

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

VIVIANE SILVEIRA GONÇALVES MARTINS TENÓRIO



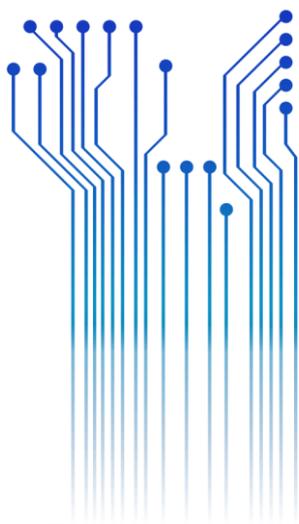
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

LABORATÓRIO DE METROLOGIA DE CAMPINA GRANDE



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2018

VIVIANE SILVEIRA GONÇALVES MARTINS TENÓRIO

LABORATÓRIO DE METROLOGIA DE CAMPINA GRANDE

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.

Campina Grande
2018

VIVIANE SILVEIRA GONÇALVES MARTINS TENÓRIO

LABORATÓRIO DE METROLOGIA DE CAMPINA GRANDE

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Jalberth Fernandes, D.Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à meu avô Zezé.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela inspiração e força necessários para chegar até o fim. Agradeço a minha família por todo o apoio, inúmeras caronas, almoços fora de hora, ideias e opiniões que enriqueceram ainda mais essa experiência. Agradeço ao meu avô José por ter me guiado e inspirado a continuar nos momentos de dificuldades.

Em especial à empatia dos meus pais, por terem me instigado a ser a minha melhor versão como engenheira; a minha irmã Beatriz, pela revisão do texto e paciência; a minha irmã Amanda, pelo apoio quando eu achei que não ia conseguir na reta final; ao meu esposo, Marcus, por sempre acreditar em mim e me apoiar durante todo o processo do estágio e principalmente pela extensa revisão desse texto.

Agradeço ao Prof. Edmar que inspirou e orientou este trabalho, sempre ensinando a como tornar-me uma engenheira melhor.

Ao Prof. Andrey pela oportunidade, confiança e ambiente de trabalho. A Eloi Rocha, por todo o incentivo, ensinamentos, paciência e exemplo de pensamento voltado ao mercado.

Agradeço a Tchaikowski, da Coordenação de Estágios, por toda energia positiva emanada em prol deste trabalho, por todas as orientações, conselhos e incentivos.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que lhe é agradável, o que é perfeito...”*

(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)

RESUMO

O objetivo deste estágio foi determinar a classificação dos medidores eletrônicos de energia elétrica desenvolvidos pelo Laboratório de Metrologia (LabMet - Departamento de Engenharia Elétrica - UFCG) e pelo LiteMe (Unidade Acadêmica de Sistemas e Computação - UFCG). Tal classificação é relativa à precisão segundo às normas nacionais vigentes aplicáveis a ambos. A partir da NBR 14519, e da resolução nº 602 do Inmetro ambos medidores foram submetidos aos ensaios previstos utilizando os aparelhos de alta precisão do LabMet. Em seguida, os dados obtidos foram avaliados percentualmente de modo a obter uma classificação dentro do previsto na norma. O medidor de energia elétrica do LabMet apresenta maior precisão, sendo classificado como 1% ou classe B. O medidor do LiteMe, apresenta classificação 2% ou classe A.

Palavras-chave: Normas, Medidores Eletrônicos, Energia Elétrica.

ABSTRACT

This report presents the internship activities in the Metrology Laboratory of Campina Grande (LabMet). It aimed to determine the classification of electronic electrical energy meters developed by the Metrology Laboratory of Campina Grande (LabMet-DEE-UFCG) and LiteMe (DSC-UFCG) in terms of accuracy according to the current national standards applicable to both. Based on NBR 14519 and Inmetro Resolution N°. 602 both meters were subjected to the predicted experiments using the high accuracy apparatus of the LabMet. Then, the data obtained were evaluated percentually in order to obtain a classification within the provisions of the standard. The LabMet energy meter presents higher accuracy, being rated 1% or class B. The LiteMe meter presents a lower accuracy, being classified as 2% or class A.

Keywords: Standards, Electronic Meters, Electrical Energy.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
1.1	Apresentação Da Empresa	15
1.2	Estrutura do Relatório	16
2	Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica Não-Tarifários.....	17
2.1	Definições Gerais.....	18
2.2	IEC 61557-12.....	20
2.3	NBR 14519	21
3	Atividades Desenvolvidas	24
3.1	Ambientação e Estudo Preliminar.....	25
3.2	Ensaio e Testes	28
4	Conclusão	39
	Referências	40

1 INTRODUÇÃO

A disseminação da Internet das Coisas (IoT) introduziu benefícios para diversas áreas do conhecimento, como energia, saúde, redes inteligentes, etc. Isso permitiu o surgimento de aplicações “inteligentes” (fábricas inteligentes (KULKARNI, 2016), residências, cidades) que baseado em dados coletados e analisados propõe sugestões para redução de custos (como por exemplo, uma fábrica desligar todos os aparelhos 10min antes do horário de pico), melhor uso de recursos e também melhor qualidade nos serviços e no dia a dia.

No tocante à medição do consumo de energia elétrica, várias soluções estão em desenvolvimento visando o monitoramento e inteligência associada aos dados do consumo de energia elétrica bem como suas grandezas elétricas correlatas (tensão, corrente, potência ativa, potência reativa, etc). Nesse escopo, o LabMet desenvolveu um medidor eletrônico não-tarifário baseado em IoT por meio de um projeto de pesquisa. Em paralelo, na Unidade Acadêmica de Sistemas e Computação em parceria com o Parque Tecnológico da Paraíba, a equipe do *LiteMe* desenvolveu um outro medidor eletrônico não-tarifário, também baseado em IoT buscando inserção no mercado do Nordeste.

O presente estágio foi fruto da colaboração dos dois grupos e tem por objetivo determinar a classificação de acordo com os índices de classe estabelecidos pela norma vigente no país dos medidores eletrônicos de energia elétrica desenvolvidos por cada um dos laboratórios. Este relatório tem como objetivo sintetizar a experiência de estágio supervisionado da estudante Viviane Martins, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, com experimentos realizados no LabMet em parceria com o *LiteMe* sob supervisão do Professor Edmar candeia (LabMet) e Professor Andrey Brito (*LiteMe*).

O estágio tem caráter obrigatório e o cumprimento de sua carga horária é requisito para aprovação e obtenção de diploma de bacharel em engenharia elétrica. A finalidade do estágio é integrar o saber acadêmico à prática profissional, incentivando o reconhecimento de habilidades e competências adquiridas dentro e fora do ambiente escolar, permitindo ao aluno adquirir consciência do seu perfil e que possa reconhecer

necessidade de retificação de aprendizagem nos conteúdos dos componentes curriculares cursados.

Dentre as atividades desenvolvidas pela estudante, podem-se destacar:

- Mapeamento do quadro de funcionários e suas respectivas funções;
- Implementação do planejamento semanal de serviço;
- Estudo das normas aplicáveis a medidores eletrônicos de energia elétrica;
- Análise de projetos eletrônicos;
- Ensaio elétrico de precisão.

No *LiteMe*, o supervisor foi o professor e engenheiro Andrey Brito que proporcionou o conhecimento do medidor desenvolvido bem como acesso ao medidor e suas características. A sala de desenvolvimento do *LiteMe*, sob supervisão do Prof. Andrey, encontra-se no bloco da Unidade Acadêmica de Sistemas e Computação da UFCG - andar térreo. O espaço conta com 7 computadores para os desenvolvedores de *software* e ambiente de simulação e testes para o medidor desenvolvido. O projeto é composto por 5 integrantes com formação em Ciência da Computação (alunos de graduação e graduados), um engenheiro eletricista e dois alunos de graduação em Engenharia Elétrica. Parte do estágio foi desenvolvido em contato direto com a equipe, que prontamente disponibilizou todas as informações necessárias sobre o medidor bem como auxiliou no manuseio e nos testes realizados.

