

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA POLITÉCNICA

**SISTEMA PARA CALIBRAÇÃO DE MULTÍMETROS DIGITAIS  
BASEADO EM PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

Porto Alegre, 22 de novembro de 2018.

**Autor: Jedid-jah Dorneles dos Santos**

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Curso de Engenharia Elétrica

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - CEP: 90619-900 - Porto Alegre - RS - Brasil

Email: jedid-jah.santos@acad.pucrs.br

**Orientador: Prof. Denis Fernandes**

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - CEP: 90619-900 - Porto Alegre - RS - Brasil

Email: denisf@pucrs.br

**RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo apresentar a calibração de forma semiautomática de um multímetro digital de  $3^{1/2}$  dígitos, utilizando o software Matrix Laboratory (MATLAB) para a realização, tanto da comunicação com o gerador de grandezas elétricas, quanto o processamento de imagem, leitura e escrita de dados na planilha de calibração. O ambiente gráfico Graphical User Interface Development Environment (GUIDE) do MATLAB é onde o sistema será controlado. Nesta plataforma o gerador estará conectado via comunicação General Purpose Interface Bus (GPIB) onde, através dos valores armazenados na planilha de calibração irá gerar as grandezas no instrumento e simultaneamente terá uma webcam, também conectada a interface, realizando a aquisição das imagens das medidas do equipamento. Estas imagens captadas passaram por um processamento digital de imagem e os valores correspondentes serão armazenados no campo apropriado da planilha de calibração. Com este sistema será possível diminuir o tempo em bancada, fazendo com que a calibração seja mais eficaz e otimizando o processo de trabalho do operador.

**Palavras-chave:** Calibração. Metrologia. Processamento de Imagens. Imagens Digitais.

## 1 INTRODUÇÃO

A calibração de instrumentos de medição é uma comparação entre os valores medidos por este equipamento e os valores estabelecidos por padrões de referências. A verificação periódica dos equipamentos é de grande importância para a qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos com o mesmo.

Todos os equipamentos possuem uma vida útil e quanto mais usados, mais rápido tendem a ter o seu erro de medição aumentado e se isso não for verificado pode causar o aumento do risco para quem estiver operando ou para o resultado final em uma linha de produção, por exemplo. Por isso a grande importância dos laboratórios de calibração, que tem como objetivo realizar os métodos de calibração adequados para a verificação da qualidade e da segurança do equipamento, fazendo com que se o equipamento possua um erro elevado o operador possa tomar as devidas providências com este instrumento.

Os laboratórios realizam calibrações de quaisquer tipos de equipamentos de medição, tanto equipamentos de medição de temperatura, instrumentos de acústica, eletricidade ou de frequência. Um equipamento que constantemente os laboratórios de calibração possuem em grande quantidade são os multímetros digitais de  $3^{1/2}$  dígitos, pois são equipamentos utilizados tanto por fábricas quanto por pessoas físicas e com isso a demanda de calibração desse tipo de equipamento é bastante elevada. A calibração deste instrumento é bastante simples, necessitando apenas de um padrão de geração de grandezas elétricas para que gere os valores no multímetro e seja feito os registros dos valores medidos, porém como a quantidade é alta o processo acaba demandando um tempo maior do operador para realizar as calibrações.

Visto o problema do alto fluxo de equipamentos e a demanda do operador nas calibrações dos multímetros digitais, o projeto apresentado tem como objetivo tornar a calibração de multímetros digitais de  $3^{1/2}$  dígitos semiautomatizada fazendo com que a necessidade do operador na calibração seja diminuída. Este projeto será implementado utilizando o software MATLAB, utilizando o ambiente GUIDE que o MATLAB possui.

Atualmente o processo de calibração de um multímetro digital de  $3^{1/2}$  dígitos é composto das seguintes fases manuais: elaboração da planilha de calibração, fase onde os pontos que serão calibrados são registrados, trocas das faixas do equipamento, as ligações corretas para as medições, geração dos valores com o gerador de grandezas elétricas e o registro dos valores medidos pelo equipamento que está sob calibração.

O projeto tem por objetivo realizar a geração e as leituras das medidas de forma automática, sendo necessário que o operador monte as planilhas de calibração, troque as faixas do equipamento e as ligações corretas para as medições. Como se trata de um multímetro de  $3^{1/2}$  dígitos, a troca de

faixa ou de função de medição é possível somente manualmente. Todo o processo será feito com a interação do GUIDE, onde haverá a comunicação com o gerador de grandezas elétricas para que, conforme os valores definidos nas planilhas de calibração, seja gerado no multímetro digital e os valores lidos pelo instrumento serão captados por uma webcam onde através de um processamento de imagem será convertido para número, armazenando este valor na planilha de calibração, no campo definido para as medidas.

Com a aplicação deste sistema de calibração o resultado esperado é a otimização do tempo de serviço do operador, fazendo com que seja possível realizar serviços paralelos enquanto a calibração do multímetro digital ocorre e que os resultados sejam iguais ou bem próximos do que seriam com o operador, garantindo a qualidade do serviço e confiabilidade dos resultados obtidos que serão apresentados no certificado de calibração do instrumento de medição.

No capítulo 2 será abordado o procedimento de calibração de multímetros digitais, explicação breve sobre a planilha de calibração utilizada para o registro das medidas. Sobre o protocolo GPIB será apresentado sua estrutura e também serão abordados os conceitos utilizados para o tratamento da imagem capturada pela webcam.

O capítulo 3 trata sobre a metodologia do projeto, onde será apresentado o passo a passo da montagem da interface gráfica GUIDE, explicado o funcionamento de cada um dos objetos criados no ambiente e também os métodos empregados para realizar o processamento de imagem das imagens captadas pela webcam. Será explicado como é feita a comunicação com o gerador de grandezas elétricas e também como foi montado a sequência lógica para que todo o sistema funcione em conjunto sem um atrapalhar o funcionamento do outro.

No capítulo 4 temos a apresentação dos resultados obtidos com a implementação da metodologia. Neste capítulo será discutido se os resultados estão coerentes com os esperados e verificado se o processo possui falhas ou melhorias. Serão apresentados resultados sobre o processamento de imagem e sobre a otimização do tempo de calibração.

Após esta etapa temos o capítulo 5 que é a conclusão do artigo onde serão feitas afirmações sobre o estudo do projeto e sobre os resultados obtidos. Também será feita recomendações para aplicações em trabalhos e pesquisas futuras, para que o projeto seja cada vez mais desenvolvido e melhorado.

No capítulo 6 são apresentadas as referências utilizadas para a montagem deste artigo e implementação do projeto. E por fim temos os apêndices A e B onde serão apresentados os processamentos de algumas imagens para os diferentes dígitos conforme a explicação no item 3.2 e a montagem e implementação do suporte da webcam para a leitura das medidas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Procedimento de calibração para multímetro digitais

O procedimento para a realização da calibração de um multímetro digital de 3 <sup>1/2</sup> dígitos é bastante simples. O método utilizado pelos laboratórios de calibração é o método de comparação direta com um gerador padrão, por exemplo, um Calibrador FLUKE – modelo: 5500A. Este processo consiste em gerar um determinado valor de grandeza física pelo calibrador e registrar, na planilha de calibração, as medidas indicadas pelo multímetro que estiver sob calibração.

Para toda a calibração do instrumento de medição é necessário que seja levado em consideração algumas condições preliminares:

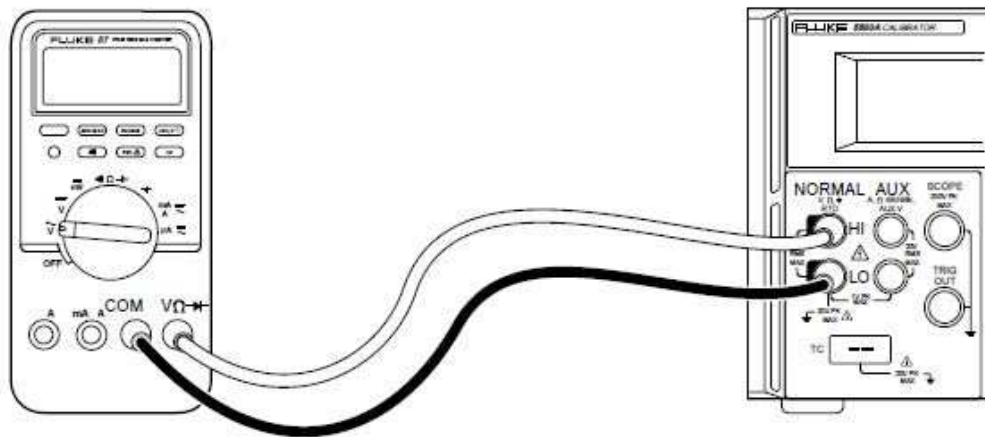
- O operador deve estar familiarizado com o manual do equipamento.
- Deve ter atenção para a realização das ligações entre os equipamentos para as medidas das grandezas elétricas.
- Ter cuidado com os valores gerados para que não ultrapassem os limites de medição do equipamento e não causem possíveis danificações no instrumento.

