

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO ROSSO DINIZ
THIAGO BISETTO ZORTEA

**SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO
DE ENERGIA ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

EDUARDO ROSSO DINIZ

THIAGO BISETTO ZORTEA

**SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO
DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Cesar Betini

CURITIBA

2018

Eduardo Rosso Diniz
Thiago Bisetto Zortea

Sistema Supervisório para Monitoramento de Consumo de Energia Elétrica

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 10 de agosto de 2018.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Roberto Cesar Betini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Annemarle Gehrke Castagna, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ohara Kerusauskas Rayel, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Roberto Cesar Betini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

- A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pela oportunidade de chegar até aqui. Às nossa famílias e amigos a eterna gratidão pelo apoio e incentivo ao longo desses cinco anos de dedicação, lágrimas e vitórias.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Roberto Cesar Betini, pela paciência e sabedoria com que nos guiou no desenvolvimento deste trabalho. E à todos os professores que contribuíram para o nosso crescimento e nos incentivaram na busca do sonho de nos tornar engenheiros eletricitas.

RESUMO

DINIZ, Eduardo Rosso. Zortea, Thiago Bisetto. SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema supervisório de medição de consumo de energia elétrica, no setor residencial e comercial. Após alguns estudos e verificação da necessidade de novas tecnologias para o mercado, decidiu-se criar este produto, que visa reduzir custos, permitir o monitoramento confiável do consumo de energia de instalações elétricas em baixa tensão e ser de fácil acesso para qualquer consumidor, com uma interface atrativa e de fácil compreensão.

Palavras chave: medidor de energia, energia elétrica, consumo, supervisório, arduino.

ABSTRACT

DINIZ, Eduardo Rosso. Zortea, Thiago Bisetto. SUPERVISION SYSTEM FOR MONITORING THE CONSUMPTION OF ELECTRICAL ENERGY. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The present work presents the development of a supervisory system for measuring electricity consumption in the residential and commercial sectors. After some studies and verification of the need for new technologies for the market, it was decided to create this product, which aims to reduce costs, allows reliable monitoring of the energy consumption of low voltage electrical installations and be easily accessible to any consumer, with an attractive and easy to understand interface.

Keywords: power meter, electricity, consumption, supervisory, arduino.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conexões do <i>display</i> LCD 16x2 com o Arduino.	45
Tabela 2 - Materiais utilizados para elaboração do protótipo.	47
Tabela 3 - Tabela de calibração dos sensores de corrente.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Smart Grid</i>	20
Figura 2 - <i>Smart Meter</i>	22
Figura 3 - Medidor de lâmpada-hora de Samuel Gardiner.	26
Figura 4 - Medidor de Lâmpada-Hora de 1878, J.B. Fuller	26
Figura 5 - Medidor químico de energia elétrica desenvolvido por Thomas Edison. ..	27
Figura 6 – <i>Wattson</i>	30
Figura 7 - <i>Power-Mate</i>	31
Figura 8 - CW 500	32
Figura 9 - Diagrama de blocos do protótipo.	34
Figura 10 – Sensor de corrente YHDC não invasivo.	35
Figura 11 - Placa do Arduino UNO.....	36
Figura 12 - <i>Ethernet Shield w5100</i>	37
Figura 13 - <i>Ethernet Shield w5100</i> acoplada ao Arduino UNO.	38
Figura 14 - Página de programação do Arduino.....	41
Figura 15 - Circuito para medição das correntes.....	43
Figura 16 - <i>Display LCD 16x2</i>	44
Figura 17 - Esquema de conexão do <i>display LCD 16x2</i> com o arduino.....	45
Figura 18 - Protótipo inicial montado para calibração.	46
Figura 19 - Esquemático da conexão da placa com o Arduino.	48
Figura 20 - Protótipo final.	49
Figura 21 – Protótipo inicial para calibração do sensor de corrente.....	51
Figura 22 - Protótipo montado com os três sensores para calibração.	51
Figura 23 - Carga utilizada para calibração dos sensores.	52
Figura 24 - Parte do código para calibração dos sensores.	52
Figura 25 - Medição do circuito 1 na calibração dos sensores.....	54
Figura 26 - Tela Inicial do site para consulta dos dados medidos pelo protótipo.	55
Figura 27 - Indicação dos circuitos no site.	55
Figura 28 – Lista de seleção do período dos dados armazenados.	56
Figura 29 – Localização da medição atual dos circuitos no site.....	56

Figura 30 – Valores numéricos nos gráficos.	57
Figura 31 – Resultados obtidos na medição de duas fases em uma empresa.	58

LISTA DE SIGLAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCI	Computer Control Instruments
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais S.A.
CO2	Dióxido de Carbono
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GND	<i>Ground</i> (referência)
ICSP	<i>In Circuit Serial Programming</i>
IOREF	<i>Input Output Voltage Reference</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
I/O	<i>In/Out</i>
kWh	Quilowatt-hora
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
ROCA	Repositório de Outras Coleções Abertas
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SD	<i>Secure Digital Card</i>
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VIN	Tensão de Entrada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 TEMA.....	14
1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 OBJETIVO GERAL	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4 JUSTIFICATIVA.....	16
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 SISTEMAS AUTOMATIZADOS	19
2.1.1 SMART GRIDS	20
2.1.2 SMART METERS	22
2.1.3 OPEN ENERGY MONITOR.....	23
2.2 SISTEMA SUPERVISÓRIO	24
2.3 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA	25
2.3.1 Medidores Eletromecânicos.....	28
2.3.2 Medidores Eletrônicos	28
2.4 IMPORTÂNCIA DO GERENCIAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO.....	28
2.5 SISTEMAS COMERCIAIS	29
2.6 ARDUINO	33
3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.....	34
3.1 SENSOR DE CORRENTE	35
3.2 ARDUINO UNO	36
3.3 COMUNICAÇÃO <i>ETHERNET SHIELD</i>	37
3.4 <i>FIRMWARE</i>	39
3.5 <i>SOFTWARE</i>	39

4. MONTAGEM DO PROTÓTIPO	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1 TESTES DO PROTÓTIPO.....	50
5.2 CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO ERRO DO PROTÓTIPO	50
5.3 TESTES DO SITE DE ACESSO DOS DADOS	54
5.4 TESTE DO PROTÓTIPO	58
5.5 DIFICULDADES ENCONTRADAS	59
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	60
REFERÊNCIAS	62
ANEXO A - Código de programação do arduino.	67
ANEXO B - Código desenvolvido para o servidor.	70
ANEXO C - Código desenvolvido para a página web.	72

1. INTRODUÇÃO

O grande crescimento do consumo de energia elétrica, apesar de representar um crescimento econômico e uma melhoria na qualidade de vida, também apresenta alguns aspectos negativos. Entre eles, destacam-se a possibilidade da escassez dos recursos utilizados na produção de energia elétrica e de um sobrecarregamento do Sistema Interligado Nacional. Assim, torna-se fundamental a implementação de políticas de eficiência energética (ANEEL, 2002).

O termo eficiência energética está diretamente relacionado com o consumo consciente de energia. Para a ABESCO, define-se eficiência energética como sendo uma atividade que procura otimizar a utilização das fontes de energia. Dessa forma, o consumo racional é um modo eficiente de melhorar a relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização (ABESCO, 2015b).

Já para o Ministério de Minas e Energia, refere-se a ações de diferentes naturezas que determinam a redução da quantidade de energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia. Assim, destaca-se o objetivo de atender a necessidade da economia, com menor uso de energia primária e, portanto, menos impacto na natureza (MME, 2012).

Visando estabelecer políticas que contribuíssem para o crescimento e solidificação do Programa Nacional de Eficiência Energética, o governo federal criou dois programas que atuam diretamente no tema. Primeiramente, em 1985, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o PROCEL, com o objetivo de orientar os consumidores sobre quais equipamentos são mais eficientes dentro de cada categoria e incentivar o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente (PROCEL, 2006). Já em 1991, tem-se a criação do CONPET, Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural, com a finalidade de desenvolver uma cultura anti-desperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil (CONPET, 2012).

Assim, há pelo menos trinta anos, existem estudos e incentivos que defendem um consumo mais eficiente e consciente dos consumidores.

De acordo com Bitencourt (2015), o Brasil está entre os cinco países com as taxas mais caras cobradas no consumo de energia no mundo. E, ao analisar os relatórios da EPE, Empresa de Pesquisa Energética, verifica-se que a classe de industrial possui a maior parcela de consumo representando aproximadamente 28% do consumo no país (MME, 2017). Torna-se então, fundamental difundir a ideia de consumo consciente e investir em tecnologias que visam a eficiência energética de todas as instalações elétricas.

1.1 TEMA

Apresentação de uma solução que contribua para a redução, conscientização e gerenciamento do consumo de energia elétrica, através de estudos na área de supervisórios. Com os dados obtidos, mostrar o consumo aproximado de energia por circuito, sendo possível realizar uma análise independente.

1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Implementação de um medidor de circuitos em um painel, sendo possível identificar o consumo individual de cada circuito e haver uma análise detalhada do consumo de energia.

Com os resultados obtidos, é possível, ainda, identificar perdas e desperdícios, acompanhar o consumo em tempo real e sugerir mudanças que beneficiem o consumidor, reduzindo gastos e mantendo uma instalação confiável, trocando tecnologia e analisando o melhor horário para o consumo.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

A sociedade moderna globalizada é, indiscutivelmente, a sociedade que mais necessitou e necessita de energia para produzir bens de consumo. Trata-se a ideia de consumo como elemento necessário à sobrevivência e o consumismo, como cultura dessa nova sociedade, intitulada sociedade de

consumo, que tem como valor supremo a busca por novos produtos, como modo a satisfazer seus desejos (PEREIRA, 2010).

No setor residencial há um crescimento no consumo de energia elétrica. Conforme os relatórios apresentados pela EPE, no período de março de 2016 a fevereiro de 2017, o consumo residencial registrou evolução de +2,5% em relação ao mesmo período anterior (MME, 2017).

Diante disso, o presente trabalho utiliza um sistema supervisor que capaz de monitorar o consumo de energia em uma instalação através de um microcontrolador que processa a informação de entrada e gera um relatório gráfico para o consumidor.

Com os dados fornecidos, é possível analisar, além do consumo, qualquer discrepância presente na instalação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Apresentação de um sistema de monitoramento que possibilite o consumidor identificar os níveis aproximados de consumo da sua residência e contribua para que ações corretivas possam ser tomadas, visando um menor desperdício.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever as etapas de construção do protótipo;
- Identificar possíveis falhas nos circuitos analisados;
- Conhecer como está sendo consumida a energia em uma residência;
- Analisar as possíveis soluções no combate ao desperdício de energia;

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo Silva (2013) o crescimento de consumo de energia principalmente na classe residencial está acelerado e é necessário que ações sejam tomadas visando contribuir para o uso eficiente da energia. O presente trabalho apresenta uma proposta que contribua gerando resultados de redução de consumo em uma escala macro. Pois grande parte dos consumidores a partir do momento que souberem onde está sendo o seu maior consumo em suas residências ou comércios, poderão adotar medidas que reduzam o valor de sua fatura no final do mês e conseqüentemente reduzindo na escala macro o padrão de consumo de energia residencial.

O tema foi escolhido, pois o grupo possui um grande interesse na área de eficiência energética e gostaria de apresentar alguma solução que pudesse contribuir com a sociedade para a redução e gerenciamento do consumo de energia. Ao analisar-se o perfil de consumo dos brasileiros, identifica-se que aproximadamente um quarto da energia produzida é consumida pela classe residencial (MME, 2016) o que nos motiva o desenvolvimento de um protótipo que seja viável para a implantação em instalações já existentes e que possua um custo reduzido de instalação.

Além disso, com o crescimento e desenvolvimento de ambientes compartilhados de trabalho ou da necessidade de se dividir residências, busca-se uma solução para que a cobrança de energia seja justa pelo que o indivíduo consumiu.

Supondo uma residência que sofre uma reforma e cria salas para abrigar vários escritórios e salas de reunião, e para cada ambiente tem-se um disjuntor separado, é possível que o usuário pague pela energia que consumiu, através de um sensor de corrente.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a elaboração da proposta foram realizadas diversas pesquisas sobre eficiência energética e sobre sistemas supervisórios através de páginas na internet e no portal de periódicos da CAPES, também foi utilizado como base alguns trabalhos de TCC já concluídos, consultados no Repositório de Outras Coleções Abertas (ROCA). Com base nas pesquisas e reuniões entre o grupo e o orientador foi definido o tema e começou-se o desenvolvimento.

No desenvolvimento do TCC trabalhou-se da seguinte forma: inicialmente um estudo sobre quais são os benefícios que o sistema de medição traria para a sociedade embasando-os nas pesquisas realizadas. Abordar sobre o funcionamento mais detalhado do sistema implementado, definindo e explicando a escolha do microcontrolador utilizado através de consultas a professores e pesquisas. Explicação sobre o software utilizado e sua linguagem de programação e exibir o código desenvolvido, detalhando seus principais comandos.

Foi elaborado um projeto prévio do utilizado e seus devidos testes virtuais, executando a montagem do protótipo em placa de circuito impresso através de recursos próprios. Após a implementação foram realizados os testes iniciais e os devidos ajustes, para em seguida efetuarmos a calibração primeiramente com um amperímetro e depois com um medidor de energia.

Ao aplicar as melhorias no protótipo, foram coletados os dados e a partir do relatório emitido pelo supervisório, feita uma análise de quais circuitos possuem maiores características de consumo. Com as informações de quais equipamentos estão ligados em cada circuito, é possível que o usuário ainda tenha condições de, em uma análise simples, poder tomar decisões para adequar a sua instalação.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresentado está estruturado em seis partes: introdução, embasamento teórico, elaboração do protótipo, coleta de dados, discussão dos resultados e a conclusão.

Na introdução foi abordado o tema e a delimitação do tema a ser trabalhado, explicando o problema a ser resolvido e a forma que será solucionado, detalhando as premissas e os objetivos a serem atingidos. Foi relatado as justificativas de escolha do tema, os procedimentos metodológicos utilizados e como o trabalho será estruturado, apresentando ao final um cronograma a ser seguido para execução do trabalho.

No embasamento teórico são mostradas pesquisas bibliográficas para fundamentar o tema, explicando a solução apresentada tanto no aspecto teórico quanto no prático, visando facilitar o desenvolvimento e o entendimento do projeto.

No terceiro capítulo é mostrada a elaboração do protótipo, a partir de um projeto e o desenvolvimento tanto do hardware quanto do *software*, explicando os dispositivos utilizados, executando os testes e as devidas calibrações.

Na coleta dos dados, o protótipo estava instalado em uma residência transformada em escritório, registrando todos os dados em um determinado período que serviu como base para as análises a serem efetuadas no capítulo posterior.

Na conclusão estão os comentários pertinentes sobre a execução do projeto, indicando as principais dificuldades, as possíveis melhorias e temas a serem desenvolvidos em projetos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados tópicos que subsidiam o estudo para a realização do trabalho, apresentando alguns conceitos sobre automação e os sistemas supervisórios, indicando a sua importância e a real necessidade nas rotinas industriais e residenciais. Serão apresentados também alguns dos sistemas de medição de energia existentes e sistemas já desenvolvidos de gerenciamento de energia, exibindo alguns resultados obtidos através da implementação dos mesmos.

