

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

CHRISTINE HELENE GOMES
CYNTHIA CRISWALL MENDONÇA GOMES
SIMONE DE LIMA TAGLIARI

**SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA ACOMPANHAMENTO DE
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2016**

CHRISTINE HELENE GOMES
CYNTHIA CRISWALL MENDONÇA GOMES
SIMONE DE LIMA TAGLIARI

SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA ACOMPANHAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do grau de “Bacharel em Engenharia Elétrica” – Área de Concentração: Eletrotécnica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cicero Fritzen.

Co-orientador: Prof. Me. Luiz Amilton Pepplow.

**CURITIBA
2016**

CHRISTINE HELENE GOMES
CYNTHIA CRISWALL MENDONÇA GOMES
SIMONE DE LIMA TAGLIARI

SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA ACOMPANHAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

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, 17 de Junho de 2016.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

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

ORIENTAÇÃO

Paulo Cicero Fritzen., Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Luiz Amilton Peplow
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Co-orientador

BANCA EXAMINADORA

Paulo Cicero Fritzen., Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Luiz Amilton Peplow
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Annemarle G. Castagna
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Roberto Cesar Betini
Universidade Livre do Conhecimento

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

AGRADECIMENTOS

Agradecemos em primeiro lugar a Deus, por ter nos agraciado com o dom da vida nos abençoando e conduzindo em todas as etapas de nossa vida.

Agradecemos aos nossos pais, que apesar de todas as dificuldades sempre tiveram sabedoria para nos mostrar a importância dos estudos em nossas vidas.

Aos nossos namorados e marido que nos deram força e sempre estiveram aos nossos lados, acalmando quando tínhamos dificuldades, vibrando com nossas vitórias.

Aos nossos queridos professores pela competência e seriedade com que conduzem o curso de engenharia elétrica.

Ao professor Paulo Cicero Fritzen por acreditar desde o começo em nossas ideias, pelo apoio, incentivo e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado!

TCC Meninas

RESUMO

GOMES, Christine Helene; GOMES, Cynthia Criswall Mendonça; TAGLIARI, Simone de Lima. Sistema supervisorio para acompanhamento de consumo de energia elétrica residencial. 2016. 65f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

Frente ao cenário da necessidade de otimizar a utilização dos recursos energéticos no país, sobressai-se a utilização de energia elétrica de forma mais eficiente, assim a modalidade tarifária branca mesmo que ainda não tenha entrado em vigor, destaca-se aos olhos do consumidor cativo residencial devido à necessidade de avaliação de seu próprio padrão de consumo de energia elétrica. A proposta do presente trabalho consiste no desenvolvimento de um aplicativo para visualização do consumo de energia elétrica de uma residência. Para tanto, fez-se necessário o desenvolvimento de concepção de aquisição de dados e de otimização de custos para a implementação do mesmo. Para manter essa visão, foram utilizados sensores de corrente em cada circuito para aquisição dos dados e para interpretação destes, o Arduino, cuja a plataforma é livre e de fácil acesso. Os resultados foram bastante promissores, os dados fornecidos pelo sistema implementado propiciaram ao usuário a possibilidade de avaliação da viabilidade de utilização da modalidade tarifária branca em detrimento da convencional além de oportunidades de redução do próprio consumo de energia elétrica contribuindo para eficiência energética do país.

Palavras-chave: Tarifa branca, Eficiência energética, Monitoramento, Consumo de eletricidade.

ABSTRACT

GOMES, Christine Helene; GOMES, Cynthia Criswall Mendonça; TAGLIARI, Simone de Lima. Supervision system to monitor residential electricity consumption. 2016. 65f. (Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

In the panorama of need to optimize the use of energy resources in the country, stands out the efficient use of electricity. Even the white tariff mode have not coming into effect yet, stands out to the residential captive consumer the need to evaluate its own pattern of energy consumption. The proposal of this work is develop a tool to monitoring the power consumption of a residence. Therefore it was necessary the development a conception of data acquisition and cost optimization for the implementation. To maintain this view, current sensors are using in each circuit for data acquisition, and for the interpretation the Arduino is using, whose platform is free and easily accessible. The results were very promising indeed, the data provided by the implemented system propitiated the user assessing the feasibility of using the white tariff mode instead of conventional mode, as well as giving opportunities of reducing his own electricity consumption, which contributes to energy efficiency in the country.

Keywords: white tariff, energy efficiency, monitoring, Electricity consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grupos, Subgrupos e Subclasses.....	19
Figura 2 – Postos Tarifários do Grupo B.	20
Figura 3 – Valores R\$/kWh.	25
Figura 4 – Custo embutidos na fatura de energia.	25
Figura 5 – Funções de custo da TUSD.	26
Figura 6 – Funções de custo da TE.	27
Figura 7 – Curva de carga de demandas.	28
Figura 8 – Gráfico de comportamento de carga do consumidor residencial no estado do Paraná mostrado hora a hora.....	28
Figura 9 – Consumo de Energia elétrica (%) janeiro a julho 2015.	29
Figura 10 – Consumo de Energia elétrica (%) janeiro a julho 2015.	30
Figura 11 – Evolução do número-índice do consumo residencial de energia e Eletricidade, do consumo das famílias e do número de domicílios (1990= 100).....	31
Figura 12 – Estimativa de consumo por eletrodomésticos de acordo com uso hipotético de uma residência com consumo mensal médio de 220 kWh/mês.	31
Figura 13 – LaunchPad MSP430 e Arduino UNO.	35
Figura 14 – Resumo das características do Arduino Mega 2560.....	36
Figura 15 – Topologia de <i>hardware</i> adotada para o desenvolvimento do sistema....	38
Figura 16 – Sensor de Corrente não intrusivo SCT013.....	39
Figura 17 – <i>Datasheet</i> modelo SCT013-30 ^a	40
Figura 18 – Diagrama do circuito projetado para a aquisição e o condicionamento do sinal de tensão.	41
Figura 19 – Conectado RTC DS1307 ao Arduíno	42
Figura 20 – Característica física <i>Shield Wi-Fi</i>	43
Figura 21 – Módulo SD Card.....	43
Figura 22 – Ligação Módulo SD com Arduino Uno utilizando uma <i>protoboard</i>	44
Figura 23 – Verificação e validação dos valores de tensão (Arduino e multímetro). .	47
Figura 24 – Verificação e validação dos valores de corrente (Arduino e multímetro).	48
Figura 25 – Protótipo desenvolvido aplicado a uma instalação elétrica.	50

Figura 26 – Arquivo .txt gravado no cartão SD – Potências.....	51
Figura 27 – Tela inicial do aplicativo em branco.....	52
Figura 28 – Opções do aplicativo.....	53
Figura 29 – Potência consumida por circuito	54
Figura 30 – Comparação das potências nos 3 circuitos.....	55
Figura 31 – Comparativo Tarifa Branca e Convencional.....	56

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CFURH	Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
COSIP IP	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública
AC-CC	Corrente Alternada - Corrente Contínua
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EER	Encargo de Energia de Reserva
EUA	Estados Unidos da América
GND	Ground
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IRT	Índice de Reajuste Tarifário
IDE	Integrated Development Environment
I2C	Protocolo de Comunicação
MISO	Master Em Slave Out
MOSI	Master Slave Out In
ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PIS	Programa Integração Social
POO	Programação Orientada a Objetos
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RMS ou rms	Valor médio quadrático (do Inglês Root Mean Square)
RTC	Real Time Clock
RTP	Revisão Tarifária Periódica
SD	Secure Digital
SCK	Clock Serial
SCL	Serial Clock
SDA	Serial Data
SPI	Serial Peripheral Interface
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TI	Texas Instruments
UC	Unidade Consumidora
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. TEMA	11
1.1.1. Delimitação do Tema	12
1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS	12
1.3. OBJETIVOS	13
1.3.1. Objetivo Geral	13
1.3.2. Objetivos Específicos	13
1.4. JUSTIFICATIVA	13
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. ESTRUTURA TARIFÁRIA	16
2.1.1. Grupos, Subgrupos, Classes e Subclasses	17
2.1.2. Postos Tarifários	19
2.1.3. Modalidades Tarifárias	20
2.1.4. Bandeiras tarifárias	21
2.2. MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA	22
2.2.1. Medidores Eletromecânicos	22
2.2.2. Medidores Eletrônicos	23
2.3. FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS	23
2.3.1. Componentes TUSD e TE	25
2.4. CURVA DE CARGA	27
2.5. CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	29
2.6. CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DOS COMPONENTES DE HARDWARE	32
2.7. DESCRIÇÃO E JUSTIFICATIVAS PARA AS ESCOLHAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA	33
2.7.1. Arduino MEGA 2560	33
2.7.2. Ambiente de desenvolvimento Integrado do Arduino – IDE	36
3. DESENVOLVIMENTO	37
3.1. MODELO PROPOSTO	37
3.1.1. Topologia do modelo proposto	37
3.1.2. Sensores de Corrente	39
3.1.3. Sensores de Tensão	40
3.1.4. Módulo Clock	41
3.1.5. Módulo Wi-Fi - Comunicação para acesso remoto	42
3.1.6. Módulo cartão SD - Banco de dados	43
3.1.7. Programação do sistema de interação com o usuário	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47

4.1.	AQUISIÇÃO DE TENSÃO (V_{RMS}) E CORRENTE (I_{RMS}) PARA CÁLCULO DE POTÊNCIA ATIVA [W].....	47
4.2.	VERIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA POTÊNCIA	49
4.3.	IMPLEMENTAÇÃO DO APLICATIVO PARA ACOMPANHAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA.....	51
4.4.	COMPARATIVO ENTRE TARIFA BRANCA E CONVENCIONAL	55
	AO FINAL DA COLETA DOS TRÊS CIRCUITOS DE UM DIA PARA AVALIAÇÃO, FOI ENCONTRADO O VALOR DE APROXIMADAMENTE 4,6KWH DISTRIBUÍDO AO LONGO DAS 24H.	55
4.5.	CUSTOS.....	56
4.6.	DIFICULDADES ENCONTRADAS	57
5.	CONCLUSÕES	59
5.1.	TRABALHOS FUTUROS	60
	REFERÊNCIAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA

A carência de investimentos no setor energético brasileiro, a escassez de chuvas nas regiões onde se encontram os maiores reservatórios de água essenciais para a geração de energia elétrica pelas usinas hidrelétricas (principal fonte energética do Brasil, segundo a EPE), a necessidade da utilização constante das termoelétricas, e o aumento da demanda por parte dos consumidores, podem ser citados como contribuintes para o aumento gradativo do custo de produção de energia.

Este aumento no custo de produção implica “no aumento das tarifas de energia elétrica, causado pela necessidade de lançar mão da geração térmica, mais cara que a hidroelétrica. As usinas térmicas, embora tenham custo de geração mais elevado, representam a segurança do abastecimento, e funcionam como suplementação do sistema quando as hidrelétricas, por motivo de escassez de chuvas, não têm condições de gerar toda a energia de que o País necessita” (TANCREDI, et al., 2013).

Como a energia elétrica está presente em todos os setores da economia como custos de produção de bens e serviços, o aumento da tarifa resulta em aumento dos preços repassados aos consumidores, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais. A melhor gestão do consumo de energia elétrica torna-se uma interessante alternativa para fins de economia e redução de gastos.

O consumo residencial, setor que representa aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil, cresceu aproximadamente 5,7% entre 2013 e 2014, de acordo com o relatório de Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) 2004 a 2015 fornecido pela EPE. Crescimento expressivo se comparado ao crescimento referente aos anos anteriores. Por representarem a menor parcela do consumo de energia elétrica no país, este setor não recebe das entidades governamentais e do mercado em geral, o devido incentivo e o investimento necessário para realização de pesquisas relativas a

otimização do consumo e eficiência energética, entretanto, o mercado disponibiliza aos consumidores, equipamentos que segundo Ferreira (2012, p. 17) são classificados como *homo energymonitors*, os mesmos são usados para o monitoramento do consumo total de uma residência, ou de eletrodomésticos individuais, desenvolvidos exclusivamente para auxiliar o usuário a controlar e reduzir o consumo de energia elétrica.

Devido ao elevado preço desses equipamentos e a demora no retorno financeiro desse investimento, torna-se oneroso sua utilização em larga escala, optando-se, assim, por uma alternativa menor custo e de fácil implementação como a utilização de *software* e aplicativos capazes de auxiliar o consumidor a verificar onde está sendo consumido sua energia elétrica.

1.1.1. Delimitação do Tema

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema supervisor para acompanhamento de consumo de energia elétrica que, a partir de dados coletados de corrente e tensão, calcula por circuito o consumo de energia elétrica, permitindo o consumidor o acesso às informações em tempo real e apresentar registro de potência ativa (Watts) consumida por período de tempo.

1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

O problema identificado nesta pesquisa é a pouca disponibilização de aplicativos em *software* livre que possibilitem ao consumidor medir e avaliar o consumo de energia elétrica em sua residência e, a partir desta avaliação, definir padrões de consumo a serem adotados e monitorados por este aplicativo.

Os simuladores disponibilizados pelas concessionárias, em seus websites, mostram dicas, orientações para auxiliar o consumidor, porém, a potência utilizada é aproximada visto que as informações devem ser fornecidas pelo usuário. A obtenção de tais informações, todavia, exigem do consumidor, comprometimento e disponibilidade de tempo para monitorar o período de uso da diversa e numerosa gama de aparelhos presentes em sua residência exigindo também que o mesmo

tenha um conhecimento mínimo sobre o assunto, tornando assim ineficiente a utilização destes simuladores na prática.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Desenvolver um sistema supervisório para acompanhamento de consumo de energia elétrica em uma residência.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar o padrão de consumo de energia elétrica residencial no Brasil nos últimos anos, exposição de conceitos essenciais para sua contextualização, discorrer sobre sensores de corrente, de tensão, e medidores de consumo de energia elétrica presentes no mercado;
- Desenvolver o protótipo do sistema de monitoramento integrando a aquisição de dados e a determinação da potência, englobando *hardware* e *software*.
- Realizar a verificação e validação do sistema de monitoramento por meio de ensaio em campo, comparando os valores adquiridos e calculados com medidos por um multímetro;
- Apresentar o consumo de potência ativa (Watts) de uma residência durante 24h para auxiliar a avaliação da escolha ou não da tarifa branca.

1.4. JUSTIFICATIVA

O sistema desenvolvido disponibiliza ao consumidor os valores previamente calculados da potência consumida. Baseando-se nessas informações, este poderá eventualmente mudar determinados hábitos de consumo, o que se torna benéfico e

pode acarretar uma economia na conta de energia pela melhor gestão da utilização energética. Além disso, com uma grande adesão da utilização do sistema, poderá também influenciar na curva de carga, o que traria um impacto ainda maior na redução da fatura de energia.

A utilização de sensores para a aquisição de dados em uma residência, juntamente com o desenvolvimento de um aplicativo para acompanhamento de consumo de energia elétrica que seja capaz de disponibilizar ao consumidor dados importantes sobre seu consumo são pontos interessantes para tornar sistemas que visam o consumo consciente de energia, cada vez mais acessíveis ao consumidor comum.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente é bom destacar que o procedimento metodológico adotado neste trabalho é de caráter experimental, pois consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo (consumo de energia), selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo (corrente, tensão e tempo) e definir formas de controle e de observação dos efeitos que estas produzem no objeto (GIL, 2002, p. 48).

A seguir, para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica por meio de pesquisa em livros, *datasheets* e periódicos especializados. A pesquisa identifica o padrão de consumo de energia em uma residência e os principais conceitos sobre sensores e medidores existentes.

Após a etapa de estudo foi desenvolvido o protótipo de aquisição e supervisão de dados de consumo. Para esta aquisição foram instalados no quadro de disjuntores os sensores de corrente (um para cada circuito) e de tensão, os quais se comunicaram com a placa do Arduino, (uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única, que consiste, basicamente, em um microcontrolador Atmel AVR de 8bits, com componentes complementares para facilitar a programação e incorporação em outros circuitos).

O Arduino realiza a aquisição dos dados, e envia a um servidor para criar um banco de dados referente a esse consumidor. O sistema de monitoramento utiliza os dados e mostra ao consumidor, circuito a circuito, através de gráficos, o real consumo de sua residência.

O desenvolvimento do sistema foi em *Python*, o qual possui uma interface gráfica amigável, além de ser aberto (gratuito), não havendo custo para a programação.

Após a leitura e apresentação dos valores, os resultados obtidos foram avaliados para as requeridas conclusões.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

1. Introdução

Apresentação do tema proposto, delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos gerais e específicos, justificativa e procedimentos metodológicos.