Tendo a ciência destes itens é possível que o operador inicie o processo de calibração, iniciando pela montagem da planilha de calibração, onde serão armazenados os pontos de calibração com as suas respectivas grandezas, registrada as medidas do multímetro e após finalizada a calibração será realizado o cálculo da incerteza e das medidas finais que serão apresentados no certificado de calibração.

Sobre os pontos a serem calibrados é seguido os documentos normativos apresentados pela Coordenação Geral de Acreditação (CGCRE) que recomenda que seja realizada a calibração em pelo menos três pontos, como por exemplo, 10%, 50% e 95% do valor da faixa. E que estes valores sejam em pelo menos uma faixa de cada função do equipamento. (Coordenação Geral de Acreditação, DOQ-CGCRE-018,2018).

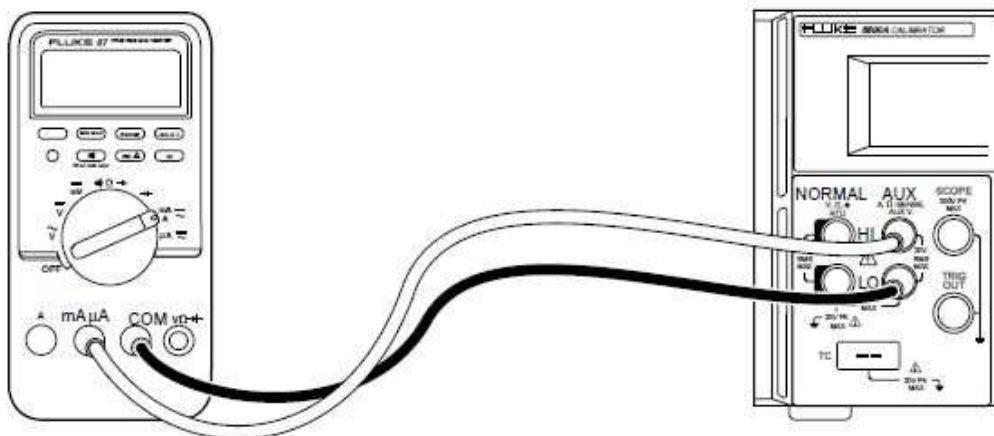
Após a montagem da planilha de calibração é possível iniciar a calibração em bancada realizando as ligações corretas entre os instrumentos. Para exemplificar algumas ligações entre um gerador de grandezas elétricas e um multímetro digital de 3<sup>1/2</sup> dígitos temos na Figura 1 a conexão para a medição de tensão alternada ou contínua, a Figura 2 mostra a conexão para a medição de corrente alternada ou contínua e na Figura 3 é apresentado a ligação para realizar a medição de resistência.

**Figura 1 – Conexão de Tensão DC/Tensão AC**



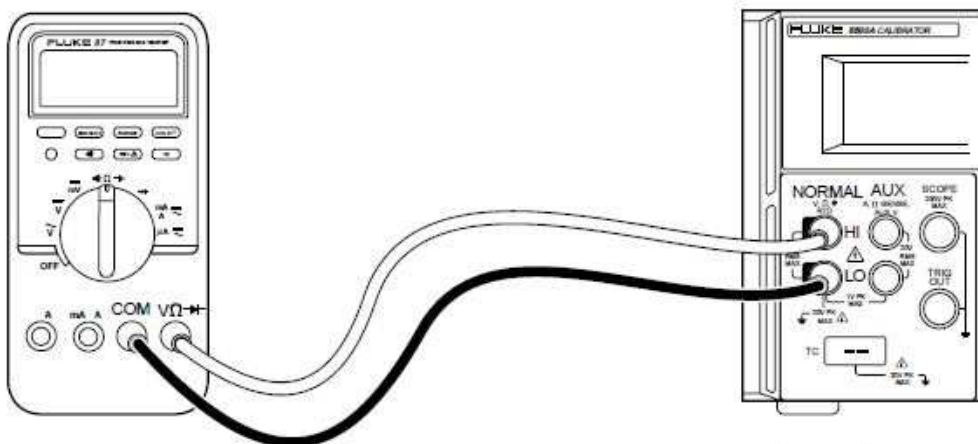
Fonte: Manual FLUKE

**Figura 2 – Conexão de Corrente DC/Corrente AC**



Fonte: Manual FLUKE

**Figura 3 – Conexão de Resistência**



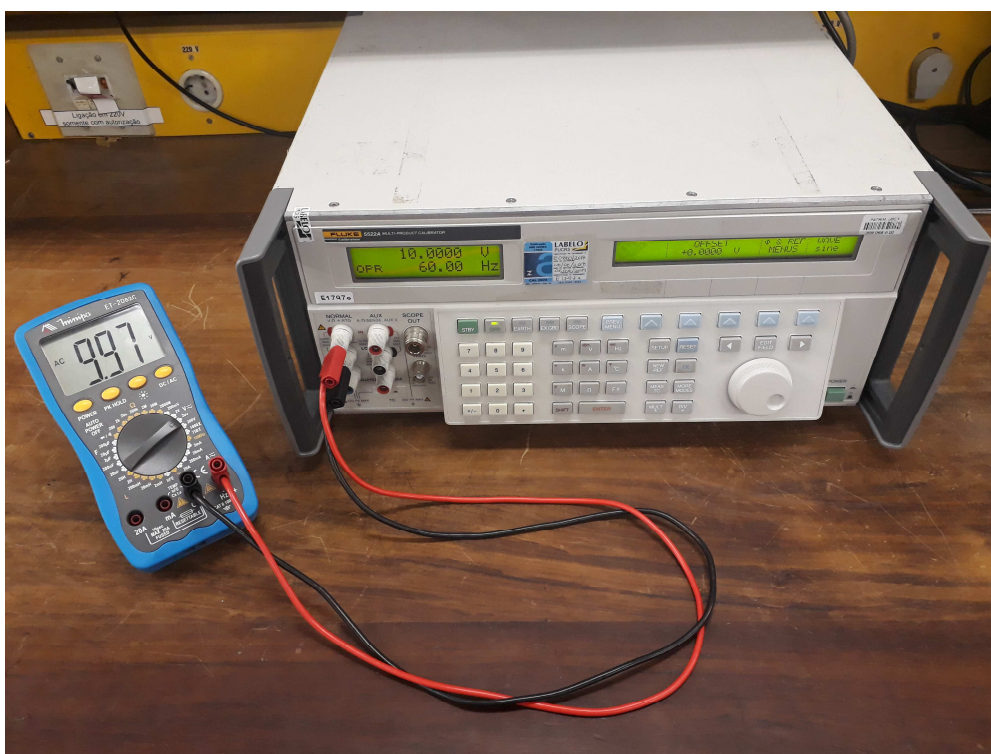
Fonte: Manual FLUKE

Feitas as ligações corretas, conforme o plano de calibração montado, as medidas são registradas na planilha de calibração utilizando os valores obtidos em duas ou mais leituras sobre o mesmo ponto, visto que os multímetros digitais de  $3\frac{1}{2}$  dígitos possuem uma baixa oscilação. (Coordenação Geral de Acreditação, DOQ-CGCRE-018,2018).

Para este projeto a webcam irá capturar quatro imagens dentro de tempos determinados em cada ponto, fazendo então quatro leituras por ponto pois a resolução do multímetro digital é baixa fazendo com que a sua medida não tenha uma variação elevada.

Para exemplificar o processo na bancada de calibração a Figura 4 apresenta um multímetro digital conectado ao calibrador 5500A realizando a medida de 10V em tensão alternada com frequência de 60Hz.

**Figura 4 – Conexão para calibração**



**Fonte: Própria Autoria**

## **2.2 Planilha de calibração**

Para a montagem do plano de calibração, registro das leituras realizadas pelo instrumento de medição, cálculos do resultado final com sua devida incerteza de medição e apresentação do certificado de calibração do equipamento, os laboratórios de calibração utilizam planilhas no Microsoft Office Excel programados em macros em conjunto com Virtual Basic for Applications (VBA).

