

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**CYNTHIA GRAÇA DE SOUZA**

**AUTOMATIZAÇÃO DA ANÁLISE DE CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO.**

MANAUS  
2024

**CYNTHIA GRAÇA DE SOUZA**

**AUTOMATIZAÇÃO DA ANÁLISE DE CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção

Orientador(a): Profa. Dra. Renata da Encarnação Onety.

MANAUS  
2024

**CYNTHIA GRAÇA DE SOUZA**

**AUTOMATIZAÇÃO DA ANÁLISE DE CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO.**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 10 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Renata da Encarnação Onety

Renata da Encarnação Onety, Profa., Dra.,  
Universidade do Estado do Amazonas

Alessandro de Souza Bezerra

Alessandro de Souza Bezerra, Prof., Dr.,  
Universidade do Estado do Amazonas

Joésia Moreira Julião Pacheco

Joésia Moreira Julião Pacheco, Profa., Dra.,  
Universidade do Estado do Amazonas

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe (in memoriam), um exemplo de mulher sonhadora e um ser humano extraordinário. Tenho certeza de que, onde estiver, está orgulhosa da mulher que me tornei. Aos meus pais, agradeço por me mostrarem que a educação tem o poder de transformar vidas e que nunca é tarde para sonhar. Sou profundamente grata pelos valores e ensinamentos que me transmitiram. Aos meus tios, que, apesar das limitações financeiras, não mediram esforços para que eu pudesse prestar o vestibular, deixo meu sincero agradecimento!*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por toda sabedoria concedida ao longo desses cinco anos. Sem ele, nada seria possível. Foi minha fortaleza nos momentos em que pensei em desistir.

Agradeço também aos meus estimados professores, cujos ensinamentos e vivências foram fundamentais para que eu seguisse em busca do meu melhor.

Aos amigos que estiveram ao meu lado durante essa longa jornada, tornando-a mais leve e especial.

Por fim, sou profundamente grata aos familiares que me acolheram, ofereceram moradia e, acima de tudo, foram verdadeiros parceiros e amigos. Sem vocês, essa conquista não seria possível.

## RESUMO

Em ambientes industriais, a calibração de equipamentos desempenha um papel essencial na garantia da qualidade e conformidade dos produtos. Os instrumentos de medição são fundamentais para monitorar os processos de produção, assegurando resultados consistentes e precisos. Portanto, é indispensável que a empresa utilize equipamentos calibrados de forma adequada, evitando impactos negativos na qualidade do produto final.

Este trabalho tem como objetivo aprimorar o processo de aprovação de equipamentos após a calibração em uma empresa do setor de ar-condicionado, por meio do desenvolvimento de um sistema automatizado para avaliação da documentação fornecida, garantindo a precisão e confiabilidade dos equipamentos.

Por fim, será realizada uma comparação entre o uso de planilhas tradicionais e um sistema moderno para a avaliação de certificados de calibração.

Palavras chave: conformidade; indústria; instrumentos de medição.

## **ABSTRACT**

*In industrial environments, equipment calibration plays an essential role in ensuring product quality and compliance. Measuring instruments are essential for monitoring production processes, ensuring consistent and accurate results. Therefore, it is essential that the company uses properly calibrated equipment, avoiding negative impacts on the quality of the final product.*

*This work aims to improve the process of approving equipment after calibration in a company in the air conditioning sector, through the development of an automated system for evaluating the documentation provided, ensuring the accuracy and reliability of the equipment.*

*Finally, a comparison will be made between the use of traditional spreadsheets and a modern system for evaluating calibration certificates.*

*Keywords: accordance; industry; measuring instruments.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Site oficial <i>Python</i> .....	20
Figura 2 - Equipamentos do processo produtivo .....	24
Figura 3 – Fluxo de categorização dos sensores .....	32
Figura 4 - Fluxograma de prototipação do sistema .....	33
Figura 5 - Método automatizado para laboratório X .....	35
Figura 6 - Método automatizado para laboratório Y .....	36
Figura 7 - Método automatizado para laboratório Z .....	37
Figura 8 - Relatório final para laboratório Z.....	37
Figura 9 – Relatório final para laboratório X.....	38
Figura 10 – Relatório final para laboratório Y.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura de informações laboratório X .....	25
Tabela 2 - Estrutura de informações laboratório Y .....	26
Tabela 3 - Estrutura de informações laboratório Z .....	27
Tabela 4 - Análise crítica do sensor de temperatura .....	29
Tabela 5 - Método manual para laboratório X .....	35
Tabela 6 - Método manual para laboratório Y .....	36
Tabela 7 - Método manual para laboratório Z .....	36

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DM	Desvio Médio
DP	Desvio Padrão
GUM	<i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements</i>
IH	Incerteza Herdada do Equipamento
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITM	Incerteza Total de Medição
MVC	Média dos Valores Convencionais
NG	Não Conforme
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OIML	<i>International Organization of Legal Metrology</i>
RBC	Rede Brasileira de Calibração
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
U <sub>e</sub>	Incerteza Expandida
V <sub>eff</sub>	Grau Efetivo de Liberdade
VI	Valor Médio Indicado
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia
VRef	Valor de Referência
VVC	Valor Verdadeiro Convencional

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA .....	10
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	11
1.3 HIPÓTESE(S) .....	11
1.4 OBJETIVOS .....	11
<b>1.4.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>11</b>
<b>1.4.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>12</b>
1.5 LIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	12
1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO .....	12
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1 METROLOGIA .....	13
<b>2.1.2 IMPORTÂNCIA DA METROLOGIA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.3 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.4 CALIBRAÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.5 RASTREABILIDADE</b> .....	<b>16</b>
2.2 A NBR ISO/IEC 17025 .....	16
2.3 NBR ISO 9001:2015 .....	18
2.4 ISO GUM .....	19
2.5 PYTHON .....	20
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	22
3.2 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS .....	23
<b>3.2.1 PYTHON</b> .....	<b>23</b>
3.3 AMOSTRAGEM .....	23
3.4 ESTRUTURA CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO .....	25
3.5 ESTRUTURA DA ANÁLISE CRÍTICA .....	27
3.6 PROTOTIPAGEM .....	29
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONTROLE ESTATÍSTICO</b> .....	<b>34</b>
<b>5 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>40</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em ambientes industriais, a calibração de equipamentos é fundamental para assegurar a qualidade e a conformidade dos produtos. Os instrumentos de medição são utilizados para monitorar os processos de produção, garantindo resultados consistentes e precisos.

De acordo com a ISO 9001:2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 14) “a organização deve monitorar e prover os recursos necessários para assegurar resultados válidos e confiáveis quando o monitoramento ou a medição forem utilizados para verificar a conformidade de produtos e serviços com requisitos”.

Na concepção de Albertazzi (2008) o processo está sob controle quando suas variáveis se mantêm dentro de limites previsíveis. Isso assegura a estabilidade e a consistência dos resultados, permitindo identificar e corrigir desvios a tempo, o que é essencial para a qualidade e a eficiência do processo.

O resultado final do processo de calibração é o certificado de calibração elaborado por laboratórios credenciados à RBC (Rede Brasileira de Calibração), que deve ser avaliado minuciosamente para garantir que a liberação dos equipamentos de medição seja feita de forma precisa e assertiva.

Após o recebimento do certificado de calibração, inicia-se o processo de aprovação dos equipamentos. Esse procedimento é realizado por meio de uma planilha no *Excel*, onde os dados são inseridos e analisados. Se os valores estiverem dentro da tolerância permitida e a incerteza total de medição (ITM) for menor ou igual à tolerância do processo, o equipamento é considerado aprovado. Caso contrário, a análise pode resultar em aprovação com restrições ou reprovação total.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O presente trabalho tem como objetivo otimizar o processo de aprovação de equipamentos após a realização da calibração em uma empresa do setor de ar-condicionado, por meio da criação de um sistema automatizado que assegure a precisão dos equipamentos através da avaliação automatizada da documentação fornecida.

Atualmente, a aprovação desses equipamentos é realizada manualmente por um profissional qualificado na área. No entanto, no cotidiano industrial, é inviável concentrar-se exclusivamente em uma atividade específica, dada a vasta gama de instrumentos de medição presentes. Esse processo de aprovação demanda significativa atenção e tempo, recursos que são escassos em um ambiente industrial dinâmico e multifacetado.

A implementação de um sistema automatizado visa não apenas a automatização e agilização do processo de aprovação, como também a redução de erros humanos e a liberação mais rápida dos equipamentos. Isso contribuirá para a melhoria da eficiência operacional e para o aumento da confiabilidade dos processos de produção. Dessa forma, a empresa poderá garantir a conformidade e a precisão de seus equipamentos de medição, assegurando que os produtos finais atendam aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O método de trabalho atual pode ser adaptado para automatizar o processo de validação de certificados de calibração, assegurando a precisão e a confiabilidade dos equipamentos?

## 1.3 HIPÓTESES

A partir do problema de pesquisa, foram levantadas algumas hipóteses, sendo elas:

- A automação do processo de validação atual elimina gargalos operacionais, acelerando a liberação dos equipamentos e garantindo maior agilidade.
- Otimiza a alocação de recursos humanos, permitindo que o responsável realize atividades operacionais adicionais.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Propor uma aplicação automatizada para acelerar o processo de análise de certificados de calibração, a fim de aumentar a eficiência e precisão no processo de aprovação de equipamentos.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Compreender a dinâmica do processo de análise de certificados de calibração;
- Desenvolver algoritmos para processamento e análise de documentos para interpretação automática de certificados de calibração;
- Integrar a plataforma ao ambiente corporativo e comparar seu desempenho com o método manual.

### 1.5 LIMITAÇÃO DO ESTUDO

O estudo não abrange todos os equipamentos de medição utilizados na empresa, devido a limitações de tempo que impossibilitaram a aplicação dos testes a todos os dispositivos. No entanto, foram selecionados equipamentos representativos, que correspondem a 55,3% do total, garantindo que os testes realizados reflitam de maneira adequada às características dos dispositivos.

### 1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos principais. O Capítulo 1 apresenta a pesquisa, contextualizando brevemente o problema identificado, além de delinear os objetivos geral e específicos, a justificativa para a realização do estudo e a organização do conteúdo.

