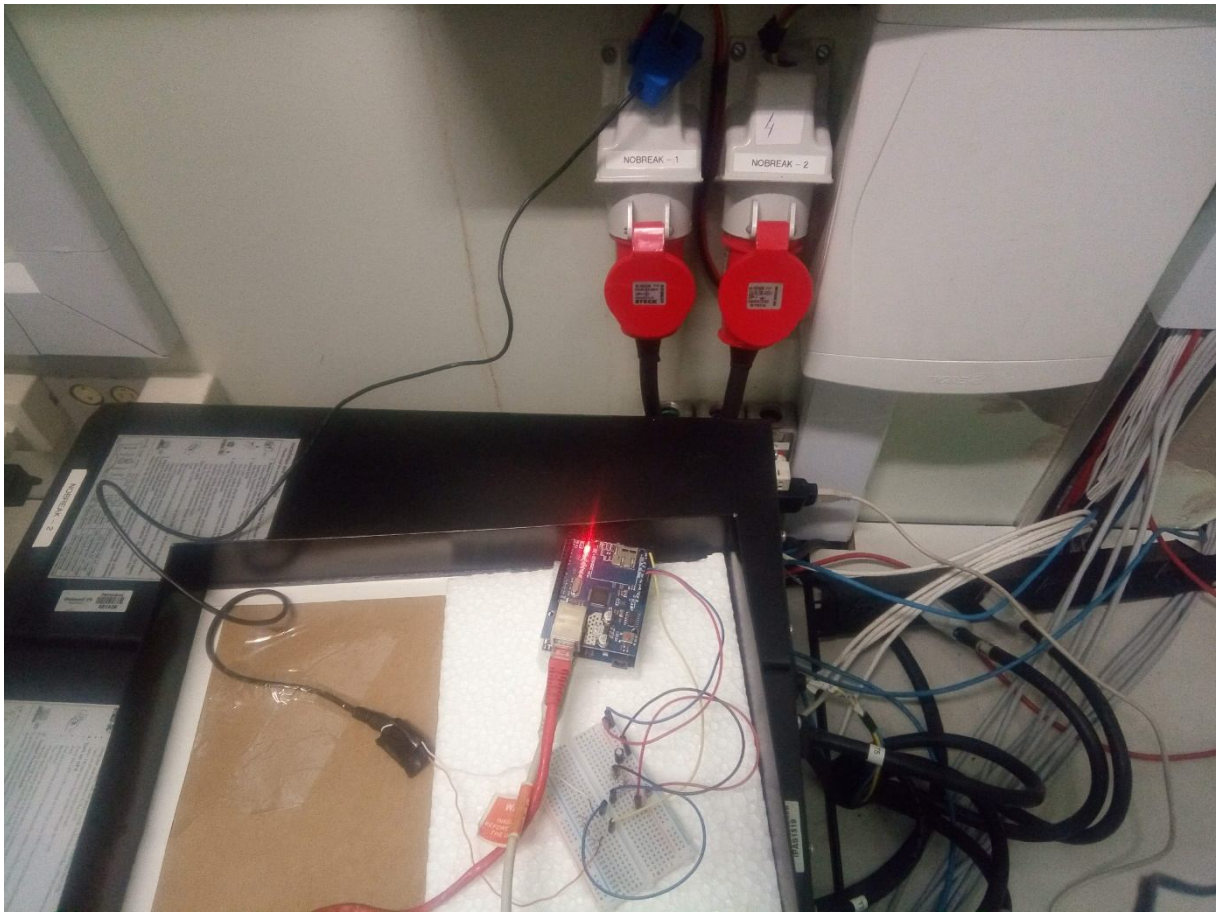


Figura 81: Arduino e sensor monitorando.

Fonte: O autor, 2019.

4.3 Resultados obtidos

O sistema de dashboards adotado pode proporcionar uma diversidade de análises, sendo exemplificada todas as modalidades possíveis para cada gráfico.

O gráfico na Figura 82 demonstra que ocorreram picos de consumo em determinados horários dos dias analisados.