Após o registro das medições do equipamento sob calibração são utilizadas as macros da planilha para que os cálculos possam ser realizados. Os cálculos feitos são, basicamente, o cálculo da média das medidas, que será o valor apresentado no certificado de calibração, e o outro cálculo realizado é o da incerteza de medição, que este parâmetro é indispensável para a adequação de um valor medido para a aplicação que é realizada e por este motivo será feita uma breve explicação sobre como é utilizada a incerteza de medição pelos laboratórios de calibração.

### **2.2.1 Incerteza de medição**

A incerteza de medição possui quatro etapas, onde a primeira etapa é chamada de Avaliação do Tipo A que é o “Método de avaliação de incerteza pela análise estatística de series de observações” (Organização Internacional de Normalização, GUM, 2008) onde a incerteza de uma grandeza é obtida somente pela variância da média das medidas através da repetitividade das medições.

A segunda etapa é a Avaliação do Tipo B que é o “Método de avaliação de incerteza por outros meios que não a análise estatística de séries de observações” (Organização Internacional de Normalização, GUM, 2008) onde a incerteza não é obtida somente pela variância da média das medidas, ela ainda depende de outras informações, como:

- Especificação do fabricante;
- Dados fornecidos em certificados de calibração;
- Incertezas atribuídas a dados de referência extraídos de manuais.

Temos também a Incerteza-Padrão Combinada que é “Uma soma de termos, que constituem as variâncias ou covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com o quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas” (Organização Internacional de Normalização, GUM, 2008) e será a junção da Avaliação do Tipo A com a Avaliação do Tipo B e por último teremos a Incerteza Expandida que “Define um intervalo em torno do resultado de uma medição com o qual se espera abranger uma grande fração da distribuição dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando” (Organização Internacional de Normalização, GUM, 2008). Ela é obtida multiplicando-se a Incerteza-Padrão Combinada por um fator de abrangência  $k$ , que não será apresentado detalhadamente pois este não é o objetivo do artigo, porém este fator  $k$  é o nível de confiança requerido para o intervalo da incerteza e o seu valor, em geral, estará entre 2 e 3.

Todo este processo é feito através das macros que a planilha de calibração possui e o valor apresentado no certificado de calibração será o da Incerteza Expandida onde é considerado todos os fatores necessários para a confiabilidade do resultado.

## 2.3 Protocolo GPIB

O padrão publicado pelo Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) chamado IEEE 488.1, também conhecido por GPIB descreve um padrão de comunicação entre controladores e equipamentos de diferentes fabricantes.

O barramento GPIB original foi desenvolvido no final dos anos 60 pela Hewlett-Packard (HP) para a conectar e controlar equipamentos programáveis que a HP fabricava, pois cresceu a necessidade de uma interface padrão de alta velocidade para a comunicação entre os instrumentos com a introdução de controladores digitais e equipamentos programáveis.

Este barramento atualmente é usado ao redor do mundo e pode ser chamado por três nomes:

- General Purpose Interface Bus (GPIB)
- Hewlett-Packard Interface Bus (HP-IB)
- IEEE 488 Bus

Hoje, a National Instruments (NI) é a empresa líder na produção de ferramentas de software e hardware compatíveis com o padrão GPIB, onde desde 1984 está desenvolvendo melhorias nas ferramentas utilizadas. Abaixo segue a imagem do conector GPIB que será usado neste projeto.

**Figura 5 – Conector GPIB**



**Fonte: National Instruments**

O sistema de interface GPIB possui 16 linhas de sinalização e 8 linhas de retorno à terra. Essas linhas de sinalização são divididas em 8 linhas de dados, 3 linhas de handshake (linhas de afirmação do reconhecimento entre os dispositivos e confirmação para a iniciar a comunicação) e o restante de linhas destinado ao gerenciamento da interface.



Figura 6 – Pinagem conector GPIB



Fonte: National Instruments

As linhas de dados DIO1 a DIO8 transmite mensagens de dados ou de comandos para os equipamentos. O handshake controla a transferência de bytes para os instrumentos, fazendo com que não ocorra erros na transmissão das mensagens e as linhas de gestão realizam o gerenciamento do fluxo de informações pela interface.

## 2.4 Processamento de imagem

### 2.4.1 Filtro de Limiarização

O filtro de limiarização ou também chamado de binarização é uma transformação que produz uma imagem binária a partir de uma imagem em escala de cinza ou em cores. Com este filtro, os pixels da imagem são limitados a 0 ou 1. Quando o pixel for maior que a limiar então será 1, caso contrário será transformado para 0. Com isto é possível segmentar uma determinada região em uma imagem.

Uma função bastante utilizada no MATLAB para este filtro é a *im2bw()* que realiza automaticamente a conversão de imagens em cores em escala de cinza e aplica um fator de escala ao valor do limiar fornecido (de 0 a 1). (SOLOMON, Fundamentos de Processamento Digital de Imagens, 2013). A aplicação deste fator de limiar é determinante para a boa separação das partes frontais e de fundos de uma imagem. Para que seja possível encontrar um valor adequado de limiar será utilizado o método de Otsu onde o seu objetivo é escolher um valor de limiar que minimiza a variância estatística dos pixels pretos e brancos.

Para a aplicação do método de Otsu será utilizada a função *graythresh()* que realiza o cálculo do limiar adequado e com isto não será preciso pressupor um valor de limiar e a binarização será muito mais precisa.

No MATLAB a utilização destas funções será feita do seguinte modo:

$$\begin{aligned} Level &= \text{graythresh} (Imagem); \\ ImagemBinaria &= \text{im2bw} (Imagem, Level); \end{aligned}$$

### 2.4.2 Filtro de Mediana

Este filtro é um método bem popular para a suavização com o objetivo de realizar a redução de um ruído aleatório com um borramento muito menor do que outros filtros lineares.

O filtro de mediana realiza a troca do o valor de um pixel pela mediana dos valores de intensidade na vizinhança desse pixel. (GONZALEZ, Processamento Digital de Imagens, 2010).

O processo do filtro de mediana em um ponto da imagem consiste em ordenar os valores dos pixels da vizinhança, após é calculada a sua mediana e atribuído esse valor ao pixel correspondente na imagem filtrada. Para exemplificar, vamos considerar uma vizinhança de 3x3 que possuía os valores (30,30,30,25,90,100,25,15,25). Primeiramente os valores serão ordenados como (15,25,25,25,30,30,30,90,100), com isto resulta em uma mediana de 30 e a função do filtro será forçar os pontos com níveis de intensidade muito distintos para serem mais semelhantes aos de seus vizinhos.

Para a aplicação deste filtro com o MATLAB será utilizada a função *medfilt1* (). Está função se trata de uma função para a aplicação da mediana em um sinal unidimensional, que será tratado no item 3.2.4, e não em uma imagem, porém a metodologia funcionará do mesmo modo.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Funcionamento do ambiente gráfico GUIDE

#### 3.1.1 Descrição dos objetos na interface gráfica

Inicialmente foi montada a interface gráfica no ambiente GUIDE que o software MATLAB possui. Nesta etapa será apresentado o ambiente gráfico e qual a funcionalidade de cada parte que a interface possui.

Na figura 7 temos o ambiente onde o operador realizará os comandos iniciais para que a calibração seja iniciada, nessa interface possuímos os seguintes objetos:

- Botões: Configurar Câmera; Configurar Gerador; Iniciar; Parar;
- Textos editáveis: Protocolo; N° de Planilhas;
- Textos fixos: Valor lido; Valor Gerado
- Locação das imagens: Imagem do display; Imagem Padrão.

**Figura 7 – Ambiente GUIDE**



**Fonte: Autoria Própria**

No botão “Configurar Câmera” é onde o operador irá verificar se o posicionamento do seu multímetro está correto, após o botão ser clicado será capturada uma imagem pela webcam e realizado o processamento de imagem (Item 3.2) o valor processado será apresentado na tela, no campo do “Valor Lido”. Se o valor que for apresentado estiver coerente com o valor que estiver na imagem o processamento foi feito com sucesso, caso o valor apresentado esteja incorreto o operador deve ajustar a posição do equipamento e apertar novamente o botão “Configurar Câmera” para que seja realizado o processamento novamente.

O operador terá no campo “Imagem Padrão” que se trata de uma imagem fixa para seguir como referência, esta imagem foi colocada na posição ideal para fazer o processamento de imagem correto.

O botão “Configurar Gerador” servirá para comunicar o software com o gerador de grandezas elétricas. A comunicação é realizada via protocolo GPIB, utilizando um conversor GPIB-USB para que seja possível comunicar pelo computador via serial.