O Capítulo 2 explora a fundamentação teórica, abordando os principais conceitos de metrologia e calibração, além das normas que regem esses processos, elementos essenciais para a compreensão do tema.

No Capítulo 3, são detalhadas a metodologia adotada, o tipo de pesquisa implementado e os procedimentos de coleta de dados, é apresentada a empresa onde foi conduzido o estudo de caso, focando na elaboração do protótipo do sistema automatizado e na utilização das ferramentas apropriadas para o processo.

O Capítulo 4 apresenta as considerações finais, incluindo uma análise comparativa dos resultados obtidos nesta pesquisa em relação à metodologia vigente na empresa estudada.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente trabalho tem como base uma revisão de literatura, que aborda os principais termos e conceitos relacionados ao processo de calibração, tais como metrologia, calibração, rastreabilidade, incerteza de medição, entre outros. Além disso, são abordadas as principais normas que regulamentam o processo em ambiente industrial, como a ISO/IEC 17025, que trata dos requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração e a ISO 9001, voltada para a gestão da qualidade.

### 2.1 METROLOGIA

A metrologia compreende atividades práticas e teóricas voltadas para sistemas de medição, cujo objetivo é garantir a precisão e a confiabilidade das medições. O Inmetro (2009) define a metrologia como a ciência das medidas e suas aplicações, podendo ser subdividida em três grandes áreas principais:

- a) Metrologia Legal: Focada nos sistemas de medição nas áreas de saúde, segurança e meio ambiente, assegurando que os instrumentos e métodos utilizados cumpram com os requisitos legais e regulamentares.
- b) Metrologia Científica: Dedicada à pesquisa de sistemas, equipamentos e métodos de medição, com o objetivo de avançar o conhecimento e desenvolver novas tecnologias de medição.
- c) Metrologia Industrial: Aplicada aos sistemas de medição utilizados no controle de processos produtivos industriais, garantindo a qualidade das peças e dos produtos acabados através de medições precisas e confiáveis.

Os autores Albertazzi e Sousa (2008) destacam que a “metrologia industrial trata da aplicação da metrologia no controle dos processos produtivos e na garantia da qualidade dos produtos finais. Essa abordagem é fundamental para assegurar que os produtos atendam aos padrões de qualidade exigidos no mercado.”

#### 2.1.2 Importância da Metrologia

A metrologia é definida como a ciência da medição e, por meio dela, pode-se obter resultados mais confiáveis, precisos, reproduzíveis, com maior qualidade e

universais nas medições feitas por sistemas de medição que monitoram os processos produtivos Bittencourt *et al.* (2020), assim considerada um dos pilares fundamentais para a inovação e competitividade no ambiente industrial.

Em termos matemáticos, Marinho (2021) menciona que o matemático e físico Lord Kelvin, William Thomson, afirmou que, quando é possível medir algo em números, entende-se claramente sobre isso. Caso contrário, o conhecimento sobre o assunto é limitado.

Essa afirmação está diretamente relacionada com os objetivos das empresas, que buscam garantir a qualidade e a confiabilidade de seus produtos finais para atender às expectativas dos clientes. A base para atingir esse objetivo é a metrologia confiável dos instrumentos de medição, que permite o controle rigoroso e a melhoria contínua dos processos produtivos.

Publicado pelo site Calibra Rio (2023), o texto destaca que a segurança é uma das principais razões para a calibração de instrumentos de medição. Leituras incorretas podem resultar em situações críticas, como explosões ou vazamentos, colocando em risco a segurança dos trabalhadores e ocasionando danos significativos aos equipamentos e ao meio ambiente.

Assim, a metrologia não apenas assegura a conformidade com padrões de qualidade, desempenhando também um papel crucial no cenário internacional ao facilitar a interoperabilidade e a aceitação mútua de produtos entre países.

### **2.1.3 Instrumentos de Medição**

Instrumento de medição refere-se a um dispositivo usado para inspecionar, medir, testar e examinar partes e dados, cujo objetivo é determinar a conformidade com as especificações exigidas no processo.

Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia - VIM (2012) apresenta conceitos que aprofundam a compreensão sobre instrumentos de medição, destacando-os como dispositivos utilizados para realizar medições, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares.

Entre os tipos de instrumentos de medição descritos pelo VIM (2012), destacam-se:

- a) Instrumento de medição indicador: instrumento que fornece um sinal de saída, o qual contém informações sobre o valor da grandeza medida;

- b) Medida Materializada: instrumento de medição que produz ou fornece, de maneira permanente durante sua utilização, grandezas de um ou mais tipos, cada um com seu valor designado.

#### **2.1.4 Calibração**

Calibração é o processo que envolve a comparação entre os valores de um instrumento de medição e um padrão de referência. Esse procedimento é essencial para garantir que os valores medidos durante o processo produtivo reflitam com precisão os valores reais.

Essa definição é apoiada por Benitez *et al.* (2019), que descrevem calibração como o processo, realizado em condições específicas, de comparar as informações geradas por dois instrumentos de medição, sendo um deles considerado o padrão de medição e o outro o item a ser calibrado.

O processo de calibração abrange fatores essenciais, conforme destacado por Albertazzi (2008), que identifica os principais aspectos a serem considerados:

- calibração deve ser realizada de acordo com procedimentos ou instruções bem documentadas;
- calibrações devem ser realizadas de acordo com condições específicas (temperatura ambiente, umidade relativa do ar, dentre outros);
- a calibração deve refletir o processo de medição;
- e, devem ser escolhidos no mínimo 3 pontos de calibração a fim de cobrir a faixa de medição.
- verificação é considerada uma calibração simplificada, geralmente é realizada somente em um ponto de medição;
- ajuste é a operação corretiva destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com o seu uso. O Ajuste pode ser automático, semi automático ou manual;
- regulagem é um ajuste, empregando somente os recursos disponíveis no sistema de medição para o usuário. É normalmente efetuada pelo usuário comum.

Outro fator de extrema importância no processo de calibração é a conformidade dos resultados obtidos com as normas vigentes. Os instrumentos de medição devem ser calibrados por laboratórios acreditados e credenciados por órgãos nacionais ou

internacionais. No Brasil, esses laboratórios devem fazer parte da Rede Brasileira de Calibração (RBC), cujas diretrizes são estabelecidas pelo INMETRO.

### **2.1.5 Rastreabilidade**

Por definição, a rastreabilidade está associada à capacidade de relacionar os resultados de um processo de medição a padrões de referência, por meio de uma cadeia ininterrupta de comparações. Essas comparações são realizadas utilizando instrumentos e padrões de medição apropriados.

“Rastreabilidade metrológica é a relação entre um resultado de medição e padrões reconhecidos, frequentemente com origem em organismos internacionais, por meio de uma sequência contínua de comparações” (Mundo da Metrologia, 2021).

A rastreabilidade é um dos principais pilares para garantir a confiabilidade de um produto em um ambiente industrial, tornando-se essencial para a qualidade do processo. De tal modo que “a organização deve controlar a identificação única das saídas quando a rastreabilidade for um requisito, e deve reter a informação documentada necessária para possibilitar rastreabilidade” (ABNT, 2015, p. 17).

## **2.2 NBR ISO/IEC 17025**

Diversas normas regulamentam o processo de calibração, abrangendo tanto o âmbito nacional quanto o internacional. Entre elas destacam-se a ISO 10012, ISO 9001:2015, NBR ISO/IEC 17025, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018. Dentre essas, a NBR ISO/IEC 17025 e ISO 9001:2015 são as mais relevantes, cada uma com requisitos específicos que contribuem de maneira complementar para assegurar a precisão, rastreabilidade e confiabilidade dos processos de calibração.

A NBR ISO/IEC 17025 (2017) direciona a acreditação de laboratórios de calibração, estabelecendo diretrizes fundamentais para operarem de maneira confiável e apresentarem resultados precisos e confiáveis.

Desenvolvida com o objetivo de padronizar as práticas de ensaios e calibração, a norma aborda aspectos cruciais, como rastreabilidade das medições, validação de métodos e controle de qualidade, assegurando a precisão e a consistência dos resultados produzidos pelos laboratórios.

Para o trabalho proposto, os principais tópicos da NBR ISO/IEC 17025 são destacados a seguir. Estes representam as características e a estrutura dos

certificados de calibração emitidos pelos laboratórios, conforme ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Requisitos para relatórios de calibração

7.8.2 Requisitos comuns para relatórios (ensaio, calibração ou amostragem)	
Item	Descrição
a) um título "Relatório de Ensaio", "Certificado de Calibração" ou "Relatório de Amostragem".	Indicação do tipo de relatório.
b) Nome e Endereço do Laboratório	Dados completos do laboratório responsável pela execução das atividades
c) Local da Realização das Atividades	Identificação do local onde as atividades foram realizadas.
d) Identificação Unívoca do Relatório	Cada componente do relatório deve ser identificado de maneira única, e deve haver uma clara identificação do final do documento.
e) Nome e Informações de Contato do Cliente	Dados do cliente, para garantir que os resultados estejam claramente relacionados à solicitação específica.
f) Identificação do Método Utilizado	Indicação do método de ensaio, calibração ou amostragem.
g) Descrição e Identificação do Item	Descrição do item ensaiado, calibrado ou amostrado, com identificação não ambígua e, quando necessário, a condição do item.
h) Data de Recebimento dos Itens ou Data de Amostragem	Data de recebimento dos itens de ensaio ou calibração, ou a data de amostragem, se essa for crítica para a validade dos resultados.

Fonte: ABNT (2017), adaptada pela autora (2024).

i) Data(s) da Realização das Atividades	Data em que as atividades de laboratório foram efetivamente realizadas.
j) Data de Emissão do Relatório	Data em que o relatório foi emitido, garantindo a atualização da informação.
k) Referência ao Plano de Amostragem ou Método de Amostragem	Quando pertinente, o relatório deve fazer referência ao plano de amostragem e ao método de amostragem utilizado pelo laboratório ou por outros organismos.
l) Declaração sobre os Resultados	Declaração explícita de que os resultados se referem somente aos itens ensaiados, calibrados ou amostrados.
m) Resultados com Unidades de Medida	Apresentação dos resultados com as unidades de medida apropriadas.
n) Adições ou Desvios em Relação ao Método	Indicação de quaisquer alterações, adições ou desvios do método de ensaio ou calibração, se houver.
o) Identificação da(s) Pessoa(s) que Autoriza(m) o Relatório	Identificação clara das pessoas responsáveis pela autorização do relatório, garantindo a validação e responsabilidade.
p) Identificação de Resultados de Provedores Externos	Se os resultados forem provenientes de provedores externos, deve haver uma identificação clara e precisa sobre essa origem.

