



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEDRO PAULO AIRES DE SENA

PROJETO COMPARATIVO DE SMART PLUG PARA MONITORAMENTO DE
APARELHOS ELETRICOS RESIDENCIAIS

MOSSORÓ-RN

2021

PEDRO PAULO AIRES DE SENA

PROJETO COMPARATIVO DE SMART PLUG PARA MONITORAMENTO DE
APARELHOS ELETRICOS RESIDENCIAIS

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Sistemas de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Leiva Casemiro de Oliveira - UFERSA.

Co-Orientador: Prof. Dr. Leonardo Augusto Casillo – UFERSA.

MOSSORÓ-RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S474p Sena, Pedro Paulo Aires de.
PROJETO COMPARATIVO DE SMART PLUG PARA
MONITORAMENTO DE APARELHOS ELETRICOS RESIDENCIAIS
/ Pedro Paulo Aires de Sena. - 2021.
68 f. : il.

Orientador: Leiva Casemiro Oliveira.
Coorientador: Leonardo Augusto Casillo.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Engenharia Elétrica, 2021.

1. Medidor inteligente. 2. Consumo de energia.
3. Monitoramento de consumo. 4. Consumidor
residencial. I. Oliveira, Leiva Casemiro, orient.
II. Casillo, Leonardo Augusto, co-orient. III.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PEDRO PAULO AIRES DE SENA

**PROJETO COMPARATIVO DE SMART PLUG PARA MONITORAMENTO DE
APARELHOS ELÉTRICOS RESIDENCIAIS**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Sistemas de Controle e Automação.

Defendida em: 29/06/2021.

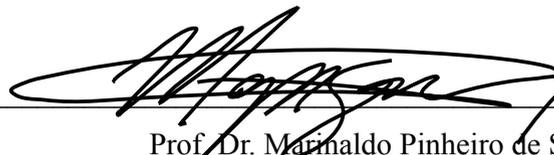
Prof. Dr. Leiva Casemiro Oliveira (Orientador – UFERSA)

Presidente

Prof. Dr. Leonardo Augusto Casillo (Coorientador – UFERSA)

Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Junior (UFERSA)

Membro Examinador Interno



064 969 72435

Prof. Dr. Marinaldo Pinheiro de Sousa Neto (IFRN)

Membro Examinador Externo

MOSSORÓ/RN

2021

EPÍGRAFE

“Eu tenho algumas coisas para dizer para você, coisas básicas antes, nunca seja cruel, nunca seja covarde - e nunca coma peras! Lembre-se: O ódio é sempre tolo e o amor é sempre sábio. Sempre tente ser bom, mas nunca falhe em ser gentil.”

- 12º Doutor, Doctor Who

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus.

Agradeço a minha esposa Aryanne Gabrielle, por todo apoio em minha vida e empenho em me incentivar durante todo o mestrado.

Gostaria de agradecer aos meus pais, Jenildo Sena e Gedeilma Aires, por me apoiarem em buscar o meu aperfeiçoamento.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Leiva Casemiro e Leonardo Casillo, em especial ao Leonardo, que me acompanha academicamente desde o início da minha graduação.

Agradeço aos meus colegas de mestrado Aline Kesia, Sanderson Aron, Thalita Brena, Mateus Anderson, Pedro Bruno e Gabriel Amaral, vocês tornaram a jornada até aqui mais suave e compartilharam todas as aflições de um mestrando.

RESUMO

Os consumidores de energia residenciais brasileiros, enquadrados no grupo B pelo padrão da ANEEL, atuam como agentes passivos quando o tema abordado tem relação com o controle de consumo de energia em seus próprios domicílios, visto que os medidores de energia instalados em seus padrões de entrada são de propriedade das concessionárias de energia e apenas estas empresas tem acesso completo aos padrões de consumo dos seus clientes. Apesar de se tratar de uma informação relevante, principalmente quando se trata de realizar alterações e adoção de alternativas aos elevados valores de consumo de energia elétrica, os consumidores deste grupo possuem pouca ou nenhuma informação que possa os auxiliar no processo de conhecimento dos seus hábitos e padrões de consumo. Além disso, por se tratar de um processo que utiliza equipamentos específicos e que, por vezes, necessitam de profissional habilitado para seu correto manuseio, a obtenção de conhecimento específico acerca deste tema torna este processo caro e muitas vezes inacessível à população geral. Desta forma, com a visão de prover aos consumidores residenciais um meio para monitorar o consumo de seus equipamentos elétricos de forma simplificada, de fácil instalação e fácil acesso às informações, para este trabalho foi realizado o projeto simulado de um dispositivo inteligente de medição de grandezas elétricas para utilização por consumidores residenciais. Este dispositivo tomou como base outros dispositivos similares desenvolvidos em pesquisas acadêmicas e também analisadores de energia comerciais profissionais para verificação do seu funcionamento que, para as cargas testadas e comparadas, apresentou resultado satisfatório em comparação com os demais equipamentos mencionados. O dispositivo desenvolvido de forma simulada também servirá de base para trabalhos futuros, com o desenvolvimento físico do mesmo para testes em ambientes residenciais reais.

Palavras chave: Medidor inteligente, consumo de energia, monitoramento de consumo, consumidor residencial.

ABSTRACT

Brazilian residential energy consumers, classified in group B by the ANEEL standard, act as passive agents when the topic discussed is related to the control of energy consumption in their own homes, since the energy meters installed in their input standards energy connections are owned by energy companies and only these companies have full access to their customers' consumption patterns. Although this is relevant information, especially when it comes to making changes and adopting alternatives to the high values of electricity consumption, consumers in this group have little or no information that can help them in the process of getting to know their habits and consumption patterns. In addition, as it is a process that uses specific equipment and that sometimes requires a qualified professional to handle it correctly, obtaining specific knowledge on this topic makes this process expensive and often inaccessible to the general population. Thus, with a view to providing residential consumers with a means to monitor the consumption of their electrical equipment in a simplified way, with easy installation and easy access to information, for this work a simulated project of an intelligent device for measuring quantities was carried out for use by residential consumers. This device was based on other similar devices developed in academic research and also professional commercial energy analyzers to verify its operation, which, for the loads tested and compared, presented satisfactory results in comparison with the other equipment mentioned. The device developed in a simulation will also serve as a basis for future work, with its physical development for tests in real residential environments.

Key words: Smart meter, energy consumption, consumption monitoring, residential consumers.

Índice de figuras

Figura 1 - Matriz energética nacional.....	14
Figura 2 - Relação entre PIB e consumo de energia.....	15
Figura 3 - Elasticidade-renda da demanda de eletricidade	16
Figura 4 - Medidor de Samuel Gardiner (a) e Fuller JB (b)	30
Figura 5 - Diagrama de blocos de um multímetro digital	31
Figura 6 - Diagrama de blocos de um medidor eletrônico	32
Figura 7 - Analisador de energia AE-100.....	34
Figura 8 - Diferenças estruturais entre um medidor convencional e um Smart Meter.....	35
Figura 9 - Sistema Interligado Nacional atual e previsão de expansão	37
Figura 10 - Deslocamento de carga	38
Figura 11 - Desenvolvimento físico do protótipo inicial.....	42
Figura 12 – Bancadas de carga	43
Figura 13 - Circuito de medição de corrente	45
Figura 14 - Circuito de medição de potencial.....	46
Figura 15 - Simulação do módulo de processamento de dados.....	48
Figura 16 - Simulação completa do dispositivo	49
Figura 17 - Simulação da bancada de cargas.....	52

Índice de tabelas

Tabela 1 - Parâmetros para as cargas resistivas, indutivas e capacitivas	50
Tabela 2 - Parâmetros de testes de consumo	51
Tabela 3 - Erro estimado para as grandezas estudadas	63

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Valores comparativos de medição de tensão	54
Gráfico 2 - Valores de erro percentual da medição de tensão	55
Gráfico 3 - Valores comparativos de medição de corrente	56
Gráfico 4 – Valores de erro percentual da medição de corrente	57
Gráfico 5 - Valores comparativos de cálculo de potência	58
Gráfico 6 – Valores de erro percentual do cálculo de potência ativa	59
Gráfico 7 – Valores comparativos de cálculo de consumo	61
Gráfico 8 – Valores de erro percentual do cálculo de consumo	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MOTIVAÇÃO	15
1.2	JUSTIFICATIVAS	20
1.3	OBJETIVOS	22
1.3.1	Objetivo geral	22
1.3.2	Objetivos específicos	22
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	REVISÃO HISTÓRICA SOBRE O CONCEITO DE <i>SMART PLUGS</i>	25
2.2	CONCEITOS GERAIS DE ELETRICIDADE	26
2.2.1	Grandezas elétricas	26
2.3	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA	29
2.4	<i>SMART METER</i>	33
2.5	BANDEIRAS TARIFÁRIAS	35
2.5.1	Modalidades tarifárias	35
2.5.2	Tarifa Branca	38
2.6	INTERNET DAS COISAS	40
3	METODOLOGIA	41
3.1	MODIFICAÇÃO DA PROPOSTA INICIAL	41
3.2	PROPOSTA DE TRABALHO	43
3.3	MÓDULO DE MEDIÇÃO	44
3.3.1	Medição de corrente elétrica	44
3.3.2	Medição de tensão potencial	45
3.4	MÓDULO DE PROCESSAMENTO DOS DADOS	47
3.4.1	Arduino Nano	47
3.5	MÓDULO DE TRANSMISSÃO DE DADOS	48

3.6	PARÂMETROS DE TESTE	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	RESULTADOS DOS TESTES PARAMETRIZADOS.....	53
4.1.1	Resultados dos testes de leitura de tensão	54
4.1.2	Resultados dos testes de leitura de corrente	56
4.1.3	Resultados dos testes de leitura de potência	58
4.1.4	Resultados dos testes de leitura de consumo	60
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES	62
5	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A descoberta da energia elétrica e de sua importância para uso da população, no fim do século XVIII, que conseqüentemente possibilitou uma gradual substituição das máquinas a carvão pelos primeiros motores elétricos no século XIX, marcou o surgimento de diversas mudanças nos hábitos da população e nas tarefas executadas cotidianamente, nas relações interpessoais, bem como nas relações de trabalho e nos meios de produção de massa. Apesar disso, neste período, devido às dificuldades enfrentadas na etapa de geração e o alto custo atrelado ao armazenamento e transmissão deste tipo de energia, o seu uso ainda era bastante restrito às elites e difundido apenas nos grandes centros urbanos, sendo utilizado principalmente nas indústrias.

Após a última revolução industrial, na segunda metade do século XX, também chamada de revolução tecnocientífica, que foi responsável não somente pela modernização dos meios de produção industrial, mas também por mostrar os primeiros aspectos da modernização da tecnologia como é conhecida atualmente, foi observado que a relação dos seres humanos modernos com os meios de produção e distribuição de energia tem sido de grande dependência.

O período representado entre a terceira e a quarta revolução industrial foi marcado por diversos avanços na tecnologia tanto com relação ao usuário final quanto com as relações de trabalho e modificação nos meios industriais e de produção de massa. Entre as principais mudanças observadas, inclui-se a adoção de processos autônomos nos meios de produção, inserção de inteligência artificial, que quando aliada ao uso de domótica, foram capazes de proporcionar o desenvolvimento de ambientes inteligentes com o uso desta tecnologia em residências, e a miniaturização de equipamentos, trazendo a portabilidade de diversas funções que antes mostravam grande dificuldade de execução devido à falta de mobilidade de equipamentos diversos. Este fato pode ser justificado devido ao surgimento de diversos novos aparatos tecnológicos, e por muitas vezes portáteis, que modificaram a forma como o indivíduo interage com o meio.

Estes aparelhos são responsáveis por facilitar a realização de uma infinidade de tarefas cotidianas e mudaram também a forma como este indivíduo se relaciona com os demais indivíduos ao seu redor em sociedade, como se comunica, como consome conteúdo e informações e como executa suas tarefas cotidianas. Entre os dispositivos citados, o que possui maior importância para a sociedade moderna é o smartphone, que possui diversas funções embutidas que antes eram limitadas apenas aos microcomputadores e que auxiliam a

execução de tarefas diárias e a comunicação com outros indivíduos, sendo utilizado desta forma durante todo o dia e o acompanhando em todas as tarefas executadas. Além disso, a maioria destes aparelhos possui a capacidade de se comunicar com outros dispositivos de monitoramento e controle que, assim como ele, necessitam de cargas constantes por fazer uso de baterias portáteis.

Nas últimas três décadas, com o crescente e rápido aperfeiçoamento da tecnologia, bem como através do surgimento de ferramentas portáteis que auxiliam a execução de diversos tipos de tarefas e também considerando os avanços trazidos pelo surgimento da indústria 4.0, tornou-se notável também a necessidade de ampliação da geração e distribuição de energia elétrica, que tem se tornado ainda mais notória, visto que praticamente todos os dispositivos que o ser humano moderno utiliza em seu cotidiano dependem da energia elétrica para seu funcionamento. O crescimento acelerado da indústria e a modernização dos meios de produção, bem como a obsolescência programada e atualização dos meios de comunicação, também foram responsáveis por propiciar a ampliação do acesso a estes equipamentos elétricos e eletrônicos por uma parcela maior da população tornando-se, dessa forma, indiretamente responsável pelo crescimento na demanda de energia elétrica por parte dos consumidores, conforme foi observado em pesquisas realizadas pelos órgãos responsáveis pelo monitoramento de uso e demanda de energia elétrica no país.

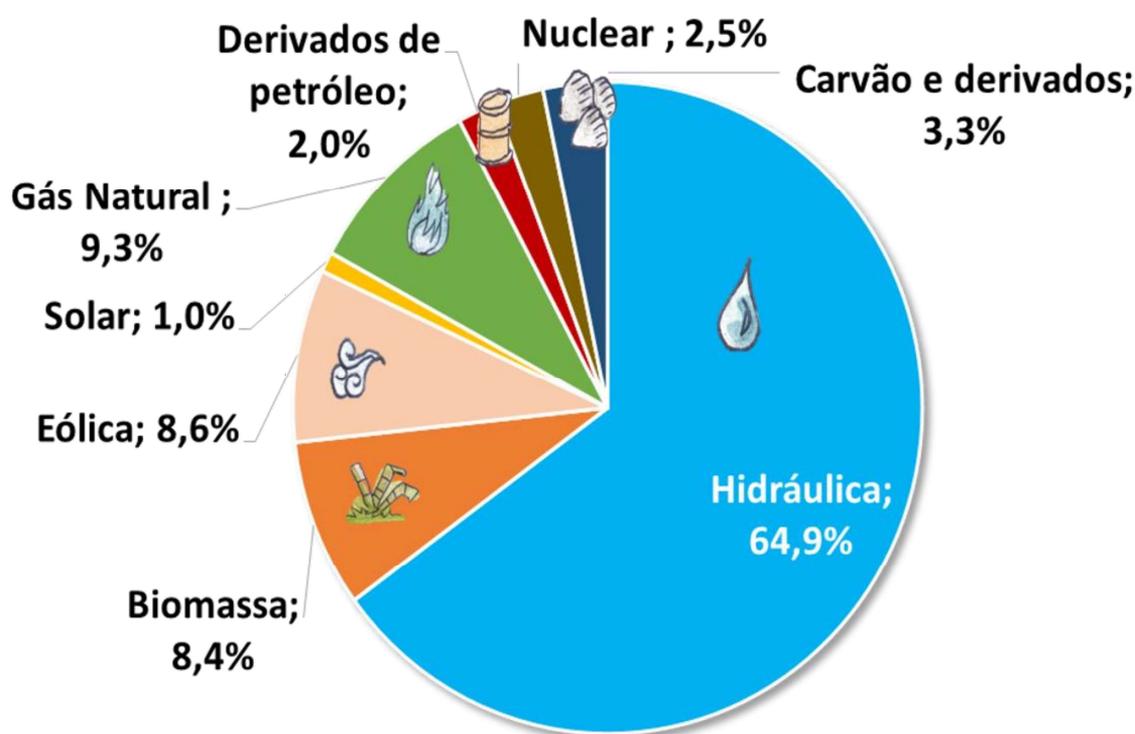
Outros fatores também influenciaram esta subida no crescimento da demanda, fazendo com que a energia elétrica seja atualmente um item essencial para a maior parte dos indivíduos, compondo também uma parcela significativa do orçamento mensal de grande parte da população. Um estudo realizado por FRANCISCO (2006) sobre a relação entre a renda mensal de uma composição familiar e o valor da fatura de energia elétrica indicou que o valor percentual médio pago mensalmente apenas com o consumo de eletricidade em uma residência corresponde a 7,26% da renda total dos moradores desta residência, sendo ainda maior para consumidores de menores faixas de renda, chegando a representar até 24,57% da renda total. Portanto, a busca por alternativas tanto com relação ao fornecimento de energia elétrica, quanto com as mudanças de hábitos de consumo para redução dos valores pagos, por se tratar de um item que não pode ser substituído torna-se uma realidade para a maior parte das famílias das classes C, D e E.

A ampliação ao acesso de energia elétrica em residências no Brasil, impulsionado pelo Programa Luz Para Todos do Governo Federal, que teve início no ano de 2003, representou um momento decisivo para as mudanças ocorridas no fornecimento de energia elétrica no país, visto que um número maior de residências, mesmo em áreas de difícil acesso, pôde fazer

uso da energia elétrica. Além disso, o aumento no poder de compra da população durante a década de 90 e início dos anos 2000, que impulsionou a aquisição de equipamentos eletroeletrônicos, provocou um crescimento na demanda de energia elétrica pelas concessionárias.

Entre os anos de 1995 e 2011, o consumo de energia elétrica no Brasil apresentou um crescimento de 73%, mostrando projeções de crescimento de mais de 5% ao ano para os anos seguintes (SILVA et al, 2012) o que corrobora com a necessidade de expansão do sistema elétrico brasileiro e diversificação da matriz energética nacional, que atualmente é amplamente baseada na geração de energia através de usinas hidrelétricas, que representa 64,9% da matriz elétrica total. A falta de diversificação da matriz elétrica e a grande dependência da geração de energia através das hidrelétricas podem afetar de forma direta os consumidores finais em períodos de baixo volume de água nos reservatórios, provocando a necessidade de ativação de usinas termelétricas que, além de possuir maior custo de produção de energia, também provocam mais impactos ambientais em seu processo de geração. A Figura 1 mostra o percentual de composição de cada forma de produção de energia na matriz energética nacional.

Figura 1 - Matriz energética nacional



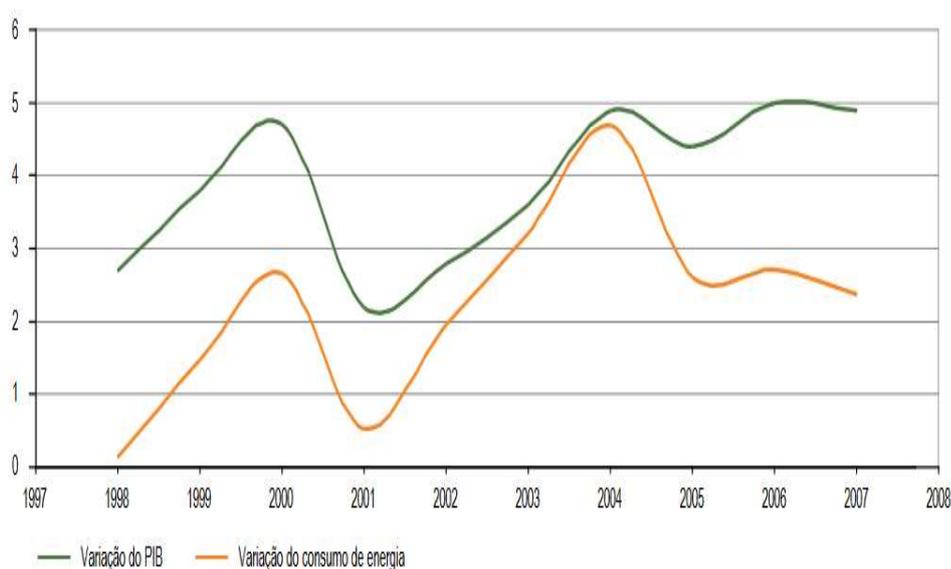
Balanco Energético Nacional, 2019

Em adição a estes fatores apresentados, durante este período de estudo também foi observada a presença de diversos avanços tecnológicos relativos principalmente aos meios de comunicação portátil. O uso dessas novas tecnologias foi difundido entre a população geral de forma crescente e teve seu custo reduzido com o passar dos anos, proporcionando o acesso a uma parcela maior da população. Além de contribuir com o aumento na demanda de energia, essas mudanças apresentaram aos consumidores a necessidade de monitoramento e conhecimento de diversas informações acerca dos seus hábitos de consumo que antes não eram observadas.