Na lacuna “Protocolo” é onde será inserido o nome da planilha de calibração referente ao instrumento que está em bancada para ser realizada a calibração. No espaço destinado ao “Nº de Planilhas” será para inserir quantas abas esta planilha de calibração possui e com isto será possível realizar a leitura completa da planilha de calibração que já estará montada pelo operador, fazendo

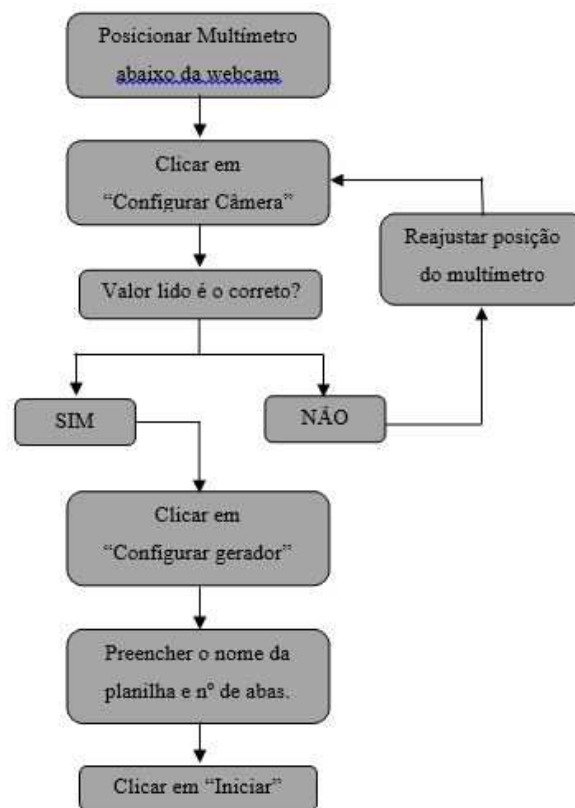
com que os pontos e grandezas inseridos na planilha sejam armazenados no código e assim será possível ter dados para que seja feita a interação entre o software e o gerador de grandezas elétricas.

O botão “Iniciar” será acionado assim que os itens acima estiverem realizados e ele fará o funcionamento de todo o sistema do projeto (item 3.1.2), fazendo a geração dos valores e as medições no multímetro digital através da webcam. Caso seja necessário cancelar o processo em qualquer momento deve ser utilizado o botão “Parar”.

### 3.1.2 Executando a calibração pelo GUIDE

Antes de iniciar a calibração pela interface é preciso que seja feita as configurações iniciais corretamente, conforme fluxograma abaixo:

**Fluxograma 1: Inicialização da interface gráfica**



**Fonte: Autoria Própria**

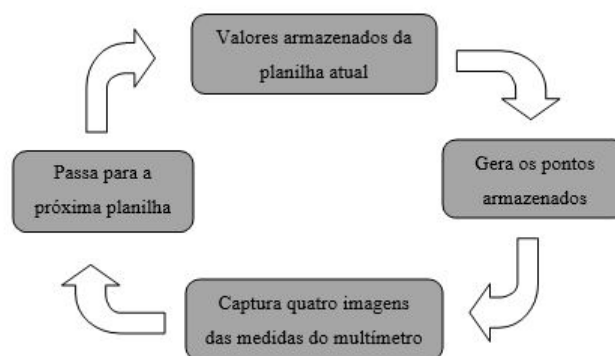
Após estas configurações iniciais o software irá realizar uma varredura na planilha de calibração informada na tela principal, armazenando os pontos com suas respectivas grandezas. Com estes dados armazenados a interface apresentará um aviso referente a grandeza que será calibrada para que o operador possa realizar as conexões corretas no equipamento sob calibração (Figura 8).

**Figura 8: Aviso de Medida**

**Fonte: Autoria Própria**

Feita a ligação referente a grandeza que será calibrada o operador pode apertar a confirmação e após esta ação o software enviará os pontos referente a primeira aba da planilha de calibração um a um para que seja gerado no calibrador o respectivo valor. No momento que o valor é gerado a interface espera alguns segundos para que o mesmo seja estabilizado e logo após faz com que seja capturada quatro fotos pela webcam da medida que o multímetro digital está realizando, estas imagens são processadas e o valor final é escrito no campo destinado, na planilha de calibração. Gerados todos os valores da primeira aba da planilha de calibração é apresentado então um novo aviso na tela informando qual será a próxima grandeza que será calibrada. O operador realiza novamente as ligações corretas no instrumento e confirma a mensagem, o software irá realizar os mesmos passos descritos anteriormente e assim será sucessivamente até a última aba da planilha conforme o número que foi informado na interface.

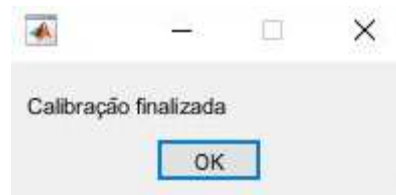
No Fluxograma 2 é apresentado este processo de funcionamento da interface gráfica.

**Fluxograma 2: Funcionamento da interface gráfica**

**Fonte: Autoria Própria**

Feito o processo da última aba da planilha de calibração o software irá apresentar uma mensagem com o aviso de “Calibração Finalizada” (Figura 9) e o sistema realizará um *reset*, para que seja possível editar a interface para uma nova calibração.

**Figura 9: Aviso de Calibração Finalizada**



**Fonte: Autoria Própria**

O projeto montado em bancada fica conforme apresentado na Figura 10.

**Figura 10: Projeto em bancada**



**Fonte: Autoria Própria**

O suporte para a webcam foi desenvolvido para este projeto é apresentado no Apêndice B.

### **3.2 Processamento de imagem para a verificação da medição realizada**

A realização do processamento de imagem para a verificação da medida que o equipamento está realizando é feito logo após a webcam capturar a imagem e o processo é realizado conforme os passos que serão descritos a seguir.

#### **3.2.1 Corte da imagem**

Após a imagem ser capturada é feito um corte para que seja retirado a parte que não será utilizada no processamento de imagem. Este corte foi realizado para que seja facilitado o tratamento de imagem, é um corte onde não será afetado para os modelos dos multímetros de 3 1/2 dígitos, visto que a grande parte dos modelos possuem o mesmo tamanho dos dígitos.

A captura da imagem é feita com um tamanho padrão de 320x240 e o corte é realizado para que a imagem fique em um tamanho de 146x236, conforme imagem abaixo:

**Figura 11 – Imagem Original 320x240**



Fonte: Autoria Própria

**Figura 11– Imagem Cortada 146x236**



Fonte: Autoria Própria

### **3.2.2 Processo de Binarização**

Após o corte, é feita a limiarização da imagem (Item 2.4.1), onde no MATLAB, através da função *im2bw* () será realizada a conversão da imagem em cores para uma imagem binária (Figura 13).

**Figura 13 – Imagem Binarizada**



Fonte: Autoria Própria

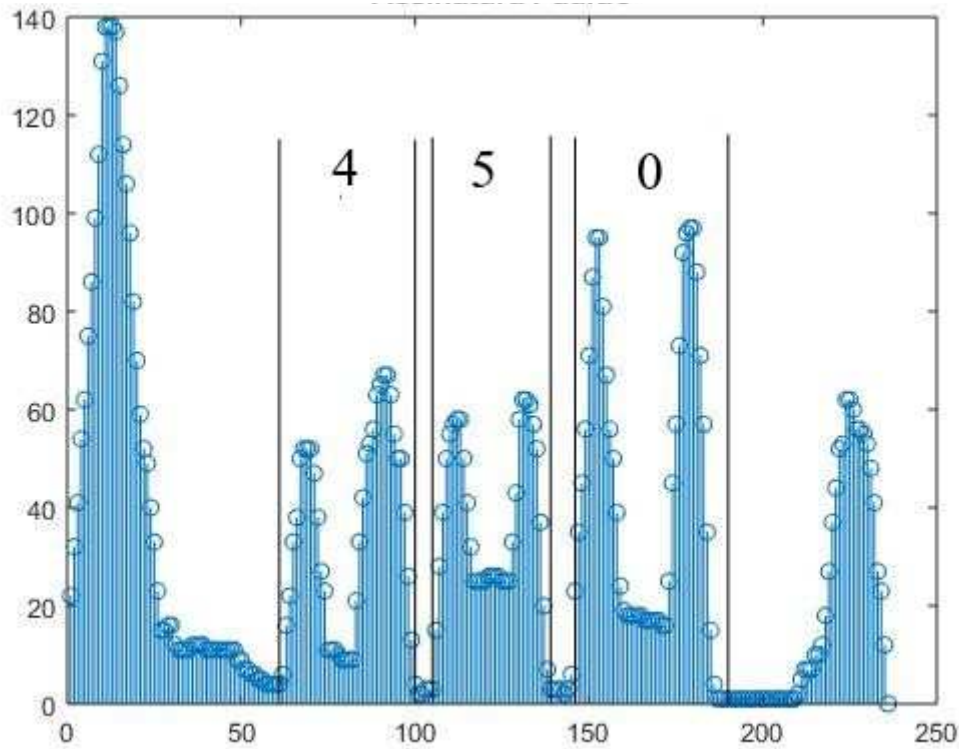
Chegado neste ponto do tratamento da imagem será realizado um processo numérico para que seja feita a conversão da imagem para o valor numérico que está sendo apresentado.