Além disso é abordada uma breve introdução sobre o microcontrolador que será utilizado na elaboração do protótipo, bem como a linguagem de programação utilizada e as principais atividades desenvolvidas por ele. É apresentado também como será realizada a comunicação e exibição de resultados de interesse.

2.1 SISTEMAS AUTOMATIZADOS

Para Rosário (2009), automação é todo processo que realiza tarefas e atividades de forma autônoma ou que auxilia o homem em suas tarefas do dia-a-dia. Em um sentido mais amplo, o autor ainda define como sendo a integração de conhecimentos substituindo a observação, os esforços e as decisões humanas por dispositivos (mecânicos, elétricos e eletrônicos, entre outros) e *softwares* concebidos por meio de especificações funcionais e tecnológicas.

Na indústria, a automação está ganhando espaço a cada dia. Já são inúmeras linhas de produção com sistemas automatizados, operando com o mínimo de intervenção humana, reduzindo erros e, conseqüentemente, perdas. Mas o que mais chama a atenção é a aplicação de sistemas automatizados para soluções residenciais.

Muitos empreendimentos imobiliários estão apostando em sistemas inteligentes. Porém, devido à necessidade de um alto valor de investimento ainda é um mercado muito restrito. Espera-se que em um futuro próximo, com

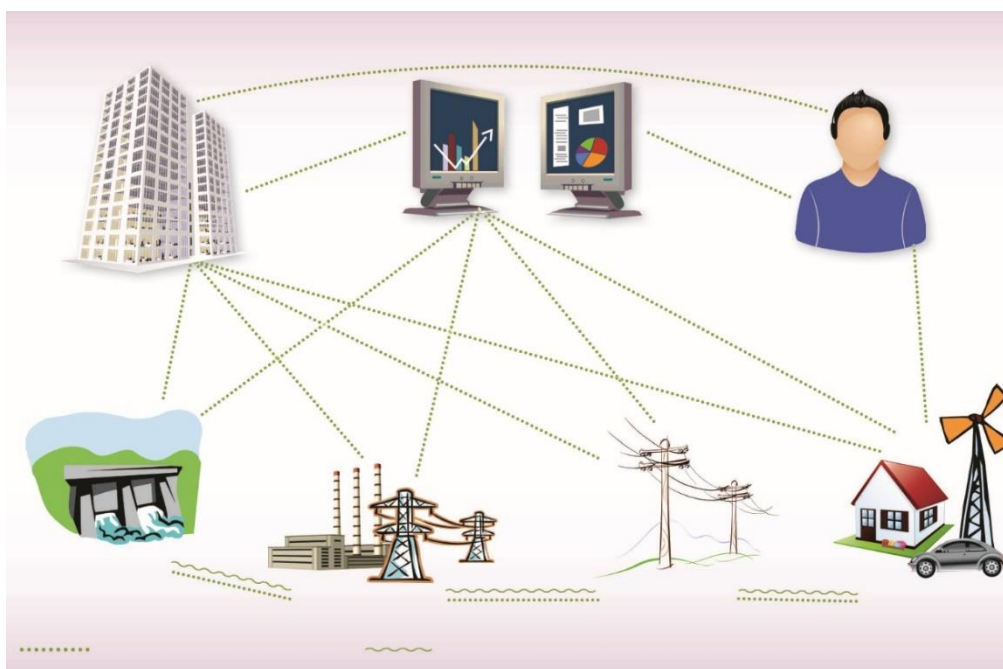
o avanço dos estudos e tecnologias, esses custos sejam reduzidos e que se possa ter um melhor aproveitamento dos recursos energéticos.

Dessa forma, torna-se interessante o desenvolvimento de ferramentas que permitam os usuários ter um maior controle do consumo de energia, tornando mais fácil a percepção de ações a serem tomadas para reduzir gastos e tornar a instalação mais eficiente.

2.1.1 SMART GRIDS

De acordo com a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais S.A.), as redes inteligentes de energia, ou do inglês *smart grid*, são uma nova arquitetura de distribuição de energia elétrica, mais segura e inteligente, que integra e possibilita ações a todos os usuários a ela conectados. Nesse conceito, o fluxo de energia elétrica e de informações se dá de forma bidirecional, exemplificada na Figura 1. Assim, a energia tradicionalmente gerada, transmitida e distribuída de forma radial a partir de instalações das concessionárias poderá, também, ser gerada e integrada às redes elétricas a partir de unidades consumidoras (CEMIG, 2018).

Figura 1 - Smart Grid



Fonte: CEMIG, 2018.

Os benefícios do desenvolvimento de smart grids atinge quatro diferentes áreas da sociedade, economia, eficiência, segurança e sustentabilidade (SONDA, 2018).

Economicamente, com a utilização da rede inteligente, é possível reduzir o consumo em até 20% após a sua implementação. Mas ainda é alto o valor investido nessa tecnologia. Em 2016, foram ultrapassados os 100 milhões de dólares investidos em diversos projetos pelo mundo (STATISTA, 2016).

Outra grande vantagem dessa instalação é a eficiência energética que, associada a questão da geração distribuída, podem reduzir a demanda geral da rede, ou ainda, com o armazenamento de energia produzida fora do horário de ponta, podendo ser usada posteriormente. Dessa forma, torna-se interessante para a concessionária de energia gerir toda a sua rede de forma online.

Já na questão de segurança, as smart grids contam com medidas e tecnologias que ajudam a tornar a operação mais segura possível. Primeiramente, porque há processadores que executam esquemas especiais de segurança em microssegundos. Somado a isso, sensores e aplicativos inteligentes captam qualquer distúrbio ou disfunção, sinalizando áreas a serem isoladas e desligando sistemas quando há a incidência de perigo. Com esses recursos, é possível gerir os ativos, reduzir a vulnerabilidade, criar microgrids e controlar acessos.

A necessidade de buscar por soluções sustentáveis é um tema recorrente no mundo. E isso se refere tanto ao ponto de vista econômico como à perspectiva ambiental. E, as smart grids também trazem benefícios nesse sentido.

Do ponto de vista ambiental, a solução amplia a utilização de energias renováveis e controla os impactos ambientais. Junto a isso, uma das propostas das redes inteligentes é a descentralização da produção de energia. Esse movimento estimula formas sustentáveis, como a energia eólica e a solar, fazendo com que qualquer pessoa ou empresa possa produzir energia. Com isso, os valores das faturas são reduzidos, armazenando e até vendendo o excedente (SONDA, 2018).

Resumidamente, pode-se concentrar os benefícios para as concessionárias e para os consumidores.

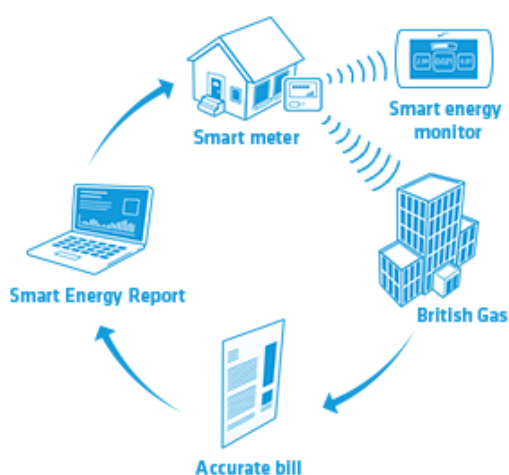
Para as concessionárias, destacam-se: aumento da eficiência dos sistemas, diminuição dos custos de operação, diminuição das perdas, aumento da qualidade do serviço, maior controle da demanda de energia, novos modelos de negócio e aumento da segurança.

Já para os consumidores tem-se um aumento sobre o controle do consumo, redução do valor das contas de energia, acesso a novos serviços e mais opções de cobrança e tarifação, como tarifação horária e energia pré-paga (SONDA, 2018).

2.1.2 SMART METERS

Semelhante ao sistema de monitoramento apresentado neste trabalho, os *Smart Meters* são medidores inteligentes capazes de medir níveis de consumo de gás e de eletricidade. Esses níveis podem ser apresentados digitalmente, representando leituras dos medidores para a concessionária de energia. Além de apresentar uma conta de energia mais detalhada, possibilita o monitoramento em tempo real do quanto e como se está consumindo. A Figura 2 mostra o ciclo do monitoramento, começando pelo consumo, chegando na concessionária, disponibilizando os dados e resultados para consulta do consumidor.

Figura 2 - Smart Meter



Fonte: British Gas, 2018.

Esses medidores inteligentes apresentam muitos benefícios, destacando-se a maior confiabilidade e segurança na rede, integração de

sistemas possibilitando novas formas de serviços e controle e automação por comandos remotos.

Para os consumidores, apresentam uma gestão online do consumo e formas alternativas de consumo, como, por exemplo, energia pré-paga.

E para a concessionária, possibilita um controle online do consumo de energia nas residências, tarifação horosazonal, detecção de fraudes, perfil de carga online e melhor interação com o consumidor (ECIL, 2018).

As leituras de um medidor são enviadas eletronicamente para o consumidor, significando que não há nenhum gasto de logística quando se precisa de uma leitura. Assim, mesmo que o consumidor não esteja em casa, é possível realizar a leitura do consumo mensal.

É importante ressaltar que os medidores inteligentes não reduzem diretamente a conta de energia, mas possibilitam a apresentação de muitas informações que podem contribuir para uma redução do consumo. Pode-se identificar quando uma casa está começando a consumir muita energia, permitindo tomadas de decisões que visem uma maior economia.

2.1.3 OPEN ENERGY MONITOR

A grande parte de medidores inteligentes conhecidos hoje no mercado são derivados de um projeto *Open Source* denominado como *Open Energy Monitor*, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global (*Open Energy Monitor*, 2018).

Seu funcionamento básico, consiste em medições feitas por sensores que mandam informações para um processador central onde são tratadas as informações, a fim de enviar como informação final todo o levantamento de consumo de energia elétrica de uma maneira simplificada e compreensível a qualquer pessoa (BRITO, 2016).

2.2 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Segundo Silva (2004), os sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e, posteriormente, apresentadas ao usuário. Estes sistemas também são chamados de SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Os supervisórios possuem uma característica que é de grande importância nas indústrias, pois permitem ao usuário a facilidade de obter informações de um sistema em tempo real, devido ao fato dele ter autonomia para gerar e organizar os dados de saída através da elaboração de gráficos e relatórios, tornando a interpretação desses dados simplificada.

Outra característica importante do sistema é detectar anormalidades e informar eventuais situações de risco ao operador, ou seja, quando o sistema ultrapassa os limites normais de operação estabelecidos, assim é possível programar um mecanismo de alarme, através de mensagens, luzes e sons que informe que o sistema está operando de forma indesejada.

Os sistemas supervisórios possuem diversas funções, porém entre as que possuem maior relevância nas aplicações industriais, podem ser citadas:

- Apresentação de valores de variáveis de processo em tempo real;
- Geração de gráficos de tendência de variáveis de processo;
- Anunciação e reconhecimento de alarmes;
- Sinalização de estado operacional de equipamentos;
- Ligar e desligar equipamentos;
- Registro de eventos;
- Alteração de parâmetros de operação:
- *By-pass* e entrada;
- Parametrização de instrumentos;
- Registro histórico de variáveis de processo;
- Armazenamento e recuperação de dados de equipamentos;
- Emissão de relatórios.

Desta forma pode-se entender que sistemas supervisórios são sistemas que são programados com a função de supervisionar e controlar variáveis de um processo e apresentar as informações necessárias de uma forma amigável ao operador. As variáveis de interesse da rotina a ser supervisionada geralmente possuem leitura em tempo real através dos equipamentos de aquisição de dados. O controlador por sua vez possui a função de processar esses dados e aplicar as ações devidas para que o processo funcione da maneira desejada, e também intervir quando o sistema detectar alguma falha ou reconhecer uma provável falha antes que ela ocorra. O sistema de supervisão permite que os dados sejam monitorados através de um software de uma forma gráfica, apresentando todos os valores registrados e suas tendências (JURIZATO, 2003).

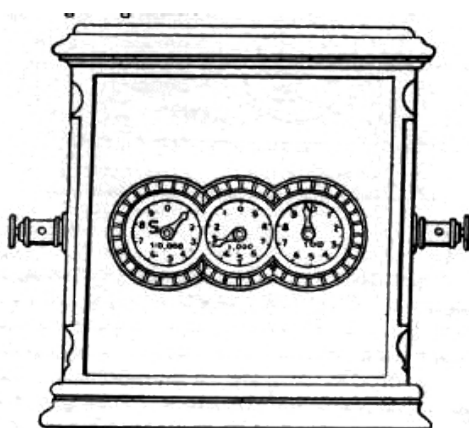
Com a modernização dos sistemas supervisórios há uma diversidade de aplicação desses sistemas, desde processos simples residenciais que envolvem uma ou duas variáveis como verificar se uma porta está aberta até sistemas industriais mais complexos que envolvem diversas variáveis de controle.

No aspecto comercial, existem algumas empresas que oferecem esse sistema, porém, são equipamentos robustos com alta tecnologia empregada, elevando consideravelmente os custos iniciais dessa solução.

2.3 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA

O primeiro medidor de energia conhecido foi patenteado no século XIX, nos Estados Unidos, por Samuel Gardiner (LIMA e PEREIRA, 2011). Era, basicamente, um relógio acoplado a um eletroímã. Esse medidor, ilustrado na Figura 3, operava em corrente contínua expressando resultado da medição na unidade de medida lâmpada-hora. Isto é, a medição tinha como base o tempo em que uma lâmpada pré-definida permanecia acesa.

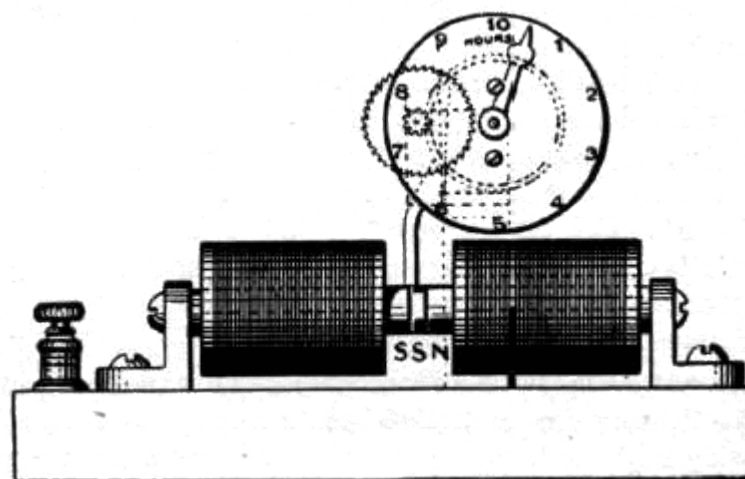
Figura 3 - Medidor de lâmpada-hora de Samuel Gardiner.



Fonte: LIMA e PEREIRA (2011).

Em 1878, um novo tipo de medidor foi concebido. Igualmente referenciado à unidade de medida lâmpada-hora, porém operando em corrente alternada, o protótipo foi patenteado por J. B. Fuller. Diferentemente do anterior, seu mecanismo de funcionamento se baseava na vibração de um par de bobinas que vibravam de acordo com a frequência de alimentação de um relógio, possibilitando assim a medição do consumo. A Figura 4 ilustra o esquema de funcionamento do primeiro medidor de corrente alternada.

