



INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ – IFPI CAMPUS TERESINA CENTRAL
DEPARTAMENTO DE INDÚSTRIA, SEGURANÇA E PRODUÇÃO CULTURAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ALEX LUCAS LEMOS PEDREIRA

**CONFORMIDADE: uma abordagem analítica sobre a certificação na indústria
de cabos e fios elétricos**

TERESINA
2025

ALEX LUCAS LEMOS PEDREIRA

CONFORMIDADE: uma abordagem analítica sobre a certificação na indústria de
cabos e fios elétricos

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para a
obtenção do diploma, do Curso de
Engenharia Mecânica do Instituto Federal do
Piauí. Campus Teresina – Central.

Orientador: Prof. Dr. Airton de Sá Brandin.
Coorientador Prof. Dr. Petteson Linniker
Carvalho Serra

TERESINA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Pedreira, Alex Lucas Lemos

P372c Conformidade : uma abordagem analítica sobre a certificação na indústria de cabos e fios elétricos / Alex Lucas Lemos Pedreira. - 2025.
53 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)
- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central, 2025.

Orientador : Prof Dr. Ayrton de Sá Brandim.

1. Trefilação. 2. Extrusão . 3. Medição. 4. Conformidade. I. Título.

CDD - 620

Elaborado por Maria Rosismar Farias CRB 3/631

ALEX LUCAS LEMOS PEDREIRA

CONFORMIDADE: uma abordagem analítica sobre a certificação na indústria de cabos e fios elétricos

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí-Campus Teresina Central.

Aprovado em: 30/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ayrton de Sá Brandim (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Petteson Linniker Carvalho Serra
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Rafael Campos de Macêdo
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

RESUMO

A indústria de cabos e fios elétricos é indispensável para a manutenção e expansão da infraestrutura elétrica, sendo responsável por viabilizar a transmissão de energia de maneira segura e eficiente em diferentes aplicações, como residências, indústrias e serviços públicos. Este estudo teve como propósito confirmar a conformidade dos resultados de ensaios baseados nas normas técnicas NBR NM 280 e NBR NM 247-3, proporcionando uma compreensão mais aprofundada da consistência das análises realizadas nas amostras ao longo de três meses de verificações. Foram explorados conceitos básicos de trefilação, extrusão e etapas de certificação. A partir dos resultados obtidos, foi possível, com base nos critérios normativos, avaliar o desempenho das amostras para medição do diâmetro da seção circular do fio, ensaios de tração, resistência elétrica, medição do diâmetro externo médio e espessura mínima da isolação.

Palavras-chave: trefilação, extrusão, medição, conformidade, qualidade, certificação.

ABSTRACT

The electrical cable and wire industry is indispensable for the maintenance and expansion of electrical infrastructure, being responsible for enabling the safe and efficient transmission of energy across diverse applications, such as homes, industries, and public utilities. This study aimed to confirm the compliance of test results based on the technical standards NBR NM 280 and NBR NM 247-3, providing a deeper understanding of the consistency of analyses conducted on the samples over a three-month verification period. Fundamental concepts of wire drawing, extrusion, and certification stages were explored. Based on the results obtained, it was possible, according to normative criteria, to assess the performance of the samples regarding the measurement of the circular cross-sectional diameter of the wire, tensile tests, electrical resistance, measurement of the average external diameter, and the minimum insulation thickness.

Keywords: wire drawing, extrusion, measurement, compliance, quality, certification.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	JUSTIFICATIVA.....	8
3	OBJETIVO	9
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
4.1	INTRODUÇÃO	10
4.2	CABOS E FIOS	10
4.3	TREFILAÇÃO	10
4.3.1	Processo de extrusão por injeção	12
4.4	MEDIÇÃO, ERRO DE MEDIÇÃO E INCERTEZA	15
4.5	AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE.....	16
4.6	CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS.....	21
5	METODOLOGIA	24
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
6.1	MEDIÇÃO DA SEÇÃO CIRCULAR DO FIO 0,41 MM.....	30
6.2	MEDIÇÃO DA SEÇÃO CIRCULAR DO FIO 0,51 MM.....	31
6.3	ENSAIO DE TRAÇÃO DO FIO DE 0,41 MM.....	32
6.4	ENSAIO DE TRAÇÃO DO FIO DE 0,51 MM.....	33
6.5	ENSAIO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA.....	34
6.6	MEDIÇÃO DA SEÇÃO CIRCULAR EXTERNA MÉDIA.....	40
6.7	MEDIÇÃO DA ESPESSURA MÍNIMA DA ISOLAÇÃO	44
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERENCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A indústria de cabos e fios elétricos é indispensável para a manutenção e expansão da infraestrutura elétrica, sendo responsável por viabilizar a transmissão de energia de maneira segura e eficiente em diferentes aplicações, como residências, indústrias e serviços públicos. Dado seu papel crucial, a padronização por meio de normas e regulamentos se torna fundamental, garantindo que esses produtos atendam a critérios rigorosos de qualidade, segurança e durabilidade, reduzindo riscos e assegurando a confiabilidade dos sistemas elétricos (Rede Metrológica RS, 2000).

No presente trabalho serão explorados os conceitos de medição, incerteza e erro para mensurar as múltiplas grandezas das amostras, através dos aparelhos de medição como micrômetro digital, máquina de tração, megôhmetro e projetor de perfil. Com isso, pode-se comparar os valores obtidos dos ensaios com os valores fixados em normas para avaliar sua conformidade.

A avaliação da conformidade é realizada através da comparação com os valores contidos nos regulamentos expedidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e outros órgãos. Após essa etapa o produto é aprovado para receber o selo de certificação da qualidade, mostrando que o produto atende aos padrões de segurança especificados.

2 JUSTIFICATIVA

A implementação de práticas de controle de qualidade e auditoria na indústria de cabos e fios elétricos é fundamental para garantir a conformidade dos produtos com os mais altos padrões de segurança, confiabilidade e desempenho. A avaliação da conformidade, aliada ao controle de qualidade, visa garantir que os cabos e fios elétricos atendam às especificações técnicas e regulamentações vigentes. Isso envolve a verificação rigorosa de cada etapa do processo de fabricação, desde a seleção das matérias-primas até ao produto final, visando a qualidade dos produtos.

Além disso, a medição desempenha um papel importante no controle de qualidade, permitindo a avaliação da precisão e confiabilidade dos resultados dos testes e inspeções realizados nos fios dos cabos elétricos. A compreensão e gestão das medições visam garantir a validade e precisão dos resultados oriundos do processo de controle de qualidade, proporcionando uma base sólida para a tomada de decisões e a melhoria contínua dos processos de fabricação.

Ao compreender as características envolvidas na avaliação de conformidade, por meio dos testes e ensaios conduzidos no setor de controle de qualidade, é possível evidenciar o rigor e a eficácia das auditorias internas e externas. Esses processos refletem diretamente nos requisitos de certificação, na segurança do produto, na melhoria contínua das medições e na redução de custos operacionais.

3 OBJETIVO

O presente trabalho visa promover a análise e descrição dos procedimentos de controle de qualidade, regulamentados em norma, que atualmente são utilizados na indústria do setor de cabos elétricos. Assim pode-se avaliar a eficácia da avaliação da conformidade, mediante a correta aplicação dos regulamentos. Assim, esta garantirá a conformidade do produto, certificação do produto e a identificação de não conformidades.

Após realizados os procedimentos e análises dos resultados, o presente trabalho se tornará um manual amplo que visará proporcionar aprimoramentos na gestão de controle de qualidade e podendo-se expandir em melhorias no processo de produção.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Avaliar os procedimentos do processo de trefilação e extrusão utilizados na fabricação de cabos e fios elétricos, identificando sua influência nos resultados dos ensaios laboratoriais.

2) Verificar se os ensaios realizados no laboratório de controle de qualidade seguem as normas técnicas vigentes e atendem aos requisitos para certificação.

3) Analisar os resultados dos ensaios em relação às normas técnicas, destacando a conformidade ou possíveis desvios e suas implicações para a certificação do produto.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produtos de qualidade e em conformidade com normas técnicas é essencial para garantir a segurança e a eficiência de cabos e fios elétricos. Este capítulo abordará os fundamentos teóricos sobre os processos de fabricação, medições realizadas durante os ensaios e os critérios para avaliação da conformidade e certificação de produtos.

4.2 CABOS E FIOS

Os cabos e fios elétricos são classificados do tipo sólido, em que há somente um único condutor e tipo encordado, em que há mais de um condutor. A aplicação de cada tipo, denominado de classe, é conforme sua capacidade de condução, os fios são capazes de conduzir ou suportar menor quantidade de energia, enquanto que os cabos têm maior capacidade, considerando sua aplicação para o mesmo diâmetro do fio e do cabo (ABNT, 2011). A seguir será analisado os processos de fabricação de trefilação e extrusão de recobrimento de cabos e fios elétricos.