2. Fundamentação Teórica

Embasamento teórico que justifica o desenvolvimento do sistema. Para tanto, foi necessária uma síntese de estruturas tarifárias, medidores de energia, faturamento de energia elétrica de consumidores residenciais, curvas de carga, consumo residencial de energia elétrica no Brasil e critérios para análise dos componentes de *Hardware*.

3. Desenvolvimento

Descreve o modelo proposto, que engloba a topologia do projeto, e como os dados são coletados e enviados para o aplicativo. Também apresenta os modelos dos componentes a serem utilizados no protótipo, bem como as justificativas para a escolha dos mesmos.

4. Resultados e Discussões

Este capítulo descreve a implementação do projeto, a partir do modelo de topologia proposto e as dificuldades encontradas.

5. Conclusão

Neste capítulo foram avaliados se os objetivos foram alcançados assim como possíveis melhorias e sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados de forma sucinta alguns tópicos pertinentes aos fatores que influenciam no custo de produção de energia focado no setor residencial. Para isso serão explicitadas estruturas tarifárias, classes de consumo, classificação dos usuários do sistema por grupos, subgrupos, e subclasses, postos tarifários, modalidades tarifárias, e bandeiras tarifárias e tipos de medidores de energia. Essa fundamentação se faz necessária para que sejam compreendidos os fatores que influenciam no valor resultante a ser cobrado na fatura de energia elétrica.

Também é apresentado neste capítulo o perfil de consumo residencial de energia no Brasil por meio de curvas de carga e a participação de eletrodomésticos no consumo residencial brasileiro. Essa seção será de extrema importância, pois, evidencia hábitos culturais e hábitos de consumo que definem as curvas de carga, e conseqüentemente influenciam na elaboração da estrutura tarifária, refletindo no valor da fatura submetida ao consumidor final.

2.1. ESTRUTURA TARIFÁRIA

O modelo do setor de energia elétrica brasileiro vigente pode ser dividido em quatro segmentos de negócio, também chamados de atividades do Setor Elétrico. São eles geração, transmissão, distribuição e comercialização. Estas atividades são regulamentadas e fiscalizadas pela ANEEL, autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída pela Lei nº. 9.427 de 26.11.97 e constituída pelo Decreto nº. 2.335 de 03.10.97, que tem por finalidade a medição, a regulação, o controle tarifário, e a fiscalização das atividades do Setor Elétrico.

As definições e os conceitos a respeito da estrutura tarifária vigente, essenciais para o completo entendimento desse trabalho estão descritos, em grande parte, nos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET), que “tem caráter normativo e consolida a regulamentação acerca dos processos tarifários” (ANEEL, 2015d).

Estrutura tarifária é um “conjunto de tarifas e regras aplicadas ao faturamento do mercado de distribuição de energia elétrica. Estes refletem a diferenciação

relativa dos custos regulatórios da distribuidora entre os subgrupos, classes e subclasses tarifárias, de acordo com as modalidades e postos tarifários” (ANEEL, 2015b,pg.3).

Demanda é definida como a “média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, expressa em quilowatts (kW) e quilovolt-ampère-reactivo (kVAr), respectivamente” (ANEEL,2015c).

Já o processo tarifário é composto por dois subprocessos em um ciclo tarifário: o reajuste (IRT) e a revisão tarifária periódica (RTP). Através destes é obtido o custo regulatório, formado por componentes tarifários como: Transporte, Perdas, Encargos e Energia comprada para revenda, os quais refletem nas funções de custos. Estas, por sua vez, se agregam para formar as tarifas TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) e TE (Tarifa de Energia).

A ANEEL define TUSD como “valor monetário unitário, determinado por ela, em R\$/MWh ou em R\$/kW, utilizado para efetuar o faturamento mensal de usuários do sistema de distribuição de energia elétrica pelo uso do sistema”. Já TE é definido como “valor monetário unitário, também definido pela Agência, em R\$/MWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal referente ao consumo de energia dos diversos tipos de contratos” (ANEEL, 2015b, pg.4).

A partir das funções de custo constroem-se as diferentes modalidades tarifárias, para TUSD e para TE, que consistem em: postos tarifários, baseados em critério temporal; e grupos/subgrupos tarifários, classificados por faixa de tensão (ANEEL, 2015b,pg.3).

2.1.1. Grupos, Subgrupos, Classes e Subclasses

Antes de definir as diversas classificações da estrutura tarifária faz-se necessário definir unidade consumidora e consumidor, em que consumidor é toda “pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, legalmente representada, que solicita o fornecimento, a contratação ou o uso do sistema elétrico à distribuidora”(ANEEL, 2015c). “A esse consumidor está associado uma ou mais unidades consumidoras, que por sua vez são estruturas físicas as quais a distribuidora fornece algum serviço de energia elétrica. Conforme Resolução

Normativa 414/2010, cabe a distribuidora “classificar a unidade consumidora de acordo com a atividade nela exercida e a finalidade da utilização da energia elétrica”. (ANEEL, 2015a, pg.27)

A classificação das unidades consumidoras (UC's) “ocorre com o objetivo de aplicar tarifas distintas a cada uma das classes de consumo definidas pela ANEEL” (MENEZES, 2015, pg.23). As classes de consumo dividem-se em oito categorias: Residencial, Comercial, Industrial, Rural, Poder Público, Serviço Público, Iluminação Pública e Consumo Próprio, essas classes utilizam como base o comportamento de carga típico de cada uma (ANEEL,2015) “todas as classes citadas estão no glossário”. Para o momento basta-se afirmar que, a unidade consumidora a qual se destina a aplicação desse trabalho é classificada como residencial.

“Os consumidores do sistema de distribuição são classificados em grupos e subgrupos tarifários. A TUSD, para esses consumidores, diferencia-se por subgrupo, posto e modalidade tarifária enquanto a TE diferencia-se apenas por posto e modalidade tarifária” (ANEEL, 2015b, pg.5).

Os grupos são definidos segundo a tensão de atendimento enquanto a definição dos subgrupos obedece duas lógicas distintas. Os subgrupos do grupo A são definidos segundo a tensão de atendimento. Exceção feita ao subgrupo AS. Enquanto que o grupo B obedece a lógica de classe de atendimento. Determinados subgrupos possuem ainda uma divisão por subclasse, que produz diferenças tarifárias. A divisão dos grupos, subgrupos e subclasses é descrito na Figura1. No caso do presente trabalho, o consumidor é classificado na Subclasse B1: Atendimento Residencial.

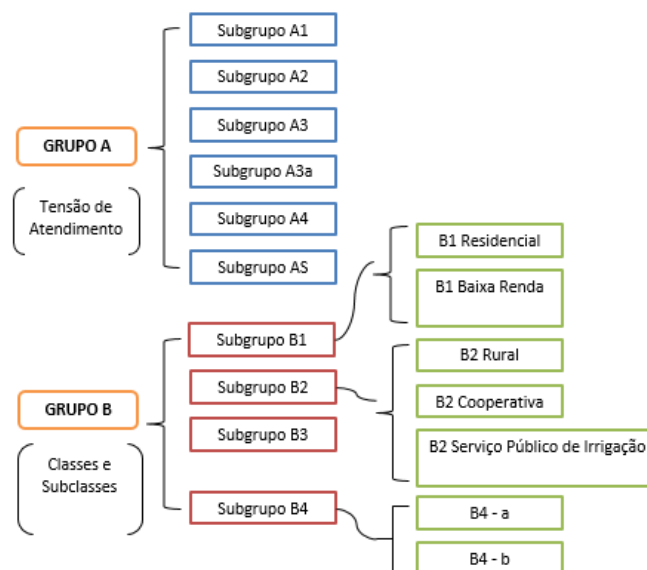


Figura1 – Grupos, Subgrupos e Subclasses.
Fonte: Autoria Própria.

2.1.2. Postos Tarifários

Analisando-se as curvas típicas de consumo de energia elétrica no Brasil no decorrer de um dia (assunto que será detalhadamente discorrido no item 2.4) é possível destacar certas tendências de aumento de consumo em determinadas horas do dia por região, devido ao padrão cultural e rotineiro dos consumidores (HERMSDORFF W.; OLIVEIRA FILHO, 2003).

Esses “picos de consumo” (entende-se aqui que “picos de consumo” referem-se à faixa de tempo em que a demanda de energia elétrica é máxima no período de um dia), embora ocorram em um pequeno intervalo de tempo (aproximadamente de 3 horas), demandam valores expressivos de energia elétrica se comparados com o restante do dia. Isso faz com que todo o sistema de geração, transmissão, distribuição e proteção sejam dimensionados para atender a máxima demanda requisitada nesse ínfimo período de duração tornando grande parte do sistema “ocioso” no restante do dia (HERMSDORFF W, OLIVEIRA FILHO, 2003).

Assim justifica-se a existência dos postos tarifários - Ponta, Intermediário e Fora de ponta, que possuem a finalidade de incentivar a melhor distribuição do consumo de energia elétrica no decorrer do tempo ocasionando possível redução dos “picos de consumo” evidentes em determinadas horas do dia. A Figura 2 mostra os postos tarifários definidos para o Grupo B. Para o Grupo A são considerados

apenas os Postos Ponta e fora de Ponta, sendo que o posto Intermediário se restringe ao Grupo B, foco desse trabalho.

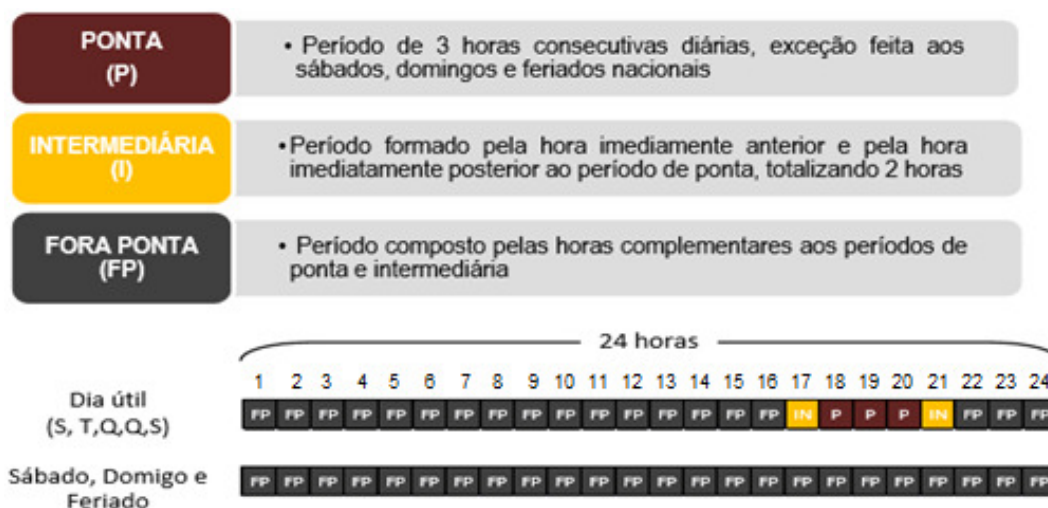


Figura2 – Postos Tarifários do Grupo B.
Fonte: ANEEL (2010).

O posto Ponta é definido como "período composto por três horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, exceto para finais de semana e feriados definidos na Resolução Normativa nº 414/2010". O posto Intermediário é um "período de duas horas, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior ao posto ponta, aplicado para o Grupo B". E o posto Fora de ponta é um "período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta e intermediário". (ANEEL, 2015c).

2.1.3. Modalidades Tarifárias

De acordo com Resolução Normativa Nº 479/2012, modalidade tarifária é definida como um "conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas". São elas:

I. Modalidade tarifária horária Azul: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia

elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia;

II. Modalidade tarifária horária Verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência;

III. Modalidade tarifária Convencional Binômia: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, é caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia;

IV. Modalidade tarifária horária Branca: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto os subgrupos B1 subclasse Baixa Renda e B4, é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia;

V. Modalidade tarifária Convencional Monômia: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, é caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;

É importante ressaltar que a modalidade tarifária Branca, até então, não entrou em vigor e sua efetiva aplicação encontra-se adiada por tempo indeterminado pela ANEEL. A opinião das concessionárias de distribuição quanto a análise de custo/benefício de uma nova opção tarifária, ainda são desfavoráveis a implementação. “O que os consumidores e a distribuidora irão ganhar com a sua aplicação, ou seja, qual será a economia de investimentos em expansão e a redução dos custos de operação e manutenção decorrentes de sua aplicação” ressalta CEMIG em Nota Técnica nº 1/2013 – SRC/ANEELg, de 13/02/2013.

2.1.4. Bandeiras tarifárias

As Bandeiras Tarifárias entraram em vigor em 2015, as mesmas têm como finalidade “sinalizar aos consumidores as condições de geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional, por meio da cobrança de valor adicional à Tarifa de Energia – TE” (ANEEL, 2015d). Cabe a ANEEL definir mensalmente, considerando informações fornecidas pelo Operador Nacional do Sistema – ONS, a Bandeira

Tarifária a ser aplicada no mês subsequente. O sistema de Bandeiras Tarifárias é representado por: Bandeira Tarifária Verde, Amarela; e Vermelha.

A Bandeira Tarifária Verde indica condições favoráveis de geração de energia, não implicando acréscimo tarifário. As Bandeiras Tarifárias Amarela e Vermelha indicam condições menos favoráveis e críticas de geração de energia, resultando em adicionais à Tarifa de Energia – TE – sendo que a Bandeira Tarifária Vermelha corresponde a situação mais crítica que a Amarela, dessa forma possui um adicional de maior percentual se comparado com a Bandeira Tarifária Amarela.

2.2. MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

A medição de energia elétrica “é empregada, na prática, para possibilitar à entidade fornecedora (concessionária) o faturamento adequado da quantidade de energia elétrica consumida por cada usuário (unidade consumidora), dentro de uma tarifa estabelecida” (MÍNGUEZ,2007) que respeite os quesitos dispostos pela ANEEL sobre grupos, modalidades e bandeiras tarifárias.

Para medir esse consumo são utilizados medidores de energia elétrica. “Seu uso e aplicação são regulamentados, acompanhados e vistoriados pela ANEEL, por intermédio de diversos órgãos normativos e reguladores” (RODRIGUES, 2009) como as regulamentações elaboradas pelo Inmetro e pela ABNT, que “visam garantir que todos os medidores fabricados e em uso estejam dentro dos parâmetros da metrologia legal” (RODRIGUES, 2009).

Os medidores de energia elétrica existentes em grande escala atualmente são divididos em dois tipos: eletromecânicos, que funcionam pelo princípio da indução eletromagnética, e eletrônicos, que fazem uso de circuitos integrados (DE PAULA, 2013).

2.2.1. Medidores Eletromecânicos

Os medidores eletromecânicos estão há mais de cem anos no mercado brasileiro. Com tecnologia robusta, ainda são os mais utilizados no Brasil possuindo média de produção anual na ordem de três milhões de unidades destinadas tanto a

novos consumidores e a reposição de antigos medidores quanto a exportação, segundo Mínguez (2007).

Os medidores eletromecânicos do tipo indução são os mais comuns no mercado brasileiro. Estes se diferenciam quanto a quantidade de elementos: monofásicos com um elemento e polifásicos com dois ou mais elementos; e quanto a visualização dos dados: tipo ponteiro ou ciclométricos.

Para os consumidores do grupo B a ANEEL estabelece que devam ser utilizados no mínimo, um medidor eletromecânico de energia ativa para registro do consumo em kWh, sendo a utilização do medidor eletromecânico de energia reativa adicional ao anterior, ainda opcional.

Caso a tarifa branca, já definida pela ANEEL, entre em vigor nos próximos anos, a ANEEL estabelece que, para o futuro consumidor do grupo B que opte por essa modalidade tarifária, deve ser utilizado, no mínimo, um Medidor eletrônico exclusivo para aplicação em BT.

2.2.2. Medidores Eletrônicos

A tecnologia atual de medição eletrônica garante melhor exatidão que os medidores eletromecânicos, oferecendo informações detalhadas sobre o consumo como potência ativa, potência reativa, entre outras. São comumente utilizados para realizar o faturamento do Grupo A, que necessita de medidores inteligentes capazes de registrar o consumo por intervalo de tempo, necessários para aplicação da diferenciação da tarifa de acordo com o horário.

Já para o Grupo B, na maioria dos casos, haverá necessidade de substituição do medidor analógico por um medidor eletrônico. Os custos do medidor e sua instalação serão de responsabilidade da distribuidora de acordo com a ANEEL.

2.3. FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

A fatura de energia elétrica é a cobrança realizada pelas distribuidoras de energia aplicando-se tarifas distintas a cada uma das classes de consumo definidas pela ANEEL, como mencionado anteriormente. A partir de medições mensais de

consumo, resumidamente, são definidos os valores de TUSD e TE para cada modalidade tarifária e por fim recebem a correção da bandeira tarifária vigente no mês em questão.