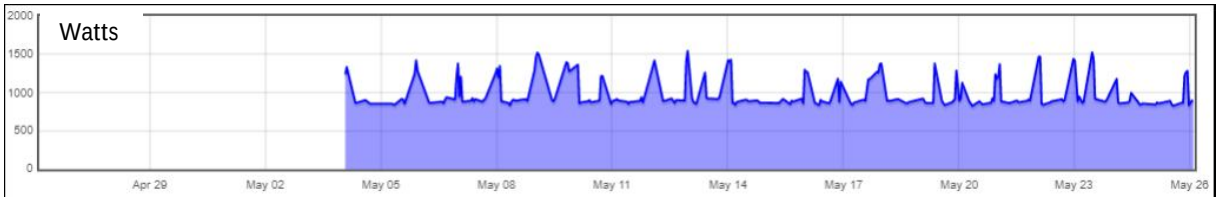


Figura 82: Gráfico com o desempenho analisado.

Fonte: Emoncms, 2019.

Esse gráfico apresenta algumas particularidades, uma delas é a facilidade oferecida ao gestor para a análise das distorções referentes ao consumo.

Por exemplo, caso ocorra a necessidade de se analisar as variações de consumo da semana, basta clicar no botão W (Week) e será apresentado imediatamente o desempenho dos últimos sete dias (Figura 83).

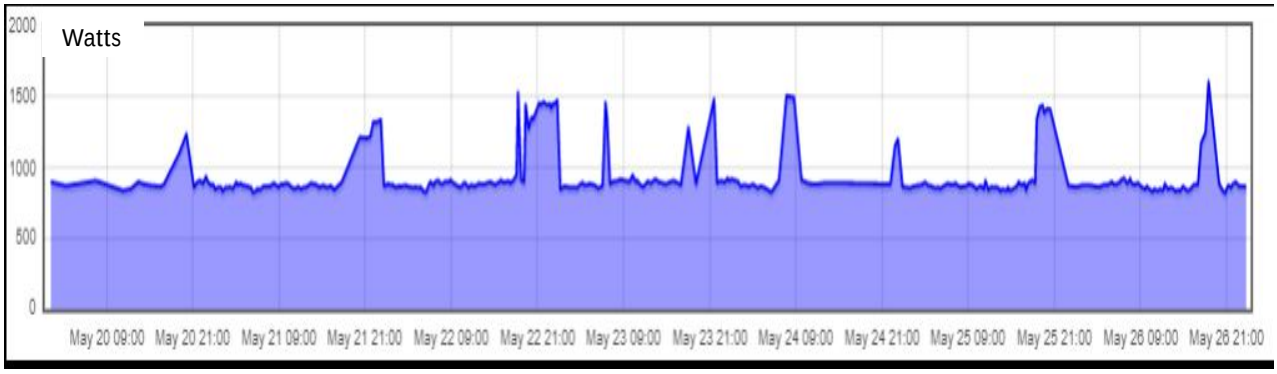


Figura 83: Análise do período de 20 a 26 de maio.

Fonte: Emoncms, 2019.

No período analisado, observou-se que em uma amostra de 7 dias (20 a 26 de maio de 2019) ocorreram picos de consumo no período noturno, entre as 18:00 h até as 21:00 h. Esses picos estão condizentes com as atividades dos servidores, pois após o expediente que finaliza as 17:30 h, existem uma série de tarefas que são executadas elevando substancialmente o consumo de energia (Figura 84). Tarefas como backup, atualização de bases de dados, integração entre sistemas, atualização de aplicações, geração de dados e exportação para o sistema de B.I. (Business Inteligence), justificam o aumento no consumo de energia.

Existe também a possibilidade de se analisar a variação de um dia em específico, basta mover o ponteiro do mouse em cima da data desejada.