### 3.2.3 Assinatura Padrão

É de conhecimento que a imagem binarizada que está sendo processada é uma matriz com 146 linhas e 236 colunas. Visto isso foi realizada a soma de todas as colunas desta matriz e apresentado um gráfico unidimensional dos seus respectivos resultados, conforme a Figura 14.

**Figura 14 – Gráfico Unidimensional**



**Fonte: Autoria Própria**

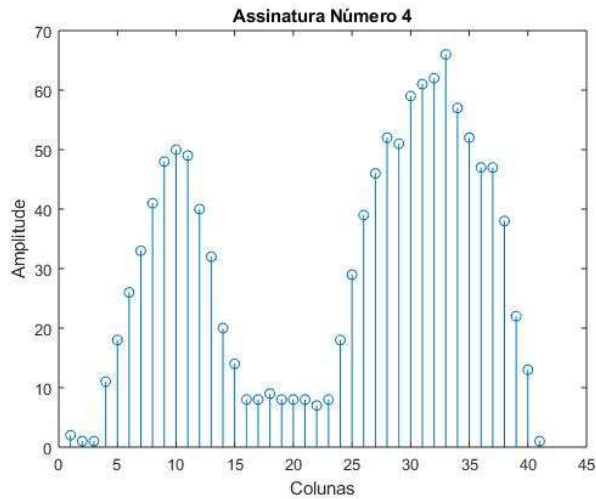
Analisando este gráfico, que será chamado de assinatura padrão do dígito, e conforme os gráficos de alguns outros dígitos que são apresentados no apêndice A deste artigo é possível confirmar que cada dígito terá um formato fixo no gráfico e também a posição dos dígitos sempre estará na mesma região visto que a imagem sempre é cortada na mesma posição. Verificando a região da posição 60 a 100 é possível perceber que as amplitudes apresentadas são referentes ao dígito 4 da imagem binarizada, do mesmo modo, na região entre as colunas 105 a 140 será encontrado os valores referente ao dígito 5 e por último, entre a região 145 a 185 o dígito 0.

Entrando em mais detalhes nesta assinatura padrão também é possível verificar que na região 60 a 100, por exemplo, que se refere ao número 4, a sua região é dividida em 3 sub-regiões que são referente a cada parte do dígito, visto que o dígito do display é um dígito de 7 segmentos. A primeira sub-região, analisando o gráfico na sua ordem crescente, onde há um pico mais elevado, trata-se da parte esquerda do dígito onde há somente um segmento ligado. Continuando na sub-região, onde a amplitude é mais baixa, refere-se ao segmento do meio do número 4 e por último o próximo pico de amplitude é os dois segmentos ligados do número 4 e assim será a mesma lógica



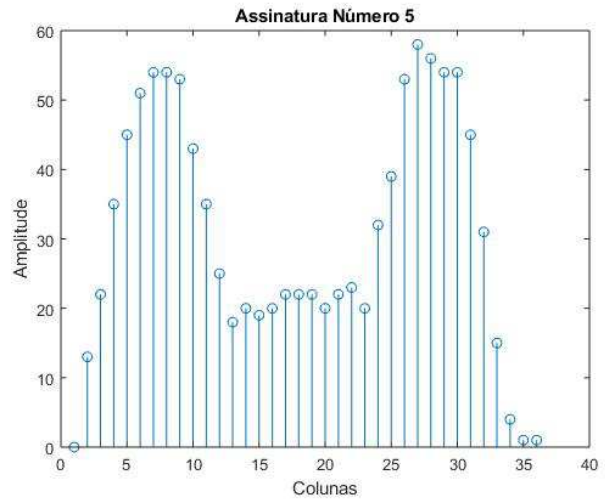
para os outros dois dígitos da imagem binarizada. Abaixo segue a assinatura padrão de cada dígito separadamente para ser possível visualizar melhor as suas sub-regiões:

**Figura 15 – Assinatura Número 4**



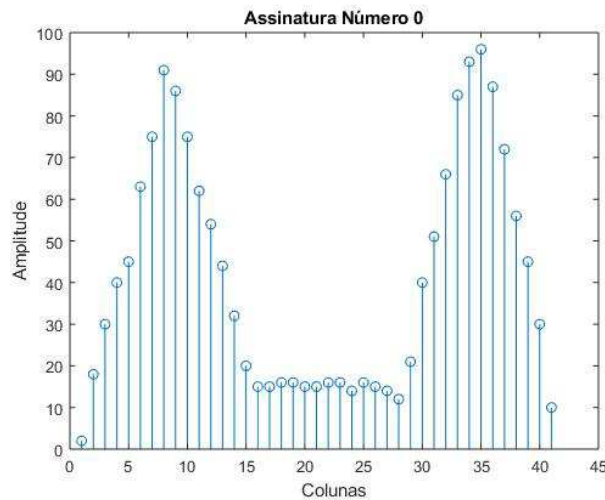
**Fonte: Autoria Própria**

**Figura 16 – Assinatura Número 5**



**Fonte: Autoria Própria**

**Figura 17 – Assinatura Número 0**



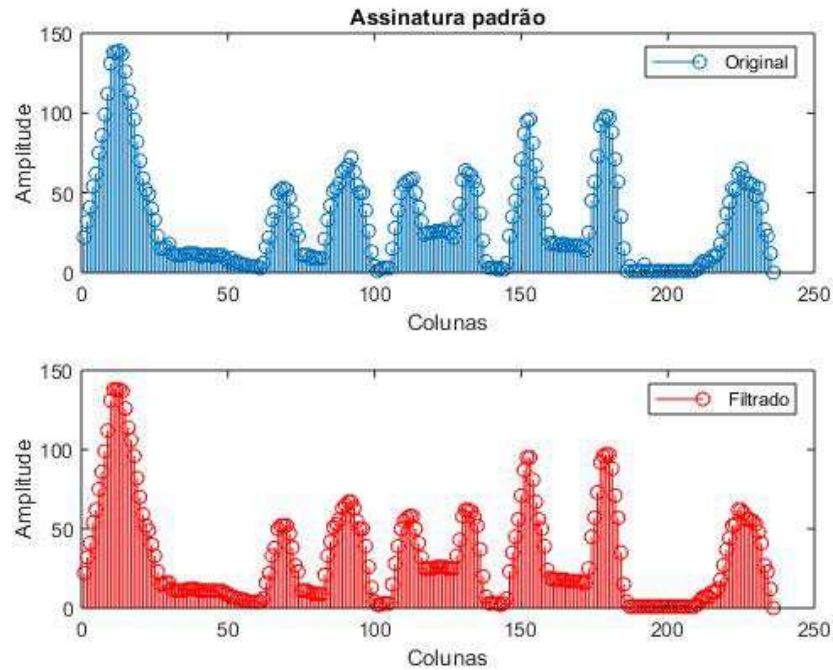
**Fonte: Autoria Própria**

Verificando as assinaturas de cada dígitos foi detectado que, principalmente nas sub-regiões laterais de cada dígito, temos picos de amplitudes que se sobressaiem sobre o resto dos demais.

### 3.2.4 Aplicação do Filtro de Mediana

Para que a assinatura padrão fique mais suavizada e com isto seja possível realizar um processamento de imagem mais confiável foi aplicado o filtro de mediana utilizando a função *medfilt1()* do MATLAB conforme visto no item 2.4.2 (Figura 18).

**Figura 18 – Assinatura Padrão Filtrada**



**Fonte: Autoria Própria**

Com a aplicação do filtro de mediana foi obtido uma assinatura mais suavizada dos dígitos apresentados no display, retirando os seus picos e alguns de seus vales. Após a aplicação do filtro de suavização será então feita a lógica de programação para detectar qual o dígito que está sendo apresentado no display.