Para um consumidor residencial pertencente ao Subgrupo B1, o valor da conta ainda é calculado de acordo com o Artigo 106 da Resolução 414 de 2010 da ANEEL, ou seja, quantidade de energia utilizada (kWh) multiplicada pela tarifa de energia da Classe B1 (ABRADEE, 2015).

$$FC = C \times TC \quad (1)$$

$$TC = TE + TUSD \quad (2)$$

Onde:

FC - Valor da fatura (R\$)

C - Consumo de energia elétrica medido no mês (kWh)

TC - Tarifa de consumo (R\$/kWh)

TE - Tarifa de energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

O valor da tarifa de energia, fixado pela ANEEL, é definida pela área de concessão e pode variar de acordo com o território geográfico onde cada empresa distribuidora fornece energia, se a área coincide com a de um estado, a tarifa é única naquela unidade federativa, caso contrário, poderá haver tarifas diferentes dentro do mesmo estado (ENERGIA, 2015).

A partir de janeiro/2015, um novo mecanismo de transparência e de sinalização de preço foi introduzido no cálculo da fatura de energia: as Bandeiras Tarifárias. Tendo como objetivo mostrar aos consumidores o real estado da geração de energia elétrica, podendo assim o preço final da energia aumentar ou diminuir conforme maior ou menor utilização de usinas termelétricas (ABRADEE, 2015).

Até o presente momento (junho/2016), a tarifa de energia para a classe B1 na distribuidora COPEL é definida conforme a Figura 3.

Descrição	R\$/kWh*
B1 - Residencial	0,49231
B1 - Residencial Baixa Renda	
Consumo mensal inferior ou igual a 30 kWh	0,17026
Consumo mensal superior a 30 kWh e inferior ou igual a 100 kWh	0,29188
Consumo mensal superior a 100 kWh e inferior ou igual a 220 kWh	0,43781
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,48646

* Os valores constantes da Resolução Homologatória referida são expressos em R\$/MWh

Figura3 – Valores R\$/kWh.

Fonte: Adaptado de COPEL (2015b).

Simplificadamente levam-se em conta três custos distintos que compõe a tarifa de energia elétrica: geração de energia, transmissão e distribuição, encargos e tributos, como pode ser verificado na Figura4.



Figura4 – Custo embutidos na fatura de energia.

Fonte: ENERGIA (2015).

2.3.1. Componentes TUSD e TE

O valor homologado para a energia consumida é composto pelos custos relacionados a toda cadeia produtiva, sendo esses custos distribuídos em duas parcelas, como citado anteriormente, uma é referente aos custos da energia elétrica para a revenda (TE), e a outra relacionada aos custos do uso do sistema de distribuição (TUSD) (ANEEL, 2015b).

A TUSD reflete os custos da rede de distribuição e a remuneração da distribuidora pela prestação do serviço ao consumidor final, atualmente subdividida em Fio A e Fio B, em que é cobrada do consumidor a parcela relativa ao transporte de energia mais a remuneração da distribuidora e a parcela encargos, componente que tem por objetivo restituir a distribuidora pelos encargos e tributos que são repassados aos órgãos competentes (COPEL, 2015a).

A Figura5 apresenta os 3 componentes de custo da TUSD, como transportes, encargos e perdas.

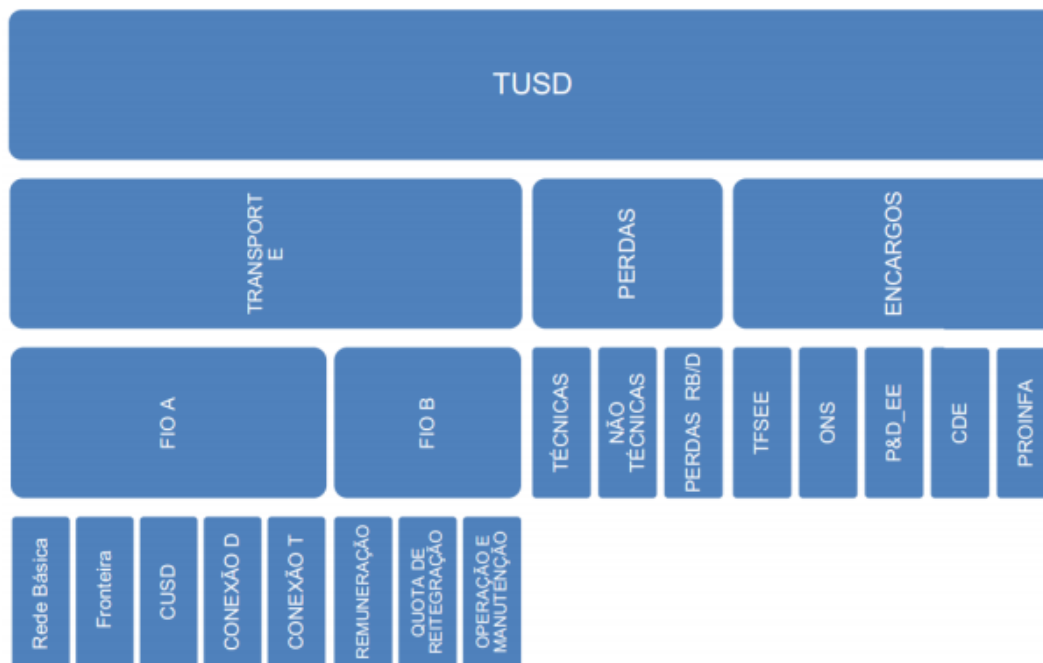


Figura5– Funções de custo da TUSD.
Fonte: ANEEL (2015b).

A parcela correspondente ao transporte está relacionada aos custos pelo uso de ativos da própria distribuidora e de terceiros, a parcela referente às perdas, recupera os custos das perdas técnicas e não técnicas do sistema de distribuição. A componente relacionada aos encargos visa recuperar os custos sobre projetos de P&D, PROINFA, o ONS e outras iniciativas para fortalecer e desenvolver o setor elétrico (ANEEL, 2015b).

De acordo com Menezes, os custos com a aquisição de energia, responsáveis pela composição TE, também são definidos em processos de reajuste ou revisão tarifária e são repassados integralmente aos consumidores, sem auferir margens de lucro às distribuidoras de energia.

Para a composição dos valores do TE são utilizados quatro componentes: energia, transporte, perdas e encargos, apresentado na Figura 6.

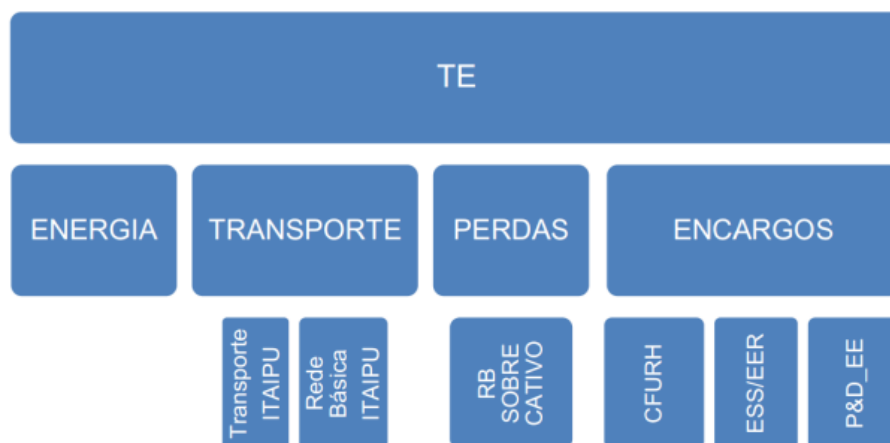


Figura6– Funções de custo da TE.
Fonte: ANEEL (2015b).

A componente energia é responsável por recuperar os custos pela compra de energia elétrica destinada à revenda para o consumidor, incluindo os custos com a energia comprada de Itaipu, conforme o contrato estabelecido com o Paraguai. A componente encargos refere-se aos encargos gerados pela reserva de energia (EER), contribuições pelo uso de recursos hídricos (CFURH) e P&D. A componente transporte recupera os custos gerados pela transmissão de energia de Itaipu e a componente de perdas refere-se às perdas na rede básica, proveniente de consumidores cativos (ANEEL, 2015b).

2.4. CURVA DE CARGA

Define-se curva de carga como a curva que apresenta a demanda em função do tempo, $D(t)$, para um dado período de T (SOUZA et al., 2010, p. 776). A curva de carga é a representação da união de pontos médios das bases superiores de retângulos de largura Δt , e a ordenada máxima da curva define a demanda máxima, D_m . Uma curva de carga genérica é representada na Figura 7.

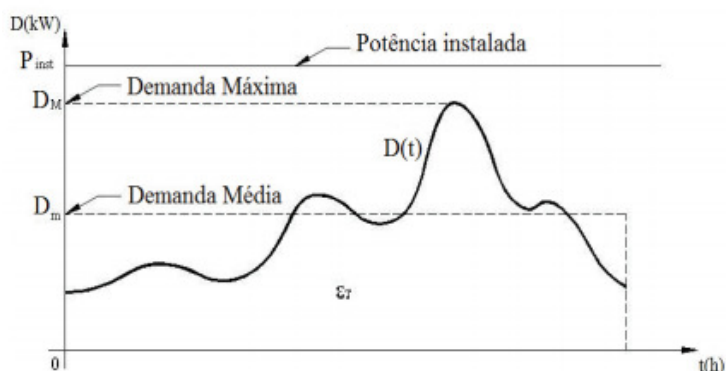


Figura7 – Curva de carga de demandas.
Fonte: SOUZA et al. (2010).

Ainda segundo Souza et. al. (2010), cada consumidor apresenta um tipo de curva de carga padrão. Existem vários tipos de curvas de carga padrão para os diversos consumidores industriais, contudo o foco deste trabalho é o consumidor residencial. Para este, é esperado que apresente um comportamento de consumo relativamente uniforme durante o dia, e no período de “pico” o consumo cresça consideravelmente.

Na Nota Técnica nº175 correspondentes ao “Terceiro ciclo de revisões tarifárias das concessionárias de distribuição de energia elétrica” da COPEL (ANEEL, 2012), foi obtido o gráfico padrão de consumo residencial para o estado do Paraná conforme Figura 8, curva que será utilizada como base para futuras análises do consumo residencial deste trabalho. Para o momento, observa-se que característica da curva é ascendente, com um “pico de consumo” entre as 18h e 20h.

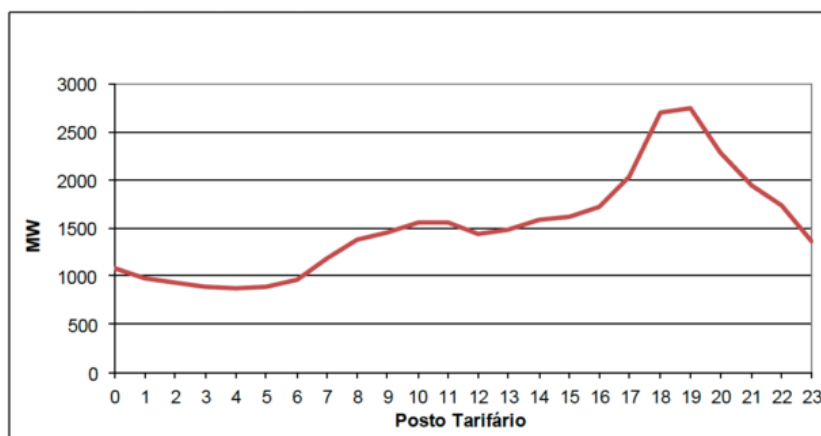


Figura8– Gráfico de comportamento de carga do consumidor residencial no estado do Paraná mostrado hora a hora.
Fonte: ANEEL (2012).

2.5. CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Para o presente trabalho é pertinente mostrar a representatividade do setor residencial no consumo total de energia elétrica no Brasil. O gráfico da Figura 9 apresenta esse consumo em porcentagem no período de janeiro a julho de 2015. O setor residencial representa aproximadamente 30% do consumo total.

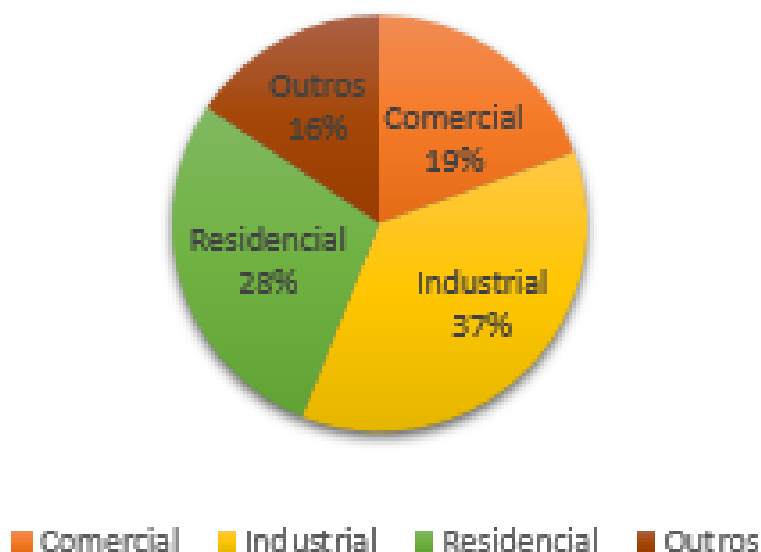


Figura9 – Consumo de Energia elétrica (%) janeiro a julho 2015.
Fonte: EPE (2015a).

É importante destacar que:

O setor Residencial Brasileiro é formado por um grupo bastante heterogêneo de consumidores, principalmente no que se refere ao perfil de posse e uso de eletrodomésticos. Isso pode ser, em parte, explicado pelas variações de renda familiar – que exercem grande influência nos hábitos de consumo de energia elétrica nos domicílios – e pela diversidade climática (em função da grande expansão territorial) (PROCEL, 2005, p.37).

Essa diversidade evidenciada no setor Residencial reflete na alta variabilidade de consumo durante os meses do ano.

No gráfico apresentado na Figura10 é mostrado a variabilidade de consumo durante os meses do ano. Houve uma elevação de aproximadamente 6% no consumo de energia elétrica em janeiro de 2015 se comparado ao mesmo período do ano passado. Contudo, “nas residências o consumo de eletricidade atingiu

10.123 GWh em julho, representado uma queda de 5% em relação a 2014 - a maior já registrada nos últimos 10 anos” (EPE, 2015b), portanto é possível observar uma variação considerável de consumo (-11%).

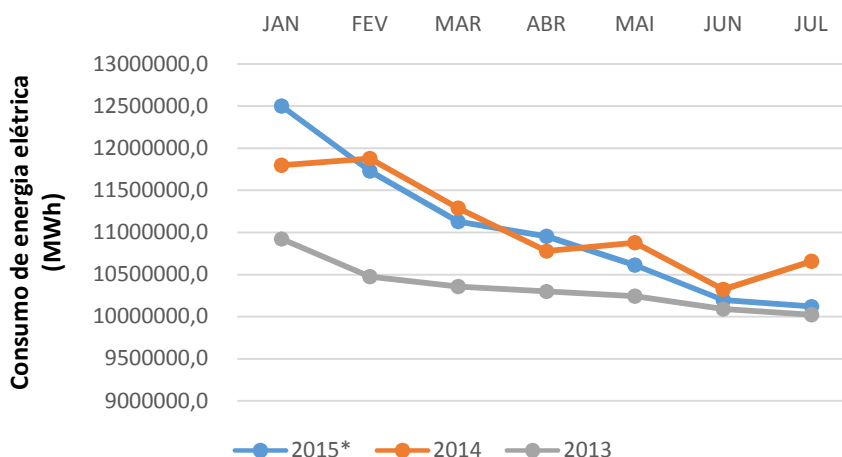


Figura10– Consumo de Energia elétrica (%) janeiro a julho2015.
Fonte: Adaptado de EPE (2015a).

Segundo EPE (2015b) essa variação de consumo atípica é explicada pelo cenário econômico desfavorável, tarifas de eletricidade mais elevadas, redução do poder aquisitivo e temperaturas mais amenas.

Embora o contexto atual seja de retração momentânea de consumo, a tendência geral é de crescimento. O que se observa no período entre 1990 e 2012 é um crescimento de aproximadamente 140% do consumo de eletricidade residencial conforme o gráfico da Figura 11. Evidencia-se a necessidade de investimentos em pesquisas nesse setor para que seja capaz de estimar o crescimento de consumo para os próximos anos.