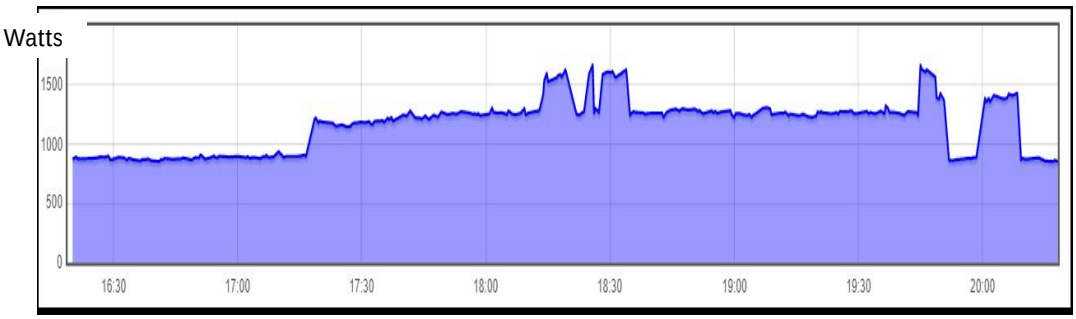


Figura 84: Pico de energia após as 17:00 h do dia 27/05/2019.

Fonte: Emoncms, 2019.

Existe também outro gráfico não analítico voltado para um monitoramento diário e com um visual mais limpo. Nesse gráfico é possível ver o consumo real em Watts hora, além do valor em reais que está sendo gerado no momento (Figura 85).

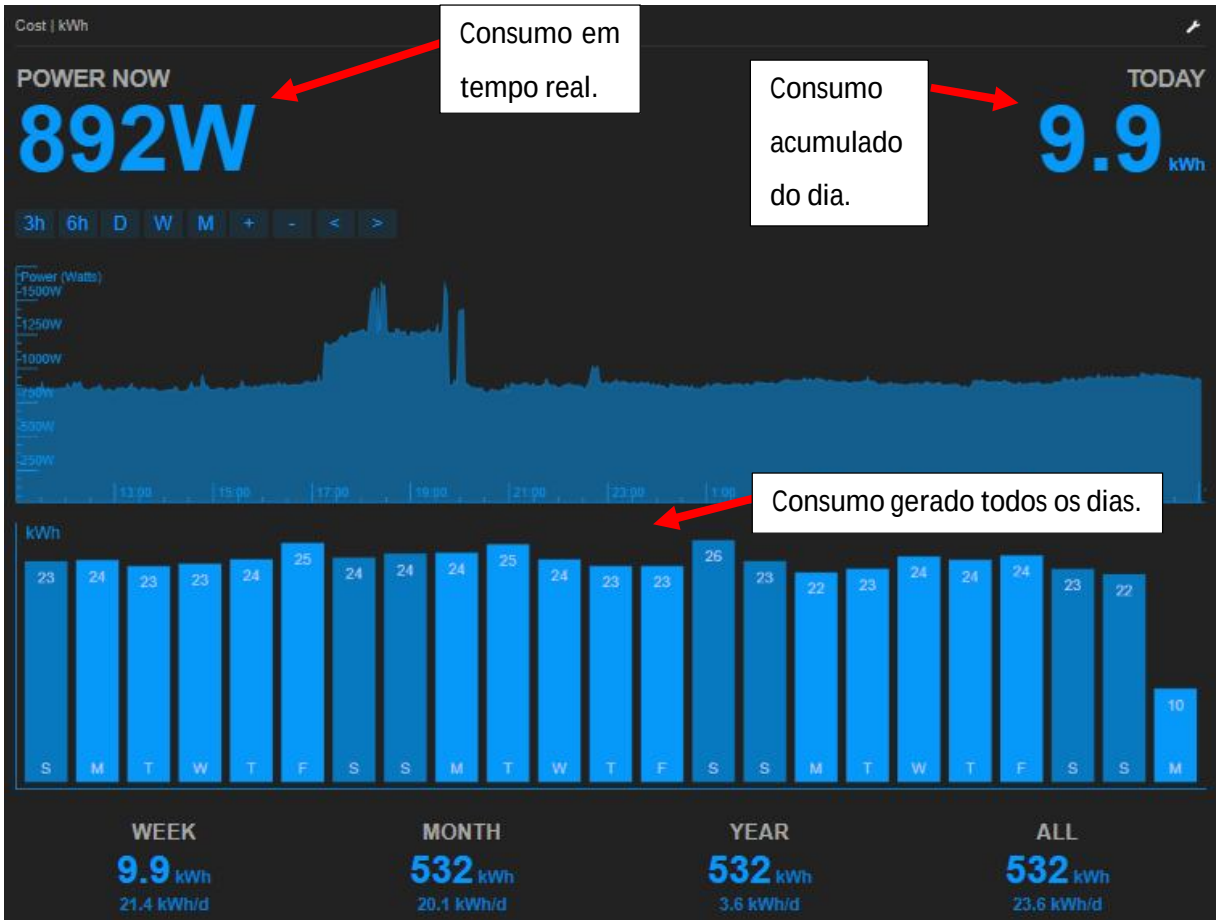


Figura 85: Monitoramento em Watts.