### 3.2.5 Verificação do dígito

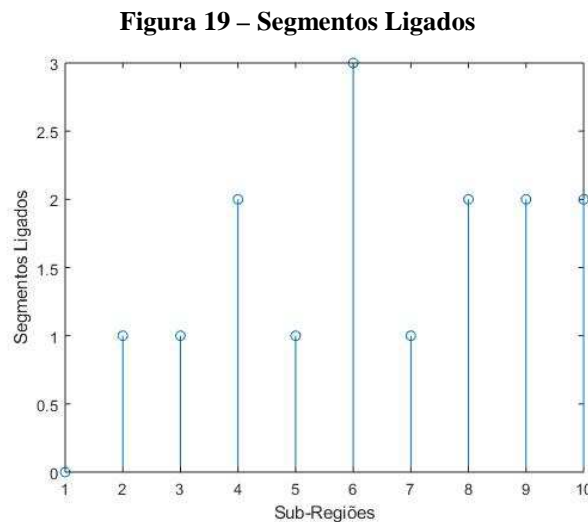
Como já apresentado anteriormente as regiões de cada assinatura são fixas pelo fato de se tratar de um multímetro de 3 1/2 dígitos, então será feito o tratamento da assinatura padrão um dígito de cada vez.

Para que seja possível saber qual número que está sendo apresentado no display do instrumento foi analisada cada sub-região dentro das regiões dos dígitos e visto que para cada quantidade de segmentos ligados e a sua posição no display, a sua amplitude varia para mais ou para menos. Por exemplo, na primeira sub-região do dígito 4 que temos somente um segmento ligado à sua amplitude é menor do que se tivesse os dois segmentos ligados, por exemplo, se o

número 8 tivesse sendo apresentado. É possível verificar essa mudança no apêndice A. E esta dinâmica será para todos os dígitos apresentados na assinatura padrão.

A partir disto foram percorridas estas sub-regiões e analisado os seus picos máximos de amplitude e conforme os testes realizados foram pré-definidos faixas de amplitudes para que seja possível saber se o valor deste pico máximo significa que temos 1, 2, 3 ou nenhum segmento ligado naquela sub-região. Para exemplificar, o número quatro na sua primeira sub-região onde temos somente um segmento ligado o valor de pico máximo varia de 10 a 55 e isto vale para qualquer outro dígito que possua somente um segmento ligado naquela região. E assim serve para todas as outras sub-regiões.

Conforme a assinatura padrão é percorrida, foi sendo armazenado em um vetor a quantidade de segmentos que estão ligados em cada sub-região e este vetor é apresentado na Figura 19.



**Fonte: Autoria Própria**

Neste gráfico temos todas as sub-regiões da assinatura padrão, onde a posição 1 deste vetor será tratada no item 3.2.6, as posições 2 até 4 são referentes a região do dígito 4 e é possível verificar que temos duas posições com 1 segmento ligado e uma posição com 2 segmentos ligados, corretamente como é o formato do número 4. As posições 5 a 7 são referentes ao dígito 5 do display e as posições 8 a 10 são relacionadas ao dígito 0.

Com este gráfico será montado uma lógica combinacional para que seja possível verificar qual dígito está sendo apresentado no display. Esta lógica é montada analisando primeiro a posição 1 e depois 3 posições por vez e conforme o número de segmentos ligados é armazenado o número correspondente em um vetor. Neste caso temos na posição 1, o valor 0, nas próximas 3 posições temos [ 1 1 2], a seguir temos [ 1 3 1] e por último temos [2 2 2].

Com esta sequência teremos o vetor [ 0 4 5 0] que é o valor apresentado no display do multímetro.

### 3.2.6 Primeiro Dígito

Como descrito no item anterior (3.2.5) a posição 1 do gráfico da Figura 19 será tratada neste tópico. A posição 1 se trata do primeiro dígito do multímetro que, por se tratar de um multímetro de  $3\frac{1}{2}$  dígitos, não será sempre apresentado no display e por isso na sua assinatura padrão a posição deste dígito sempre estará zerada ou com a amplitude de dois segmentos ligados. Porém, para o processamento da imagem sempre será considerada aquela posição fazendo com que se não tiver nenhum segmento ligado será armazenado no vetor final o valor 0 para aquela posição.

A assinatura padrão com o dígito da primeira posição pode ser analisada no Apêndice A.

### 3.2.7 Número 5 ou 2

Se analisarmos as imagens apresentadas no Apêndice A podemos verificar que o dígito 5 e o dígito 2 possuem a mesma assinatura padrão visto que a quantidade de segmentos ligados são os mesmos para ambos.

Isto para o processamento de imagem será um problema pois o equipamento poderia estar apresentando no display, por exemplo, 20.00V e o resultado final estar como 50.00V ou acontecer o inverso e esta falha afetaria o resultado final da calibração, fazendo com que seja registrado o valor incorreto da medida e trazendo um retrabalho para o operador que está realizando a calibração tendo que realizar novamente este ponto, manualmente.

Para a solução deste problema foi realizado um método trabalhando também com a assinatura padrão. Na etapa da lógica combinacional (Figura 19), quando é apresentado o vetor [1 3 1] que é o vetor referente ao 2 ou 5 é feita mais uma análise na assinatura padrão, verificando a posição da coluna do pico máximo de amplitude da primeira sub-região pois será aí onde estará no meio do segmento da imagem binarizada (Figura 13). No caso do dígito 5 a coluna com a máxima amplitude é a coluna 111. Com a posição da coluna na assinatura padrão também se tem a posição da coluna na imagem binarizada e com esta posição é feita a análise se o segmento está ligado na parte de cima da imagem ou na parte baixa da imagem.

Esta análise é feita somando toda a coluna com o pico máximo e analisando a metade superior desta coluna, como a imagem possui um tamanho padrão de 146x236 é feita a verificação da posição inicial da coluna até metade de 146 que é a quantidade de linhas que esta coluna possui. Caso o valor desta soma dê um resultado próximo a zero significa que não há nenhum segmento

ligado na parte superior e por isto o dígito apresentado é um 2, caso contrário é porque o dígito apresentado é o número 5.

### 3.2.8 Verificação do Ponto

Como mencionado no item 3.2.5 o valor processado é armazenado em um vetor final que será o vetor a ser registrado na planilha de calibração, porém este vetor está somente com os dígitos lidos do display, sem a sua divisão do ponto que será tratado neste tópico.

Para a verificação do ponto poderia ser tratado na assinatura padrão (Figura 14) verificando a regiões aonde ele poderá aparecer e verificar a sua amplitude, porém esta verificação se torna dificultosa por alguns motivos:

- Seu tamanho relativamente pequeno comparando com os segmentos dos dígitos, tanto na sua extensão em colunas quanto a sua amplitude.

- Como a sua área de apresentação é pequena qualquer modificação da intensidade luminosa ao qual o instrumento está submetido ao laboratório o valor será mudado, tornando mais dificultosa ainda a sua verificação.

Deste modo foi feita a verificação o ponto pelo valor que o padrão de referência está gerando. Isto só é possível, pois os multímetros de  $3^{1/2}$  dígitos possuem a mesma distribuição de faixas e a calibração destes equipamentos só é feita dentro das suas respectivas faixas (item 2.1) e por isso não poderá ocorrer o caso de gerar o valor para que realize a leitura de 10.00mA, por exemplo, e esta leitura ser feita na faixa de 200.0mA, este valor deve ser lido na faixa de 20.00mA respectivamente. Caso isto ocorra a calibração está sendo realizada incorretamente, não seguindo os documentos normativos ao qual está aplicado aos laboratórios de calibração.

Desta maneira a verificação do ponto na medida se torna mais prática necessitando somente verificar qual valor está sendo gerado e dividir o valor processado pelo software pela a constante de divisão adequada. Para exemplificar:

$$\text{Valor Gerado} = 19.5mA$$

$$\text{Valor Lido} = 1950$$

$$\text{Escreve} = 1950/100$$

$$\text{Escreve} = 19.50$$

Onde o *Valor Gerado* é o valor que foi retirado da planilha de calibração e o gerador de grandezas elétricas está gerando no multímetro digital. O *Valor Lido* é o valor que foi encontrado pelo processamento de imagem. Após isso é feito uma verificação para saber onde está o ponto, neste caso o ponto de 19,5mA só poderá ser lido na faixa de 20mA e esta faixa possui uma

resolução de  $10\mu\text{A}$  então o valor processado é dividido por 100 e o resultado será registrado na planilha de calibração.

#### **4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Conforme a explicação dada no Item 3 foram realizadas calibrações com diferentes multímetros digitais de  $3^{1/2}$  dígitos e obtidos os resultados a seguir.

##### **4.1 Resultados relacionados as leituras das medidas**

A metodologia adotada teve resultados significativos no processamento das imagens capturas pela webcam das medidas feitas pelo equipamento de medição. As leituras feitas no laboratório de calibração que foi montado o projeto temos leituras nítidas e confiáveis quando é feito o processo inicial de configuração corretamente.