1.1 MOTIVAÇÃO

Conforme estudo do IPEA publicado em 2008 em parceria com a Agência Nacional de Energia Elétrica no Atlas de Energia Elétrica do Brasil, realizando análise dos dados de 1998 a 2007, em períodos em que não ocorre o racionamento de energia por parte das concessionárias, a variação do PIB do país está associada de forma diretamente proporcional ao consumo de energia elétrica pela população, ou seja, quando o PIB per capita é elevado, aumenta também a demanda por energia elétrica, enquanto pode ser observado que a redução deste provoca queda no consumo, conforme observado na Figura 2.

Figura 2 - Relação entre PIB e consumo de energia



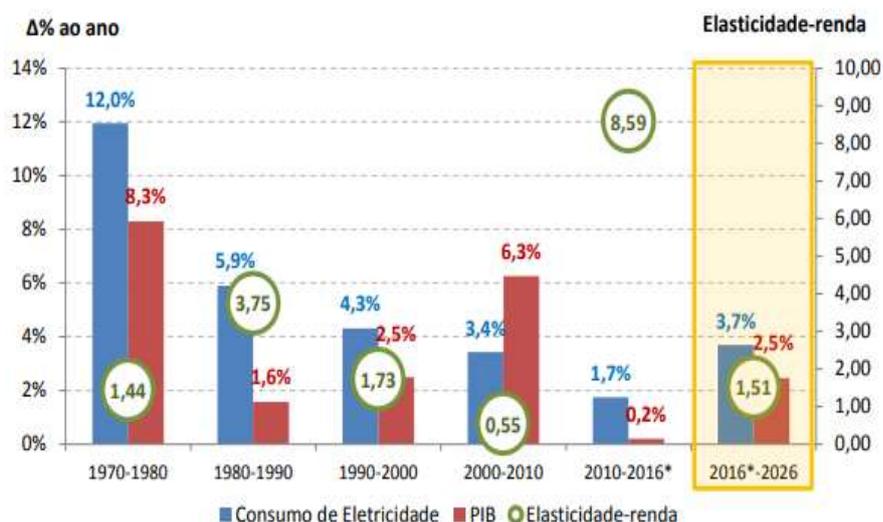
ANEEL, 2008

Outro estudo realizado pelo EPE em 2015 aponta uma previsão de crescimento acelerado no consumo de energia por todos os setores no país, com taxa de 2,3% ao ano entre

2016 e 2026, com um crescimento total per capita estimado de 13% durante o período, em consonância com as estimativas econômicas no cenário nacional para o mesmo intervalo. Apesar disso, é observado que o país ainda não atinge os níveis de consumo de energia per capita de países desenvolvidos, o que indica que o índice de desenvolvimento de um determinado país também é um fator a ser analisado para realizar as previsões de consumo de energia.

O mesmo estudo do EPE do ano de 2015 também afirma que existem estimativas que, além do crescimento já relatado no cenário energético considerando todos os meios de produção de energia, o setor de energia elétrica pode ser definido como um dos que apresentará maior expectativa de crescimento no período de estudo, atingindo valores de até 50% a mais que a economia brasileira. Este crescimento tem como principal justificativa a popularização da adoção de geração descentralizada pelos diferentes tipos de consumidores, também chamada de geração distribuída, que cresce a uma taxa média anual de 4,5%, enquanto o crescimento de consumo advindo da rede de distribuição, ou seja, consumidores solicitando ligação em edificações novas cresce a uma taxa média anual de 3,6%, promovendo, juntos, um aumento de 3,7% ao ano com relação ao consumo total. A Figura 3 mostra o histórico em períodos de 10 anos desde 1970 e também a previsão para o período de 2016 a 2026 tanto para o crescimento de consumo de energia elétrica, a relação desta com o crescimento do PIB e o fator elasticidade-renda, que é a relação entre o crescimento da economia de um determinado país e o aumento da demanda de um determinado insumo, neste caso considerado a energia elétrica.

Figura 3 - Elasticidade-renda da demanda de eletricidade



Apesar da observação do aumento da demanda por energia elétrica, é observada a necessidade também da existência de uma boa gestão dos recursos energéticos disponíveis para produção de energia elétrica por parte das empresas responsáveis pela geração em grande escala, como também pelas concessionárias de energia elétrica, visto que a sociedade atual atribui grande importância ao desenvolvimento sustentável e consumo consciente, colocando como prioridade para produção o uso de energias renováveis e a ampliação da matriz energética nacional.

Além disso, apesar de, historicamente, o planejamento energético do país ter colocado como privilégio a expansão da oferta de acordo com o crescimento do consumo, ou seja, priorizar a geração de energia pelo lado da demanda, esta estratégia tem apresentado sinais de esgotamento (SILVA et al, 2012) podendo levar à limitação do consumo per capita e possivelmente provocando faltas e períodos de racionamento de energia em alguns anos através do gerenciamento no fornecimento de energia por parte das empresas responsáveis pela distribuição.

Desta forma, é possível observar a crescente preocupação da população com o seu consumo de energia residencial, que, além dos fatores relacionados à sustentabilidade já citados, está também diretamente ligado às tarifas pagas às concessionárias para o seu fornecimento. O valor pago pelo consumo de energia elétrica, neste cenário, passa a ser determinante para que, apesar do aumento do uso de equipamentos que utilizam energia elétrica nas residências, haja preocupação dos usuários acerca dos seus hábitos de consumo de energia para redução do custo, sem necessariamente abrir mão da utilização de seus dispositivos.

Uma das principais atitudes verificadas e amplamente difundidas que tem como objetivo promover o consumo consciente e reduzir os valores de consumo de energia elétrica é a opção por compra de equipamentos com melhor eficiência energética, ou seja, equipamentos que possuam melhor índice de aproveitamento de energia, entregando a melhor potência para o usuário com consumo reduzido de eletricidade. Além disso, muitos consumidores, em especial os pertencentes ao grupo B residencial, buscam alternativas para redução dos valores pagos através das tarifas às concessionárias de energia elétrica, sendo o principal deles a opção por instalação, em suas residências, de usinas de micro e mini geração de energia com uso de painéis fotovoltaicos adotando o sistema de compensação por créditos, visto que muitas empresas e bancos públicos e privados já oferecem opções de financiamento destes sistemas com redução de juros, mantendo a parcela abaixo do valor pago mensalmente na conta de energia e ainda ofertando um retorno do investimento antes do prazo máximo de

financiamento e propiciando o pagamento de conta de energia reduzido por vários anos a contar do prazo de garantia dos equipamentos.

Conforme RIGODANZO (2015) é possível observar a dificuldade em mensurar o quanto cada dispositivo consome ao longo de um dia em uma residência e, dessa forma os usuários geralmente não conseguem conhecer e entender seus hábitos de consumo visando a redução do gasto de energia. Esta dificuldade encontra como maior obstáculo o custo de aquisição de equipamentos de medição que sejam capazes de realizar esse tipo de monitoramento.

Estudos econométricos acerca do consumo de energia elétrica em residências também apontam que o ano de aquisição de aparelhos eletrodomésticos podem ter relação direta com a eficiência energética destes equipamentos (SILVA et al, 2012), fator que se torna mais uma variável que pode causar dificuldade na mensuração do consumo de energia elétrica em residências.

Com o aperfeiçoamento da tecnologia e dos meios de comunicação nas últimas três décadas, é pertinente destacar que houve também, em paralelo a este primeiro, o crescimento da taxa de transmissão e capacidade de compartilhamento de dados através de diversos meios de transmissão, bem como o fluxo destas informações entre usuários e equipamentos, além da comunicação entre equipamentos distintos. A capacidade de processamento de dados dos equipamentos computacionais de forma simultânea também foi elevada, assim como a capacidade de transmissão foi aprimorada.

Desta forma, observou-se um avanço tecnológico acentuado quanto aos protocolos de comunicação, em especial à comunicação sem fio, utilizados nos mais diversos meios, tanto no que diz respeito à quantidade de informação que é possível ser compartilhada ao mesmo tempo, como também à qualidade da transmissão desta informação, reduzindo as perdas de dados por erros de comunicação.

Observa-se, porém, que apesar dos avanços nesta área, os medidores inteligentes atuais não conseguem realizar a discriminação e detalhamento da energia consumida, fazendo com que os consumidores residenciais sigam participando de forma passiva em relação ao uso de energia elétrica (DIÓGENES, 2018).

Além de todos os fatores já citados, também é possível observar o crescimento das chamadas *smart grids* (redes inteligentes), em especial nas últimas duas décadas. Este conceito é amplamente aplicado e melhor compreendido quando aliado ao termo de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT). A Internet das Coisas é um conceito que pode ser definido, de forma simplificada, como uma extensão da internet atual, quando esta é aplicada

a objetos utilizados cotidianamente para que estes possam desempenhar funções de forma autônoma ou remotamente controlada, além de oferecer informações em tempo real aos usuários.

Para que o conceito de internet das coisas possa ser devidamente aplicado, deve ser considerado como internet o conceito de rede de comunicação interna ou externa, que é responsável por fornecer a objetos, dispositivos e equipamentos diversos utilizados no cotidiano a capacidade de se conectarem a uma rede de internet e realizar a comunicação destes com outros equipamentos, sensores, atuadores e os usuários dos mesmos, desde que estes sejam dotados de capacidade computacional e comunicacional (SANTOS et al, 2016). O termo de Internet das Coisas será explanado de forma mais ampla no capítulo de referencial teórico para melhor compreensão de como este está ligado ao projeto desenvolvimento neste trabalho.

O uso desta tecnologia permite a comunicação entre dispositivos e usuários, a transmissão de dados diversos e o controle de equipamentos, seja de forma presencial ou remota e em tempo real, sendo também responsável pela interconexão de diversos dispositivos e pelo compartilhamento de dados que venham a ser relevantes para diversos usos abrangentes ou específicos, com a finalidade de definir padrões de comportamento de uso de diversos dispositivos e ainda, quando pertinente, fornecer informações relevantes para indivíduos exclusivos ou até mesmo para realizar a alimentação de bancos de dados da rede mundial de computadores.

Os conceitos de internet das coisas e medidores inteligentes de energia, quando unidos, dão origem ao termo “*Smart Plug*”, que é definido por DIÓGENES (2018) como um dispositivo eletrônico de pequena dimensão e fácil instalação e que possui capacidade de medição de grandezas elétricas e controle de carga, com acionamento remoto, acesso a informações por meio de compartilhamento sem fio e recebimento de dados utilizando o smartphone ou outro equipamento *mobile*, permitindo ao usuário controle sobre estes dispositivos.

Com base nos conceitos apresentados e tomando como parâmetro o dispositivo desenvolvido no trabalho de DIÓGENES (2018), bem como dispositivos de medição e analisadores de energia comerciais, para este trabalho foi realizado o estudo, projeto e desenvolvimento de dispositivo de medição simulado, simulação de funcionamento de analisadores de energia através de bancadas de carga e comparações entre os dispositivos *smart plugs*, para medições de grandezas elétricas em equipamentos de uso residencial de forma simplificada.

O desenvolvimento deste dispositivo tem a finalidade de observar as características físicas de cada um dos dispositivos desenvolvidos anteriormente analisados e o dispositivo projetado em termos de tamanho e facilidade de instalação para uso em tomadas residenciais, além de verificar a responsividade dos sensores e atuadores escolhidos, bem como a fidelidade dos valores obtidos nos testes simulados em comparação a dispositivos similares para que, após finalização do projeto simulado, venha a possibilitar para trabalhos futuros a produção física do dispositivo e, a partir desta, promover a análise de custo de produção unitária para aquisição pela população, com o objetivo de popularizar o uso deste tipo de equipamento para consumidores residenciais.

O *Smart Plug* desenvolvido no trabalho de DIÓGENES (2018) e seus respectivos resultados de testes de funcionalidade foram utilizados como base comparativa com os valores obtidos no dispositivo simulado neste trabalho para medição de energia de forma simplificada bem como os parâmetros obtidos também foi comparada com aparelhos já existentes para aquisição no mercado atualmente, neste caso, com o analisador de energia comercial AE-100.

1.2 JUSTIFICATIVAS

Muitas são as razões apresentadas para que a população atual busque obter maior conhecimento acerca dos seus hábitos de consumo e melhor compreensão no que concerne a todos os detalhes que compõe a sua conta de energia elétrica tendo como objetivo principal a realização de modificações em seus padrões de uso de equipamentos residenciais. Contudo, ainda pode ser observado que esta necessidade encontra diversos obstáculos, sendo um dos principais a dificuldade em realizar a mensuração do consumo de um equipamento em determinado período de tempo de forma individual, bem como o alto custo atrelado a aquisição de equipamentos que sejam capazes de realizar essas medições de forma satisfatória e de fácil compreensão ao usuário, visto que por muitas vezes esses equipamentos precisam ser manipulados por profissionais habilitados visando a segurança e confiabilidade dos resultados apresentados.

Levando-se em consideração os problemas enfrentados pela população com relação a falta de conhecimento acerca dos seus hábitos de consumo e o crescimento na demanda por energia elétrica, conforme explanado nas seções anteriores, para este trabalho foi realizada a simulação de um dispositivo capaz de aferir medidas elétricas em equipamentos de uso residencial, tendo como finalidade a estimativa do consumo de energia elétrica de quaisquer

destes de forma individual. Após realização completa do projeto de simulação de um dispositivo medidor de energia, utilizando equipamentos de medição de custo reduzido, os valores de simulação com testes realizados utilizando uma bancada de carga virtual foram obtidos e comparados com o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES (2018) e o analisador de energia AE-100 com a finalidade de verificação de funcionamento e confiabilidade do mesmo.

A mensuração da energia elétrica consumida por estes equipamentos residenciais de forma individual, bem como o conhecimento acerca dos hábitos de utilização destes em uma residência proporciona ao consumidor um melhor conhecimento acerca do seu padrão de consumo de energia elétrica de forma generalizada (MONZANI, 2016), podendo então utilizar este conhecimento para diversas finalidades. A compreensão acerca do consumo efetivo de um equipamento em uma residência pode promover desde a realização de uma adaptação dos hábitos de consumo de energia elétrica para redução do valor pago às concessionárias de energia até a substituição de equipamentos já utilizados por outros que apresentem melhor desempenho energético ou mesmo a verificação de viabilidade econômica da adoção de medidas alternativas, como o uso de usinas de microgeração de energia solar fotovoltaica residencial.

A análise comparativa entre estes dispositivos traz como principal vantagem, o conhecimento de qual deles oferece os parâmetros mais adequados ao uso em *Smart Meters*, em termos de confiabilidade de mensuração de grandezas, qualidade de transmissão de dados e custo. Além disso, o uso deste dispositivo também pode oferecer o conhecimento acerca do consumo efetivo de equipamentos elétricos utilizados em residências, e a partir disso, clareza para o usuário acerca dos hábitos de consumo residenciais, permitindo a adoção de novas práticas de consumo mais conscientes.

A construção do projeto simulado deste dispositivo de medição de grandezas elétricas teve a intenção de simplificar os dispositivos desenvolvidos anteriormente e que foram utilizados como método comparativo neste trabalho, tendo o intuito de reduzir o custo de produção atrelado ao projeto e facilitar a manipulação deste dispositivo pelo usuário leigo. Também é possível citar que este projeto teve a intenção de melhorar e simplificar a comparação entre os valores obtidos, avaliando que estes são idealizados apenas para uso residencial e, por este motivo, não é vista com essencial importância a realização de medição de potência reativa por este dispositivo, visto que esta parcela de energia não é computada para fins de tarifação em integrantes do grupo B residencial pelas concessionárias de energia elétrica do Brasil segundo a norma atual de tarifação nacional.

Estas alterações tiveram como objetivo a redução do tamanho físico e do custo de produção deste dispositivo, sem alterar sua funcionalidade e qualidade de medição e transmissão de dados. Para a comparação, foram realizados testes simulados com o dispositivo desenvolvido através do uso de softwares de simulação, utilizando os mesmos parâmetros apresentados no trabalho de DIÓGENES (2018) com a finalidade de comparar estes valores obtidos com os valores apresentados nos testes físicos realizados por ele em seu trabalho, tanto com o dispositivo desenvolvido por ele e também com o uso do analisador de energia comercial AE-100.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram divididos entre gerais e específicos com a finalidade de especificar de forma mais clara todos os objetivos que determinaram o rumo tomado pela pesquisa desenvolvida neste trabalho.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é a realizar, desenvolver e simular um projeto de um dispositivo de medição de grandezas elétricas para aparelhos de uso residencial. Esta simulação deve apresentar resultados de medição de corrente elétrica e tensão potencial para que seja feita a obtenção dos valores simulados com o uso de bancada de carga simulada desenvolvida de acordo com os parâmetros do trabalho de DIÓGENES, bem como comparar com os resultados obtidos nos testes físicos do dispositivo de medição de energia elétrica desenvolvido por DIÓGENES (2018) e o analisador de energia AE-100, considerando todos os fatores de possibilidade de erro.

Também será avaliado o comportamento destes para que este dispositivo ofereça o melhor custo-benefício ao usuário final, com o objetivo de promover ações que visem a educação do usuário acerca de seus hábitos de consumo e, a partir disto e com este conhecimento à sua disposição, possa então realizar através de alterações em seus hábitos, a redução dos custos com energia elétrica.

1.3.2 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos, pode-se citar:

- Projetar o circuito simulado do equipamento de medição;
- Realizar testes simulados de medição de energia com o auxílio de softwares de simulação aplicados;
 - Realizar levantamento de requisitos acerca da utilização de “Internet das Coisas” na simulação do projeto, da aquisição e transmissão de dados;
 - Realizar testes e análises comparativas entre os valores simulados obtidos através do dispositivo desenvolvido neste trabalho com os valores obtidos no trabalho desenvolvido por DIÓGENES (2018) e através dos testes com o analisador de energia comercial AE-100, com o objetivo de teste de precisão do protótipo;
 - Realizar testes de confiabilidade e funcionamento do dispositivo, com diferentes equipamentos;

Além destes objetivos apresentados, observa-se a necessidade de promover o conhecimento acerca dos hábitos de consumo de energia elétrica para um consumidor residencial com a finalidade de contribuir para a adaptação dos hábitos de consumo e redução do desperdício de energia elétrica.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo deste trabalho foi apresentada a introdução do mesmo, com dados que servem como base e justificativa para a necessidade de uso deste dispositivo levando em consideração o comportamento da sociedade atual e seus hábitos de uso de energia elétrica, a justificativa para a construção do mesmo e apresentação dos objetivos gerais e específicos a serem alcançados durante a elaboração do trabalho e ao final do desenvolvimento do mesmo.