Figura 4 - Medidor de Lâmpada-Hora de 1878, J.B. Fuller

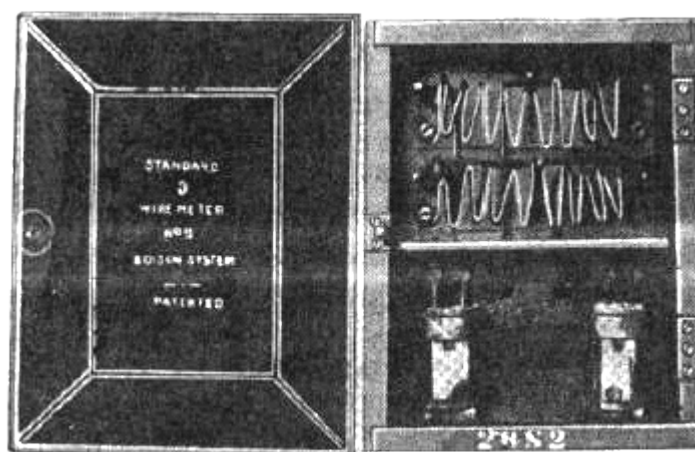


Fonte: LIMA e PEREIRA (2011).

Tal tipo de medidor só se mostrava eficiente para cargas conhecidas, não sendo de bom uso para cargas com variação de potência durante o período de medição.

O primeiro medidor que de fato conseguiu medir a quantidade de energia consumida (contrapondo-se ao tempo de duração da energia) foi criado por Thomas Edison, em 1882, mostrado na Figura 5. Esse medidor ampère-hora incorporava duas placas de zinco mergulhadas em uma solução condutora e conectadas em série com o circuito elétrico (VAZ, 2012). A medição do consumo era então realizada a partir de medições mensais das placas de zinco e o resultado obtido por diferença entre as medições realizadas.

Figura 5 - Medidor químico de energia elétrica desenvolvido por Thomas Edison.



Fonte: LIMA e PEREIRA (2011).

Os primeiros medidores watt-hora datam de 1903, comercializados em massa pela General Electric. Tal tecnologia de medição foi então amplamente utilizada até o início da década de 70 e adotada por diversos fabricantes.

A partir da década de 1970 começaram a surgir novos avanços na medição de energia elétrica. Surgiram os medidores híbridos que faziam uso do sistema mecânico tradicional, porém dotados de visores eletrônicos para facilitar a leitura do consumo de energia. No setor elétrico brasileiro, os medidores eletrônicos passaram a surgir apenas na virada da década de 1980 para 1990.

2.3.1 Medidores Eletromecânicos

Com um baixo custo e grande disponibilidade no mercado, o medidor eletromecânico ainda representa a tecnologia de medição dominante no setor elétrico brasileiro. Fazendo uso da unidade de medida watt-hora, possui como princípio de funcionamento a indução. O instrumento possui uma bobina de corrente que conduz a corrente de linha e uma bobina de potencial, que mede a tensão da energia que por ela passa. Os dois enrolamentos estão sob uma estrutura metálica criando, assim, dois circuitos eletromagnéticos. No campo de ação do campo magnético da bobina de corrente está localizado um disco de alumínio, para que nele sejam induzidas correntes parasitas. Assim, o disco gira em torno de seu próprio eixo.

A medição, feita em kWh, se dá a partir da quantidade de rotações feitas por esse disco de alumínio, que representa, proporcionalmente, a quantidade de energia consumida no período.

2.3.2 Medidores Eletrônicos

Diferentemente dos medidores eletromecânicos, os eletrônicos não possuem engrenagem mecânica, que se constitui no mecanismo primário da medição tradicional do consumo de energia elétrica.

Os medidores eletrônicos possuem como método de medição transdutores de corrente e potência, alimentados por sinais de entrada. A potência é obtida via bloco multiplicador e a energia via bloco registrador. As informações de consumo são registradas e armazenadas em um bloco registrador.

Esse tipo de sistema de medição, cada vez mais utilizado pelo setor elétrico brasileiro, possibilita ao sistema de distribuição um controle mais eficaz no dimensionamento das demandas.

2.4 IMPORTÂNCIA DO GERENCIAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO

Atualmente a competitividade está cada vez mais acentuada e a margem de lucro cada vez mais apertada. A redução de custos é uma tarefa

constante na vida do pequeno empresário, porque isso pode significar manter a empresa atuante no mercado competitivo. A energia tem um papel importante nesse cenário de redução, porque ela é um insumo básico e essencial para qualquer atividade exercida. O empresário deve buscar alternativas para a redução dos gastos com energia elétrica e ao mesmo tempo contribuir para a preservação do meio ambiente. E a eficiência energética é uma aliada importante nessa empreitada (SEBRAE, 2017).

Um levantamento da ABESCO [2] em 2015, mostra que o desperdício de energia no Brasil gerou perdas de 12,6 bilhões de reais naquele ano. Esse dado comprova a necessidade da implementação de estratégias que contribuam para que o país seja mais eficiente energeticamente.

Infelizmente a conta de energia elétrica não é detalhada suficientemente para saber como se gastou energia naquele mês. Ou ainda, em escritórios e casas compartilhados, não se sabe quanto cada pessoa, ou cada ambiente consumiu de energia.

Dessa forma, torna-se necessária a ideia de tornar mais justo o valor que cada consumidor deve pagar em um ambiente compartilhado. Como medições separadas, em um ambiente de fácil entendimento e com o consumo detalhado de cada circuito, tem-se um controle do gasto pessoal.

Tornando possível a supervisão em tempo real do consumo energético, o conceito de gerenciamento de energia fica evidenciado, sendo os principais atrativos a diminuição dos gastos e um controle detalhado do consumo.

2.5 SISTEMAS COMERCIAIS

Como já abordado, um maior detalhamento do consumo de energia é muito importante para entender como se está consumindo e pelo quê está se pagando. Mas, ainda, são poucas as ferramentas comerciais que possibilitem essa análise.

Por se tratar de um tema que está em constante desenvolvimento no país, o monitoramento de energia elétrica está muito mais presente em indústrias do que no comércio e em residências, já que se trata de mercados diferentes.

Dependendo da aplicação a que se destinam, existem sistemas de monitorização que medem os consumos de apenas um equipamento elétrico e outros que conseguem medir os consumos totais de eletricidade realizados numa habitação (JOSUÉ, 2010). A seguir, são apresentados alguns sistemas comerciais.

- *Wattson*

Desenvolvido pela empresa inglesa Diy Kyoto, o Wattson possui um sensor de corrente, um transmissor sem fios e um visor. O sensor de corrente e o transmissor sem fios são instalados no painel elétrico e colhem os valores de corrente de um circuito. O visor recebe o valor de corrente lido pelo sensor e calcula a potência, a energia e os custos e até emissões de CO₂ associadas. Na Figura 6 está ilustrado o módulo de visualização do Wattson.

Figura 6 – Wattson



Fonte: Dyi Kyoto, 2018

Contudo, este sistema não mede a tensão do circuito e, por isso, não calcula o fator de potência. Logo em circuitos com baixo factor de potência, o Wattson apresenta um erro considerável nos valores calculados de potência e, conseqüentemente, nos valores de energia e custos energéticos (DIY KYOTO, 2018). Seu custo aproximado é de R\$ 485.

- *Power-Mate*

O *Power-Mate* é um produto da australiana CCI (*Computer Control Instruments*), pode medir com precisão e calcular potência, tensão, corrente e energia consumida por uma carga. Pode determinar o custo real do consumo e quanta energia o aparelho usou em quilowatt-hora, com aquisições de dados de hora em hora. Apresenta um *display* LED para facilitar a leitura e possui uma elevada resolução e sensibilidade, permitindo medições na ordem de miliampère. Seu custo aproximado é de R\$ 450 reais. Sua principal desvantagem é que esse produto só é capaz de medir um equipamento, sendo inviável uma medição mais ampla.

Figura 7 - Power-Mate



Fonte: CCI, 2018

- CW500

O CW500, é desenvolvido pela empresa japonesa Yokogawa. Com apenas esse dispositivo, é possível ler a tensão e a corrente e ainda analisar as informações num visor LCD. Este sistema consegue medir o valor eficaz da tensão e da corrente, a potência ativa e reativa, o fator de potência, a energia ativa e a frequência. Permite também guardar todos estes dados numa

memória interna ou num cartão que pode depois ser usado num computador. Este sistema é vendido com um programa de computador que analisa os dados guardados no cartão. Devido às funcionalidades e ao fato de possuir um erro de medição baixo (inferior a 1,2%), o CW500 apresenta um preço bastante elevado, 2700 dólares. (Yokogawa, 2018).

Figura 8 - CW 500



Fonte: Yokogawa, 2018.

Apesar de se tratar de um produto completo, com muitas funcionalidades, o produto se torna inviável para medições residenciais em larga escala.

2.6 ARDUINO

O Arduino é uma plataforma de *hardware* livre, projetada com um microcontrolador que pode ser programado em linguagem C. Possui uma rica biblioteca de exemplos de programas com funcionalidades de placa, disponíveis para *download* (PROCOPIO et al, 2011).

As placas Arduino são capazes de ler entradas - luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem do Twitter - e transformá-lo em uma saída - ativando um motor, acendendo um LED, publicando algo online. (ARDUINO, 2017).

O Arduino foi criado em 2005 pelo professor Massimo Banzi na Itália com o objetivo de criar uma ferramenta de baixo custo com estrutura semelhante à de um computador. Essa placa trouxe uma maior facilidade para criação de protótipos, sendo uma ferramenta flexível e fácil de se usar, se tornando uma ferramenta chave no desenvolvimento de novas ideias.

Desde que foi lançado o Arduino tem sido utilizado em milhares de projetos, desde sistemas mais simples como acender a luz de uma casa até instrumentos científicos mais complexos. Professores, alunos e profissionais usam para construir instrumentos de baixo custo, para provar princípios de química e física, para começar com programação e robótica ou para implementar um sistema que lhe seja de interesse.

Com a propagação da plataforma Arduino foram lançados uma variedade de modelos de placas disponíveis no mercado, porém o Arduino UNO é o mais popular, tendo uma vasta documentação disponível, é o mais querido dos blogs em tutoriais.

Desta forma, apaixonados por tecnologia, amadores e desenvolvedores podem utilizar dessa plataforma na aplicação de soluções eletrônicas de problemas. Por ser uma ferramenta acessível e fácil de ser utilizada os usuários podem usufruir desse mecanismo para implementar os seus projetos e ideias sem um alto valor de investimento tornando as soluções eletrônicas mais acessível a todos.

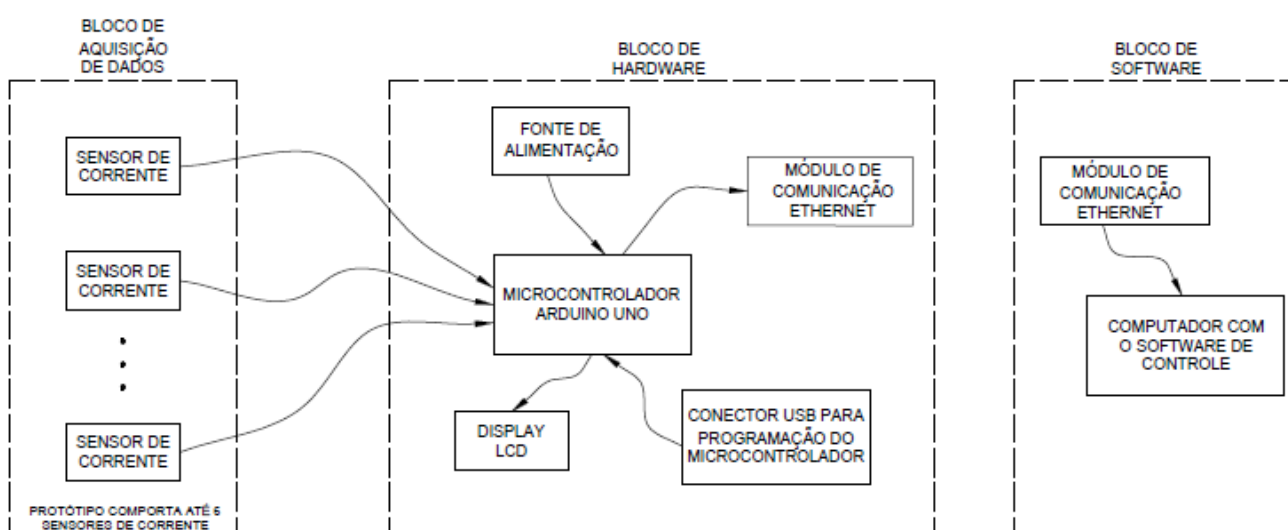
3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um protótipo de medição conjunta para rateio de energia em residências ou ambientes que possuem o consumo de energia compartilhado, por exemplo pensionatos, repúblicas, kitnets, salas comerciais, entre outros.

Para a elaboração desse protótipo são utilizados os componentes conforme ilustrados no diagrama de blocos da Figura 9 e suas respectivas interligações. Os componentes principais e suas funções serão abordados nos próximos itens deste capítulo.

O protótipo proposto é desenvolvido por um conjunto de 3 blocos, sendo um composto pelos sensores de corrente que serão responsáveis pela leitura das correntes demandadas por circuito, outro bloco é composto pela fonte do Arduino de 12 V, o microcontrolador Arduino, um módulo de comunicação *Ethernet* para acesso com o computador ou smartphone e um *display* que é a interface do hardware. O microcontrolador possui uma porta USB que é a entrada no Arduino que será utilizada para a programação. O terceiro bloco é composto pelo software que é desenvolvido e utilizado para exibição dos resultados.

Figura 9 - Diagrama de blocos do protótipo.



Fonte: Os autores, 2018.

3.1 SENSOR DE CORRENTE

O componente eletrônico de aquisição de dados utilizado para monitoramento das correntes de cada circuito é o sensor de corrente SCT013 da YHDC, Figura 10, desenvolvido para aplicação em diversos circuitos elétricos. É compatível com o Arduino e entre outras plataformas de prototipagem é uma opção de qualidade e eficiência quando se fala em medir correntes de até 100 A sem ser invasivo (YHDC, 2018). A grande vantagem deste sensor, para o protótipo proposto, é que para instalá-lo não é necessário interromper o circuito a ser medido, pois ele funciona de forma não invasiva à qual o cabo é apenas envolvido pelo sensor.

O sensor de corrente YHDC é utilizado no desenvolvimento de diversos projetos. Ele realiza o monitoramento de corrente e possui papel fundamental em diversos sistemas podendo ser utilizado em proteção de motores, cálculo de potência de circuitos de iluminação e diversos outros sistemas elétricos.

Este sensor possui dois fios que estão ligados diretamente à um plug P2, que pode ser facilmente retirado e utilizado de forma direta no projeto. A medição feita através deste componente é necessária para calcular o consumo de cada carga e estimar qual a contribuição de cada centro de consumo na fatura final do mês.

A utilização deste sensor é simples, sendo necessário apenas envolver um dos cabos que alimentam o circuito da carga a ser alimentada, neste caso como a carga considerada é monofásica o sensor será envolto sobre a fase após o disjuntor de proteção.

Figura 10 – Sensor de corrente YHDC não invasivo.



Fonte:YHDC, 2018.