No LabMet, o ambiente possuía aparelhos necessários para a caracterização dos medidores em relação à potência ativa e reativa, computadores e uma equipe de três engenheiros eletricistas que também participaram no processo de supervisão das atividades realizadas.

1.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O *LiteMe/Smartiks*, cuja logomarca pode ser visualizada na figura 2, tem sede na cidade de Campina Grande, Paraíba. Tem por especialidade a promoção de inteligência no setor energético. Desenvolve medidores eletrônicos para baixa e média tensão que realizam a aquisição de dados das grandezas elétricas (tensão, corrente, potência ativa, potência reativa e fator de potência) em tempo real. A análise posterior dos dados, por meio de algoritmos de *Machine Learning*, identifica o perfil de consumo e a sanidade das principais máquinas presentes no circuito em que o medidor foi instalado.

FIGURA 1 - LOGOMARCA DO LITEME



Fonte: Site da empresa – www.liteme.com.br

Foi criada com o claro objetivo de promover a eficiência energética dos seus clientes. O *LiteMe* se destaca em identificar consumos anormais de energia elétrica bem como ultrapassagens de demanda contratada, por exemplo, que resultam em maiores gastos na conta de energia elétrica. A sólida e ampla capacitação técnica de sua equipe, formada por engenheiros eletricitas e analistas de sistemas, incluindo mestres e doutores faz com que o *LiteMe* atue em diversas cidades da Paraíba e região.

1.2 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

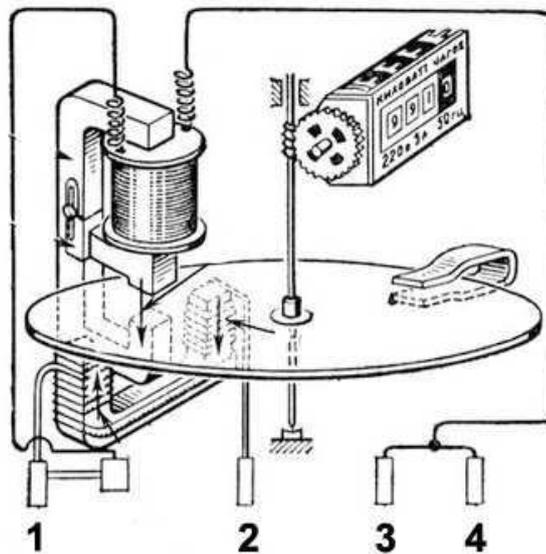
Este documento está dividido em quatro Capítulos, dos quais este é o primeiro, dedicado à introdução. No Capítulo 2 é apresentado o embasamento teórico sobre o qual a estagiária apoiou-se a fim de desenvolver as atividades do estágio. Em seguida, no Capítulo 3 e 4, são apresentadas e detalhadas as atividades desenvolvidas pela estagiária tanto no âmbito do *LiteMe* quanto do LabMet e a análise dos resultados obtidos. Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas a partir da experiência no Estágio Supervisionado.

2 MEDIDORES ELETRÔNICOS DE ENERGIA ELÉTRICA NÃO-TARIFÁRIOS

Segundo a NBR 14519 (ABNT, 2011), medidor de energia elétrica é um instrumento destinado a medir a energia elétrica por meio da integração da potência em relação ao tempo. Deve ser instalado após o ramal de entrada, em toda ligação elétrica instalada no país.

O medidor eletromecânico convencional tem por unidade básica o kW-hora e baseia-se no princípio da indução eletromagnética para a medição de corrente alternada. O primeiro medidor deste tipo foi apresentado em 1889 pelo húngaro Ottó Bláthy na Feira de Frankfurt (Nerken, 1937), e no mesmo ano já passou a ser comercializado.

FIGURA 2 - MEDIDOR ELETROMECAÂNICO DE ENERGIA ELÉTRICA



Fonte: Nova Eletrônica - <http://blog.novaeletronica.com.br/>

Este medidor tem um disco de metal internamente, conforme a Figura 2, que gira quando a eletricidade consumida pelo cliente passa por diversas bobinas e gera um campo magnético. Quando o disco gira, ele movimenta uma engrenagem e ponteiros de uma série de relógios.

Durante décadas, o medidor eletromecânico era o único dispositivo de medição dentro da infraestrutura elétrica de um prédio. Com o aumento dos custos de energia elétrica e a importância de uma boa qualidade de energia elétrica em alta, proprietários de edifícios e operadores de redes elétricas estão vendo uma necessidade maior de programas de gerenciamento de energia elétrica tanto no lado da oferta quanto da demanda das transações de eletricidade.

Isso requer mais informações do que apenas dados de kW-hora e de vários locais em uma instalação comercial, industrial ou institucional típica.

Os medidores digitais de energia elétrica começaram a substituir os analógicos e com isso as medições melhoraram no tocante a precisão além de introduzir o acesso remoto aos dados medidos.

A primeira atividade desenvolvida no estágio então foi, familiarizar-se com as normas vigentes com relação a medidores eletrônicos de energia elétrica e revisar conceitos básicos de potência complexa. O resultado desse estudo é apresentado nos tópicos a seguir.

2.1 DEFINIÇÕES GERAIS

Devido à natureza alternada das grandezas elétricas, tensão e corrente num sistema elétrico são dadas por:

$$v(t) = V_{max} \cos(\omega t + \delta), \quad (1)$$

$$i(t) = I_{max} \cos(\omega t + \beta). \quad (2)$$

Em que δ e β são respectivamente os ângulos de fase da tensão e da corrente, ω é a frequência angular do sinal (em geral, $\omega = 120\pi$) e V_{max} e I_{max} são os valores de pico da tensão e corrente, respectivamente.

A partir do produto entre as equações (1) e (2), a potência elétrica $p(t)$ é dada por:

$$p(t) = v(t) * i(t) \quad (3)$$

$$p(t) = V_{max} * I_{max} \cos(\delta - \beta) * \{1 + \cos[2(\omega t + \delta)]\} + V_{max} * I_{max} \text{sen}(\delta - \beta) \quad (4)$$

Já a potência complexa S é obtida a partir da forma fasorial de (4) e pode ser escrita como:

$$S = V \cdot I^* = [V/\underline{\delta}] \cdot [I/\underline{\beta}] = V \cdot I / \underline{\delta - \beta} \quad (5)$$

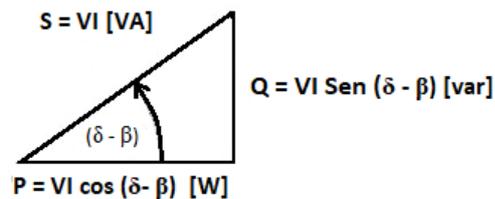
Definindo o fator de potência como $\cos(\delta - \beta)$ obtemos as seguintes expressões (6) e (7) para as potências ativa e reativa, respectivamente:

$$P = V.I.\cos(\delta - \beta) \quad (6)$$

$$Q = V.I.\sen(\delta - \beta) \quad (7)$$

Graficamente, o triângulo de potências resultante pode ser visualizado na figura 3 a seguir:

FIGURA 3 - TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS



Fonte: Arquivo Pessoal

A partir daí, é possível projetar os ensaios a serem realizados conforme a norma NBR 14519 para verificação da classe dos medidores.