No segundo capítulo será apresentado o referencial teórico e revisão bibliográfica de conceitos gerais de eletricidade, equipamentos de medição de energia, medidores inteligentes, modos de tarifação de energia elétrica e as bandeiras tarifárias existentes atualmente no Brasil, descrição de conceitos de internet das coisas e conceitos de transmissão de dados e protocolos de comunicação utilizados.

No terceiro capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados para simulações e comparações entre os dispositivos. Este capítulo abordará desde o projeto, esquematização do circuito do medidor inteligente, simulação e testes de funcionalidade e

confiabilidade, além dos parâmetros utilizados nos testes para que os resultados possam ser comparados.

No quarto capítulo serão analisados os resultados obtidos nos testes simulados e a discussão acerca destes após a obtenção dos dados e a comparação com os dispositivos apresentados.

No quinto capítulo serão apresentadas as conclusões acerca dos protótipos simulados neste trabalho, as comparações entre eles, bem como sugestões para trabalhos futuros a serem realizados com a mesma temática deste.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão explanadas informações acerca dos componentes utilizados para o desenvolvimento do dispositivo simulado que serve de tema para este trabalho, bem como conceitos teóricos sobre tecnologias a serem exploradas e outros assuntos relevantes para melhor compreensão da análise de dados. Além disso, serão explicados alguns conceitos gerais sobre eletricidade, equipamentos de medição de energia, medidores inteligentes e o uso de internet das coisas.

2.1 REVISÃO HISTÓRICA SOBRE O CONCEITO DE *SMART PLUGS*

Os primeiros trabalhos relacionados com *smart plugs* datam do início do século XXI, e tem como principal justificativa a expansão da comunicação sem fio e os primeiros projetos relacionados com automação residencial inteligente. Um dos primeiros modelos de *smart plug* foi teorizado por POTTER (2002), que descreveu uma proposta de norma licenciada do grupo de trabalho IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) que definiu uma interface de modo misto para manutenção do sinal analógico de um sensor utilizado em conjunto com um sinal digital capaz de acessar informações do circuito. Esta interface foi utilizada amplamente em projetos posteriores como uma espécie de manual ou guia para desenvolvimento de dispositivos que pudessem ser classificados nesta categoria.

Com o avanço tecnológico e a necessidade de acesso rápido a informações, bem como o aumento da capacidade de processamento de dispositivos computacionais inteligentes, diversos cientistas deram início a pesquisas dedicadas a estes dispositivos, adaptando-se aos conceitos de redes inteligentes definidos por POTTER (2002) e licenciados pela IEEE. Neste contexto, é importante destacar o trabalho de LEE (2011) que desenvolveu um *smart plug* conectado a uma rede de sensores sem fio. Este dispositivo era capaz de monitorar o uso de energia elétrica, com obtenção dos seus valores e parâmetros principais, e contava com componentes capazes de realizar o acionamento e desligamento do equipamento ligado à uma tomada de energia elétrica.

Em 2014, Cesário Júnior também desenvolveu um protótipo de medidor inteligente, utilizando componentes capazes de realizar a detecção e medição de tensão e corrente em tomadas de ambientes residenciais. Para o processamento dos dados, utilizou-se um circuito

de medição ADE7753, além da realização da comunicação com o uso de um computador através de rede sem fio.

Além da rede Wi-Fi, outros trabalhos mostram a possibilidade de uso de diferentes protocolos de comunicação para uso de medidores inteligentes de energia elétrica e plugs de acionamento remoto. A comunicação *bluetooth* (BRENKUS et al, 2014), o protocolo de comunicação ZigBee (AHMED et al, 2015) e a comunicação Wi-Fi com utilização do módulo ESP8266 (ZHANG et al, 2015) e (LEMOS, 2017), sendo todas elas meios de comunicação sem fio, surgem como alternativas para a realização de transmissão de dados oriundos do sistema de medição. Os trabalhos citados serviram de base para aquisição de informações teóricas acerca dos equipamentos utilizados, a realização de testes e, por fim, a escolha da melhor forma de processamento e do melhor protocolo de comunicação e acionamento remoto de acordo com as necessidades vislumbradas no desenvolvimento do medidor inteligente simulado que é o objetivo deste trabalho.

2.2 CONCEITOS GERAIS DE ELETRICIDADE

As grandezas elétricas utilizadas para verificação de potência, consumo e eficiência energética de equipamentos que utilizam energia elétrica são definidos conforme o sistema internacional de unidades. Através da leitura de dados de tensão e corrente, além de informações acerca dos hábitos de uso do equipamento a ser monitorado, é possível determinar a potência efetiva do aparelho, bem como o consumo efetivo deste através dos cálculos de potência ativa e reativa. Com estas informações e realizando a comparação com os dados oriundos das especificações técnicas destes equipamentos, é possível verificar a eficiência energética do mesmo.

A seguir serão explanados alguns conceitos acerca destas grandezas elétricas necessárias ao medidor projetado neste trabalho, como elas se relacionam entre si, os cálculos necessários para obtenção de valores de referência para os medidores inteligentes e um resumo acerca dos equipamentos de medição de energia.

2.2.1 Grandezas elétricas

Segundo Nilsson e Riedel (2016) o conceito de carga elétrica é a base para que se possa descrever todos os principais fenômenos elétricos. É a partir dele que podemos derivar conceitos como tensão, corrente e potência elétrica. Em resumo, pode-se utilizar-se dessas três

grandezas para, a partir delas, obter quaisquer outras grandezas utilizadas no estudo de engenharia elétrica. Ainda de acordo com Nilsson e Riedel (2016), a tensão pode ser definida como a energia por unidade de carga criada pela separação e expressa de forma diferencial conforme equação 01.

$$v = \frac{dw}{dq} \quad \text{Equação 01}$$

Onde v representa a tensão em *Volts*, w representa a energia em *Joules* e q representa a carga elétrica em *Coulombs*. Em termos práticos e com o intuito de simplificação dos cálculos para obtenção dos valores de referência, a tensão pode ser definida como a diferença de potencial elétrico entre dois pontos e associada à corrente e resistência elétrica através da equação 02.

$$v = r * i \quad \text{Equação 02}$$

Onde r representa a resistência em *ohms*, *que* pode ser definida como a força que dificulta a passagem de corrente elétrica em um condutor e i representa a corrente elétrica em *ampères*. Esta equação é popularmente conhecida como “Lei de Ohm” e é considerada a equação mais básica dos estudos de eletricidade, visto que dela derivam outras equações que regem esta área de conhecimento. Já a corrente elétrica é definida como a variação temporal de carga e pode ser definida conforme equação 03.

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{Equação 03}$$

Onde i representa a corrente em *Ampères*, q representa a carga elétrica em *Coulombs* e t representa o tempo em *segundos*. A corrente também pode ser definida como a quantidade de fluxo ordenado de elétrons que passa por segundo na seção transversal de um condutor de energia elétrica. A convenção indica que este fluxo é contrário ao sentido convencional da corrente. Além desta convenção, a corrente elétrica também possui uma equação simplificada que deriva da equação 02, relacionando esta grandeza também aos termos de tensão e resistência elétrica.

Os dois conceitos de tensão e corrente elétrica derivam para o conceito de potência, definida como energia por unidade de tempo. A associação deste termo aos conceitos de tensão e corrente geram a equação 04.

$$p = \frac{dw}{dt} \quad \text{Equação 04}$$

Onde p representa a potência ativa em *Watts*, w representa a energia em *Joules* e t representa o tempo em *segundos*. A potência elétrica pode ser definida como a energia efetiva necessária para que um determinado equipamento elétrico possa funcionar de forma adequada. Sua equação também pode ser modificada e aliada aos termos de tensão e corrente

elétrica, conforme mostrados nas equações 01 e 03, para a partir delas gerar a simplificação de cálculos conforme a equação 05.

$$p = v * i \quad \text{Equação 05}$$

Esta equação, aliada à Lei de Ohm, pode ser combinada de diversas formas de acordo com os dados disponíveis para aquisição dos resultados finais e, conseqüentemente, pode dar origem a outras equações que regem o estudo de engenharia elétrica, sendo assim utilizada em todas as subáreas de estudo.

Em termos práticos relativos ao uso de equipamentos elétricos, tem-se que a tensão utilizada em tomadas elétricas de uso residencial tem característica alternada, com amplitude e frequência definidas pela concessionária de energia local. Desta forma, para definição da potência efetiva de um equipamento, é necessária a leitura da corrente que passa pelo equipamento durante o seu funcionamento com o uso de equipamentos específicos para medição desta grandeza.

Além dos termos já apresentados, as concessionárias de energia utilizam o termo consumo, que é a relação entre um dos tipos de potência do aparelho elétrico e o tempo de uso do mesmo. Desta forma, assim como a potência, o consumo também pode ser dividido em subcategorias de acordo com o tipo de consumidor atendido. Esta diferença existe tendo em vista que o consumo efetivo do aparelho considera apenas a parte ativa da potência, mas o custo desse consumo também leva em consideração a potência reativa, ou seja, as perdas de energia.

Desta forma, a potência considerada para fins de consumo, apesar de ser chamada de potência ativa, leva em consideração a corrente que passa pelo medidor e a tensão de atendimento da rede. Ou seja, o valor efetivo do consumo cobrado pela concessionária é definido com base na potência aparente, que considera tanto a potência ativa quanto a reativa de utilização de um sistema de energia. Apesar disso, por padrão, as concessionárias de energia brasileiras, juntamente a agência reguladora, convencionaram o termo utilizado para realizar a cobrança do consumo em kWh (Quilowatt hora) consumido.

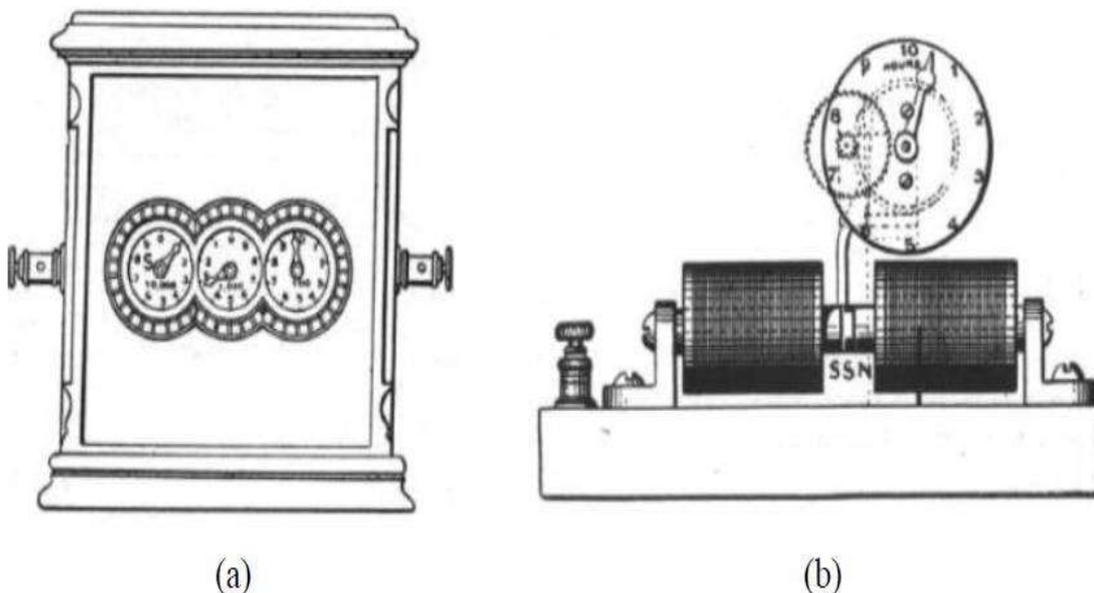
Os conhecimentos acerca destes termos norteiam toda a pesquisa deste trabalho, visto que o equipamento utilizado deve ser capaz de realizar a medição efetiva das grandezas de tensão e corrente disponíveis na rede elétrica para aquele aparelho e o módulo de processamento deve ser capaz de efetuar os cálculos necessários para fornecer aos usuários os valores de potência e consumo do dispositivo.

2.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA

Em circuitos elétricos reais, é comum existir a necessidade de realizar a medição dos níveis de tensão e corrente com a finalidade de confirmar se os valores verificados são compatíveis com o projeto realizado. Esta medição pode ser utilizada para identificação de defeitos no circuito e outros problemas que não poderiam ser previstos através de análises teóricas. Para isso, são utilizados equipamentos ou dispositivos eletromecânicos ou eletrônicos capazes de aferir grandezas elétricas através de cálculos de corrente e tensão realizados por dispositivos de leitura.

Os primeiros registros de utilização de equipamentos para medição de energia elétrica datam do final do século XIX, com a operação de lâmpadas em série, que era um dos dispositivos mais difundidos que utilizava energia elétrica naquela época. Este dispositivo utilizava um circuito de lâmpadas puramente resistivas ligadas em série para determinação de consumo de energia elétrica. A tensão entre os terminais desta instalação era constante e a corrente de operação conhecida, portanto, como todas as lâmpadas estavam conectadas a um único interruptor, era possível realizar o cálculo de consumo de um período de tempo determinado com as equações principais da medição de grandezas elétricas. Este equipamento utilizava a variável lâmpada-hora para verificação de consumo. A descoberta do cálculo desta grandeza abriu margem para a invenção de relógios medidores utilizando os parâmetros observados que permitiam que o cálculo fosse realizado de forma mais precisa e que esta medição pudesse ser mais difundida.

No ano de 1872, a primeira patente de um contador de energia foi registrada por Samuel Gardiner, e consistia em uma lâmpada com um contador de corrente contínua controlado por um relógio com um eletroímã responsável pelo acionamento e parada do mecanismo. Já no ano de 1878, Fuller JB registrou a patente de um relógio contador de lâmpada-hora, com medição de corrente alternada e operado por uma armadura vibrável entre duas bobinas. A Figura 4 mostra os medidores construídos por Gardiner e Fuller.

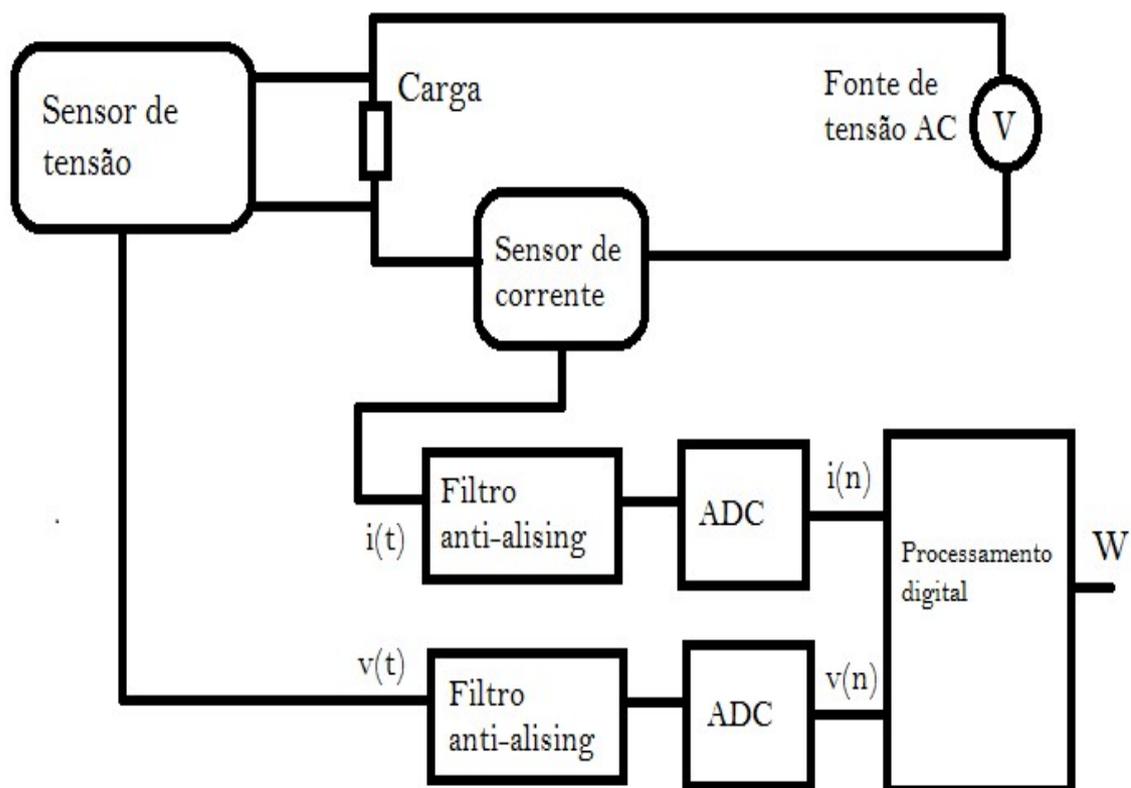
Figura 4 - Medidor de Samuel Gardiner (a) e Fuller JB (b)

Fonte: Moro (2013).

Com a invenção da lâmpada incandescente por Thomas Edison em 1879, bem como com a subdivisão da iluminação e controle de luzes de forma individual, tornou-se inviável a medição de consumo por “lâmpada-hora”, apesar disso, esta prática teve continuidade até meados de 1890. Deste período até o fim do século XX, diferentes empresas e pesquisadores desenvolveram ferramentas capazes de realizar a medição das grandezas elétricas de consumo. Empresas como a General Electric, Siemens e ABB entre outras, durante anos trabalharam para construir um método mais moderno e com maior confiabilidade. Apenas na década de 1990 foram produzidos medidores eletrônicos totalmente informatizados e sem o uso de partes móveis, mais semelhantes aos utilizados em residências, indústrias e estabelecimentos até os dias atuais.

Os medidores eletrônicos são a solução mais moderna existente até o momento, em substituição aos modelos eletromecânicos mais antigos, apesar de algumas grandes empresas ainda produzirem alguns modelos eletromecânicos para utilização em funcionalidades específicas. Nos medidores eletrônicos, os sinais de entrada de tensão e corrente são digitalizados e tem o processamento das variáveis realizado por processador dedicado, que pode variar de microcontroladores dedicados com menor gama de recursos, até processadores de sinais digitais mais potentes e com capacidade de processamento em tempo real e transmissão por algum método de comunicação. A Figura 5 mostra o diagrama de blocos padrão de um multímetro digital.