Foi verificado que caso o instrumento seja colocado de uma forma muito diferente ao que está a imagem padrão da interface a leitura não é realizada corretamente, porém isto já era esperado e por este motivo foi introduzida a imagem padrão para a orientação do operador.

Para o caso de multímetros que tenha o display fora do comum dos que é normalmente os de  $3^{1/2}$  dígitos surge a dificuldade de posicionamento adequado para que seja feita a leitura correta das medidas. Nestes casos deve ser verificado se há necessidade de o instrumento ser calibrado via o software pois tomara mais tempo do operador para conseguir a posição correta.

Quanto a questão da variação da luminosidade do ambiente para as leituras dos valores visto que o sistema não está coberto por uma caixa, por exemplo, foi verificado que se a variação luminosa não for alta, o processamento irá funcionar normalmente visto que no item 3.2.5 foi explicado que para a verificação dos dígitos foi considerado ranges de amplitudes e não um valor fixo o que ajuda na mudança de local dentro do próprio laboratório, não precisando que o sistema fique em uma posição fixa dentro do laboratório.

##### **4.2 Resultados relacionados otimização no tempo do processo de calibração**

Verificou-se a otimização do processo de calibração com a realização de uma comparação com o processo realizado totalmente pelo operador, desde a abertura do plano até a emissão do certificado, e o processo realizado com o auxílio do sistema semiautomatizado. Os resultados estão na Tabela 2.

Para a apresentação destes resultados foi utilizado um multímetro de  $3^{1/2}$  dígitos do fabricante Minipa, modelo: ET-2082c e as grandezas e faixas calibradas estão na Tabela 1, sendo feita a medida de 3 pontos em cada faixa.

Tabela 1 – Grandezas e faixas calibradas

Grandezas	Tensão Contínua	Tensão Alternada	Corrente Contínua	Corrente Alternada	Resistência
Faixas	200mV	200mV	2mA	2mA	200Ω
	2V	2V	20mA	20mA	2kΩ
	20V	20V	200mA	200mA	20kΩ
	200V	200V	20A	20A	200kΩ
	1000V	750V			2MΩ
					20MΩ
					200MΩ

Fonte: Manual Minipa

Tabela 2 – Tempo de Processo

Parâmetros	Sistema Semiautomatizado	Manualmente
Número de Faixas	25	25
Número de Pontos	75	75
Número de Leituras	300	300
Tempo de Posicionamento do Instrumento (min)	5	0
Tempo de Leitura (min)	30	75
Tempo Abertura de Plano (min)	10	10
Tempo de Troca de Ligações/Faixas (min)	5	5
Tempo Emissão do Certificado (min)	20	20
Tempo Total (min)	70	110

Fonte: Própria Autoria

Verificando a Tabela 2 é possível perceber que o tempo de calibração teve uma diminuição comparado ao processo sendo realizado somente pelo operador, com o sistema semiautomatizado se obteve uma diferença de mais ou menos 36,36% mais rápido.

Podemos analisar que o grande fator que causa esta diferença é o fato do sistema realizar as leituras via webcam, sem precisar que o operador digite cada uma das leituras. No campo “Tempo de Leitura” temos uma diferença de 45min. Observar que o cálculo do “Tempo de Leitura” para o sistema semiautomatizado é feito considerando que será feito as 300 leituras (que são os 75 pontos multiplicados por 4 leituras em cada ponto) com um tempo de 6s para cada leitura, sabendo que com este tempo para as leituras os valores apresentados já estão estáveis, e para o processo manual é considerado um tempo de 15s visto que o operador realiza a leitura mais lento do que o processamento do software.

Temos uma perda de tempo adicional no sistema semiautomatizado que é o posicionamento correto do equipamento para a realização das leituras, mas quando for somado ao total dos tempos de processo é diluído e por isso não afeta o resultado final.

## 5 CONCLUSÃO

Com a aplicação deste sistema de calibração semiautomatizado foi confirmado que é possível melhorar a calibração de multímetros digitais de  $3^{1/2}$  dígitos trazendo uma otimização no processo de calibração do laboratório, fazendo com que o operador possa realizar outras atividades enquanto a calibração do instrumento é realizada.

O processamento das imagens possui uma confiabilidade significativa, fazendo com que ocorram menos erros nas medições das grandezas elétricas e do mesmo modo os laboratórios de calibração possuirão certificados de calibração mais confiáveis tornando a utilização do possuidor do instrumento mais segura.

A programação feita pelo MATLAB para o funcionamento deste sistema, tanto na parte de comunicação via porta serial com gerador de grandezas elétricas quanto a webcam está de uma forma rápida e de simples entendimento. Do mesmo modo é o processamento das imagens digitais coletadas pela webcam, o tratamento das imagens está sendo feito somente por métodos de comparações numéricas fazendo com que o arquivo seja mais leve e a resposta do sistema também seja uma resposta bem mais rápida do que se fosse feita a comparação de imagens, por exemplo, trazendo uma ótima viabilidade para o sistema.

Visto todos os resultados obtidos é interessante para pesquisas futuras que o sistema seja aprimorado para resoluções maiores de multímetros digitais ou também para que seja possível realizar a calibração de mais de um equipamento simultaneamente.



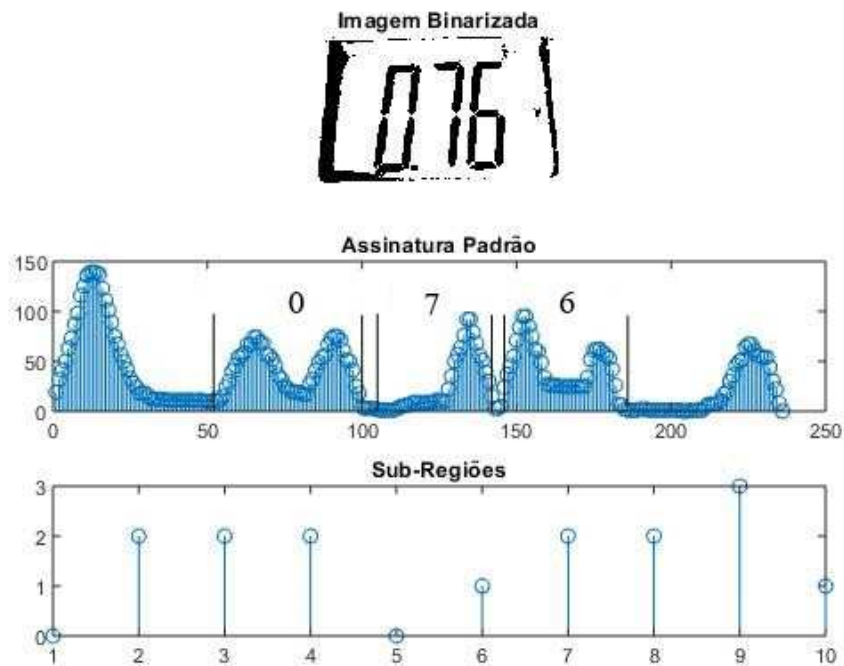
## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CORDENAÇÃO GERAL DE ACREDITAÇÃO, **Orientação Para Calibração de Instrumentos Analógicos e Digitais de Medição na Área de Eletricidade - DOQ-CGCRE-018**. rev. 02, 2018.
- CORDENAÇÃO GERAL DE ACREDITAÇÃO, **Relação Padronizada de Serviços Acreditados para Laboratórios de Calibração - NIT-DICLA-012**. rev. 19, 2018.
- CORDENAÇÃO GERAL DE ACREDITAÇÃO, **Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração**. rev. 9, 2013.
- FLUKE. **Suporte**. Disponível em: <<https://www.fluke.com/pt-br/suporte>>, Acesso em 01 nov. 2018
- GONZALES, R. C; WOODS, R.E.; **Processamento Digital de Imagens**, 3. ed, Pearson, 2010.
- GONZALES, R. C.; WOODS, R.E.; EDDINS, S. L. **Digital Image Processing Using MATLAB**, Pearson, 2004.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO), **Guia para a Expressão de Incerteza de Medição - GUM**. 3 ed. 2008
- LIMA, G. G. **Barramento de Instrumentação IEEE 488(GPIB)**. Espirito Santo, BRASIL. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/19628416/UFES-Artigo-BARRAMENTO-DE-INSTRUMENTACAO-IEEE-488-GPIB>>, Acesso em 20 out. 2018
- MATHWORKS. **Support**. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>, Acesso em 01 nov. 2018
- NATIONAL INSTRUMENTS, **A História do GPIB**. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/3419/pt/#toc4>>, Acesso em: 20 out. 2018
- SOLOMON, C.; BRECKON, T.; **Fundamentos de Processamento Digital de Imagens – Uma Abordagem Prática com Exemplos em MATLAB**, LTC, 2013.