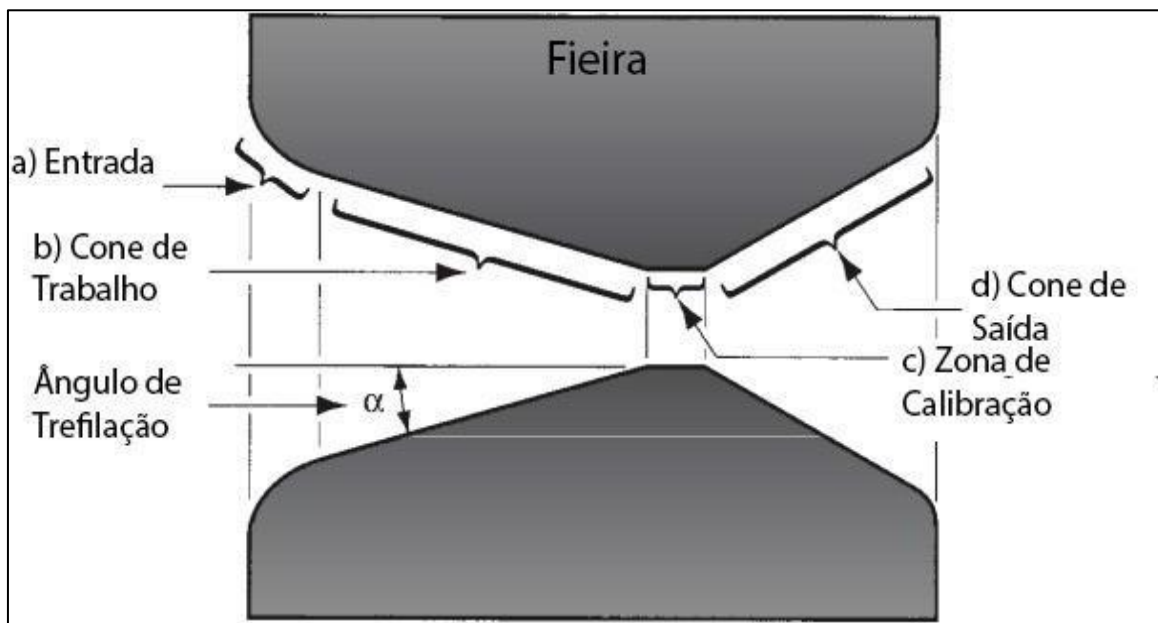
4.3 TREFILAÇÃO

A trefilação é uma etapa fundamental na fabricação de fios elétricos. Trata-se de um processo que consiste em forçar a passagem de uma barra através de uma ferramenta denominada fieira, apresentada na Figura 1 mediante aplicação de uma força de tração à saída desta fieira. Este processo modifica as propriedades mecânicas, aumentando a resistência mecânica e diminui ductilidade, além de garantir a uniformidade dimensional através das fieiras (Helman; Cetlin, 2015).

As fieiras de trefilação são geralmente construídas de carboneto de tungstênio devido a sua grande durabilidade. Estas são caracterizadas por seu diâmetro de entrada, diâmetro de saída e o ângulo de cone (ângulo de trefilação) (Helman; Cetlin, 2015). A entrada da fieira é maior que a zona de trefilação para que haja melhor lubrificação. As fieiras podem ser divididas em quatro seções, conforme apresentado na Figura 1: a) Entrada; b) Cone de Trabalho; c) Zona de Calibração e d) Cone de

Saída. O ângulo de trefilação está localizado no cone de trabalho. Estas zonas de trabalho garantem uma boa lubrificação, excelente controle dimensional e previne falhas do processo, conforme Figura 1:

Figura 1 - Fieira: identificação das zonas

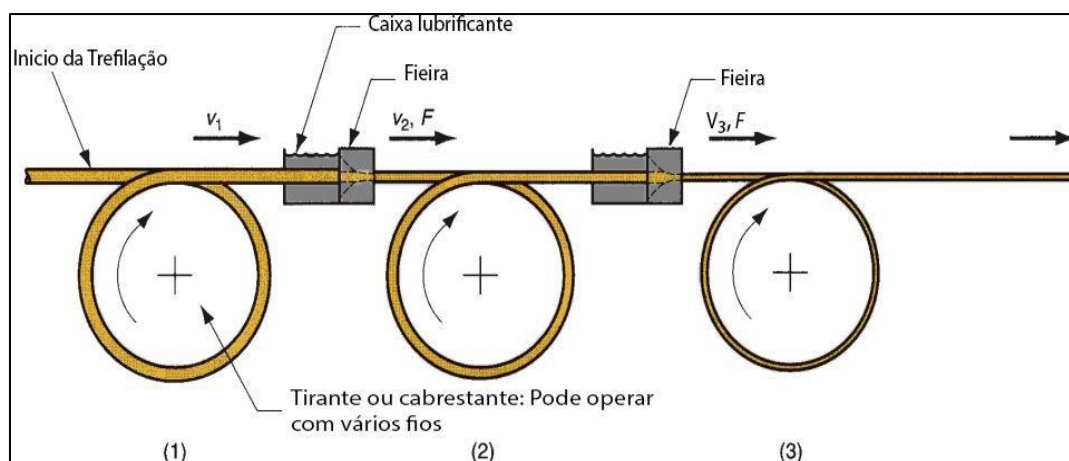


Fonte: Adaptado de GROOVER (2012).

A matriz ou fieira são construídos em dois tipos de metais, um metal mais duro em seu núcleo por onde efetivamente ocorrerá a redução da área do perfil e a outra seção atem um outro tipo de metal para suporte. Para produção de pequenos diâmetros como arames são utilizadas máquinas rotativas. As especificações das fieiras são fundamentais para que o produto tenha bom acabamento e previna defeitos derivados do processo.

Para pequenos diâmetros são utilizadas máquinas do tipo rotativas, esse tipo de processo possibilita a operação em série para obtenção de menores diâmetros da bitola do fio (Groover, 2012). Conforme Figura 2:

Figura 2 - Processo de trefilação (simplificado)



Fonte: Adaptado de GROOVER, (2012).

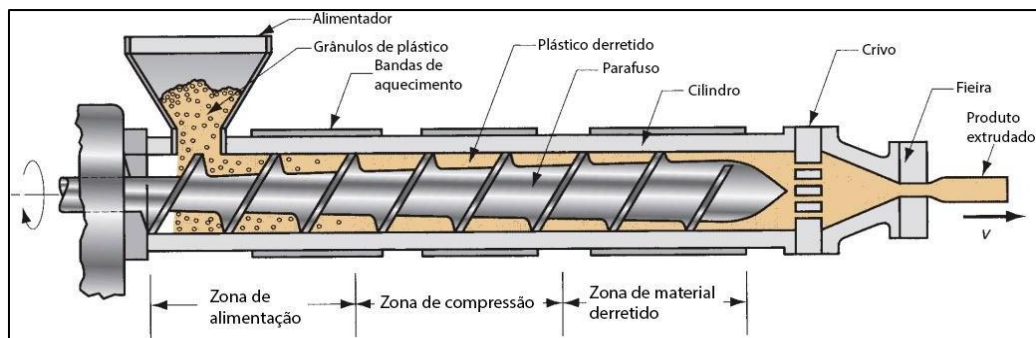
Para que os fios resultantes atendam às especificações, torna-se necessário um acompanhamento rigoroso no controle das condições de operação, como velocidade de trefilação, lubrificação e desgaste das fieiras. O desempenho inadequado neste processo pode comprometer a qualidade do produto final, levando à não conformidade quando forem realizados os ensaios de gestão da qualidade (Helman; Cetlin, 2015).

4.3.1 Processo de extrusão por injeção

A extrusão é outra etapa crucial, em que o isolamento ou revestimento externo do fio é aplicado. Este processo consiste em forçar um material polimérico, geralmente PVC ou polietileno, através de uma matriz, cobrindo uniformemente o condutor metálico (Kalpakjian; Schmid, 2009).

A extrusão é apresentada na Figura 3: Os grânulos de plástico são despejados no alimentador (zona de alimentação), após isso são comprimidos por um parafuso rotativo e aquecidos pelas resistências elétricas (zona de compressão) até derreterem completamente (zona de material derretido), e passando pelo crivo chega á matriz (fieira) para extrusão propriamente dita. Os dois principais componentes são o parafuso e o cilindro. Cabe ressaltar que a matriz (fieira) não faz parte da extrusora, mas é um dispositivo especial para realização do produto definido no projeto (Groover, 2012). Conforme Figura:

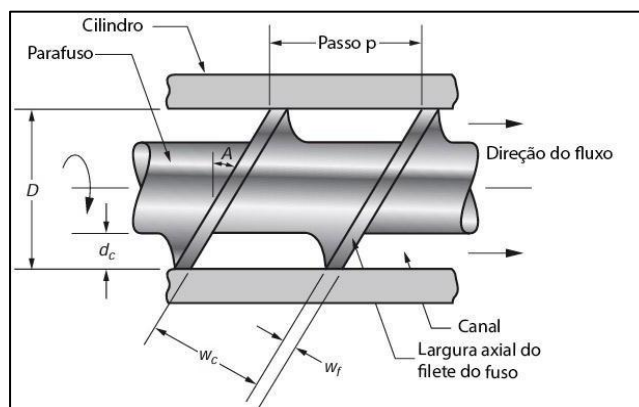
Figura 3 - Processo de extrusão (simplificado)



Fonte: Adaptado de Groover, (2012).

O diâmetro interno do cilindro da extrusora normalmente varia de 25 a 150 mm. O comprimento do cilindro é longo em relação ao diâmetro da ordem de 10 e 30 (L/D). As proporções mais altas são usadas para materiais termoplásticos que corresponde a um polímero que, sendo aquecido a uma certa pressão, se transforma em um material mole e viscoso (Chiaverini, 1986). O funcionamento do parafuso é determinado por sua geometria e velocidade de rotação. Os componentes que formam essa parte da extrusora são: parafuso, cilindro, diâmetro do fuso (D), passo (p), ângulo do filete (A), largura axial do filete do fuso (w_f), canal (w_c), profundidade do canal (d_c) (Groover, 2012). Como ilustra Figura 4:

Figura 4 - Detalhes internos da extrusora (simplificado)



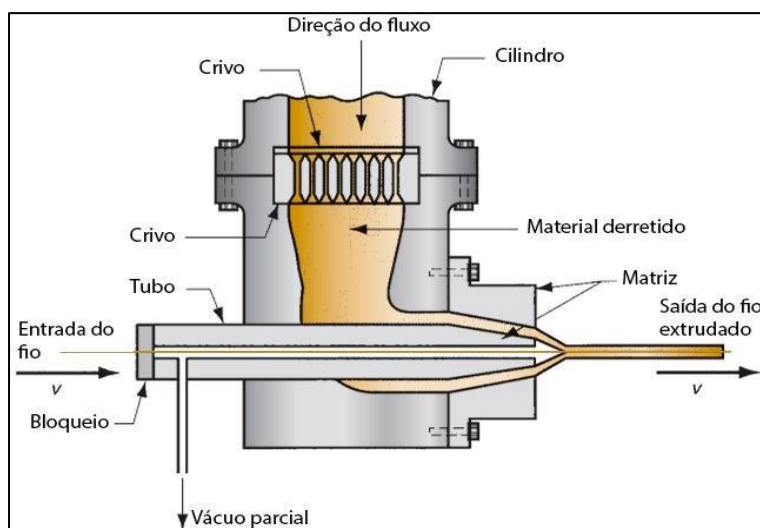
Fonte: Adaptado de GROOVER, (2012).