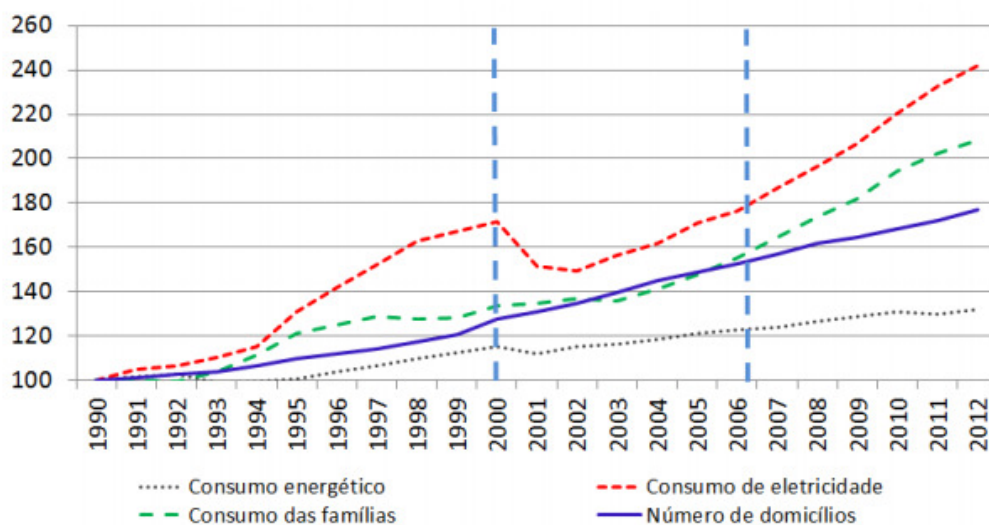


Figura11– Evolução do número-índice do consumo residencial de energia e Eletricidade, do consumo das famílias e do número de domicílios (1990= 100).
 Fonte: EPE (2014).

Além de estimar o crescimento de consumo, outro fator importante é determinar como é utilizada essa energia por parte dos consumidores residenciais. Os gráficos que explicitam os tipos de carga utilizadas são de fundamental importância para conhecer os diferentes usos finais nas residências, que contribuem para o pico de carga, visto que o setor residencial é um dos principais contribuintes para o “pico de consumo” do sistema (KONOPATZKI et al., 2013, pg.06). O gráfico da Figura 12 estima o consumo de eletrodomésticos de acordo com o uso hipotético de uma residência com consumo mensal médio de 220 kWh/mês.

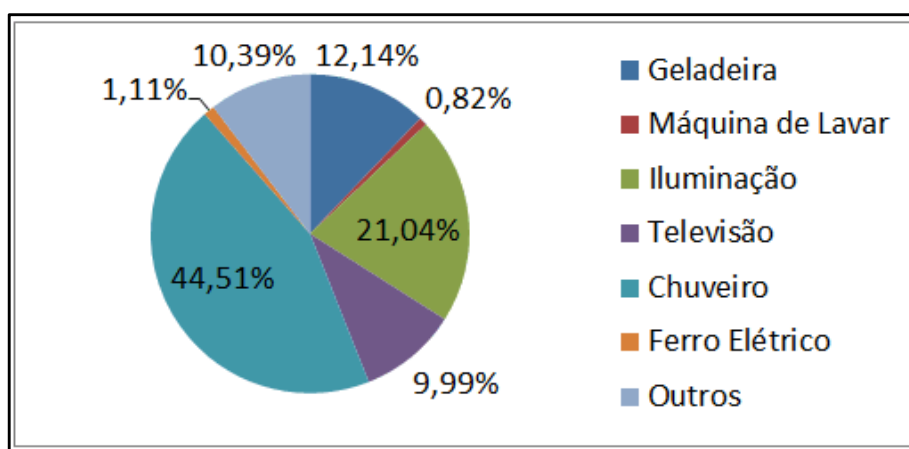


Figura12– Estimativa de consumo por eletrodomésticos de acordo com uso hipotético de uma residência com consumo mensal médio de 220 kWh/mês.
 Fonte: COPEL (2015c).

O chuveiro elétrico e a iluminação aparecem como maiores contribuintes no consumo de energia elétrica, 44,51% e 21,04%, respectivamente, enquanto a televisão representa aproximadamente 10%. Esses percentuais podem variar de acordo com cada tipo de consumidor residencial.

Estimar o consumo de energia de acordo com os tipos de carga presentes em uma residência auxilia a justificar a característica da curva de carga do setor residencial e pode auxiliar o consumidor a decidir sobre possíveis mudanças de hábitos visando à redução do consumo de energia, caso a tarifa branca entre em vigor nos próximos anos.

2.6. CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DOS COMPONENTES DE *HARDWARE*.

Devido à vasta diversidade de fabricantes, de componentes eletrônicos e de microcontroladores presentes no mercado atual, estabeleceram-se, a partir dos objetivos e da aplicação desse projeto, critérios fundamentais que auxiliaram a escolha dos componentes e da topologia do modelo proposto. Os critérios adotados foram os seguintes:

- Relação custo/benefício: Por se tratar de um trabalho acadêmico, optou-se pela escolha de componentes financeiramente acessíveis aos integrantes da equipe deste projeto, e que, prioritariamente, fossem adquiridos os de menor custo possível, desde que atendessem satisfatoriamente às necessidades da topologia apresentada.
- *Hardware* e/ou vários componentes de *software* livres: Optou-se também, pela utilização de plataformas de prototipagem livre e de código aberto, características consideradas importantes pelos membros da equipe deste trabalho, por fomentar a utilização de tecnologia acessível à população. Como o intuito principal deste trabalho trata-se da criação de um aplicativo para acompanhamento de consumo de energia elétrica, buscou-se a mais simplificada topologia para se atingir o objetivo secundário deste trabalho: a coleta e o armazenamento dos dados a serem utilizados pelo aplicativo.

- Popularidade no mercado: Para o desenvolvimento do *hardware* buscou-se utilizar modelos de marcas vastamente conhecidas no mercado e no meio acadêmico, com o objetivo de se obter um amplo suporte de informações a respeito dos componentes e dos dispositivos a serem utilizados. Tal critério visa a economia de tempo, tanto na solução de possíveis problemas que possam surgir durante o desenvolvimento do projeto, quanto em medidas que possam evitá-los pelo fato de já terem sido difundidos e conhecidos pela comunidade de seus usuários.

Tais critérios foram estabelecidos em consenso entre os membros dessa equipe e foram os que mais se adequaram nesse projeto especificamente. A topologia escolhida para este trabalho é apenas uma dentre muitas outras que satisfazem os objetivos à priori. Os componentes e as marcas utilizadas foram analisados apenas para sua utilização na topologia aqui abordada e sob os critérios aqui estabelecidos anteriormente.

2.7. DESCRIÇÃO E JUSTIFICATIVAS PARA AS ESCOLHAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA.

Esse tópico aborda as descrições das principais características de cada componente em questão, e os motivos de sua devida escolha quando houver necessidade.

2.7.1. Arduino MEGA 2560

O site oficial da plataforma Arduino o define como sendo uma plataforma de prototipagem eletrônica *open-source* projetado a partir de um microcontrolador ATMEL AVR. As placas da linha Arduino possuem baixo custo de produção, são flexíveis e expansíveis, pois seguem a filosofia de expansão de periféricos modulares, moldando-se assim ao objetivo de sua utilização, além de serem fáceis de se utilizar se comparadas a microcontroladores mais sofisticados presentes no mercado.

Além da linha Arduino, existem diversos kits e plataformas de desenvolvimento, presentes no mercado, com características semelhantes e que seguem a mesma filosofia de expansão de periféricos por placas/módulos adicionais. O LaunchPad MSP430, por exemplo, produzido pela Texas Instruments (TI), disponibiliza em seu site todas as características de seus produtos, e é muito semelhante ao Arduino UNO. Os dois modelos possuem características bastante semelhantes e preços muito atrativos no mercado vide Tabela 1. Porém, o LaunchPad MS430 possui licença privativa da Texas Instruments, não sendo permitido, por exemplo, a sua reprodução ou modificação sem a permissão da mesma, ao contrário do Arduino.

A Tabela 1 apresenta as principais características do modelo da MSP430 da TI e o modelo UNO da linha Arduino, seguidamente do preço de cada um disponível atualmente no mercado. Nota-se a semelhança entre os dois produtos e a diferença do preço dos mesmos. O Arduino, pelo fato de ser *open-source*, e possuir *hardware* livre, pode ser produzido sem a necessidade de permissão para tal, isso permite que fabricantes possam oferecê-los a preços baixíssimos de produção, e conseqüentemente, a preços menores que modelos privativos quando comparados com modelos similares.

Tabela 1– Comparativo TI Launchpad MSP430 e Arduino Uno.

	TI Launchpad MSP430	ArduinoUno
Microcontrolador	TI M430G2553	ATMega328p
Data Bus	16 bit	8 bit
Velocidade	16 MHz	16 MHz
EPROM	16 KB	32 kB
RAM	512 B	2 kB
Digital I/O	8 CHANEELS	14 CHANEELS
Analog I/O	8 CHANEELS	6 CHANEELS
Custo do Kit	\$9.99 @ TI.com	\$3.65 @ ebay.com
Frete	\$7.00 @ TI.com	<i>freeshipping</i> @ebay.com

Fonte: Adaptado de Arduino (2015b) e Instruments (2015).

Além das características supracitadas, o modelo da MSP430 ainda possui dimensões muito semelhantes as do Arduino UNO, como evidencia a Figura 13.

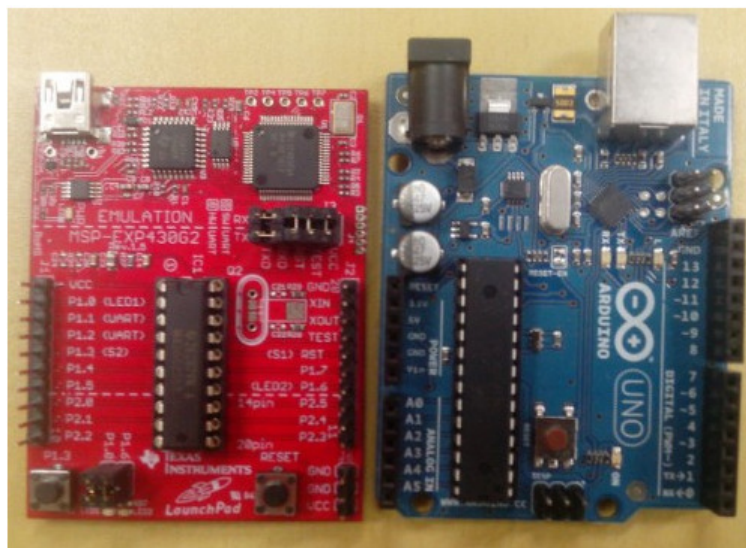


Figura13– LaunchPad MSP430 e Arduino UNO.

Fonte: HARDWARE (2013).

Contudo, devido à necessidade de grande quantidade de entradas para os sensores de corrente e tensão e demais módulos presentes na topologia proposta, optou-se pelo modelo ArduinoMega 2560 em vez do modelo Arduino UNO, sendo este último considerado o modelo básico da linha Arduino. O ArduinoMega custa em torno de US \$7,96 enquanto uma placa clone do Arduino UNO é encontrado por US \$3,65 em sites populares de compras online.

O ArduinoMega2560, segundo site da plataforma Arduino, é uma placa baseada no microcontrolador ATMega2560. Ele possui 54 pinos digitais de entrada/saída (dos quais 15 podem ser utilizados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de *hardware*), um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, um cabo fonte, um conector ICSP, e um botão de *reset*. A Figura 14 apresenta um resumo das características físicas do ArduinoMega 2560.

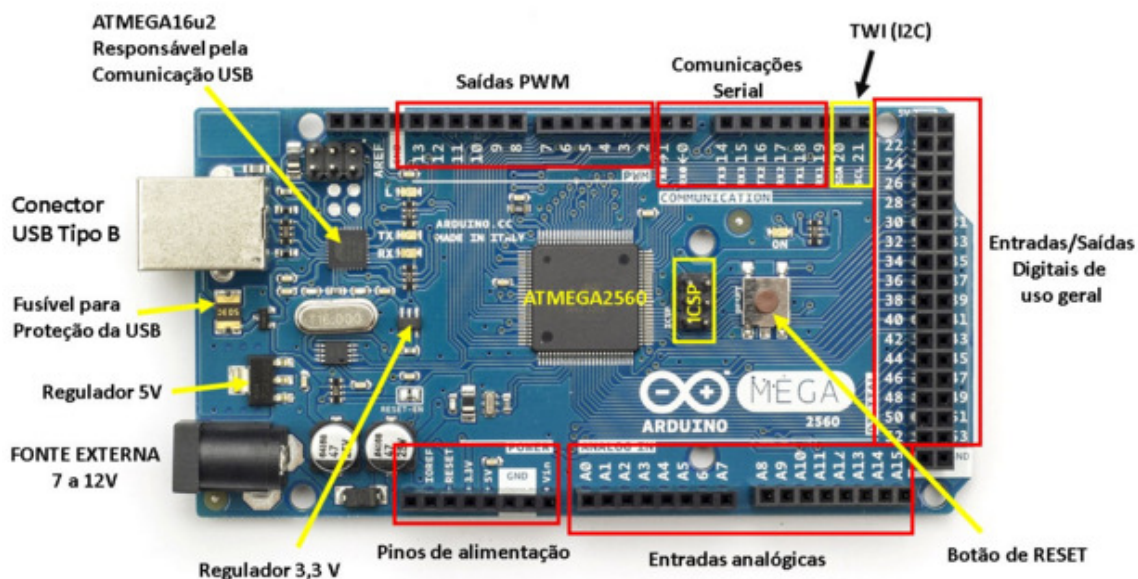


Figura14 – Resumo das características do ArduinoMega 2560.
Fonte: Embarcados, 2013.

Uma das vantagens de se utilizar placas pré-fabricadas como essa é que a mesma já contém todos os componentes necessários para apoiar o microcontrolador, basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC-CC ou bateria para programá-lo.

2.7.2. Ambiente de desenvolvimento Integrado do Arduino – IDE

Segundo o site da plataforma Arduino, o Ambiente de desenvolvimento Integrado do Arduino - ou *Arduinosoftware* (IDE) - contém um editor de texto para escrever código, uma área de mensagens, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para funções comuns e uma série de menus. Ele se comunica ao *hardware* Arduino para carregar programas.

A IDE do Arduino é útil para este trabalho em sua fase inicial, pois pode-se tanto programar o microcontrolador quanto verificar as informações registradas no mesmo de forma rápida e eficiente, facilitando o processo de verificação da correta execução do programa e correção de erros caso seja necessário.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. MODELO PROPOSTO

Neste capítulo são abordados, a partir do modelo de topologia proposto, como os dados de tensão e corrente serão condicionados, coletados, armazenados, enviados e visualizados por meio de uma interface gráfica.

São apresentados os critérios de escolha dos componentes eletrônicos utilizados, a descrição dos mesmos, bem como sua disposição no projeto. Dentre os componentes principais podemos citar o microcontrolador ATmega2560 presente na plataforma de desenvolvimento Arduino, os módulos conectados ao mesmo, e os sensores.

Para o microcontrolador, a linguagem de programação utilizada pode ser tanto em C quanto em C++, em que esta última compõe a versão do primeiro modelo com orientação a objetos.

Também é apresentada a linguagem de programação do sistema de interação com o usuário, chamada de *Python* que será abordado o desenvolvimento de um programa intuitivo que utiliza arquitetura flexível com a orientação ao objeto.

3.1.1. Topologia do modelo proposto

A Figura 15 apresenta a topologia do modelo proposto, nela constam os respectivos componentes utilizados.