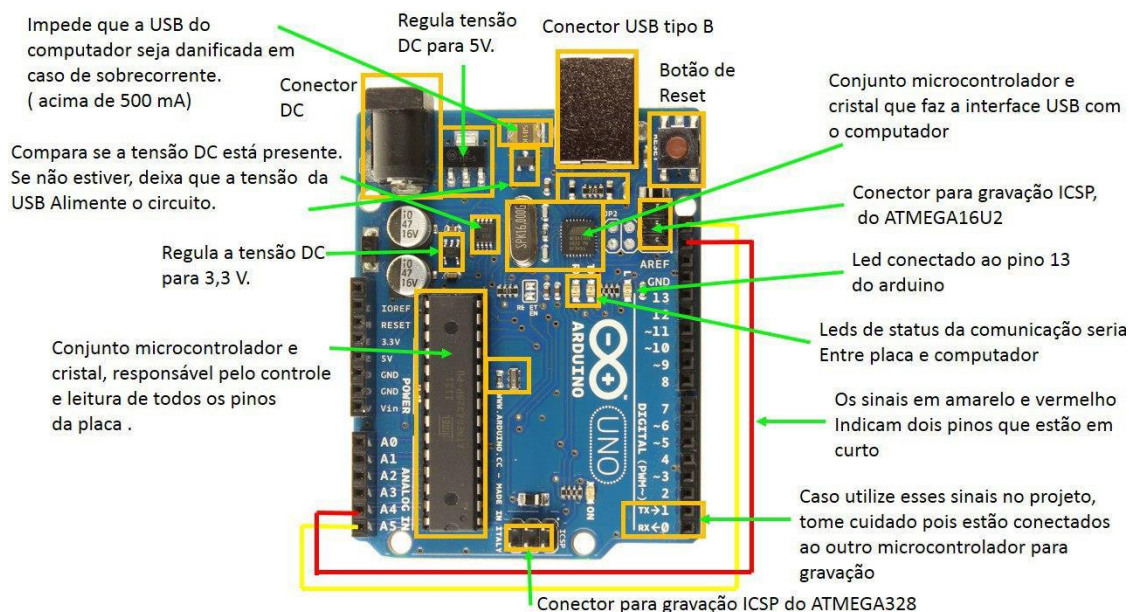
3.2 ARDUINO UNO

Para o desenvolvimento do protótipo do sistema de gerenciamento de energia deste trabalho será utilizada a placa Arduino UNO. Sua alimentação será feita através de uma fonte de alimentação externa. A tensão de funcionamento da placa Arduino UNO é 5V, o componente principal é o microcontrolador Atmel ATMEGA328 um dispositivo de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28.

O microcontrolador ATmega328 tem 14 pinos digitais de entrada / saída (dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, uma conexão USB, uma tomada de força, um cabeçalho ICSP e um botão de reinicialização (RIOS et al,2012).

A placa Arduino UNO, mostrada na Figura 11, é programada através da comunicação serial USB, pois o microcontrolador vem programado com o bootloader. Dessa forma não há a necessidade de um programador para fazer a gravação do binário na placa. A comunicação é feita através do protocolo STK500 (ARDUINO, 2017).

Figura 11 - Placa do Arduino UNO.



Fonte: Arduino, 2018.

O Arduino UNO foi escolhido para ser utilizado no protótipo devido à sua grande aplicação em diversos trabalhos já desenvolvidos. Por ser uma ferramenta simples e acessível, além de possuir um *hardware* mínimo, com várias características interessantes para este projeto que são as 6 portas A/D, suporte para comunicação *bluetooth* além da praticidade de possuir uma porta USB que facilmente pode ser conectada a um computador para programação.

Foram utilizadas as entradas analógicas para receber os sinais provenientes dos sensores de corrente, esses sinais serão convertidos em sinais digitais pelo microcontrolador e os dados coletados serão armazenados e enviados através de um módulo de comunicação *ethernet* para um computador que processará toda essa informação a partir de um *software* e exibirá os dados ao usuário.

3.3 COMUNICAÇÃO *ETHERNET SHIELD*

O *Ethernet Shield* 5100 é uma placa de comunicação *ethernet* que possui praticidade na conexão física com o Arduino. Ela é baseada no *chip* WIZnet *ethernet* W5100, permitindo o acesso do arduino através dos protocolos TCP/IP ou UDP.

Figura 12 - *Ethernet Shield* w5100.



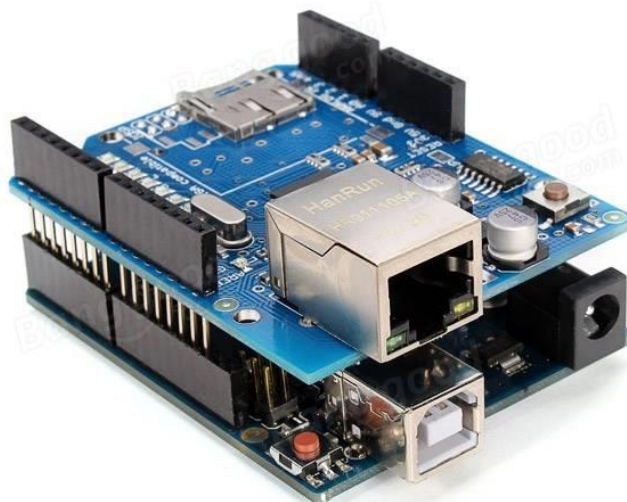
Fonte: Arduino, 2018.

Essa placa é baseada no ATmega328, possui quatorze pinos de entrada e saída, seis entradas analógicas, um oscilador de cristal de 16 MHz. Além disso, apresenta uma entrada para conexão via RJ45, uma entrada para a fonte de alimentação, um conector ICSP (capaz de transferir programas para um componente enquanto ele está instalado em um sistema, utilizando protocolos seriais) para a gravação do *firmware* (que são as instruções programadas diretamente no *hardware*) e por fim um botão de *reset* (Arduino, 2018).

Diferente das outras placas, a *Ethernet Shield* não possui a opção do conversor USB para serial integrado (faz-se presente na placa do Arduino UNO). Mas isso é compensado com uma interface *Ethernet Wiznet*.

Outro ponto positivo é o leitor de cartão microSD integrado, utilizado para armazenar arquivos, como imagens, que são utilizadas na página do navegador. E é acessível através da biblioteca SD.

Figura 13 - *Ethernet Shield* w5100 acoplada ao Arduino UNO.



Fonte: Banggood, 2018.

Como ilustrado na Figura 13, a placa *Ethernet Shield* w5100 é acoplada em cima do Arduino UNO, havendo uma interconexão entre alguns pinos. O

pino IOREF permite que os shields se adaptem à tensão fornecida pela placa, seja 3,3 volts ou 5 volts, as mais comuns.

Outro pino importante é o RESET que está conectado ao pino de mesmo nome no microcontrolador. Utilizado para um reset externo, forçado, do Arduino.

Ainda tem-se os outros pinos, comuns à vários microcontroladores. GND (referência ou terra), VIN (pino de alimentação através de fonte externa) e pinos de entrada e saída (I/O), que incluem pinos analógicos, digitais e PWM.

3.4 FIRMWARE

Desenvolvido através do microcontrolador Arduino UNO, é o programa responsável por receber os dados emitidos pelos sensores de corrente, calcular a potência instantânea e, finalmente, o consumo final, representado em watt-hora. Utiliza-se então a plataforma wireless para comunicação e envio dos dados para o *software*.

Os sensores de corrente irão enviar os dados coletados para o arduino. Lá eles serão calculados, processados e transformados em valores que são apresentados no *display* LCD e no aplicativo. Ao ser requisitado pelo usuário, os valores podem ser vistos através de gráficos de consumo, valores tabelados, para que seja possível fazer comparações de consumo entre dias, semanas, etc.

3.5 SOFTWARE

Software é uma rotina ou conjunto de instruções que controlam o funcionamento de um computador indicando quais ações devem ser tomadas para funcionar da forma desejada pelo usuário.

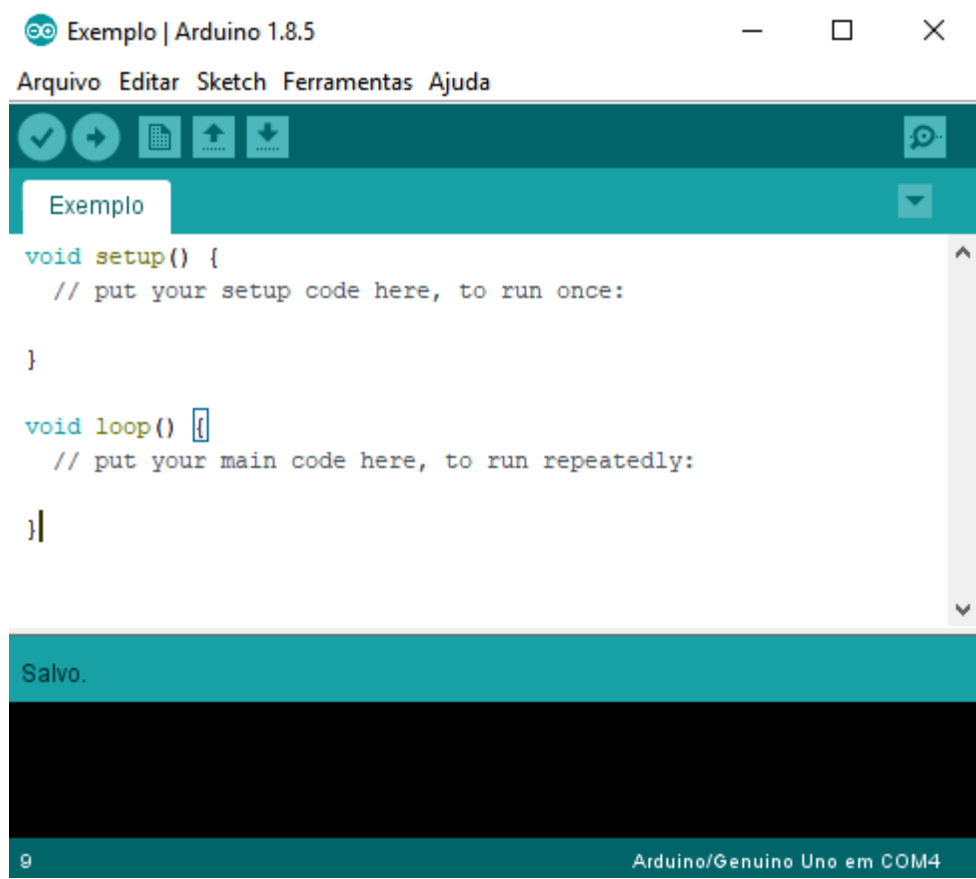
Para o desenvolvimento do protótipo foi necessário a utilização de três etapas de programação de software, sendo uma responsável pela aquisição de dados no arduino e fornecê-los a uma página IP na internet, a segunda de armazenamento dos dados que estavam na página para um banco de dados MySQL e a última etapa foi o desenvolvimento da interface de apresentação

dos dados coletados apresentando-os em uma página de internet que pode ser acessada remotamente, podendo consultar os dados registrados de forma gráfica e as medidas instantâneas dos circuitos.

Os *softwares* são fundamentais para o funcionamento do protótipo, pois eles são responsáveis por receber os dados, organizar e demonstrar de uma forma que seja fácil o entendimento do usuário. Ele pode ser executado em um microcontrolador, computador ou um aplicativo para celulares.

A primeira etapa do *software* foi desenvolvida na plataforma arduino utilizando software de programação próprio do arduino, conforme ilustrado na Figura 14 que pode ser baixado gratuitamente na página do fabricante. Com o auxílio de trabalhos já concluídos e tutoriais disponíveis em fóruns de programação foi elaborado um código que realiza a seguinte função: primeiramente é feita a leitura dos dados com o auxílio do sensor de corrente conectado em uma das portas A/D do arduino e os dados registrados pela porta são convertidos para valores de corrente Irms, esta conversão se dá através de um recurso da biblioteca *emonlib*, na qual identifica-se a porta analógica que está conectada o sensor e dentro do *loop* chama a função “`circuito1.calclrms(1480)`” que transforma o valor para corrente Irms.

Figura 14 - Página de programação do Arduino.



Fonte: Os autores, 2018.

Após se obter os valores das correntes do circuito é realizado um processo de simples conversão de corrente para potência, sendo fixado o valor de tensão em 127 V e multiplicando a corrente pela tensão foi obtido o valor aproximado da potência em cada circuito.

$$P = V.I \quad \text{Eq. [1]}$$

Com o auxílio da plataforma *Ethernet Shield* e da biblioteca própria para comunicação com o arduino foi criado uma página IP e os dados de potência instantânea dos circuitos são registrados constantemente na página IP, esses dados são fornecidos na página para facilitar o armazenamento deles no banco de dados que será descrito na próxima etapa de programação.

A segunda etapa é a de armazenamento, nela os dados que são fornecidos na página de internet IP são armazenadas em um banco de dados MySQL, neste processo foi adotado que a cada 20 segundos o servidor busca as informações no endereço IP da página e armazena no banco de dados, pois

se fosse um tempo menor teria um grande número de dados armazenado, algo que deixaria o sistema mais lento no momento da busca quando necessário informar os dados ao usuário.

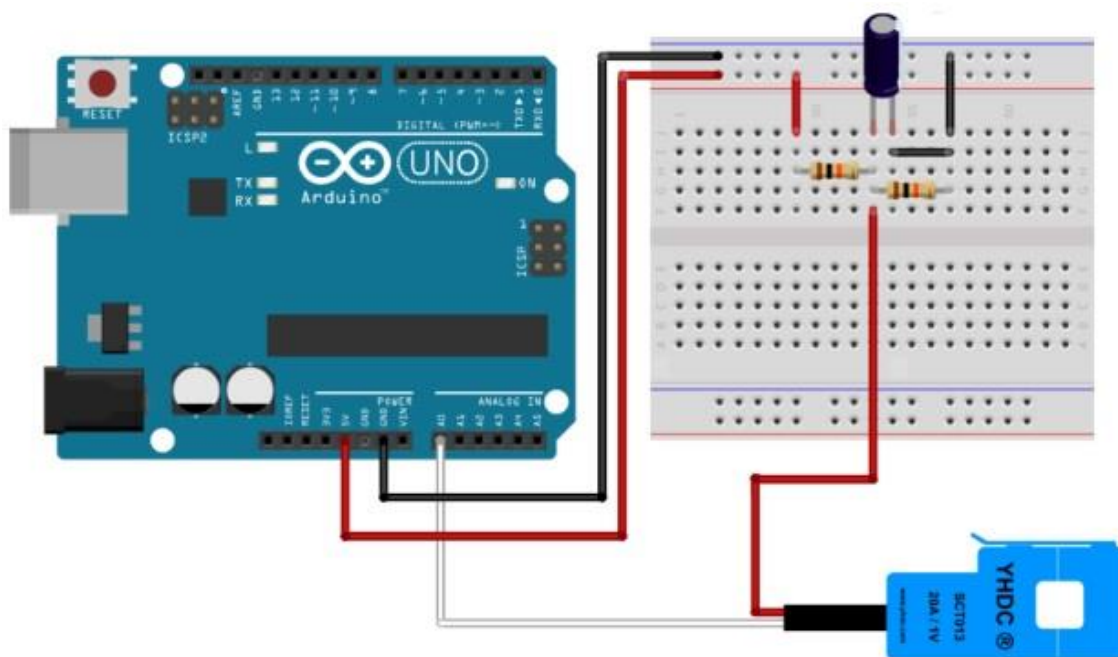
A terceira e última etapa faz uma interface gráfica de visualização dos dados, nela o usuário pode escolher qual o tipo de consumo que deseja visualizar, sendo ele diário, semanal ou mensal, podendo selecionar qual o dia semana ou mês, a interface também fornece ao usuário os dados instantâneos dos circuitos.