A norma prevê ensaios com cargas com diferentes fatores de potência: 1, 0,5 (capacitivo) e 0,8 (indutivo). O fator de potência é dado pela relação entre Potência ativa e a Potência total ou aparente. Quando a diferença entre os ângulos δ e β é negativa, diz-se que o fator de potência é capacitivo e percebe-se um avanço da tensão em relação a corrente. Já quando a diferença entre os ângulos é positiva, diz-se que o fator de potência é indutivo e percebe-se um atraso da corrente em relação à tensão.

Desta forma, considerando a fase da tensão de 0° , então a fase da corrente possui sinal inverso ao do ângulo da carga.

Para determinar os ângulos de fase da corrente e tensão a serem aplicados nos ensaios, arbitrou-se o ângulo de fase da tensão como $\delta = 0^\circ$. Em seguida, para cada dado fator de potência especificado pela norma, foi encontrado o ângulo de fase β que geraria a carga desejada. Os valores de ângulos de fase calculados para a corrente estão apresentados na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Ângulos de fase para tensão, corrente e carga

Fator de potência	V (δ)	I (β)	$\delta - \beta$
1	0°	0°	0°
0,5 (capacitivo)	0°	60°	-60°
0,8 (indutivo)	0°	$-36,87^\circ$	$36,87^\circ$

Em que V corresponde à tensão, I corrente e a diferença entre os ângulos de fase correspondem ao fator de potência desejado.

2.2 IEC 61557-12

Desenvolvido pela Comissão Eletrotécnica Internacional, (IEC - em inglês), o padrão IEC 61557-12 (IEC - International Electrotechnical Commission, 2007) determina os requisitos para dispositivos de medição e monitoramento de desempenho energético que medem e monitoram os parâmetros elétricos nos sistemas de distribuição elétrica. Estes requisitos definem o desempenho, em AC ou CC de sistemas com tensões nominais até 1 000 V AC. ou até 1 500 V CC. Os dispositivos podem ser fixos ou portáteis e serem usados em ambientes fechados ou ao ar livre.

Esta norma não é aplicável para: equipamento de medição de eletricidade, que neste caso deverá estar em conformidade com IEC 62053-21, IEC 62053-22 e IEC 62053-23. No entanto, as incertezas definidas neste padrão para medição de energia ativa e reativa são derivadas daquelas definidas na série de padrões IEC 62053.

Este padrão deve ser usado em conjunto com a IEC 61557-1 (a menos que especificado de outra forma), que especifica os requisitos gerais para equipamentos de medição e monitoramento, conforme exigido pela IEC 60364-6.

Dispositivos combinados de medição e monitoramento de desempenho (PMD), conforme definido nesta norma, fornecem informações adicionais de segurança, o que ajuda a verificação da instalação e melhora o desempenho dos sistemas de distribuição.

Por exemplo, esses dispositivos ajudam a verificar se o nível de harmônicos ainda está em conformidade com os sistemas de fiação, conforme exigido pela norma IEC 60364-5-52.

Os dispositivos combinados de medição e monitoramento de desempenho (PMD) para parâmetros elétricos descritos neste padrão são usados para aplicações industriais e comerciais em geral.

Um PMD-A é um PMD específico que atende aos requisitos do IEC 61000-4-30 classe A, que pode ser usado em aplicações de "avaliação da qualidade de energia elétrica".

2.3 NBR 14519

A norma NBR 14519 mais recente data de 2011 (ABNT, 2011), serviu de base para a Portaria Inmetro n.º 602, de 09 de novembro de 2012 (Inmetro, 2012). Essa portaria determina os limites de precisão aceitos para cada classe de medidor, bem como os ensaios a serem realizados de medição de corrente e potência, conforme figura 4.

Medidores eletromecânicos, segundo a Portaria, são classificados em classe 1 e classe 2, de acordo com sua precisão.

Tanto a NBR 14519, quando a Portaria, fixam as condições mínimas exigíveis aplicáveis a medidores eletrônicos, monofásicos e polifásicos, de índice de classe 0,2 % (classe D); 0,5 % (classe C); 1,0 % (classe B) e 2,0 % (classe A) para a medição de energia elétrica em corrente alternada encerrados num mesmo invólucro.

Esta norma aplica-se a medidores monofásicos e polifásicos classificados, conforme o tipo de ligação, da seguinte forma:

- Monofásicos a dois fios;
- Monofásicos a três fios;
- Polifásicos: de dois elementos de medição, três fios ligação estrela ou triângulo;
- Polifásicos: de três elementos de medição, quatro fios, ligação estrela ou triângulo;

Além disso, define:

- Medidor de energia elétrica: Instrumento destinado a medir a energia elétrica por meio da integração da potência em relação ao tempo.
- Medidor eletrônico de energia elétrica: Medidor estático no qual a corrente e a tensão agem sobre elementos de estado sólido (componentes eletrônicos) para produzir uma informação de saída proporcional à quantidade de energia elétrica medida.
- Medidor de múltiplas grandezas: Medidor eletrônico de energia elétrica para uso na medição de energia ativa e reativa, provido de um certo número de registros, destinado a medir, registrar e armazenar pulsos representativos de várias grandezas elétricas simultaneamente, tais como quilowatt-hora, quilo volt-ampére-reactivo-hora e outras tantas quantas definidas pelo fabricante.

Os ensaios são descritos em seguida, bem como a apresentação em forma de tabela dos valores permitidos para cada classe de precisão dos medidores.

As tabelas 10 e 11 desta norma foram objeto principal do estágio pois definem os parâmetros necessários para a classificação dos medidores. I_n corresponde à corrente nominal suportada pelo medidor de energia elétrica e I_{max} corresponde à corrente máxima suportada pelo medidor.

FIGURA 4 - TABELA 10 PRESENTE NA NORMA NBR 14519

Tabela 10 - Limites de erros percentuais (medidores monofásicos e polifásicos com cargas equilibradas)					
Valor da corrente	Fator de potência	Limites de erros percentuais para medidores de índice de índice de classe:			
		0,2	0,5	1,0	2,0
0,05 I_n	1	± 0,4	± 1,0	± 1,5	± 2,5
0,1 I_n a $I_{máx}$	1	± 0,2	± 0,5	± 1,0	± 2,0
0,1 I_n	0,5 indutivo	± 0,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5
	0,8 capacitivo	± 0,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5
0,2 I_n a $I_{máx}$	0,5 indutivo	± 0,3	± 0,6	± 1,0	± 2,0
	0,8 capacitivo	± 0,3	± 0,6	± 1,0	± 2,0

NOTA - Os valores acima são referentes ao medidor de energia ativa. No caso de energia reativa os valores dos erros devem ser multiplicados por 2.

Fonte: NBR 14519

FIGURA 5 - TABELA 11 PRESENTE NA NORMA NBR 14519

Tabela 11 - Limites de erros percentuais (medidores polifásicos sob carga monofásica por elemento, elemento, mas com tensões polifásicas equilibradas aplicadas aos circuitos de tensão)					
Valor da corrente	Fator de potência do elemento energizado	Limites de erros percentuais para medidores de índice de classe:			
		0,2	0,5	1,0	2,0
De 0,1 I_n a $I_{máx}$	1	± 0,3	± 0,8	± 2,0	± 3,0
De 0,2 I_n a $I_{máx}$	0,5 indutivo	± 0,4	± 1,0	± 2,0	± 3,0

NOTA - Os valores acima são referentes ao medidor de energia ativa. No caso de energia reativa os valores dos erros devem ser multiplicados por 2.

Fonte: NBR 14519

Ambos medidores têm utilizam Transformadores de Corrente (TC) como transdutor para medição não-invasiva. Um TC é um equipamento que reproduz, no seu circuito secundário, a corrente que circula em um enrolamento primário, com sua posição vetorial substancialmente mantida, em uma proporção definida, conhecida e adequada.