O ângulo da hélice A pode ser determinado através da seguinte relação onde p é o passo do parafuso de acordo com a Eq. (1):

$$\tan A = \frac{p}{\pi D} \quad (1)$$

Para processos de recobrimento de fios e cabos elétricos a extrusão é realizada de forma contínua. Após a extrusão, o produto é seccionado para o comprimento desejado (Groover, 2012). O recobrimento do fio ou cabo é efetivado através da abertura na matriz a uma velocidade controlada com o plástico extrudado, geralmente PVC, para produzir um revestimento uniforme. Durante a extrusão é aplicada uma queda de pressão para o revestimento aderir à superfície do material (Figura 5). Para garantir o isolamento adequado, os fios elétricos extrudados são verificados continuamente à medida que saem da matriz (Kalpakjian; Schmid, 2009).

Figura 5 - Vista lateral da seção transversal da matriz de revestimento de fios elétricos (simplificado)



Fonte: Adaptado de GROOVER (2012).

Os parâmetros de controle e autocontrole do processo de extrusão são em sua maioria para controle dimensional, esta serve como referência para espessura média, máxima e mínima da cobertura do cabo (Alves; Bonini; Maiellaro, 2022).

A qualidade do isolamento aplicado depende de fatores como temperatura, pressão e uniformidade do material extrudado. A espessura e a aderência do isolamento são verificadas em ensaios de controle de qualidade para garantir que os cabos suportem as condições de uso e atendam às normas estabelecidas (ABNT, 2002).

4.4 MEDIÇÃO, ERRO DE MEDIÇÃO E INCERTEZA

A medição desempenha um papel central nos ensaios laboratoriais, sendo essencial para determinar se as características dos cabos e fios estão dentro das tolerâncias estabelecidas. A confiabilidade de uma medição depende da precisão dos instrumentos e da qualificação dos operadores (ABNT, 2002).

A medição pode ser expressa como uma série de atividades que determina o valor de uma grandeza específica. Dessa forma, pode-se considerar a medição como padrões técnicos repetitivos para auferir valores de uma amostra, chamado mensurando. O mensurando pode ser caracterizado pelo objeto de medição, o qual se pretende medir sua grandeza. Essa atividade específica gera o resultado de medição; o mesmo pode ser interpretado como uma estimativa do mensurando acompanhado de erros de medição e incerteza de medição, que procedem do valor da grandeza medida (ABNT; INMETRO, 2003).

Os erros de medição podem ser classificados como sistemáticos (associados a falhas nos equipamentos ou métodos) e aleatórios (decorrentes de variabilidades inevitáveis). A identificação e a correção desses erros são essenciais para garantir resultados consistentes e confiáveis (ABNT; INMETRO, 2003).

A incerteza associada a um resultado de medição representa a ausência de conhecimento preciso sobre o valor verdadeiro do mensurando. Ainda que os efeitos sistemáticos sejam identificados e corrigidos, o resultado final permanece como uma estimativa, influenciada por variações aleatórias e possíveis imperfeições nas correções realizadas. Isso evidencia o papel essencial da incerteza na avaliação da confiabilidade das medições (JCGM 106: 2012, 2022).

Para avaliação da incerteza padrão é aplicado a média aritmética que na maioria dos casos, a melhor estimativa disponível do valor esperado de uma grandeza $\bar{q}$, que varia aleatoriamente e para a qual foram obtidas n observações independentes q_k sob as mesmas condições de medição, é a média aritmética das n observações (ABNT; INMETRO, 2003) de acordo com a Eq. (2):

(2)

$$q = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k$$

4.5 AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE

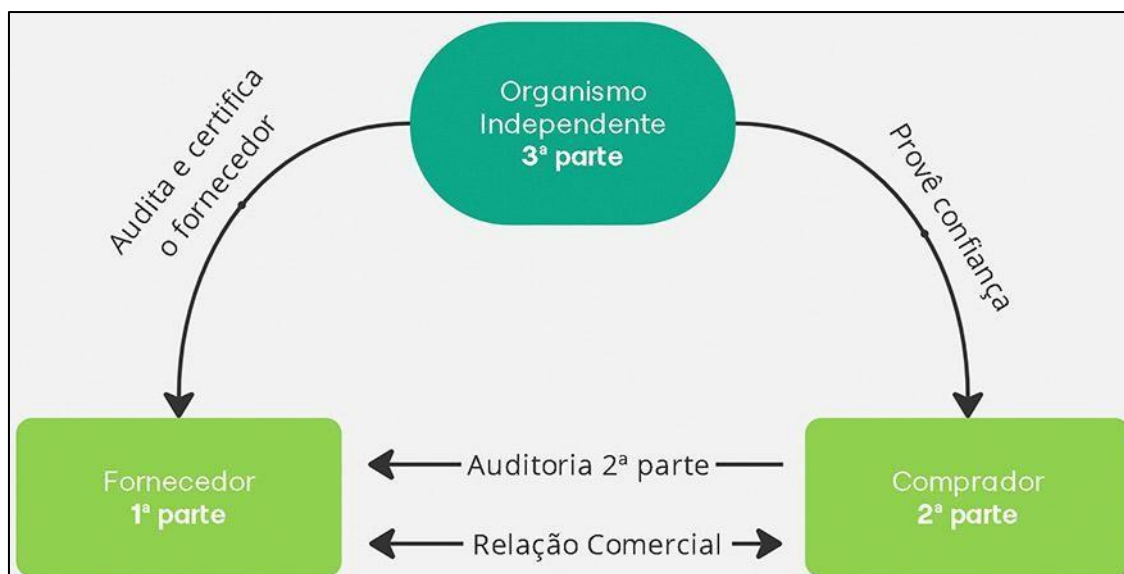
A avaliação da conformidade é definida pela atividade que identifica, de forma direta ou indireta, a capacidade de um produto, processo, sistema, serviço ou organismo atender os requisitos para o qual foi criado. Esse processo é caracterizado por auditorias, ensaios e inspeções (JCGM 106: 2012, 2022).

A auditoria é uma análise coordenada e independente para verificar se as atividades da qualidade estão sendo executadas de acordo com os procedimentos exigidos em norma e se os resultados correspondem aos objetivos planejados. O ensaio é caracterizado por um procedimento técnico especificado em norma para determinar as propriedades do produto, processo ou serviço. A inspeção é a observação do produto, processo ou serviço conduzido por medições e ensaios (REDE METRÓLOGICA RS, 2000).

Nestes termos, é interessante citar sobre qualidade que consiste em requisitos de um produto, serviço ou processo que atendem de forma plenamente satisfatória as necessidades dos clientes. Assim, vale ressaltar que a qualidade é determinada, sumariamente, pela satisfação dos clientes (Ribeiro, 2012).

A avaliação da conformidade é composta de três partes. A primeira parte é determinada pelo próprio fornecedor, a segunda parte é conhecida por comprador, também denominada de qualificador de fornecedores, e por fim, a terceira parte é um organismo conhecido e reconhecido pelas outras duas partes como independente, este avalia a conformidade de acordo com os requisitos do produto (REDE METRÓLOGICA RS, 2000). A Figura 6 exemplifica essa relação:

Figura 6 - Esquema das três partes necessárias para certificação



Fonte: Do Autor. Adaptado de REDE METRÓLOGICA RS (2000).

Para consolidação da avaliação da conformidade são obedecidas normas e regulamentos que se complementam entre si. A norma NBR NM-IEC 60811-1-1 estabelece os procedimentos de medição de espessura da camada isolante do cabo, enquanto que a norma NM 247-3:2002 fixa os parâmetros aceitáveis do diâmetro externo médio do cabo e a capacidade de resistência elétrica da cobertura (ABNT, 2001). A Tabela 1 mostra os valores para cabos com seção nominal do condutor entre 0,5 mm² e 6,00 mm² (coluna 1), Espessura de isolamento (coluna 2), diâmetro externo médio (colunas 3 e 4) e resistência de isolamento mínima (coluna 5 e 6):

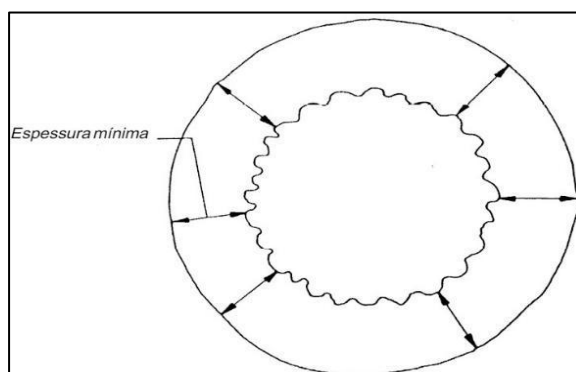
Tabela 1 - Características gerais para o tipo 247 NM 02-CX - BWF-B

1	2	3	4	5	6
Seção nominal do condutor (mm ²)	Espessura da isolamento Valor especificado (mm)	Diâmetro externo médio		Resistência de isolamento mínima	
		Limite inferior (mm)	Limite superior (mm)	À 70° (MΩ.km)	À 20° (MΩ.km)
0,5	0,6	2,1	2,5	0,0656	65,6
1,5	0,7	2,8	3,4	0,0504	50,4
2,5	0,8	3,4	4,1	0,0454	45,4
4	0,8	3,9	4,8	0,0353	35,3
6	0,8	4,4	5,3	0,0302	30,2

Fonte: Adaptado de NM 247-3 (2002).