4. MONTAGEM DO PROTÓTIPO

O protótipo construído tem como objetivo realizar a leitura das correntes, calcular a potência (considerando a tensão constante) em até seis circuitos e armazenar as potências lidas e o horário medido em um banco de dados. Sendo capaz de informar ao usuário o consumo em um determinado dia, semana ou mês, conforme solicitado.

Para realizar a leitura da corrente dos circuitos foram montados seis circuitos de aquisição de dados semelhantes ao ilustrado na Figura 15, esse circuito basicamente consiste em um divisor de tensão composto por dois resistores de 10 k Ω em série, e um capacitor em paralelo com o ponto de conexão do sensor para estabilizar a tensão de referência.

Figura 15 - Circuito para medição das correntes.



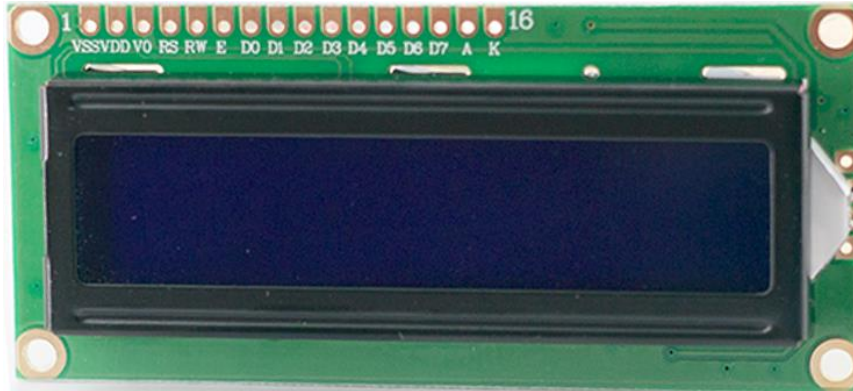
Fonte: Os autores, 2018.

O circuito tem a função basicamente de atribuir um *offset* no sinal captado pelo sensor para o microcontrolador não registrar um valor negativo no processo de amostragem do sinal.

Para iniciar a montagem do protótipo e os primeiros testes foi feito a conexão de um *display* de LCD em um protoboard para facilitar a leitura dos

dados medidos pelo sensor. A Figura 16 mostra o *display* empregado no protótipo.

Figura 16 - Display LCD 16x2.



Fonte: Os autores, 2018.

Este *display* dispõe de 16 colunas e 2 linhas. Para conexão com o circuito de comando do *display* existem 16 pinos, porém na conexão com o Arduino foram utilizados apenas 4 pinos de dados (D4, D5, D6 e D7) conectados respectivamente nas portas 2, 3, 5 e 6 do Arduino, e 2 pinos de controle (E e RS) conectados nas portas 7 e 8 do arduino. Além disto no pino 3 foi necessário utilizar um potenciômetro de 10k Ω para ajuste do contraste ligado do *display* LCD. A Tabela 1 mostra os pinos do *display* que devem ser conectados às portas do Arduino além de indicar quais devem ser conectados ao 5V, 0V e quais não precisam ser conectados para o funcionamento do *display*.

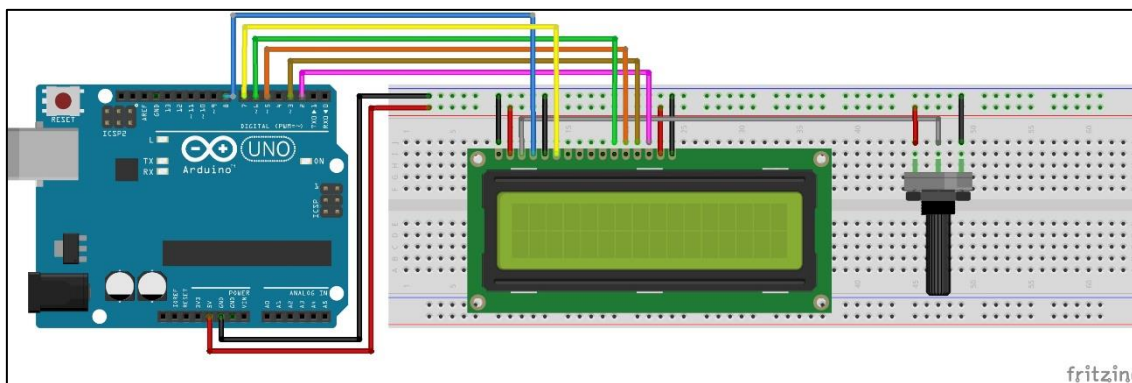
Tabela 1 - Conexões do *display* LCD 16x2 com o Arduino.

CONEXÕES DO DISPLAY LCD 16x2 COM O ARDUINO		
PINO LCD	FUNÇÃO	LIGAÇÃO
1	Vss	GND
2	Vdd	Vcc 5V
3	V0	Pino central do potenciômetro
4	RS	Pino 8 Arduino
5	RW	GND
6	E	Pino 7 Arduino
7	D0	Não conectado
8	D1	Não conectado
9	D2	Não conectado
10	D3	Não conectado
11	D4	Pino 6 Arduino
12	D5	Pino 5 Arduino
13	D6	Pino 3 Arduino
14	D7	Pino 2 Arduino
15	A	Vcc 5V
16	K	GND

Fonte: Os autores, 2018

O esquemático ilustrado na Figura 17 representa basicamente com deve ser feita a montagem e ligações em um *protoboard* do *display* LCD com o Arduino.

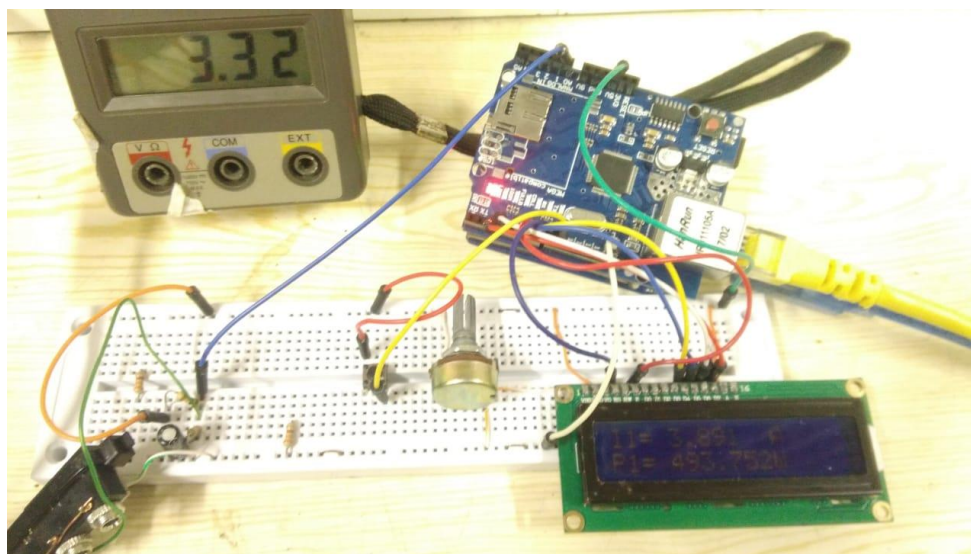
Figura 17 - Esquema de conexão do display LCD 16x2 com o arduino.



Fonte: Os autores, 2018.

Na foto ilustrada na Figura 18 pode-se analisar que o protótipo inicial foi obtido basicamente com a junção de uma estrutura de aquisição de dados (esquemático da Figura 15) com a estrutura de comunicação do *display* com o Arduino (esquemático da Figura 17) essa topologia já possibilita a calibração do sensor e primeiros testes do dispositivo.

Figura 18 - Protótipo inicial montado para calibração.



Fonte: Os autores, 2018.

No período de calibração do sensor não foi utilizado o dispositivo de comunicação *ethernet*, porém vale a pena ressaltar que para o funcionamento do protótipo como um todo é de grande importância a placa *Ethernet Shield*. Como foi visto no capítulo passado para inserção da comunicação *ethernet* no protótipo basta fazer um simples acoplamento do *Ethernet Shield* nos pinos do Arduino e realizar a programação desejada para transmitir ou receber dados.

Após finalizar os primeiros testes e calibração com o protótipo inicial, foi feito o desenvolvimento do *software* para funcionar conforme o esperado.

Ao finalizar a programação do protótipo e o conceito de funcionamento estar de acordo com o esperado e testar na topologia inicial foi desenvolvido um protótipo final. Para montagem desse dispositivo foram utilizados os materiais descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Materiais utilizados para elaboração do protótipo.

MATERIAIS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO				
Item	Descrição	Qtd.	Custo Unitário	Custo Total
1	Placa Perfurada 100 x 100mm para solda	1	R\$ 8,37	R\$ 8,37
2	Resistor 1/4W 10k Ω - conjunto com 10un.	2	R\$ 0,50	R\$ 1,00
3	Potenciômetro 10k Ω	1	R\$ 3,55	R\$ 3,55
4	Capacitor eletrolítico 10 μ F	6	R\$ 0,20	R\$ 1,20
5	Conector Fêmea P2 para PCI	6	R\$ 1,21	R\$ 7,26
6	Conector fêmea para CI e PCI com 40 pinos	1	R\$ 3,90	R\$ 3,90
7	Display LCD 16x2	1	R\$ 23,90	R\$ 23,90
8	Sensor Corrente Ac 30a Não Invasivo Sct-013-030	3	R\$ 38,00	R\$ 114,00
9	Arduino Uno R3 Atmega 328	1	R\$ 35,90	R\$ 35,90
10	Placa Ethernet Shield W5100	1	R\$ 42,80	R\$ 42,80
11	Conjunto de Jumper para conexões	1	R\$ 14,30	R\$ 14,30
CUSTO TOTAL PARA ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO				R\$ 256,18

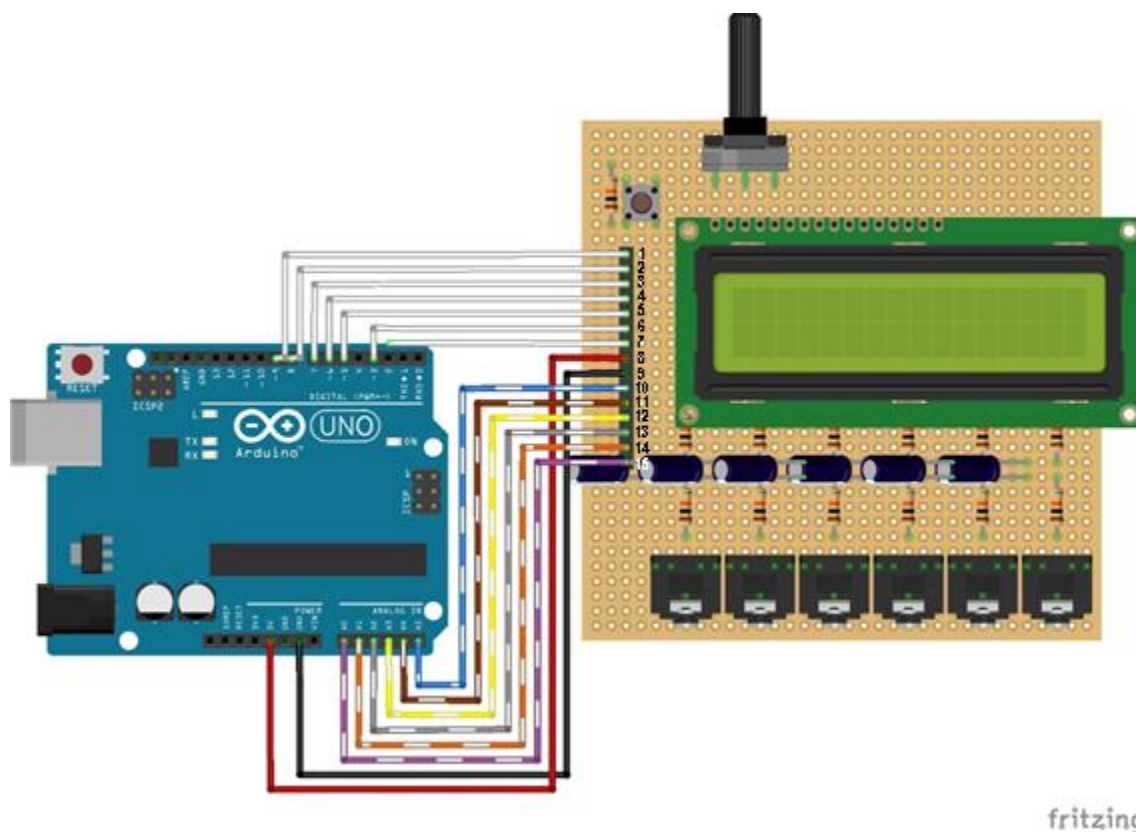
Fonte: Os autores, 2018.

Para a montagem final do protótipo foi gasto um valor de aproximadamente R\$ 260,00, porém esse custo não contemplou os materiais desperdiçados em retrabalho de soldas e o protoboard para os testes iniciais. Analisando a Tabela 2 o custo principal do protótipo estão sobre os sensores de corrente, desta forma pode-se reduzir o custo encontrando sensores com menores custos.

O protótipo foi confeccionado em uma placa perfurada para solda de 10x10cm. Nela foi feito um projeto de solda e layout dos componentes para facilitar o entendimento do protótipo, minimizar as trilhas de solda e agrupar os pinos de saída para facilitar a conexão da placa com o Arduino.

Com o auxílio do software fritzing foi realizado um esquemático para montagem da placa com os circuitos de aquisição e com o *display* LCD além do *push button*. Na Figura 19 pode-se verificar a topologia de solda utilizada a montagem do protótipo final.

Figura 19 - Esquemático da conexão da placa com o Arduino.