## APÊNDICE A

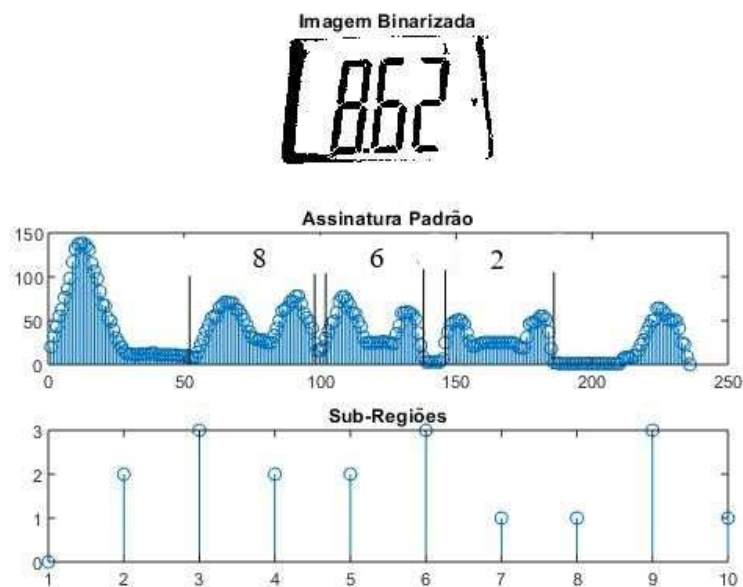
Neste tópico será apresentado algumas imagens do processo de tratamento da imagem capturada pela webcam, além do processamento da Figura 11, para que seja confirmado o que foi descrito ao longo da metodologia.

**Figura 20 – Tratamento Valor 0.76**



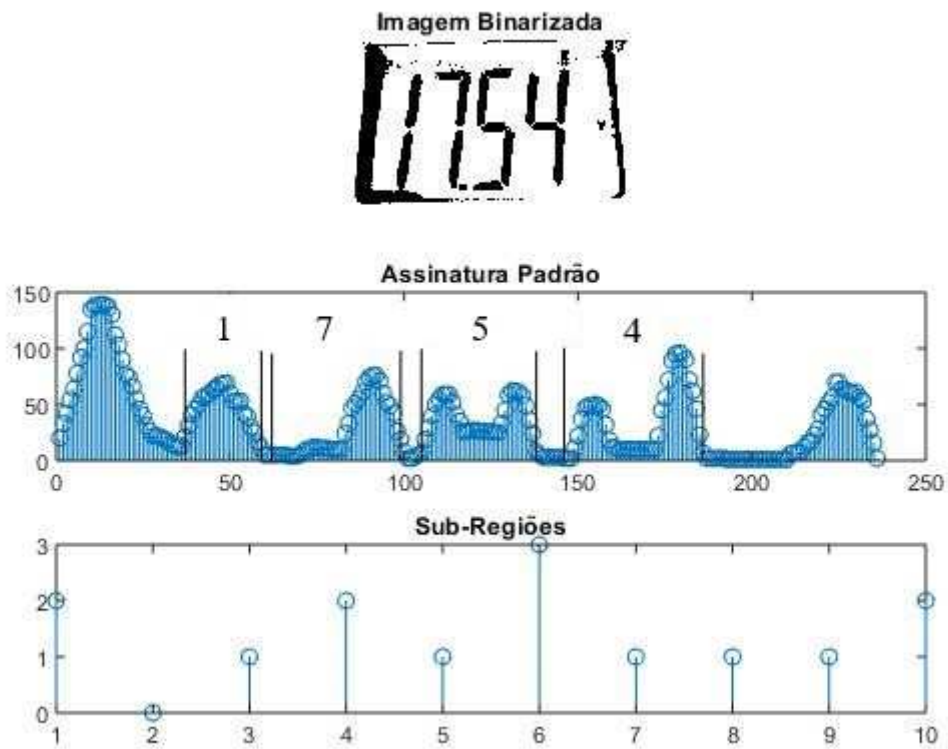
Fonte: Autoria Própria

**Figura 21 - Tratamento Valor 8.62**



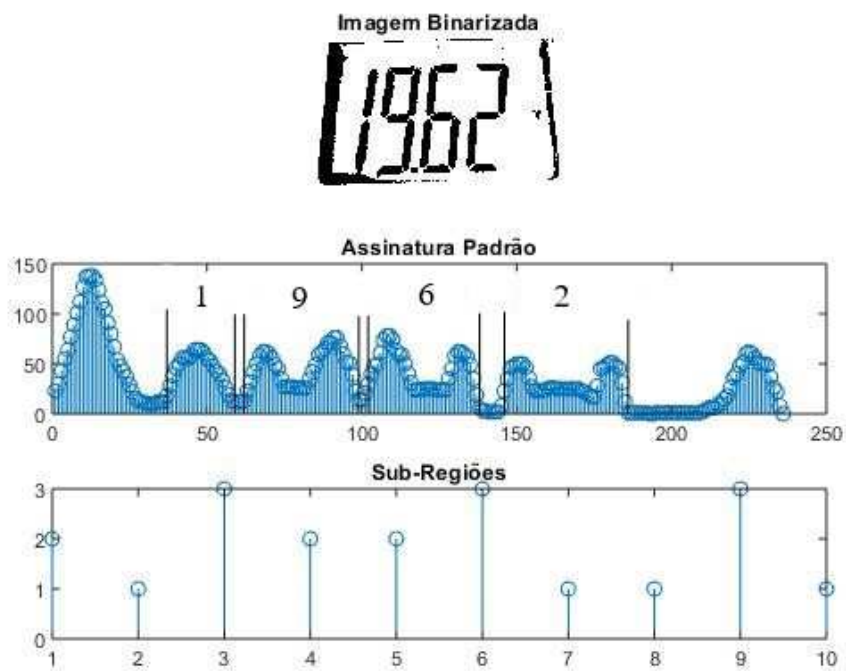
Fonte: Autoria Própria

Figura 22 – Tratamento do Valor 17.54



Fonte: Autoria Própria

Figura 22 – Tratamento do Valor 19.62

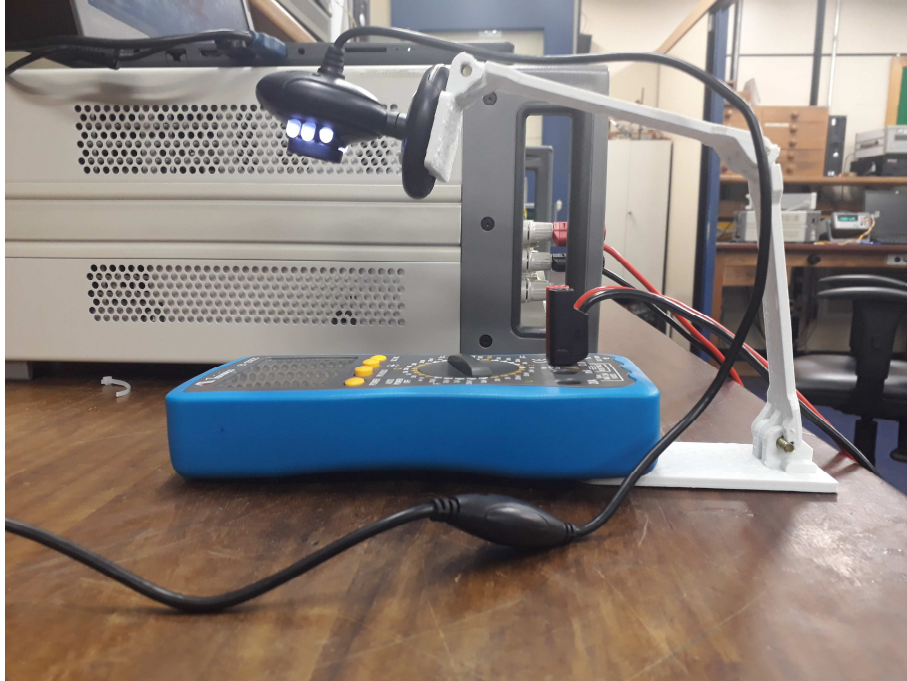


Fonte: Autoria Própria

## APÊNDICE B

Apresentação do suporte feito, em impressora 3D, para o posicionamento da webcam.

**Figura 23 – Suporte Para Webcam**



**Fonte: Autoria Própria**