



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JULLY MAELLY SOUZA LIMA

VALIDAÇÃO DO SENSOR DE CORRENTE SCT-013

SANTARÉM – PARÁ

2017

JULLY MAELLY SOUZA LIMA

VALIDAÇÃO DO SENSOR DE CORRENTE SCT-013

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC
apresentado ao Curso de Bacharelado
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da
Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA
como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador:

Prof. Dr. Anderson Alvarenga de Moura Meneses

Co-orientador:

Prof. Luciano Colares Magalhães

SANTARÉM – PARÁ

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo Setor de Processamento Técnico da Divisão de Biblioteca da UFOPA.
Catalogação de Publicação na Fonte. UFOPA - Biblioteca Campus Tapajós.

681.2
L628

Lima, Jully Maelly Souza

Validação do sensor de corrente SCT-013. / Jully Maelly Souza Lima . -- 2017.
55 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Curso de Ciência e Tecnologia,
Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Alvarenga de Moura Meneses

Co-orientador: Prof. Luciano Colares Magalhães

1. Sensores - Validação. 2. Plataforma Prototipagem Arduino. 3. Sensor de corrente SCT-013 I.Meneses, Anderson Alvarenga de Moura, orient. II. Magalhães, Luciano Colares III. Título.

CDD. 23. ed.:

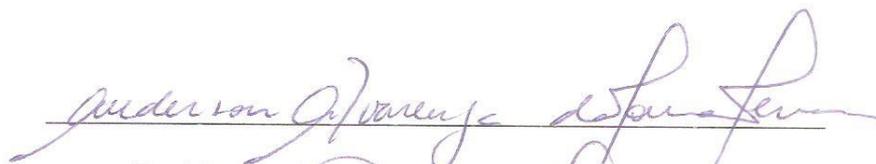
TERMO DE APROVAÇÃO

JULLY MAELLY SOUZA LIMA

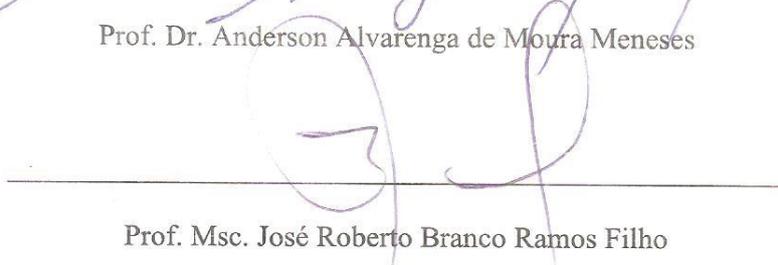
VALIDAÇÃO DO SENSOR DE CORRENTE SCT-013

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi analisado pelos membros da Banca Examinadora,
abaixo assinados:

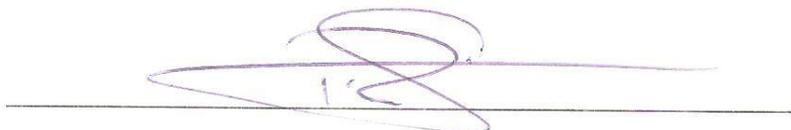
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Anderson Alvarenga de Moura Meneses



Prof. Msc. José Roberto Branco Ramos Filho



Prof. Dr. Rodrigo da Silva

APROVADO EM: 24/10/17

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao Universo pelo dom da vida e da consciência.

Aos meus pais, Tomé Aguiar Lima e Maria do Socorro Souza por toda educação e dedicação; e ao meu irmão Matheus Souza Lima; pelo apoio, carinho e dedicação.

Ao Éfren Lopes, por todo apoio, amor, companheirismo e compreensão.

Ao meu orientador, Anderson Alvarenga de Moura Meneses, pelo seu alto nível de exigência e comprometimento, por compartilhar seu conhecimento e por exercer de forma excelente seu papel de líder.

Agradeço ao Professor Luciano Colares Magalhães pelo apoio concedido.

Ao meu colega de laboratório e amigo pessoal, Patrick Vasconcelos, por sua amizade, apoio e bons momentos.

Aos colegas do LABIC, em especial à Yasmin Braga Teixeira e Dalton Silva, que colaboraram de forma significativa na construção deste trabalho.

Agradeço à Universidade Federal do Oeste do Pará, pela oportunidade de cursar essa graduação, pela estrutura e professores.

RESUMO

A tecnologia industrial ocasionou o avanço e a produção de novos instrumentos e técnicas de medição, gerando o aumento da utilização de tais ferramentas e a necessidade de realizar tarefas de controle e monitoramento, surgindo, então, os sensores - instrumentos fundamentais para a segurança na indústria, que se tornaram essenciais à automação industrial. Utilizados a fim de detectar e transmitir sinais, sensores são peças fundamentais no cenário de Internet das Coisas/*Internet of Things* (IoT), onde realizam a tarefa crucial nos processos de monitoramento, medições e coleta de dados. A importância deste trabalho está no fato de que uma das principais etapas a serem consideradas - tratando-se do controle de qualidade de produtos e processos -, está relacionada à validação de sensores utilizados em tais operações. O procedimento de validação de equipamentos autentica o desempenho dos mesmos com a ajuda de instrumentos de medição em vários processos. No presente trabalho, a metodologia utilizada para realizar a validação do sensor de corrente SCT-013, em operação conjunta com uma plataforma de prototipagem Arduino, foi realizada executando três etapas de testes, onde foram utilizados um multímetro (como instrumento referência de medida), aparelhos eletroeletrônicos na etapa inicial, e a validação da calibração do sensor foi realizada empregando um variador de tensão monofásica (VARIAC) nas duas fases finais. Obtivemos como resultado uma equação da reta por meio da regressão linear com base nos dados coletados na etapa II, a fim de aplicarmos ao código usado para leitura do sensor em relação ao multímetro. Para verificação da validação, a regressão linear realizada na última etapa teve como resultado a equação $y = 0,9994x + 0,0096$, com um coeficiente de determinação $R^2=0,9997$, e coeficiente de correlação $r = 0,9998$. Desta forma podemos afirmar que o sensor foi calibrado de forma efetiva.

Palavras-chave: Validação de sensores. Sensor de corrente SCT-013. Plataforma de Prototipagem Arduino.

ABSTRACT

Industrial technology has led to the advancement and production of new measuring instruments and techniques, generating an increase in the use of such tools and the need to perform control and monitoring tasks, with the result that sensors - fundamental instruments for safety in industry, which have become essential to industrial automation. Used to detect and transmit signals, sensors are key pieces in the Internet of Things (IoT) scenario, where they perform the crucial task in the processes of monitoring, measurement, and data collection. The importance of this work lies in the fact that one of the main steps to be considered - in terms of quality control of products and processes - is related to the validation of sensors used in such operations. The equipment validation procedure authenticates the performance of the same with the help of measuring instruments in various processes. In the present work, the methodology used to perform the validation of the SCT-013 current sensor, in conjunction with an Arduino prototype platform, was performed by performing three test steps, where a multimeter (as a reference measurement instrument) was used, and the validation of the sensor calibration was performed using a single-phase voltage variator (VARIAC) in the two final phases. We obtained as a result a straight line equation using linear regression based on the data collected in step II, in order to apply the code used to read the sensor in relation to the multimeter. To verify the validation, the linear regression performed in the last step resulted in the equation $y = 0.9994x + 0.0096$, with a determination coefficient $R^2 = 0.9999$, and correlation coefficient $r = 0.9999$. In this way we can affirm that the sensor was calibrated in an effective way.

Keywords: Validation of sensors. Current sensor SCT-013. Arduino Prototyping Platform.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 2.1** - Sensor de corrente SCT-O13 (Fonte: FILIPEFLOP, em 15/06/2017)
- Figura 2.2** - Arduino UNO (Fonte: ARDUINO, em 17/06/2017, adaptado de Fontes, 2013)
- Figura 2.3** - VARIAC utilizado nos testes
- Figura 3.1** - Protótipo do Sensor acoplado ao Arduino
- Figura 3.2** - Experimento montado operando com o sensor em paralelo ao multímetro
- Figura 3.3** - Interface gráfica do Arduino
- Figura 3.4** - Interface gráfica gerada pelo Multímetro
- Figura 3.5** - Aparelhos Eletrodomésticos utilizados – (1) *Babyliss*, (2) secador e (3) prancha alisadora de cabelos
- Figura 3.6** - Protótipo do Arduino utilizando RTC
- Figura 3.7** - Protótipo utilizando a placa soldada
- Figura 3.7** - Experimento montado operando juntamente com o VARIAC
- Figura 4.1** - Regressão linear dos testes com eletroeletrônicos sem o RTC
- Figura 4.2** - Regressão linear dos testes com eletroeletrônicos com o RTC
- Figura 4.3** - Regressão linear dos testes utilizando o VARIAC
- Figura 4.4** - Regressão linear dos testes utilizando o VARIAC e com o código modificado.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Dados técnicos do sensor

Tabela 2.2 – Dados técnicos do VARIAC

Tabela 3.1 - Materiais utilizados no experimento

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC - *Alternating Current* (Corrente Alternada)

CNI – Confederação Nacional da Indústria

DC - *Direct Current* (Corrente Contínua)

fem - Força Eletromotriz

ICSP - *In Circuit Serial Programming* (Programação Serial no Circuito)

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ISO - *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização)

kVA - Quilovoltampere

RTC – *Real Time Clock* (Relógio de Tempo Real)

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SI - *Système international d'unités* (Sistema Internacional de Unidades)

VARIAC – Variador de Voltagem Monofásico

VCA - *Voltage Current Alternated* (Tensão de Corrente Alternada)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
1.2	Visão Geral do Trabalho.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (REFERENCIAL TEÓRICO).....	17
2.1	Medida.....	16
2.2	Acurácia e Precisão.....	17
2.3	Erro e Incerteza.....	17
2.4	Validação.....	18
2.5	Calibração.....	19
2.6	Lei de Ohm.....	20
2.7	Sensores.....	21
2.8	Arduino.....	23
2.8.1	Fonte de Alimentação.....	25
2.8.2	Núcleo CPU.....	25
2.8.3	Entradas e Saídas.....	25
2.8.4	Área de Desenvolvimento e Estrutura da Linguagem.....	26
2.9	VARIAC.....	26
2.10	Regressão Linear Simples e Correlação.....	28
2.10.1	Regressão Linear Simples.....	28
2.10.2	Coefficiente de Determinação.....	30

2.10.3	Correlação.....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1	Testes - Etapa I.....	33
3.2	Testes – Etapa II.....	35
3.3	Testes – Etapa III.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5	CONCLUSÃO.....	44
6	REFERÊNCIAS.....	45
	ANEXOS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Os procedimentos relacionados à medição têm sido de imensa importância para a humanidade desde o início da civilização, primeiramente quando as medidas foram necessárias para regular a transferência de mercadorias no comércio de trocas, com o intuito de garantir que as trocas fossem justas. De acordo com Morris e Langari (2012), a revolução industrial no século XIX provocou um rápido desenvolvimento de novos instrumentos e técnicas de medição para satisfazer as necessidades da indústria de produção. Desde então, tem havido um amplo e célere crescimento da tecnologia industrial. Isto foi evidenciado particularmente durante a última parte do século XX, por conta do desenvolvimento no setor de computadores e eletrônicos em geral. Esses fatores proporcionaram um crescimento paralelo na área de novos instrumentos e técnicas de medição.

O crescimento em massa na utilização de computadores em processos industriais a fim de realizar tarefas de controle e monitoramento, elevou de forma considerável a busca por instrumentos para medir, registrar e controlar variáveis de processo, de modo que, as tecnologias de ponta aplicadas no setor de produção elevam o nível dos procedimentos, fornecendo limites de precisão cada vez maiores, resultando em uma exigência maior quanto à precisão dos instrumentos. Usualmente, um instrumento pode ter sido calibrado na própria fábrica, por seu elaborador, de tal modo que, inicialmente, agirá conforme as propriedades apontadas nas especificações. Porém, após um período de utilização, seu desempenho pode divergir gradativamente da especificação indicada por conta de vários fatores, como por exemplo condições ambientais, desgaste mecânico, efeitos da sujeira, poeira, fumaça e produtos químicos no ambiente operacional (MORRIS E LANGARI, 2012).

Caso não nos atentemos ao comportamento do erro de medição ao longo dos procedimentos, aumentamos os riscos de problemas no controle de qualidade e o risco de tomarmos decisões erradas na busca pela melhoria de processos e produtos. Ao fazermos uso de um equipamento que possui um erro desconhecido, tal erro irá influenciar resultados que dependem do processo onde o erro está inserido, como por exemplo, produção de produtos e escolha da matéria prima. Segundo Amaral (2012), sistemas de medição que possuem credibilidade passam por um processo de calibração e, baseados na caracterização de incertezas,

conseguem operar de forma efetiva até mesmo com esses erros, operando para minimizar tais erros.

Nussenzveig (2013) afirma que “um conceito mais importante que o de precisão é o de exatidão de uma medida, que mede quanto o resultado se aproxima do valor real da grandeza medida”. Para que sejam estabelecidos valores-limite, máximos e mínimos, testes, como ensaios e medições, são realizados com frequência com o objetivo de que tais limites não sejam excedidos, resultando em confiança no momento da escolha de ferramentas, produtos e materiais, o que torna os processos industriais mais seguros e confiáveis. Calibração de instrumentos é necessária para que não haja incompatibilidade entre os dados coletados de instrumentos de medida padrão e instrumentos que estão sendo utilizado no processo. Dessa forma, os erros inerentes aos sistemas de medida devem ser considerados, num processo chamado caracterização de incertezas, que possibilitará uma calibração mais precisa.

Poderá haver certificados de calibração, onde serão especificados os resultados obtidos depois de um procedimento de calibração corretamente realizado, onde foram comparados valores coletados por instrumentos ou sistemas de medição e valores tomados como referência, estabelecido por padrões. Esse certificado é de extrema importância, pois agrega confiança ao ato de escolher ou analisar produtos e processos.