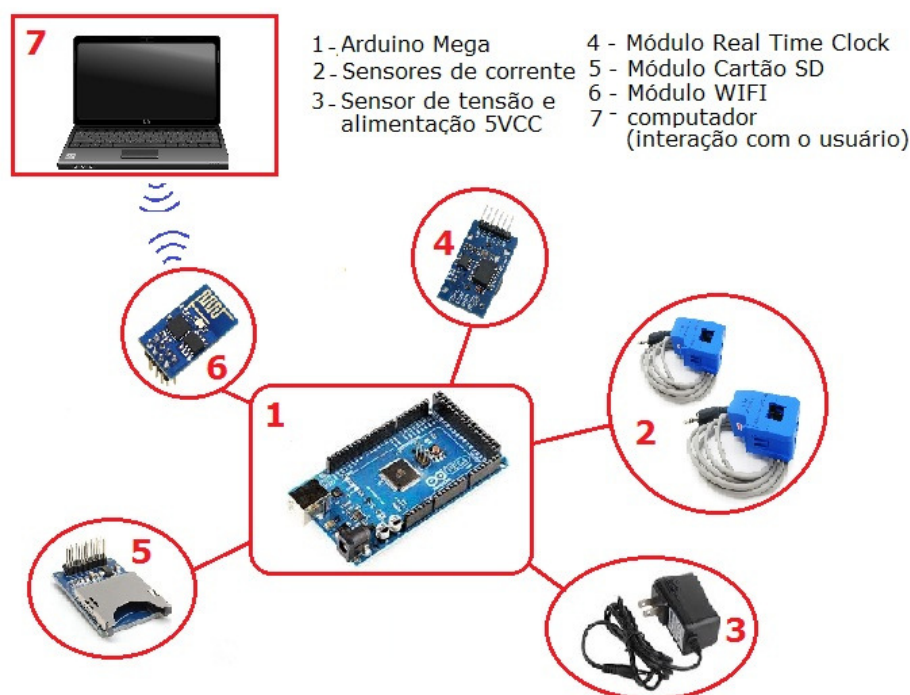


Figura15 – Topologia de *hardware* adotada para o desenvolvimento do sistema.

Fonte: Autoria Própria.

Resumidamente, o microcontrolador coleta valores de tensão e corrente do sistema utilizando sensores e conversores analógico-digital, periféricos integrados ao ATmega2560. Estes valores, após são submetidos ao processo de condicionamento e digitalização, são armazenados, juntamente com data e hora, sendo a data e a hora disponibilizadas pelo módulo, RTC – *Real Time Clock* conectado ao ATmega2560 via I2C, em um cartão SD em forma de documento de texto (.txt) através do módulo SD integrado ao Arduino (comunicação serial SPI).

Os dados armazenados no cartão SD são enviados via *Wi-Fi*, (através do módulo *Wi-Fi* também conectado à placa) possibilitando, dessa forma, acesso remoto aos dados armazenados no local (cartão SD). Ao adquirir esses dados por meio de um servidor web o aplicativo mostra os valores da potência consumida em Watts e apresenta graficamente, por circuito, as curvas de consumo de energia elétrica (Watts) durante o período de tempo (horas, minutos, segundo) solicitado anteriormente pelo usuário, estas potências são referentes a multiplicação dos valores de corrente (I_{rms}) e tensão (V_{rms}) efetuados já no programa do Arduino.

3.1.2. Sensores de Corrente

Para facilitar a instalação dos sensores de corrente elétrica no local de medição, optou-se pelo uso de sensores não intrusivos de corrente, evitando-se, assim, grandes modificações ou alterações no local.

O modelo SCT013, apresentado na Figura 16, adequa-se perfeitamente aos requisitos estabelecidos neste trabalho. Constituído basicamente por um transformador de corrente e um resistor de referência, seus modelos variam de acordo com o valor de corrente nominal de entrada, podendo estes ser de 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, 30 A, 50 A, 60 A e 100 A, e com saída em tensão de 0 a 1 V, exceto o modelo de 100 A que possui saída em corrente que varia de 0 a 33 mA.



**Figura16 – Sensor de Corrente não intrusivo SCT013.
Fonte: BEIJING (2015).**

A Figura 17 apresenta algumas características do modelo SCT013-030A fornecidas pelo fabricante. Este modelo custa em torno de US \$5,80 adequando-se ao critério de custo.

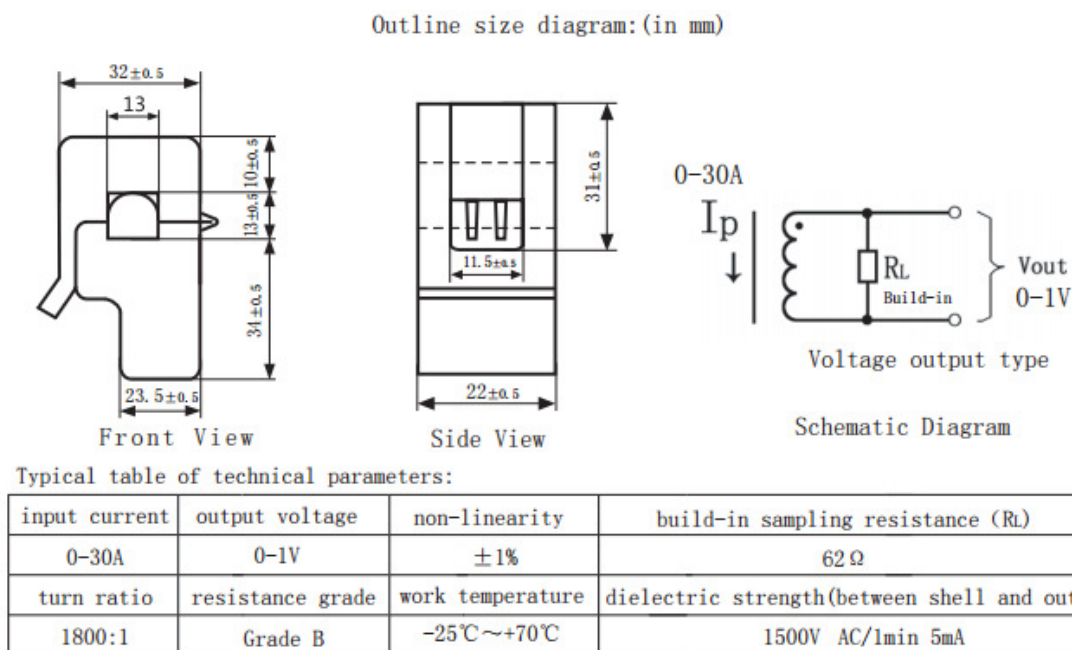


Figura17 – Datasheet modelo SCT013-30^a.
Fonte: BEIJING (2015).

3.1.3. Sensores de Tensão

Para a coleta de tensão foi utilizado um transformador abaixador AC-AC de 127V_{rms} - 5V_{rms} conectado direto no circuito de entrada da caixa de ligação. O sinal de 5 V_{rms} passará por um divisor de tensão com proporção igual a 1/4, sendo que este deve ficar entre 1,0 V_p e 1,5 V_p após o divisor de tensão. Este sinal, em seguida, é referenciado em 2,5 V com o auxílio de um capacitor, este é conectado a um divisor de tensão composto por dois resistores de mesmo valor. Assim, o Arduino consegue ler o novo sinal, este agora variando entre 4V e 1V, dando margem para possíveis flutuações do sinal de tensão do sistema.

Porém, o sinal das entradas analógicas do Arduino deve ser de corrente contínua e variar entre 0V e 5V caso a referência do mesmo seja o GND. Como o sinal continua alternado tendo componente positiva e negativa, precisa-se elevar o mesmo para que se extinga a tensão negativa, mantendo a forma de onda senoidal característica da corrente alternada, só que agora, inteiramente positiva.

A Figura 18 apresenta um diagrama do circuito utilizado para a aquisição e o condicionamento do sinal de tensão, como se pode ver, a entrada do Arduino ficou entre 2,82 V e 3,91 V, não extrapolando os limites admissíveis para o mesmo (0-5V).

Foram utilizados resistores de 200k Ω e 50 k Ω para o primeiro divisor de tensão com proporção de 1/4 e dois resistores de 100k Ω para o segundo divisor de tensão.

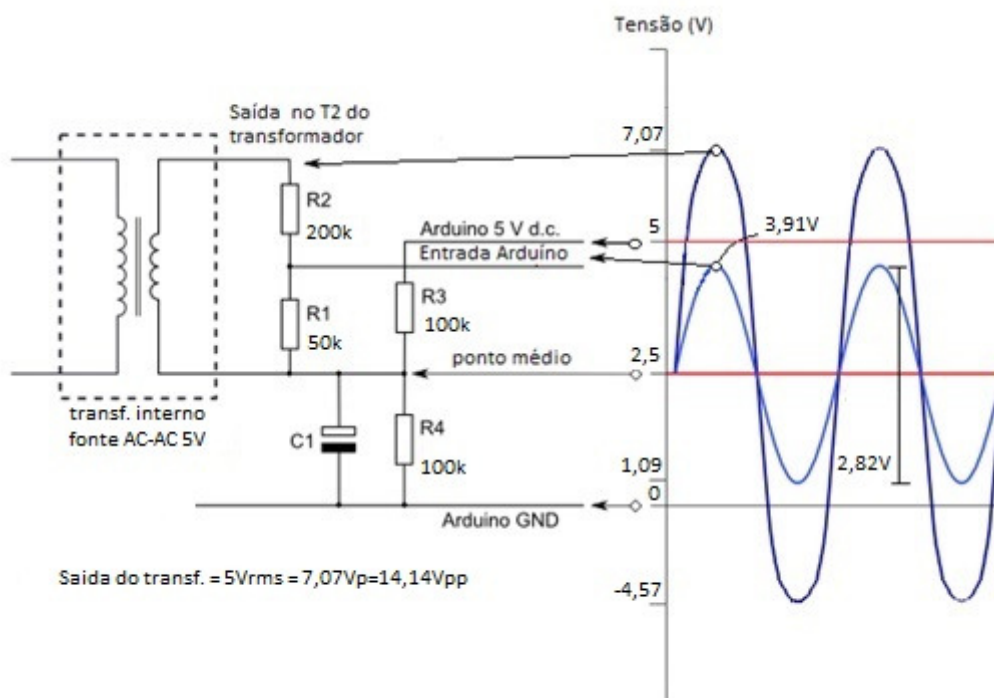


Figura18—Diagrama do circuito projetado para a aquisição e o condicionamento do sinal de tensão.
Fonte: Autoria Própria.

3.1.4. Módulo *Clock*

Para a referência de tempo atrelado aos valores de corrente e tensão a serem armazenadas, optou-se pela utilização do módulo *Real Time Clock* (RTC). Este é constituído por um relógio de tempo real com calendário completo e mais de 56 bytes de RAM, sendo capaz de fornecer informações como segundo, minutos, dia, data, mês e ano. Correções como meses com menos de 31 dias e anos bissextos são feitas automaticamente. O módulo pode ser encontrado em média por R\$ 20,00, adequando-se ao critério custo.

Em sua placa há um circuito que detecta falhas de energia, acionando assim automaticamente a bateria auxiliar para que não haja perda de sincronismo. O módulo utiliza comunicação via protocolo I2C para a transferência de dados com o

microcontrolador. Este RTC opera tanto no formato 12horas como 24horas (Arduino, 2015a).

O protocolo I2C pode ser resumido como: uma comunicação em 2 fios, o *SDA* - *Serial Data* – pino de transferência de dados, e o *SCL*- *Serial Clock* – responsável pela temporização entre os dispositivos, de modo que a comunicação pelo SDA garanta a confiabilidade da transmissão. Tanto o envio quanto a recepção de dados são realizadas utilizando a linha SDA, ou seja, é uma linha bidirecional de comunicação (REIS, 2014).

A Figura 19 apresenta um modelo de ligação com a placa Arduino.

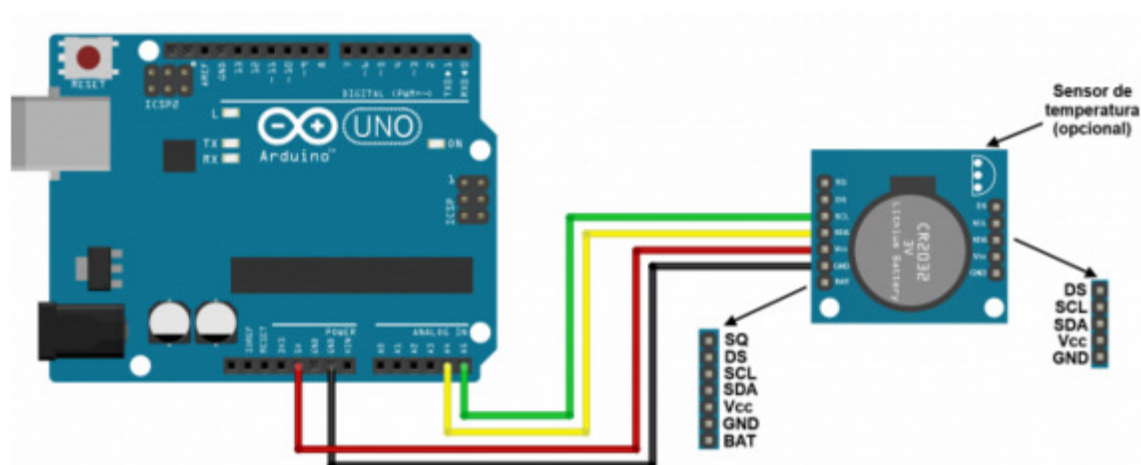


Figura19– Conectado RTC DS1307 ao Arduino
Fonte: FilipeFlop (2015).

3.1.5. Módulo *Wi-Fi* - Comunicação para acesso remoto

Para comunicação entre o Arduino e a plataforma computacional optou-se pela utilização de um módulo sem fio ao invés de comunicação física, facilitando a instalação e a desinstalação do mesmo. O módulo em questão é o *ShieldWi-Fi* Serial EPS 8266 - modelo 12 - ESP12E que suporta as redes 802.11 b/g/n, podendo trabalhar como um Ponto de Acesso (*Acess Point*) ou como uma Estação (*Station*).

Ele será capaz de enviar os dados para o aplicativo através de um servidor online enquanto sua comunicação com o Arduino é serial. Adequa-se ao critério custo pelo fato de poder ser adquirido por R\$30,00 no Brasil ou U\$ 3,00 no EUA. A Figura 20 apresenta a característica física do módulo *Wi-Fi*.

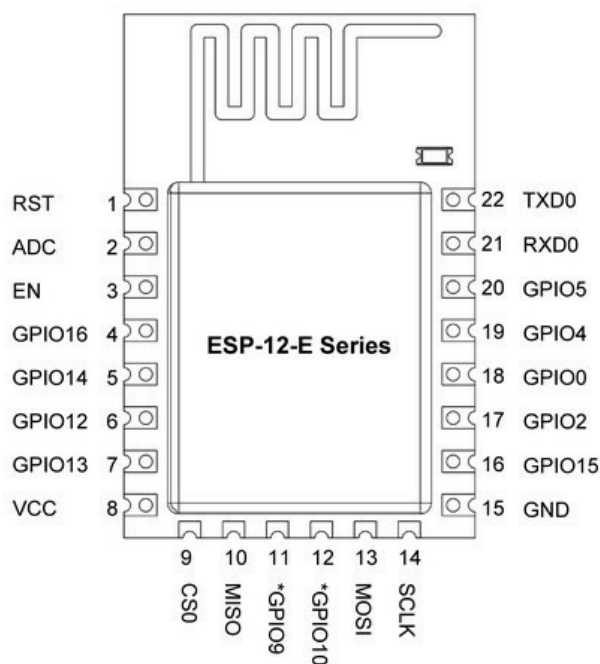


Figura20 — Característica física *ShieldWi-Fi*.
Fonte: ESP8266 (2015).

3.1.6. Módulocartão SD - Banco de dados

Optou-se pela utilização do módulo Cartão SD para a armazenagem dos dados coletados, o qual suporta formatos de arquivo FAT16 e FAT32, e alimentação de 3.3V ou 5V.

A comunicação é feita pela interface SPI (pinos MOSI, SCK, MISO e CS), e o nível de sinal de comunicação é de, no máximo, 3.3V, exigindo um divisor de tensão para ligação à microcontroladores que trabalhem com 5V, como o Arduino. A Figura 21 apresenta as características físicas do módulo SD.

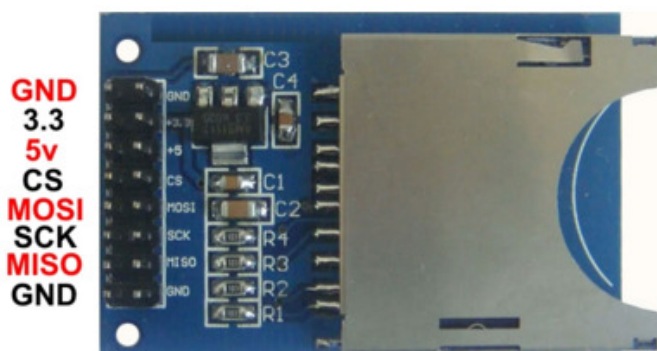


Figura21— Módulo SD Card.
Fonte: FILIPEFLOP (2015).

A interface *Serial Peripheral Interface* (SPI) é um protocolo de dados em série síncrona usado por microcontroladores para comunicar com um ou mais dispositivos periféricos rapidamente a distâncias curtas. Ele também pode ser usado para comunicação entre dois microcontroladores (Arduino, 2015a).