Fonte: ABNT (2017), adaptada pela autora (2024).

### 2.3 NBR ISO 9001:2015

A ISO 9001:2015 é uma norma internacional que define critérios para sistemas de gestão da qualidade (SGQ) em organizações de diferentes setores, incluindo aquelas que realizam medições, é composta por 10 seções principais e 2 anexos informativos.

Na concepção de Mello (2011), essa norma se caracteriza por diversos aspectos essenciais para a gestão da qualidade, tais como:

- Determina a abordagem por processo;
- Aponta requisitos gerais e de documentação para o sistema de gestão;
- Determina a responsabilidades da direção;
- Trata da gestão de recursos;
- Refere-se à realização do produto;
- Estabelece medição, análise e melhoria.

Dessa forma, a norma é aplicável à organização que:

a) Necessita demonstrar sua capacidade para fornecer de forma coerente produtos que atendam aos requisitos do cliente e requisitos regulamentares aplicáveis;

b) Pretende aumentar a satisfação do cliente por meio da efetiva aplicação do sistema, incluindo processos para melhoria contínua do sistema e a garantia da conformidade com requisitos do cliente e requisitos regulamentares aplicáveis.

Para atender a esses requisitos, é fundamental que a organização identifique e disponibilize os recursos necessários para o monitoramento e a medição dos processos que impactam a conformidade do produto com os requisitos especificados. Essa necessidade é destacada no item 7.1.5, Recursos de Monitoramento e Medição, que enfatiza e destaca os tópicos presentes no Quadro 2.

Quadro 2 - Requisitos de monitoramento e medição NBR ISO 9001

7.1.5 Recursos de Monitoramento e Medição	
Item	Descrição
7.1.5.1 Generalidades	A organização deve determinar os recursos necessários para realizar o monitoramento e a medição dos processos que afetam a conformidade do produto com os requisitos especificados. Esses recursos podem incluir equipamentos, instrumentos ou sistemas de medição.
7.1.5.2 Rastreabilidade de medição	Quando a rastreabilidade de medição for um requisito, ou for considerada pela organização uma parte essencial da provisão de confiança na validade de resultados de medição, os equipamentos de medição devem ser:

Fonte: ABNT (2015), adaptada pela autora (2024).

Em síntese, a NBR ISO 9001 é essencial para promover a melhoria contínua na qualidade dos serviços prestados pelas empresas, gerando benefícios tanto para a organização, ao otimizar seus processos internos, quanto para os clientes, ao garantir que suas expectativas sejam atendidas de forma consistente e confiável.

## 2.4 ISO GUM

O "*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements*" (Guia para a Expressão da Incerteza de Medição), amplamente conhecido como ISO GUM, é um documento fundamental que fornece diretrizes para a avaliação da incerteza em sistemas de medição. Desenvolvido pela *International Organization for Standardization* (ISO) em colaboração com a *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC) e a *International Organization of Legal Metrology* (OIML), sendo sua última versão publicada em 2012.

Devido à sua importância, a norma é amplamente adotada e suas orientações estão disponíveis em fontes oficiais, como o site do governo federal.

O ISO GUM, além de ser um documento para a utilização mundial da estimativa da incerteza de um resultado de medição, se estabelece também como uma literatura balizadora de diversas outras análises, interpretações e aplicações. Uma destas interessantes interpretações é destacada por Couto e Monteiro (2000, *apud* Martins e Potin, 2020), que afirmam que o guia se estabelece como um documento orientado

para a análise e definição da especificação de uma instrumentação adequada à tolerância de um determinado processo.

Assim, o ISO GUM foi criado com o intuito de estabelecer padrões e harmonizar metodologias utilizadas por laboratórios de calibração, facilitando assim a compreensão e a aplicação dessas práticas em diferentes contextos. Essa padronização é essencial para garantir a confiabilidade e a comparabilidade das medições em todo o mundo.

Por essa razão, laboratórios prestadores de serviços, ao adotarem as diretrizes do ISO GUM, utilizam termos, práticas e metodologias alinhadas com os requisitos estabelecidos pela norma, garantindo conformidade com as melhores práticas internacionais. Isso assegura a integridade e a precisão dos serviços de calibração, atendendo às exigências regulatórias e às expectativas de qualidade do mercado.

## 2.5 PYTHON

O *Python* é uma linguagem de programação interpretada, interativa e orientada a objetos (Python Software Foundation, 2024). Desenvolvida por Guido van Rossum, um programador e engenheiro de software neerlandês, atualmente mantido pela *Python Software Foundation*, uma organização independente e sem fins lucrativos, que detém os direitos autorais sobre as versões 2.1 e as mais recentes da linguagem, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Site oficial *Python*



Fonte: Python (2024).

É uma linguagem versátil e de fácil aprendizado, reconhecida por sua simplicidade e legibilidade, além de ser amplamente utilizada no desenvolvimento de aplicações web.

Como destacado por Songini (2005, *apud* Ramos, Oliveira e Sales, 2006), "os usuários são atraídos pela rapidez com que alcançam resultados utilizando Python, além da agilidade no desenvolvimento de protótipos que podem ser rapidamente convertidos em soluções completas".

Além dos critérios mencionados anteriormente, o Python se destaca pela sua versatilidade, oferecendo uma ampla gama de bibliotecas que podem ser utilizadas para diversas finalidades. Alguns exemplos incluem:

- *NumPy*;
- *SciPy*;
- *Pandas*;
- *Matplotlib*;
- *Seaborn*;
- *Django*;
- *Pdfplumber*;
- Outros.

Entretanto, a escolha da linguagem de programação será determinada pela familiaridade do indivíduo com uma linguagem específica, que também deve ser compatível com a área de aplicação de seu interesse.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho apresenta um estudo de caso na área de Engenharia, focado na otimização do processo de análise de certificados e análise crítica de equipamentos, dentro de uma empresa do setor de condicionadores de ar. A escolha da unidade de condicionadores de ar para o desenvolvimento da pesquisa se deu pela facilidade na coleta de informações, possibilitada pelo vínculo entre o colaborador e a empresa.

Como embasamento teórico para a escolha da metodologia de estudo de caso, Clemente Júnior (2012) descreve o método do estudo de caso como uma estratégia de pesquisa diferenciada, que permite ao pesquisador construir seus próprios caminhos e ajustar seu projeto metodológico na busca pelos objetivos propostos.

O autor também enfatiza que o estudo de caso não deve ser confundido com uma pesquisa de caráter exclusivamente qualitativo. Com o propósito de apresentar uma reflexão analítica sobre o contexto estudado, esse tipo de investigação oferece contribuições significativas no campo da pesquisa avaliativa.

Assim, a aplicação do estudo de caso permitiu uma análise detalhada e prática do processo de otimização na análise de certificados e na avaliação de equipamentos, oferecendo uma visão clara sobre as oportunidades de melhoria dentro da empresa.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A empresa em análise, atualmente realiza o processo validação de certificados de calibração e análises críticas de forma manual, por meio de uma planilha no *Excel*, onde os dados são inseridos e avaliados tecnicamente.

O processo tem início com a identificação da necessidade de calibração do equipamento, que possui um prazo de validade de um ano até a próxima calibração. Se a análise indicar a necessidade de calibração, inicia-se a primeira etapa, que consiste na abertura de uma requisição de compra. Nessa fase, o setor de compras é responsável por intermediar o processo, que culmina na criação do pedido de compra (PO) e seu envio ao fornecedor.

A segunda etapa envolve o agendamento do serviço de calibração, que pode ser realizado tanto in loco quanto em laboratório, dependendo do equipamento. Após a conclusão do serviço, o laboratório responsável envia à empresa os certificados de calibração, em seguida é realizado o processo de avaliação do certificado e análise crítica.

Esta fase é a mais crucial e conclui o procedimento de calibração. Por isso, é essencial garantir precisão e disponibilidade de tempo, já que requer uma atenção cuidadosa aos dados apresentados.

Portanto, o estudo pretende avaliar a viabilidade da automatização do processo de validação de laudos de calibração e análise crítica de equipamentos, por meio de programação em *Python*. A adoção de uma solução automatizada busca substituir as etapas manuais, minimizando erros, incrementando a eficiência operacional e assegurando maior precisão nos resultados.

## 3.2 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS

### 3.2.1 Python

A construção dos algoritmos foi realizada utilizando a linguagem de programação *Python*, devido à sua facilidade de uso, flexibilidade e amplo suporte a bibliotecas e funcionalidades que facilitam o desenvolvimento de aplicações voltadas para o tema proposto. Como destacado por Songini (2005, *apud* Ramos, Oliveira e Sales, 2006), "os usuários são atraídos pela rapidez com que alcançam resultados utilizando Python, além da agilidade no desenvolvimento de protótipos que podem ser rapidamente convertidos em soluções completas".