Figura 5 - Diagrama de blocos de um multímetro digital



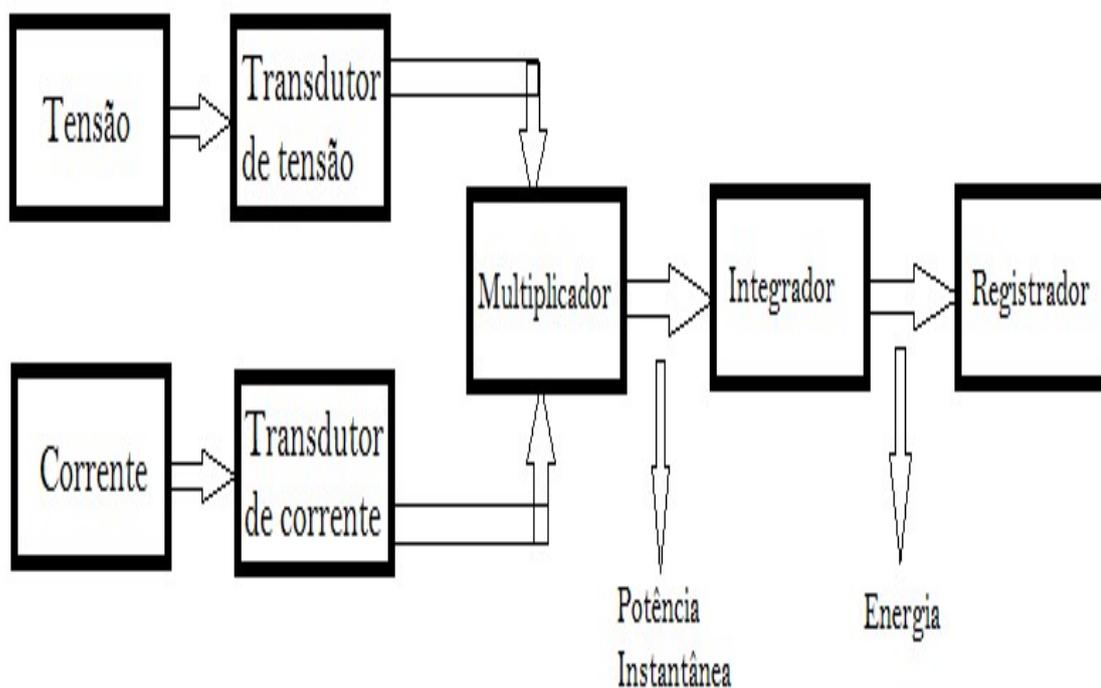
Fonte: Adaptado de DIÓGENES

Segundo DIÓGENES (2018, apud Cesário Junior, 2014) a norma NBR-14519 define um medidor eletrônico de energia como um medidor estático no qual a corrente e a tensão agem sobre elementos de estado sólido para produzir uma informação de saída proporcional à quantidade de energia elétrica medida, ou seja, em resumo, qualquer medidor mede o consumo de energia elétrica e pode ser equipado com dispositivos para leitura dos valores de medição obtidos.

Um medidor eletrônico é basicamente composto por quatro blocos principais, sendo eles um multiplicador, um integrador, um transdutor e um registrador. Estes blocos encontram-se na etapa de processamento dos dados obtidos após a realização das medições das grandezas elétricas necessárias. O bloco multiplicador é o responsável pela determinação da potência instantânea do circuito a ser medido, através da multiplicação entre os valores de tensão e corrente obtidos através do monitoramento entre os terminais do equipamento. Já o bloco integrador é o responsável pela obtenção da energia advinda do circuito e o bloco transdutor é o responsável pela obtenção dos valores de tensão e corrente obtidos no circuito, bem como a adequação destes para que a multiplicação possa ser realizada de forma

adequada. Por fim, após a passagem do sinal por estes três blocos, as informações obtidas são armazenadas no bloco registrador. A Figura 6 mostra o diagrama de blocos de um medidor eletrônico.

Figura 6 - Diagrama de blocos de um medidor eletrônico



Fonte: Adaptado de Costa (2014)

Entre os exemplos de medidores eletrônicos de energia completos e de pequeno porte disponíveis atualmente no mercado, pode-se citar o circuito integrado ADE7753 desenvolvido pela Analog Devices, que é capaz de realizar a medição de energia ativa, reativa e aparente em sistemas monofásicos; o circuito integrado ADE7758, também desenvolvido pela Analog Devices, que possui as mesmas funções do ADE7753 para sistemas trifásicos; e o circuito integrado CS5463, desenvolvido pela Cirrus Logic, que é capaz de realizar medições da tensão e da corrente RMS, bem como das potências instantânea, aparente, ativa e reativa em sistemas monofásicos e, com o auxílio de multiplexadores, pode realizar estas medições também para sistemas trifásicos.

Estes circuitos integrados, quando aliados a microcontroladores em sistemas de medição de energia, são capazes, além da medição dos valores necessários, de promover o processamento de dados, a comunicação e o acesso às informações pelo usuário final,

formando os medidores inteligentes. É válido salientar que, apesar destes serem circuitos integrados desenvolvidos por empresas diferentes, eles possuem funções e características de leitura similares, bem como possuem características de processamento de dados parecidas, podendo ser substituídas e testadas para comparações de funcionalidade adequada para cada situação de medição apresentada.

O uso de circuitos integrados de medição como os apresentados na construção de *smart plugs* pode facilitar o desenvolvimento do dispositivo, visto que estes são capazes de otimizar a aquisição das grandezas relativas à energia elétrica, simplificar o processamento de dados e oferecer ainda o processamento de variáveis adicionais que podem ser necessárias para os cálculos efetivos de consumo se considerar consumidores pertencentes à outros grupos tarifários. Além disso, por se tratar de dispositivos com tecnologia baseada em microeletrônica e possuírem tamanho reduzido, estes podem facilitar o desenvolvimento de medidores de energia de pequeno porte e que propiciem a instalação em tomadas residenciais de forma mais fácil e com menor ocupação de espaço.

2.4 SMART METER

Um *smart meter*, também conhecido como medidor inteligente, pode ser definido como um medidor de energia elétrica que é capaz de realizar a leitura de dados de forma automática e em tempo real, sem a necessidade de operação pelo usuário. Com o uso deste tipo de medidor, o usuário é capaz de obter informações relevantes sobre o seu consumo de energia elétrica de forma pontual (apenas em um aparelho) ou abrangente (todos os dispositivos utilizados em uma determinada área ou uma unidade consumidora por completo), tornando possível a este a adoção de medidas que possam reduzir o consumo de energia elétrica. Alguns dispositivos considerados medidores inteligentes de energia são também conhecidos como analisadores de energia.

Os medidores inteligentes disponíveis no mercado atualmente têm custo elevado e desta forma não é acessível a todos os usuários. O dispositivo a ser desenvolvido neste trabalho irá funcionar da mesma forma que um medidor comercial e com a mesma finalidade, havendo também a possibilidade de, sendo produzido em larga, apresentar custo reduzido para aquisição deste pela população geral. A Figura 7 mostra o analisador de energia AE-100 que foi usado como método comparativo para comprovação de funcionamento do dispositivo desenvolvido neste trabalho e já possui sua confiabilidade comprovada para a medição de grandezas elétricas.

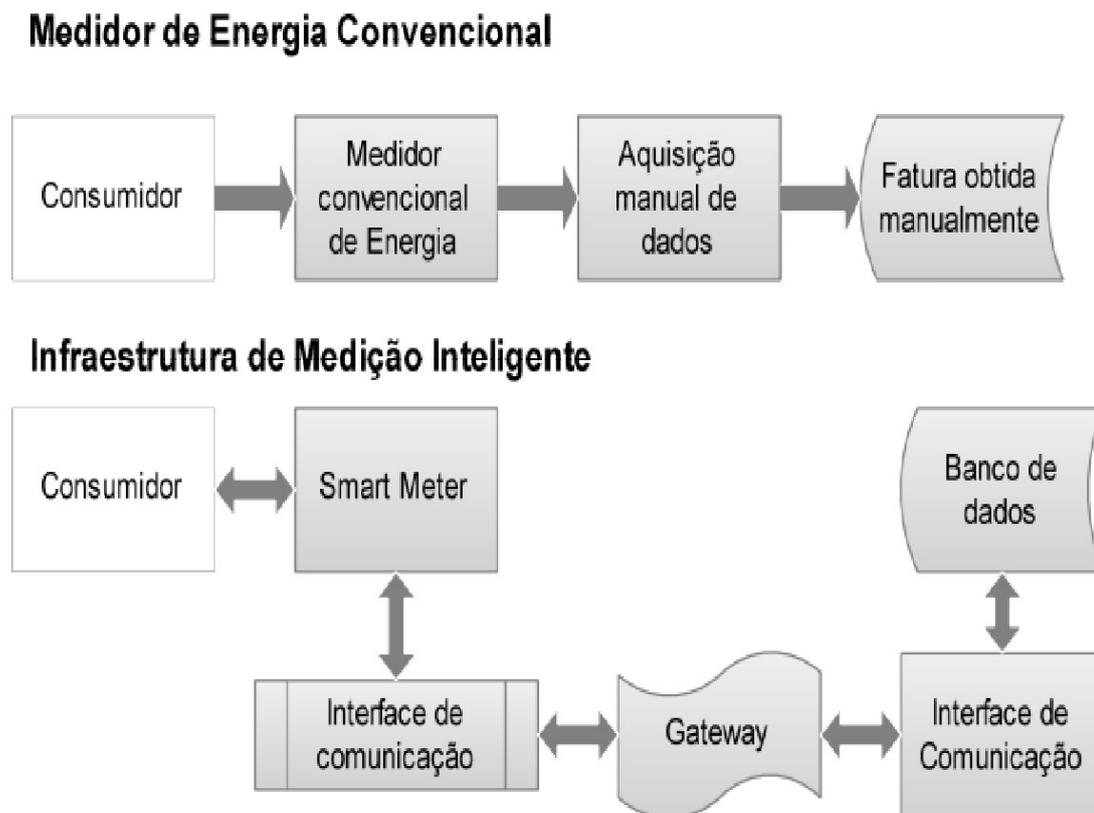
Figura 7 - Analisador de energia AE-100



Fonte: AIQ Ferramentas e Instrumentos

Também é válido salientar que a estrutura de medição de um *smart meter* é diferente de um medidor eletrônico convencional, visto que uma das principais características dos medidores inteligentes é o armazenamento de informações em tempo real, juntamente à leitura e a possibilidade de colocar estas informações à disposição do usuário. As diferenças entre estas estruturas podem ser observadas na Figura 8.

Figura 8 - Diferenças estruturais entre um medidor convencional e um Smart Meter



Fonte: Rigodanzo (2015).

2.5 BANDEIRAS TARIFÁRIAS

No Brasil a tarifação de energia elétrica têm diversos parâmetros para definição, além de diversos fatores que a compõe. Tais parâmetros irão depender do tipo de consumidor, dos seus padrões de consumo e da opção tarifária que este utiliza. As definições acerca das modalidades tarifárias autorizadas para uso dentro do território nacional, independente do estado e da empresa concessionária de energia, são realizadas e fiscalizadas pela ANEEL, que é a Agência Nacional de Energia Elétrica. Nesta seção, será dado destaque à Tarifa Branca, bem como os sistemas de medição necessários para realizar o faturamento dos consumidores residenciais em modalidade tarifárias horárias.

2.5.1 Modalidades tarifárias

O conhecimento acerca das modalidades tarifárias disponíveis e as tarifas que compõem a conta de energia de cada grupo consumidor são pouco difundidos entre a

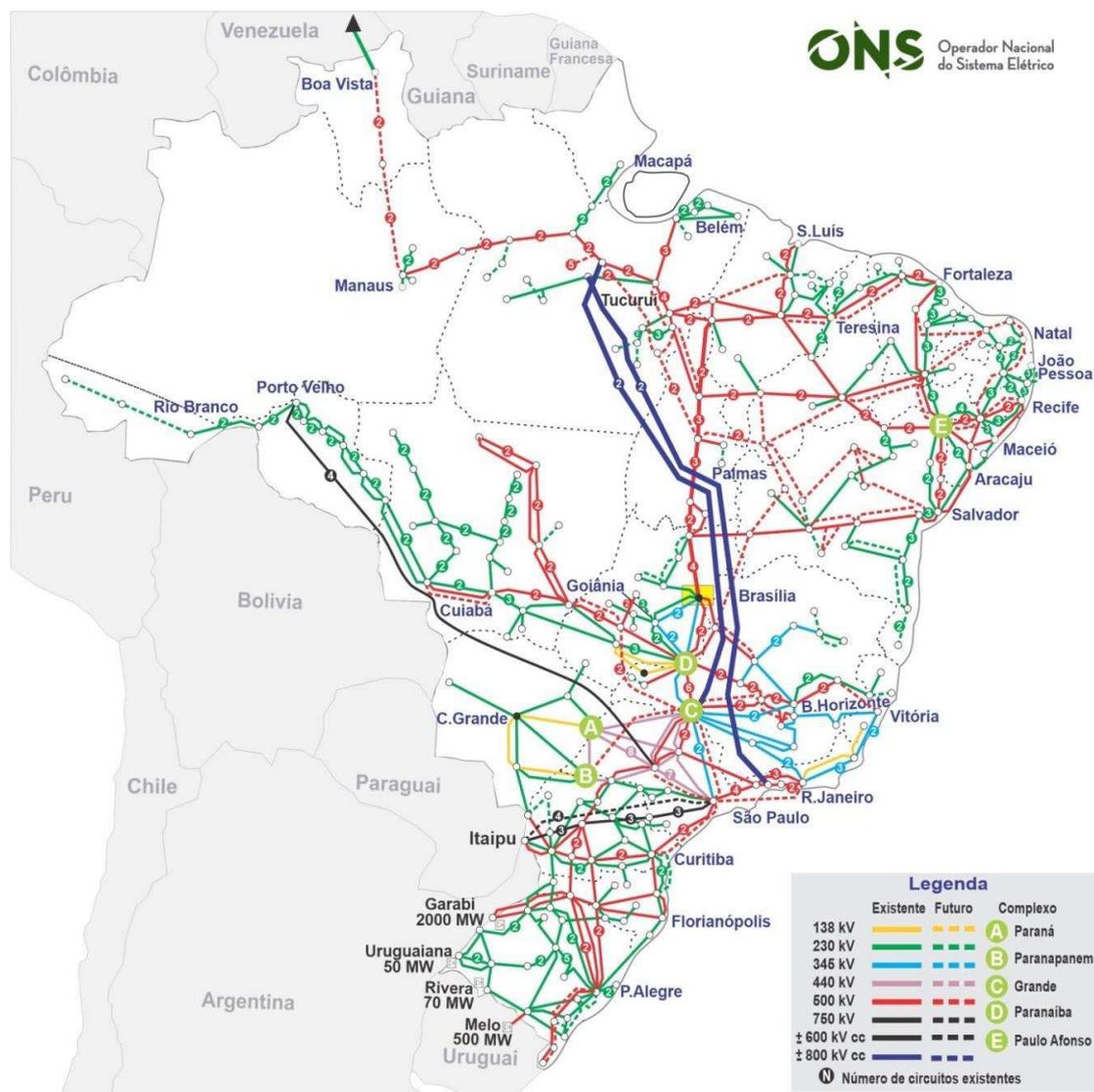
população geral, por muitas vezes gerando dúvidas sobre a forma como os valores de tarifação são calculados. Além disso, a busca por compreensão acerca deste processo é escassa e muitas vezes estas informações se encontram em meios pouco acessados, tornando ainda mais difícil que os consumidores consigam entender as mudanças realizadas no modo de tarifação em diferentes períodos do ano de acordo com os períodos e tipos de geração de energia, os tipos de modalidade tarifária que cada grupo pode escolher adotar e os prazos de adoção destas, as bandeiras de tarifação adicionais regularizadas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e até mesmo as tarifas regulares presentes na composição da conta de energia elétrica.

Outro fator que também não é de conhecimento da população é a forma de funcionamento da matriz energética nacional e os sistemas de transmissão de energia, o que pode tornar confuso para um cidadão leigo como se dá a atuação das concessionárias de energia, em conjunto com as diferentes usinas geradoras, para realizar todas as etapas desde a geração, passando pela transmissão até chegar à distribuição de energia elétrica para os consumidores finais.

Devido à dificuldade de armazenamento de energia elétrica, existe atualmente a necessidade de adequação entre o volume de energia consumido e o volume de energia gerado, com a finalidade de evitar faltas ou desperdícios. Por conta deste fator, existe atualmente o gerenciamento de demanda baseado na geração de energia que seja suficiente para suprir todos os consumidores conectados ao SIN (Sistema Interligado Nacional) bem como o uso deste sistema para permitir que as operações de transferência e balanceamento de cargas possam ser executadas de forma mais rápida em caso de necessidades e falhas na rede, diminuindo a possibilidade de faltas de energia por longos períodos em locais alcançados por este sistema.

Apesar das vantagens apresentadas no uso desse sistema, uma desvantagem conhecida é que uma falha em uma subestação de transmissão principal próxima a uma usina pode provocar faltas de energia que afetem diversos estados e milhares de consumidores. Na Figura 9 pode ser observado o mapa do Brasil com a configuração mais recente do Sistema Interligado Nacional.

Figura 9 - Sistema Interligado Nacional atual e previsão de expansão



Fonte: ONS

Apesar disso, têm-se buscado alternativas que possam aperfeiçoar o gerenciamento de energia a nível nacional, evitando períodos de picos de consumo em determinados horários, em que é demandado alto volume de energia elétrica por parte das distribuidoras, bem como aprimorando os sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica para diminuir também a ocorrência de faltas em grande escala, evitar a necessidade de remanejamento de cargas, reduzir as falhas decorrentes de picos de energia, bem como outros problemas relacionados com o mau gerenciamento de energia elétrica.

Desta forma, surge entre as alternativas um conceito em crescimento que é o gerenciamento de energia pelo lado da demanda, que tem como objetivo realizar a transferência de parte do consumo de energia elétrica dos horários de pico para outros

horários em que a demanda é menor, ao que se dá o nome de “deslocamento de carga” (LEMOS, 2017). O conceito de “deslocamento de carga”, realizado com o gerenciamento pelo lado da demanda pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Deslocamento de carga



Fonte: LEMOS (2017)

A principal alternativa encontrada pelas concessionárias de energia para que os consumidores possam mudar seus hábitos de consumo é com o oferecimento de vantagens financeiras, com a aplicação de diferentes tarifas de acordo com o horário de consumo de energia. Esta opção já era conhecida para consumidores comerciais e industriais, mas a criação da Tarifa Branca, aprovada pela ANEEL em 2013, trouxe esta modalidade tarifária como opção para consumidores residenciais.

2.5.2 Tarifa Branca

Os consumidores com tensão de fornecimento inferior a 2,3kV, onde se encontram os consumidores residenciais e rurais, são classificados pela ANEEL no grupo B. Para esses clientes, para fins de simplificação da conta de energia, era considerada apenas a tarifa convencional monômnia, que se tratava de tarifa única de consumo de energia elétrica, sem considerar mudanças de valor de acordo com o horário e também sem considerar o consumo de energia reativa.

Apesar disso, em 2013, através de audiência pública, a ANEEL sugere a criação de nova modalidade tarifária, a ser opcional para os consumidores do grupo B, que surge com o objetivo de estabelecer preços que aproximam os custos para prestação do serviço de acordo com o período de utilização. Este modelo de tarifação é similar a alguns modelos de tarifa já

aplicados para consumidores comerciais e industriais com tensão de fornecimento em média e alta tensão, que considera tarifas específicas de acordo com os horários de fornecimento de energia.

Dessa forma, a opção pela Tarifa Branca não trás como objetivo a redução do consumo por parte do cliente final, mas sim a prática de valores de tarifa que sejam compatíveis com os custos de atendimento em cada horário do dia, que variam de acordo com a demanda de energia da rede por período. A adoção desta opção de tarifa é responsável pela redução do custo médio de energia elétrica ao consumidor e por aumentar a eficiência das redes de distribuição de energia elétrica, sendo também capaz de promover a redução na necessidade de investimentos na geração (LEMOS, 2017).

Esta modalidade tarifária entrou em disponibilidade em janeiro de 2018 para novas ligações e unidades consumidoras com média anual superior a 500kW/h de consumo mensal. Em janeiro de 2019, a Tarifa Branca tornou-se opcional para unidades consumidoras com média anual superior a 250kW/h por mês. Já em janeiro de 2020, tornou-se opcional para todos os consumidores do grupo B, com exceção dos consumidores exclusivamente de iluminação pública e aqueles que tem cadastro na subclasse de Baixa Renda entre os consumidores residenciais.