Cada medidor possui 3 TCs, um para cada fase da instalação. Em instalações monofásicas, o medidor é mantido, porém apenas um TC se faz necessário.

Visando enquadrar-se em um dos casos previstos nas Figuras 4 e 5, apenas um TC de cada medidor foi utilizado na carga monofásica, promovendo assim o enquadramento no caso da Figura 4, uma vez que não era possível isolar os circuitos de tensão como proposto na Figura 5.

FIGURA 6 - GRANDEZAS DE INFLUÊNCIA

Tabela 13 - Grandezas de influência						
	Valor da corrente	Fator de potência	Limites da variação em erro percentual para medidores de índice de classe:			
			0,2	0,5	1,0	2,0
Variação da tensão $\pm 10\%$ ¹⁾	In	1,0	0,1	0,2	0,7	1,0
	In	0,5 Indutivo	0,2	0,4	1,0	1,5
Variação da frequência $\pm 5\%$ ⁸⁾	In	1,0	0,1	0,2	0,8	1,3
	In	0,5 Indutivo	0,1	0,2	1,0	1,5
Forma de onda: 10% do terceiro harmônico na corrente ^{2) 9)}	In	1,0	0,2	0,4	0,6	0,8
Seqüência de fase invertida ⁸⁾	0,1 In	1,0	0,05	0,1	1,5	1,5
Desequilíbrio da tensão ³⁾	In	1,0	0,4	1,0	2,0	4,0
Componente c.c. (1/2 onda) no circuito de corrente c.a. ⁴⁾	0,5 Imáx	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0
Indução magnética constante de origem externa ⁵⁾	In	1,0	2,0	3,0	3,0	6,0
Indução magnética de origem externa 0,5 mT ⁶⁾	In	1,0	1,0	1,5	2,0	3,0
Campos eletromagnéticos de alta frequência (HF) ⁵⁾	In	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0
Operação de um acessório ⁷⁾	0,05 In	1,0	0,1	0,25	0,5	1,0

Fonte: NBR 14519

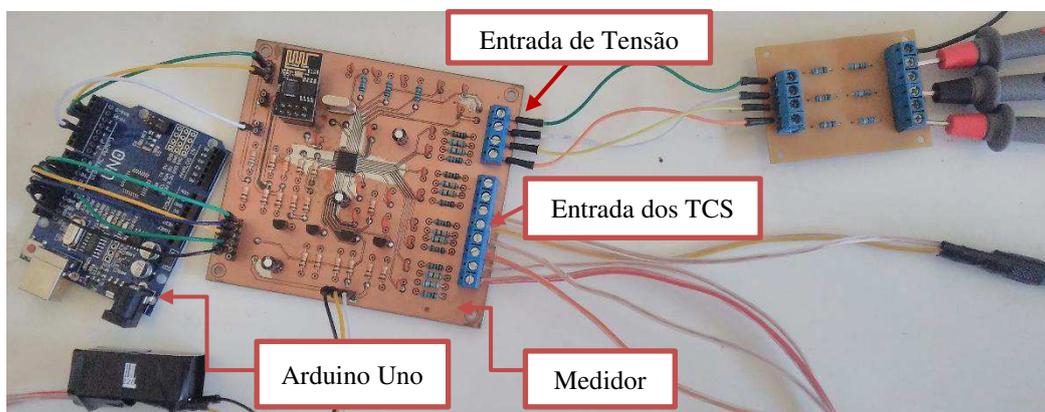
Além dos parâmetros supracitados, a norma também estabelece outras medições de grandezas de influência conforme figura 6 acima. AS ditas “grandezas de influências são perturbações externas que o medidor de energia elétrica pode sofrer que influenciam na leitura e podem ocasionar erros na mesma. Esses ensaios necessitam de equipamentos e ambientes específicos os quais não estavam disponíveis ou não existam na infraestrutura onde o estágio foi realizado.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Os medidores eletrônicos do LabMet e do *LiteMe* foram disponibilizados em sua totalidade para serem submetidos aos testes.

O medidor fornecido pelo LabMet é baseado em Arduino Uno, possui um circuito integrado dedicado para medições de grandezas elétricas (M90E36A) e foi montado conforme figura 7 abaixo.

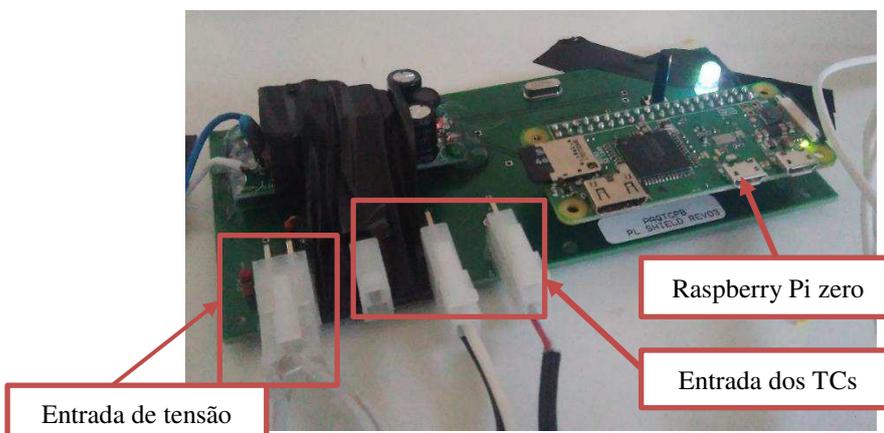
FIGURA 7 - MEDIDOR DO LABMET



Fonte: Arquivo Pessoal

Já o medidor fornecido pelo *LiteMe* é baseado no Raspberry Pi zero, também possui um circuito integrado dedicado para medições de grandezas elétricas e foi montado conforme figura 8 abaixo.

FIGURA 8 - MEDIDOR DO LITEME



Fonte: Arquivo Pessoal

Para ambos os medidores, foi desenvolvido um manual de ensaios, que ficou como resultado do estágio para cada um dos grupos desenvolvedores.

As atividades desenvolvidas foram:

- Ambientação ao Laboratório;
- Estudo sobre procedimentos para classificação de medidores de energia;
- Testes e medições com o medidor em desenvolvimento.

A partir das normas e portarias encontradas, o seguinte plano de trabalho foi desenvolvido:

- Levantamento dos equipamentos disponibilizados pelo LabMet e *LiteMe*;
- Planejamento dos ensaios necessários;
- Cálculo dos valores esperados (teóricos) para os ensaios;
- Realização dos ensaios com o medidor do LabMet;
- Realização dos ensaios com o medidor do LiteMe;
- Análise de dados e correção de eventuais erros;
- Escrita do relatório com os resultados obtidos.

3.1 AMBIENTAÇÃO E ESTUDO PRELIMINAR

Inicialmente, foi feito um levantamento dos equipamentos disponibilizados pelo *LiteMe* e pelo LabMet. De acordo com a NBR 14519, para a realização dos ensaios, os medidores ensaiados devem ser comparados com medidores-padrão.

Esse foi o primeiro obstáculo percebido durante o estágio: Nem o LabMet nem o *LiteMe* possuíam medidores padrão para fins de comparação das leituras obtidas. Visando contornar esse obstáculo, o Fluke 6100A disponibilizado pelo LabMet foi utilizado para gerar senóides de tensão e corrente com precisão de 0,01%.

O Fluke 6100A é um instrumento preciso para a calibração de dispositivos de medição usados para determinar a magnitude e a qualidade da energia fornecida aos consumidores. Com saídas independentes de tensão e corrente, é possível gerar sinais de tensão e corrente com valores de pico e fase bem definidos com significativa precisão.