Com os parâmetros fixados da NM 247-3:2002, podemos verificar os procedimentos de medição que a NBR NM-IEC 60811-1-1 estabelece para avaliar os corpos de prova. A mesma determina uma sequência mínima de 6 (seis) medições para cada amostra a ser medida, destacando o valor da menor espessura (ABNT, 2002). A Figura 7 mostra os pontos aleatórios onde se pode auferir os valores da medição com a espessura mínima do isolamento identificada:

Figura 7 - Medição de espessura de recobrimento



Fonte: Adaptado de NBR NM 247-3 (2002).

Após o fio trefilado e recozido, suas características mecânicas são submetidas ao ensaio de tração que antecede o encordoamento e após o encordoamento, porém esta seção da norma que tratam do teste de tração após o encordoamento não são aplicados nos cabos estudados neste trabalho (ABNT, 2011). A Tabela 2, apresentada a seguir, define os valores do diâmetro nominal com seus limites superior e inferior (coluna 1) e alongamento mínimo individual na ruptura do fio em porcentagem (colunas 2 e 3):

Tabela 2 - Características mecânicas do fio de cobre nu mole

1		2	3
Diâmetro Nominal (mm)		Alongamento na ruptura, mínimo Individual, em 250 mm (%)	
Superior ou igual a	inferior a	Antes do encordoamento	Cabo pronto
0,080	0,280	15	10
0,280	0,560	20	15
0,560	3,00	25	20
3,00	8,50	30	25

Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 280 (2011).

Assim, podemos verificar os valores que serão utilizados como referência para medição da resistência mecânica do fio (ABNT, 2011). Outro fator considerado é a característica da resistência elétrica do cordão.

A característica elétrica em questão será a resistência elétrica que, no processo de fabricação, é medida no fio e no cordão, porém nossa análise se limitará somente a resistência elétrica medida no cordão (ABNT, 2011). A Tabela 3 apresenta os valores da seção nominal dos cabos de 1,5 mm² até 6,00 mm² (coluna 1), diâmetro máximo dos cabos (coluna 2) e sua respectiva resistência elétrica máxima (colunas 3 e 4):

Tabela 3 - Condutores flexíveis de cobre para cabos de um condutor e multipolares

1	2	3	4
Seção nominal (mm²)	Diâmetro máximo dos fios no condutor (mm)	Resistência elétrica máxima do condutor à 20 °C	
		Fios nus (Ω/km)	Fios revestidos (Ω/km)
1,5	0,41	13,3	13,7
2,5	0,41	7,98	8,21
4	0,51	4,95	5,09
6	0,51	3,30	3,39

Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 280 (2011).

Este processo é realizado com base em normas específicas, como a NBR 13249 e NBR 6814, que determinam os critérios mínimos de desempenho.

Para a medição da resistência elétrica são conferidas as seguintes características do cabo: Todos os condutores devem ser constituídos de cobre mole, todos os fios devem ter o mesmo diâmetro nominal, e a resistência elétrica não devem exceder os valores determinados a uma temperatura de 20 °C no momento da medição (ABNT, 2011). A constante de correção de temperatura k_t para medição da resistência elétrica das amostras estão dispostos na Tabela 4, a coluna (1) com os valores em Graus Celsius e a coluna (2) com os valores constantes do fator de correção:

Tabela 4 - Valores correspondentes para correção de medição de resistência elétrica pela temperatura

1	2
Temperatura do condutor no momento de medição t (°C)	Fator de correção K _t
5	1,064
6	1,059
7	1,055
8	1,050
9	1,046
10	1,042
11	1,037
12	1,033
13	1,029
14	1,025
15	1,020
16	1,016
17	1,014
18	1,008
19	1,004
20	1,000
21	0,996
22	0,992

Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 280 (2011).

Quando necessário é realizado o cálculo de correção pelo fator k_t pela seguinte fórmula (ABNT, 2011):

$$R_{20} = R_t \times K_t \times \frac{1000}{L}$$

Em que R₂₀ é a resistência elétrica medida a 20 °C, em ohms por quilômetro (Ω/km); R_t é a resistência elétrica auferida de L metros de cabo ou cordão a t °C, em ohms (Ω); e K_t é o fator de correção (adimensional) de temperatura para resistência elétrica (ABNT, 2011).

4.6 CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS

O Brasil tem passado, nas últimas décadas, por expressivas transformações em sua indústria nacional. Devido a atuação do Estado, as áreas de saúde e segurança do trabalho estão sendo afetadas para promover proteção ao consumidor e concorrência justa no comércio. Pois, as práticas desleais de comércio que enganam e prejudicam o consumidor com produtos de baixa qualidade, desmotivam as empresas que seguem as normas vigentes. Assim, o Estado tem o legítimo direito de estabelecer mecanismos de proteção como adoção de práticas para qualidade mínima garantindo padrões de qualidade. Um desses mecanismos é a certificação dos produtos, esta pode-se classificar como certificação compulsória e certificação voluntária (Giovanetti; Cleto, 2018).

A certificação compulsória estabelece prioridade aos aspectos referentes a segurança, prevenção de práticas enganosas ao comércio primando pela proteção à vida e a saúde humana, meio ambiente e temas correlatos. As normas técnicas que promovem a certificação compulsória são orientadas sob a seguinte ordem de prioridade: normas brasileiras, regionais e internacionais. O Sistema Brasileiro de Certificação (SBC) define as etapas de certificação compulsória como: demanda de certificação, estruturação da subcomissão técnica, elaboração de regras específicas, etc. (REDE METRÓLOGICA RS, 2000).

A certificação voluntária é descrita como a decisão primária do solicitante com o objetivo de se adequar às normas brasileiras, regionais e internacionais. Essa modalidade é certificada por um organismo credenciado pelo INMETRO, isto garante o direito de se utilizar a marca do organismo certificador acompanhada do logotipo do INMETRO (REDE METRÓLOGICA RS, 2000).

A adoção dessas práticas de certificação de produtos gera benefícios para todas as partes envolvidas, para os clientes; confiança e segurança; para a empresa; credibilidade e boa reputação e para o Estado, a facilidade no controle dos produtos. Para avaliar devidamente os produtos para certificação foram adotados modelos de acordo com sua aplicação (Giovanetti; Cleto, 2018).

A Tabela 5 apresenta as características dos 8 modelos de diferentes abordagens para certificação compulsória e voluntária:

Tabela 5 - Características dos modelos de certificação compulsória e voluntária

Modelos	Características
Nº1- Ensaio de tipo.	O certificado é concedido unicamente a amostra ensaiada.
Nº2 - Verificação através de ensaio, em amostras retiradas do comércio.	Acompanhamento para constatar que a produção continua esteja em conformidade.
Nº3 - Verificação através de ensaios em amostras retiradas no fabricante e seu respectivo exame em comparação com o projeto originalmente aceito.	Estabelece o controle se a produção subsequente mantém conformidade com o projeto anteriormente aceito.
Nº4 - Verificação de ensaio em amostras retiradas no comércio e/ou fabricante.	Combinando os modelos 2 e 3 auferindo amostras para testes encontradas no comércio e na fábrica.
Nº5 - Avaliação e aprovação do sistema de controle da qualidade do fabricante, com acompanhamento através de auditorias no fabricante e ensaio em amostras retiradas no comércio e no fabricante.	Acompanha avaliação e aprovação das medidas adotadas pelo fabricante para controle da qualidade de produção.
Nº6 - Avaliação e aprovação do sistema da qualidade do fabricante.	Este modelo avalia a capacidade de produção de bens e serviços em constante conformidade com as normas e métodos adotados.
Nº7 - Ensaio do lote.	Submete-se uma amostra de lote e com base nos resultados é avaliado sua conformidade.
Nº 8 - Ensaio 100%.	Submete-se todas as unidades do lote para ensaios para avaliar a conformidade.

Fonte: Do Autor. Adaptado de REDE METRÓLOGICA RS, (2000).

A certificação de produtos pode ser classificada em diferentes tipos, conforme etapas padronizadas que garantem a transparência, a objetividade do processo e a conformidade com as exigências de órgãos independentes. Essas etapas também consideram a documentação e a viabilidade de adequação às normas técnicas estabelecidas (ABNT, 2015).

A Tabela 6 apresenta, de forma resumida, as seis etapas que compõem os esquemas de certificação: I – Seleção; II – Determinação das características; III – Análise; IV – Decisão sobre a certificação; V – Atestação ou licenciamento; e VI – Supervisão. A Tabela 6 também mostra como essas etapas se aplicam aos tipos 1A (por amostra única) e 2B (por lote), conforme a adoção das normas específicas para cada tipo.

Tabela 6 - Tipo de esquema de certificação de produtos em resumo

Etapas	Tipo 1A	Lote 2B	2	3	4	5	6
I – Seleção	X	X	X	X	X	X	X
II - Determinação das características							
a) Ensaio							
b) Inspeção	X	X	X	X	X	X	X
c) Avaliação de projeto							
d) Avaliação de serviços ou processos							
e) Verificação							
III – Análise	X	X	X	X	X	X	X
IV - Decisão sobre a certificação	X	X	X	X	X	X	X
V - Atestação, licenciamento							
a) Emissão de certificado de conformidade ou outra declaração de conformidade (atestação)	X	X	X	X	X	X	X
b) Concessão dos direitos de uso de certificados ou outras declarações de conformidade	X	X	X	X	X	X	X
c) Emissão de um certificado de conformidade para um lote de produtos		X					
d) Concessão dos direitos de uso de marcas de conformidade (licenciamento) com base na supervisão (VI) ou certificação de um lote		X	X	X	X	X	X
VI – Supervisão							
a) Ensaio ou inspeção de amostras do mercado aberto			X		X	X	
b) Ensaio ou inspeção de amostras da fábrica				X	X	X	
c) Avaliação da produção, da entrega do serviço ou da operação do processo				X	X	X	X
d) Auditorias do sistema de gestão combinadas com ensaios ou inspeções aleatórias						X	X

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO/IEC 17067 (2015).