De acordo com o INMETRO (2013), o certificado de calibração será emitido após um procedimento realizado de forma correta, onde foi feita a análise de dados coletados por instrumentos de medida padrão e outros instrumentos de medição, ocasionando o ajuste correto do instrumento a ser calibrado. Agregando confiança no momento de decisão relacionado a processos e produtos, tal certificado é extremamente importante. A emissão de certificados oficiais de calibração no Brasil fica a cargo do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), que trabalha em conjunto com outros laboratórios e órgãos associados.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) afirma que "o Brasil que a indústria quer é uma economia competitiva, inserida na sociedade do conhecimento e base de uma das principais plataformas da indústria mundial; e também inovadora, capaz de crescer de forma sustentável, com mais e melhores empregos" (CNI, 2010). Com a globalização e a intensa competição entre as indústrias, estar com os padrões de processos produtivos devidamente regularizados é de total relevância para os cenários industriais nacional e internacional de exportação, onde há uma contribuição significativa para o cenário econômico por parte de

laboratórios de ensaio e calibração, que fornecem amplo suporte à indústria (Santos e Mainier, 2010). As normas ISO 9000 garantem que empresas prestem serviços e forneçam produtos confiáveis e de qualidade. Só estarão aptas às normas da ISO 9000 empresas cujo sua linha inteira de processo produtivo possuir certificados de calibração oficiais.

A necessidade de validação de um instrumento ou metodologia está no fato de verificar se o que está sendo analisado pode atuar ou irá funcionar da forma como se pretende, verificando sua capacidade de atender às especificações desejadas. O trabalho de validação autentica o desempenho dos equipamentos com a ajuda de instrumentos de medição em vários processos, nos mais diversos setores, abrangendo desde o setor de pesquisa industrial - nos ensaios e análises de materiais, por exemplo -, passando por fabricantes de diversos produtos, que vão de automóveis a eletroeletrônicos, chegando a projetos em nível acadêmico, por conta desse processo ser parte fundamental para obtenção de resultados válidos.

A Nielsen Research Company realizou uma pesquisa com 100 executivos de gestão de empresas internacionais, e constatou que em 2008, por conta de calibrações defeituosas, o prejuízo anual das empresas era mais de 1,7 milhão de dólares e nas empresas com um volume de negócios de mais de um bilhão Dólares, o prejuízo chegou em até 4 milhões de dólares (ELBERT, 2012).

A validação realizada no presente trabalho é a de um sensor de corrente SCT-013, que posteriormente será utilizado para obtenção de dados em um protótipo de medição do consumo de energia.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral:

Validação do sensor de corrente SCT-013 (que atuará acoplado a um Arduino), com base nos dados obtidos pelo sensor e multímetro – padrão de referência -, que coletarão os dados simultaneamente.

1.1.2 Objetivos Específicos:

- (a) Realização de testes utilizando aparelhos eletroeletrônicos;
- (b) Validação do sensor SCT-013 usando um variador de tensão (VARIAC);
- (c) Análise da regressão linear com base nos dados coletados pelo sensor e multímetro, gerando uma equação da reta;
- (d) Modificação no código com base na equação da reta obtida;
- (e) Validação da efetiva do sensor.

1.2 VISÃO GERAL DO TRABALHO

A seguir, o trabalho possui a seguinte estrutura: a partir desta introdução, o mesmo se divide em mais 4 itens. No capítulo 2 é exibida a Revisão Bibliográfica, onde são abordados os temas básicos para o desenvolvimento da pesquisa, que são: medida, exatidão e precisão, erro e incerteza, validação, calibração, sensores, Arduino, VARIAC e regressão linear. No capítulo 3 são apresentados os Materiais e Métodos utilizados. Os Resultados e Discussão são exibidos no capítulo 4, seguido de sua conclusão no capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (REFERENCIAL TEÓRICO)

2.1 MEDIDA

Os sistemas de medidas confiáveis e exatos que conhecemos hoje são resultado da evolução que ocorreu desde a época que as primeiras unidades eram utilizadas no comércio de trocas, com o objetivo de quantificar os montantes trocados e regradar os valores relativos de diferentes commodities. Sistemas primários de medição se baseavam em unidades de medida disponíveis como, por exemplo, o torso humano, originando unidades como o côvado¹, de forma totalmente imprecisa - pois tais unidades variavam de pessoa para pessoa -, e houve desde então uma busca por unidades de medidas padrão cada vez mais precisas (MORRIS E LANGARI, 2012).

Segundo Morris e Langari (2012), a primeira unidade a ser melhorada foi a unidade de comprimento, definida inicialmente como 107 vezes o quadrante polar da terra. Posteriormente, no início do século XIX, foi fabricada uma barra de platina com esse comprimento, que foi tida como padrão para essa unidade, vindo a ser substituída em 1889 por uma barra fabricada com liga de platina-irídio, de qualidade superior. A partir disso, foram feitas várias pesquisas com o objetivo de melhorar o padrão utilizado para essa medida, chegando hoje no padrão que conhecemos, onde o comprimento, que tem como unidade o metro, é tido como o caminho percorrido pela luz em um intervalo de $1/299.792.458$ segundos. De forma análoga, as outras unidades de medidas padrão foram definidas e melhoraram de forma progressiva até os dias atuais.

Estudos para realizar comparações quantitativas entre grandezas físicas avançaram de formas diferentes em determinados países, gerando várias unidades para medir a mesma variável – como jardas, pés e metros para medir comprimento. Houve então a necessidade de padronizar as unidades num único sistema, definindo-se um conjunto internacional de unidades padrão, SI, sendo altamente recomendado, com o intuito de haver uma padronização internacional (MORRIS E LANGARI, 2012). A padronização das medidas é realizada pela Conferência Geral de Pesos e Medidas na Agência Internacional de Pesos e Medidas, situada em Paris, na França.

¹ Comprimento do antebraço, da ponta do dedo médio até o cotovelo.

2.2 EXATIDÃO E PRECISÃO

Precisão é o termo que descreve o grau de dispersão dos dados gerados por um instrumento de medida, onde, se um aparelho de alta precisão for utilizado em determinada faixa, a discrepância entre as leituras será muito pequena. Segundo Morris e Langari (2012), precisão por muitas vezes é confundida com exatidão, apesar de ser algo incorreto, pois um termo não implica o outro, já que exatidão diz respeito à quão próximo o resultado está do objetivo proposto. Instrumentos que possuem alta precisão e baixa exatidão podem ser utilizados, contanto que os erros detectados sejam removidos através de um processo de calibração. Uma das formas de expressar a precisão de um instrumento de medida pode ser realizada através da detecção do grau de reprodutibilidade ou repetibilidade nas medidas.

Os fabricantes de instrumentos mantêm o foco nas pesquisas e no desenvolvimento da fabricação de instrumentos cada vez mais precisos, contando com a ajuda da computação, tornando os instrumentos inteligentes – inserindo o poder de computação digital nos mesmos - e os tornando aparelhos altamente relevantes para a indústria (MORRIS E LANGARI, 2012).

2.3 ERRO E INCERTEZA

De acordo com Morris e Langari (2012), erros de medição estão presentes em todos os sistemas de medida e, apesar dos esforços para minimizá-los, não podemos extingui-los, mas podemos reduzi-los. A definição de erro é tida como a diferença entre o valor verdadeiro e o valor que é resultado de uma medição, enquanto incerteza é o cálculo que expressa de forma quantitativa a credibilidade do resultado de uma medição. A existência de incerteza nos processos de medição torna inviável assumir que o valor de saída obtido por um sistema é exatamente igual ao valor da quantidade medida. Erros nos sistemas de medida são impossíveis de evitar, mas há a possibilidade de reduzi-los, através de um sistema de qualidade, com o processamento de dados realizado de forma adequada e boa operação por parte dos usuários.

Em todo sistema de medidas é de extrema importância que haja a redução dos erros ao mínimo nível possível, quantificando após essa redução o erro máximo que possa existir na saída desse sistema, e, a partir disso, realizar as operações necessárias para tornar o sistema viável ou inutilizar o sistema, dependendo do nível de erro apresentado.

Erros presentes nos sistemas de medidas são divididos em dois grupos, classificados em erros sistemáticos e erros aleatórios, onde erros sistemáticos são aqueles que estão sempre

na mesma faixa de medidas, podendo ser gerados por distúrbio do sistema, falta de calibração, e erros inerentes à fabricação dos instrumentos (que geralmente são descritos no manual técnico). Já os erros aleatórios são causados por efeitos imprevisíveis, podendo variar em qualquer faixa. As fontes de ambos os erros devem ser investigadas para que os devidos procedimentos sejam tomados, caso coexistirem, as correções devem ser feitas primeiramente nos erros sistemáticos e posteriormente nos erros aleatórios (MORRIS E LANGARI, 2012).

2.4 VALIDAÇÃO

De acordo com a United States Pharmacopeia 24 (2000), validação é o processo que gera uma evidência documentada para um método analítico por meio de estudos laboratoriais, demonstrando se o método é devidamente adequado ao seu propósito. O procedimento de validação fornece documentação de dados de forma objetiva, comprovando que os requisitos específicos para um uso específico previsto sejam cumpridos. Como forma de assegurar a confiabilidade de seus laudos, é de extrema importância que um laboratório utilize métodos validados.

O processo de validação é o que assegura que uma metodologia analítica é exata e poderá ser reproduzida, possuindo também flexibilidade de aplicação em relação a uma faixa específica, e só pode ser confirmado quando se tem conhecimento dos defeitos e pontos positivos do método. Precisão, robustez, polarização, limite de detecção e faixa de trabalho são alguns dos parâmetros de validação que variam conforme o ensaio realizado (*Valid Analytical Measurement*, 2006).

Antes da validação ser efetivada, é necessário verificar se o método já recebeu toda otimização economicamente viável possível, dentro dos limites das condições do local onde a validação será realizada.

A validação é dividida em três partes, onde a primeira diz respeito à análise do problema e definição do que se pretende resolver, a segunda verifica os parâmetros de desempenho do método e a terceira que evidencia que o método é adequado.

O processo de validação é iniciado logo na fase de desenvolvimento, quando alguns dos parâmetros da performance são avaliados para verificar se o método está dentro das especificações requeridas.

2.5 CALIBRAÇÃO

Segundo Morris e Langari (2012), “a calibração consiste em comparar a saída do instrumento ou sensor em teste com a saída de um instrumento de precisão conhecida quando o mesmo valor de entrada é aplicado em ambos os instrumentos”. Para tal procedimento, modifica-se o valor de entrada e o experimento é realizado em diversos valores, que estão dentro da faixa de medidas do instrumento ou sensor. Calibração é o que qualifica um sistema de medida como confiável, verificando sua precisão e garantindo que, nas mesmas condições ambientais e de operação, esse instrumento estará com um valor de saída válido.

Instrumentos de medição estão sujeitos à deterioração por fatores diversos, que vão desde desgaste mecânico, condições climáticas inadequadas, efeitos da poeira e do mal estado do ambiente em que operam, a envelhecimento dos componentes que fazem parte do instrumento. Por esse motivo, Morris e Langari (2012) afirmam a necessidade de haver datas prescritas para recalibração do instrumento, independente se o uso dele for constante ou não, para que o trabalho do mesmo seja sempre monitorado e que não haja imprevistos por conta de erros na operação. As condições onde o instrumento está inserido pode ocasionar a divergência dos dados para uma exatidão maior ou menor e, em ambos os casos, isso precisa ser notificado.

O procedimento de calibração requer que sempre utilizemos aparelhos precisos para tomarmos como referência no processo. No trabalho em questão, o instrumento adotado como referência foi o multímetro digital ET-2940 Minipa – Brymen, mais preciso de toda linha, com precisão básica de 0,02% (MINIPA DO BRASIL LTDA.). Segundo seu manual técnico, o ciclo de calibração recomendado é de um ano, onde o aparelho exibirá uma mensagem de auto diagnóstico, “C_Er”, que será exibida ao ligar o instrumento, significando que algumas faixas poderão estar fora da especificação. Nesse caso, para que não haja leituras enganosas, recomenda-se a suspensão do uso e envio do instrumento para o processo de recalibração.

Para que o ciclo de calibração dos instrumentos seja datado de uma forma correta, é preciso que haja o conhecimento de diversos fatores que envolvem esse sistema. Por exemplo, se um instrumento é utilizado para medir determinada quantidade e possui uma imprecisão aceitável de 2%, e, no instante após a calibração, sua imprecisão está em 1%, esse aparelho pode continuar sendo utilizado, porém, é preciso que essa degradação do desempenho seja considerada, observando-se as condições em que esse instrumento opera, gerando um limite de tempo definido até o período que antecede o rompimento dessa imprecisão, onde deve ocorrer a próxima calibração.

Os fatores que influenciarão a precisão do instrumento variam de acordo com o ambiente em que ele está inserido. Conhecer as características de funcionamento e da composição do instrumento facilitam prever quando o instrumento deve ser recalibrado, mas somente isso não é suficiente. O tipo de instrumento, a sua frequência de uso e as condições ambientais predominantes influenciam fortemente a frequência de calibração necessária, e por tantos fatores envolvidos, é difícil ou mesmo impossível determinar a frequência requerida de recalibração do instrumento a partir de considerações teóricas. Para determinar um período viável para refazer o processo de calibração, é necessário que haja uma experimentação prática e observação desse aparelho.

Um aparelho está descalibrado quando ambos – a medida de referência e o outro instrumento de medição - forem submetidos à mesma entrada e obterem saídas divergentes. Nessa circunstância, dependendo da discrepância, deve haver uma análise em relação ao instrumento para que uma decisão possa ser tomada – podendo ajustar os componentes físicos, o software ou até inutiliza-lo. De acordo com Morris e Langari (2012), seja qual for o sistema e a frequência da calibração, é importante rever isso de tempos em tempos para garantir que o sistema permaneça efetivo e eficiente.

Morris e Langari (2012) afirmam que laboratórios onde calibração não é um trabalho exclusivo, devem destinar não apenas um espaço, mas sim uma sala para realização dos procedimentos, onde o ambiente, temperatura, limpeza, entrada e saída de funcionários devem ter o controle assegurado. Para operar em tais laboratórios, é requerido também um treinamento especificado para os profissionais que atuarão nessa área.

O processo de validação se dá comparando os valores coletados entre ambos os instrumentos, verificando os seus valores de saída.