A adoção da Tarifa Branca consiste em três tipos de valores de tarifação aplicados na conta de energia do consumidor final de acordo com a quantidade de energia consumida em cada um dos horários de consumo do dia, sendo eles: horário de ponta, nas 3 horas de maior consumo total de todos os consumidores independente do seu grupo e corresponde à tarifa de maior valor; horário intermediário, que é constituído por uma hora antes e uma hora depois do horário de ponta, cuja tarifa possui valor intermediário; e o horário fora de ponta, que corresponde às 19 horas fora do horário de pico e intermediário e também à tarifa de menor valor a contar na fatura de energia elétrica. É válido salientar que a diferenciação de valores tarifários aplicados na Tarifa Branca não possui validade em finais de semana e feriados nacionais.

Para este trabalho, os conceitos de tarifação de energia e a explicação acerca do funcionamento da Tarifa Branca é importante devido à possibilidade de adoção deste meio de tarifação após realização da análise sobre o consumo efetivo de energia por parte do consumidor final que poderá ser constatado através de testes com o dispositivo desenvolvido de forma simulada neste trabalho.

2.6 INTERNET DAS COISAS

Internet das coisas, popularmente abreviado como IoT em referência ao termo original em inglês “*Internet of Things*”, é o termo utilizado para designar a forma como objetos físicos estão conectados entre si e com o usuário final, com a utilização de sensores, atuadores e softwares que realizam a transmissão de dados para uma rede, que pode ser tanto interna (Intranet) quanto geral ou externa (Internet). Entende-se, portanto, que conexão com a rede ou o uso de algum protocolo de comunicação que permita a transmissão de dados para equipamentos conectados à uma rede seja requisito essencial para que um sistema seja classificado como IoT.

É possível realizar um comparativo de um sistema que utiliza internet das coisas com um sistema nervoso, que possibilita a troca de dados e comandos entre diversas partes do corpo humano. Da mesma forma, o sistema que utiliza esta tecnologia é capaz de realizar a comunicação entre diferentes dispositivos e pessoas conectadas a uma mesma rede, desde que estes utilizem equipamentos capazes de realizar conexão em rede e protocolos específicos de comunicação.

A compreensão acerca do conceito de internet das coisas é utilizada neste trabalho para explicar a forma como o dispositivo simulado a ser desenvolvido deve ser capaz de realizar a comunicação com a rede através de algum protocolo de comunicação e posteriormente, com a retaguarda do sistema, com a finalidade de leitura e interpretação de dados pelo usuário.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão explanados os procedimentos executados em cada etapa da realização deste projeto simulado, bem como os componentes e softwares utilizados na simulação do projeto proposto. O projeto e simulação do dispositivo foram executados com a utilização do software de simulação PROTEUS e os resultados dos testes foram obtidos através de bancada de carga cujos parâmetros foram definidos nesta etapa do trabalho e simulados também com o uso deste software.

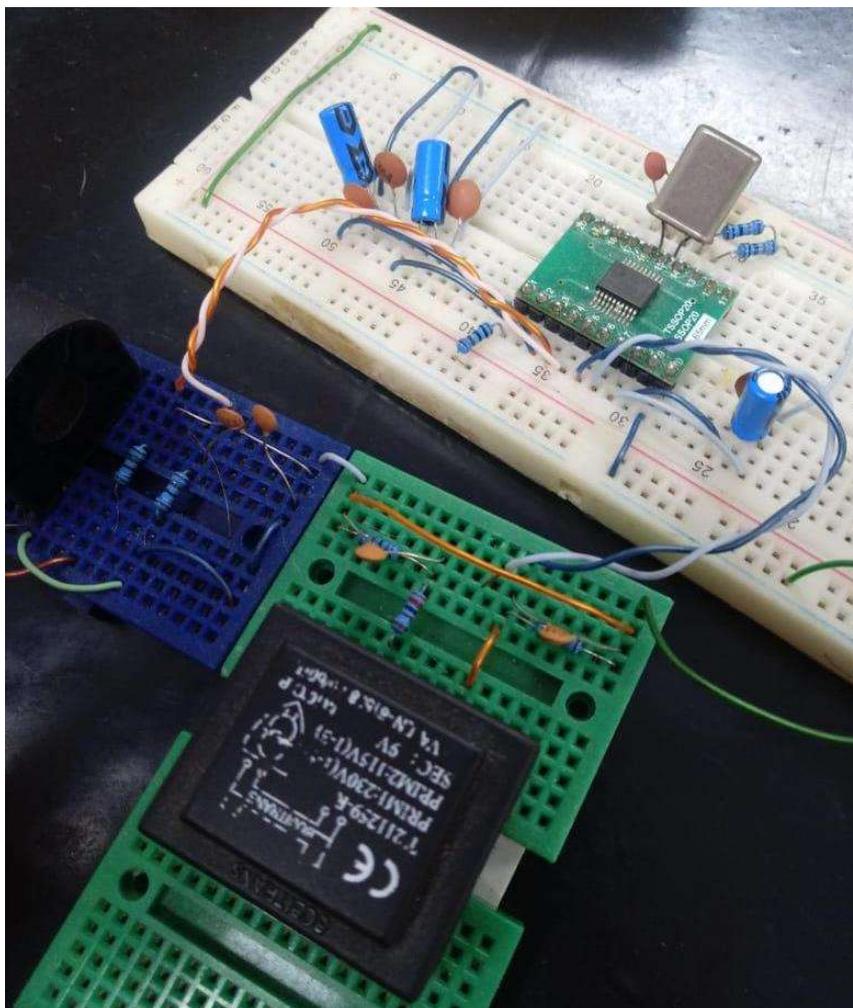
A princípio, será abordada a proposta a ser executada, os módulos definidos neste projeto para execução de cada etapa, desde a medição dos valores até as etapas de processamento, comunicação e transmissão de dados do dispositivo ao usuário final. Também serão apresentadas as bibliotecas de simulação utilizadas em cada etapa, bem como os equipamentos simulados para o dispositivo e os dados utilizados para projetar a bancada de carga simulada para os testes. Vale salientar que todas as etapas apresentadas obedecem aos mesmos parâmetros utilizados para os testes físicos no trabalho desenvolvido por DIÓGENES (2018), além do emulador de simulação utilizado para obtenção dos resultados e conclusão dos testes comparativos.

Em seguida, serão abordados os testes comparativos, cujos resultados serão explanados em capítulos subsequentes, para determinar a funcionalidade e confiabilidade deste dispositivo e a sua qualidade em comparação com outros dispositivos previamente mencionados.

3.1 MODIFICAÇÃO DA PROPOSTA INICIAL

A proposta inicial deste trabalho tinha como objetivo a execução de forma física do dispositivo de medição de grandezas elétricas tomando como base o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES (2018) em seu trabalho e posterior comparação de funcionalidade entre estes dispositivos. Desta forma, o desenvolvimento do projeto de forma física foi iniciado, fazendo uso de equipamentos similares aos utilizados no projeto mencionado, conforme pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Desenvolvimento físico do protótipo inicial



Fonte: Autoria Própria

Nesta proposta, as bancadas de carga utilizadas para realização dos testes seriam as mesmas utilizadas no trabalho de DIÓGENES (2018), tendo como principal intuito a minimização de erros em decorrência da utilização de parâmetros de teste diferentes do que estava determinado no projeto utilizado como base. Estas bancadas possuem valores de cargas resistivas, capacitivas e indutivas, podendo ser utilizadas também de forma combinada para produção de cargas mistas. A Figura 12 mostra as três bancadas de carga que seriam utilizadas para realização dos testes físicos após desenvolvimento do dispositivo objetivo deste projeto, sendo elas a bancada de cargas resistivas, a bancada de cargas indutivas e a bancada de cargas capacitivas mostradas respectivamente.

Figura 12 – Bancadas de carga



Fonte: Autoria Própria

Contudo, em decorrência de problemas relacionados ao período pandêmico, os testes físicos, que estavam ocorrendo com uso do laboratório da universidade, precisaram ser interrompidos e, desta forma, uma nova proposta de trabalho foi desenvolvida com adaptações da proposta original às possibilidades de realização do trabalho nesta nova modalidade e sem uso dos equipamentos ofertados e apresentados. A nova proposta de trabalho e as etapas de execução desta, de forma detalhada, serão apresentadas nas seções que seguem.

3.2 PROPOSTA DE TRABALHO

A função necessária ao Smart Plug é de monitoramento de grandezas elétricas em equipamentos de uso residencial e, a partir deste, adotar medidas de conservação e redução de consumo de energia pelos usuários finais. A proposta desse trabalho foi realizar a simulação de um *smart meter* simplificado e posteriormente realizar a comparação entre os valores obtidos nos testes de simulação deste dispositivo e as respostas obtidas no trabalho desenvolvido por DIÓGENES (2018) e com os testes realizados por ele utilizando o analisador de energia AE-100. Desta forma, o medidor simulado neste projeto é composto por três módulos com funções específicas que se comunicam entre si de forma a promover o correto funcionamento do equipamento e a confiabilidade de acordo com os parâmetros considerados.

Nesta etapa serão especificados os módulos desenvolvidos no decorrer das etapas de projeto para concretização do dispositivo tema deste trabalho, sendo eles: o módulo de medição ou aquisição de dados, que consiste na etapa de obtenção dos valores de tensão e corrente demandados pelo equipamento a ser conectado ao Smart Plug através de sensores especificados nas seções seguintes, o módulo de processamento de dados, que irá utilizar um microcontrolador com o objetivo de realizar os cálculos de potência e consumo através dos valores obtidos na medição e o módulo de comunicação, que será responsável pela demonstração do protocolo de comunicação com o usuário, bem como realizará a apresentação dos valores obtidos nas etapas anteriores.

3.3 MÓDULO DE MEDIÇÃO

O primeiro módulo a ser explanado é também o mais importante para o desenvolvimento do projeto deste trabalho, pois é através dele que se obtêm os dados necessários para mensuração de potência e consumo dos equipamentos. Através da leitura destes dados, realizada em tempo real, são realizados os cálculos de potência ativa, aparente, fator de potência e consumo do equipamento conectado aos terminais do medidor. Nesse módulo estão presentes os componentes que funcionam como sensores de potencial e corrente e seus respectivos circuitos.

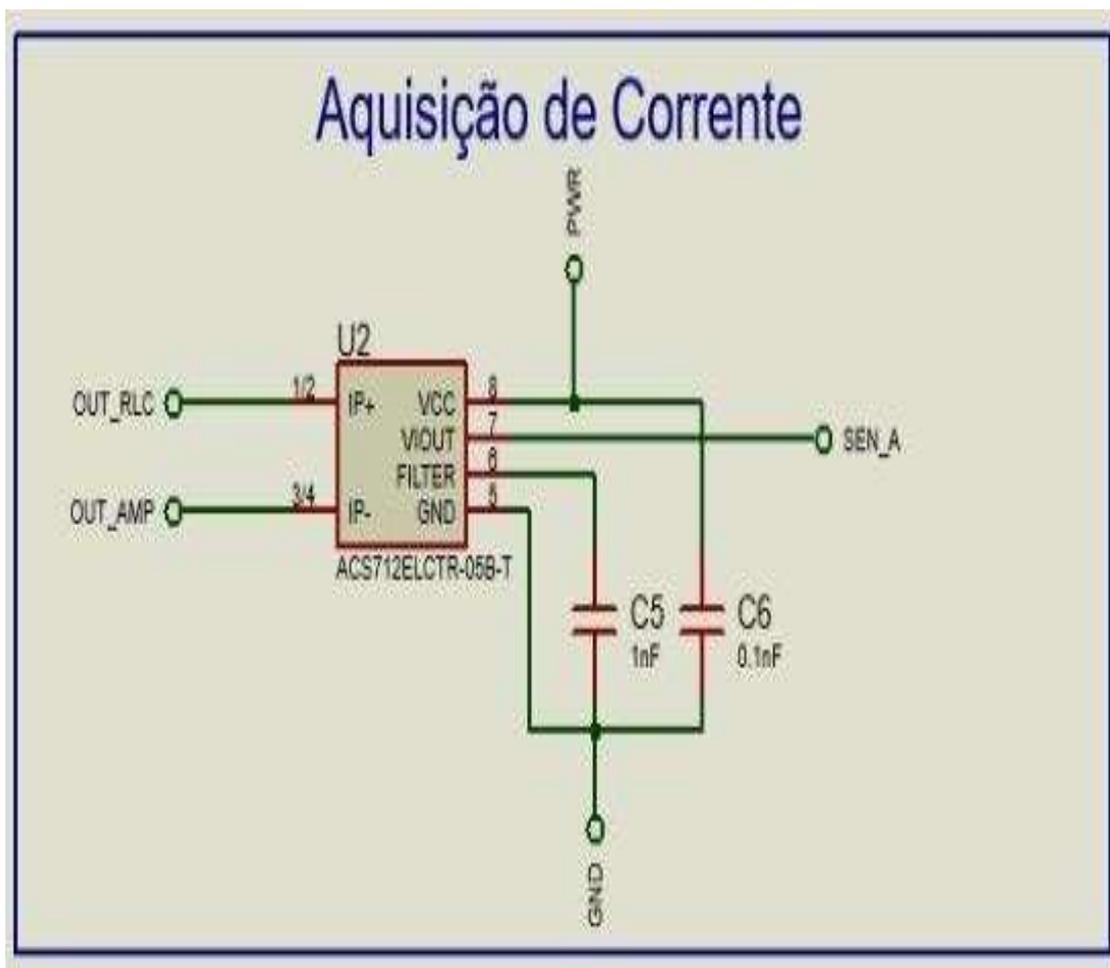
Para o projeto simulado deste dispositivo, a fim de obter valores mais precisos e devido à proposta tratar de um projeto de menor custo, evitando utilizar sensores de custo elevado, foi utilizado o sensor de corrente ACS712ELCTR-05B-T e o transformador de potencial TRAN-2P2S. Estes se comunicam diretamente com o microcontrolador para realizar os cálculos das grandezas mencionadas e, desta forma, realizar a transmissão dos dados necessários.

3.3.1 Medição de corrente elétrica

A primeira etapa do módulo de medição refere-se à medição de valores de corrente elétrica nas tomadas analisadas. Para obtenção dos valores de corrente elétrica neste módulo foi utilizado o sensor de corrente ACS712ELCTR-05B-T da marca Allegro conectado em série aos terminais do medidor inteligente.

Este sensor suporta um limite de 5A no seu terminal de entrada, o que o torna adequado aos níveis de corrente verificados no funcionamento de tomadas convencionais. Este dispositivo foi conectado conforme instruções oferecidas no *datasheet*, adicionando dois capacitores de 1nF e 0,1nF de acordo com as entradas especificadas. O circuito de medição de valores de corrente elétrica pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Circuito de medição de corrente



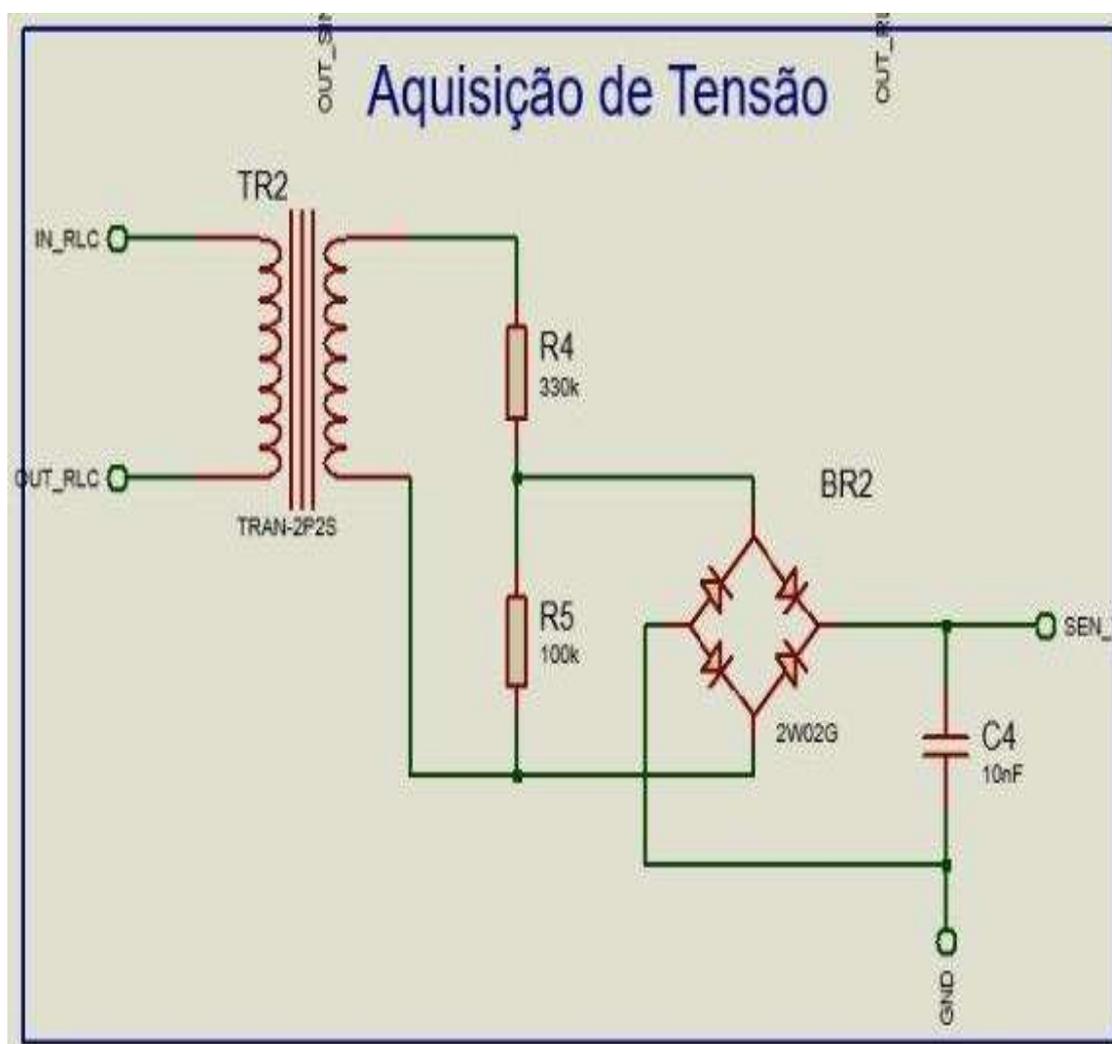
Fonte: Autoria Própria

3.3.2 Medição de tensão potencial

Para obtenção dos valores de tensão potencial, foi utilizado um transformador de potencial a ser conectado em paralelo aos condutores terminais do medidor inteligente. Para isto, foi utilizado o transformador de potencial TRAN-2P2S, que suporta até 230V em seu terminal primário, e possui saída máxima de tensão no seu terminal secundário de 13,5V, o que o torna adequado ao uso em tomadas com tensão de 220V.

Este transformador possui como função realizar a redução da tensão da rede de 220V para 13,5V em seu terminal de saída. Para que esta tensão de saída se torne adequada aos circuitos de medição, foi utilizado um divisor de tensão com dois resistores de 330k Ω e 100k Ω conectado entre os terminais do transformador com o objetivo de reduzir a tensão de saída para aproximadamente 0,35V. Além disso, como a tensão presente no terminal de saída deste transformador ainda tem característica alternada, foi utilizado um semi-retificador através de uma ponte de diodos para tornar a onda pulsada, além de um capacitor de 1nF conectado antes do terminal de saída. O esquema de ligação do circuito medidor de potencial pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Circuito de medição de potencial



Fonte: Autoria Própria

Após a realização da medição de valores de tensão e corrente das cargas utilizadas como parâmetro de teste, que foram obtidos através dos circuitos especificados no módulo de

aquisição de dados, estes foram então enviados ao módulo de processamento para que estes valores pudessem ser convertidos em valores de potência ativa e consumo de acordo com os testes realizados.