Este processo agrega valor ao produto e aumenta a confiança do consumidor, além de ser frequentemente uma exigência legal para determinados mercados. A certificação abrange não apenas os ensaios de qualidade, mas também a análise dos processos de fabricação e controle, garantindo a rastreabilidade e a sua padronização (Giovanetti; Cleto, 2018).

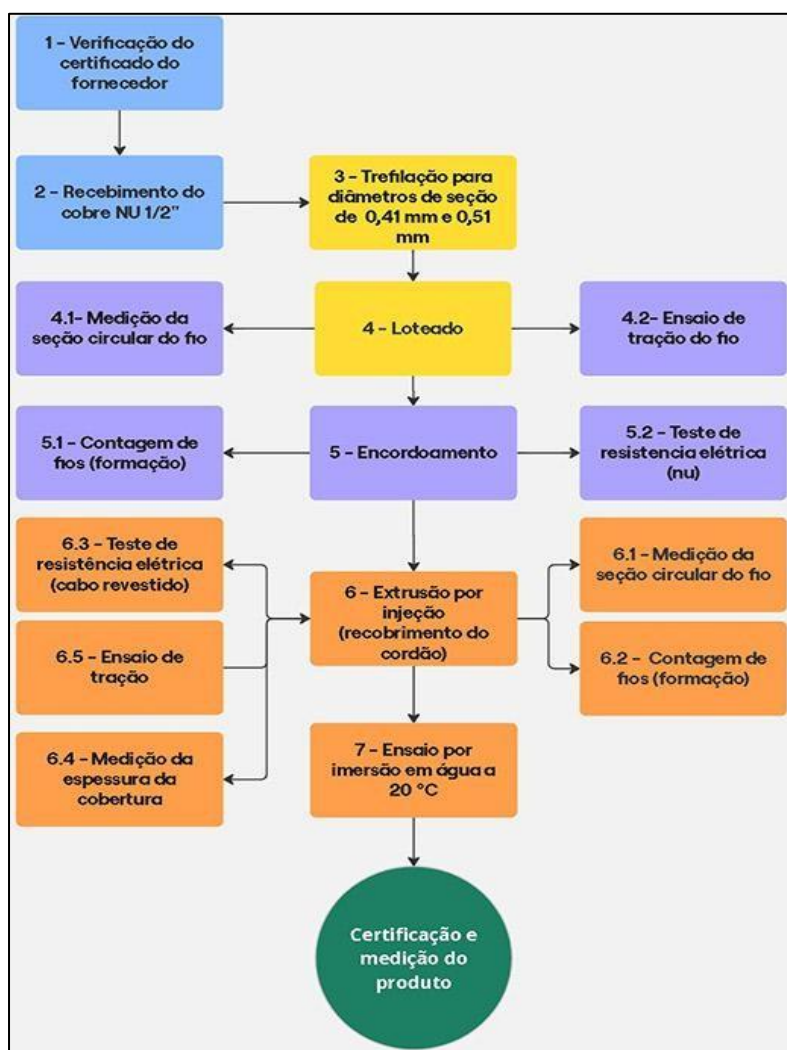
5 METODOLOGIA

Inicialmente foi utilizada uma pesquisa na literatura com o objetivo de identificar trabalhos acadêmicos, tais como artigos, livros, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e publicações científicas que tratem do assunto proposto neste trabalho.

Depois de concluída a pesquisa, foi introduzido os conceitos de metrologia abordando conceitos de erro (de medição), incerteza (de medição), avaliação de conformidade e certificação de produtos.

A Figura 8 apresenta o fluxograma simplificado com a sequência do processo de fabricação dos fios e cabos elétricos desde o recebimento da matéria prima até a medição do produto aprovado e certificado.

Figura 8 - Processo de fabricação de cabos e fios elétricos



Fonte: Do autor (2025).

A Figura 8 ilustra detalhadamente o processo de fabricação dos cabos elétricos, iniciando pelo recebimento do certificado de qualidade do fornecedor (1) e do vergalhão de cobre nu de ½" (2). Em seguida, o material passa pelas etapas de recozimento e trefilação, reduzindo o diâmetro do cobre para 0,41 mm ou 0,51 mm (3).

Na etapa (4), os fios são loteados para controle de qualidade, sendo submetidos à medição da seção circular (4.1) e ao ensaio de tração (4.2). Posteriormente, ocorre o encordoamento, isto é, a torção dos fios para a formação do cabo (5), momento em que são verificados o número de fios (5.1) e sua resistência elétrica (5.2).

A próxima fase é o recobrimento do cabo pelo processo de extrusão (6). Após essa etapa, são coletadas amostras para medição da seção circular (6.1), contagem dos fios (6.2), ensaio de resistência elétrica (6.3), ensaio de tração (6.4) e medição da espessura do recobrimento (6.5), além de outras análises complementares.

Por fim, os cabos são submetidos a um teste de isolamento com aplicação de 2.500 volts em uma piscina com temperatura controlada de 20 °C. Após aprovados, os cabos são certificados, medidos e direcionados ao estoque e controle.

Neste trabalho foram coletados os dados dos ensaios de tração do fio, de resistência elétrica do cordão nu e com recobrimento, ambos da norma ABNT NBR NM 280 (2011); e a medição da espessura do revestimento do cabo descrita na NBR NM-IEC 60811-1-1 e diâmetro externo médio NM 247-3:2002.

Através de visitas técnicas à fábrica, foram coletadas informações dos seguintes ensaios: Ensaio de resistência (Ohm) (de cabos nus e isolados), teste de tração do fio, medição da espessura mínima do isolamento e diâmetro médio externo mínimo.

Com esses dados poderemos validar, através da medição, a conformidade com as normas citadas. Esses elementos irão proporcionar a conformidade das amostras para subsequente certificação dos produtos.

A visita técnica à fábrica iniciou-se na data 05/12/2024 e findou-se em 26/02/2025. Tratava-se de duas visitas semanais realizadas no horário da manhã começando às 08:00 e finalizando às 10:00, às terças-feiras e quintas-feiras. Ao primeiro mês (dezembro de 2024) foram analisadas 3.805 amostras, no segundo mês (janeiro de 2025) foram ensaiadas 5.921 amostras, e ao terceiro mês (fevereiro de 2025) foram testados 6.501, totalizando 16.227 análises. Durante esse período foram verificados cabos das seções de 0,5 mm² até de 240 mm² e fios de 0,21 até o fio de

2,43 milímetros de seção circular. Para este trabalho foram auferidas somente as inspeções dos cabos 1,5 mm², 2,5 mm², 4,00 mm² e 6,00 mm² com a seguinte descrição CABO BWF 70°C 450/750V X MM² conforme fixado na NBR NM 247-3 (ABNT, 2002).

Para os produtos referidos foram coletadas as medições dos fios de 0,41 mm e 0,51 mm de seção circular máxima conforme determina a ABNT NBR NM 280:2011 (Tabela 3), somando um total de 1.193 amostras para o fio de seção de 0,41 mm e um total de 110 amostras para o fio de seção de 0,51 mm durante os três meses de pesquisa. O instrumento utilizado para a medição foi um micrômetro digital da marca Mitutoyo, modelo Quantumike (Figura 9) com 3 casas decimais de precisão, e para cada fio foram realizadas 6 medições. Após essas medições os fios são submetidos ao ensaio de tração.

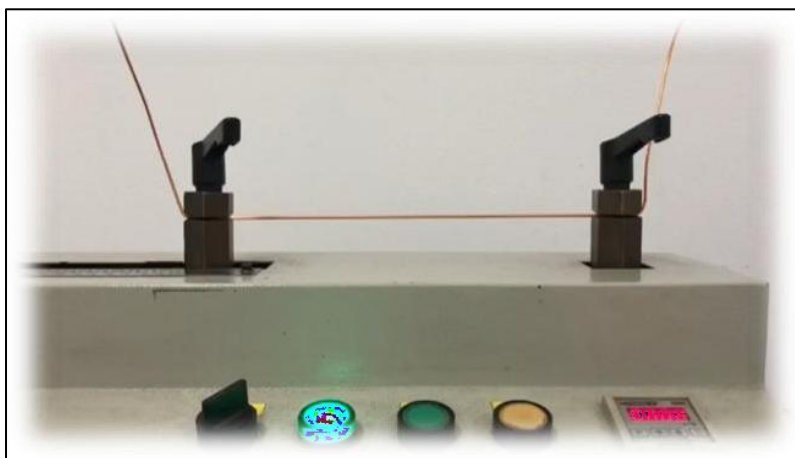
Figura 9 - Micrômetro digital



Fonte: Do autor (2025).

Nos ensaios de tração, foram avaliadas 1.035 amostras de fios com diâmetro de 0,41 mm e 266 amostras de fios com diâmetro de 0,51 mm. A análise foi conduzida por meio de uma máquina de tração com marca e modelo próprio não fornecido pela empresa (Figura 10), onde os fios são fixados pelas suas extremidades para que se possa determinar sua capacidade de alongamento e resistência mecânica. Após essa etapa, os fios são encordoados e seguem encaminhados para a medição da resistência elétrica do cabo semiacabado.

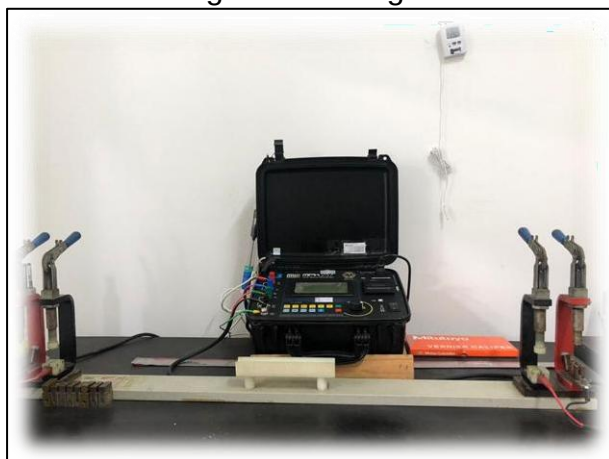
Figura 10 - Máquina de tração



Fonte: Do autor (2025).