Fonte: Emoncms, 2019.

Na parte superior dessa tela existe uma opção chamada Cost, essa opção permite alternar de Watts para valor em reais. Observa-se que o valor apresentado no momento é de R$ 0,475, podendo ser assim explicado: o custo médio do kilowatt hora no âmbito empresarial é R$ 0,52, portanto no momento da análise o consumo não está chegando a 1000W e sim por volta de 900W. A Figura 86 apresenta um exemplo desse modo de visualização.

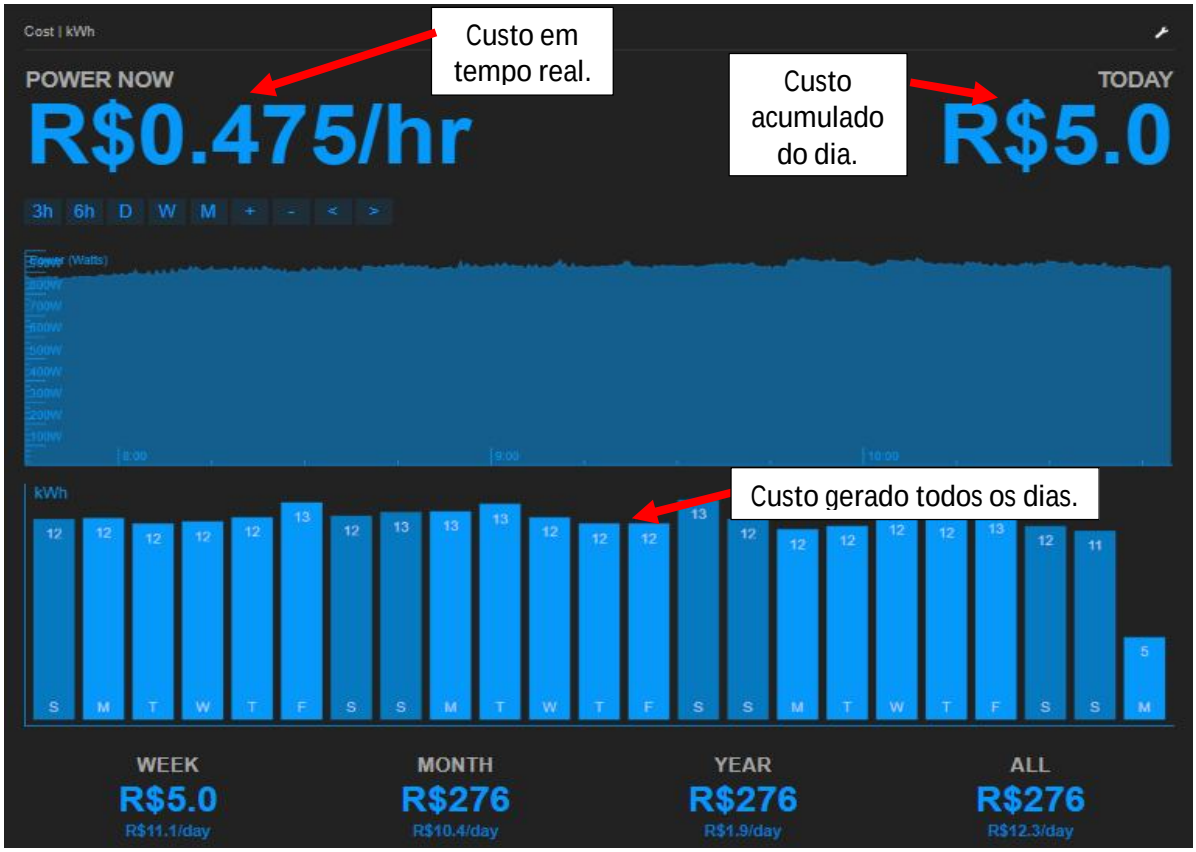


Figura 86: Monitoramento em Reais.