FIGURA 9 - FLUKE 6100A.



Fonte: Manual do Fluke 6100A

Justamente por oferecer canais independentes, o medidor do *LiteMe* não pode ser utilizado diretamente: sua arquitetura utiliza o mesmo terminal em que a leitura da tensão é realizada para a alimentação do equipamento.

Como o Fluke 6100A gera uma tensão em seus terminais com uma corrente elétrica limitada, que não é suficiente para alimentar o medidor do *LiteMe*.

Para contornar esse obstáculo, a fonte foi ajustada de forma a isolar os condutores de alimentação dos condutores de medição da tensão, conforme a figura 8. Em seguida, de acordo com a infraestrutura disponível, foi criado o seguinte plano de ensaios:

- Definir os ângulos da corrente para os fatores de potência
- Fazer leituras de tensão, corrente, potência ativa e potência reativa com os medidores;
- Guardar as 20 últimas medições depois que o medidor atingiu o equilíbrio;
- Calcular o consumo de energia ativa e reativa;
- Calcular o valor médio das leituras individuais;
- Calcular o erro comparado com os valores teóricos definidos previamente.

Com o Fluke 6100A foram gerados os sinais padrão de tensão conforme equações abaixo:

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \cos(120\pi t + \delta) \quad (8)$$

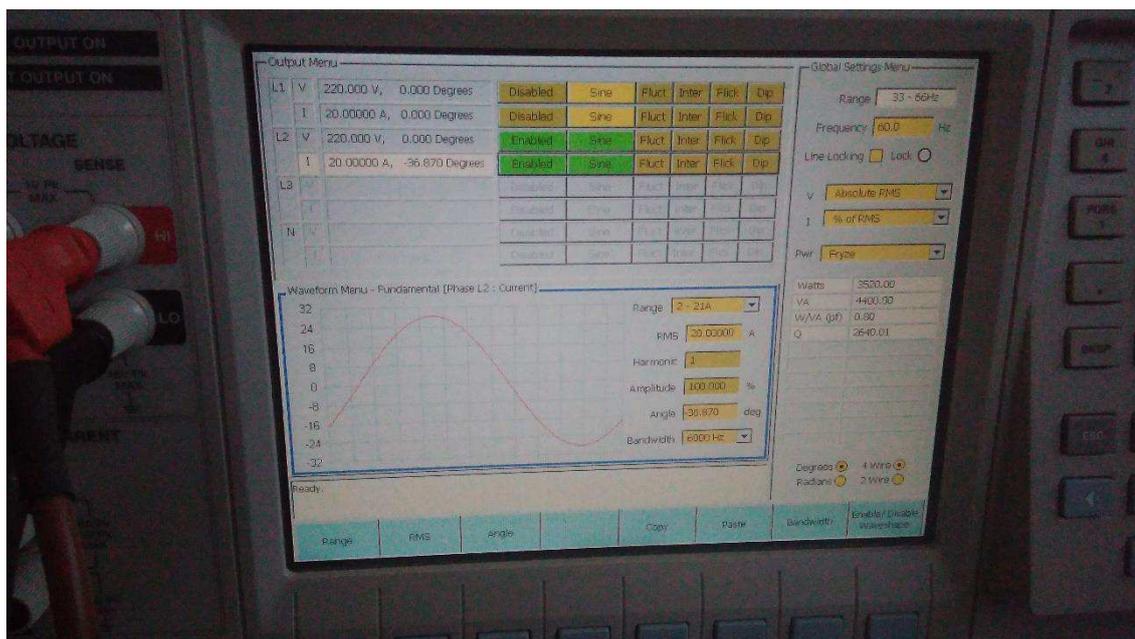
em que o valor RMS da tensão é 220 V e $\delta = 0^\circ$. Já a corrente foi gerada conforme a seguinte equação:

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \cos(120\pi t + \beta) \quad (9)$$

em que tanto o valor I RMS da corrente e β variam conforme os fatores de potência propostos na norma e sintetizados na figura 4, apresentada anteriormente.

As informações de ângulo de fase e frequência são facilmente inseridas na interface gráfica do Fluke 6100A conforme figura 10 abaixo.

FIGURA 10 - TELA DE CONFIGURAÇÃO DO FLUKE 6100A.



Fonte: Arquivo Pessoal.

Para o fator de potência unitário, tensão e corrente estão em fase. E os ensaios são em: 5% do valor nominal da corrente suportada pelo TC e na faixa de 10% a 100% da corrente nominal (de 10% em 10%). No caso do fator de potência capacitivo (0,5), a corrente está atrasada em relação a tensão. E os ensaios são em: 10% do valor nominal da corrente suportada pelo TC e na faixa de 200% a 100% da corrente nominal.

Para o fator de potência indutivo (0,8), a corrente está adiantada em relação a tensão. E os ensaios são em: 10% do valor nominal da corrente suportada pelo TC e na faixa de 200% a 100% da corrente nominal.

Com esses valores de tensão e corrente, as 20 primeiras leituras de tensão, corrente, potência ativa e potência reativa para cada medidor (após o equilíbrio dinâmico) foram adquiridas para realização das análises. Foram utilizadas 20 leituras devido às limitações de tempo: como haviam muitos ensaios para diversos níveis de corrente e fator de potência, cada ensaio precisava ser breve o suficiente para que ambos os medidores pudessem ser ensaiados corretamente. A partir das análises feitas, foi possível propor uma classificação parcial da precisão dos medidores.

O erro calculado, conforme definido pela NBR 14519, é dado por:

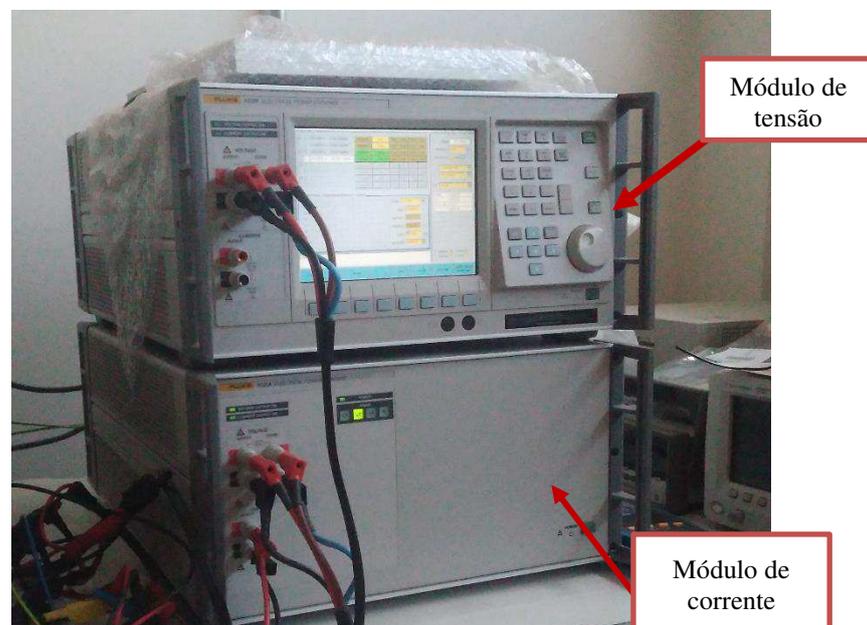
$$\text{erro (\%)} = \left| \frac{\text{valor}_{ref} - \text{valor}_{lido}}{\text{valor}_{ref}} \right| * 100\% \quad (10)$$

em que o $valor_{ref}$ é o valor da grandeza elétrica fornecida pelo Fluke 6100A, $valor_{lido}$ é o valor da grandeza elétrica medida pelos medidores objetos de classificação deste ensaio.