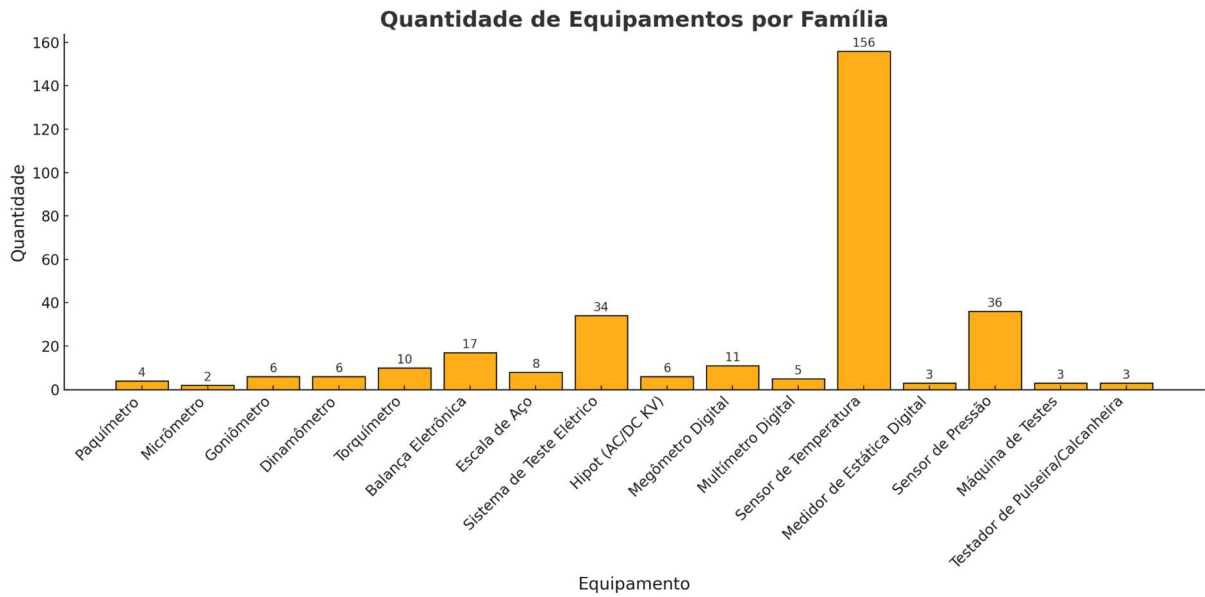
Além da vasta opção de bibliotecas e frameworks, que possibilitaram o desenvolvimento da plataforma, dentre as quais destacaram-se:

- *Pdfplumber*: para extração de dados dos documentos em PDF. Essa ferramenta é ideal para trabalhar com documentos estruturados em tabelas, como os laudos de calibração.
- *Pandas*: para organização e análise dos dados extraídos, permitindo a execução de operações matemáticas e lógicas para calcular os desvios e as incertezas de medição.
- *Numpy*: para executar cálculos matemáticos.
- *Reportlab*: para gerar o pdf customizado com resultados.

## 3.3 AMOSTRAGEM

A empresa objeto de estudo dispõe de 16 famílias de equipamentos, cada uma representando um tipo específico, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Equipamentos do processo produtivo



Fonte: Autora (2024).

Para a pesquisa, foi adotada a definição de amostragem representativa. De acordo com essa abordagem, a amostra é selecionada de forma a refletir as características essenciais da população total, garantindo que a parte escolhida seja fielmente representativa do todo (*Cirius Quality, 2023*).

Ainda segundo o autor mencionado, a amostra representativa é crucial em pesquisas e estudos, pois possibilita a obtenção de informações precisas sobre uma população maior, sem a necessidade de coletar dados de todos os indivíduos.

A amostra foi composta exclusivamente por sensores de temperatura, totalizando 156 equipamentos, o que corresponde a 55,3% do total de 282 equipamentos. Essa escolha foi fundamentada na representatividade significativa da amostra, tanto do ponto de vista estatístico quanto prático, garantindo que os testes realizados refletissem as principais características dos dispositivos e assegurando uma análise relevante dentro do escopo do estudo.

Ademais, a opção por uma amostra reduzida de equipamentos visou garantir a viabilidade da pesquisa, permitindo uma análise mais aprofundada e detalhada sem comprometer a qualidade do estudo.

Considerando o exposto, os resultados obtidos a partir da amostra testada são considerados válidos, pois refletem as principais características da população de

equipamentos da empresa. Isso possibilita que as conclusões do estudo sejam generalizadas para o conjunto de equipamentos utilizados, dentro dos limites estabelecidos pela pesquisa.

### 3.4 ESTRUTURA CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO

A empresa trabalha com três laboratórios de calibração: X, Y e Z. Cada um fornece o certificado de calibração de forma distinta. Assim, temos as seguintes particularidades:

O Laboratório X apresenta os resultados da calibração de maneira estruturada. Primeiramente, são fornecidos os dados dos padrões das leituras realizadas, conhecidos como Valor Verdadeiro Convencional (VVC). Em seguida, é reportada a Média dos Valores Verdadeiros (MVC), que leva em consideração as faixas de medição solicitadas pela empresa. Posteriormente, são apresentados a Incerteza Herdada do Equipamento (IH), o Desvio Médio (DM) e o Desvio Padrão (DP). Por fim, é fornecida a Incerteza Expandida (Ue), que está diretamente associada ao padrão do equipamento utilizado no procedimento de calibração, todos os dados fornecidos em uma única unidade de medida C°.

Todas essas informações estão organizadas em colunas verticais, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Estrutura de informações laboratório X

Valor verdadeiro convencional (C°)	Média do valores verdadeiros (C°)	Incerteza herdada (C°)	Desvio médio (C°)	Desvio padrão (C°)	Incerteza herdada (C°)
0,00	0,0	0,20	0,0	0,0	0,5
20,00	20,0	0,20	0,0	0,0	0,5
25,00	25,1	0,20	0,1	0,1	0,5
30,00	30,0	0,20	0,0	0,0	0,5
35,00	35,0	0,20	0,0	0,0	0,5
40,00	40,00	0,20	0,0	0,0	0,5
45,00	45,20	0,20	0,2	0,1	0,5
50,00	50,30	0,20	0,3	0,0	0,5

Fonte: Laboratório X (2024), adaptada pela autora (2024).

O Laboratório Y segue uma abordagem distinta em relação à estrutura mencionada. Primeiro, são apresentadas as características da medição. Em seguida, são fornecidos os Valores Médios Indicados (VI) pelo instrumento, seguidos pelo Valor de Referência (VRef), que corresponde ao equipamento utilizado na calibração solicitada pela empresa. Depois, são apresentados o erro de medição, a Incerteza Expandida (Ue), a Unidade de Medida ( $^{\circ}\text{C}$ ), os graus efetivos de liberdade (Veff) e por último o Fator de Abrangência (k). A estrutura citada é ilustrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Estrutura de informações laboratório Y

Profundidade de imersão (mm)	Valor do instrumento	Valor de referência	Erro	Incerteza expandida	Unidade de medida	Veff	K
150	0,3	0,0	0,3	0,30	$^{\circ}\text{C}$	55,3	2,0
150	25,3	25,0	0,3	0,30	$^{\circ}\text{C}$	55,3	2,0
150	51,0	50,0	1,0	0,30	$^{\circ}\text{C}$	55,3	2,0
150	76,1	75,0	1,1	0,30	$^{\circ}\text{C}$	55,3	2,0
150	100,3	100,0	0,3	0,30	$^{\circ}\text{C}$	55,3	2,0

Fonte: Laboratório Y (2024), adaptada pela autora (2024).

Por fim, o Laboratório Z organiza sua estrutura de informações da seguinte maneira: Valor Médio Indicado (VI) pelo instrumento, Valor Verdadeiro Convencional (VVC), erro de medição, Incerteza de Medição (IM), Grau Efetivo de Liberdade (Veff) e Fator de Abrangência (k). Todos os valores estão expressos na mesma unidade de medida,  $^{\circ}\text{C}$ , conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estrutura de informações laboratório Z

Valor indicado no instrumento (C°)	Valor verdadeiro convencional (C°)	Erro (C°)	Incerteza de medição (C°)	Veff	K
5,10	5,0	0,1	0,115	55,3	2,0
10,10	10,0	0,1	0,115	55,3	2,0
15,10	15,0	0,1	0,115	55,3	2,0
20,00	20,0	0,0	0,115	55,3	2,0
25,10	25,0	0,1	0,115	55,3	2,0
30,10	30,00	0,1	0,115	55,3	2,0
35,10	35,00	0,1	0,115	55,3	2,0
40,10	40,00	0,1	0,115	55,3	2,0

Fonte: Laboratório Z (2024), adaptada pela autora (2024).

É importante ressaltar que cada laboratório emite certificados com base nos requisitos e padrões previamente estabelecidos para cada cliente. Embora cada um possua um padrão de certificação específico, as nomenclaturas adotadas são geralmente comuns, pois todos seguem as NBRs pertinentes à calibração. As diferenças residem principalmente na ordem em que são apresentadas as colunas dos valores.

Dessa forma, a solução automatizada foi projetada para ler e interpretar os diferentes formatos de certificado, unificando as informações em um modelo padronizado que facilite a análise crítica dos resultados de calibração, independentemente da origem do laboratório. Esse processo de harmonização de dados permitirá uma avaliação mais rápida e precisa, minimizando erros de interpretação.

### 3.5 ESTRUTURA DA ANÁLISE CRÍTICA

Após o recebimento dos laudos de calibração, inicia-se o processo de análise crítica, que é realizado em uma planilha eletrônica no *Excel*. A estrutura desta planilha foi elaborada com base nas recomendações das NBRs pertinentes e nas consultorias especializadas prestadas, garantindo a conformidade com as normas técnicas.

- a) Colunas E e F: Valor Verdadeiro Convencional (VVC);
- b) Coluna G e H: Valor indicado no instrumento (VI);
- c) Coluna I: Desvio Médio (D.M);
- d) Coluna J: Incerteza de Medição (IM);

- e) Coluna K: Incerteza Total de Medição (ITM);
- f) Coluna L: Incerteza de Medição % (ITM%)
- g) Coluna M: Tolerância de Processo (TP);
- h) Coluna N: Adequação ao Uso.

As colunas referentes ao VVC e VI contém os dados extraídos diretamente do laudo de calibração. As colunas I e J são preenchidas por meio de cálculos específicos: a coluna I exibe o desvio médio (D.M.), calculado pela fórmula  $D.M. = |VVC - MIT|$ , e a coluna J apresenta a Incerteza de Medição (IM), que pode ser igual à Incerteza de Medição (IM) ou à Incerteza Expandida ( $U_e$ ), dependendo do caso. Já a coluna K, representa a incerteza total de medição em percentual.

Outro dado crucial para o desenvolvimento do sistema foram as tolerâncias de processo. Cada equipamento, conforme suas especificações técnicas, possui uma tolerância definida, que pode ser estabelecida pelo manual de instruções ou por um estudo de critérios de aceitação, realizado por meio de amostragem. Como existem 16 famílias de equipamentos, cada uma terá uma tolerância previamente definida, fundamental para a análise final do equipamento. Essa tolerância determina se o equipamento está aprovado ou não, influenciando diretamente sua conformidade e desempenho.