3.4 MÓDULO DE PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após a realização das medições de corrente elétrica e tensão potencial com uso dos circuitos de medição de corrente e potencial, conforme explicados nas seções anteriores, os dados obtidos ainda são considerados apenas valores de tensão e corrente que não tem ligação direta entre si. Para que estes possam ser interpretados pelo usuário final e usados efetivamente para conhecimento acerca de seu consumo residencial efetivo e permitindo a este a possibilidade de readequação dos hábitos de consumo, deve ser realizado o processamento destes dados com a finalidade de calcular os valores de potência ativa e consumo de energia elétrica, que são as informações pertinentes para realização do faturamento de energia pela concessionária.

Desta forma, foi desenvolvido o módulo de processamento de dados, que irá realizar os cálculos necessários de potência e consumo a partir dos resultados obtidos com o módulo de aquisição de dados para apresentação ao usuário final. Os detalhes acerca do microcontrolador utilizado para processamento dos dados será apresentado de forma mais detalhada nesta seção.

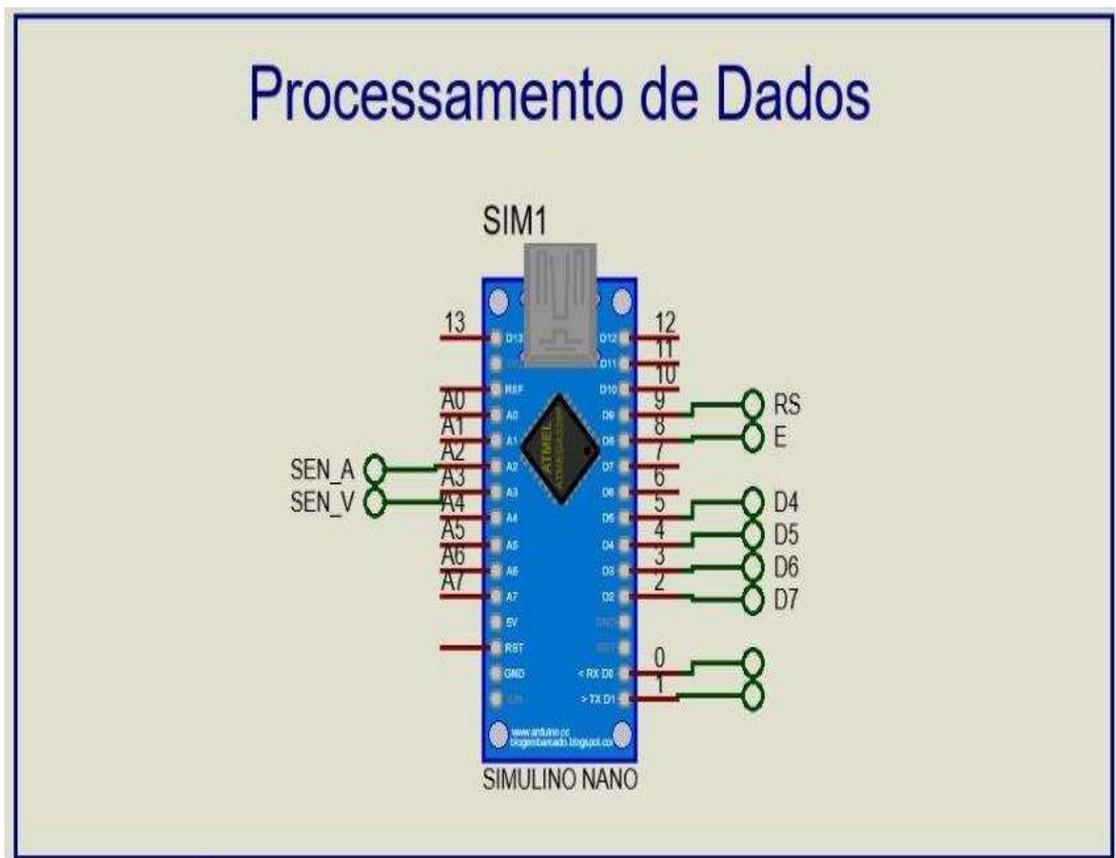
3.4.1 Arduino Nano

O microcontrolador ATMEGA328 foi o dispositivo escolhido como o responsável por efetivar a comunicação com os circuitos de medição desenvolvidos e posteriormente realizar o processamento dos dados. Em projetos desenvolvidos de forma física a partir do projeto simulado, este dispositivo é o responsável também pela realização da transferência de dados para o módulo de comunicação com o usuário, bem como a comunicação com dispositivos acionadores, com a finalidade de realizar o acionamento e desligamento do dispositivo conectado a este medidor de forma remota com uso de dispositivos móveis, como *smartphones* e computadores.

Para este projeto, foi utilizado o Arduino Nano, que dispõe do microcontrolador ATMEGA328 acoplado em sua estrutura, proporcionando uma comunicação mais ágil e simplificada com o usuário, bem como menor ocupação de espaço.

O uso deste dispositivo proporcionou a realização de operações com os valores obtidos na leitura de tensão e corrente do módulo de aquisição de dados, além do uso de valores de parâmetros pré-definidos, possibilitando a obtenção de valores de potência ativa e consumo de cada uma das cargas utilizadas para teste e realizando a inscrição destes valores para transmissão ao usuário final. O esquema de ligação do módulo de processamento de dados pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Simulação do módulo de processamento de dados



Fonte: Autoria própria

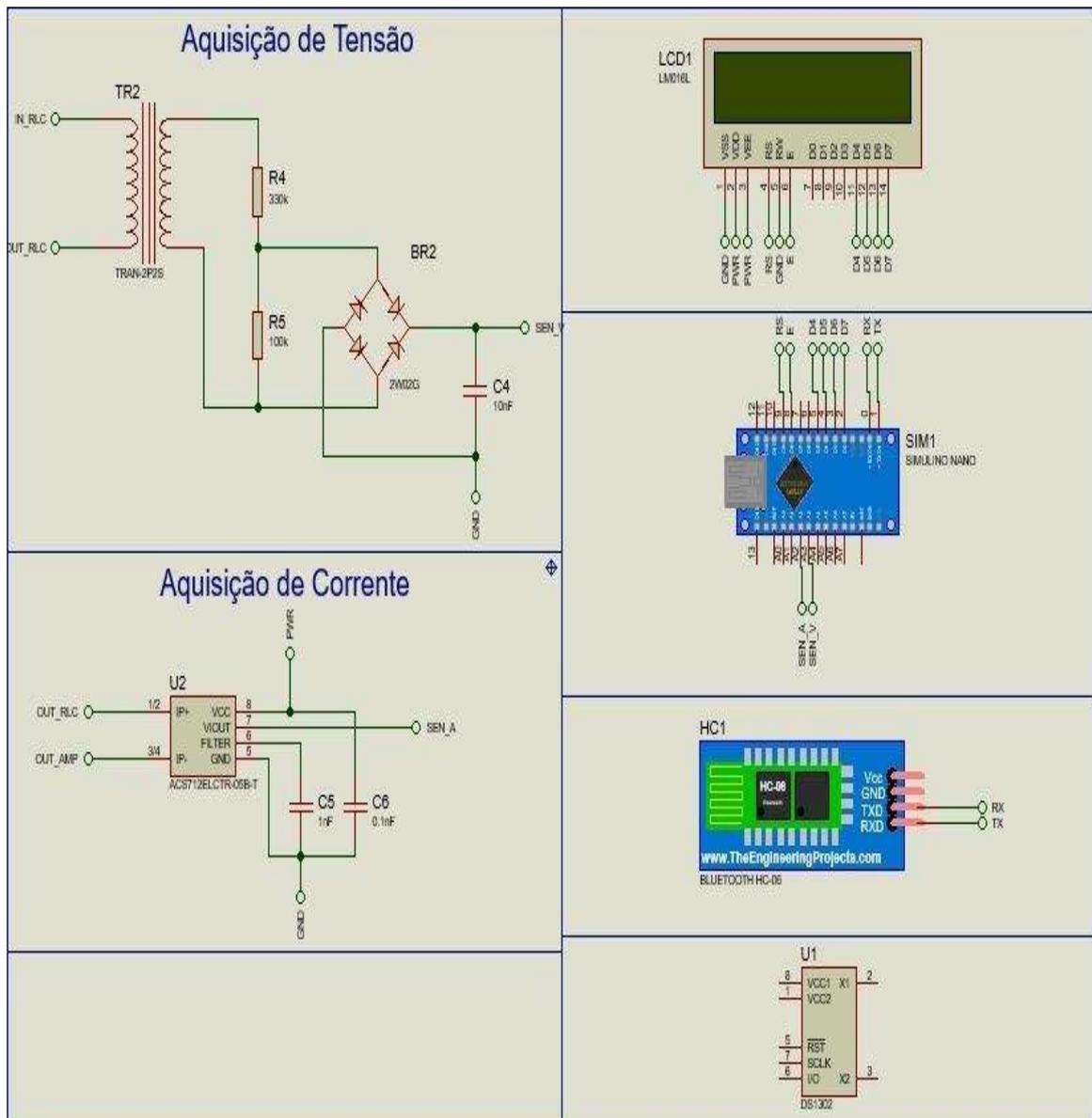
3.5 MÓDULO DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Após o processamento dos dados com uso do Arduino Nano e a aquisição dos valores de potência ativa e consumo através dos cálculos realizados com os valores de corrente e potencial obtidos através dos sensores, é necessário realizar o envio destes dados para um dispositivo móvel para que estas informações se tornem acessíveis ao usuário do equipamento projetado. Além disso, os dados também devem estar disponíveis juntamente ao dispositivo para verificação no momento da medição.

Para isto, foi realizada a programação de um módulo HC05 juntamente ao Arduino Nano para que este pudesse enviar os dados de potência ativa e consumo da carga por meio do bluetooth para um dispositivo móvel.

Após realização dos testes separados de cada um dos módulos apresentados, e realização da conexão entre estes módulos foi apresentado o desenvolvimento do dispositivo final a ser simulado, conforme pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 - Simulação completa do dispositivo



Fonte: Autoria Própria

3.6 PARÂMETROS DE TESTE

Para estabelecer uma metodologia de testes padrão e conseguir comparar os resultados obtidos neste trabalho da forma correta com os resultados apresentados nos testes realizados por DIÓGENES (2018) foram simuladas bancadas de carga baseando-se nos parâmetros utilizados por ele, com uso de componentes resistivos, indutivos e capacitivos, permitindo verificar a variação dos valores de acordo com as cargas aplicadas e os tipos de potência. Os parâmetros de testes realizados serão explanados no decorrer desta seção.

Para realizar a construção das bancadas de carga simuladas, foi necessário inicialmente consultar os valores de potência, corrente e fator de potência para cada uma das cargas testadas no trabalho de DIÓGENES (2018) e, a partir destes, definir os componentes resistivos, indutivos e capacitivos necessários para montagem da bancada de carga simulada e realização de cada um dos testes.

Os testes foram realizados para três grupos de cargas, sendo o primeiro deles puramente resistivo, contendo três amostras, o segundo grupo com cargas indutivas, contendo nove amostras, e o terceiro com cargas capacitivas, contendo oito amostras, totalizando vinte testes. As informações acerca das cargas simuladas de acordo com o número do seu teste, tipo de carga, seus valores de potência ativa, corrente e fator de potência podem ser observados nas Tabelas 1.

Tabela 1- Parâmetros para as cargas resistivas, indutivas e capacitivas

Nº do teste	Potência (W)	Corrente (A)	Fator de potência
1	350	1,5909	1
2	700	3,1818	1
3	1050	4,7727	1
4	322,71	1,7257	0,85
5	171,07	1,1963	0,65
6	100,78	1,0180	0,45
7	645,73	3,4515	0,85
8	342,13	2,3925	0,65
9	201,56	2,0260	0,45
10	968,14	5,1772	0,85
11	513,20	3,5889	0,65
12	302,34	3,0539	0,45
13	1355,40	7,2481	0,85
14	942,50	5,7725	0,75
15	718,50	5,0243	0,65
16	553,20	4,5718	0,55
17	423,28	4,2755	0,45
18	1346,97	10,0490	0,65

19	1106,50	9,1435	0,55
20	846,56	8,5511	0,45

Fonte: Autoria Própria

Para realização dos testes de consumo do dispositivo simulado, foram realizados testes com dez cargas selecionadas entre as vinte apresentadas na Tabela 1 e definidos períodos de funcionamento para cada uma destas cargas, considerando como padrão 12 h ou 24 h de funcionamento. As cargas foram selecionadas de acordo com valores de potência, para que houvesse diferenciação entre elas e foram organizadas de acordo com a potência ativa de forma crescente entre as cargas escolhidas. Para este parâmetro e as cargas selecionadas, seus números de teste ordenados, seus parâmetros de potência e consumo estimado e o tempo de funcionamento esperado para cada carga deste teste podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de testes de consumo

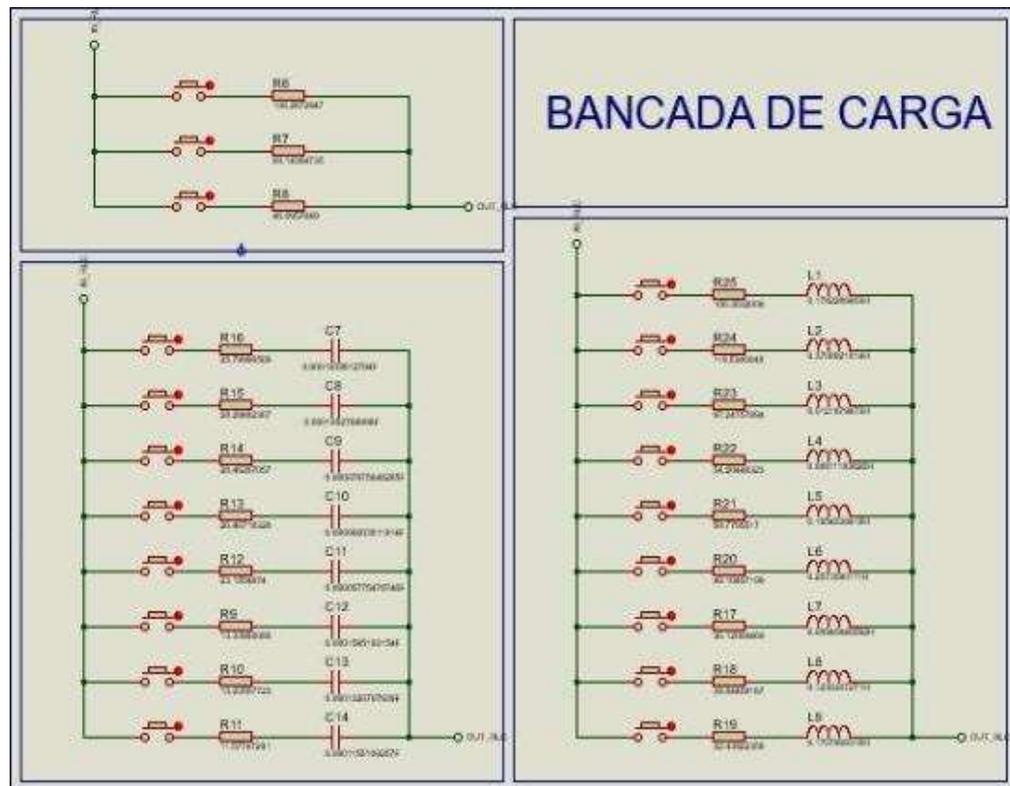
Nº de teste	Potência (W)	Tempo de utilização (h)	Consumo estimado (kWh)	Nº da carga
1	100,78	12	1,2094	14
2	201,56	12	2,4187	17
3	350,00	12	4,2000	1
4	423,28	12	5,0794	8
5	513,20	12	6,1584	19
6	645,73	24	15,4975	15
7	718,50	24	17,2440	6
8	968,14	24	23,2354	18
9	1106,50	24	26,5560	10
10	1355,40	24	32,5296	9

Fonte: Autoria Própria

Vale salientar que os valores de corrente observados na Tabela 1 são calculados de acordo com o valor base de tensão de 220 V para todas as cargas e os respectivos valores de potência observados em cada carga unitária. Já os valores de consumo estimados observados na Tabela 2 são calculados através do valor de potência e o tempo previsto de utilização de cada uma das cargas descritas.

Para simular o funcionamento das bancadas de carga, através dos parâmetros de cada teste registrado foram definidos os componentes de circuito a serem utilizados, sendo eles resistores, indutores e capacitores. Após definição dos componentes, estes foram então adicionados ao software simulador e foi utilizado um sistema de chaveamento para acionamento e troca entre as cargas a serem testadas. A Figura 17 mostra a simulação da bancada de cargas utilizada nos testes.

Figura 17 - Simulação da bancada de cargas



Fonte: Autoria Própria

Após realização de definição das cargas a serem utilizadas na bancada de testes do equipamento projetado e como se daria o chaveamento de cada uma das cargas selecionadas para execução dos testes de forma consecutiva, foi dado início ao processo de simulação do dispositivo, para obtenção dos resultados simulados de tensão e corrente e, conseqüentemente, realização dos cálculos necessários para obter valores de potência e consumo dos equipamentos. Os dados obtidos neste procedimento foram normalizados, analisados e os resultados encontram-se no capítulo seguinte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordados os resultados encontrados após a realização dos testes simulados com o dispositivo projetado neste trabalho de acordo com os parâmetros estabelecidos no capítulo anterior. A princípio serão mostrados os valores de grandezas elétricas obtidos nos testes e, posteriormente, serão comparados com os valores obtidos no projeto desenvolvido por DIÓGENES (2018) e com os resultados dos testes realizados por ele com o analisador de energia comercial AE-100.

Também foram utilizados para fins de comparação os valores estimados através de cálculo apresentados nas tabelas do capítulo 3 para os parâmetros calculados, com a finalidade de averiguar a adequação do dispositivo desenvolvido aos valores de cálculo observados. Ao final deste capítulo, serão explicados os resultados obtidos e as considerações finais acerca do dispositivo desenvolvido neste trabalho de acordo com os parâmetros de funcionamento.

As comparações dos valores obtidos nos testes realizados com uso deste dispositivo simulado foram transformadas em gráficos para melhor visualização dos valores comparativos e também foram realizados cálculos percentuais do erro médio apresentado nos testes com o dispositivo desenvolvido neste trabalho e os citados anteriormente, com a finalidade de definir padrões de erro, bem como a confiabilidade do dispositivo.

Devido ao que foi explicado no capítulo 3, seção 3.1, o desenvolvimento físico do dispositivo foi interrompido por motivos maiores, não viabilizando sua concretização e, conseqüentemente, não foram obtidos quaisquer resultados de testes físicos do dispositivo projetado neste trabalho.

4.1 RESULTADOS DOS TESTES PARAMETRIZADOS

Como abordado no capítulo anterior, foram realizados testes de medição de corrente e tensão de forma simulada para cada uma das cargas especificadas e de acordo com os parâmetros oferecidos na Tabela 1. Os resultados obtidos nestes testes foram então utilizados pelo módulo de processamento para realizar o cálculo de potência ativa de cada uma das vinte cargas especificadas e também foi realizado o cálculo do consumo, através do resultado do cálculo de potência ativa e o tempo estimado de uso para cada uma das dez cargas especificadas para o teste de consumo.