2.6 LEI DE OHM

Segundo Halliday *et al.* (2011) a lei de Ohm é definida como a afirmação de que a diferença de potencial aplicada a um dispositivo gerará uma corrente que será sempre proporcional à essa tensão aplicada. Mesmo sendo válida somente em algumas situações, continua a ser chamada de “lei”, por conta de alguns motivos históricos.

É válido afirmar que um dispositivo obedece a essa lei caso a sua resistência não depender da polaridade da diferença de potencial aplicada ou do valor absoluto.

Ao medirmos a tensão aplicada em qualquer dispositivo e a corrente i que passará através desse dispositivo, por conta da tensão aplicada, podemos calcular o valor da resistência para essa tensão como

$$R = V/i.$$

2.7 SENSORES

O célere crescimento das aplicações da Internet das Coisas (IoT) – onde dispositivos heterogêneos agem em conjunto para realizar objetivos abrangentes de usuário e serviços (FARRISA *et al.*, 2017) -, resultou em uma cooperação efetiva, onde, dentre os objetos de grande relevância, os sensores se destacam.

Gajjar (2017) define sensores como dispositivos utilizados para converter a atividade física em um sinal elétrico, agindo como a interface entre os sistemas físicos e os dispositivos de computação. De forma sucinta, um sensor reage a determinado estímulo ou alteração física e gera um tipo de sinal ou dados elétricos. Sensores são responsáveis por gerar dados que computadores podem processar. Como exemplo, podemos citar uma máquina de lavar roupas, que possui um sensor que detecta a abertura da tampa e, para que não haja acidentes, ela pausa seu funcionamento nesse movimento; ou um sensor instalado em uma máquina numa fábrica, que, com o manuseio inadequado do aparelho, gera um sinal para um atuador e a máquina suspende sua operação. Caso não houvesse sensores nessas situações, ambos iriam continuar trabalhando normalmente, podendo ocasionar acidentes.

A confiabilidade relacionada aos dados coletados pelos sensores é o que os torna essenciais em variados tipos de processos, pois, sem credibilidade, essas informações não poderiam ser usadas e acabariam sendo descartadas. Os sensores podem apresentar erros devido a diversos fatores (como os já citados no item Calibração), porém esses erros podem ser identificados e reparados através do processo de calibração devidamente aplicado (GAJJAR, 2017).

O sensor utilizado neste trabalho é o sensor de corrente STC-013, do fabricante YHDC, amplamente utilizados para realizar medidas do consumo de energia. Tal sensor, conhecido também como transformador de corrente, realiza medidas de corrente alternada AC e é caracterizado como não invasivo, pois não existe a necessidade de cortar ou desencapar nenhuma parte do fio para que ele seja utilizado.

Figura 2.1 - Sensor de corrente SCT-013



(Fonte: FILIPEFLOP, em 15/06/2017)

O sensor tem seu núcleo dividido e seu funcionamento é por meio de indução. A base sensor SCT-013 é formada por um transformador – que possui um enrolamento primário e um secundário -, de acordo com Creder (2008), O primário é composto por um fio grosso em poucas voltas enrolado e o secundário é composto por um fio de largura fina com muitas voltas. Como é comum em um transformador, o campo magnético produzido no núcleo através da corrente que flui no fio primário ocasiona a indução de uma corrente para o secundário. A forma de quantificar a indução magnética de um campo em um ponto qualquer é feita através da capacidade de induzir força eletromotriz (fem) por meio de um condutor que, no campo magnético, realize deslocamento. Dessa forma, se temos um condutor com 1 metro de comprimento, onde sua velocidade de deslocamento é 1 metro por segundo e a força eletromotriz induzida tem o valor de 1 Volt, o valor da indução magnética é dado por Weber por metro quadrado.

Tabela 2.1 - Dados Técnicos do Sensor:

MODELO	SCT-013-000
Faixa de detecção de entrada	0 – 100A
Faixa de saída	0 – 50mA
Turns ratio	1: 1800
Resistência máxima	10 Ω
Acurácia (%)	$\pm 1\%$
Linearidade	$\pm 3\%$
Rigidez dielétrica	3KV
Resistência ao fogo	UL94 – V0
Temperatura de operação	-25.. +70°C
Material do núcleo	Ferrite
Temperatura de armazenamento	-40.. +85°C
Mudança de fase	$\leq 180'$
Peso	55g

2.8 ARDUINO

Possuindo design de hardware e software *open source*, segundo Monk (2010), o Arduino é um microcontrolador que possui uma plataforma de prototipagem eletrônica, entrada USB para realizar conexão com computadores e uma série de entradas possibilitando conexão de vários eletrônicos, como sensores, motores, relés, etc. Também é chamado como plataforma de computação física ou embarcada, pelo fato utilizar seu sistema de hardware e software para interagir com o ambiente (MCROBERTS, 2011). A forma de alimentação dessa placa pode ser via bateria – de 9V, ou via conexão USB e seu controle pode ser realizado pelo computador, podendo vir a ser programado para operar de forma autônoma.

O objetivo da criação dessa plataforma foi proporcionar o controle de diversos sistemas, com um custo relativamente baixo, moldando-se à necessidade do usuário, podendo ser programado para desenvolver sistemas interativos de forma acessível, onde seus códigos podem ser modificados, adaptados e compartilhados gratuitamente. O Arduino proporciona a

construção de sistemas de envio e recebimento de sinais, operando em conjunto com muitos sistemas eletrônicos, possibilitando a construção de sistemas que coletam dados através de sensores, podendo, por exemplo, monitorar umidade, pressão, temperatura e enviar esses dados remotamente para outro sistema.

O modelo utilizado na seguinte pesquisa é o Arduino Uno, que possui base no ATmega328P – onde todo o restante da placa fica responsável por fornecer energia e realizar a comunicação entre a placa e o computador -, e possui itens necessários para dar suporte ao microcontrolador. Pode ser acionado através de um adaptador ou bateria AC/DC, ou por meio de um cabo USB conectado a um computador. Nessa placa contém:

- 14 pinos de entrada/saída digitais (dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM);
- 6 entradas analógicas;
- Um cristal de quartzo de 16 MHz;
- Uma porta USB;
- Uma entrada para fonte de alimentação;
- Um cabeçalho ICSP²;
- Um botão de reinicialização.

Figura 2.2 - Arduino UNO



(Fonte: ARDUINO, em 17/06/2017, adaptado de Fontes, 2013)

² Componente capaz de realizar a transferência de programas para um elemento, por meio de protocolos seriais, enquanto ele está instalado em um sistema.

2.8.1 Fonte de Alimentação

É responsabilidade desse setor transmitir para a placa a energia que está sendo fornecida por uma fonte de alimentação, onde essa fonte externa pode variar entre 7 V e 16 V, e possuir um valor de corrente mínimo de 300 mA. A fonte realiza a operação de filtrar e regular a tensão de entrada para duas saídas: 5 V e 3,3 V. O papel da fonte de alimentação é fornecer as tensões corretas para que os circuitos e a CPU funcionem, sendo os valores da tensão desejados 5 V e 3,3 V (FONTES, 2013).

2.8.2 Núcleo CPU

O Arduino possui uma CPU, que é o núcleo responsável pelo processamento da placa e atua como um microcontrolador. O Arduino é um computador completo, possuindo memórias RAM e ROM, dispositivos para entrada e saída de dados e capacidade de processamento aritmético. O chip presente nessa placa é o ATmega328, que retêm toda a capacidade de processamento presente na placa, sendo responsável por receber dados externos, processá-los e fornecer sua saída (FONTES, 2013).

2.8.3 Entradas e Saídas

Como já mencionado, o componente responsável pela eletrônica ativa do Arduino é o chip ATmega328, que possui 28 pinos para conexões elétricas, e capacitam o microcontrolador a realizar funções como receber dados e controlar dispositivos externos. Esses 28 pinos, 14 posicionados em cada lateral do chip, recebem as seguintes funções:

- 14 pinos digitais são para a entrada ou saída de dados (sujeitos à programação);
- 6 pinos destinados para entrada analógica ou entrada/saída digital (sujeitos à programação);
- 5 pinos destinados à alimentação;
- 1 pino de reset.
- 2 pinos para conexão do cristal oscilador.

O Arduino possui 14 pinos para entradas digitais e mais 6 pinos analógicos que podem se tornar entradas digitais, através da devida programação. Dessa forma, o Arduino apresenta possibilidade para conter 20 pinos para entradas digitais e, conseqüentemente, 20 saídas digitais.

As entradas digitais são capazes de verificar se um pino está sendo alimentado ou não, apresentando valor 0 V ou 5 V. Já as entradas analógicas têm a capacidade de medir a tensão aplicada à placa e não somente verificar se há ou não tensão – como as entradas digitais fazem. No presente trabalho, usaremos as entradas analógicas (FONTES, 2013).

2.8.4 Área de Desenvolvimento e Estrutura da Linguagem

A *Wiring*, subconjunto de C++, é baseada no *Processing*³, e é a linguagem de programação da placa. O Arduino é programado em C/C++ por conta dessa biblioteca que possui, a *Wiring*, que proporciona a criação de várias operações de entrada e saída, sendo necessário definir apenas duas funções para obter um programa que funcione:

- *Setup ()* – é a função utilizada para realizar a inicialização do programa e da placa, funcionando sempre que ligamos a placa ou a reconfiguramos através do botão;
- *Loop ()* – realiza a execução do programa que foi escrito na placa de forma indefinida, funcionando como a função *main ()*, onde, ao chegar na execução da última linha da função, o programa retorna para a primeira linha da função e reinicia-se, executando o programa em forma de loop até que o botão reset seja acionado ou a placa venha a ser desligada.

Para que o Arduino inicie sua programação, é necessário a instalação de um software – disponibilizado pela plataforma gratuitamente -, e posteriormente a instalação de um IDE, que é a interface gráfica gerada pela placa, onde é realizado o desenvolvimento do programa (FONTES, 2013).

2.9 VARIAC

Segundo Kosow (1995), o VARIAC - autotransformador variável - é um instrumento eletromecânico que possui somente um enrolamento. Ele possui uma bobina variável, e sua entrada funciona recebendo uma tensão AC fixa, quando conectado à rede elétrica, gerando um valor de tensão AC ajustável na sua saída, de acordo com a necessidade do operador. Esse equipamento simula as oscilações provenientes da rede elétrica, e é amplamente utilizado para verificação da reação de certos equipamentos às alterações nos valores da tensão na entrada,

³ Linguagem de programação *open source* utilizada para escrever programas por meio de representação gráfica.

sendo empregado principalmente em laboratórios e na indústria, em ensaios e testes de equipamentos eletroeletrônicos.

A tensão de saída é modificada através do cursor presente do VARIAC, ajustado manualmente, equivalente a um ponto de contato elétrico deslizante, análogo a um potenciômetro, ao longo da bobina do autotransformador, que é ligado à saída, produzindo uma tensão com a capacidade de modificar sua amplitude. Os valores de saída de um VARIAC podem ser até maiores que o valor de entrada fornecido, por conta da configuração do número de voltas nas espiras e a forma que o ajuste manual é realizado no presente instrumento, podendo proporcionar uma tensão maior que a tensão de entrada.

Figura 2.1 - VARIAC utilizado nos testes



Tabela 2.4 – Dados técnicos do VARIAC

Variador de Voltagem Monofásico (JNG)	0,5 kVA - 2A
Capacidade	0,5 kVA
Fases	1
Temperatura Ambiente	-5° ~ + 40°C
Frequência	50/60Hz
Entrada	220Vca ± 10%
Saída	0 – 250Vca ± 10%
Corrente de Saída	2 A
Umidade relativa	25°C até 90%
Dimensões	135C x 130A x 120Lmm
Peso	3,4 kg

2.10 REGRESSÃO LINEAR SIMPLES E CORRELAÇÃO

De acordo com Hines *et al.* (2003), para investigar e modelar a relação entre duas ou mais variáveis, utiliza-se a técnica estatística chamada de análise de regressão, utilizada para modelar, otimizar ou controlar processos que envolvam duas ou mais variáveis relacionadas de forma intrínseca.

2.10.1 Regressão Linear Simples

Hines *et al.* (2003) nos supõe determinarmos a relação entre uma única variável regressora x e uma variável resposta y , onde a variável x é contínua, suscetível a controle por parte do experimentador, e a verdadeira relação entre as variáveis seja uma reta, de forma que x seja uma variável aleatória em cada nível de y . O resultado que se espera de y para cada valor de x é:

$$E(y|x) = \beta_0 + \beta_1 x, \quad (2.1)$$

onde o intercepto de β_0 e a inclinação β_1 são constantes de valores desconhecidos. Hines *et al.* (2003) supõe também que cada observação de y possa ser descrita da seguinte forma

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2.2)$$

onde ε é um erro aleatório e possui média zero e uma variância σ^2 . Vamos supor também que $\{\varepsilon\}$ sejam variáveis que se controlam de forma aleatória e não sejam correlacionadas. O exemplo de regressão da equação 2.2 é definido como modelo de regressão linear simples, que envolve somente uma variável regressora x .