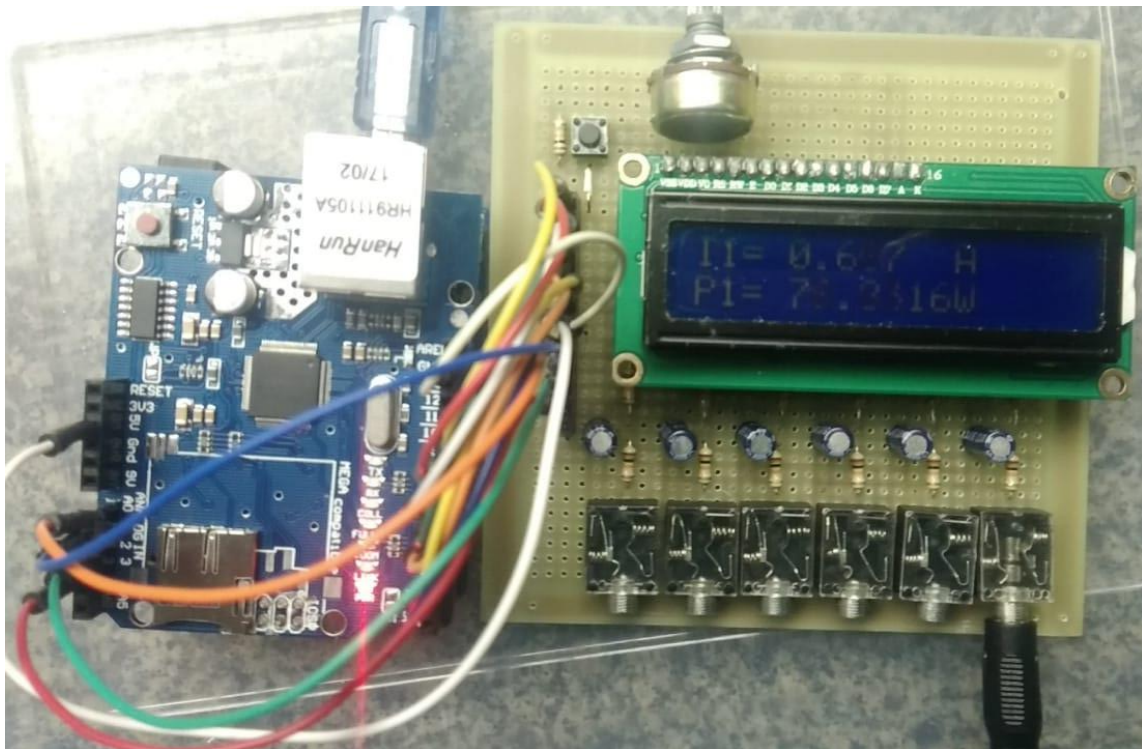


Fonte: Os autores, 2018.

No esquemático apresentado na Figura 19 pode-se verificar que para a conexão da placa de aquisição de dados com o Arduino foram utilizados 15 pinos para conexão de jumpers. O primeiro pino é responsável pela verificação do estado do *push button*, o pino 2 ao pino 7 são responsáveis pela comunicação do *display LCD*, o pino 8 conectado com o jumper vermelho é responsável pela alimentação 5V da placa e o pino 9 é conectado com o GND do Arduino. Do pino 10 ao 15 são os responsáveis por transmitir a medição realizada pelo sensor, estes pinos estão conectados diretamente com o conector P2 fêmea que serão ligados ao sensor de corrente.

Com base no esquemático projetado foi montado o protótipo final, sendo possível realizar a calibração e os testes finais e também realizar estudos de medições em campo.

A Figura 20 mostra a montagem final do protótipo após execução das soldas dos componentes, nesta imagem pode-se verificar que esta sendo feito uma leitura de um circuito em um dos primeiros testes.

Figura 20 - Protótipo finalizado.

Fonte: Os autores, 2018.

Após finalizar os procedimentos de montagem foram realizados os testes finais e o protótipo foi implantado para medição de sistemas isolados e em empresas e os dados foram armazenados em um banco de dados e apresentados em um site.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na implementação do protótipo, sendo dados de testes, calibrações e medições temporárias em painéis.

Para análise e testes do protótipo foi feito dois tipos de medições uma medição de cargas pontuais para calibração e verificação do erro do dispositivo e medição de circuitos gerais em painéis de uma empresa.

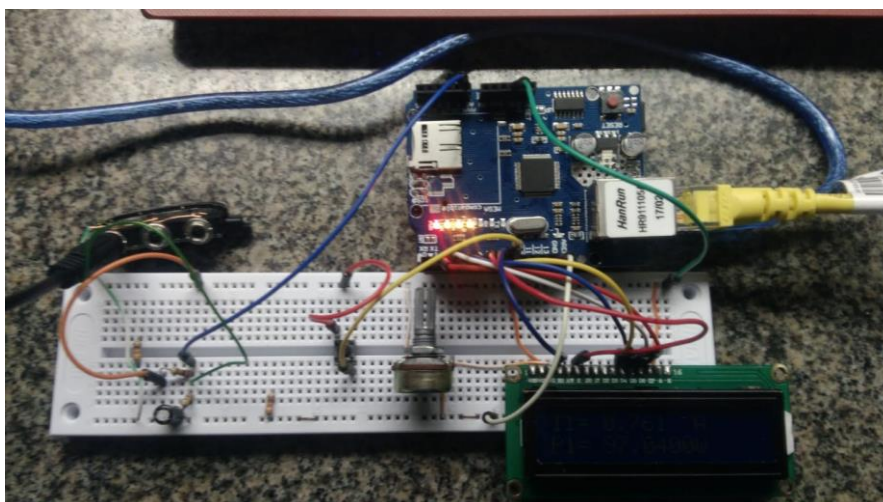
5.1 TESTES DO PROTÓTIPO

Os testes do protótipo foram realizados em etapas, inicialmente foi realizado o teste da comunicação do protótipo com o *display* LCD, depois foi realizado o teste da aquisição de dados do sensor de corrente, nesta etapa foram realizadas as calibrações dos sensores, afim de que as medições sejam as mais exatas possíveis, na sequência foi feito o teste de comunicação da placa *Ethernet Shield* com um computador, ao verificar que os dados medidos já estavam disponíveis na página de internet e no *display* LCD foi passado para a fase de programação de armazenamento dos dados e da interface gráfica de apresentação dos dados.

5.2 CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO ERRO DO PROTÓTIPO

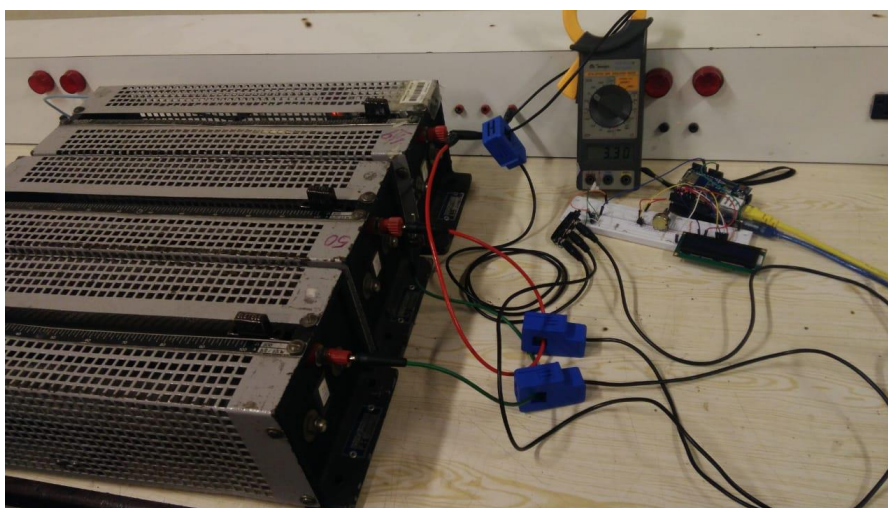
Para calibração dos sensores inicialmente foi montado o circuito de aquisição de dados inicialmente em um protoboard juntamente com um *display* LCD para facilitar a leitura dos dados lidos conforme ilustrado na Figura 21 e na Figura 22.

Figura 21 – Protótipo inicial para calibração do sensor de corrente.



Fonte: Os autores, 2018.

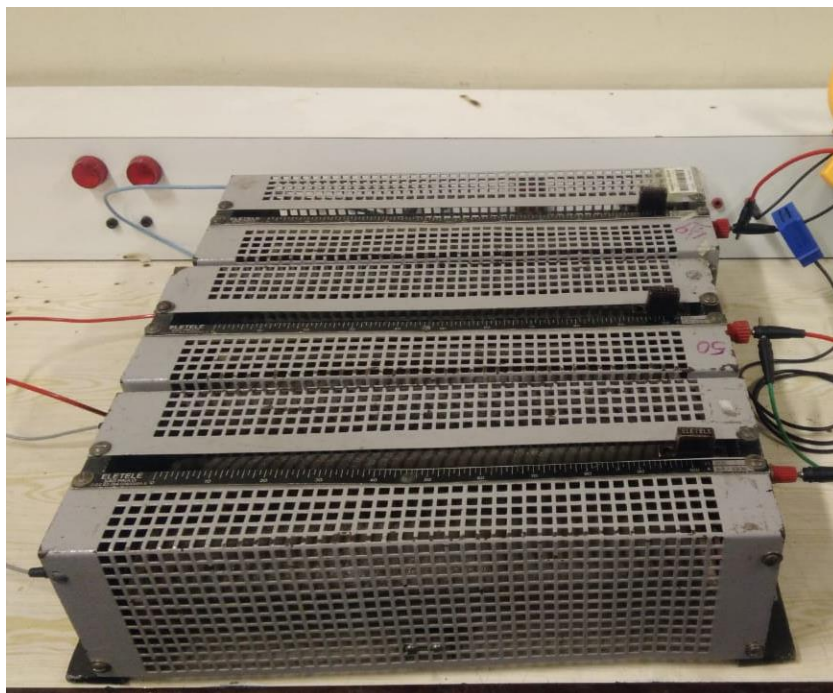
Figura 22 - Protótipo montado com os três sensores para calibração.



Fonte: Os autores, 2018.

Com o circuito montado foram utilizados três reostatos de aproximadamente 100Ω para realizar a variação da corrente, inicialmente para correntes menores foi medido a corrente de apenas um reostato e para atingir maiores correntes foram instalados os outros dois reostatos em paralelo conforme mostrado na Figura 23. Ao reduzir a resistência interna de cada um e aumentar a corrente foram coletadas várias amostras de leitura dos sensores.

Figura 23 - Carga utilizada para calibração dos sensores.



Fonte: Os autores, 2018.

Como corrente de referência foi utilizado um amperímetro em série com o circuito e com base nesse valor foi possível calcular o erro percentual atingido pelo protótipo.

Com as primeiras medições foi comparado o valor registrado pelo protótipo com o valor registrado pelo amperímetro, dessa forma foram ajustados os valores de calibração implícitos no código de programação dos sensores, conforme pode ser ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Parte do código para calibração dos sensores.

```
//Define os pinos analógicos como corrente e determina sua calibração.  
corrente1.current(0, 51.3);  
corrente2.current(1, 52.4);  
corrente3.current(2, 51.7);
```

Fonte: Os autores, 2018.

Com os sensores calibrados foram registrados amostras de corrente variando de 0,5 até 11A com um acréscimo de 0,5 A por amostra, esses valores foram armazenados em uma planilha de excel , conforme apresentado na Tabela 3, nesta tabela pode verificar o erro percentual para cada sensor.

Tabela 3 - Tabela de calibração dos sensores de corrente.

CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DE CORRENTE						
Corrente Amperímetro [A]	Corrente Circuito 1 [A]	Erro	Corrente Circuito 2 [A]	Erro	Corrente Circuito 3 [A]	Erro
0,53	0,542	-2,264%	0,55	-3,774%	0,542	-2,264%
1,05	1,075	-2,381%	1,043	0,667%	1,025	2,381%
1,58	1,6253	-2,867%	1,605	-1,582%	1,559	1,329%
2,03	2,0154	0,719%	2,052	-1,084%	2,075	-2,217%
2,57	2,603	-1,284%	2,633	-2,451%	2,568	0,078%
3,01	2,986	0,797%	3,038	-0,930%	3,082	-2,392%
3,6	3,629	-0,806%	3,577	0,639%	3,596	0,111%
4,15	4,135	0,361%	4,123	0,651%	4,118	0,771%
4,58	4,523	1,245%	4,582	-0,044%	4,624	-0,961%
5,17	5,138	0,619%	5,221	-0,986%	5,272	-1,973%
5,53	5,481	0,886%	5,637	-1,935%	5,653	-2,224%
6,02	6,094	-1,229%	6,173	-2,542%	6,125	-1,744%
6,48	6,562	-1,265%	6,527	-0,725%	6,584	-1,605%
7,08	7,158	-1,102%	7,152	-1,017%	7,21	-1,836%
7,5	7,623	-1,640%	7,628	-1,707%	7,722	-2,960%
8,03	8,097	-0,834%	8,129	-1,233%	8,125	-1,183%
8,49	8,523	-0,389%	8,647	-1,849%	8,475	0,177%
9,07	9,052	0,198%	9,258	-2,073%	9,053	0,187%
9,62	9,722	-1,060%	9,615	0,052%	9,728	-1,123%
10,03	10,133	-1,027%	10,189	-1,585%	10,255	-2,243%
10,56	10,68	-1,136%	10,736	-1,667%	10,637	-0,729%
11,02	11,35	-2,995%	11,224	-1,851%	11,316	-2,686%

Fonte: Os autores, 2018.

Na Figura 25 pode-se analisar um dos valores registrados no processo de calibração. Foi verificado que o valor presente no *display* LCD é de 3,629 W, correspondente ao valor do protótipo, e o valor registrado pelo amperímetro, que é de 3,60. Assim, destaca-se que esses valores são muito próximos, tendo um erro de apenas 0,806%, um valor que é considerado bom para um protótipo que tem o objetivo de analisar a proporção de energia consumida por cada circuito.

Figura 25 - Medição do circuito 1 na calibração dos sensores.



Fonte: Os autores, 2018.

Analisando os dados obtidos na Tabela 3 podemos verificar que o maior erro encontrado foi de 3,774% e que a média dos erros ficaram abaixo de 2%, um valor aceitável para um protótipo de medição de energia consumida, desta forma o protótipo cumpriu com o esperado considerando a precisão de medição de corrente.

5.3 TESTES DO SITE DE ACESSO DOS DADOS

Para acesso dos dados registrados pelo protótipo foi criado uma página que pode ser acessada via IP e conforme configuração da porta pode ser acessada remotamente. O *layout* da página criada pode ser verificada na Figura 26, nela pode-se realizar o acesso de dados durante as horas do dia, durante os dias da semana e durante as semanas do mês, além de poder também consultar o valor da potência medida instantânea dos circuitos.

Figura 26 - Tela Inicial do site para consulta dos dados medidos pelo protótipo.

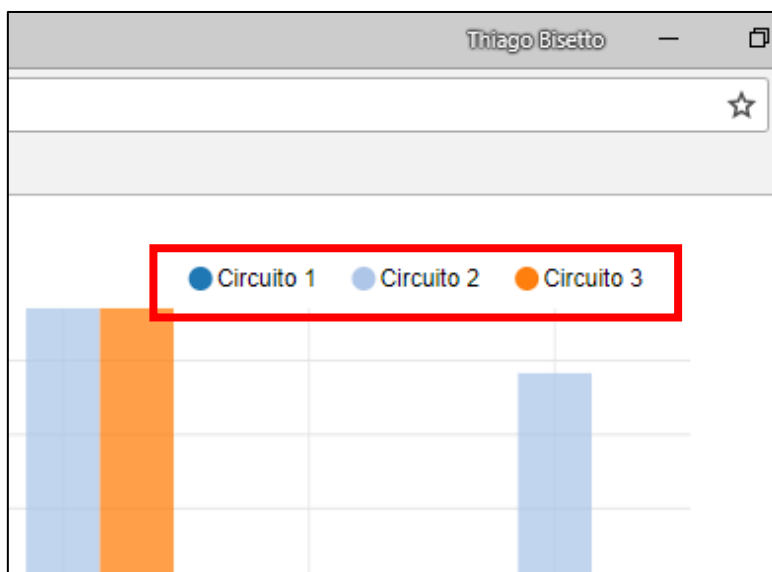


Fonte: Os autores, 2018.