A tolerância de processo é inserida manualmente na coluna M, sendo ajustada conforme as especificações de cada equipamento, podendo ser definida como  $TP / 2$  (%) ou  $TP / 3$  (%).

Quanto à coluna N, esta exibe o resultado final da calibração, indicando se está adequado para uso ou não, utilizando a seguinte fórmula ajustada:  $ITM \leq TP / 2 \rightarrow =SE$  (Coluna G  $\geq$  Coluna F; "OK"; "NG"), a estrutura descrita pode ser visualizada na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise crítica do sensor de temperatura

*f<sub>x</sub>* | ANÁLISE: EQUIPAMENTO APROVADO PARA USO GERAL.

Valor Verdadeiro Convencional do Padrão	Média dos valores indicados no Instrumento de Teste	Desvio Médio	Incerteza da medição + Incerteza do padrão	Incerteza Total da Medição	Incerteza Total da Medição (%)	Tolerância de Processo (%)	Adequação ao Uso
VVC / FAIXA DE MEDIÇÃO (°C)	MIT (°C)	D.M. =  VVC - MIT	IM = (li + hi)	ITM = (D.M + IM)	ITM = (D.M + IM) %	TP / 2 (%)	ITM ≤ TP / 2
5,00	5,10	0,10	0,115	0,22	-	6,25%	OK
10,00	10,10	0,10	0,115	0,22	2,15%	6,25%	OK
15,00	15,10	0,10	0,115	0,22	1,43%	6,25%	OK
20,00	20,10	0,10	0,115	0,22	1,08%	6,25%	OK
25,00	25,10	0,10	0,115	0,22	0,86%	6,25%	OK
30,00	30,10	0,10	0,115	0,22	0,72%	6,25%	OK
35,00	35,10	0,10	0,115	0,22	0,61%	6,25%	OK
40,00	40,10	0,10	0,115	0,22	0,54%	6,25%	OK

Fonte: Dados da empresa estudada (2024).

O processo de análise crítica foi automatizado através de um sistema desenvolvido em *Python*. O sistema realiza os cálculos necessários para determinar a Incerteza Total de Medição (ITM), o Desvio Médio (DM) e comparar os resultados com as tolerâncias de processo definidas para cada equipamento. A automação desses cálculos não apenas acelera o processo de aprovação, garantindo maior precisão na análise dos laudos de calibração, eliminando a possibilidade de erros humanos nas fórmulas e nas inserções de dados. Além disso, o sistema mostra automaticamente o resultado de aprovação ou rejeição do equipamento com base nas informações previamente informadas.

### 3.6 PROTOTIPAGEM

Para o desenvolvimento do protótipo, foi necessário identificar uma linguagem adequada para a extração de dados de arquivos PDF, uma vez que os laboratórios de calibração fornecem seus laudos nesse formato. Após realizar uma pesquisa sobre abordagens semelhantes, concluiu-se que a linguagem Python seria a mais indicada para essa tarefa, sendo então escolhida como a principal ferramenta de implementação.

Com a linguagem definida, iniciou-se a busca pelas bibliotecas mais apropriadas para o processamento de documentos PDF. Como resultado, foram selecionadas as bibliotecas *PdfPlumber*, *Pandas*, *Numpy* e *ReportLab*, que permitem a extração eficiente de dados textuais e estruturados dos laudos, atendendo de forma precisa às necessidades do protótipo.

A primeira etapa do desenvolvimento do protótipo foi a importação das bibliotecas necessárias para realizar as tarefas de extração, processamento, análise e geração de relatórios. Para esta etapa, os seguintes passos foram seguidos:

- **Instalação de todas as bibliotecas:** utilizou-se o comando.  

```
pip install -r requirements.txt
```
- **Importação da biblioteca *PdfPlumber*:** a biblioteca foi importada com o comando:  

```
Import pdfplumber
```
- **Importação da biblioteca *Pandas*:** utilizada para manipulação de dados em formato de tabelas (DataFrames), possibilitando cálculos e transformações.  

```
Import pandas as pd
```
- **Importação do *Numpy*:** usado para operações numéricas e funções matemáticas.  

```
import numpy as np
```
- **Importação do *ReportLab*:** utilizado para criar um novo PDF de saída com base nos resultados da análise.  

```
from reportlab.lib.pagesizes import letter  
from reportlab.pdfgen import canvas
```

Em seguida, foi desenvolvido o código base para iniciar a prototipagem do sistema, permitindo validar a viabilidade da solução proposta. Esse código foi ajustado ao longo do desenvolvimento, conforme eram identificadas melhorias e ajustes necessários para lidar com diferentes formatos de laudos. Após a importação das bibliotecas necessárias, a próxima etapa foi a configuração de arquivos e parâmetros.

Primeiramente, foi estabelecido o valor de referência para a comparação dos resultados. Para os sensores de temperatura, a tolerância do processo foi fixada em 6,25%, conforme previamente definido pela empresa em estudo. Em seguida, foram

determinados três arquivos PDF utilizados para a extração dos dados, para os três laboratórios existentes “X”, “Y” e “Z”.

A etapa seguinte consistiu na extração de dados diretamente dos arquivos PDF, que contêm as informações estruturadas necessárias para a análise. Para esse processo, foi utilizada a biblioteca *pdfplumber*, especializada na extração de dados de documentos PDF.

Os dados foram extraídos para os três laboratórios, com base nos respectivos certificados de calibração.

Após a extração dos dados requeridos, foram executados os comandos necessários para realizar os cálculos essenciais à análise, como a determinação das diferenças entre os valores de calibração e a verificação da conformidade com a tolerância de 6,25%. Com os resultados obtidos, os dados estão preparados para a próxima etapa do processo, que inclui as avaliações finais e a elaboração do relatório com os resultados da calibração.

Nesta etapa, foi verificado se a página continha pelo menos três tabelas, caso a condição fosse atendida, a terceira tabela foi selecionada e convertida em um *DataFrame* da biblioteca *pandas*. A primeira linha da tabela foi ajustada para servir como cabeçalho, definindo os nomes das colunas. Além disso, realizou-se o tratamento dos dados para assegurar a formatação correta dos valores, substituindo vírgulas por pontos, garantindo assim a conversão numérica apropriada.

As colunas foram renomeadas para termos mais claros e padronizados, como:

- V.V.C foi renomeada para VVC;
- M.V.C foi renomeada para MIT;
- Ue foi renomeada para IM.

Adicionalmente, colunas consideradas desnecessárias para a análise, como **I.H**, **D.M** e **D.P**, foram descartadas.

Na etapa de avaliação final, a análise dos cálculos foi essencial para assegurar que os resultados obtidos estivessem consistentes com os valores previamente verificados manualmente. A partir dessa verificação, foi possível classificar os resultados com base na tolerância estabelecida, identificando os sensores que atendem aos critérios esperados.

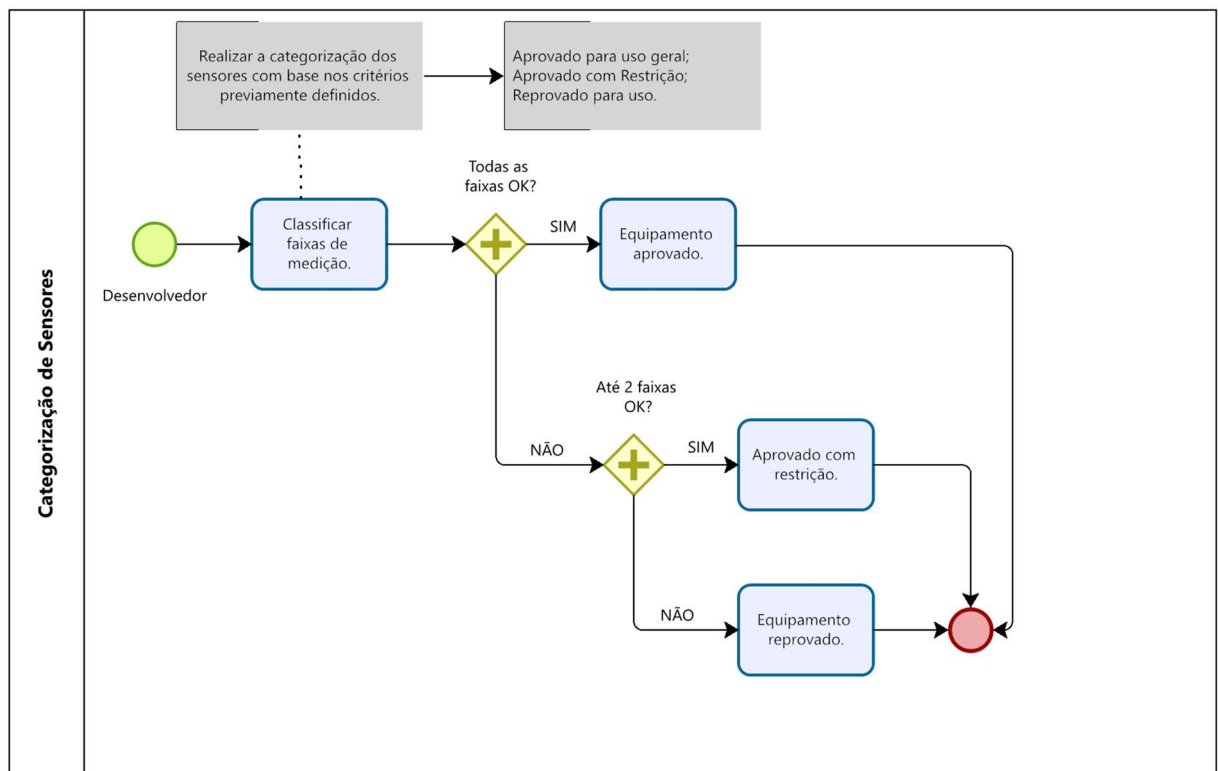
Os sensores foram categorizados da seguinte forma:

- Sensores cujas faixas de medição foram todas classificadas como 'OK' receberam a designação de "**Equipamento aprovado**";

- Sensores com até duas faixas de medição classificadas como 'NG' (não conformes) foram considerados "**Aprovados com restrição**";
- Sensores com três ou mais faixas de medição classificadas como 'NG' foram considerados "**Equipamentos reprovados**".