Ao utilizar a ligação SPI, há sempre um dispositivo mestre (geralmente um microcontrolador), que controla os dispositivos periféricos. Normalmente existem três linhas comuns a todos os dispositivos:

- MISO (*Master Em Slave Out*) - A linha de Slave para o envio de dados para o mestre;
- MOSI (*Master Slave Out In*) - A linha mestre para enviar dados para os periféricos;
- SCK (*Clock Serial*) - Os pulsos de *clock* que sincronizam a transmissão de dados gerado pelo mestre e uma linha específica para cada dispositivo.

A Figura 22 apresenta um modelo de ligação do módulo cartão SD com a placa Arduino Uno com o auxílio de uma *protoboard*.

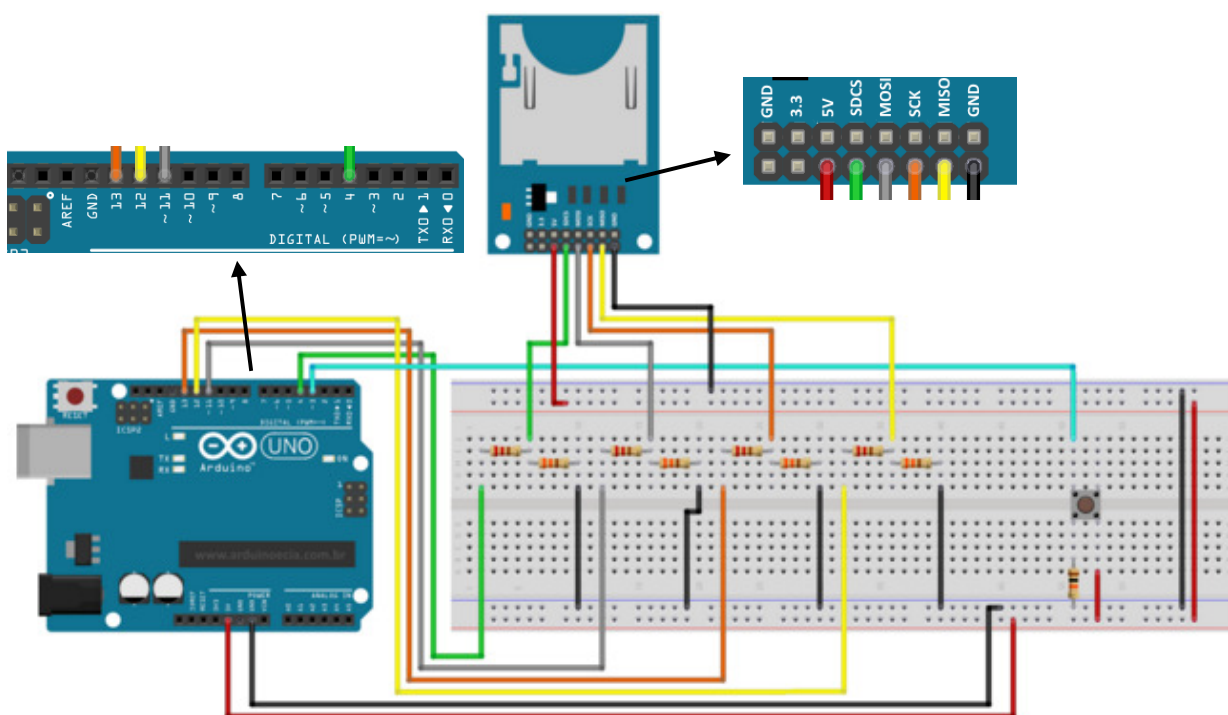


Figura22– Ligação Módulo SD com Arduino Uno utilizando uma *protoboard*.
Fonte: FILIPEFLOP (2015).

3.1.7. Programação do sistema de interação com o usuário

Um dos objetivos principais do presente trabalho é a construção de sistema supervisorio para acompanhamento de consumo de energia elétrica residencial que possibilite a interação do usuário com o sistema de monitoramento.

Para a criação da *interface* do aplicativo escolheu-se o *Python*, um *software* livre com linguagem de programação simples e clara, mas poderosa, podendo ser usada para administrar sistemas e desenvolver grandes projetos (MENEZES,2014).

Como é um *software* livre, disponível praticamente para qualquer tipo de computador, sua utilização não envolve a aquisição de licenças de uso, muitas vezes a um custo proibitivo.

O *Python* foi criado em 1990 por Guido van Rossum, no Instituto Nacional de Pesquisa para Matemática e Ciência da Computação da Holanda (CWI), tinha originalmente foco em usuários como físicos e engenheiros, concebido a partir de outra linguagem existente na época, chamada ABC. Hoje, a linguagem é bem aceita na indústria por empresas de alta tecnologia, tais como (BORGES,2010):

- Google (aplicações Web);
- Yahoo (aplicações Web);
- Microsoft (IronPython: Python para .NET);
- Nokia (disponível para as linhas recentes de celulares e PDAs);
- Disney (animações 3D).

Essa linguagem inclui diversas estruturas de alto nível (listas, dicionários, data/hora, complexos e outras) e uma vasta coleção de módulos prontos para uso. Ela suporta programação modular e funcional, além da orientação a objetos (mesmo os tipos básicos no *Python* são objetos) (BORGES,2010).

O ambiente de desenvolvimento utilizado no trabalho foi o *Spyder*, um ambiente de desenvolvimento de código aberto que fornece também recursos *MATLAB*, disponíveis para todas as principais plataformas (Windows, Linux, MacOS X) (PYTHON, 2015).

Dentro do *Spyder* será utilizado a ferramenta *QtDesigner* para a geração da *interface* gráfica, essa ferramenta cria uma *interface* com gráficos, tabelas, botões

de escolha dentre outras opções, o que faz com que a interação do aplicativo com o usuário fique fácil de ser compreendido (QT, 2016).

Após a finalização da interface gráfica no *QtDesigner*, o programa gera o código em linguagem *Python* para ser utilizado junto com o restante da programação para a criação do aplicativo.

Este aplicativo recebe do Arduino através do servidor online apenas os valores de potência em Watts, pois, após a coleta de tensão e corrente o programa contido do Arduino utiliza estes dados para realizar os cálculos e enviar a informação via *Wi-Fi*.

O aplicativo mostra uma tela no qual o usuário pode escolher visualizar o consumo de energia – potência (Watts) em tempo real ou por meio de histórico, este último o usuário pode optar por visualizar em forma de gráfico por período de tempo, também escolhido pelo mesmo, ou, visualizar apenas em tabela. Vale ressaltar que será necessário o funcionamento por tempo mínimo para a visualização de histórico e que este tempo foi definido e ajustado a partir da implementação do sistema e que é de 24 horas.

Definidos os componentes de hardware, software auxiliar e parâmetros preliminares da ferramenta computacional, juntamente com a topologia de operação do sistema, entendidas aqui como sendo a topologia de hardware e o croqui do modelo lógico, compôs-se o alicerce para dar prosseguimento ao desenvolvimento do projeto, ou seja, a implementação do mesmo.

A *interface* do aplicativo será mostrada posteriormente no capítulo 4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

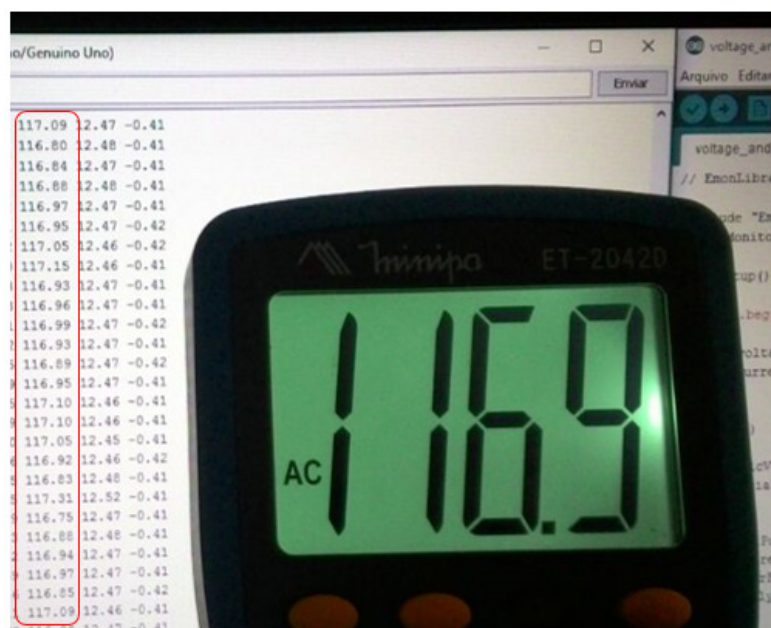
Neste capítulo é apresentado os resultados obtidos após as coletas realizadas pelo Arduino e apresentada pelo aplicativo. Também foi descrito as dificuldades encontradas durante a realização deste trabalho e as soluções tomadas.

4.1. AQUISIÇÃO DE TENSÃO (V_{RMS}) E CORRENTE (I_{RMS}) PARA CÁLCULO DE POTÊNCIA ATIVA [W]

Esta fase de testes teve por objetivo a implementação do programa no Arduino a aquisição da tensão e corrente através dos sensores apresentados no capítulo 3.

Para a validação do módulo de tensão e corrente, foi compilado um código simplificado no Arduino que utiliza a biblioteca Emonlib.h. Os valores obtidos de tensão e corrente em *rms* foram apresentados na interface serial da IDE do Arduino.

Durante o teste de tensão utilizou-se em paralelo um multímetro para a verificação dos valores obtidos por essa interface serial, conforme a Figura 23.



**Figura 23 – Verificação e validação dos valores de tensão (Arduino e multímetro).
Fonte: Autoria Própria.**

Durante o teste de corrente utilizou-se uma carga de baixa potência para não ultrapassar a corrente máxima recomendada do multímetro, este colocado em série com o circuito para a comparação dos resultados, conforme Figura 24.



**Figura24–Verificação e validação dos valores de corrente (Arduino e multímetro).
Fonte: Autoria Própria.**

Para o cálculo de erro do programa, utilizou-se o valor do multímetro como parâmetro e real, obtendo assim um erro de 0,19% para valor de tensão em *rms* e 0,16% para corrente em *rms*.

Para obter o valor do programa, foi realizado a média dos valores encontrados, a equação a seguir explica o cálculo do erro de tensão (3) e corrente (4) realizado:

$$Erro = \frac{|V_{mp_{rms}} - V_{ml_{rms}}|}{V_{ml_{rms}}} \times 100\% \quad (3)$$

$$Erro = \frac{|A_{mp_{rms}} - A_{ml_{rms}}|}{A_{ml_{rms}}} \times 100\% \quad (4)$$

Onde:

Vmp_{rms} - Média de 35 valores de valor de tensão em *rms* fornecidos pelo programa;

Vml_{rms} - Valor de tensão em *rms* encontrado no multímetro;

Amp_{rms} - Média de 35 valores de valor de corrente em *rms* fornecidos pelo programa;

Aml_{rms} - Valor de corrente em *rms* encontrado no multímetro;

4.2. VERIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA POTÊNCIA

Após a validação da aquisição de corrente e tensão, a próxima etapa foi gravar no cartão SD a potência calculada em função do tempo de coleta, com o auxílio do módulo RTC e módulo SD.

A Figura 25 apresenta a instalação do protótipo em um quadro de distribuição residencial para a aquisição de dados de tensão e corrente. Neste caso os sensores foram instalados nos seguintes circuitos:

- Sensor 01 – Iluminação;
- Sensor 02 – Tomadas de uso geral;
- Sensor 03 – Chuveiro.

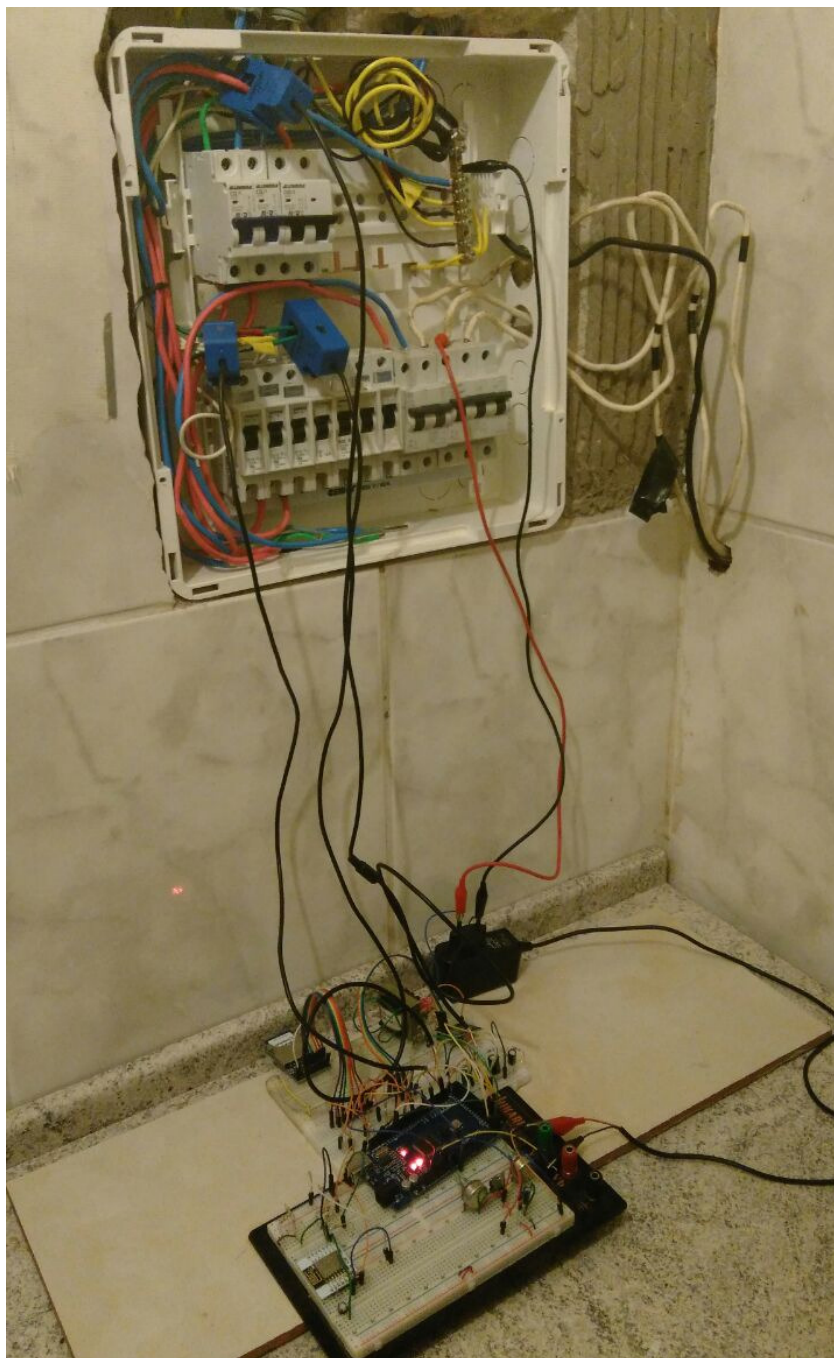
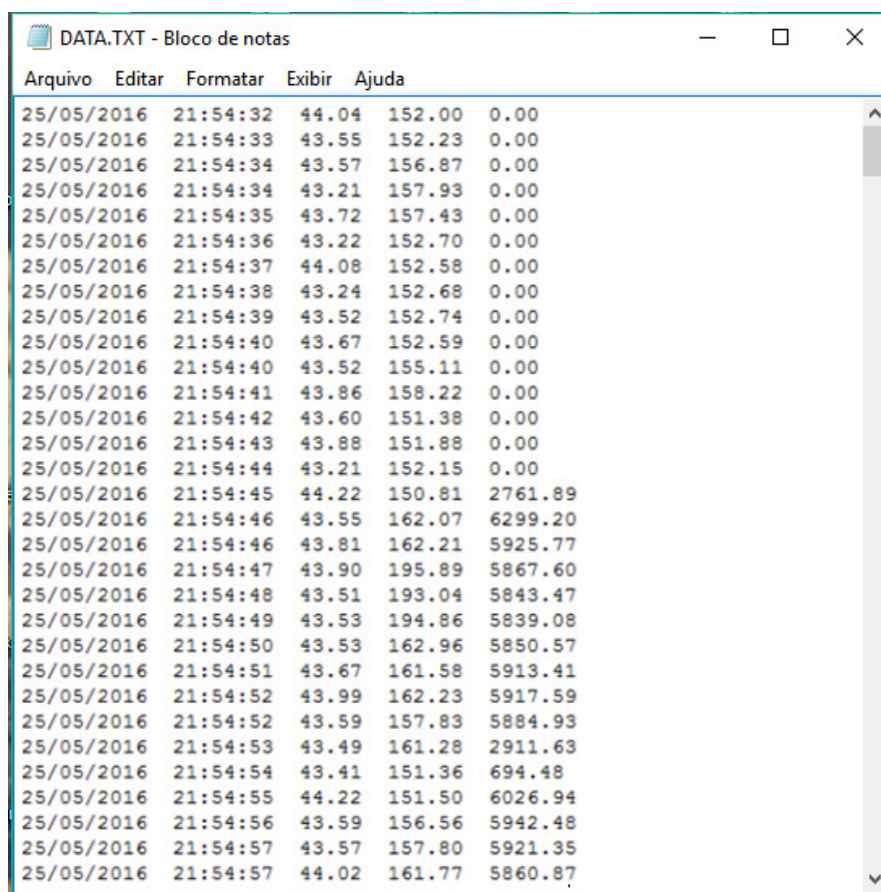


Figura25–Protótipo desenvolvido aplicado a uma instalação elétrica.
Fonte: Aatoria Própria.