Vamos supor n pares de observações, onde $(y_1, x_1), (y_2, x_2), \dots, (y_n, x_n)$. Tais dados podem ser utilizados para a estimação de parâmetros desconhecidos β_0 e β_1 . Realizaremos o procedimento de estimação de mínimos quadrados. Ou seja, faremos a estimativa de β_0 e β_1 , de forma que a reta de regressão e a soma dos quadrados dos desvios entre as observações e as estimações do modelo linear sejam mínimas. Usando a equação 2.2, podemos dizer que

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.3)$$

cujo a soma dos quadrados dos desvios das observações relacionado à reta verdadeira da regressão é

$$L = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2. \quad (2.4)$$

Vamos tomar $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ como os estimadores de mínimos quadrados de β_0 e β_1 , onde satisfazem:

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta_0} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) = 0, \quad (2.5)$$

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta_1} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) x_i = 0$$

simplificando temos:

$$n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2.6)$$

$$\hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i x_i,$$

As equações 2.6 são denominadas *equações normais* de mínimos quadrados. A solução de tais equações é:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}, \quad (2.7)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i) (\sum_{i=1}^n x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.8)$$

onde $\bar{y} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n y_i$ e $\bar{x} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i$. Dessa forma, as equações 2.7 e 2.8 são os estimadores de mínimos quadrados do intercepto e da inclinação, de forma respectiva. Ajustando o modelo de regressão linear simples é

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x. \quad (2.9)$$

Tratando-se de notação, é correto dar símbolos especiais ao numerador e denominador da equação 2.8. Ou seja, dados:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \quad (2.10)$$

e

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n y_i (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i). \quad (2.11)$$

Denominamos S_{xx} a soma corrigida de quadrados de x , e S_{xy} a soma corrigida de produtos cruzados de x e y . Através dessa nova equação, o estimador de mínimos quadrados da inclinação é

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}. \quad (2.12)$$

2.10.2 Coeficiente de Determinação

Segundo Hines *et al.* (2003), o coeficiente de determinação é dado como

$$R^2 = \frac{SQ_R}{S_{yy}} = 1 - \frac{SQ_E}{S_{yy}} \quad (2.14)$$

onde SQ_R é a soma de quadrados da regressão e SQ_E é a soma de quadrados dos erros, utilizado geralmente para analisar a adequação de um modelo de regressão. Onde $0 \leq R^2 \leq 1$, de tal modo que, caso $R^2 = 1$, a variável independente x é capaz de explicar totalmente a variável dependente y e $R^2 = 0$ indica que o modelo proposto é inadequado para descrever o fenômeno. R^2 é tido como a quantidade de variabilidade nos dados explicada pelo modelo de regressão.

A estatística do coeficiente de determinação deve ser utilizada com cautela pois sempre é possível tornar R^2 unitário somente com a adição de termos suficientes ao modelo.

2.10.3 Correlação

Hines *et al.* (2003) define correlação como a capacidade de medir a associação linear entre duas variáveis aleatórias, onde podemos fazer uso de ferramentas como o diagrama de dispersão - que representa os pares de valores num sistema cartesiano - e coeficiente de correlação, que analisa de forma quantitativa o grau de associação entre duas variáveis.

O coeficiente de correlação – ou coeficiente de Pearson – é dado pela equação

$$r = \frac{n \sum(x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (2.15)$$

onde $-1 \leq r \leq 1$. Quanto mais próximo de -1 , obtém-se uma correlação negativa, quanto mais próximo de 1 , o resultado é uma correlação positiva e quanto mais próximo de 0 , menor a correlação linear.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de obtermos os resultados almejados, foram executadas três etapas de testes, onde a fase I foi feita com aparelhos eletrodomésticos, a fase II foi realizada com a utilização de um RTC (*Real Time Clock*) para obtenção do instante de coleta de cada amostra juntamente com um variador de tensão (VARIAC), e a fase III, que foi realizada nas mesmas condições da fase III, porém com o sensor já calibrado, para validação da calibração.

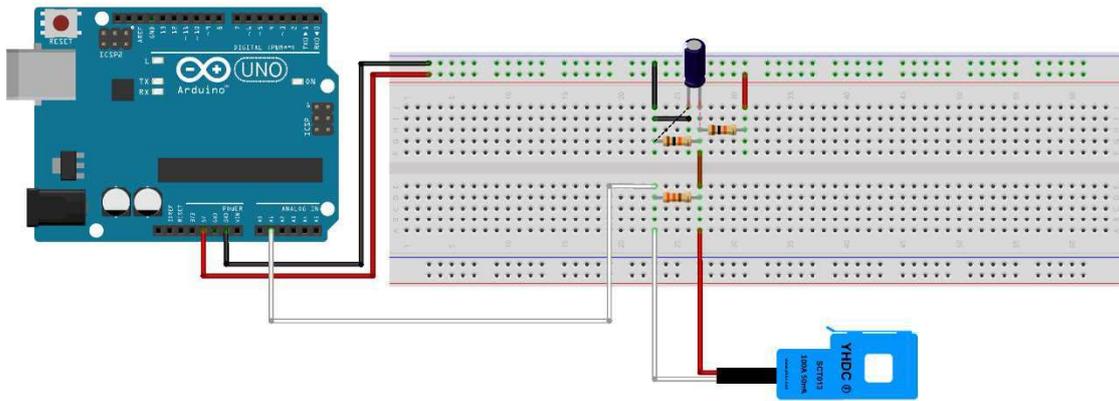
Tabela 3.1 - Materiais utilizados no experimento:

Materiais	Quantidade
Resistor 33Ω	1
Resistor 10kΩ	2
Capacitor 10μF	1
Fio de Jumper	11
RTC	1
Arduino UNO R3	1
Cabo USB para Arduino	1
Protoboard	1
Sensor SCT-013	1
Multímetro Digital	1
Secador de Cabelos	1
Prancha Alisadora de Cabelos	1
<i>Babyliss</i>	1
VARIAC	1
Extensão elétrica (40cm)	1

O protótipo utilizado no processo de validação do sensor foi montado utilizando um Arduino, juntamente com um sensor SCT-013 *clip-on*, que foram conectados através de uma protoboard, que continha também 3 resistores e um capacitor, como mostrado na figura 3.1. O

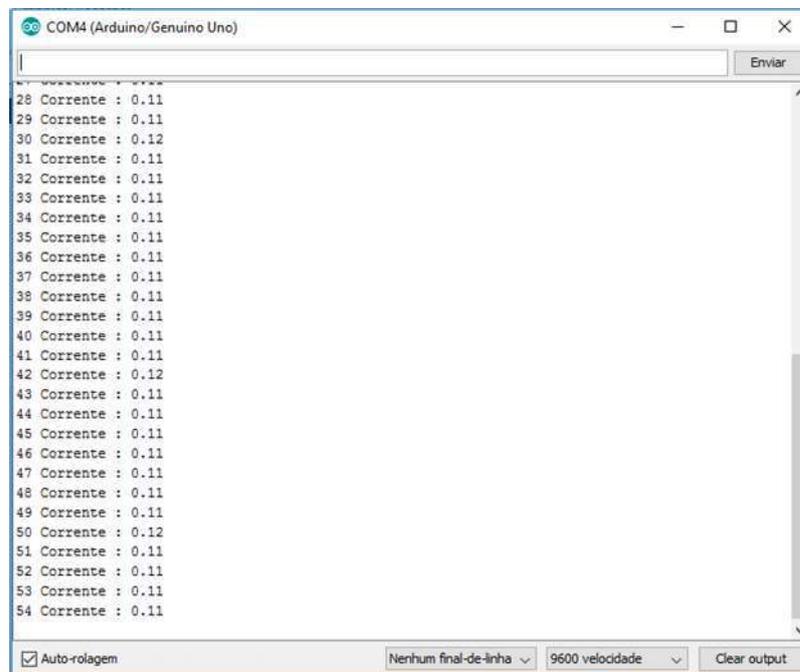
código foi escrito em linguagem C, apresentado no anexo I, e é responsável por receber os valores de corrente através do sensor e reproduzi-los em uma janela, juntamente com o valor da quantidade de amostras, conforme figura 3.2.

Figura 3.1 - Protótipo do Sensor.



(Adaptado de Thomsen, 2015)

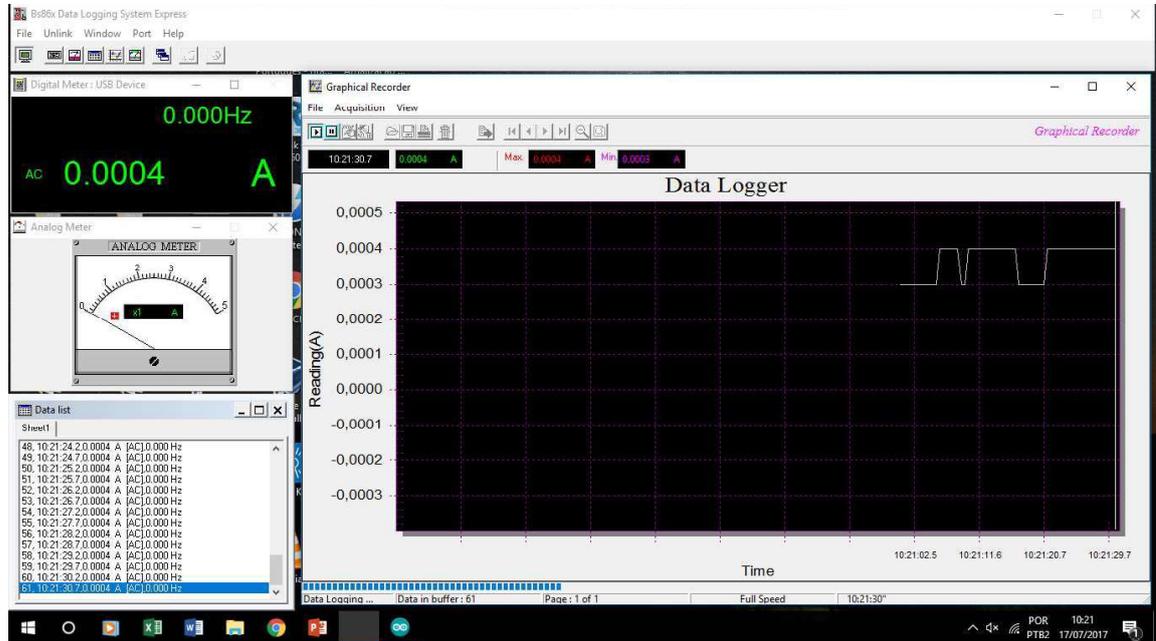
Figura 3.2 - Interface gráfica gerada pelo Arduino.



Como parâmetro de medida, tínhamos um multímetro digital ET-2940 Minipa - Brymen, que foi conectado em série com os aparelhos testados. O multímetro veio com um cabo USB e um software próprio que facilitou a coleta de dados. A plataforma disponibiliza

dados como corrente, horário da coleta de cada dado, quantidade de dados coletados e os disponibiliza em uma interface gráfica, mostrada na figura 3.3.

Figura 3.3 - Interface gráfica do Multímetro



3.1 TESTES - ETAPA I

Para testes iniciais, fizemos uso de aparelhos eletrodomésticos, para que houvesse um primeiro contato e familiarização com a metodologia. Foram escolhidos aparelhos que apresentassem uma diferença no valor de potência, para uma melhor visualização de resultados. Utilizamos um *babyliiss* da marca NKS, modelo TS-996, de 35W, que possuía um botão de ajuste manual para temperatura, mas para os testes o utilizamos sempre na temperatura mais alta; um secador da marca Mondial, no modelo de escova rotatória, com potência de 1000W, com 3 estágios, sendo um somente de ventilação e dois com temperaturas diferentes; e uma prancha alisadora de cabelos da marca Conair, de modelo SS2DBR, de 25W, possuindo apenas um botão de liga e desliga, sem a possibilidade de ajuste manual da temperatura (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Aparelhos Eletrodomésticos utilizados – (1) *Babyliss*, (2) secador e (3) prancha alisadora de cabelos.



Os testes eram realizados da seguinte forma: por serem aparelhos que continham características resistivas, eles apresentavam um pico no início, por conta da carga maior que o aparelho necessitava para esquentar até ficar na temperatura desejável para uso, então era esperado a corrente estabilizar e, a partir disso, adquirimos os dados, no mínimo 100 amostras, e repetimos o teste 5 vezes, para cada aparelho/modo.

O primeiro teste foi realizado utilizando o *babyliss* e, ao realizar a comparação com os dados coletados simultaneamente pelo sensor e pelo multímetro, foi observado uma defasagem em relação aos dois gráficos por conta do atraso do sensor em relação ao multímetro, pois, enquanto o multímetro coletava aproximadamente 2,5 dados por segundo, o sensor coletava 1. Atribuímos essa defasagem também ao fato de acionarmos ambos manualmente, causando assim uma diferença no momento de início de coleta.

Como a grandeza aqui observada é corrente, dada pela quantidade de carga em relação ao tempo, teríamos a necessidade de saber o horário de cada dado coletado, para posteriormente fazermos uma comparação dentro desses parâmetros. O Arduino, juntamente com o sensor, não fornece os horários. Fez-se necessário então acoplar um RTC para aprimorar a validação.

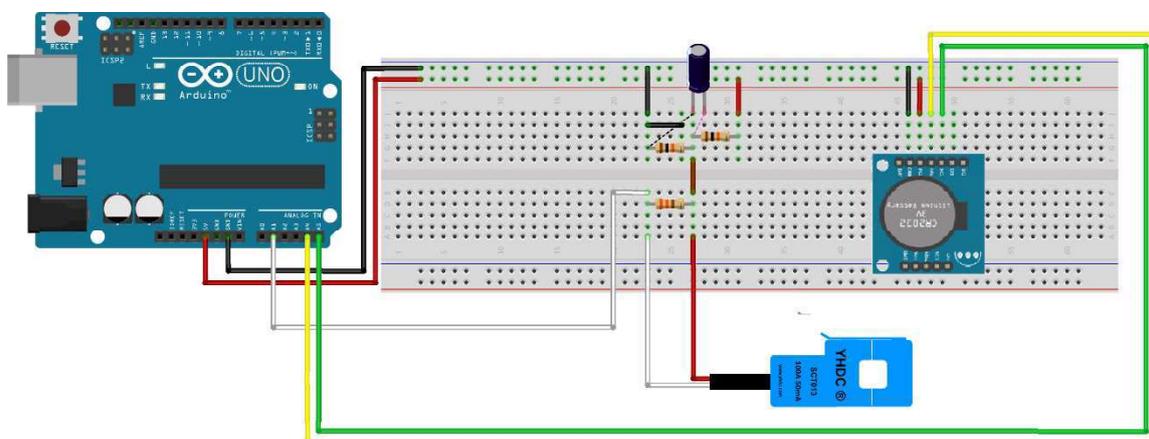
Nessa fase do projeto, os testes iniciais já estavam quase concluídos. Foram testados o *babyliss* e o secador, em seus três modos de funcionamento e a prancha alisadora, em um modo de funcionamento. Depois da constatação da necessidade do RTC, continuamos com os testes até o final do primeiro ciclo para fins de observação. Sem a presença do RTC, a

comparação entre os dados do sensor e multímetro foi realizada a partir da análise do estado estacionário de ambos os gráficos, fazendo uso dessa faixa para haver uma maior aproximação em relação ao horário das medidas.

3.2 TESTES – ETAPA II

Nessa fase do projeto acrescentamos ao protótipo um RTC, que nos proporcionará a visualização do horário da coleta de dados (Figura 3.8).