3.2 ENSAIOS E TESTES

Os ensaios foram realizados no laboratório de eletrônica do LabMet. Que contava com os dois módulos do Fluke 6100A, um para gerar tensão e outro para gerar corrente.

FIGURA 11 - MÓDULOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS



Fonte: Arquivo Pessoal.

O Fluke 6100A foi utilizado com apenas um módulo com corrente máxima de 20A. O módulo superior possui a interface de configuração bem como as saídas de tensão. Já o módulo inferior possui as saídas de corrente.

Para se atingir os níveis propostos de corrente da norma, apresentados nas tabelas de 3 a 12, o fio foi enrolado firmemente junto ao secundário do TC de modo a se aumentar o fluxo e obter os níveis de corrente desejada. Para o I_{max} , ou seja, 100A, foram necessárias 5 voltas no TC. Para uma corrente de 40 A, duas voltas e assim sucessivamente.



FIGURA 12 - ENROLAMENTOS NO TC

Apesar de não ser o método ideal e provocar desvios de fase na medição, o erro na medição da amplitude da corrente era inferior a 0,1 %. Sendo assim, o método foi utilizado em todos os ensaios.

Em seguida, os valores de tensão e corrente desejados foram configurados no módulo principal do Fluke 6100A. Por fim, as leituras foram armazenadas para que as análises pudessem ser realizadas.

Os valores médios lidos no ensaio para o medidor do LabMet com corrente a 10A para cada grandeza elétrica estão sintetizados na tabela a seguir. Percebe-se que o desvio padrão, de maneira geral é bem pequeno (inferior a 0,6) e que a média dos valores lidos se aproxima bastante do valor teórico esperado, descrito nas tabelas de 3 a 12.

TABELA 2 - Valores médios das medições para o medidor do Labmet para 10A

	Parâmetro	Resultados	
		Média	Desvio Padrão
Fator de potência = 1	Módulo da corrente elétrica [A]	9,97	0,01
	Potência Ativa [W]	2.192,15	0,33
	Potência Reativa [var]	-5,38	0,50
	Fator de Potência	0.9999970	-
Fator de potência = 0,5 (cap)	Módulo da corrente elétrica [A]	9,99	0,01
	Potência Ativa [W]	1.103,69	0,25
	Potência Reativa [var]	1.898,99	0,24
	Fator de Potência	0,502	-
Fator de potência = 0,8 (ind)	Módulo da corrente elétrica [A]	9,99	0,001
	Potência Ativa [W]	1.752,59	0,26
	Potência Reativa [var]	-1.319,05	0,51
	Fator de Potência	0.798	-

Para o medidor do LiteMe, tal análise não foi possível de ser realizada uma vez que a empresa LiteMe não liberou o acesso direto ao banco de dados para extração das

medições. Todos os parâmetros e grandezas que foram requisitados para esse laboratório foram entregues já calculados, num arquivo à parte, sem as leituras individuais.

Todas as medições resultaram nas Tabelas de 3 a 12. A partir dessas medições, foi possível calcular parâmetros como média, maior erro relativo percentual médio e o maior erro relativo percentual global para então determinar o índice de classe do medidor.

Baseando-se na figura 4, os seguintes resultados apresentados nas tabelas 3 e 4 foram obtidos. A partir do erro máximo encontrado em cada faixa de operação, destacou-se de verde a célula correspondente à precisão obtida pela leitura do medidor em avaliação. O maior erro percentual registrado dita a classe do medidor, que está destacado de amarelo.

TABELA 3 - ERROS PERCENTUAIS PARA O MEDIDOR DO LABMET – POTÊNCIA REATIVA

Potência Reativa		Classe D (0,2 %)	Classe C (0,5 %)	Classe B (1,0 %)	Classe A (2,0 %)
Erro médio	0,88%				
Erro Máximo	3,78%				
0,05 In (fp =1)	1,64%	0,8 %	2 %	3 %	5 %
0,1 a In (fp=1)	3,78%	0,4 %	1 %	2 %	4 %
0,1 In (fp 0,5)	0,32%	1 %	2 %	3 %	5 %
0,1 In (fp 0,8)	0,59%	1 %	2 %	3 %	5 %
0,2 a In (fp 0,5)	0,73%	0,6 %	1,2 %	2 %	4 %
0,2 a In (fp 0,8)	0,95%	0,6 %	1,2 %	2 %	4 %

TABELA 4 - ERROS PERCENTUAIS PARA O MEDIDOR DO LABMET – POTÊNCIA ATIVA

Potência Ativa		Classe D (0,2%)	Classe C (0,5%)	Classe B (1,0%)	Classe A (2,0%)
Erro médio	0,50%				
Erro Máximo	0,74%				
0,05 In (fp =1)	0,35%	0,4 %	1 %	1,5 %	2,5 %
0,1 a In (fp=1)	0,73%	0,2 %	0,5 %	1 %	2 %
0,1 In (fp 0,5)	0,33%	0,5 %	1 %	1,5 %	2,5 %
0,1 In (fp 0,8)	0,34%	0,5 %	1 %	1,5 %	2,5 %
0,2 a In (fp 0,5)	0,74%	0,3 %	0,6 %	1 %	2 %
0,2 a In (fp 0,8)	0 %	0,3 %	0,6 %	1 %	2 %

O *LiteMe*, por questões de confidencialidade, não divulga os dados originais das leituras, apenas a média das 20 leituras feitas por segundo. Desta forma, para efeito de caracterização, a grandeza utilizada foi a potência “instantânea”. Para tanto, 20 leituras do medidor do LabMet foram calculadas e sua média foi o valor da leitura utilizado para aplicação da norma.

As tabelas 5 e 6 abaixo sintetizam a classificação do medidor do *LiteMe* tanto em relação à potência ativa, quanto à potência reativa.

TABELA 5 - ERROS PERCENTUAIS PARA O MEDIDOR DO LITEME – POTÊNCIA REATIVA

Potência Reativa		Classe D (0,2%)	Classe C (0,5%)	Classe B (1,0%)	Classe A (2,0%)
Erro médio	0,39%				
Erro Máximo	3,09%				
0.05 In	0,00%	0,8 %	2 %	3 %	5 %
0.1 a In	0,00%	0,4 %	1 %	2 %	4 %
0.1 In (fp 0.5)	0,30%	1 %	2 %	3 %	5 %
0.1 In (fp 0.8)	0,07%	1 %	2 %	3 %	5 %
0.2 a In (fp 0.5)	1,78%	0,6 %	1,2 %	2 %	4 %
0.2 a In (fp 0.8)	3,09%	0,6 %	1,2 %	2 %	4 %

TABELA 6 - ERROS PERCENTUAIS PARA O MEDIDOR DO LITEME – POTÊNCIA ATIVA

Potência Ativa		Classe D (0,2%)	Classe C (0,5%)	Classe B (1,0%)	Classe A (2,0%)
Erro médio	0,49%				
Erro Máximo	1,78%				
0.05 In	0,20%	0,4 %	1 %	1,5 %	2,5 %
0.1 a In	0,25%	0,2 %	0,5 %	1 %	2 %
0.1 In (fp 0.5)	0,30%	0,5 %	1 %	1,5 %	2,5 %
0.1 In (fp 0.8)	0,07%	0,5 %	1 %	1,5 %	2,5 %
0.2 a In (fp 0.5)	1,78%	0,3 %	0,6 %	1 %	2 %
0.2 a In (fp 0.8)	0,39%	0,3 %	0,6 %	1 %	2 %

Percebe-se que para o medidor do *LiteMe* pode melhorar a precisão das leituras para cargas capacitivas, uma vez que o maior erro registrado foi nessa faixa de operação. Já o LabMet pode melhorar a precisão nas leituras de cargas resistivas.