Para as medições de resistência elétrica, foram analisadas 66 amostras do cabo de 1,5 mm²; 457 amostras do cabo de 2,5 mm²; 198 amostras do cabo de 4,0 mm²; e 162 amostras do cabo de 6,0 mm². As medições foram realizadas com o uso de um megôhmetro da marca Megger, modelo MIT525 (Figura 10), considerando, quando necessário, o fator de correção Kt e a temperatura da amostra no momento do ensaio. Após essa etapa, os cabos são encaminhados para a extrusora, onde recebem o recobrimento, cuja espessura mínima também é medida e avaliada.

Figura 11 - Megôhmetro



Fonte: Do autor (2025).

A espessura mínima da isolação foi avaliada utilizando um projetor de luz da marca Mitutoyo, modelo PJ-H3000 (Figura 11), por meio de medições realizadas em

pontos aleatórios de cada amostra, com o objetivo de identificar o menor valor da espessura. Foram analisadas 130 amostras do cabo de 1,5 mm², 517 amostras do cabo de 2,5 mm², 114 amostras do cabo de 4,0 mm² e 100 amostras do cabo de 6,0 mm². Para garantir os requisitos mínimos de precisão da análise estabelecidas na norma NBR NM 247-3 (2002), foram realizadas 6 medições por amostra.

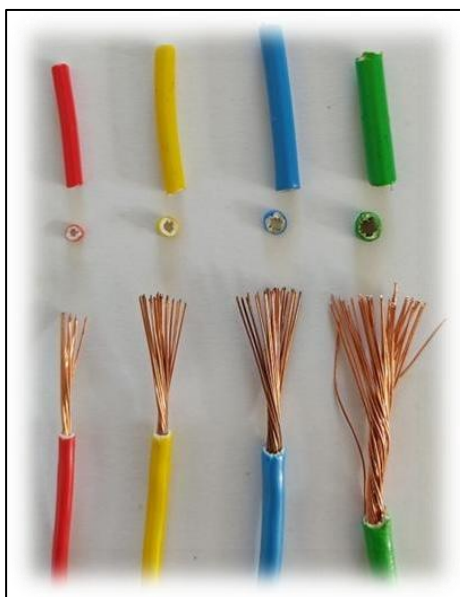
Figura 12 - Projetor de luz



Fonte: Do autor (2025).

As medições do diâmetro externo nominal foram realizadas utilizando um micrômetro eletrônico (Figura 9), abrangendo diferentes bitolas de cabos elétricos. Foram analisadas 130 amostras do cabo de 1,5 mm², 415 amostras do cabo de 2,5 mm², 114 amostras do cabo de 4,0 mm² e 100 amostras do cabo de 6,0 mm², garantindo uma avaliação representativa para cada tipo de cabo. A Figura 12 ilustra as 4 bitolas dos cabos, a camada fina do recobrimento e o diâmetro externo avaliados neste trabalho.

Figura 13 - Cabos de 1,5 mm², 2,5 mm², 4,0 mm² e 6,00 mm² e amostras para medição da espessura do recobrimento



Fonte: Do autor (2025).

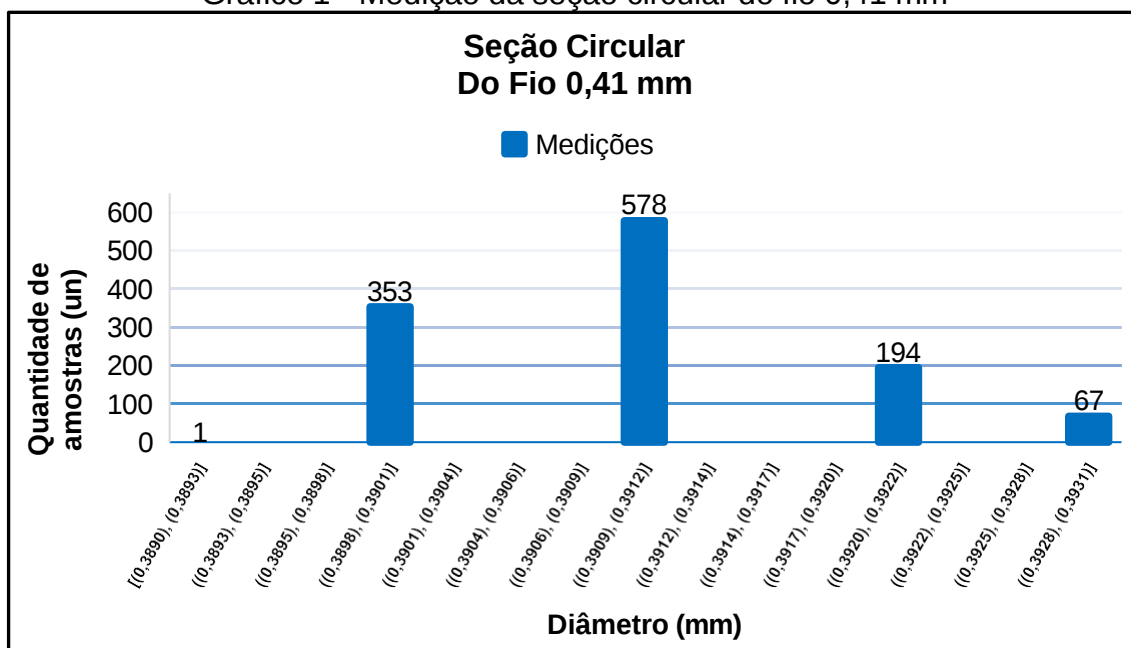
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as realizações dos ensaios e coletados os dados, foram analisadas todas as informações e compiladas em forma de gráficos (Colunas e de Dispersão [pontos]), pois foram das alternativas disponíveis, as mais claras para correta interpretação dos resultados. As análises foram dispostas de acordo com a sequência de fabricação dos cabos elétricos, iniciando por medição do diâmetro do fio, teste de tração, ensaio de resistência elétrica, medição da seção circular média externa do cabo e medição da espessura de isolação.

6.1 MEDIÇÃO DA SEÇÃO CIRCULAR DO FIO 0,41 MM

Os diâmetros coletados das 1.193 amostras do fio 0,41 mm foram as que apresentaram maior uniformidade e menor variação da seção circular, por meio do Gráfico 1 (Colunas) podemos verificar que a precisão da trefilação do fio está em constante concordância com os valores fixados na tabela 3, ditado pela norma NM 280 (2011) (ABNT, 2011). O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras e o eixo horizontal exibe os diâmetros encontrados. A precisão da medição do fio trefilado alcançou a ordem de 10^{-4} mm com 578 amostras medindo entre 0,3909 mm a 0,3912 mm, os espaços vazios entre as colunas significam que há mínima variação nos diâmetros das amostras quando se tem alguma variação no diâmetro, mostrando que a característica do cobre mole e uma boa lubrificação leva a um menor desgaste da fieira dando excelente acurácia nesta fase inicial do processo de fabricação.

Gráfico 1 - Medição da seção circular do fio 0,41 mm

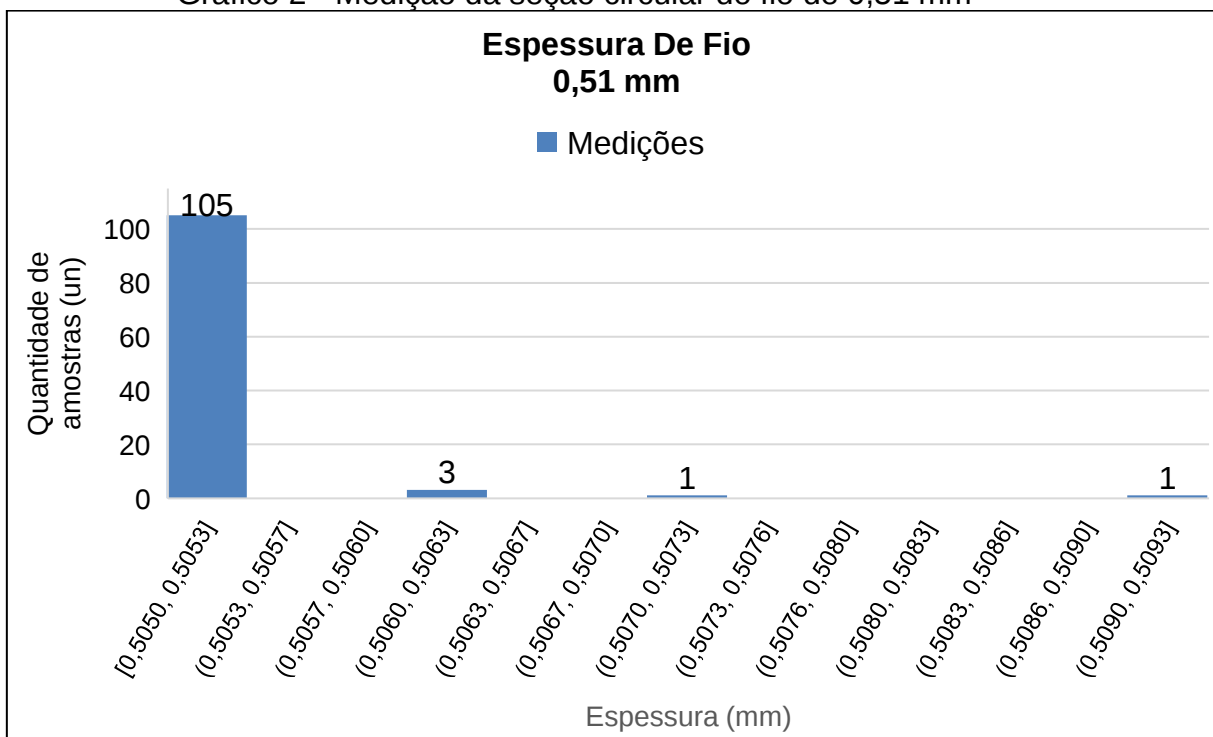


Fonte: Do autor (2025).