Figura 3.8 - Protótipo do Arduino utilizando RTC



Na fase I, fizemos a análise com base em 100 dados coletados pelo Arduino e 100 dados coletados pelo multímetro – tiramos a média e fizemos uma comparação entre eles. Na fase II não funcionará dessa forma pelo fato de o multímetro coletar aproximadamente 2,5 dados por segundo, enquanto o sensor coleta 1 dado por segundo. Não podemos pegar a faixa de 100 dados de cada um, pois isso não representaria a mesma faixa de medidas. Faremos então a comparação entre os dados na mesma faixa de tempo, onde as amostras coletadas têm início e fim em horários iguais, resultando na coleta de 100 dados do sensor e 252 do multímetro.

Nessa etapa, utilizamos um aparelho profissional, um variador de tensão monofásico 0.5 kVA (2 amp - 220 VCA) (VARIAC), que é utilizado industrialmente para observar o comportamento de aparelhos diante de vários valores de entrada, simulando oscilações na rede. Para correta utilização do variador, é necessário utilizar uma resistência e, para essa finalidade, utilizamos o secador, em seu modo intermediário de temperatura, pois ele não apresenta um pico de carga para inicialização, já operando de forma estável desde o momento de sua ligação. O sistema foi montado da seguinte forma: na entrada do variador, foi conectado um fio para

receber a tensão da rede (127 V), e na saída foi conectado o fio no qual a resistência foi ligada. O multímetro foi conectado em série no fio de saída. O sensor também foi conectado no fio de saída, mas somente em um dos canais que formam o fio pois, caso acoplado em volta dos dois, o valor dado pelo sensor seria nulo.

A coleta de amostras foi realizada como na fase anterior, mas agora, em vez de vários aparelhos e poucos pontos relacionados a valores de tensão, teremos apenas uma resistência conectada – secador de cabelos – e vários pontos de tensão, que vão de 20 V a 120 V, variando de 10 V em 10 V, contabilizando 11 pontos.

Em cada ponto, foi realizado 3 rodadas de teste, coletando, em cada uma, 100 dados do sensor e 252 do multímetro – que dizem respeito a mesma faixa de tempo. O ajuste do VARIAC é feito manualmente, e a visualização dos valores exatos de tensão é imprecisa. Dessa forma, depois do primeiro teste em um ponto, o valor da tensão no segundo e terceiro teste era determinado de acordo com o multímetro, analisando o valor da corrente no primeiro teste e ajustando o VARIAC para liberar a tensão de acordo com tal valor de corrente.

Finalizados os testes, foi feita a regressão linear, utilizando o Excel, onde foi gerada uma equação da reta - com o multímetro no eixo X, independente, e o sensor no eixo Y -, que foi utilizada na etapa posterior, para validação do sensor.

3.4 TESTES – ETAPA III

Nessa última fase, tomamos a equação da reta gerada pela segunda etapa, equacionamos, isolando o X e a inserimos no código (Anexo I), onde ela equaciona juntamente com o valor coletado pelo sensor, na tentativa de aproximar o valor lido pelo sensor do valor da referência utilizada. Dessa forma, o valor que o Arduino mostra em sua interface já está modificado para tornar o valor dos dados semelhantes.

Após a modificação do código, os testes foram refeitos da mesma forma como da etapa II, e depois foi realizada a regressão linear. Dessa vez houve a inversão dos eixos, onde o sensor ficou no eixo X independente e o multímetro no Y, dependente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

FASE I

Na primeira etapa foi verificado a necessidade do uso de um RTC para melhor comparação dos dados, pois, apesar de comportamento semelhante, havia uma defasagem entre os gráficos do sensor e multímetro, por conta da quantidade de dados a mais gerados pelo instrumento de referência.

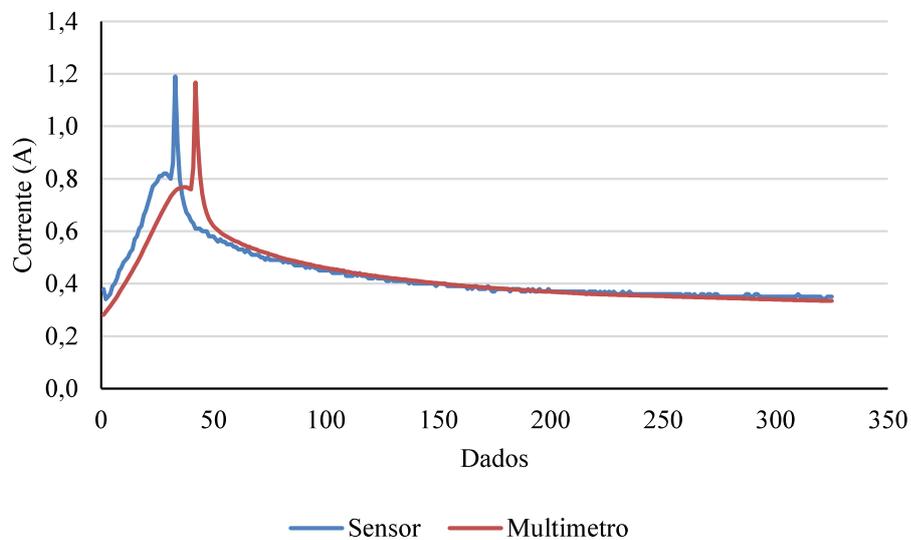


Gráfico 1 - Babyliiss

Mesmo sem o tempo exato de cada instante da coleta de dados do sensor, essa fase de teste foi concluída e sua análise foi feita baseada nos dados coletados durante faixa estável do comportamento do aparelho, gerando a regressão abaixo. Os valores do coeficiente angular e coeficiente linear estão próximos ao que seria satisfatório para o experimento, 1 e 0 respectivamente, e o coeficiente de determinação $R^2 = 1$, indicando que há um bom ajuste na linha de regressão. O coeficiente de correlação $r = 0,9999$, o que indica forte correlação positiva entre as variáveis. Os testes realizados na Fase I geraram familiaridade com a metodologia e expuseram a necessidade de um componente para monitorar o tempo.

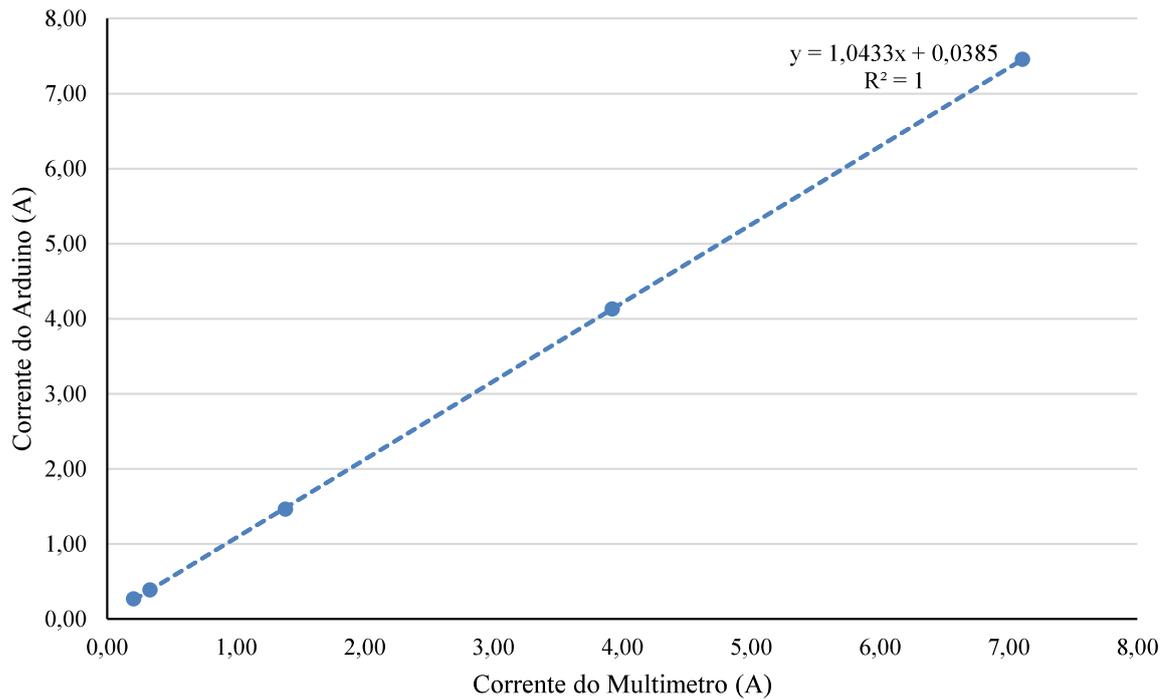


Gráfico 2 - FASE I

FASE II

Nesta fase, onde o sistema já estava atuando com o RTC, foram coletados 11 pontos para validação do sensor. O multímetro, como medida de referência, fazia parte do eixo da variável independente X e o sensor do eixo da variável dependente Y. O objetivo dessa fase era a geração de uma equação da reta que seria inserida no código, para validação do sensor. O resultado é expresso no gráfico abaixo.

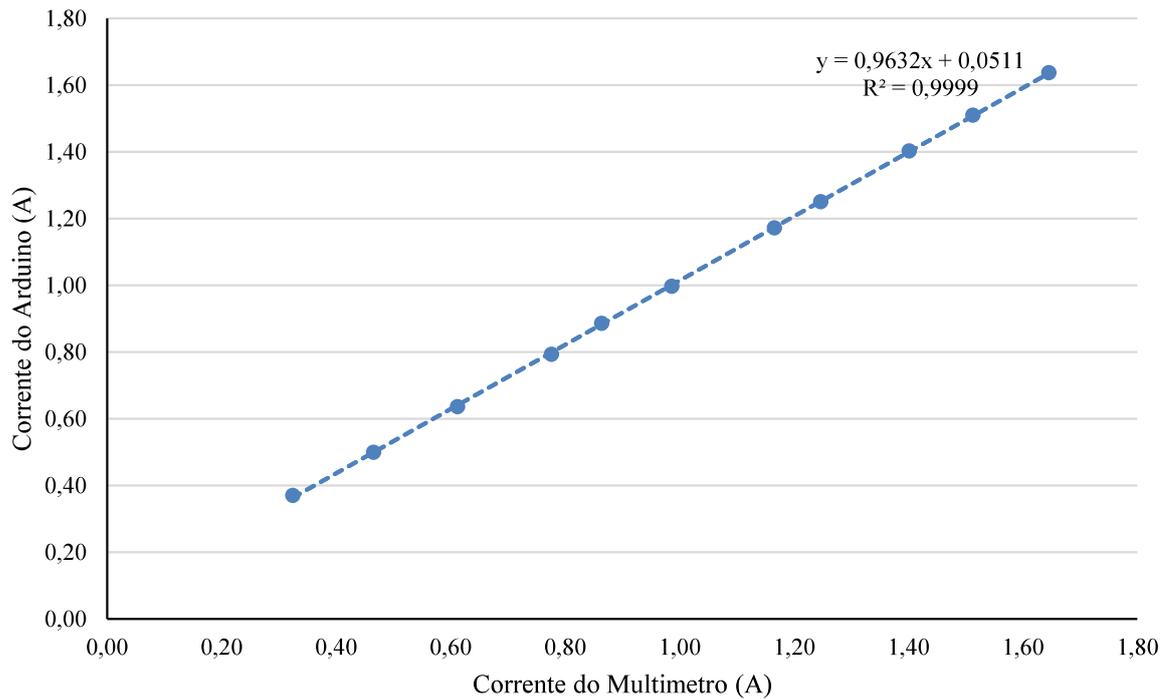


Gráfico 3 - FASE II

Os valores dos coeficientes angular e linear, estão próximos aos valores desejados, 1 e 0, respectivamente, indicando que o sensor não apresenta problemas que inviabilizem seu uso, mas precisa ser calibrado. O valor do coeficiente de determinação $R^2 = 0,9999$, indicando que há um bom ajuste na reta de regressão. O coeficiente de correlação $r = 0,9999$, indica forte correlação positiva entre as variáveis.

Os valores de entrada, mesmo com a utilização de um variador de ajuste manual, oscilam automaticamente, de forma discreta.

Na entrada no valor de 60V, por conta do motor, o aparelho utilizado como resistência aquecia muito e, por não estar operando em seu modo indicado de entrada (120V), ocorria a queda de tensão. Então era aguardado um certo tempo para o aparelho voltar à temperatura ambiente, e refazíamos os testes. Nas outras faixas de entrada, não houve quedas de tensão.

FASE III

A fase final de testes foi realizada já com o código modificado, utilizando a equação gerada pela regressão linear da fase anterior, e o objetivo era obter, através da regressão linear

com os dados dessa fase de testes, um coeficiente angular mais próximo de 1 possível e um coeficiente linear mais próximo de 0 possível. A equação obtida na fase III foi:

$$y = 0,9632x + 0,0511,$$

onde x representa o multímetro e y representa o sensor. Isolando x (invertendo a função), obtemos:

$$x = 1,0382y - 0,0531.$$

Essa foi a equação inserida no código para fazer com que as leituras no sensor se apresentassem calibradas em relação aos valores do instrumento de referência, no caso, o multímetro. Isso traria menos disparidade entre os valores obtidos pela referência e sensor, dando maior credibilidade aos dados coletados e o sensor poderia ser utilizado de forma segura. O resultado é dado no gráfico a seguir.