Fonte: Emoncms, 2019.

Outra forma prática de monitorar o consumo energético é através do aplicativo Emoncms para celular. É um aplicativo leve, fácil de configurar e que poderá fornecer uma visão rápida ao gestor em qualquer momento que desejar (Figura 87).

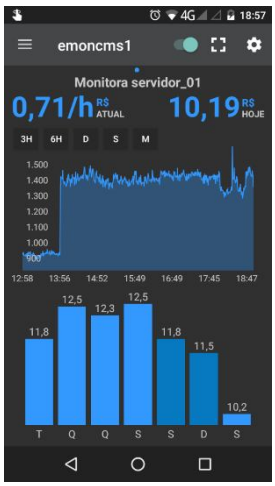


Figura 87: Aplicativo para celular Emoncms.

Fonte: Emoncms, 2019.

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho descreveu todo o processo do desenvolvimento de um sistema de gestão e supervisão de monitoramento de energia elétrica.

Em cada uma das etapas da concepção do sistema adquiriu-se novos conhecimentos e solucionaram-se as dificuldades encontradas. O objetivo por trás de cada decisão na arquitetura do projeto foi sempre garantir que o sistema fosse dinâmico, prático de montar e principalmente oferecesse baixo custo, na compra e manutenção.

Hoje existem sistemas semelhantes no mercado, porém nenhum utiliza a tecnologia aplicada neste projeto, e com base na análise destes sistemas verificou-se, com satisfação, que existe lugar no mercado para o equipamento desenvolvido. Contudo, o valor pelo qual se pode adquirir um destes sistemas de monitorização ainda é elevado para a grande maioria da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRLINK. Climatização Hospitalar: conheça as normas e importância do controle do ambiente. **AirLink**, 2018. Disponível em: <https://www.airlinkfiltros.com.br/artigos/climatizacao-hospitalar-conheca-as-normas-e-importancia-do-controle-do-ambiente/>. Acesso em: 10 mai. 2019.

AMBIENTE, M. D. M. Construções Sustentáveis. **Ministério do Meio Ambiente**, 2019. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/item/10317-eixos-tem%C3%A1ticos-constru%C3%A7%C3%B5es-sustent%C3%A1veis>. Acesso em: 28 abr. 2019.

ARDUINO. **Compare board specs. Arduino**, 2019. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>. Acesso em: 16 mai. 2019.

ARDUINO. **store.arduino. Arduino**, 2019. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 16 mar. 2019.

ARDUINO, S. **arduino.cc. Arduino_Uno_Rev3-schematic**, 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uno_Rev3-schematic.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.

ARQUITETURA, E. E. Lei Federal torna o PMOC obrigatório nos sistemas de climatização. Engenharia e **Arquitetura**, 2018. Disponível em: <http://www.engenhariaearquitetura.com.br/2018/01/lei-federal-torna-o-pmoc-obrigatorio-nos-sistemas-de-climatizacao>. Acesso em: 16 jun. 2019.

ARQUITETURA, E. E. NBR 7256 e as exigências em relação aos equipamentos nas instalações hospitalares. **Engenharia e Arquitetura**, 2019. Disponível em: <http://www.engenhariaearquitetura.com.br/2019/03/nbr-7256-e-as-exigencias-em-relacao-aos-equipamentos-nas-instalacoes-hospitalares>. Acesso em: 16 jun. 2019.

BRASIL, G. Construindo Um Futuro Sustentável. **GCB Brasil**, 2019. Disponível em: <http://www.gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php>. Acesso em: 06 jun. 2019.

BRASIL, U. D. A Unimed. **Portal Unimed**, 2018. Disponível em: <https://www.unimed.coop.br/home/sistema-unimed/a-unimed>. Acesso em: 28 abr. 2019.

BRASÍLIA, J. D. MP que permite investimentos estrangeiros nos serviços de saúde gera polêmica. **Jornal de Brasília**, 2014. Disponível em: <http://www.jornaldebrasilia.com.br/brasil/mp-que-permite-investimentos-estrangeiros-nos-servicos-de-saude-gera-polemica/>. Acesso em: 27 mai. 2019.