O .txt criado pelo código implementado no Arduino informa na primeira coluna a data (dia/mês/ano), na segunda coluna o horário (hora: minuto: segundo) da leitura, seguido pelo valor de potência (watts) dos sensores 01, 02 e 03, respectivamente, conforme Figura 26.



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
25/05/2016	21:54:32	44.04	152.00	0.00
25/05/2016	21:54:33	43.55	152.23	0.00
25/05/2016	21:54:34	43.57	156.87	0.00
25/05/2016	21:54:34	43.21	157.93	0.00
25/05/2016	21:54:35	43.72	157.43	0.00
25/05/2016	21:54:36	43.22	152.70	0.00
25/05/2016	21:54:37	44.08	152.58	0.00
25/05/2016	21:54:38	43.24	152.68	0.00
25/05/2016	21:54:39	43.52	152.74	0.00
25/05/2016	21:54:40	43.67	152.59	0.00
25/05/2016	21:54:40	43.52	155.11	0.00
25/05/2016	21:54:41	43.86	158.22	0.00
25/05/2016	21:54:42	43.60	151.38	0.00
25/05/2016	21:54:43	43.88	151.88	0.00
25/05/2016	21:54:44	43.21	152.15	0.00
25/05/2016	21:54:45	44.22	150.81	2761.89
25/05/2016	21:54:46	43.55	162.07	6299.20
25/05/2016	21:54:46	43.81	162.21	5925.77
25/05/2016	21:54:47	43.90	195.89	5867.60
25/05/2016	21:54:48	43.51	193.04	5843.47
25/05/2016	21:54:49	43.53	194.86	5839.08
25/05/2016	21:54:50	43.53	162.96	5850.57
25/05/2016	21:54:51	43.67	161.58	5913.41
25/05/2016	21:54:52	43.99	162.23	5917.59
25/05/2016	21:54:52	43.59	157.83	5884.93
25/05/2016	21:54:53	43.49	161.28	2911.63
25/05/2016	21:54:54	43.41	151.36	694.48
25/05/2016	21:54:55	44.22	151.50	6026.94
25/05/2016	21:54:56	43.59	156.56	5942.48
25/05/2016	21:54:57	43.57	157.80	5921.35
25/05/2016	21:54:57	44.02	161.77	5860.87

Figura26–Arquivo .txt gravado no cartão SD – Potências.
Fonte: Autoria Própria.

Os dados gravados no arquivo com extensão .txt são enviados pelo módulo *Wi-Fi* recebidos pelo aplicativo através de um servidor gratuito com endereço <http://tccmeninas.dynv6.net> criado para este fim.

4.3. IMPLEMENTAÇÃO DO APLICATIVO PARA ACOMPANHAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA

Ao abrir o aplicativo, o mesmo recebe através do servidor criado as informações enviadas pelo modulo *Wi-Fi* e cria um arquivo .txt com o histórico das coletas realizadas, esse arquivo será a base de utilização do aplicativo.

Caso o arquivo gerado não contenha informação de coleta, a tabela apresentada ficará em branco, podendo ser visualizado na Figura 27.

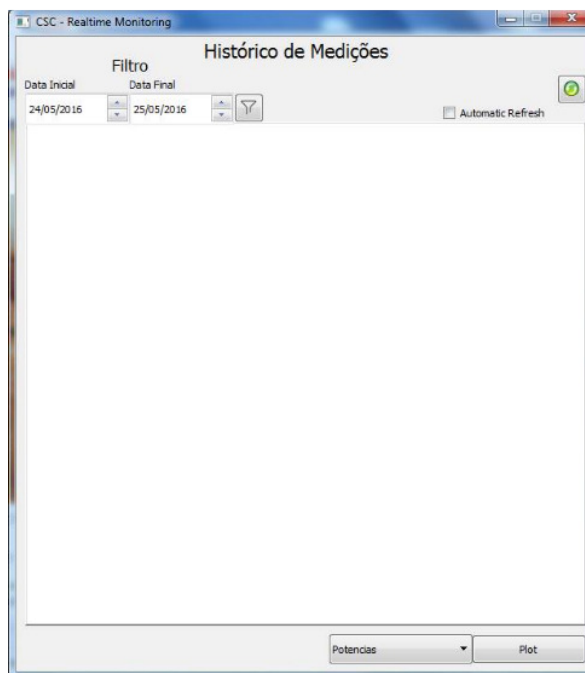


Figura27– Tela inicial do aplicativo em branco.
Fonte: Tela do aplicativo.

Na tela do aplicativo também estão presentes algumas opções de visualização

- a) Tabela para visualização dos dados contendo 5 colunas: data, horário, Potência 01, Potência 02, Potência 03;
- b) 2 opções de *Refresh*: o botão *Refresh* atualiza os dados na tabela apenas uma única vez, o botão *AutomaticRefresh* atualiza os dados na tabela constantemente até ser desativado.
- c) Filtro de data: o usuário poderá escolher a data inicial e final que deseja consultar, essas informações serão mostradas na tabela abaixo.
- d) Opção de gráfico: Poderá ser visualizada o gráfico de cada potência individualmente ou de forma conjunta, os gráficos só poderão ser visualizados caso caixa de *AutomaticRefresh* estiver desativada.

Na Figura 28 podemos observar as opções disponíveis no aplicativo conforme descrito acima.

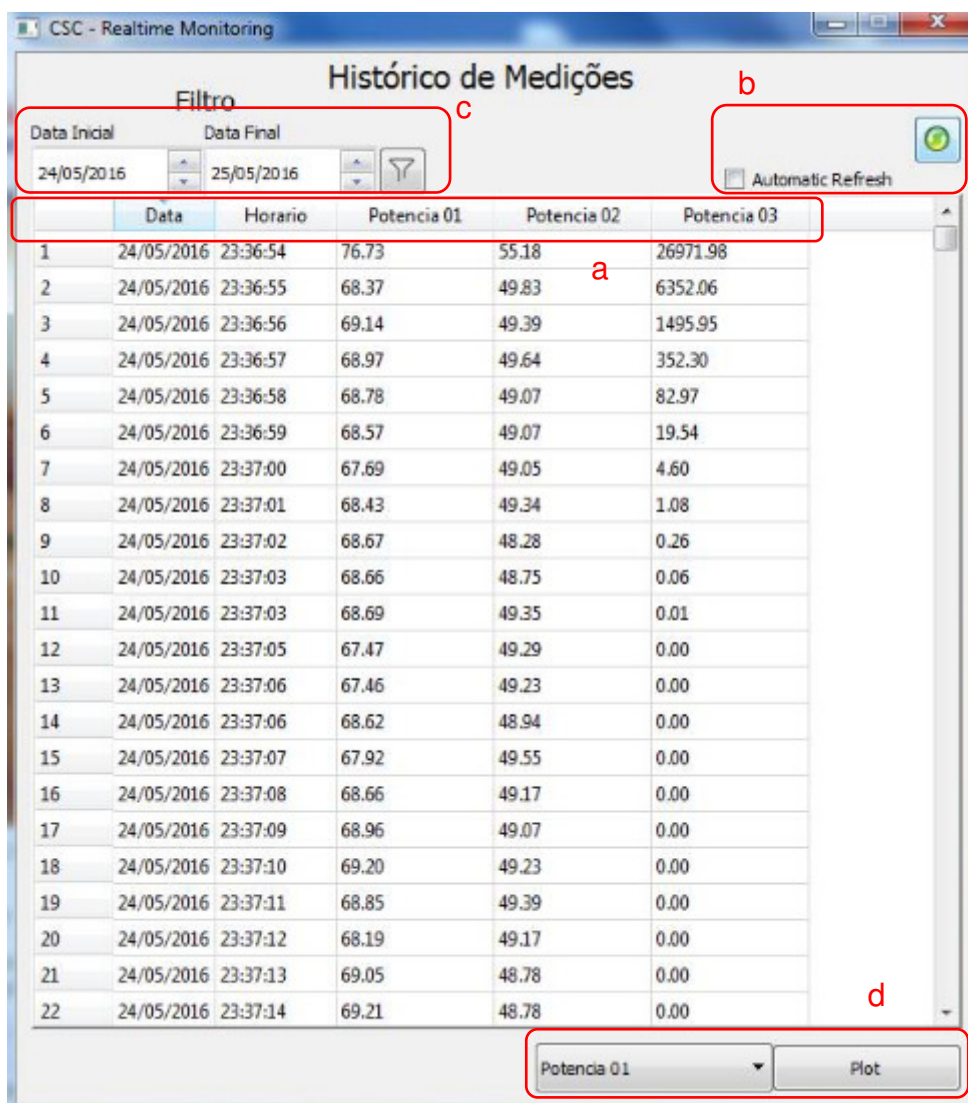


Figura28– Opções do aplicativo.
Fonte: Tela do aplicativo.

Como descrito na opção “d” do aplicativo, pode-se visualizar os gráficos de potência consumida apenas por circuito – Figura 29 ou, comparando os 3 circuitos monitorados conforme Figura 30.

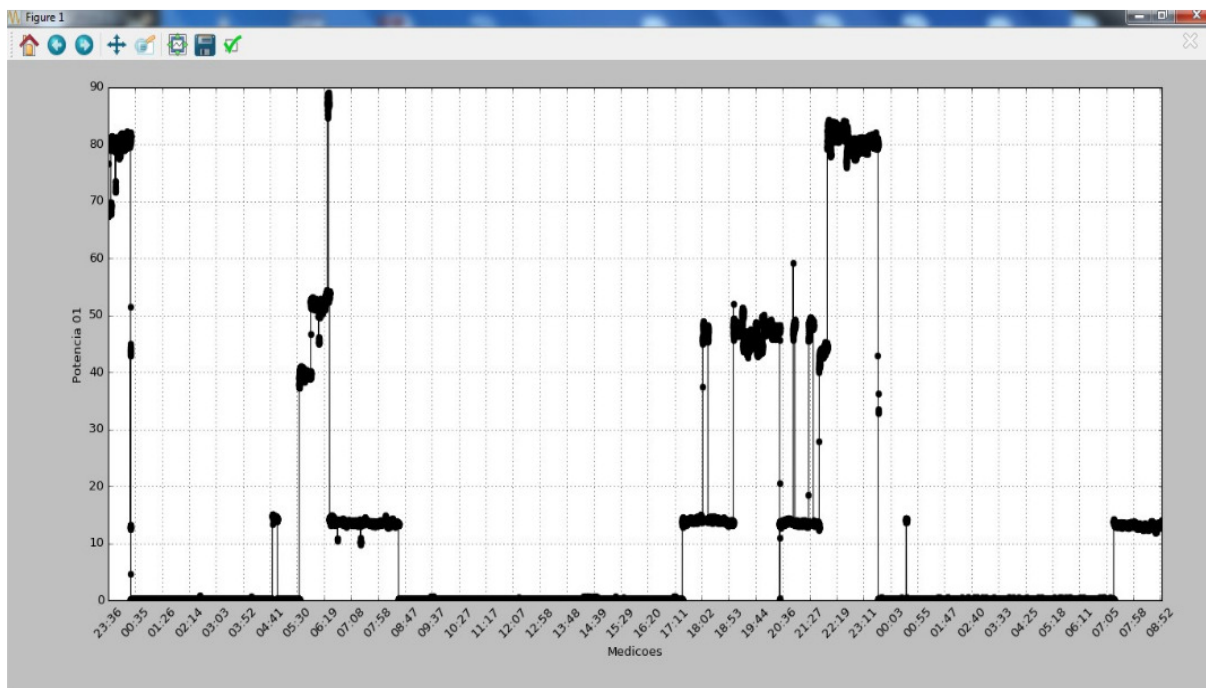


Figura29– Potência consumida por circuito
Fonte: Aatoria Própria

A Figura 29 apresenta o consumo de potência no circuito de iluminação durante um período de aproximadamente 33h. É possível verificar os intervalos em que o circuito de iluminação permanece desligado devido a utilização de luz natural no interior da casa. Constata-se também, os picos de consumo no início da manhã entre as 4 e 8 horas, evidenciando a rotina do consumidor da casa analisada.

Na Figura 30 visualiza-se o consumo de potência dos três circuitos analisados:

- Em vermelho – circuito chuveiro (sensor 03);
- Em preto – circuito de iluminação (sensor 01);
- Em azul – circuito de tomadas de uso geral (sensor 02).

Nota-se que os picos de consumo (aproximadamente às 8 horas e 21 horas) são decorrentes da utilização do chuveiro elétrico que corresponde a maior parcela de potência consumida nestes horários. Pode-se observar também a variação do consumo do circuito de tomadas de uso geral, caracterizando a diversificação de aparelhos elétricos utilizados presentes no interior da residência.

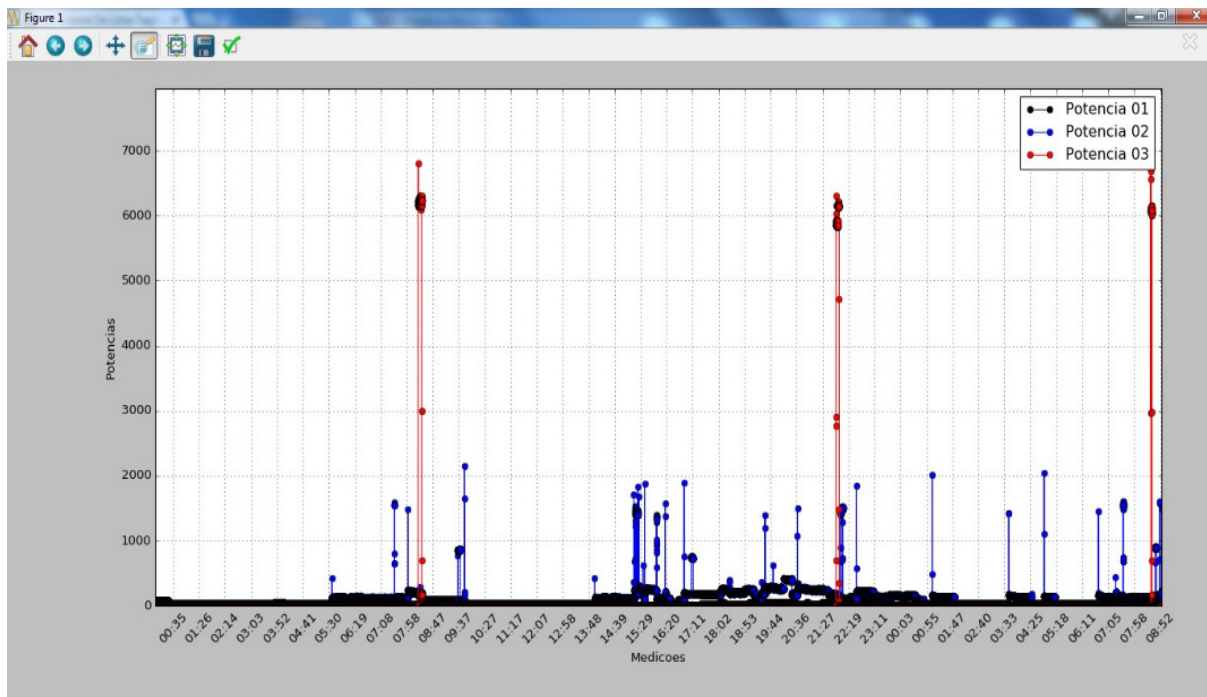


Figura30– Comparação das potências nos 3 circuitos
Fonte: Autoria Própria

4.4. COMPARATIVO ENTRE TARIFA BRANCA E CONVENCIONAL

Ao final da coleta dos três circuitos de um dia para avaliação, foi encontrado o valor de aproximadamente 4,6kWh distribuído ao longo das 24h.