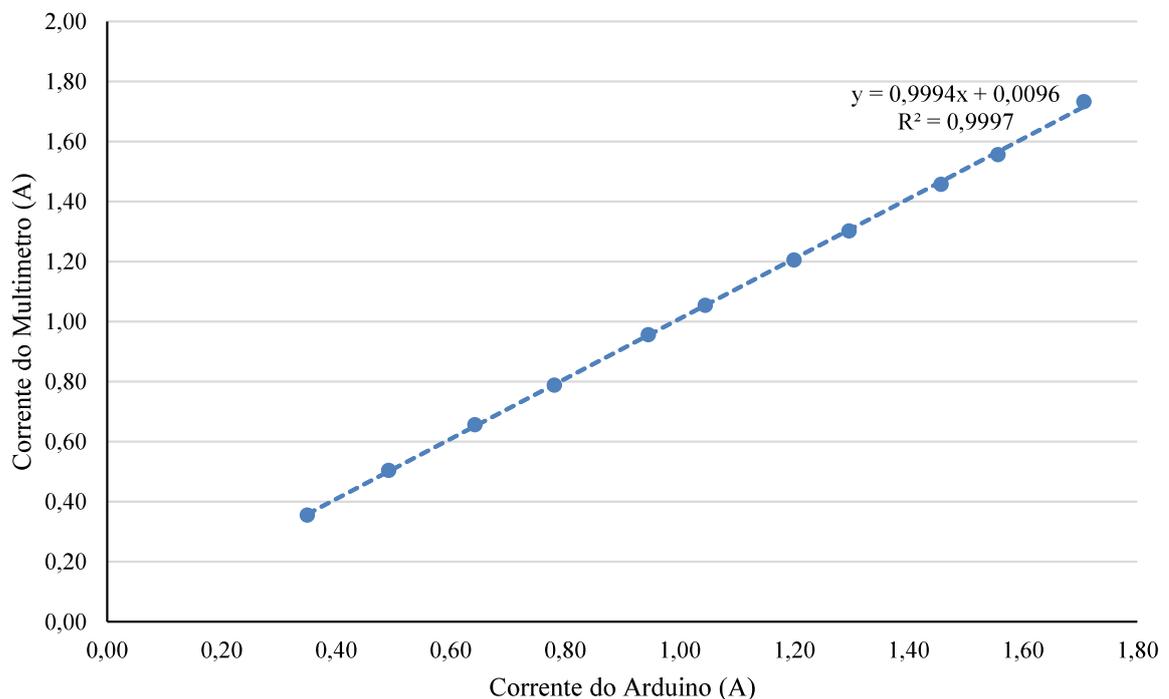


Gráfico 4 - FASE III

O gráfico nos mostra o ajuste da reta aos pontos, onde o coeficiente de determinação R^2 é muito próximo de 1, comprovando quantitativamente a qualidade de ajuste da reta aos pontos, indicando que os valores coletados pelo sensor estão muito próximos aos valores

coletados pela referência. O coeficiente de correlação adquirido é $r = 0,9998$, outro dado quantitativo que indica a correlação linear positiva entre os dados. O coeficiente angular $\hat{\beta}_1 = 0,9994$, e o coeficiente linear $\hat{\beta}_0 = 0,0096$, após a validação, estão muito próximos dos valores esperados, 1 e 0, respectivamente, tornando assim o objetivo do trabalho alcançado e validando o uso do sensor.

5 CONCLUSÃO

A validação de instrumentos é hoje uma ferramenta de fundamental importância nos sistemas de medida em geral, proporcionando confiabilidade nos processos de medida, produção, ensaio de materiais e produtos, resultando na capacidade de reprodutibilidade de tais procedimentos.

O trabalho em questão se propôs a realizar o processo de validação de um sensor de corrente do modelo STC-013, tendo como referência um multímetro digital ET-2940. Foram utilizados um variador de tensão monofásico (VARIAC) - para obtenção de diferentes valores de entrada -, e uma resistência constante, variando conseqüentemente a corrente, gerando dados distintos a serem utilizadas na regressão.

Utilizamos a metodologia de validação que consiste em realizar uma rodada de testes, montar uma regressão linear e, com a equação da reta gerada por essa regressão, recalcular o valor da corrente coletada pelo sensor através do código. Tal metodologia se mostrou eficiente, pois, de acordo com os coeficientes de determinação (R^2) e correlação linear (r), ferramentas que realizam uma análise quantitativa, os dados coletados por ambos os instrumentos se adequam à reta de forma positiva e apresentam grande correlação, onde $y \cong x$, indicando que os valores obtidos pelo sensor estão muito próximos do instrumento de referência, o que torna o sensor utilizável e credita a coleta dos dados obtidos por ele.

O trabalho foi realizado utilizando baixas entradas de tensão (de 20V a 120V), sendo observada uma discrepância maior entre os dados coletados pelos instrumentos na entrada de 120V. Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante a verificação do funcionamento do sensor em aparelhos mais potentes, para investigação do seu comportamento.

6 REFERÊNCIAS

AMARAL, C. E. F., **Instrumentação Industrial**. Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Curitiba – PR. Disponível em <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/camaral> Acesso em 19 de setembro de 2017.

ANTON, H., BIVENS, I., DAVIS, S., **Cálculo – Volume II**. 8ª Edição. Bookman, 2011.

CASSANO, D., **Credenciamento: solução para quem usa ou oferece serviços de ensaio e calibração**, Metrologia & Instrumentação, Editora Banas, outubro, 2003.

CREDER, HÉLIO. **Instalações Elétricas**. 15ª ed. Editora S.A., Rio de Janeiro 2008.

ELBERT, C. **Calibration Technology - Basics, reference instruments for pressure and temperature, professional calibration**. Süddeutscher Verlag, 2012.

FARRIS, I., ORSINO, A., MILITANO, L., IERAA, A., ARANITI, G., **Federated IoT Services Leveraging 5G Technologies at the Edge**. 2017.

FONTES, M. J. DE CARVALHO, **Automação De Sensores De Corrente Elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia da Computação, Centro Universitário de Brasília - UniCEUB. Brasília, 2013.

GAJJAR, MANISH J., **Mobile Sensors and Context – Aware Computing**. Cambridge, USA, Elsevier, 2017. University Mediterranea of Reggio Calabria, Italy.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J., **Fundamentos de Física – Eletromagnetismo**. 9ª Edição. LTC, 2011.

HINES, WILLIAM W., MONTGOMERY, DOUGLAS C., GOLDSMAN, DAVID M., BORROR, CONNIE M., **Probabilidade e Estatística na Engenharia**. 4ª Edição. LCT, 2003.

In-House Method Validation - A guide for Chemical Laboratories. LGC / VAM, 2003. Disponível em <https://www.lgcgroup.com/LGCGroup/media/PDFs/Our%20science/posters/Introduction-to-method-validation.pdf>> Acesso em 28 de novembro de 2017.

INMETRO – Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo. Disponível em <http://www.ipem.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=363&Itemid=289> Acesso em 20 de setembro de 2017.

KOSOW, I. I., **Máquinas Elétricas e Transformadores**. Globo, 1995.

MCROBERTS, MICHAEL. **Basic Arduino**. Novatec, 2011.

MINIPA DO BRASIL LTDA. **PROPOSTA TÉCNICA**. Disponível em <http://www.minipa.com.br/images/proposta_tecnica/ET-2940-1301-BR.pdf> Acesso em 25 de setembro de 2017.

MONK, SIMON. **30 Arduino Projects For The Evil Genius**. McGraw-Hill, 2010.

MORRIS, A. S.; LANGARI, R., **Measurement and Instrumentation - Theory and Application**, California, USA, Elsevier, 2012.

NUSSENZVEIG, H. M., **Curso de Física Básica, 1: Mecânica**. 5. Ed. São Paulo, Bluncher, 2013.

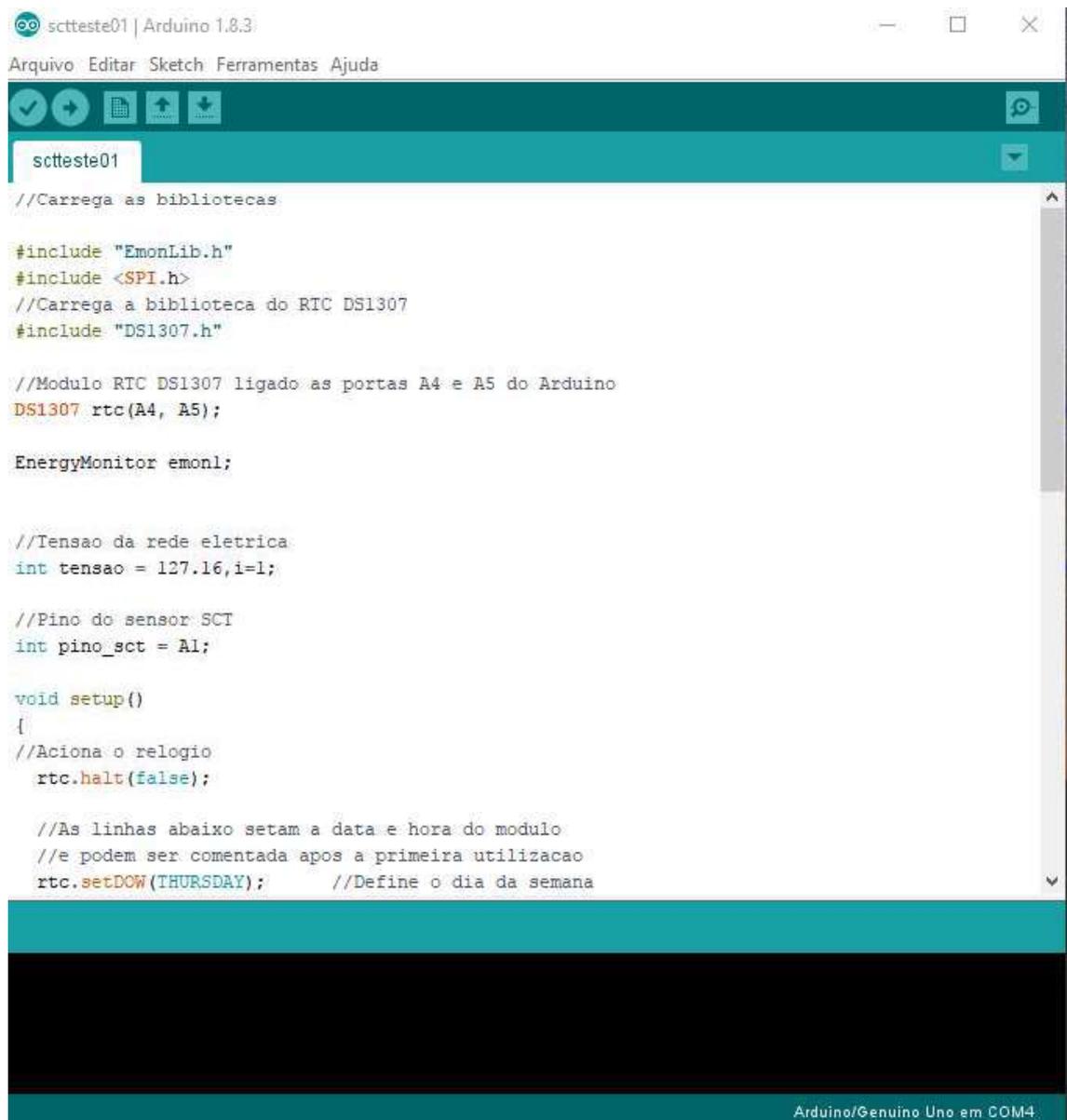
SANTOS, L., MAINIER, F. B., **A Evolução do Sistema de Gestão da Qualidade em Laboratórios de Ensaio e Calibração e a Sua Importância Para As Relações Comerciais**, VI CONGRESSO NACIONALDE EXCELÊNCIA EM GESTÃO: Energia, Inovação, Tecnologia e Complexidade para a Gestão Sustentável. Niterói, RJ, Brasil, 5, 6 e 7 de agosto de 2010.

United States Pharmacopeial 24 - USP; 25 ed. 2000.

ANEXO I

O Arduino é uma ferramenta que trabalha com o seguimento *open source*, dessa forma, o usuário pode programar a placa de acordo com seu interesse, e seus códigos são disponibilizados de forma gratuita a todos os usuários da plataforma. O código utilizado foi disponibilizado pela *Open Energy Monitor* (<https://openenergymonitor.org/>), empresa que também trabalha tanto com a parte de hardware como a parte de software de forma aberta, garantindo ao usuário a utilização dos sistemas da forma como lhe for conveniente. O código utilizado neste trabalho foi utilizado para fins de pesquisa e coleta de dados.

Figura A1.1 - Código Arduino – parte 1



```
sctteste01 | Arduino 1.8.3
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

sctteste01

//Carrega as bibliotecas

#include "EmonLib.h"
#include <SPI.h>
//Carrega a biblioteca do RTC DS1307
#include "DS1307.h"

//Modulo RTC DS1307 ligado as portas A4 e A5 do Arduino
DS1307 rtc(A4, A5);

EnergyMonitor emon1;

//Tensao da rede eletrica
int tensao = 127.16,i=1;

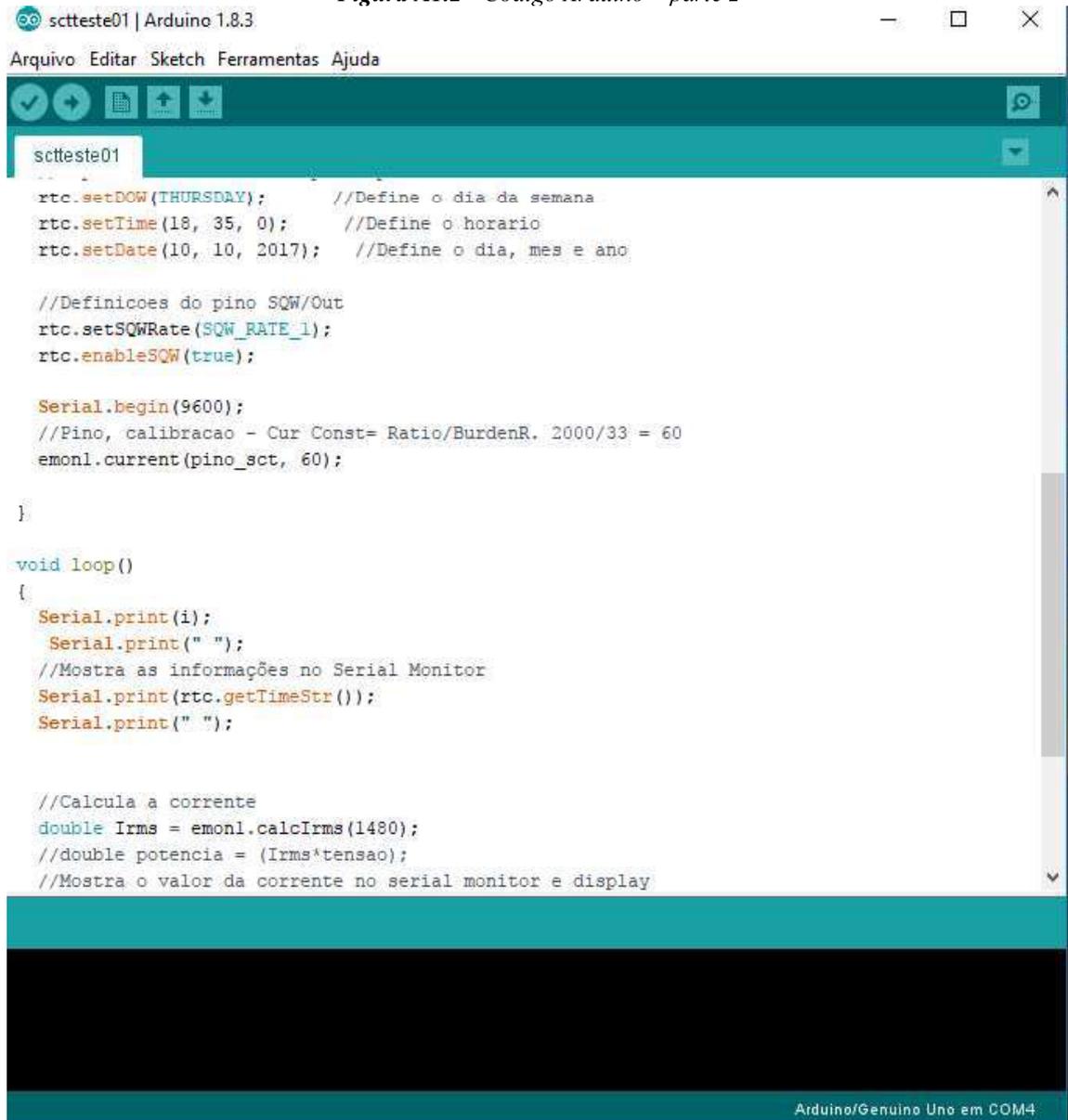
//Pino do sensor SCT
int pino_sct = A1;

void setup()
{
//Aciona o relógio
  rtc.halt(false);

//As linhas abaixo setam a data e hora do modulo
//e podem ser comentada apos a primeira utilizacao
  rtc.setDOW(THURSDAY); //Define o dia da semana

Arduíno/Genuíno Uno em COM4
```