CONDICIONADO, W. A. A História do Ar-Condicionado. **Web Ar Condicionado**, 2010. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado>. Acesso em: 11 mai. 2019.

CPFL. 5 equipamentos que mais consomem energia elétrica na empresa. **CPFL Soluções**, 2019. Disponível em: <https://cpflsolucoes.com.br/blog/5-equipamentos-que-mais-consomem-energia-eletrica-na-empresa/>. Acesso em: 10 mai. 2019.

DELL. Fonte de alimentação de 550W da Dell, De Conector Automático. **Dell**, 2014. Disponível em: <https://www.dell.com/pt-br/shop/fonte-de-alimenta%C3%A7%C3%A3o-de-550w-da-dell-de-conector-autom%C3%A1tico/apd/450-aeie/pe%C3%A7as-e-componentes-para-computadores>. Acesso em: 05 set. 2019.

DEMETRAS, E. SCT-013 – Sensor de Corrente Alternada com Arduino. **Vida de Silício**, 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada/#SCT-013_8211_Sensor_de_Corrente_Alternada_com_Arduino>. Acesso em: 19 mar. 2019.

ECYCLE, E. O que é sustentabilidade ambiental? **eCycle**, 2015. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/6176-sustentabilidade-ambiental.html>. Acesso em: 20 out. 2018.

ELÉTRICA, M. D. O que é um capacitor e qual a sua função? **Mundo da Elétrica**, 2019. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-capacitor-e-qual-a-sua-funcao/>. Acesso em: 22 mai. 2019.

EMONCMS. Emoncms.org Login. **Emoncms.org**, 2019. Disponível em: <https://emoncms.org/>. Acesso em: 19 abr. 2019.

EMONCMS. Emoncmsn.org Inputs. **Emoncms.org**, 2019. Disponível em: <https://emoncms.org/input/view>. Acesso em: 19 abr. 2019.

ENERGÉTICA, E. D. P. Matriz Energética e Elétrica. **EPE**, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 28 abr. 2019.

ENERGÉTICA, E. D. P. O que é energia. **EPE**, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/o-que-e-energia>. Acesso em: 28 abr. 2019.

FESP, N. D. R. P. U. Unimeds do Estado de São Paulo e a Agenda Global de Hospitais Verdes e Saldáveis, São Paulo, p. 7-22, 06 Junho 2016. Disponível em: <https://www.unimedfesp.coop.br/Documents/Hospitais%20verdes_OnLine.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2018.

FRAZÃO, D. Thomas Edison. **ebiografia**, 2019. Disponível em: <https://www.ebiografia.com/thomas_edison/>. Acesso em: 16 mai. 2019.

FRIOCLIMATIZADO. Informações sobre Btu/h, Kcal/h, TR e watts. **Frioclimatizado**, 2016. Disponível em: <http://frioclimatizado.blogspot.com/2016/11/informacoes-sobre-btuh-kcalh-tr-e-watts.html>. Acesso em: 12 ma. 2019.

FRIOTEC, G. Chiller Hospitalar. **Friotec**, 2017. Disponível em: <http://grupofriotec.com.br/wp-content/uploads/2017/02/chiller_hospitalar.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2019.

FURLAN, G. A. Esquema Elétrico do Arduino. **Circuitar**, 2019. Disponível em: <https://www.circuitar.com.br/tutoriais/esquema-eletrico-do-arduino-o-guia-definitivo/index.html>. Acesso em: 20 mai. 2019.

GERADORA, A. Fan Coil – Entenda como Funciona e Suas Vantagens. **A Geradora**, 2017. Disponível em: <https://www.ageradora.com.br/fan-coil-como-funciona-vantagens/>. Acesso em: 12 mai. 2019.

GONÇALVES, E. C. JSON Tutorial. **Devmedia**, 2012. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/json-tutorial/25275>. Acesso em: 19 abr. 2019.

GUENTHER, R. **Projetos Hospitais Saudáveis,** 2014. Disponível em: <http://www.hospitaissaudaveis.org/arquivos/Energia_Orienta%C3%A7%C3%A3o_Rede_HVS.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2018.