Dessa forma, os dados foram devidamente preparados para avançar para a etapa seguinte, na qual foram realizadas as avaliações finais e elaborado o relatório com os resultados da calibração. A lógica implementada no código para essa categorização está detalhadamente apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Fluxo de categorização dos sensores



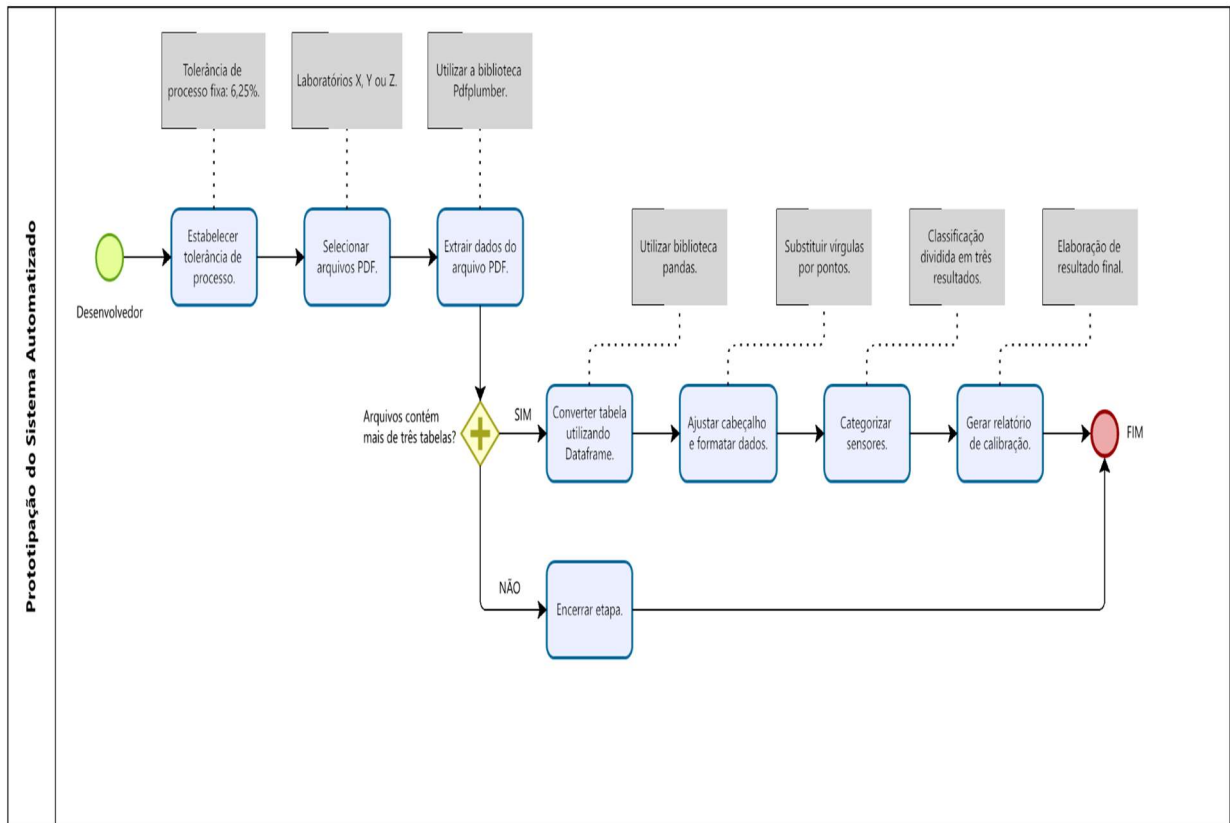
Fonte: Autora (2024).

A etapa final do processo consistiu na geração do relatório, uma fase essencial para documentar e apresentar os resultados obtidos durante a análise dos dados. Após a validação e categorização dos sensores, o relatório fornece uma visão detalhada e estruturada dos resultados da calibração, servindo como um documento formal para a avaliação final do processo.

Durante essa etapa, os dados analisados foram organizados e apresentados de forma clara e objetiva, facilitando a interpretação e subsidiando a tomada de decisões. Para isso, o código automatizou a criação de um arquivo PDF, indicando se

o equipamento foi aprovado ou não. A execução dessa etapa está ilustrada nas Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma de prototipação do sistema



Fonte: Autora (2024).

O protótipo foi testado utilizando amostras de laudos reais provenientes de três laboratórios, com foco na precisão da extração de dados e no cálculo das métricas de calibração. Inicialmente, o código foi desenvolvido com base em uma amostra de laudo do laboratório “X”, que serviu como referência para a estruturação do processo. O código desenvolvido pode ser visualizado no Anexo A.

Com o código já pré-definido, a pesquisa avançou para o foco principal: a análise de 156 laudos do laboratório “Z”.

Por fim, como complemento, o protótipo foi aplicado a uma amostra do laboratório “Y”, ampliando o alcance dos testes realizados.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONTROLE ESTATÍSTICO

Neste capítulo, apresenta-se a análise dos resultados obtidos com a aplicação de um sistema automatizado para a análise de certificados de calibração, comparando-a com o processo manual. Para garantir a precisão dos dados e a robustez das conclusões, foi adotada uma abordagem de controle estatístico para avaliar a confiabilidade, a precisão e a eficácia do sistema desenvolvido.

### 4.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS

A primeira etapa da análise consistiu em comparar os resultados obtidos pelo processo manual, realizado por um profissional qualificado, com os resultados do sistema automatizado. Foram analisados os seguintes aspectos:

- Precisão;
- Resultado final;
- Tempo de processamento.

No primeiro fator analisado, foi avaliada a capacidade do sistema automatizado de gerar resultados equivalentes aos obtidos pelo processo manual. Para essa análise, foram comparados os valores do Desvio Médio (D.M.), Incerteza de Medição (IM) e Incerteza Total de Medição (ITM%). Foram considerados os certificados dos laboratórios “X”, “Y” e “Z” para a comparação.

A Tabela 5 e Figura 5 apresentam a comparação realizada para o laboratório “X”, onde os resultados obtidos foram idênticos tanto no método manual quanto no automatizado. Em ambos os métodos, os valores para comparação foram os mesmos.

É importante destacar que, para as faixas com valor zero, o sistema não reconhece automaticamente a necessidade de desconsiderá-las, razão pela qual essas faixas são registradas como "NG".

Tabela 5 - Método manual para laboratório X

Valor Verdadeiro Convencional do Padrão	Média dos valores indicados no Instrumento de Teste	Desvio Médio	Incerteza da medição + Incerteza do padrão	Incerteza Total da Medição	Incerteza Total da Medição (%)	Tolerância de Processo (%)	Adequação ao Uso
VVC / FAIXA DE MEDIÇÃO (°C)	MIT (°C)	D.M. =  VVC - MIT	IM = (i + h)	ITM = (D.M + IM)	ITM = (D.M + IM) %	TP / 2 (%)	ITM ≤ TP / 2
0,00	0,00	0,00	0,500	0,50	-	6,25%	OK
20,00	20,00	0,00	0,500	0,50	2,50%	6,25%	OK
25,00	25,10	0,10	0,500	0,60	2,40%	6,25%	OK
30,00	30,00	0,00	0,500	0,50	1,67%	6,25%	OK
35,00	35,00	0,00	0,500	0,50	1,43%	6,25%	OK
40,00	40,00	0,00	0,500	0,50	1,25%	6,25%	OK
45,00	45,20	0,20	0,500	0,70	1,56%	6,25%	OK
50,00	50,30	0,30	0,500	0,80	1,60%	6,25%	OK

Fonte: Dados da empresa de estudo (2024).

Figura 5 - Método automatizado para laboratório X

0	VVC	MIT	IM	D.M	ITM	IMT%	TP/2%	ITM <= TP/2
1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	inf	6.25	NG
2	20.0	20.0	0.5	0.0	0.5	2.500000	6.25	OK
3	25.0	25.1	0.5	0.1	0.6	2.400000	6.25	OK
4	30.0	30.0	0.5	0.0	0.5	1.666667	6.25	OK
5	35.0	35.0	0.5	0.0	0.5	1.428571	6.25	OK
6	40.0	40.0	0.5	0.0	0.5	1.250000	6.25	OK
7	45.0	45.2	0.5	0.2	0.7	1.555556	6.25	OK
8	50.0	50.3	0.5	0.3	0.8	1.600000	6.25	OK

Fonte: Autora (2024).

A comparação foi realizada para o laboratório “Y”, com a análise dos mesmos parâmetros. Observou-se que, apesar da nova estrutura de informações, o sistema automatizado conseguiu interpretar os dados e fornecer resultados idênticos aos obtidos pelo método manual, apresentando divergências apenas nas faixas com valor zero, conforme mencionado anteriormente. Esse comportamento foi igualmente observado no laboratório “Z”, que, embora possua uma estrutura distinta, também gerou resultados satisfatórios. As análises detalhadas desses resultados estão apresentadas pelas Tabelas 6 e 7, bem como nas Figuras 6 e 7.

Tabela 6 - Método manual para laboratório Y

Valor Verdadeiro Convencional do Padrão	Média dos valores indicados no Instrumento de Teste	Desvio Médio	Incerteza da medição + Incerteza do padrão	Incerteza Total da Medição	Incerteza Total da Medição (%)	Tolerância de Processo (%)	Adequação ao Uso
VVC / FAIXA DE MEDIÇÃO (°C)	MIT (°C)	D.M. =  VVC - MIT	IM = (i + h)	ITM = (D.M + IM)	ITM = (D.M + IM) %	TP / 2 (%)	ITM ≤ TP / 2
0,00	0,30	0,30	0,300	0,60	-	6,25%	OK
25,00	25,30	0,30	0,300	0,60	2,40%	6,25%	OK
50,00	51,00	1,00	0,300	1,30	2,60%	6,25%	OK
75,00	76,10	1,10	0,300	1,40	1,87%	6,25%	OK
100,00	100,30	0,30	0,300	0,60	0,60%	6,25%	OK

Fonte: Dados da empresa de estudo (2024).