Figura A1.2 - Código Arduino – parte 2



```
sctteste01 | Arduino 1.8.3
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

sctteste01
rtc.setDOW(THURSDAY); //Define o dia da semana
rtc.setTime(18, 35, 0); //Define o horario
rtc.setDate(10, 10, 2017); //Define o dia, mes e ano

//Definicoes do pino SQW/Out
rtc.setSQWRate(SQW_RATE_1);
rtc.enableSQW(true);

Serial.begin(9600);
//Pino, calibracao - Cur Const= Ratio/BurdenR. 2000/33 = 60
emon1.current(pino_sct, 60);

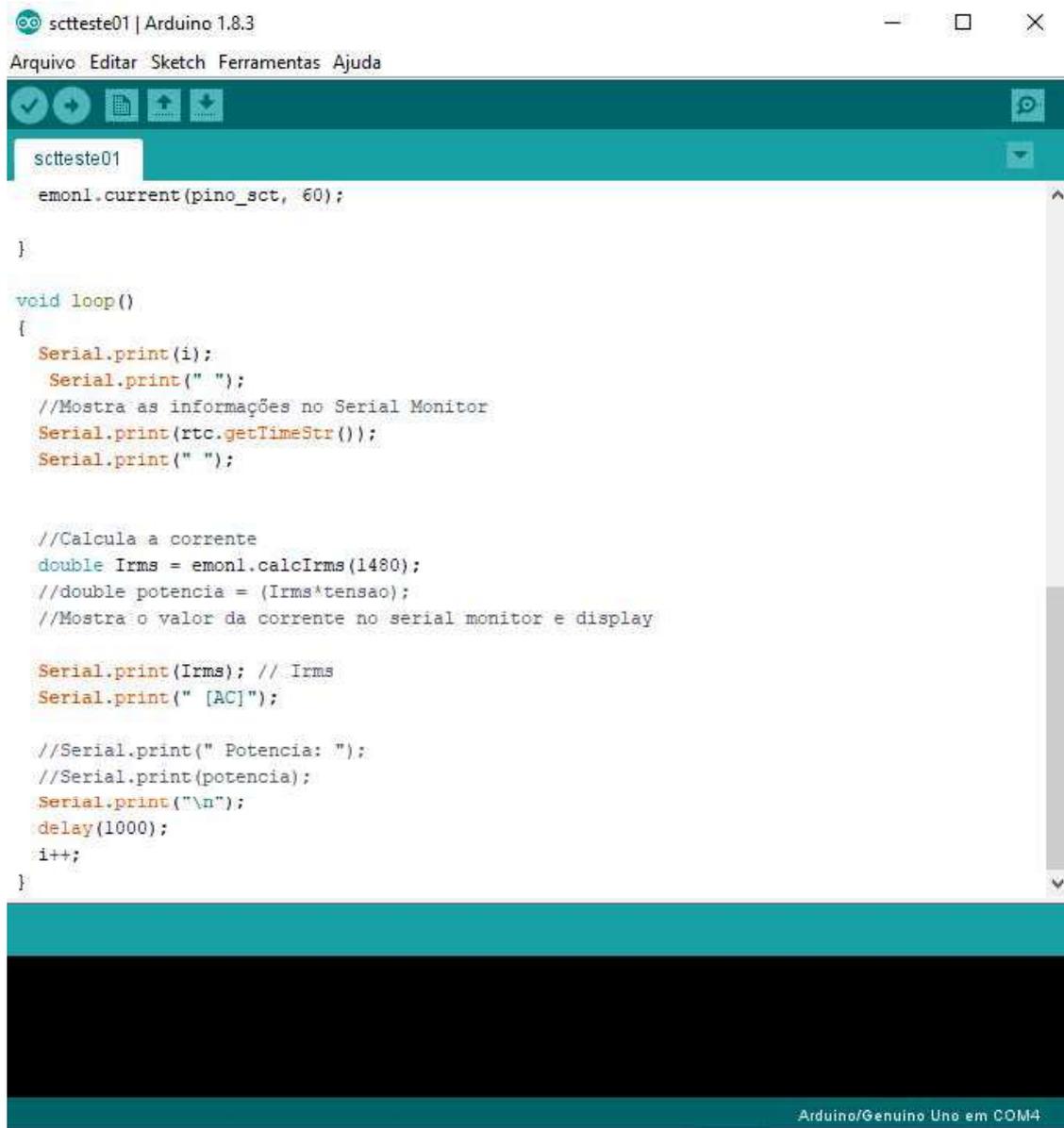
}

void loop()
{
  Serial.print(i);
  Serial.print(" ");
  //Mostra as informações no Serial Monitor
  Serial.print(rtc.getTimeStr());
  Serial.print(" ");

  //Calcula a corrente
  double Irms = emon1.calcIrms(1480);
  //double potencia = (Irms*tensao);
  //Mostra o valor da corrente no serial monitor e display

}

Arduino/Genuino Uno em COM4
```

Figura A1.3 - Código Arduino – parte 3

```
sccteste01 | Arduino 1.8.3
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

sccteste01
emonl.current(pino_sct, 60);

}

void loop()
{
  Serial.print(i);
  Serial.print(" ");
  //Mostra as informações no Serial Monitor
  Serial.print(rtc.getTimeStr());
  Serial.print(" ");

  //Calcula a corrente
  double Irms = emonl.calcIrms(1480);
  //double potencia = (Irms*tensao);
  //Mostra o valor da corrente no serial monitor e display

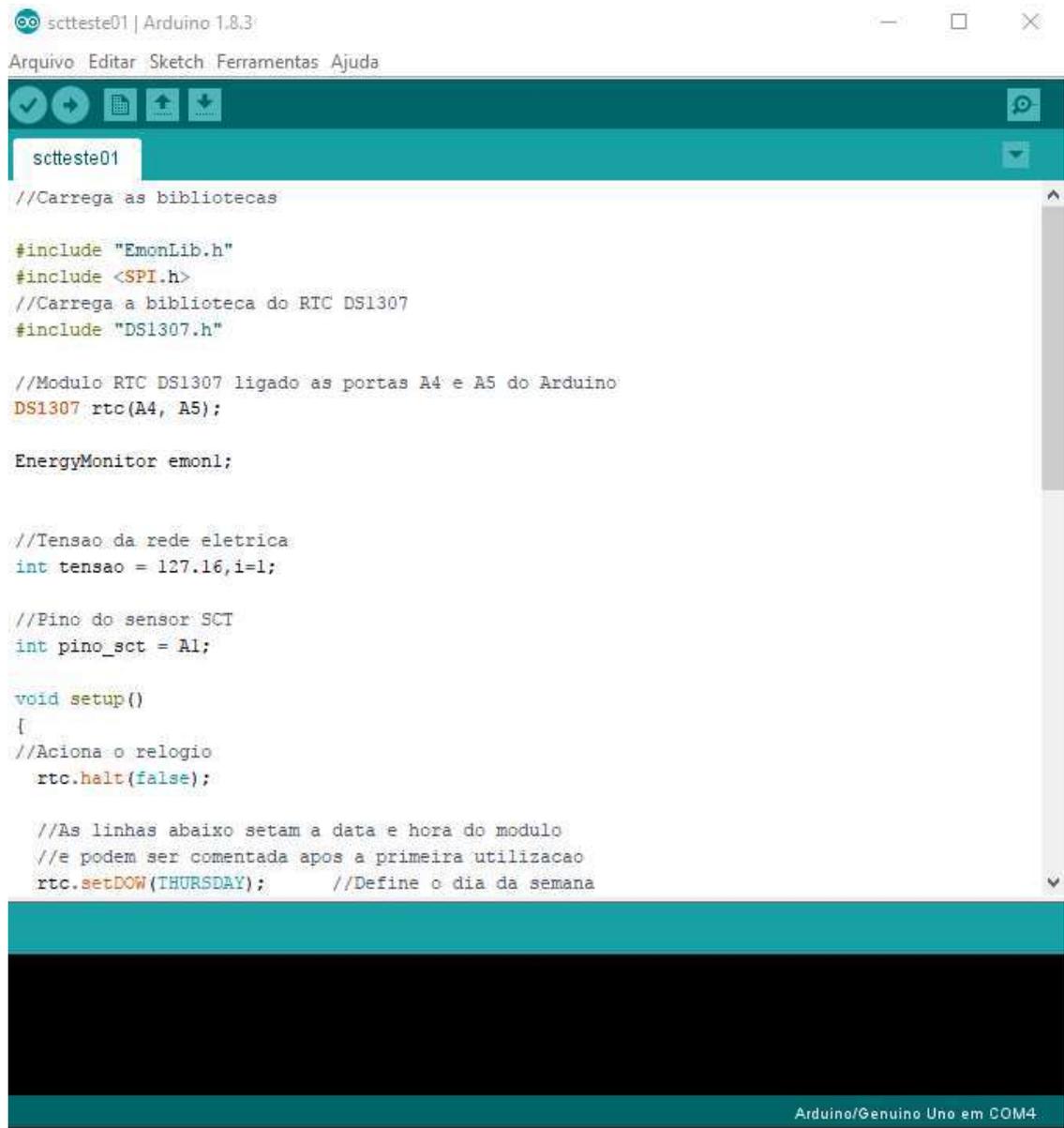
  Serial.print(Irms); // Irms
  Serial.print(" [AC]");

  //Serial.print(" Potencia: ");
  //Serial.print(potencia);
  Serial.print("\n");
  delay(1000);
  i++;
}

Arduino/Genuíno Uno em COM4
```

A metodologia empregada exigiu uma mudança no código, como já explicado na FASE IV dos testes.

Figura A1.4 - Código Arduino Modificado – parte 1



The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "sctteste01 | Arduino 1.8.3". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains icons for saving, undo, redo, and uploading. The main editor area shows the following code:

```
//Carrega as bibliotecas

#include "EmonLib.h"
#include <SPI.h>
//Carrega a biblioteca do RTC DS1307
#include "DS1307.h"

//Modulo RTC DS1307 ligado as portas A4 e A5 do Arduino
DS1307 rtc(A4, A5);

EnergyMonitor emon1;

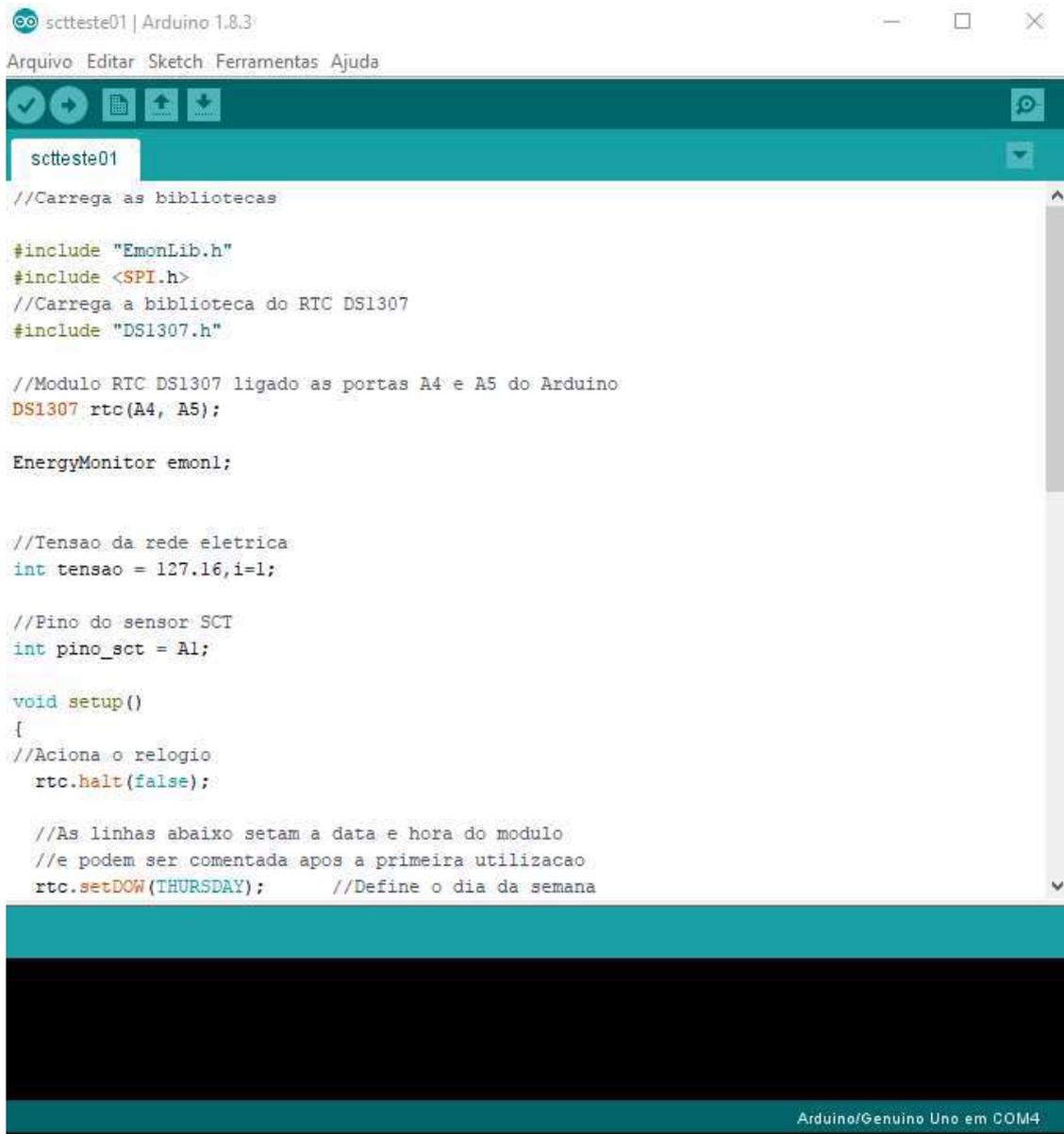
//Tensao da rede eletrica
int tensao = 127.16,i=1;

//Pino do sensor SCT
int pino_sct = A1;

void setup()
{
//Aciona o relógio
  rtc.halt(false);

  //As linhas abaixo setam a data e hora do modulo
  //e podem ser comentada apos a primeira utilizacao
  rtc.setDOW(THURSDAY); //Define o dia da semana
```