HUDSON, G. Windows Installation. **GitHub**, 2016. Disponível em: <https://github.com/emoncms/emoncms/blob/master/docs/WindowsInstall.md>. Acesso em: 27 mai. 2019.

INFOESCOLA. Lei de Ampère. **InfoEscola**, 2004. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/lei-de-ampere/>. Acesso em: 20 mai. 2019.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. Primeira Edição. ed. São Paulo: Novatec, 2011. 47 p.

MITOS, S. V. E. O Símbolo Internacional da Sustentabilidade. **Sustentabilidade - Verdades e Mitos**, 2012. Disponível em: <https://sustentabilidadeverdadesemitos.wordpress.com/2012/04/03/o-simbolo-internacional-da-sustentabilidade/>. Acesso em: 11 mai. 2019.

MURTA, G. Guia completo do Arduino Mega. **Eletrogate**, 2019. Disponível em: <http://blog.eletrogate.com/guia-completo-do-arduino-mega/>. Acesso em: 29 jun. 2019.

NUPEHA. Luminotécnica cria conforto para pacientes e reduz custos hospitalares. **Hospitalar Arquitetura**, 2019. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/iluminacao-de-hospitais-deve-proporcionar-conforto-aos-pacientes_6438_0_21>. Acesso em: 12 mai. 2019.

OMETTO, A. Eficiência Energética com Modernização. **Rede Global de Hospitais Verdes e Saudáveis**, 2014. Disponível em: <http://www.hospitaissaudaveis.org/arquivos/HAC_Energia.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2019.

REIS, Sergio. EMED Arquitetura hospitalar. **Projeto arquitetônico Hospital Unimed Jaú**. Propriedade da Unimed Regional Jaú. Avenida Totó Pacheco, S/N. Jaú, 2018. 5 f. Original em arquivo .dwg CAD Autodesk.

ROBOTICS, C. Esquema Elétrico Arduino. **Esquema Elétrico Arduino**, 2017. Disponível em: <http://cloutrobotics.blogspot.com/>. Acesso em: 30 jun. 2019.

SEC. CAG – Central de Água Gelada. **SEC**, 2019. Disponível em: <http://www.sec.com.br/cag-central-de-agua-gelada/>. Acesso em: 16 jul. 2019.

SERRA, F. Conceito de Sustentabilidade. **Tempos de gestão**, 2015. Disponível em: <https://www.temposdegestao.com/conceito-de/conceito-de-sustentabilidade>. Acesso em: 28 abr. 2019.

SIQUEIRA, P. D. OMS Engenharia. **OMS Engenharia**, 2017. Disponível em: <https://omsengenharia.com.br/noticias/desperdicio-de-energia/>. Acesso em: 01 dez. 2018.

SOUZA, F. Arduino UNO. **Embarcados**, 2013. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>. Acesso em: 18 mar. 2019.

STORE.ARDUINO.CC. Arduino ethernet shield. **arduino**, 2018. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-ethernet-shield-2>. Acesso em: 19 mar. 2019.

SUS. Sistema Unico de Saúde. **Portal Ministério da Saúde**, 2017. Disponível em: <http://portalms.saude.gov.br/sistema-unico-de-saude>. Acesso em: 28 abr. 2019.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. D. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicaçoes**. 8ª. ed. [S.l.]: Erica, 2009. 23 p. Acesso em: 19 mar. 2019.

TRANSCALOR. CENTRAL DE ÁGUA GELADA. **Transcalor**, 2019. Disponível em: <https://www.transcalor.com.br/chiller-torre-resfriamento/central-agua-gelada>. Acesso em: 12 mai. 2019.

VERDE, P. Afinal, o que é sustentabilidade? **Pensamento Verde**, 2018. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/afinal-o-que-e-sustentabilidade/>. Acesso em: 28 abr. 2019.

YHDC. SCT-013. **rhydolabz**, 2013. Disponível em: <https://www.rhydolabz.com/documents/Specification%20of%20%20SCT013.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.

ZIONI, E. Hospitais sustentáveis aumentam o bem-estar de pacientes, visitantes e médicos. **AECweb**, 2019. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/hospitais-sustentaveis-aumentam-o-bemestar-de-pacientes-visitantes-e-medicos_9210_10_20>. Acesso em: 06 jun. 2019.