Figura 6 - Método automatizado para laboratório Y

MIT	VVC	IM	D.M	ITM	IMT%	TP/2%	ITM <= TP/2
0.1	0.0	0.3	0.1	0.4	inf	6.25	NG
25.3	25.0	0.3	0.3	0.6	2.4	6.25	OK
50.9	50.0	0.3	0.9	1.2	2.4	6.25	OK
75.9	75.0	0.3	0.9	1.2	1.6	6.25	OK
99.9	100.0	0.3	0.1	0.4	0.4	6.25	OK

Fonte: Autora (2024).

Tabela 7 - Método manual para laboratório Z

Valor Verdadeiro Convencional do Padrão	Média dos valores indicados no Instrumento de Teste	Desvio Médio	Incerteza da medição + Incerteza do padrão	Incerteza Total da Medição	Incerteza Total da Medição (%)	Tolerância de Processo (%)	Adequação ao Uso
VVC / FAIXA DE MEDIÇÃO (°C)	MIT (°C)	D.M. =  VVC - MIT	IM = (i + h)	ITM = (D.M + IM)	ITM = (D.M + IM) %	TP / 2 (%)	ITM ≤ TP / 2
5,00	5,10	0,10	0,115	0,22	-	6,25%	OK
10,00	10,10	0,10	0,115	0,22	2,15%	6,25%	OK
15,00	15,10	0,10	0,115	0,22	1,43%	6,25%	OK
20,00	20,10	0,10	0,115	0,22	1,08%	6,25%	OK
25,00	25,10	0,10	0,115	0,22	0,86%	6,25%	OK
30,00	30,10	0,10	0,115	0,22	0,72%	6,25%	OK
35,00	35,10	0,10	0,115	0,22	0,61%	6,25%	OK
40,00	40,10	0,10	0,115	0,22	0,54%	6,25%	OK

Fonte: Dados da empresa de estudo (2024).

Figura 7 - Método automatizado para laboratório Z

0	MIT	VVC	IM	D.M	ITM	IMT%	TP/2%	ITM <= TP/2
2	5.1	5.0	0.115	0.1	0.215	4.300000	6.25	OK
3	10.1	10.0	0.115	0.1	0.215	2.150000	6.25	OK
4	15.1	15.0	0.115	0.1	0.215	1.433333	6.25	OK
5	20.1	20.0	0.115	0.1	0.215	1.075000	6.25	OK
6	25.1	25.0	0.115	0.1	0.215	0.860000	6.25	OK
7	30.1	30.0	0.115	0.1	0.215	0.716667	6.25	OK
8	35.1	35.0	0.115	0.1	0.215	0.614286	6.25	OK
9	40.1	40.0	0.115	0.1	0.215	0.537500	6.25	OK

Fonte: Autora (2024).

No segundo fator, foi destacada a avaliação de um dos aspectos mais relevantes do estudo: o resultado final apresentado. Nesse caso, comparou-se a última coluna do relatório gerado pelo processo manual com o relatório produzido pelo sistema automatizado.

O exemplo representado pela Tabela 7 e Figura 8, refere-se à população de 156 sensores, com o padrão de certificado de calibração do laboratório "Z". Para facilitar a compreensão e tornar o resultado mais didático, foi selecionado apenas um equipamento para a comparação. Contudo, todos os demais sensores apresentaram resultados semelhantes, sem nenhuma contraindicação. Nesse contexto:

- A última coluna, intitulada "**Adequação ao Uso**", apresenta os resultados da análise manual para diferentes faixas de medição.
- Essas faixas estão classificadas como "**OK**", indicando conformidade com os critérios estabelecidos.

O relatório referente ao método automatizado indica que a análise foi classificada como "**Equipamento aprovado**", com todas as oito faixas apresentando o status "**OK**".

Figura 8 - Relatório final para laboratório Z

Resumo da análise:

Faixas OK: 8

Faixas NG: 0

Fonte: Autora (2024).

No caso referente aos laboratórios X e Y, a seguinte conclusão pode ser estabelecida: ambos os métodos concordaram em identificar faixas como "OK", indicando conformidade nas medições. A diferença observada está em uma faixa, classificada como "NG" (não conforme), que foi detectada exclusivamente pela análise automatizada (Figuras 9 e 10), enquanto não foi identificada na análise manual (Tabelas 5 e 6). Esse resultado sugere uma possível vantagem do método automatizado, que pode estar incorporando critérios adicionais ou aplicando uma abordagem mais rigorosa na detecção de não conformidades.

Figura 9 – Relatório final para laboratório X

**Resumo da análise:**

**Faixas OK: 7**

**Faixas NG: 1**

Fonte: Autora (2024).

Figura 10 – Relatório final para laboratório Y

**Resumo da análise:**

**Faixas OK: 4**

**Faixas NG: 1**

Fonte: Autora (2024).

Essa diferença ocorre porque, no processo manual, a faixa 1 é representada pelo valor 0 e, portanto, não é considerada para avaliação, sendo indicada por um traço ("-") para desconsideração. No entanto, o sistema automatizado não interpreta essa exclusão de forma equivalente e classifica a faixa 1 como "NG", o que pode influenciar os resultados ao incluir essa faixa na análise.

No último fator analisado, foi registrada a diferença de tempo entre a execução das análises de forma manual e por meio do sistema automatizado, com o intuito de avaliar a eficiência do sistema proposto.

Verificou-se que o método manual exige 2 minutos, 44 segundos e 45 milissegundos para concluir a análise de um certificado de calibração. Com base nesse tempo, estimou-se que a análise de 156 certificados de calibração demandaria aproximadamente 7 horas, 6 minutos e 31 segundos.

Por outro lado, ao utilizar o sistema automatizado, o tempo necessário para processar os 156 certificados é significativamente reduzido, estimado em apenas 18,275 segundos. Para a análise comparativa, optou-se por converter os tempos para uma unidade comum, segundos. Como o tempo do método automatizado já estava disponível nessa unidade, o cálculo foi realizado apenas para o método manual.

No caso do método manual, o tempo total para a análise dos 156 certificados de calibração foi de 25.591,02 segundos. Dessa forma, ao adotar o sistema automatizado, verificou-se um ganho de eficiência de 99,93% no tempo total despendido no processamento dos certificados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação dos métodos de controle estatístico confirmou que o sistema automatizado foi capaz de reproduzir com precisão os resultados do processo manual, além de oferecer vantagens significativas em termos de tempo de processamento e confiabilidade. A análise estatística demonstrou que a solução proposta é viável, precisa e eficiente, estabelecendo-se como uma alternativa robusta para otimizar o processo de validação de calibração na empresa.

No entanto, durante o desenvolvimento, enfrentaram-se desafios relacionados à formatação inconsistente dos PDFs, que foram superados com a utilização de técnicas de pré-processamento dos documentos antes da extração de dados. O sistema foi submetido a várias iterações de testes, com os resultados das análises automatizadas sendo comparados aos obtidos manualmente, visando garantir a precisão e a acuracidade da solução desenvolvida.

O sistema automatizado possui grande potencial para gerar impactos econômicos positivos no futuro, quando implementado na empresa. Sua adoção aproveitaria os recursos já disponíveis internamente, eliminando a necessidade de novos investimentos financeiros e demandando apenas a mobilização do capital humano para sua operacionalização. A implementação proporcionaria a integração entre as equipes de TI, que assumiriam o desenvolvimento interno, e de Engenharia, responsável pelo suporte técnico, fortalecendo a colaboração entre as áreas.

É importante destacar que a proposta está passível de adaptações que permitam contemplar outros equipamentos de medição, ampliando sua aplicabilidade. Essa consideração é essencial, uma vez que o processo de calibração é um dos principais tópicos analisados em auditorias externas e internas, e sua extensão para outros instrumentos deve ser cuidadosamente planejada e implementada.

## **6 RECOMENDAÇÕES**

Com base nos resultados obtidos neste estudo, recomenda-se a expansão do sistema automatizado para os demais equipamentos utilizados no processo produtivo. Para isso, é fundamental adaptar a solução às particularidades de cada equipamento e seguir rigorosamente as normas técnicas pertinentes (NBRs), assegurando que a análise realizada esteja em conformidade com os requisitos estabelecidos.

Outro aspecto relevante é a capacitação dos profissionais envolvidos no uso da solução, que se mostra indispensável para assegurar sua correta implementação e adoção eficiente no ambiente corporativo.

Afinal, não basta fornecer a ferramenta; é fundamental ensinar como utilizá-la para alcançar os resultados almejados.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 9001:2015**: Sistemas de gestão da qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 32 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO/IEC 17025:2005**: Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de calibração e Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 31 p.

*A importância da calibração de instrumentos de medição: precisão e segurança industrial*. **Calibra Rio**, 2024. Disponível em: <https://www.calibrario.com.br/blog/a-importancia-da-calibracao-de-instrumentos-de-medicao-precisao-e-seguranca-industrial/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

ALBERTAZZI, A. *et al.* **Fundamentos da metrologia científica e industrial**. São Paulo: Manole, 2008. 407 p.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às Ciências Sociais**. 9. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2014.

BENITEZ, M. R. *et al.* Sensors calibration for metrology 4.0. **IEEE**, Napoli, p. 5-9, 2019. Trabalho apresentado na Conference Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT), 2019, Itália.

BITTENCOURT, J. C *et al.* The importance of metrology for quality control in a metal stopper factory in the city of Manaus, AM. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, n. 11, p. 408-413, nov. 2020. DOI 10.22161/ijaers.711.47. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.711.47>. Acesso em: 27 nov. 2024.

CLEMENTE JR, S. S. Estudo de caso x casos para estudo: esclarecimentos a cerca de suas características e utilização. *In*: Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul, 2012, Caixas do Sul. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: [https://www.uces.br/ucs/eventos/seminarios\\_semintur/semin\\_tur\\_7/arquivos/01/04\\_Clemente\\_Jr.pdf](https://www.uces.br/ucs/eventos/seminarios_semintur/semin_tur_7/arquivos/01/04_Clemente_Jr.pdf). Acesso em: 27 nov. 2024.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria Inmetro nº 319**. Dispõe sobre a nova versão do Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Brasília: INMETRO, 2009. Disponível em: <http://inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001549.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2024.

MARINHO, Adília. Frases Notáveis. **Clube SPM**, 2021. Disponível em: <https://clube.spm.pt/news/frase-do-matematico-irlands-william-thomson-lord-kelvin-que-nasceu-a-26-de-junho-de-1824>. Acesso em: 22 nov. 2024.