Nos dois extremos da página pode ser feito a troca do período de consulta das medições, sendo utilizado tanto para progredir ou regredir os dias, semanas ou meses.

No canto superior direito do site pode-se verificar as cores que representam graficamente cada circuito, na Figura 27 é observado que o circuito 1 é destacado pela cor azul, o circuito 2 pela cor cinza e o circuito 3 pela cor laranja.

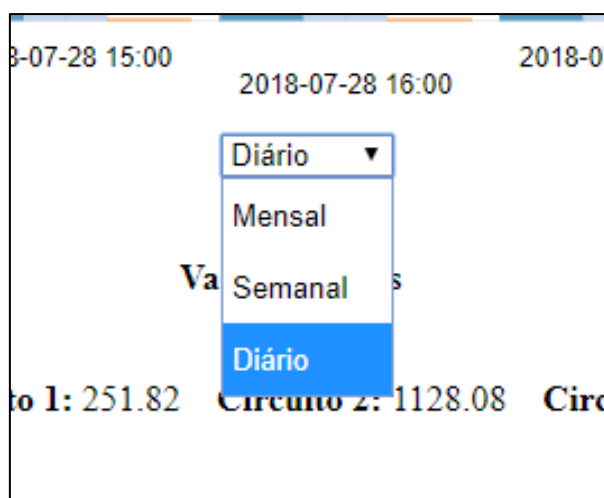
Figura 27 - Indicação dos circuitos no site.



Fonte: Os autores, 2018.

No centro inferior da tela existe uma lista, conforme demonstrado na Figura 28 que serve para selecionar o tipo de gráfico que o usuário deseja exibir, caso queira analisar o consumo durante um dia há uma opção para consumo diário, caso queira o consumo da semana, existe uma opção semanal que exibirá o consumo total dos dias da semana selecionada e também uma opção mensal que exibirá os dados somados dos dias do mês selecionado.

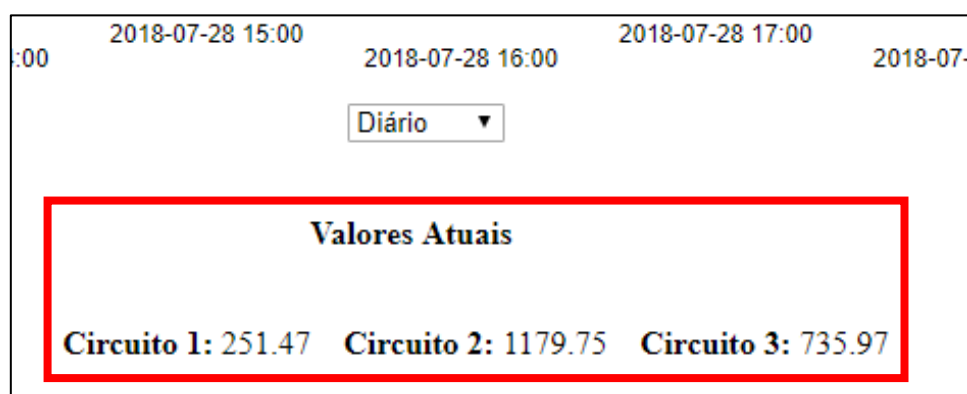
Figura 28 – Lista de seleção do período dos dados armazenados.



Fonte: Os autores, 2018.

Na Figura 29 pode-se observar que logo abaixo da lista de seleção possui um campo onde são mostrados os valores instantâneos da potência medida dos três circuitos.

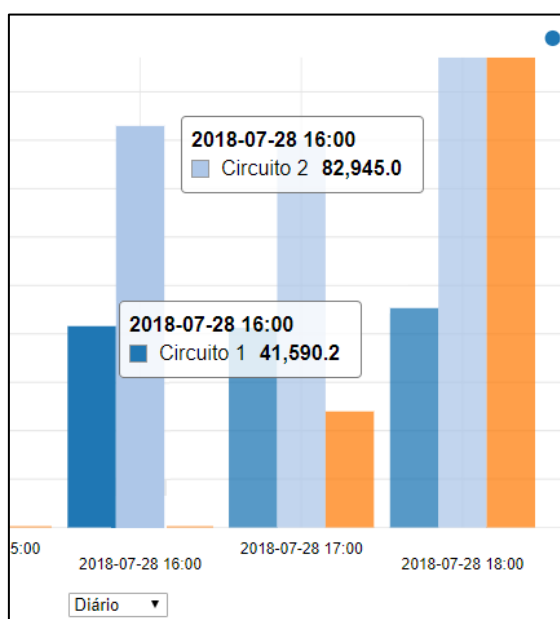
Figura 29 – Localização da medição atual dos circuitos no site.



Fonte: Os autores, 2018.

Os gráficos que são exibidos são do tipo barra e para que seja possível realizar uma leitura mais exata dos valores de cada circuito foi inserido um comando que ao passar o mouse em cima da barra consegue verificar o período da medição o valor do circuito e a identificação do circuito, conforme mostrado na Figura 30.

Figura 30 – Valores numéricos nos gráficos.



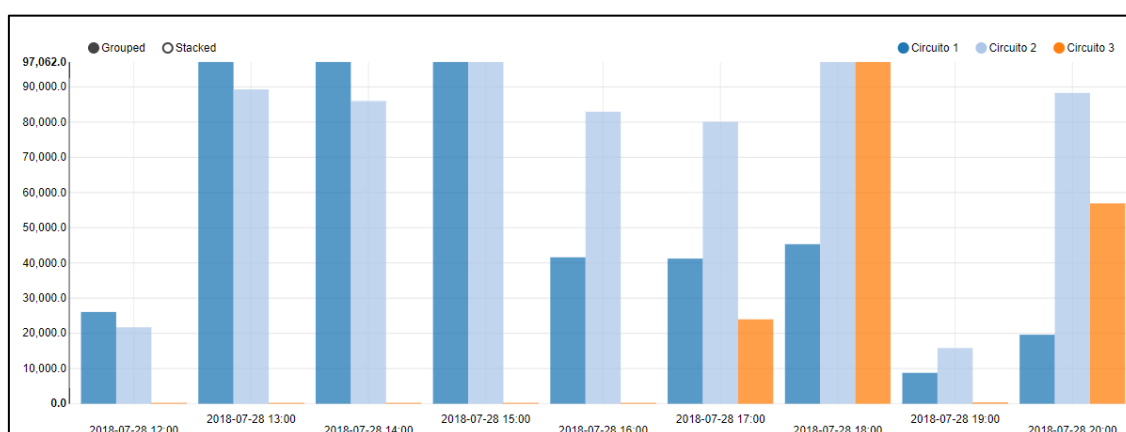
Fonte: Os autores, 2018.

Analisando os tipos de dados que pode-se obter com a utilização do protótipo de medição junto com o armazenamento de dados, conclui-se que o site possui uma ferramenta muito interessante para iniciar o processo de eficiência energética. Pode-se fazer um comparativo entre os dias e verificar as medições realizadas no dia de maior consumo, possibilitando ações a fim de reduzir o consumo. Além disso, o protótipo também pode ser utilizado para verificar a proporção de consumo de cada equipamento de uso em uma casa, podendo reduzir o tempo de funcionamento do mesmo, resultando numa redução no gasto com energia.

5.4 TESTE DO PROTÓTIPO

Para análise do funcionamento do protótipo como um todo foram realizados diversas medições, sendo uma delas a supervisão de duas fases de empresa comercial. Foram registrados os valores durante um período de oito horas conforme indicado na Figura 31.

Figura 31 – Resultados obtidos na medição de duas fases em uma empresa.



Fonte: Os autores, 2018.

Inicialmente foram instalados apenas dois sensores de correntes, pode-se observar gráficamente que foi instalado ao meio dia os dois sensores, e as 17 horas foi instalado o terceiro sensor que estava medindo um aquecedor diretamente ligado no circuito 2.

Analisando os dados registrados pode-se verificar que adicionando ao circuito 2 o aquecedor foi verificado um aumento na medida do circuito equivalente ao valor medido pelo circuito 3, com isso é possível concluir que o protótipo está funcionando conforme esperado, pois ao medir um valor x no circuito 3, o circuito 3 apresentou um aumento de proporcional ao valor x de potência consumida pelo aquecedor.

Às 19 horas foi verificado um erro de medição devido o sistema apresentar uma falha física nos sensores e não realizar a medição em mais da metade do período de uma hora, com isso os valores visualizados no gráfico representou aproximadamente 8 minutos de medição.

5.5 DIFICULDADES ENCONTRADAS

No desenvolver da elaboração do protótipo foram encontradas uma série de dificuldades, tanto na implementação do protótipo, quanto na programação dos *softwares* de aquisição, armazenamento dos dados e de interface para visualização dos dados.

Na programação do sistema de supervisão foi verificado que o arduino não possui velocidade de processamento necessário para acessar um banco de dados com uma quantidade grande de dados, desta forma foi necessário realizar a programação de um banco de dados em um servidor externo, algo que deixou o sistema mais robusto e complexo devido a necessidade de um servidor para armazenar as informações, em contra partida o sistema ganhou em velocidade de processamento e versatilidade para atribuição de novas tarefas.

Com o protótipo sem os sensores ou quando eles não estão realizando uma medição de um circuito o arduino gera um ruído na entrada analógica, e o dispositivo entendia como uma leitura de corrente gerando um dado incorreto a ser armazenado. Para solucionar esse problema foi feita uma alteração no código de programação para que o Arduino identificasse correntes abaixo de 150 mA como ruído, assim o protótipo identificaria apenas quando a corrente fosse acima da faixa estabelecida e começaria a armazenar as informações no banco de dados. Desta forma o protótipo perdeu em sensibilidade pelo fato de não conseguir fazer uma leitura de cargas abaixo da faixa de corrente estabelecida.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O presente trabalho atingiu o principal objetivo, de desenvolver um protótipo que seja capaz de monitorar o consumo de energia de uma residência. Sendo possível, através de gráficos, comparar possíveis pontos extremos de consumo, possibilitando aplicar ações corretivas, a fim de verificar se as mesmas se tornaram eficientes no combate ao desperdício.

Os produtos apresentados no capítulo 2, serviram de base para o desenvolvimento do projeto. A partir deles, foi possível saber o que a proposta deveria abranger e até quanto poderia ser gasto para que fosse financeiramente interessante.

O preço para elaboração do protótipo foi de aproximadamente R\$257,00, porém por se tratar de apenas um protótipo esse custo poderia ser reduzido alterando o microcontrolador por um que desempenhe as funções desejadas por outro com um menor custo e compra em escala dos dispositivos.

Os testes de funcionamento realizados, mostraram que o protótipo está em conformidade com as especificações estabelecidas previamente e apresenta resultados fiéis, verificada através da calibração feita. Pois constatou-se um erro inferior a 4%, o que é bastante satisfatório, para a fase de desenvolvimento do produto.

Ao longo da implementação e desenvolvimento do sistema, aconteceram muitos imprevistos, forçando o retrabalho e a adequação do estudo. Como falha de comunicação, problemas físicos com o protótipo, soldas, jumpers, etc. Tudo pôde ser resolvido com revisões do código e análise das ligações.

Futuramente, pretende-se tornar esse produto comercial. Para isso, torna-se essencial a medição, não apenas da corrente, mas também da tensão instantânea, tornando os resultados ainda mais fiéis e exatos. Seria interessante ainda, tornar o banco de dados acessível a buscas, no sentido de comparação de datas, horários, etc.

Outra melhoria seria a expansão das medições, mais sensores, mais circuitos, entre outros. Assim seria possível ter uma visão completa da

instalação. Atualmente, é possível realizar medições de três circuitos ou equipamentos.

Dessa forma, espera-se que essa ideia possa ser aprofundada e difundida ainda mais nas novas construções, visando uma redução no desperdício de energia e um melhor aproveitamento dos recursos disponibilizados.

Comparando o protótipo com as soluções existentes no mercado verifica-se que para desempenhar as tarefas de comparação de consumo entre vários circuitos demandaria um maior custo devido a necessidade de instalação de medidores individuais por circuito, sendo assim o dispositivo proposto pode se tornar viável economicamente.

REFERÊNCIAS

ABESCO [1] – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **Desperdício de energia gera perdas de R\$ 12,6 bilhões.** 2015, Brasília. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/desperdicio-de-energia-gera-perdas-de-r-126-bilhoes/>>. Acesso em 24 de novembro de 2017.

ABESCO [2] – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **O que é Eficiência Energética? (EE).** 2015, Brasília. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: 30 de abril de 2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 2002, Brasília. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 29 de abril de 2017.

ARDUINO. **O que é arduino?** 2017. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>>. Acesso em: 25 de novembro de 2017.

Arduíno, **Ethernet Shield w5100.** 2018. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/arduino-ethernet-rev3-without-poe>>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

Banggood, **Placa de desenvolvimento USB UNO com Ethernet Shield Kit W5100 para Arduino.** 2018, Brasília. Disponível em: <https://www.banggood.com/pt/ATmega328-UNO-R3-Ethernet-Shield-W5100-Kit-For-Arduino-p-956562.html?cur_warehouse=CN Arduino uno + w5100>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

BITENCOURT, Rafael. **Brasil ocupa 5º lugar em ranking internacional de tarifa de energia.** Revista Valor. 2015, Brasília,. Disponível em: <<http://www.val>

or.com.br/empresas/4340030/brasil-ocupa-5-lugar-em-ranking-internacional-de-tarifa-de-energia>. Acesso em: 5 de maio de 2017.

BRITISH GAS. **What are smart meters?** 2018, Windsor. Disponível em: <<https://www.britishgas.co.uk/smarter-living/control-energy/smart-meters/what-are-smart-meters.html>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

BRITO, J. L. G. **Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino.** 2016, Londrina. Disponível em: <http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016_JoaoLuisGrizinskyBrito.pdf>. Acesso em: 23 de janeiro de 2018.

CCI, Computer Control Instruments. **Power Meters.** 2018, Australia. Disponível em <http://www.c-c-i.com.au>, Acesso em: 25 de abril de 2018.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais S.A. **O que são as redes inteligentes de energia?** 2018, Minas Gerais. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Redes_Inteligentes/Paginas/as_redes_inteligentes.aspx>. Acesso em: 16 de abril de 2018.

CONPET, **Ação Local Benefício Global.** 2012, Brasília. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml>. Acesso em: 29 de abril de 2017.

DIY KYOTO. **Wattson.** 2018, Londres. Disponível em: <<http://www.diykyoto.com/wattson/about>>. Acesso em: 21 de abril de 2018.

ECIL, Ecil Energia. **Medição Inteligente.** 2018, Brasília. Disponível em: <<http://www.ecilenergia.com.br/download/Medidores.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

JOSUÉ, João Gil. **Projecto e Construção de um Sistema de Monitorização de Energia Eléctrica para uma Habitação**. 2010, Lisboa. Dissertação – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

JURIZATO, Luís Augusto; PEREIRA, Paulo Sérgio R. **Sistemas Supervisórios** 2003, São Paulo. Disponível em: <<http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/sistemasSupervisorios.pdf>>. Acesso em 17 de novembro de 2017.