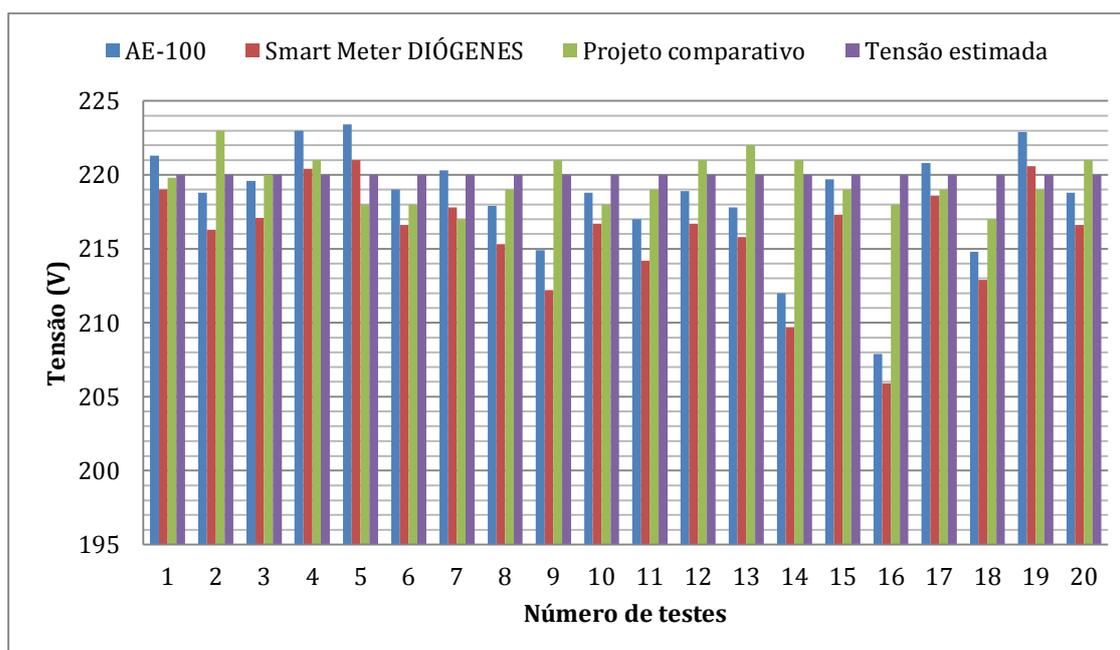
Após realização dos testes, estes resultados foram comparados com os valores obtidos nos testes realizados por DIÓGENES com o dispositivo desenvolvido pelo mesmo e também os testes com o analisador de energia AE-100. Também foram usadas como base comparativa os valores estimados de tensão, corrente, potência e consumo para cada uma das cargas definidas, de forma a verificar a proximidade dos valores obtidos em teste com uso do dispositivo desenvolvido e os resultados calculados esperados.

Os resultados dos testes de leitura de cada parâmetro e os respectivos erros percentuais para cada carga analisada podem ser observados nas seções que seguem através de gráficos específicos para cada uma das grandezas consideradas, bem como análises dos maiores e menores erros observados na análise de cada parâmetro.

4.1.1 Resultados dos testes de leitura de tensão

Como explanado no capítulo anterior, foram realizados vinte testes de medição de tensão com a bancada de carga simulada, sendo três cargas puramente resistivas, nove indutivas e oito capacitivas. Após leitura dos dados, estes foram comparados com os valores obtidos pelos testes do *smart plug* desenvolvido por DIÓGENES (2018) e o analisador de energia AE-100. Os valores de medição de tensão comparados podem ser observados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Valores comparativos de medição de tensão

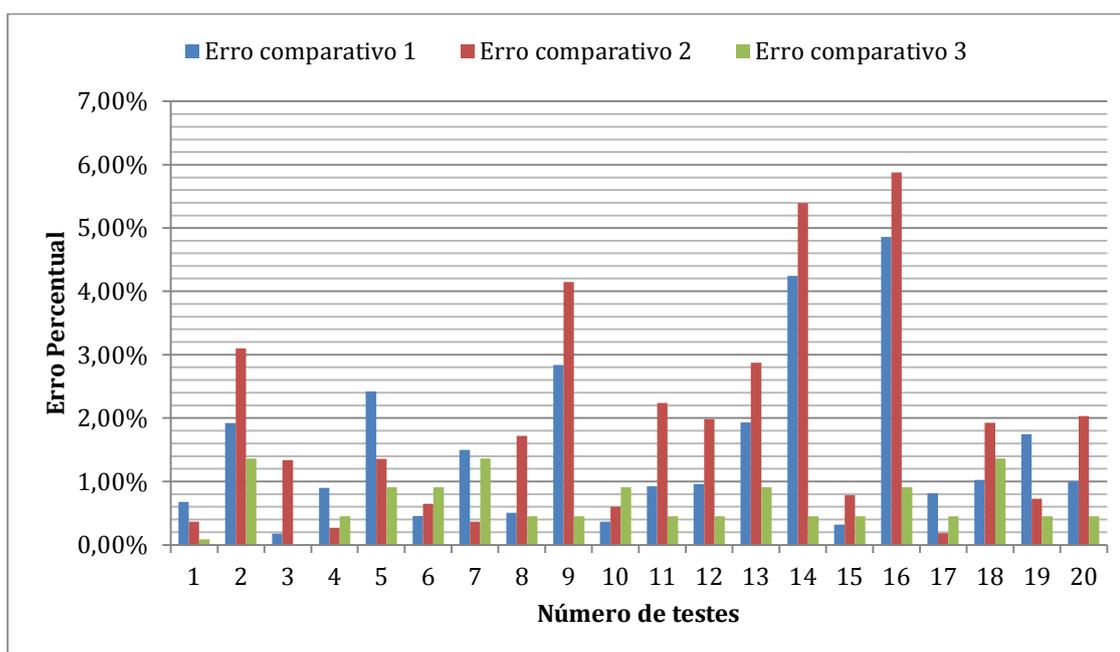


Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 1 o eixo vertical está demonstrando a faixa de tensão obtida nas medições simuladas e nos testes realizados por DIÓGENES. É importante destacar que, devido ao fato de que os testes do dispositivo desenvolvido neste trabalho foram apenas simulados, a tensão não apresentou grandes variações em sua leitura, apresentando assim alguns valores que podem destoar dos obtidos nos testes reais e se aproximar bastante do valor estimado esperado que é o padrão da rede.

Também foram calculados os erros percentuais obtidos nas leituras, comparando os valores encontrados no dispositivo desenvolvido a cada um dos outros dois dispositivos e aos valores esperados devido ao valor médio de tensão da rede. Os valores de erro calculados, sendo o “Erro comparativo 1” em relação ao AE-100, o “Erro comparativo 2” em relação ao dispositivo desenvolvido por DIÓGENES (2018) e o “Erro comparativo 3” em relação ao valor médio de tensão da rede podem ser observados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Valores de erro percentual da medição de tensão



Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 2 o eixo vertical representa o erro percentual entre as medições realizadas no teste simulado em comparação com o dispositivo comercial AE-100, o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES e os valores estimados de tensão pela tensão média padrão da rede.

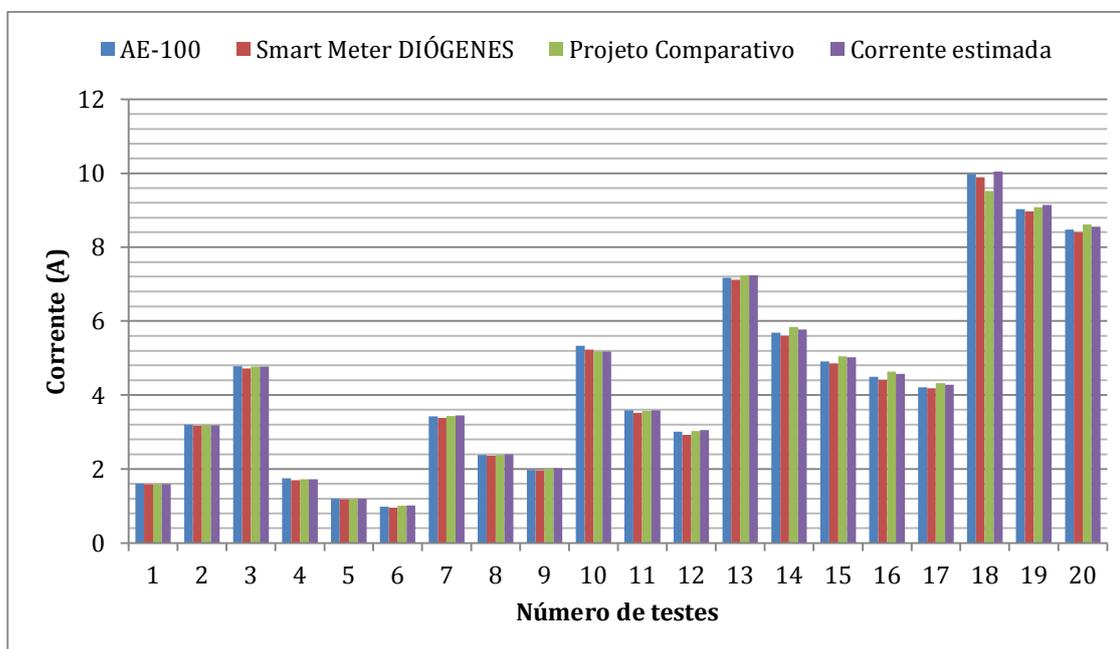
É observado que o menor erro percentual observado entre o dispositivo simulado e o AE-100 foi de 0,18% na carga número 3, já o maior foi observado na carga número 16, com erro de 4,86%, e o erro médio foi de 1,48%. Já em comparação com o dispositivo

desenvolvido por DIÓGENES, foi observado que o menor erro percentual observado foi de 0,18% na carga número 17, enquanto o maior foi observado na carga número 16, com erro de 5,88% e o erro médio foi de 1,90%. Ao levar em conta a comparação com o valor médio de tensão da rede, o menor erro percentual é observado na carga número 3, que não apresentou erro, enquanto o maior erro percentual foi observado nas cargas de número 2, 7 e 18, de 1,36% e o erro médio observado para esta comparação foi de 0,66%.

4.1.2 Resultados dos testes de leitura de corrente

Como também foi explicado no capítulo anterior, foram realizados vinte testes de medição de corrente com a bancada de carga simulada, sendo três cargas puramente resistivas, nove indutivas e oito capacitivas. Após leitura dos dados, estes foram comparados com os valores obtidos pelos testes do *smart plug* desenvolvido por DIÓGENES (2018), o analisador de energia AE-100 e os valores de corrente estimados em cálculo. Os valores de medição de corrente comparados podem ser observados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Valores comparativos de medição de corrente



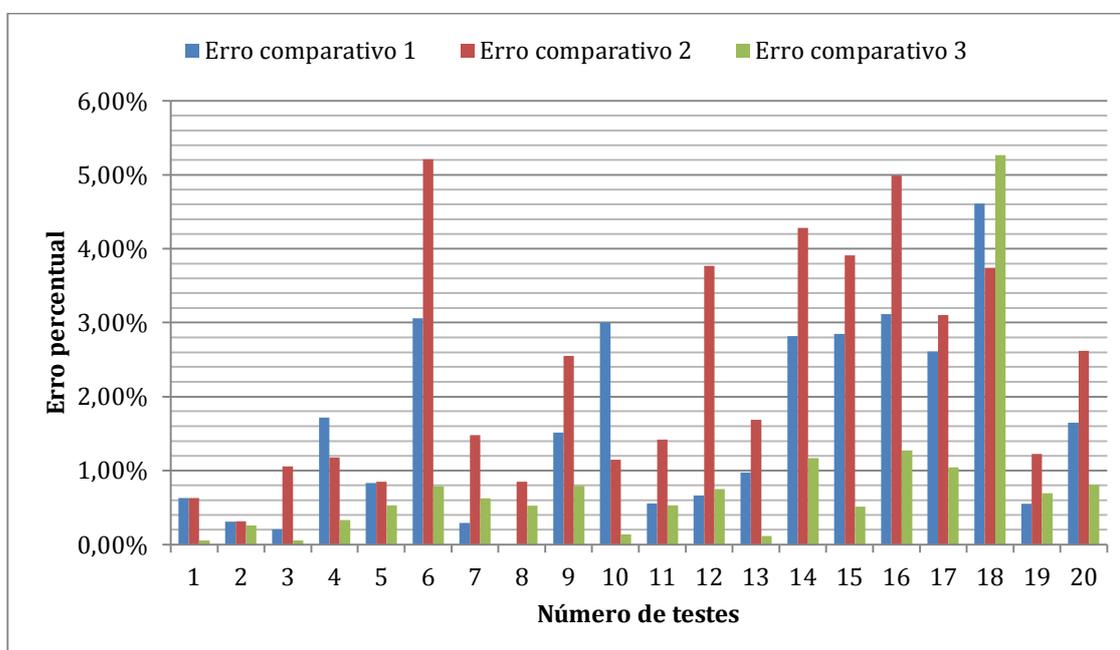
Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 3 o eixo vertical está demonstrando a faixa de corrente obtida nas medições simuladas e nos testes realizados por DIÓGENES e os valores de corrente estimados através de cálculo. No caso dos testes de medição de corrente, devido ao fato de os testes realizados para o dispositivo desenvolvido neste projeto serem apenas de forma

simulada, os valores obtidos de corrente nos testes tiveram valores mais aproximados dos calculados nos parâmetros de definição das cargas observados no capítulo 3.

Também foram calculados os erros percentuais obtidos nas leituras, comparando os valores encontrados no dispositivo desenvolvido a cada um dos outros dois dispositivos e com os valores estimados através de cálculo. Os valores de erro calculados, sendo o “Erro comparativo 1” em relação ao AE-100 e o “Erro comparativo 2” em relação ao dispositivo desenvolvido por DIÓGENES (2018) e o “Erro comparativo 3” em relação aos valores calculados podem ser observados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Valores de erro percentual da medição de corrente



Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 4 o eixo vertical representa o erro percentual calculado entre as medições realizadas no teste simulado do dispositivo desenvolvido neste trabalho em comparação com o dispositivo comercial AE-100, o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES e os valores estimados através de cálculo observados nas tabelas de definição de parâmetros para as cargas selecionadas.

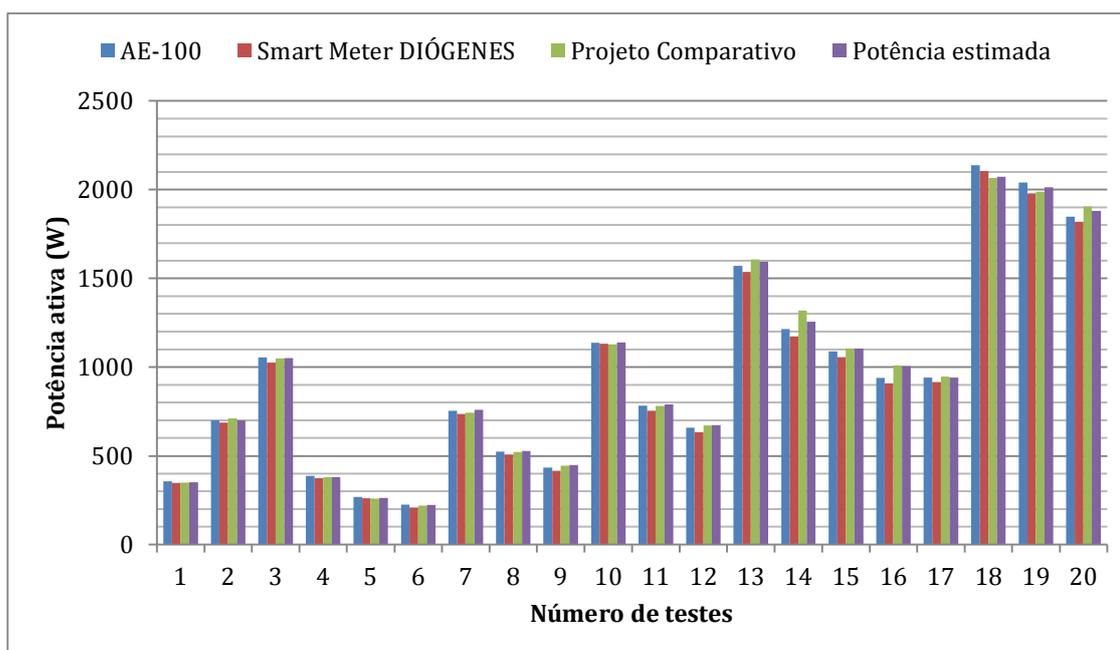
É observado que o menor erro percentual observado entre o dispositivo simulado e o AE-100 foi de 0,21% na carga número 3, enquanto o maior erro percentual foi observado na carga número 16, com erro de 4,61% e o erro médio calculado foi de 1,60%. Já em comparação com o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES, foi observado que o menor erro percentual observado foi de 0,31% na carga número 2, enquanto o maior erro percentual foi

observado na carga número 6, com erro de 5,21% e o erro médio calculado foi de 2,30%. Ao levar em conta a comparação com o valor de corrente calculado, o menor erro percentual é observado nas cargas números 1 e 3, que apresentou erro de apenas 0,06%, enquanto o maior erro percentual foi observado nas cargas de número 18, de 5,26% e o erro médio observado para esta comparação foi de 0,81%.

4.1.3 Resultados dos testes de leitura de potência

Para esta etapa de leitura de dados, por se tratar de um dispositivo simplificado para uso apenas pelo grupo B residencial, não necessitando da leitura de potência reativa, o cálculo das potências ativas foram realizadas com uso dos valores obtidos de tensão e corrente. Para isso, foram realizados vinte testes de medição de corrente e tensão com a bancada de carga simulada, sendo três cargas puramente resistivas, nove indutivas e oito capacitivas e os resultados foram utilizados para calcular a potência ativa com uso do módulo de processamento. Após leitura dos dados, estes foram comparados com os valores obtidos pelos testes do *smart plug* desenvolvido por DIÓGENES (2018) e o analisador de energia AE-100, bem como com os valores de potência pré-definidos nas tabelas de parâmetros das cargas analisadas. Os valores de cálculo de potência ativa comparados podem ser observados no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Valores comparativos de cálculo de potência

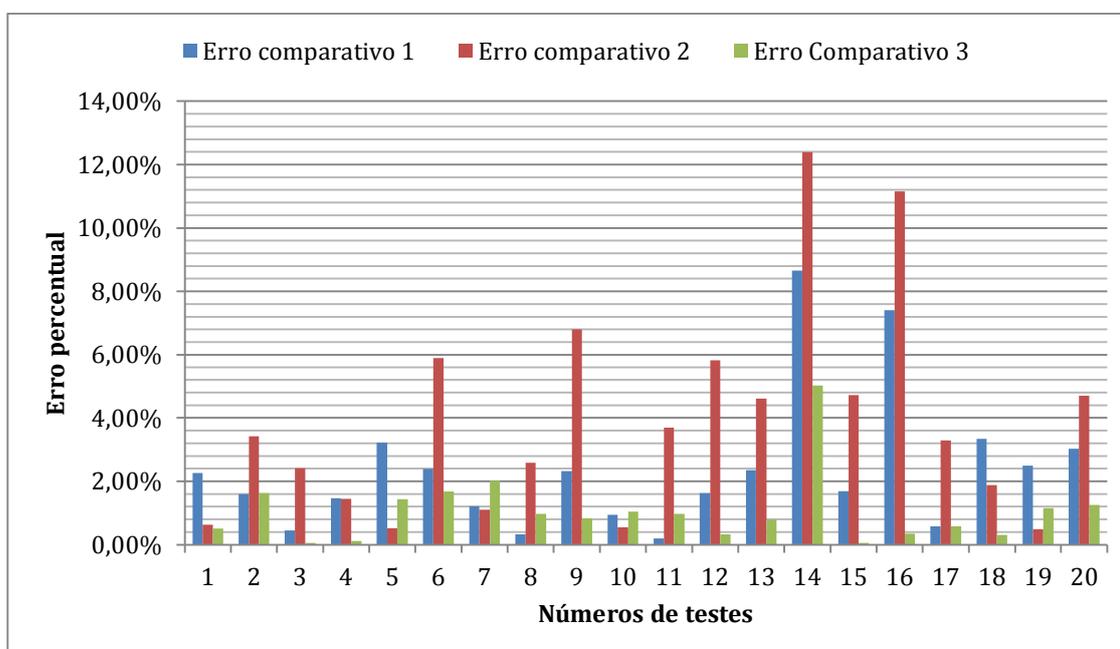


Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 5 o eixo vertical está demonstrando a faixa de potência ativa obtida nas medições simuladas, através do cálculo com uso do módulo de processamento, e nos testes realizados por DIÓGENES. No caso dos testes de cálculo de potência, devido ao fato de os testes realizados para o dispositivo desenvolvido neste projeto serem apenas de forma simulada, e conforme explanado anteriormente acerca dos valores obtidos de corrente que tiveram valores mais aproximados dos calculados nos parâmetros de definição das cargas e os valores medidos de tensão que apresentaram pouca variação na simulação, foi necessário realizar a comparação dos valores de cálculo de potência obtidos e os valores dos testes realizados por DIÓGENES com os valores de potência aparente calculada para cada uma das cargas selecionadas a partir dos parâmetros observados nas tabelas de carga definidas no capítulo 3.