MARTINS, I. M *et al.* Aplicação do método GUM para verificação da calibração de paquímetros de um laboratório de metrologia. **Ciência e Cultura**. Barretos, vol. 16,

e201607, mai. 2020. DOI 10.4322/1980-0029.172020. Disponível em:  
<https://doi.org/10.4322/1980-0029.172020>. Acesso em: 29 nov. 2024.

MELLO, C. H. P. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2011. 190 p.

O QUE É: Amostra representativa. **Cirius Quality**, 2023. Disponível em:  
<https://ciriusquality.com.br/glossario/o-que-e-amostra-representativa/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **Python**, 2024. Disponível em:  
<https://www.python.org/>. Acesso em: 17 nov. 2024.

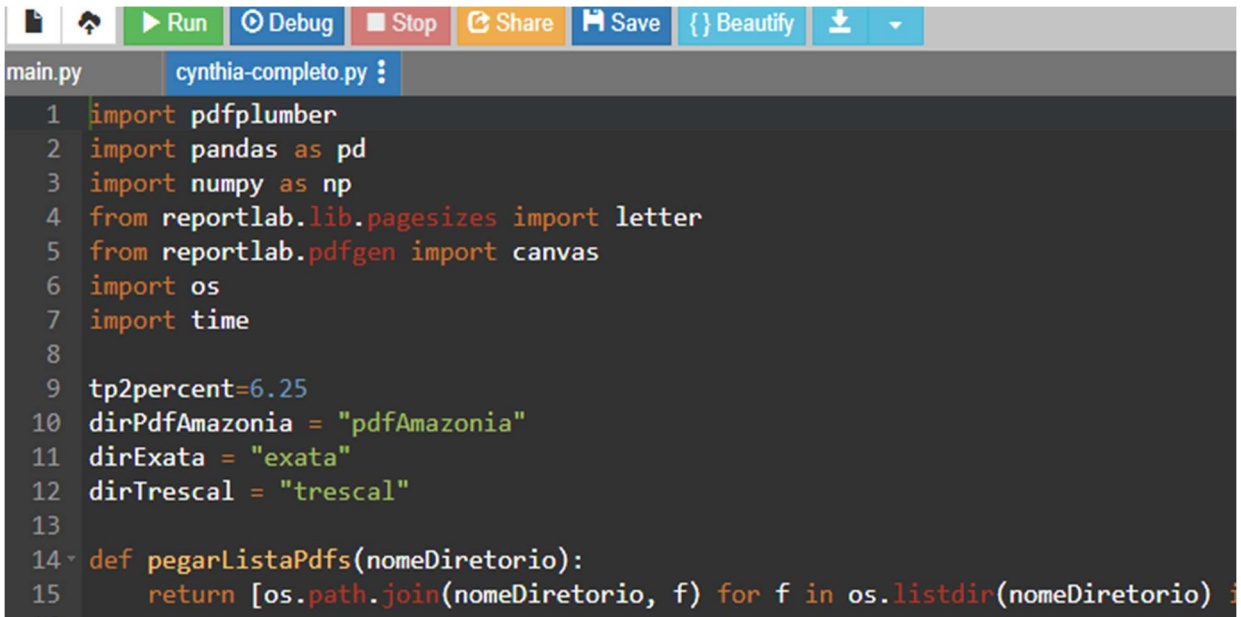
RAMOS, A. S *et al.* Difusão da linguagem Python no desenvolvimento de sistemas web: pesquisa exploratória em empresas brasileiras. *In: XIII SIMPEP; 2006, Bauru. Anais [...]* São Paulo. Disponível em:  
[https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_13/artigos/1053.pdf](https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1053.pdf). Acesso em: 17 nov. 2024.

RASTREABILIDADE metrológica. **Mundo da metrologia**, 2021. Disponível em:  
<http://www.mundodametrologia.com.br/2021/03/rastreabilidade-metrologica-dos.html>. Acesso em: 17 nov. 2024.

VIM - Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Rio de Janeiro: VIM, 2012. 95 p.

## ANEXOS

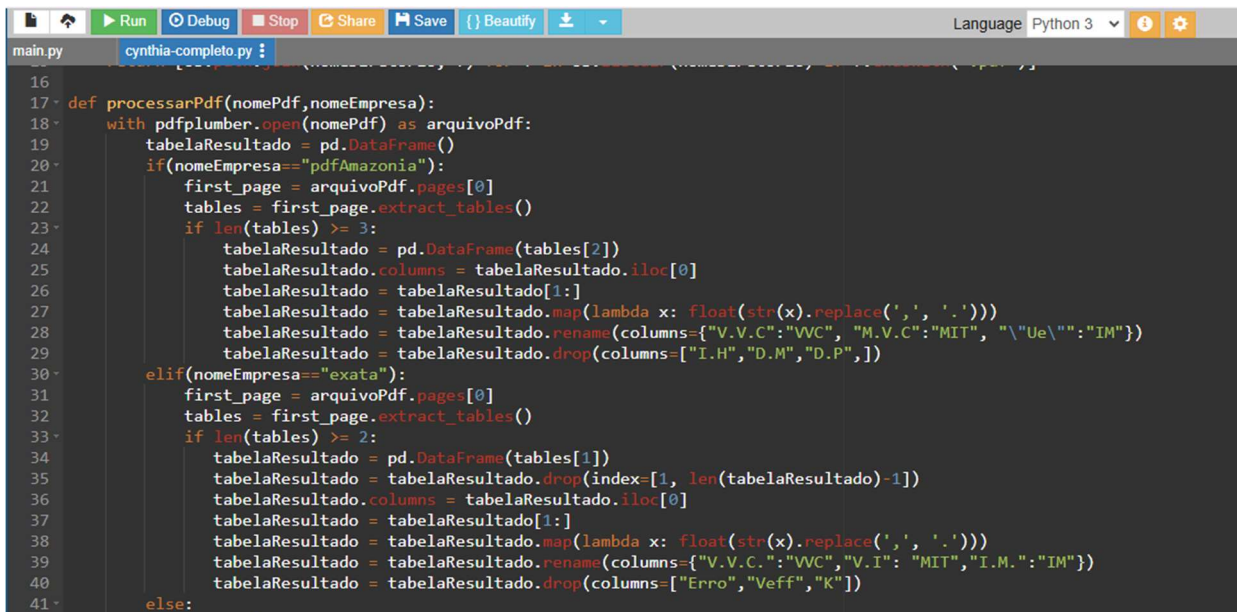
### Anexo A – Código do sistema em *Python*



```

1 import pdfplumber
2 import pandas as pd
3 import numpy as np
4 from reportlab.lib.pagesizes import letter
5 from reportlab.pdfgen import canvas
6 import os
7 import time
8
9 tp2percent=6.25
10 dirPdfAmazonia = "pdfAmazonia"
11 dirExata = "exata"
12 dirTrescal = "trescal"
13
14 def pegarListaPdfs(nomeDiretorio):
15     return [os.path.join(nomeDiretorio, f) for f in os.listdir(nomeDiretorio)]

```



```

16
17 def processarPdf(nomePdf,nomeEmpresa):
18     with pdfplumber.open(nomePdf) as arquivoPdf:
19         tabelaResultado = pd.DataFrame()
20         if(nomeEmpresa=="pdfAmazonia"):
21             first_page = arquivoPdf.pages[0]
22             tables = first_page.extract_tables()
23             if len(tables) >= 3:
24                 tabelaResultado = pd.DataFrame(tables[2])
25                 tabelaResultado.columns = tabelaResultado.iloc[0]
26                 tabelaResultado = tabelaResultado[1:]
27                 tabelaResultado = tabelaResultado.map(lambda x: float(str(x).replace(',','.')))
28                 tabelaResultado = tabelaResultado.rename(columns={"V.V.C.":"VVC", "M.V.C.":"MIT", "\Ue\":"IM"})
29                 tabelaResultado = tabelaResultado.drop(columns=["I.H","D.M","D.P",])
30             elif(nomeEmpresa=="exata"):
31                 first_page = arquivoPdf.pages[0]
32                 tables = first_page.extract_tables()
33                 if len(tables) >= 2:
34                     tabelaResultado = pd.DataFrame(tables[1])
35                     tabelaResultado = tabelaResultado.drop(index=[1, len(tabelaResultado)-1])
36                     tabelaResultado.columns = tabelaResultado.iloc[0]
37                     tabelaResultado = tabelaResultado[1:]
38                     tabelaResultado = tabelaResultado.map(lambda x: float(str(x).replace(',','.')))
39                     tabelaResultado = tabelaResultado.rename(columns={"V.V.C.":"VVC","V.I.":"MIT","I.M.":"IM"})
40                     tabelaResultado = tabelaResultado.drop(columns=["Erro","Veff","K"])
41             else:

```

```
tabelaResultado["D.M"] = abs(tabelaResultado["VVC"]-tabelaResultado["MIT"])
tabelaResultado["ITM"] = tabelaResultado["D.M"] + tabelaResultado["IM"]
tabelaResultado["IMT%"] = ((tabelaResultado["IM"]+tabelaResultado["D.M"])/tabelaResultado["VVC"])*100
tabelaResultado["TP/2%"] = [tp2percent] * len(tabelaResultado)
tabelaResultado["ITM <= TP/2"] = np.where(tabelaResultado["TP/2%"] >= tabelaResultado["IMT%"], "OK", "NG")

ng_count = (tabelaResultado["ITM <= TP/2"] == "NG").sum()
if ng_count == 0:
    resultado = "Equipamento aprovado"
elif ng_count <= 2:
    resultado = "Aprovado com restrição"
else:
    resultado = "Equipamento reprovado"

output_pdf_name = nomePdf.replace(".pdf", " Resultado analise.pdf")
c = canvas.Canvas(output_pdf_name, pagesize=letter)
c.setFont("Helvetica", 12)
c.drawString(100, 750, f"Resultado da análise: {resultado}")
c.drawString(100, 730, f"Arquivo analisado: {nomePdf}")
c.drawString(100, 700, "Resumo da análise:")
c.drawString(120, 680, f"Faixas OK: {len(tabelaResultado) - ng_count}")
c.drawString(120, 660, f"Faixas NG: {ng_count}")

c.save()
```