6.2 MEDIÇÃO DA SEÇÃO CIRCULAR DO FIO 0,51 MM

Os diâmetros coletados das 110 amostras do fio 0,51 mm foram as que apresentaram extrema constância e menor variação da seção circular, por meio do gráfico 2 (Colunas) podemos verificar que a precisão da trefilação do fio está em constante concordância com os valores fixados na tabela 3, ditado pela norma NM 280 (2011) (ABNT, 2011). O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras e o eixo horizontal exibe os diâmetros encontrados. A precisão da trefilação alcança a ordem de 10^{-4} mm com 105 amostras medindo entre 0,5050 a 0,5053 mm, os espaços vazios significam que há mínima variação nos diâmetros das amostras quando se tem alguma variação no processo, mostrando que a característica do cobre mole e boa lubrificação leva a um menor desgaste da fieira dando excelente acurácia nesta fase inicial do processo de fabricação.

Gráfico 2 - Medição da seção circular do fio de 0,51 mm

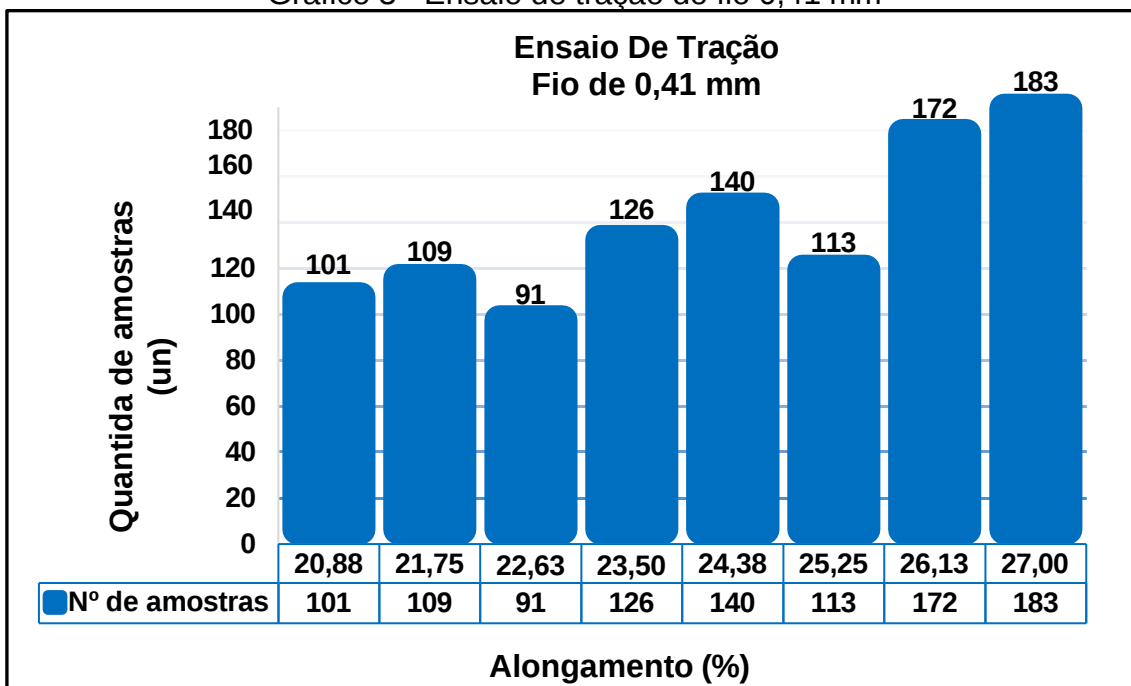


Fonte: Do autor (2025).

6.3 ENSAIO DE TRAÇÃO DO FIO DE 0,41 MM

O ensaio de tração, também denominado de alongamento, apresentou excelentes características de resistência mecânica e constante variação dentro da delimitação exigida em norma. O próprio fabricante estreita o intervalo de variação como podemos ver no Gráfico 3 (Colunas), pois a norma NM 280 (2011) fixa parâmetros de até 30%, mas o fabricante diminuiu para 27% (ABNT, 2011). O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras e o eixo horizontal exibe a porcentagem encontradas. As 1.035 amostras analisadas apresentaram variações elevadas. Essa característica expõe a qualidade no processo inicial de trefilação. As amostras que apresentaram o mínimo de 20% de alongamento foram 101 estas mostram que estão na faixa ideal de produto, as amostras que apresentaram 27% foram 183 de variação, demonstrando que os produtos estão acima da qualidade mínima exigida.

Gráfico 3 - Ensaio de tração do fio 0,41 mm

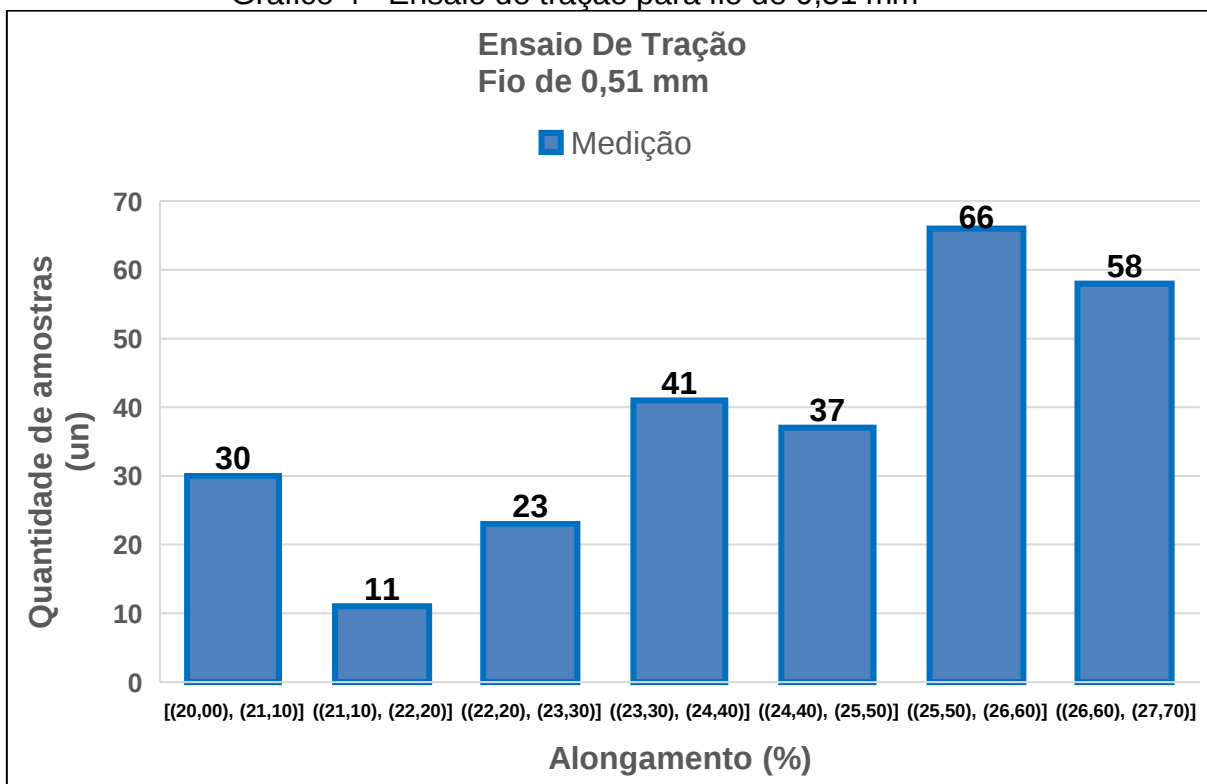


Fonte: Do autor (2025).

6.4 ENSAIO DE TRAÇÃO DO FIO DE 0,51 MM

O ensaio de tração para o fio de 0,51 mm apresentou resultados de maior alongamento para o intervalo de 25,5% a 26,5% com 66 amostras e 11 amostras com 21,10% a 22,20% (Gráfico 4), indicando que o diâmetro maior de fio apresenta boa resistência mecânica e boa capacidade para tração. O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras e o eixo horizontal exibe a percentagem encontradas.

Gráfico 4 - Ensaio de tração para fio de 0,51 mm

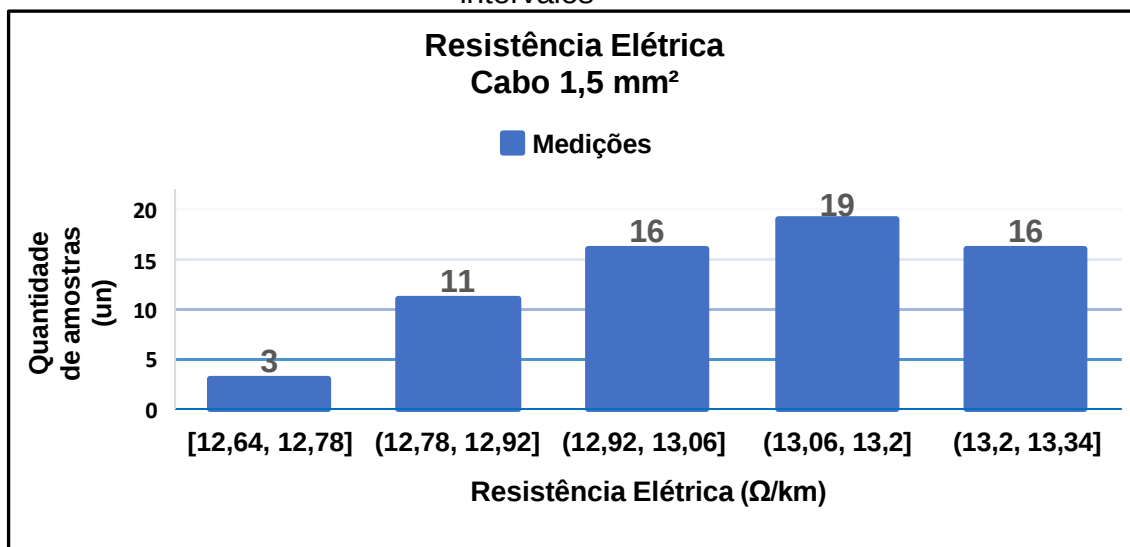


Fonte: Do autor (2025).