Para a realização do cálculo Tarifa Convencional, utilizou-se o valor da Tarifa aplicada em 2016 pela concessionária Copel chegando ao valor de R\$ 3,53 ao dia.

A ANEEL ainda não definiu o valor da Tarifa Branca, porém, a mesma já divulgou os horários que serão cobrados com valores diferenciados - Fora de Ponta, Intermediário e Ponta, podendo ser observado na figura 31.

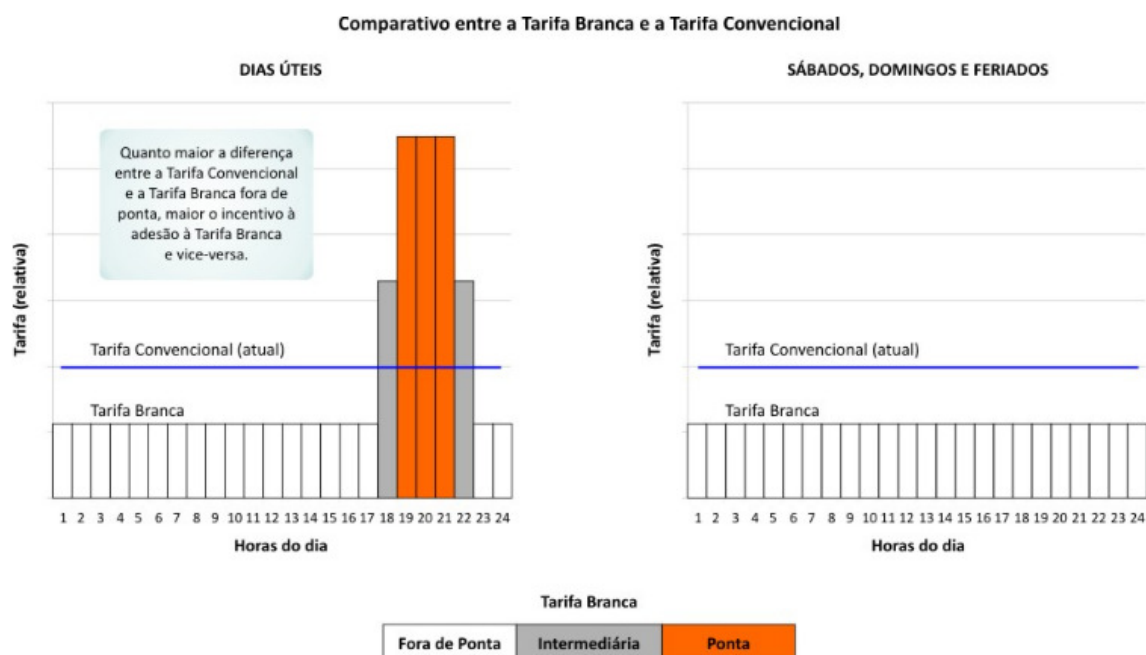


Figura 31—Comparativo Tarifa Branca e Convencional.
Fonte: ANEEL (2016)

Utilizando as informações de horário da Figura 31 e comparando com os valores obtidos pelo aplicativo, podemos verificar que, caso o consumidor avaliado optasse pela tarifa branca, seria prudente, afim de economizar, tentar reduzir o consumo do circuito 3 – Chuveiro (no caso, deixar de utilizá-lo), entre às 18 e 22 horas, visto que esse horário possui a maior tarifação durante o dia.

4.5. CUSTOS

A Tabela 2 apresenta os custos de implementação protótipo utilizado neste trabalho. Já estão inclusos nos preços unitários de cada componente o frete, e os impostos. Vale ressaltar que os componentes foram adquiridos ao longo do desenvolvimento deste trabalho sendo cotados com valores diferentes de dólar, por isso os valores podem sofrer alterações. Dentre os componentes do protótipo, os sensores de corrente representaram a maior parcela do custo total (mais de 50% do custo total).

Contudo, a quantidade necessária dos sensores de corrente varia de acordo com a necessidade de implementação do sistema (quantidade de circuitos

monitorados), podendo encarecer ainda mais caso seja necessário a utilização de mais de três sensores. Uma opção seria efetuar a compra em lote destes, assim, consegue-se um preço menor por sensor.

Tabela 2– Comparativo TI Launchpad MSP430 e Arduino Uno.

TABELA DE CUSTOS		
QUANT.	COMPONENTES	R\$
3	Sensor Corrente (2x30A+50A) Sct-013- Aliexpress	114,00
1	ArduinoMega - Aliexpress	27,00
3	Módulos <i>Wi-Fi</i> - Ebay	12,30
1	Módulo <i>Real Time Clock</i> - Ebay	14,85
1	MóduloSD Card Shield - Ebay	12,95
1	Transformador 110V/5V -	7,00
	Componentes eletrônicos (diversos)	15,00
TOTAL (custo + frete + imposto)		203,10

Fonte: Aatoria Própria.

4.6. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Este tópico apresenta as dificuldades encontradas durante a construção e suas devidas soluções:

No processo de desenvolvimento do código, o modelo proposto foi implementado em *protoboard*, pois, em tese facilitaria a readequação de possíveis mudanças devido aos diversos tipos de testes realizados. O modelo, entretanto, apresentava pouca estabilidade devido às frágeis conexões e a vasta absorção de ruídos o que demandou um tempo maior para o término da confecção do que o tempo previsto na proposta deste trabalho. A solução encontrada para tal problema foi revisar todos as conexões, diminuir o máximo possível o comprimento dos fios para reduzir os ruídos.

O módulo *Wi-Fi*, inicialmente, apesar de todas as conexões físicas com o Arduino estarem corretas, não respondia ao comando, apresentando instabilidade de conexão reiniciando diversas vezes sem motivos aparentes. Optamos por alimentá-lo com uma fonte independente AC/DC9V conectada a um regulador de tensão 9-3,3V ao invés de alimentá-lo diretamente pelo Arduino, após a troca o

modulo respondeu adequadamente, comprovando as suspeitas de que o mesmo necessitava de uma corrente maior do que o próprio Arduino poderia fornecer.

A partir deste momento a alimentação do módulo passou a ser a mesma do Arduino, ou seja, a fonte alimenta o Arduino com 9V e paralelamente o regulador de tensão 9-3,3V que alimenta o modulo *Wi-Fi*.

Já na implementação do código do aplicativo, a dificuldade encontrada estava na limitação da quantidade de informações, os dados estavam sendo coletados e enviados a cada 1 segundo, sendo assim, a quantidade de informação era imensa para a confecção do gráfico de potência consumida, a solução encontrada foi deixar na informação do gráfico o número das coletas ao invés de hora e data.

O código do aplicativo, a princípio estava sendo implementado em linguagem *Visual Basic*, porém, a cada dificuldade encontrada na programação, perdia-se mais tempo do que era previsto devido dificuldade em encontrar materiais que pudesse ajudar a resolver os problemas. No decorrer do desenvolvimento da programação foi verificado que o código estava muito extenso, e conseqüentemente, com resposta demasiada lenta para o objetivo do trabalho. Assim optou-se por realizar a implementação do código em linguagem *Python*, uma solução interessante, considerada pelos integrantes dessa equipe de trabalho, uma linguagem com rápida curva de aprendizagem, pois foi de rápida familiarização. A mudança proporcionou a resolução dos problemas de forma mais eficiente, rápida e intuitiva, economizando tempo de trabalho.

5. CONCLUSÕES

A motivação deste trabalho foi a percepção de uma área de automação a ser explorada no sentido de tornar mais popular e economicamente mais acessível um supervisor de monitoramento residencial. Esse objetivo foi alcançado com a implementação de forma acessível, uma ferramenta versátil e eficaz a um consumidor comum propiciando a ele uma visão mais nítida de seu próprio consumo.

Com a utilização do sistema propicia-se a reavaliação do padrão de hábitos de consumo por parte do consumidor com o intuito de otimizar o gasto de energia mensal e se possível, economia no valor da fatura. Tendo acesso às informações de seu consumo, o consumidor também pode avaliar se há vantagem ou não da utilização da tarifa branca, que poderá entrar em vigor nos próximos anos. Com isso é possível afirmar que esse trabalho contribui de forma relevante para a eficiência energética.

É interessante notar também que este sistema, se adotado em larga escala (por exemplo, em aplicação comercial), teria um menor custo de implementação se comparado com o aqui descrito. Poderia adaptar-se a diversas realidades como utilização predial, comercial e para fins educacionais, além da residencial, precisando apenas de pequenas adaptações.

Contudo vale ressaltar que, como a utilização desses sistemas não é de fato comum nas residências, torna-se necessário na maioria dos casos a adaptação dos quadros de distribuição para a utilização desse tipo de sistema. Fator que deve ser analisado por questões de segurança dos consumidores e até estéticas do ambiente onde o sistema será implementado.

Por fim destaca-se que, apesar da aplicação simples proposta neste trabalho, sistemas como esse possuem um vasto campo de aplicação e um grande potencial para desenvolvimento, sendo referência para o desenvolvimento de produtos comerciais a fim de suprir a demanda de consumidores a cada dia mais conscientes e preocupados com a utilização de seus recursos financeiros.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, destacam-se as seguintes sugestões:

- Coleta de potência aparente e reativa para uma análise mais completa;
- Cálculo de custo de consumo automático, com a utilização das tarifas adotadas na região de implementação do sistema;
- Validação dos valores obtidos com medidores de energia;
- Possível intervenção nos circuitos: ligar e desligar cargas através da interface web;
- Implementação de sinalizações e alertas para circuitos de maior consumo, ou para metas de consumo;
- Integração e compatibilidade em sistemas de automação residencial existentes;
- Gráfico de potência em tempo real;
- Sistematização de projetos que contemplem dispositivos de monitoramento.

REFERÊNCIAS

ABRADEE. **Conta de Energia**. 2015. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setordedistribuicao/tarifasdeenergia/contadeenergia>>. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

ANEEL. **Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica**. 2010. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20(2).pdf)>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEEL. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica**. 2015a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEEL. **Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição**. 2015b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PRORET%20Subm%C3%B3dulo%207.16%C2%AA%20revis%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEEL. **Glossário**. 2015c. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/resp_glossario.cfm>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEEL. **Procedimentos de Regulação Tarifária**. 2015d. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=702>>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEEL. **Terceiro Ciclo de Revisões Tarifárias**. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia>>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEEL. **Nota Técnica nº 1/2013–SRC/ANEEL**. 2013. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2013/043/documento/nt-001-src-tarifa_branca6.pdf>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEEL. **Tarifa Branca**. 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 04 de junho de 2016.

ARDUINO. **A Brief Introduction to the Serial Peripheral Interface (SPI)**. 2015. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>>. Acesso em: 26 de setembro de 2015.

ARDUINO. **Arduino UNO**. 2015. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 26 de setembro de 2015.

BEIJING. **Split-Core CurrentTransformer**. 2015. Disponível em: <<https://nicegear.co.nz/Obj/pdf/SCT013datasheet.pdf>>. Acesso em: 15 de outubro de 2015.

BORGES, Luiz E. **Python para Desenvolvedores**. 2º ed. Rio de Janeiro: Edição do Autor, 2010. Disponível em: <https://ark4n.files.wordpress.com/2010/01/python_para_desenvolvedores_2ed.pdf>. Acesso em 10 Abril de 2016.

COPEL. **Tarifas de Energia da COPEL**. 2015a.. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a032571000064b22e%2Fb2f4a2f0687eb6cf03257488005939b9>>. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

COPEL. **Taxas e Tarifas**. 2015b. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F23BF37E67261209C03257488005939EB?OpenDocument&secao=Distribuicao%3ATaxas%2520e%2520Tarifas>>. Acesso em: 23 de agosto de 2015.

COPEL. **Uso Eficiente de Energia na Sua Casa**. 2015c. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F9C83B5131AF54B1B032573EC005D8B0D>>. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

EMBARCADOS. **Arduino MEGA 2560**. 2013. Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/ArduinoMega2560/>>. Acesso em: 23 de agosto de 2015.

ENERGIA, S. de. **Entenda a Conta de Luz Residencial**. 2015. Disponível em: <[http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/entenda conta luz](http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/entenda%20conta%20luz)>. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

EPE. **Consumo de Energia no Brasil**. 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%201014%20Consumo%20de%20Energia%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

EPE. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) 2004 a 2015**. 2015. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaoporclasse\(regi%C3%B5esesubsistemas\)%E2%80%9320112012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaoporclasse(regi%C3%B5esesubsistemas)%E2%80%9320112012.aspx)>. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

EPE. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20%20Julho%202015.pdf>>. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

ESP8266. **Modules**. 2015. Disponível em: <<http://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-modulefamily#esp12e>>. Acesso em: 12 de novembro de 2015.

FERREIRA, J. B. **Análise de Formas de Medição de Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial**. 2012, 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Programa de Graduação em Engenharia da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2012.

FILIFELOP. **Como gravar dados no cartão SD com Arduino**. 2015. Disponível em: <<http://blog.filifelop.com/modulos/cartaosdcomarduino.html>>. Acesso em: 12 de novembro de 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HARDWARE. **MSP 430 LaunchPad**. 2013. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/analises/msp430lpconcorrenteArduino/>>. Acesso em: 23 de agosto de 2015.

HERMSDORFF W.; OLIVEIRA FILHO, D. **Geração independente na ponta**. 2003. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022000000200017&script=sciarttext>>. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

INSTRUMENTS, T. **MSP LaunchPads**. 2015. Disponível em: <<http://www.ti.com/>>. Acesso em: 26 de setembro de 2015.

KONOPATZKI, E. A. et al. **Gerenciamento pelo Lado da Demanda em Unidades Residenciais do Município de Medianeira**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2013, Ponta Grossa. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

MENEZES, H. L. d. S. **Avaliação da aplicação da modalidade tarifária horária branca: estudo de caso para consumidores residenciais.** 2015.

MENEZES, Nilo N. C. **Introdução à programação com Python, algoritmos e lógica de programação para iniciantes.** 2ªed. São Paulo: Novatec Editora Ltda,2014.Disponível em:<<https://novatec.com.br/livros/introducao-python-2ed/capitulo9788575224083.pdf>>. Acesso em: 04 de abril de 2016.

MÍNGUEZ, A. **Medidores de Energia Ativa: Funcionamento, Práticas Usuais, Principais Ensaios e Análise das Fraudes Mais Comuns.** 2004, 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do rio de janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

DE PAULA, G. J. **Medidor de demanda de energia elétrica residencial com acesso remoto.**2013. Monografia, Curso de Engenharia da Computação, Centro Universitário De Brasília- UniCEUB, DF.2013. Disponível em: <http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/235/3857/1/Gilberto%20Jos%C3%A9%20De%20Paula%20Monografia%201_2013.pdf>. Acesso em: 25 de Abril de 2016.

POMILIO, J. A. **Fontes chaveadas.** Publicação FEE, 1995.

PYTHONHOSTED. **SpyderDocumentation.** 2016. Disponível em: <<https://pythonhosted.org/spyder/#>>. Acesso em: 25 de junho de 2016.

PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil.** Eletrobrás, 2005.

QT. **Qt Designer Manual.** 2016. Disponível em: <<http://www.qt.io/>>. Acesso em: 25 de junho de 2016.

REIS, V. R. **Protocolo de Comunicação I2C.** 2014. Disponível em: <<http://www.arduino.br/arduino/i2c-protocolo-de-comunicacao/>>. Acesso em: 25 de outubro de 2015.

REYNOLDS-HAERTLE, R. A. **OOP with Microsoft Visual Basic. NET and Microsoft Visual C# Step by Step.** Microsoft Press, 2002.SCOTT, M. L. Programming Language Pragmatics. Morgan Kaufmann Publisherd, 3rd Edition, 2009.

RODRIGUES, J. E. **Interferências de Harmônicas em Equipamentos de Medição de Energia Elétrica**. 2009. Dissertação, Mestrado em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SHODJAI, P. **Web Services and the Microsoft Platform**. 2006. Disponível em: <<http://www.msdn.microsoft.com>>. Acesso em: 13 de outubro de 2015.

SMITH, B. **AdvancEDActionScript 3.0: Design Patterns**. Springer, 2015.

SOUZA, A. N. de et al. **Algoritmos para estimar curvas de cargas a partir de padrões de hábitos de consumo**. 2010.

TANCREDI, M. et al. **Porque o Brasil está trocando as hidrelétricas e seus reservatórios por energia mais cara e poluente?** Disponível em: <http://www.anacebrasil.org.br/portal/files/TD12-MarcioTancredi_OmarAbbud.pdf>. Acesso em: 12 de agosto de 2015.