Também foram calculados os erros percentuais obtidos nas leituras, comparando os valores encontrados no dispositivo desenvolvido a cada um dos outros dois dispositivos. Os valores de erro calculados, sendo o “Erro comparativo 1” em relação ao AE-100, o “Erro comparativo 2” em relação ao dispositivo desenvolvido por DIÓGENES (2018) e o “Erro percentual 3” em relação aos valores de potência aparente calculados através dos parâmetros de carga podem ser observados no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Valores de erro percentual do cálculo de potência ativa



Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 6 o eixo vertical representa o erro percentual entre as medições calculadas no teste simulado em comparação com o dispositivo comercial AE-100, o dispositivo

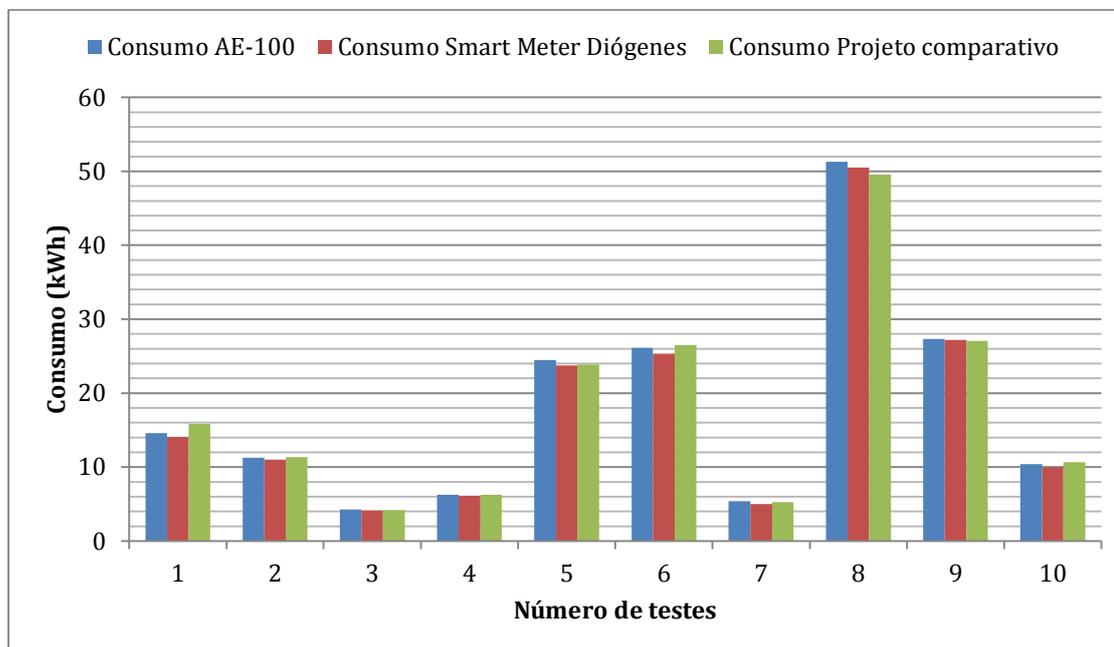
desenvolvido por DIÓGENES e os valores estimados de potência a partir das tabelas de parâmetros de carga.

Para este parâmetro, é observado que o menor erro percentual observado entre o dispositivo simulado e o AE-100 foi de 0,20% na carga número 11, enquanto o maior erro percentual foi observado na carga número 14, com erro de 8,65% e o erro médio calculado foi de 2,38%. Já em comparação com o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES, foi observado que o menor erro percentual observado foi de 0,49% na carga número 19, enquanto o maior erro percentual foi observado na carga número 14, com erro de 12,38% e o erro médio calculado foi de 3,91%. Por fim, ao levar em conta a comparação com o valor de corrente calculado, o menor erro percentual é observado na carga número 15 que apresentou um erro percentual de 0,05%, enquanto o maior erro percentual foi observado na carga de número 14, de 5,03% e o erro médio observado para esta comparação foi de 1,06%.

4.1.4 Resultados dos testes de leitura de consumo

Para a leitura de consumo, por se tratar de um dispositivo simplificado, estas foram realizadas com uso dos valores obtidos de potência e o tempo estimado de uso de cada uma das cargas. Para isso, foram realizados dez testes de medição de corrente e tensão com a bancada de carga simulada e os resultados foram utilizados para calcular a potência ativa com uso do módulo de processamento. Após este cálculo, o valor de consumo de cada carga testada foi obtido utilizando o valor de potência e o tempo estimado de uso. Após leitura dos dados, estes foram comparados com os valores também calculados com os valores de potência obtidos pelos testes do *smart plug* desenvolvido por DIÓGENES (2018) e o analisador de energia AE-100, para que não houvesse grandes diferenças a nível de consumo entre os dispositivos comparados. Para este parâmetro, os valores de consumo estimados nas tabelas de parâmetros de teste não foram utilizados como parâmetro de comparação, visto que os cálculos foram realizados de forma direta com valores de potência ativa e tempo de uso dos equipamentos selecionados. Os valores de cálculo de consumo comparados podem ser observados no Gráfico 7.

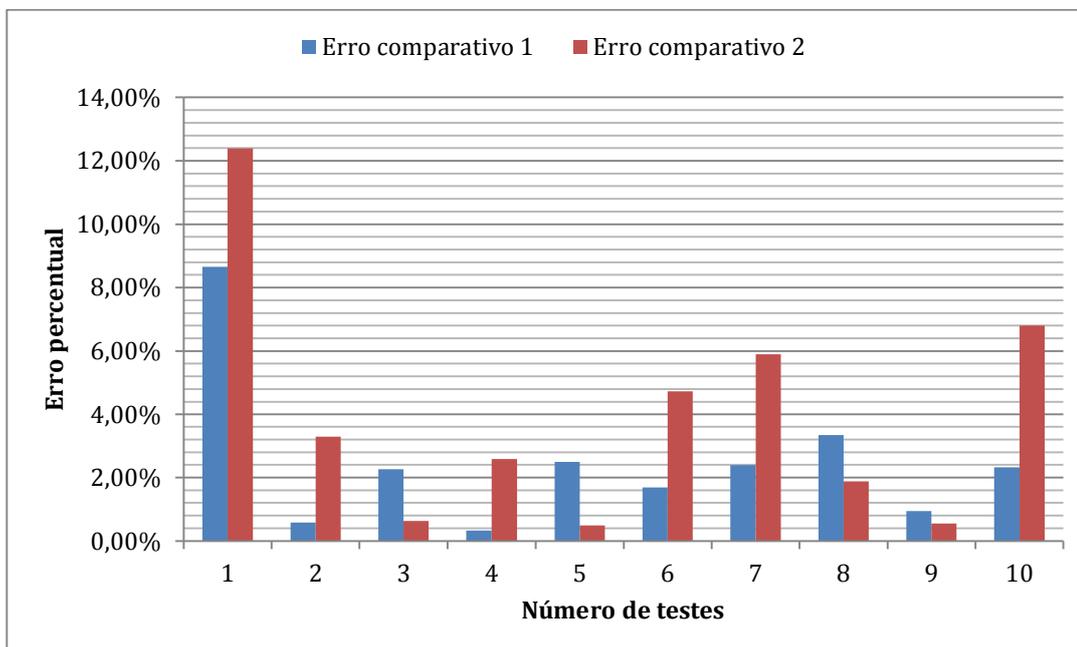
Gráfico 7 – Valores comparativos de cálculo de consumo



Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 7 o eixo vertical está demonstrando a faixa de consumo obtida nas medições simuladas, através do cálculo com uso do módulo de processamento, e nos testes realizados por DIÓGENES. No caso dos testes de cálculo de consumo, devido ao fato de os testes realizados para o dispositivo desenvolvido neste projeto serem apenas de forma simulada, e conforme explanado anteriormente acerca dos valores obtidos de corrente que tiveram valores mais aproximados dos calculados nos parâmetros de definição das cargas e os valores medidos de tensão que apresentaram pouca variação na simulação, os valores calculados de consumo podem sofrer variações de acordo com o esperado nos testes realizados por DIÓGENES.

Também foram calculados os erros percentuais obtidos nas leituras, comparando os valores encontrados no dispositivo desenvolvido a cada um dos outros dois dispositivos. Os valores de erro calculados, sendo o “Erro comparativo 1” em relação ao AE-100 e o “Erro comparativo 2” em relação ao dispositivo desenvolvido por DIÓGENES (2018) podem ser observados no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Valores de erro percentual do cálculo de consumo

Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 8 o eixo vertical representa o erro percentual entre as medições calculadas no teste simulado em comparação com o dispositivo comercial AE-100 e o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES. É observado que o menor erro percentual observado entre o dispositivo simulado e o AE-100 foi de 0,33% na carga número 4, enquanto o maior erro percentual foi observado na carga número 1, com erro de 8,65% e o erro médio calculado foi de 1,25%. Já em comparação com o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES, foi observado que o menor erro percentual observado foi de 0,49% na carga número 5, enquanto o maior erro percentual foi observado na carga número 1, com erro de 12,39% e o erro médio calculado foi de 1,96%.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES

Após realização de todos os testes e análise individual das grandezas consideradas, foi realizada a análise dos dados de forma generalizada para classificação de qualidade do dispositivo desenvolvido. Para isso, foi observado que o erro percentual médio de todas as grandezas analisadas ficou abaixo de 4% para o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES, abaixo de 3% para o analisador de energia comercial AE-100 e abaixo de 1,5% para a comparação com os valores estimados através de cálculos diretos utilizando os parâmetros de

cargas definidos no capítulo 3. O erro percentual médio de todas as grandezas obtidas pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Erro estimado para as grandezas estudadas

Parâmetro	Erro médio AE-100	Erro médio Smart Meter	Erro médio estimativa teórica
Tensão	1,48%	1,90%	0,66%
Corrente	1,60%	2,30%	0,81%
Potência	2,38%	3,91%	1,06%
Consumo	1,25%	1,96%	-

Fonte: Autoria Própria

Considerando os valores dos erros verificados no decorrer deste capítulo, observa-se que este dispositivo possui um erro médio geral de tensão de 1,35%, um erro médio geral de 1,57% para a corrente e um erro médio geral de 2,45% para a potência. É observado também que em comparação aos valores estimados, o erro percentual observado é muito próximo de zero, indicando maior confiabilidade de leitura considerando as condições apresentadas e que a confiabilidade de simulação tende a ser maior que os valores realizados em testes práticos reais.

A comparação entre os dispositivos apresentados e os valores percentuais de erro em comparação com o dispositivo analisador de energia comercial AE-100, o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES e os valores estimados obtidos por cálculos diretos mostram que o dispositivo simulado possui precisão satisfatória para os parâmetros testados. A maior causa de perda de exatidão, principalmente com relação ao dispositivo desenvolvido neste trabalho e os testes realizados por DIÓGENES se devem ao fato de que na simulação os fatores de interferência são reduzidos e, conseqüentemente, não afetam o teste simulado como afetam os testes reais utilizando tomadas conectadas a rede. Apesar disso, os valores obtidos neste teste apresentaram bons níveis de precisão quando comparados com os valores estimados, o que demonstra bom funcionamento dos equipamentos utilizados quando não forem levadas em consideração as interferências provocadas pelas harmônicas e outras variações na rede.

5 CONCLUSÃO

Com a finalização do projeto de dispositivo de medição de energia com o uso de software de simulação, foi encontrado um resultado positivo tanto quando comparado com o dispositivo desenvolvido por DIÓGENES em seu trabalho, quanto com os testes realizados utilizando o analisador de energia comercial AE-100 e os valores das grandezas estimadas através de cálculos utilizando os parâmetros de carga apresentados. Os testes de monitoramento de cargas demonstraram uma precisão de 1,35% a 2,45%, mostrando valores relativamente próximos para os parâmetros considerados.

A comunicação do projeto utilizando o módulo de transmissão de dados ficou dificultada neste trabalho simulado, tendo em vista que o software de simulação não foi desenvolvido para realizar a comunicação sem fio. Este contratempo impediu o desenvolvimento de uma plataforma de transmissão de dados da forma correta, com a utilização de comunicação Wi-Fi. Como alternativa, o módulo bluetooth HC06 foi adicionado aos testes para realizar a comunicação no módulo de transmissão de dados e nos testes físicos realizados no início do desenvolvimento deste projeto apresentou resultados satisfatórios para o objetivo do trabalho. Apesar disso, a impossibilidade de continuar utilizando os espaços físicos e o acesso ao material de testes impossibilitou que estes testes físicos do trabalho fossem realizados.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, diversos obstáculos surgiram que forçaram a adoção de mudanças no desenvolvimento. Entre eles, a impossibilidade de utilização do software de simulação eletrônica para simulação de campos magnéticos, dificultando os testes com potência reativa. Este fator exigiu que fosse realizada uma mudança brusca no desenvolvimento do hardware, visto que o projeto se baseava no CI ADE7753ARZ, onde o mesmo não possuía modelo de simulação eletrônico.

As mudanças estruturais dos objetivos deste projeto ocorreram em diferentes etapas, ao longo do seu desenvolvimento e foram necessárias algumas mudanças de estratégia, seguidos de limitações em acesso ao laboratório, devido o momento crítico de pandemia. Após a identificação da impossibilidade de continuar os ensaios presencialmente, foi escolhida a simulação do analisador de energia e comparação dos valores obtidos através deste com os valores de teste obtidos por DIÓGENES.

De maneira geral, o projeto cumpriu o que foi proposto, sendo preciso e se mostrou eficiente nos seus resultados, desde a aquisição dos parâmetros elétricos sobre as cargas

selecionadas até as estimativas de consumo para adoção de medidas estratégicas de redução dos valores de tarifação de energia.

Para os trabalhos futuros, é interessante realizar o desenvolvimento do dispositivo projetado neste trabalho de maneira física e possibilitar a realização de novos testes para que os valores obtidos nesta situação sejam comparados com os valores obtidos neste trabalho e com os valores obtidos em trabalhos anteriores. Também pode ser verificada a utilização de um módulo de comunicação Wi-Fi para os testes físicos a fim de averiguar qual a melhor opção para a situação projetada.

REFERÊNCIAS

- AHMED, Maytham S. et al. Smart plug prototype for monitoring electrical appliances in Home Energy Management System. **2015 IEE Student Conference On Research And Development (scored)**, [s.l.], p.32-36, dez. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/scored.2015.7449348>.
- ANALOG DEVICES. **ADE7753: Single-Phase Multifunction Metering IC with di/dt Sensor Interface**. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7753.pdf>. Último acesso em 11/08/2018.
- ANEEL / IPEA, **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3º. ed. Brasília, DF: ANEEL, 2008. Atlas. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb. Acesso em: 29 jan. 2021.
- BRENKUS, Juraj et al. Power-efficient smart metering plug for intelligent households. **2015 25th International Conference Radioelektronika (radioelektronika)**, [s.l.], p.110-113, abr. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/radioelek.2015.7129031>.
- CESÁRIO JÚNIOR, José Maria. **Um Medidor de Energia Elétrica Integrado em Redes de Comunicações**. 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.
- COSTA, Gabriel Rachadel. **Medidor Eletrônico de Consumo de Energia Elétrica Baseado em Sistema Embarcado e Android**. 2014. 112 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, São José, 2014.
- CS5463 - Cirrus Logic**. [S. l.]: Cirrus Logic, 2005. Disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/119826/CIRRUS/CS5463.html>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- DIÓGENES, Daniel P. A. **Desenvolvimento de Smart Plug para Controle e Monitoramento de Aparelhos Elétricos Utilizando o Conceito de Internet das Coisas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró - RN, 2018.
- Empresa de Pesquisa energética: Matriz Energética e Elétrica**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 23 mar. 2021

FRANCISCO, Eduardo de Rezende. **Relação entre o consumo de energia elétrica, a renda e a caracterização econômica de famílias de baixa renda do município de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) - FGV - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2006.

LEE, Min Goo et al. Wireless Electricity Monitoring System for Smart House using Smart Plug. **Trans Tech Publications, USA**, 2011.

LEMOS, Ivan Pedrotti. **Medidor de Energia para Avaliação da Adesão à Tarifa Branca em Smart Grids**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

MONZANI, Rafael Cuerda. **Monitoramento Não Invasivo e Identificação do Consumo de Energia Individual de Cargas Residenciais**. 2016. 148 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Engenharia Elétrica, Departamento de Sistemas e Energia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

MORO, Jefferson Zortéa. **Medidor de Consumo de Energia Elétrica Descentralizado e com Interface Web**. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

NILSON, James W.; RIEDEL, Susan A. **Circuitos Elétricos**. 10. ed. rev. São Paulo: Pearson, 2015. 873 p. v. Unico. ISBN 978-85-430-0478-5

ONS. **MAPA DINÂMICO DO SIN**. [S. l.: s. n.], 2021. Atlas do sistema elétrico nacional. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 11 maio 2021.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2026. [S. l.]: Empresa de Pesquisa Energética, 2015. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-66/Cap2_Texto.pdf. Acesso em: 29 jan. 2021.

POTTER, D.. Smart plug and play sensors. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.28-30, mar. 2002. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/5289.988736>.

RIGODANZO, Jonas. **Instalação de Medidores Inteligentes no Brasil: uma Análise Econômica**. 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SANTOS, Bruno P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **Minicursos / XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**. Salvador: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2016. Cap. 1. p. 1-50.

Silva Niágara, Féres José, Lírio Viviane. **Análise da Estrutura da Demanda de Energia Elétrica Residencial segundo os Quantis de Consumo**. Radar. 2012. Acesso em: 12 mar 2021, Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/4124/1/Radar_n22_An%c3%a1lise.pdf>

ZHANG, Yu Ping et al. Design of remote control plug. **2015 IEE International Conference On Applied Superconductivity And Electromagnetic Devices (asemd)**, [s.l.], p.25-30, nov. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/asemd.2015.7453451>.