Considerando que o *LiteMe* está focado em promover a eficiência energética por meio de algoritmos de inteligência, os resultados obtidos foram satisfatórios e atendem à demanda da empresa que tinha interesse apenas em determinar o índice de classe do seu medidor para fins de comercialização. Como o maior erro registrado de todas as faixas de medição foi referente ao índice 2,0 %, o medidor está classificado como classe A.

O LabMet, por se tratar de um ambiente de pesquisa e inovação também apresentou resultados muito interessantes, uma vez que não se sabia que o pior desempenho era para o fator de potência unitário. O presente estudo serviu de guia para que o grupo pudesse melhorar o desempenho do protótipo para o fator de potência unitário e promover novas soluções de engenharia para uma precisão ainda maior.

As Tabelas de 7 a 12 a seguir sintetizam os valores médios de todas as leituras realizadas.

Percebe-se, por exemplo, que na tabela 7 o maior erro de leitura média de potência reativa ocorreu para uma leitura de 80 A com fator de potência unitário. Todas as demais leituras para o fator de potência unitário foram bem abaixo dos 3,78 % de forma que a classificação nessa faixa foi diminuída para uma classe de menor precisão apenas por esse grupo de leituras a 80 A.

De uma maneira geral, os erros percentuais, conforme definidos na equação 10, encontrados para o medidor do LabMet são bem consistentes e se mantêm por várias faixas de operação.

Vale destacar também que na tabela 10, o valor de erro de 0,00% para a potência reativa só foi obtido porque o medidor foi calibrado de modo a considerar zero toda potência reativa abaixo de um certo limiar (também não informado pela empresa). Desta forma, o erro exato não pôde ser calculado.

TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DAS MEDIÇÕES PARA O MEDIDOR DO LABMET PARA FATOR DE POTÊNCIA = 1

Corrente aplicada	fp	Angulo de fase	Valor aplicado (modulo) [A]	Valor lido (modulo) [A]	erro percentual	Potência Ativa			Potência Reativa		
						Valor Esperado [Wh]	Valor Medido	erro percentual	Valor Esperado [varh]	Valor Medido	erro percentual
0,05 * In	1	0°	5	4,99	0,20%	1.100,00	1.098,83	0,11%	4,92	5,00	1,64%
0,1*In a I _{max}	1	0°	10	9,98	0,20%	2.200,00	2.192,73	0,33%	5,37	5,38	0,22%
0,2*In	1	0°	20	20	0,00%	4.400,00	4.399,49	0,01%	7,61	7,58	0,45%
0,3*In	1	0°	30	29,84	0,54%	6.600,00	6.557,07	0,65%	5,10	5,23	2,74%
0,4*In	1	0°	40	39,81	0,48%	8.800,00	8.735,74	0,73%	9,59	9,38	2,21%
0,5*In	1	0°	50	49,88	0,24%	11.000,00	10.948,40	0,47%	18,37	18,16	1,14%
0,6*In	1	0	60	59,86	0,23%	13.200,00	13.169,88	0,23%	20,45	20,71	1,29%
0,7*In	1	0°	70	69,54	0,66%	15.400,00	15.282,34	0,76%	63,70	61,93	2,77%
0,8*In	1	0°	80	79,52	0,60%	17.600,00	17.452,27	0,84%	10,51	10,11	3,78%
0,9*In	1	0°	90	89,8	0,22%	19.800,00	19.721,17	0,40%	103,95	103,47	0,46%
In	1	0°	100	99,74	0,26%	22.000,00	21.930,35	0,32%	72,16	71,80	0,50%

TABELA 8 - VALORES MÉDIOS DAS MEDIÇÕES PARA O MEDIDOR DO LABMET PARA FATOR DE POTÊNCIA = 0,5 CAPACITIVO

Corrente aplicada	fp	Angulo de fase	Valor aplicado (modulo) [A]	Valor lido (modulo) [A]	erro percentual	Potência Ativa			Potência Reativa		
						Valor Esperado [W]	Valor Medido	erro percentual	Valor Esperado [var]	Valor Medido	erro percentual
0,1 * In	0,5	-60°	10	9,98859	0,11%	1.100,00	1.103,87	0,35%	-1.905,26	-1.899,14	0,32%
0,2 *In	0,5	-60°	20	20,00516	-0,03%	2.200,00	2.187,27	0,58%	-3.810,51	-3.814,73	0,11%
0,3*In	0,5	-60°	30	30,0218	-0,07%	3.300,00	3.281,80	0,55%	-5.715,77	-5.722,38	0,12%
0,4*In	0,5	-60°	40	40,03961	-0,10%	4.400,00	4.380,66	0,44%	-7.621,02	-7.656,09	0,46%
0,5*In	0,5	-60°	50	50,05789	-0,12%	5.500,00	5.464,96	0,64%	-9.526,28	-9.580,23	0,57%
0,6*In	0,5	-60°	60	60,07313	-0,12%	6.600,00	6.559,41	0,61%	-11.431,54	-11.496,37	0,57%
0,7*In	0,5	-60°	70	70,08133	-0,12%	7.700,00	7.646,13	0,70%	-13.336,79	-13.382,07	0,34%
0,8*In	0,5	-60°	80	80,07821	-0,10%	8.800,00	8.744,49	0,63%	-15.242,05	-15.304,69	0,41%
0,9*In	0,5	-60°	90	90,05798	-0,06%	9.900,00	9.827,97	0,73%	-17.147,30	-17.197,23	0,29%
In	0,5	-60°	100	100,018013	-0,02%	11.000,00	10.927,07	0,66%	-19.052,56	-19.142,93	0,47%

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DAS MEDIÇÕES PARA O MEDIDOR DO LABMET PARA FATOR DE POTÊNCIA = 0,8 INDUTIVO

Corrente aplicada	fp	Angulo de fase	Valor aplicado (modulo) [A]	Valor lido (modulo) [A]	erro percentual	Potência Ativa			Potência Reativa		
						Valor Esperado [W]	Valor Medido	erro percentual	Valor Esperado [var]	Valor Medido	erro percentual
0,1 * In	0,8	36,87°	10	9,99063	0,09%	1.760,00	1.753,13	0,39%	1.320,00	1.327,77	0,59%
0,2 *In	0,8	36,87°	20	20,00336	-0,02%	3.520,00	3.531,45	0,33%	2.640,01	2.637,66	0,09%
0,3*In	0,8	36,87°	30	29,98336	0,06%	5.280,00	5.297,77	0,34%	3.960,01	3.951,29	0,22%
0,4*In	0,8	36,87°	40	40,0032	-0,01%	7.040,00	7.075,55	0,50%	5.280,01	5.231,02	0,93%
0,5*In	0,8	36,87°	50	50,05617	-0,11%	8.800,00	8.864,84	0,74%	6.600,02	6.550,90	0,74%
0,6*In	0,8	36,87°	60	60,06359	-0,11%	10.560,00	10.607,77	0,45%	7.920,02	7.861,80	0,74%
0,7*In	0,8	36,87°	70	70,00813	-0,01%	12.320,00	12.376,99	0,46%	9.240,02	9.195,98	0,48%
0,8*In	0,8	36,87°	80	79,99548	0,01%	14.080,00	14.116,76	0,26%	10.560,03	10.459,69	0,95%
0,9*In	0,8	36,87°	90	90,04312	-0,05%	15.840,00	15.892,38	0,33%	11.880,03	11.776,02	0,88%
In	0,8	36,87°	100	100,00219	0,00%	17.600,00	17.642,73	0,24%	13.200,03	13.106,99	0,70%