The status bar at the bottom right indicates "Arduino/Genuino Uno em COM4".

Figura A1.5 - Código Arduino Modificado – parte 2

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "sctteste01 | Arduino 1.8.3". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains icons for saving, running, and uploading. The main editor area shows the following code:

```
sctteste01
//Carrega as bibliotecas

#include "EmonLib.h"
#include <SPI.h>
//Carrega a biblioteca do RTC DS1307
#include "DS1307.h"

//Modulo RTC DS1307 ligado as portas A4 e A5 do Arduino
DS1307 rtc(A4, A5);

EnergyMonitor emon1;

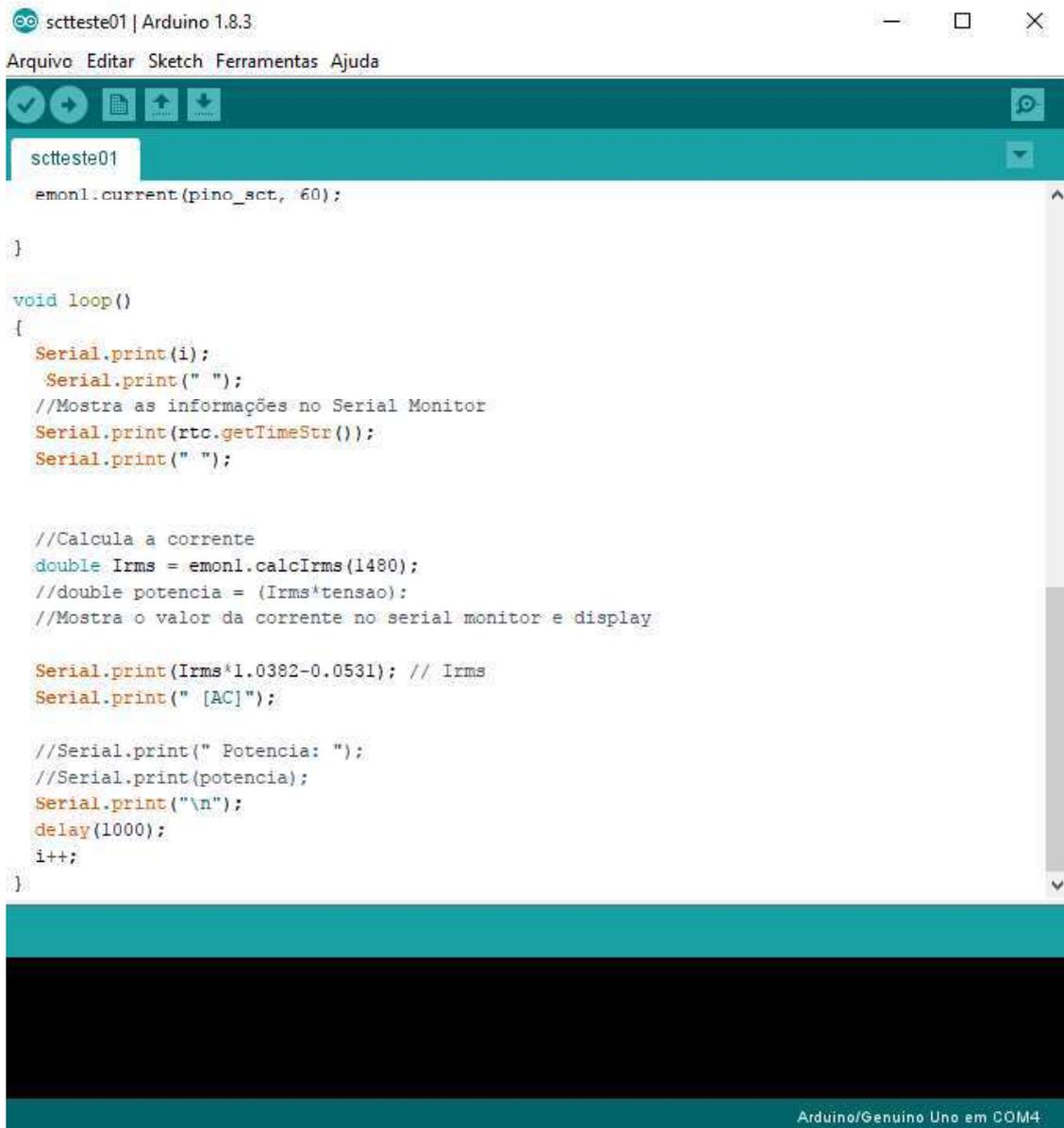
//Tensao da rede eletrica
int tensao = 127.16, i=1;

//Pino do sensor SCT
int pino_sct = A1;

void setup()
{
//Aciona o relógio
  rtc.halt(false);

//As linhas abaixo setam a data e hora do modulo
//e podem ser comentada apos a primeira utilizacao
  rtc.setDOW(THURSDAY); //Define o dia da semana
```

At the bottom right of the IDE, the text "Arduino/Genuino Uno em COM4" is visible.

Figura A1.6 - Código Arduino Modificado – parte 3

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "sctteste01 | Arduino 1.8.3". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains icons for check, run, upload, and download. The file name "sctteste01" is shown in the editor's title bar. The code in the editor is as follows:

```
emowl.current(pino_sct, 60);

}

void loop()
{
  Serial.print(i);
  Serial.print(" ");
  //Mostra as informações no Serial Monitor
  Serial.print(rtc.getTimeStr());
  Serial.print(" ");

  //Calcula a corrente
  double Irms = emowl.calcIrms(1480);
  //double potencia = (Irms*tensao);
  //Mostra o valor da corrente no serial monitor e display

  Serial.print(Irms*1.0382-0.0531); // Irms
  Serial.print(" [AC]");

  //Serial.print(" Potencia: ");
  //Serial.print(potencia);
  Serial.print("\n");
  delay(1000);
  i++;
}
```

At the bottom right of the IDE, the text "Arduino/Genuino Uno em COM4" is visible.

ANEXO II

MANUAL TÉCNICO DO MULTÍMETRO

MULTÍMETRO DIGITAL MODELO: ET-2940

CARACTERÍSTICAS

- Display Principal: LCD 4 4 / 5 Dígitos, 50.000 Contagens, (Selecionável para 5 4 / 5 Dígitos, 500.000 Contagens para Tensão DC e 5 Dígitos, 99.999 Contagens Hz) • Display Secundário: 4 dígitos, 10.000 contagens.
- Alta Precisão Básica DCV de 0,02%.
- Função VFD (PWM). • Taxa de Amostragem: 4 4 / 5 dígitos modo rápido: 5 por segundo nominal. 5 4 / 5 dígitos modo estável: 1,25 por segundo nominal.
- Barra Gráfica 41 Segmentos: 60 por segundo máximo.
- LCD Retro-iluminado: Desligamento automático após 30s. • Auto Power Off: Aprox. 17 minutos ou desabilitado.
- Indicação de Polaridade Automática.
- Indicação de Bateria Fraca: Símbolo da bateria é exibido.
- Registro de MAX/MIN/AVG.
- Data Hold.
- Modo Relativo (Zero).
- Função Crest (Peak Hold) de 1ms para Tensão e Corrente.
- Medida de % para corrente de 4-20mA
- Função dBm
- Mudança de Faixa Automática/Manual
- Advertência de Entrada Beep-Jack (Conexão incorreta das pontas de prova)
- True RMS (AC / AC+DC)
- Alimentação: Uma bateria de 9V; NEDA 1604A
- Consumo: 6,5mA típico, 8 mA para as faixas VFD
- Temperatura de Operação: 0°C a 45°C
- Temperatura de Armazenamento: -20°C a 60°C, RH < 80%
- Umidade Relativa: RH < 80% para temperatura até 31°C decrescendo linearmente para 50% RH com 45°C.

- Conformidade: EN61010-1 (IEC61010-1) para CAT IV 1000V
- EMC: Projetado em conformidade com EN61326
- Dimensões: 208(A) x 103(L) x 64,5(P)mm
- Peso: 635g (com holster e bateria)
- Garantia: 60 (sessenta) meses a partir da data da aquisição.

APLICAÇÕES

Multímetro mais preciso de toda linha, com precisão básica de 0,02% e com display de 500.000 contagens para tensão DC e 999.999 contagens para frequência, barra gráfica e iluminação.

SEGURANÇA

Este instrumento está de acordo com a norma IEC61010-1, Categoria IV 1000V de Sobretensão. Este instrumento não é especificado para uso em campo EMC > 3V/m. Como determinado pela norma de segurança NR-10, utilize sempre equipamentos de proteção individual.

GERAL

A precisão é especificada como $\pm(\% \text{ leitura} + \text{número de dígitos})$ para temperatura $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa < 75%. A especificação é válida para 5% a 100% da faixa de medida. Ciclo de calibração recomendado de 1 ano.



Figura A1.7: Multímetro utilizado como referência (FONTE: http://www.minipa.com.br/images/proposta_tecnica/ET-2940-1301-BR.pdf)

ANEXO III

DATASHEET DO SENSOR

MODELO: SCT-013-000

- Corrente de entrada: 0-100A
- Sinal de saída: Corrente/0,033A
- Material do Core: Ferrite
- Dielétrico: 6000V AC/1min
- Taxa anti-chama: UL94-V0
- Plug de saída: 3,5mm
- Dimensão abertura: 13 x 13mm
- Temperatura de trabalho: -25 a +70°C
- Comprimento do cabo: 150cm

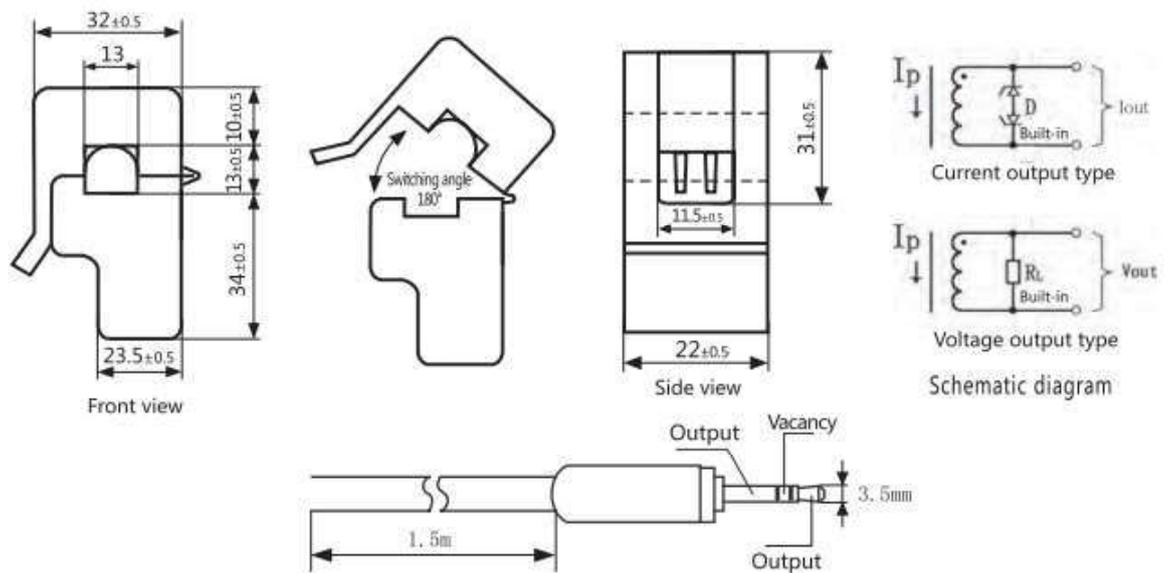


Figura A1.8: Diagrama para o plug padrão de três pinos (FONTE: <https://nicegear.co.nz/obj/pdf/SCT-013-datasheet.pdf>)

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output mode	Current/33mA	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-070
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	
Output mode	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	

Figura A1.9: Parâmetros Técnicos do Sensor (FONTE: <https://nicegear.co.nz/obj/pdf/SCT-013-datasheet.pdf>)