LIMA, A. V. e PEREIRA, V. O. **Transmissão Automática de Dados de Energia TAD-E**. 2011, Espírito Santo, Brasil. Monografia Graduação - Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade Novo Milênio.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. 2016, Brasília. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 5 de maio de 2017.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Março/2017**. 2017, Brasília. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/4475726/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico++Mar%C3%A7o-2017.pdf/02e1f5f0-065a-b8a-b644-1657e7a72b97>>. Acesso em: 5 de maio de 2017.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. 2012, Brasília. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%Aancia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda54427-b623-b8d04e-bf863?version=1.1>>. Acesso em: 2 de maio de 2017.

OPEN ENERGY MONITOR. 2018, Snowdonia. Disponível em: <<https://openenergymonitor.org/>>. Acesso em: 16 de abril de 2018.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **PROCEL INFO – O PROGRAMA**. 2006, Brasília. Disponível em: <<http://www.procel>>.

gov.br/main.asp?Team=%7B505FF883%2DA273%2D4C47%2DA14E%2D0055586F97FC%7D>. Acesso em: 30 de abril de 2017.

PROCOPIO, Edson; OLIVEIRA, Vitor; MOTA, Alexandre; MOTA, Lia. **Implementação de Medidor de Energia Elétrica em Plataforma de Hardware Livre Para Estudo do Comportamento de Redes Inteligentes**. 2011, Campinas.

RIOS, Jefferson; SANTIAGO, Rodrigo; MAGGIONI, Angelo; TIENE, Paulo. **Introdução ao Arduino**. 2012, Campo Grande.

ROSÁRIO, João M. **Automação Industrial**. 2009, São Paulo. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=YsUHLcHdbh4C&pg=PA5&lpg=PA5&dq=conceito+automa%C3%A7%C3%A3o&source=bl&ots=3kcYloV_8l&sig=rtVCmTn0Ah7BdY6ViRWdE02-j5s&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiL366bpqDXAhVF4iYKHdqjANo4ChDoAQhLMAY#v=onepage&q=conceito%20automa%C3%A7%C3%A3o&f=false>. Acesso em: 15 de outubro de 2017.

SCHNEIDER ELETRIC, **Sistemas de Medição e Gerenciamento de Energia**. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com.br/pt/work/services/energy-and-sustainability/eficiencia-energetica/sistemas-medicao-monitoramento-energia/>>. Acesso em: 16 de abril de 2018.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Aprenda a usar a eficiência energética para reduzir seus custos**. 2017, Brasília. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/bis/aprenda-a-usar-a-eficiencia-energetica-para-reduzir-seus-custos,99b34c64814fc510VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em 25 de novembro de 2017.

SIEMENS. **Smart Meters**. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/smart-metering/components/pages/smart-meters.aspx>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

SILVA, Niágara; FÉRES, José; LÍRIO, Viviane. **Análise da Estrutura da Demanda de Energia Elétrica Residencial Segundo Quantis de Consumo**. Viçosa, 2013. Disponível em: < http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/radar/121114_radar22_cap6>. Acesso em: 29 de abril de 2017

SILVA, A. P.; SALVADOR, M. **O que são sistemas supervisórios?**. Brasília, 2004. Disponível em: <http://www.wectrus.com.br/artigos/sist_superv.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2017.

SONDA. **Solução Smart Grid**. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://blog.sonda.com/solucao-smart-grid/>>. Acesso em 16 de abril de 2018.

STATISTA. **Global Smart Grid Market**. Hamburgo, 2016. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/246154/global-smart-grid-market-size-by-region/>>. Acesso em: 17 de abril de 2018.

VAZ, L. M. M. **Impactos e Benefícios do Sistema de Medição Centralizada. Estudo de caso numa concessionária brasileira de eletricidade**. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação de Mestrado - Departamento Pós-MQI, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

YHDC, **Split Core Current**. 2018. Disponível em: <http://www.yhdc.us/>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

YOKOGAWA. **Power Quality Analyzer cw 500**. Tóquio, 2018. Disponível em: <<https://tmi.yokogawa.com/br/solutions/products/portable-and-bench-instruments/portable-power-monitorrecorder/cw500-power-quality-analyzer/>>. Acesso em: 21 de abril de 2018.

ANEXO A - Código de programação do arduino.

```

//inclusão da biblioteca o display LCD e declaração dos pinos
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 7, 6, 5, 3, 2);

//inclusão das bibliotecas Ethernet Shield

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

//inclusão da biblioteca Emonlib
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor corrente1;
EnergyMonitor corrente2;
EnergyMonitor corrente3;
EnergyMonitor corrente4;
EnergyMonitor corrente5;
EnergyMonitor corrente6;

//definição do endereço do site a ser lançado as informações
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress ip(192, 168, 0, 40); // Endereço IP que a Ethernet Shield terá.
EthernetServer server(80); // Cria um servidor WEB

//Declaração das variáveis
int aux=1;
int chave;
double I1;
double P1;
double I2;
double P2;
double I3;
double P3;

void setup() {
  // Código de inicialização do diplay LCD
  lcd.begin(16, 2);

  //Define o pino 9 como pino de entrada da chave
  pinMode (9,OUTPUT);

  //Define os pinos analógicos como corrente e determina sua calibração.
  corrente1.current(0, 51.3);
  corrente2.current(1, 52.4);
  corrente3.current(2, 51.7);

  Ethernet.begin(mac, ip); // Inicializa a Ethernet Shield
  server.begin(); // Inicia esperando por requisições dos clientes (Browsers)
} // fim do setup

```

```

void loop() {
  //Leitura do estado da chave para exibição do circuito no display LCD:
  //Como o display não consegue exibir os dados dos 3 circuitos ao mesmo tempo
  //Foi inserido uma chave que conforme é comutada o display exibe um circuito diferente.
  chave = digitalRead(9);

  // Codigo para exibição no display LCD as correntes e potências dos circuitos:
  aux=1;
  while(aux<=3) {

    // Cálculo da corrente Irms do circuito 1.
    I1 = corrente1.calcIrms(1480);
    P1 = I1*127;
    // Cálculo da corrente Irms do circuito 2.
    I2 = corrente2.calcIrms(1480);
    P2 = I2*127;
    // Cálculo da corrente Irms do circuito 3.
    I3 = corrente3.calcIrms(1480);
    P3 = I3*127;

    switch(aux){
    case 1:
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("I1= ");
      lcd.setCursor(4, 0);
      lcd.print(I1);
      lcd.setCursor(11, 0);
      lcd.print("A");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("P1= ");
      lcd.setCursor(4, 1);
      lcd.print(P1);
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("W");
      delay(200);
      break;

    case 2:
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("I2= ");
      lcd.setCursor(4, 0);
      lcd.print(I2);
      lcd.setCursor(11, 0);
      lcd.print("A");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("P2= ");
      lcd.setCursor(4, 1);
      lcd.print(P2);
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("W");
      delay(200);
      break;
  }
}

```

```

case 3:
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("I3= ");
  lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print(I3);
  lcd.setCursor(11, 0);
  lcd.print("A");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("P3= ");
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print(P3);
  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print("W");
  delay(200);
  break;
}

    if(digitalRead(9) == HIGH){
      aux++;
    }
//Etapa de inserção dos dados na página WEB
// Tenta pegar uma conexão com o cliente (Browser)
EthernetClient client = server.available();

    if (client) { // Existe um cliente em conexão ?
      while (client.connected()) {
        // os dados do cliente estão disponíveis para serem lidos
        if (client.available()) {
          client.print(P1);
          client.print(',');
          client.print(P2);
          client.print(',');
          client.print(P3);
          break;
        } // fim do if (client.available())
      } // fim do while (client.connected())

      delay(1); // da um tempo para o WEB Browser receber o texto
      client.stop(); // termina a conexão

    } // fim do if (client)
  }
} // fim do loop

```

ANEXO B - Código desenvolvido para o servidor.

```
import mysql.connector as conn
import pycurl
import urllib
import datetime
import time
from io import BytesIO
class DB:
def __init__(self, user, password, database, host='localhost'):
self.user = user;
self.password = password;
self.database = database;
self.host = host;
def __del__(self):
self.disconnect();
def connect(self):
self.cnx = conn.connect(host=self.host, user=self.user,
password=self.password,
database=self.database);
self.cursor = self.cnx.cursor();
def disconnect(self):
try:
self.cursor.close();
self.cnx.close();
except:
pass;
def insertData(self, data):
values = data.split(',');
ts = time.time();
timestamp = datetime.datetime.fromtimestamp(ts).strftime('%Y-%m-%d
%H:%M:
%S');
circuitNumber = 1;
```

```
self.connect();
for value in values:
    queryString = "INSERT INTO energia (circuito, valor, timestamp) VALUES
    (" + str(circuitNumber) + ", " + str(value) + ", " + str(timestamp) + ")";
    self.cursor.execute(queryString);
    self.cnx.commit();
    circuitNumber = circuitNumber + 1;
    self.disconnect();
    db = DB('root', '', 'tcc');
    while True:
        storage = BytesIO();
        c = pycurl.Curl();
        c.setopt(c.URL, "http://192.168.0.40");
        c.setopt(c.WRITEFUNCTION, storage.write);
        c.perform();
        c.close();
        content = storage.getvalue().decode("utf-8");
        db.insertData(content);
        time.sleep(20);
```

ANEXO C - Código desarrollado para a página web.

```

<html>
<head>
<link href="nvd3/build/nv.d3.css" rel="stylesheet">
<script src="js/jquery.min.js" type="text/javascript"></script>
<script src="js/d3.min.js" charset="utf-8"></script>
<script src="nvd3/build/nv.d3.js"></script>
<style>
text {
font: 12px sans-serif;
} svg {
display: block;
}
html, body, #chart, svg {
margin: 0px;
padding: 0px;
height: 100%;
width: 100%;
}

</style>
</head>
<body>
<?php
$data = array();
$interval = $_GET['interval'];
$startTimestamp = $_GET['startDate'];
if(!$interval)
$interval = 'diario';
if(!$startTimestamp)
$startTimestamp = date('Y-m-d');
switch($interval){
case 'mensal':
$endTimestamp = date('Y-m-d', strtotime($startTimestamp." +1 month

```



```

-1 day)))." 23:59:59";
break;
case 'semanal':
$endTimestamp = date('Y-m-d', strtotime($startTimestamp." +6
day)))." 23:59:59";
break;
case 'diario':
$endTimestamp = date('Y-m-d', strtotime($startTimestamp))."
23:59:59";
break;
}
$servername = "localhost";
$username = "root";
$password = "";
$dbname = "tcc";
// Create connection
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
// Check connection
if ($conn->connect_error) {
die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
} else {
switch($interval){
case 'mensal':
$sql = "SELECT date_format(timestamp, '%Y-%m-%d') AS
yyymmddhh, circuito, sum(valor) as valor FROM energia WHERE timestamp
>= '".
$startTimestamp.'" AND timestamp <= '". $endTimestamp.'" GROUP BY
yyymmddhh, circuito";
break;
case 'semanal':
$sql = "SELECT date_format(timestamp, '%Y-%m-%d') AS
yyymmddhh, circuito, sum(valor) as valor FROM energia WHERE timestamp
>= '".

```

```

$startTimestamp." AND timestamp <= ".$endTimestamp." GROUP BY
yyyymmddhh, circuito";
break;
case 'diario':
$sql = "SELECT date_format(timestamp, '%Y-%m-%d
%H:00') AS yyyymmddhh, circuito, sum(valor) as valor FROM energia WHERE
timestamp >= ".
$startTimestamp." AND timestamp <= ".$endTimestamp." GROUP BY
yyyymmddhh, circuito";
break;
}
$result = $conn->query($sql);
if ($result->num_rows > 0) {
// output data of each row
while($row = $result->fetch_assoc()) {
array_push($data, array("circuito" => $row["circuito"],
"value" => $row["valor"], "timestamp" => $row["yyyymmddhh"]));
}
}
$actual = [];
$result = $conn->query("select * from energia order by id desc limit 3");
if ($result->num_rows > 0) {
// output data of each row
while($row = $result->fetch_assoc()) {
array_push($actual, array("circuito" => $row["circuito"],
"value" => $row["valor"], "timestamp" => $row["yyyymmddhh"]));
}
}
$conn->close();
}
?>
<script>
var data = [];
</script>

```

```

<?php
foreach($data as $point){
    ?>
    <script> if(!data['<?php echo $point["circuito"]; ?>']){
    data['<?php echo $point["circuito"]; ?>'] = {"key": "Circuito "+<?php echo
    $point["circuito"]; ?>', "values": []};
    data['<?php echo $point["circuito"]; ?>']['values'].push({"value":
    parseFloat('<?php echo $point["value"]; ?>'), "label": '<?php echo
    $point["timestamp"]; ?>'});
    } else {
    data['<?php echo $point["circuito"]; ?>']['values'].push({"value":
    parseFloat('<?php echo $point["value"]; ?>'), "label": '<?php echo
    $point["timestamp"]; ?>'});
    }
    </script>
    <?php
    }
    ?>
    <div id="chart" style="margin-top: 2%; margin-left: 5%; width: 90%; height:
    70%;">
    <svg></svg>
    </div>
    <button id="prev" style="float: left; margin-left: 5%;"
    onclick="prev()"><<<</button>
    <select id="periodo" style="margin-left: 40%;" onchange="changeInterval()">
    <option value="mensal">Mensal</option>
    <option value="semanal">Semanal</option>
    <option value="diario">Diário</option>
    </select>
    <button id="next" style="float: right; margin-right: 5%;"
    onclick="next()">>>></button>
    </br></br></br>
    <div style="margin-left: 46%;"><b>Valores Atuais</b></div>
    </br></br>

```



```

startDate=<?php echo date("Y-m-d",strtotime($startTimestamp." last
Monday"))." 00:00:00";?
>&interval='+interval);
break;
case 'diario':
window.location.replace('http://localhost/index.php?
startDate=<?php echo date("Y-m-d",strtotime($startTimestamp." yesterday"))."
00:00:00";?
>&interval='+interval);
break;
}
}
function next(){
switch(interval){
case 'mensal':
window.location.replace('http://localhost/index.php?
startDate=<?php echo date("Y-m",strtotime($startTimestamp." next month"))."-
01 00:00:00";?
>&interval='+interval);
break;
case 'semanal':
window.location.replace('http://localhost/index.php?
startDate=<?php echo date("Y-m-d",strtotime($startTimestamp." next
Monday"))." 00:00:00";?
>&interval='+interval);
break;
case 'diario':
window.location.replace('http://localhost/index.php?
startDate=<?php echo date("Y-m-d",strtotime($startTimestamp." tomorrow"))."
00:00:00";?
>&interval='+interval);
break;
}
}

```

```
function changeInterval(){
interval = $("##periodo").val();
switch(interval){
case 'mensal':
window.location.replace('http://localhost/index.php?
startDate=<?php echo date("Y-m",strtotime($startTimestamp))."-01 00:00:00";?
>&interval='+interval);
break;
case 'semanal':
window.location.replace('http://localhost/index.php?
startDate=<?php echo date("Y-m-d",strtotime($startTimestamp)." last
Monday)")." 00:00:00";?
>&interval='+interval);
break;
case 'diario':
window.location.replace('http://localhost/index.php?
startDate=<?php echo date("Y-m-d",strtotime($startTimestamp))." 00:00:00";?
>&interval='+interval);
break;
}
}
</script>
</html>
```