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DAS MEDIÇÕES PARA O MEDIDOR DO LITEME PARA FATOR DE POTÊNCIA = 1

Corrente aplicada	fp	Angulo de fase	Valor aplicado (modulo) [A]	Valor lido (modulo) [A]	erro percentual	Potência Ativa			Potência Reativa		
						Valor Esperado [Wh]	Valor Medido	erro percentual	Valor Esperado [varh]	Valor Medido	erro percentual
0,05 * In	1	0	5	4,99	0,20%	1.100,00	1.098,77	0,11%	1,00	1,00	0,00%
0,1*In a I _{max}	1	0	10	9,99	0,10%	2.200,00	2.199,38	0,03%	1,00	1,00	0,00%
0,2*In	1	0	20	20,01	0,05%	4.400,00	4.402,34	0,05%	1,00	1,00	0,00%
0,3*In	1	0	30	30,03	0,10%	6.600,00	6.608,85	0,13%	1,00	1,00	0,00%
0,4*In	1	0	40	40,06	0,15%	8.800,00	8.816,25	0,18%	1,00	1,00	0,00%
0,5*In	1	0	50	50,11	0,22%	11.000,00	11.031,26	0,28%	1,00	1,00	0,00%
0,6*In	1	0	60	60,15	0,25%	13.200,00	13.241,66	0,32%	1,00	1,00	0,00%
0,7*In	1	0	70	70,12	0,17%	15.400,00	15.432,70	0,21%	1,00	1,00	0,00%
0,8*In	1	0	80	80,14	0,17%	17.600,00	17.637,79	0,21%	1,00	1,00	0,00%
0,9*In	1	0	90	90,14	0,16%	19.800,00	19.838,39	0,19%	1,00	1,00	0,00%
In	1	0	100	100,11	0,11%	22.000,00	22.033,57	0,15%	1,00	1,00	0,00%

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DAS MEDIÇÕES PARA O MEDIDOR DO LITEME PARA FATOR DE POTÊNCIA = 0,5 CAPACITIVO

Corrente aplicada	fp	Angulo de fase	Valor aplicado (modulo) [A]	Valor lido (modulo) [A]	erro percentual	Potência Ativa			Potência Reativa		
						Valor Esperado [W]	Valor Medido	erro percentual	Valor Esperado [var]	Valor Medido	erro percentual
0,1 * In	0,5	-60	10	9,99	0,10%	1.100,00	1.103,26	0,30%	-1.905,26	-1.910,90	0,30%
0,2 *In	0,5	-60	20	20,01	0,05%	2.200,00	2.199,47	0,02%	-3.810,51	-3.809,60	0,02%
0,3*In	0,5	-60	30	30,03	0,10%	3.300,00	3.307,68	0,23%	-5.715,77	-5.729,07	0,23%
0,4*In	0,5	-60	40	40,06	0,15%	4.400,00	4.420,50	0,47%	-7.621,02	-7.656,53	0,47%
0,5*In	0,5	-60	50	50,11	0,22%	5.500,00	5.537,80	0,69%	-9.526,28	-9.591,75	0,69%
0,6*In	0,5	-60	60	60,15	0,25%	6.600,00	6.656,87	0,86%	-11.431,54	-11.530,03	0,86%
0,7*In	0,5	-60	70	70,12	0,17%	7.700,00	7.775,59	0,98%	-13.336,79	-13.467,72	0,98%
0,8*In	0,5	-60	80	80,14	0,17%	8.800,00	8.891,49	1,04%	-15.242,05	-15.400,52	1,04%
0,9*In	0,5	-60	90	90,14	0,16%	9.900,00	10.075,88	1,78%	-17.147,30	-16.994,14	0,89%
In	0,5	-60	100	100,11	0,11%	11.000,00	11.181,14	1,65%	-19.052,56	-18.858,30	1,02%

TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DAS MEDIÇÕES PARA O MEDIDOR DO LITEME PARA FATOR DE POTÊNCIA = 0,8 INDUTIVO

Corrente aplicada	fp	Angulo de fase	Valor aplicado (modulo) [A]	Valor lido (modulo) [A]	erro percentual	Potência Ativa			Potência Reativa		
						Valor Esperado [W]	Valor Medido	erro percentual	Valor Esperado [var]	Valor Medido	erro percentual
0,1 * In	0,8	36,87	10	9,99	0,10%	1.760,00	1.758,74	0,07%	1.320,00	1.319,05	0,07%
0,2 *In	0,8	36,87	20	20,01	0,05%	3.520,00	3.515,07	0,14%	2.640,01	2.636,30	0,14%
0,3*In	0,8	36,87	30	30,03	0,10%	5.280,00	5.269,15	0,21%	3.960,01	3.951,86	0,21%
0,4*In	0,8	36,87	40	40,06	0,15%	7.040,00	7.021,84	0,26%	5.280,01	5.266,38	0,26%
0,5*In	0,8	36,87	50	50,11	0,22%	8.800,00	8.774,28	0,29%	6.600,02	6.580,71	0,29%
0,6*In	0,8	36,87	60	60,15	0,25%	10.560,00	10.525,24	0,33%	7.920,02	7.893,93	0,33%
0,7*In	0,8	36,87	70	70,12	0,17%	12.320,00	12.276,60	0,35%	9.240,02	9.207,45	0,35%
0,8*In	0,8	36,87	80	80,14	0,17%	14.080,00	14.027,52	0,37%	10.560,03	10.886,55	3,09%
0,9*In	0,8	36,87	90	90,14	0,16%	15.840,00	15.778,58	0,39%	11.880,03	11.833,93	0,39%
In	0,8	36,87	100	100,11	0,11%	17.600,00	17.530,64	0,39%	13.200,03	13.147,98	0,39%

4 CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos, foi possível não só classificar os medidores quanto à precisão das leituras, como também identificar as faixas de operação em que ele apresenta maiores erros. Essa identificação é importante pois permite que a equipe de desenvolvimento possa propor melhorias sabendo exatamente sob qual faixa de operação atual e assim melhorar o desempenho do medidor como um todo.

Todas as atividades propostas foram realizadas com êxito, conforme disponibilidade de infraestrutura e no tempo determinado no contrato de estágio.

É importante ressaltar que todas as dificuldades e empecilhos foram contornadas e criaram situações de forte aprendizado o que realmente são os desafios encontrados por engenheiros no dia a dia da sua profissão.

O convívio com todos os integrantes tanto do LabMet quanto do LiteMe foi bastante proveitoso. Além de fortalecer os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação em engenharia elétrica, também foi possível adquirir novos conhecimentos de computação e habilidades técnicas de eletricidade.

As disciplinas de Sistemas Elétricos e Instalações Elétricas foram essenciais para o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento do estágio.

Nas disciplinas de Circuitos Elétricos II e Sistemas Elétricos é possível solidificar todos os conceitos de potência ativa, reativa, fasores e fator de potência bem como o significado dessas grandezas num sistema elétrico real. Já a disciplina de Instalações elétricas deu forte embasamento para aprender a ler, interpretar e aplicar normas.

REFERÊNCIAS

- ABNT. (2011). NBR 14519 - Medidores eletrônicos de energia elétrica — Especificação. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- IEC - International Electrotechnical Commission. (2007). Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 12: Performance measuring and monitoring devices (PMD). (p. 157). IEC.
- Inmetro. (2012). *Legislação*. Fonte: Inmetro:
<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001931.pdf>
- Kulkarni, P. H. (Janeiro de 2016). IoT based data processing for automated industrial meter reader using Raspberry Pi. *International Conference In Internet of Things and Applications (IOTA)* (pp. 107-111). Pune, India: IEEE.
- Nerken, A. O. (1937). Letters to the editor. *Electrical Engineering*, 56, no. 6, 768-769.