6.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O ensaio de resistência elétrica apresentou diversas variações dentro da faixa exigida na norma NM 280 (2011) (Tabela 3). Para as 65 amostras do cabo de 1,5mm. O Gráfico 5 (Colunas) mostra a distribuição em diversos intervalos de resistência elétrica com 3 amostras apresentando menor resistência e 16 amostras exibindo maior resistência elétrica em (Ω/km). O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras em unidades e o eixo horizontal exibe os intervalos da resistência elétrica em (Ω/km) encontradas.

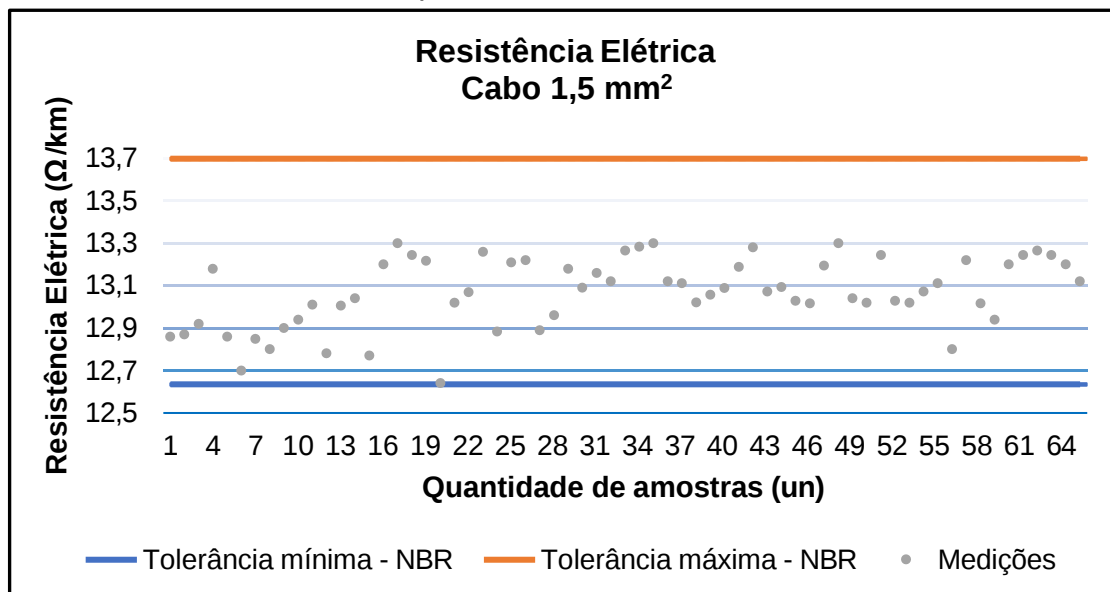
Gráfico 5 - Distribuição da variação da resistência elétrica por intervalos



Fonte: Do autor (2025).

O gráfico 6 identifica a variação da resistência elétrica dentro dos limites fixados por norma (Tabela 3), com 12,635 (Ω/km) para menor resistência (linha inferior) e 13,669 (Ω/km) para maior resistência (linha superior), o eixo horizontal ilustra a quantidade de amostras e o eixo vertical a variação da resistência elétrica em (Ω/km), os pontos são as medições de cada amostra, a menor leitura foi de 12,640 (Ω/km) e a maior encontrada foi 13,300 (Ω/km). O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras em unidades e o eixo horizontal exibe a os intervalos da resistência elétrica em (Ω/km) encontradas.

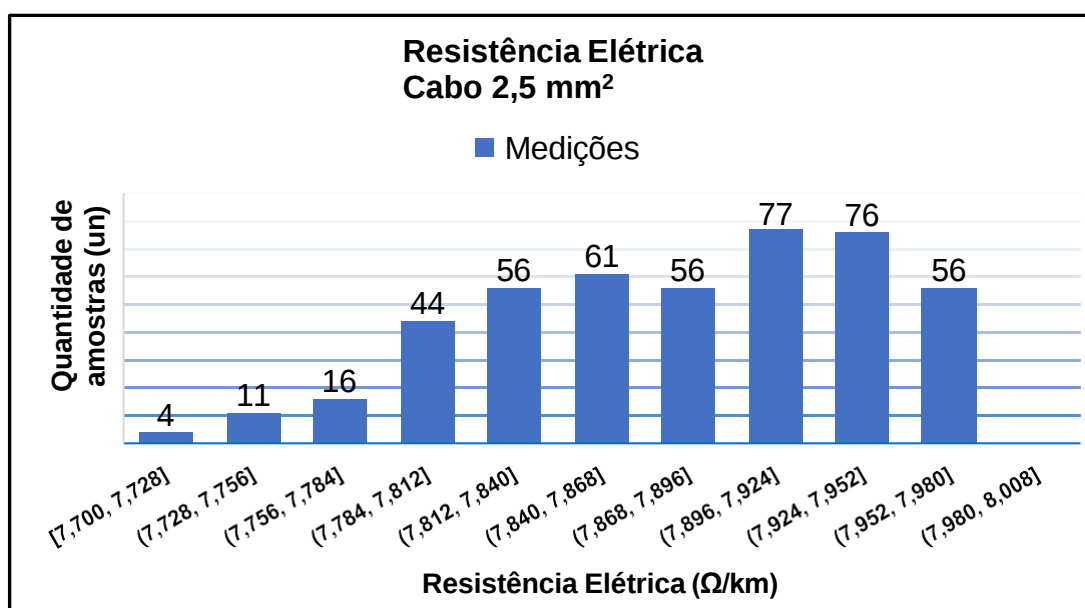
Gráfico 6 - Variação da resistência elétrica dentro da faixa permitida



Fonte: Do autor (2025).

Para as 457 amostras do cabo de 2,5 mm², o Gráfico 7 (Colunas) mostra a distribuição em diversos intervalos de resistência elétrica com 4 amostras apresentando menor resistência e 56 amostras exibindo maior resistência elétrica em (Ω/km). O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras em unidades e o eixo horizontal exibe a os intervalos da resistência elétrica em (Ω/km) encontradas.

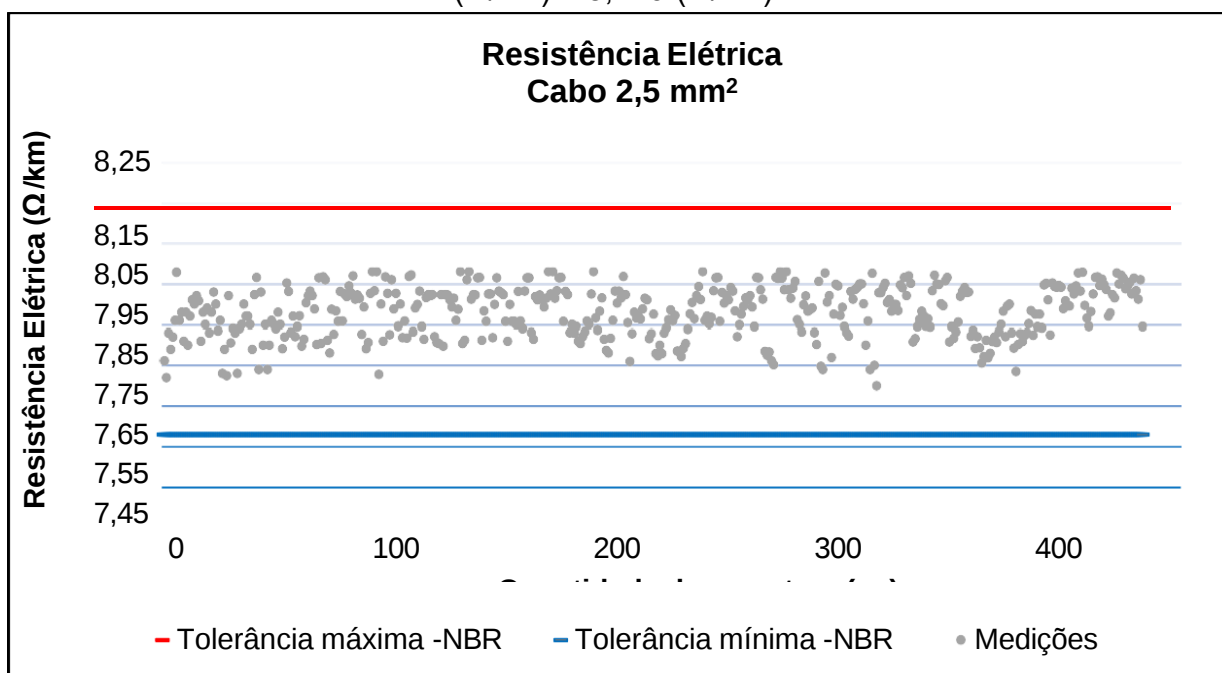
Gráfico 7 - Distribuição da variação da resistência elétrica por intervalos



Fonte: Do autor (2025).

O gráfico 8 identifica a variação da resistência elétrica dentro dos limites fixados por norma (Tabela 3), com 7,581 (Ω/km) para menor resistência (linha inferior) e 8,219 (Ω/km) para maior resistência (linha superior), o eixo horizontal ilustra a quantidade de amostras e o eixo vertical a variação da resistência elétrica em (Ω/km), os pontos são as medições encontradas de cada amostra, a menor leitura foi 7,700 (Ω/km) e a maior encontrada foi 7,980 (Ω/km).

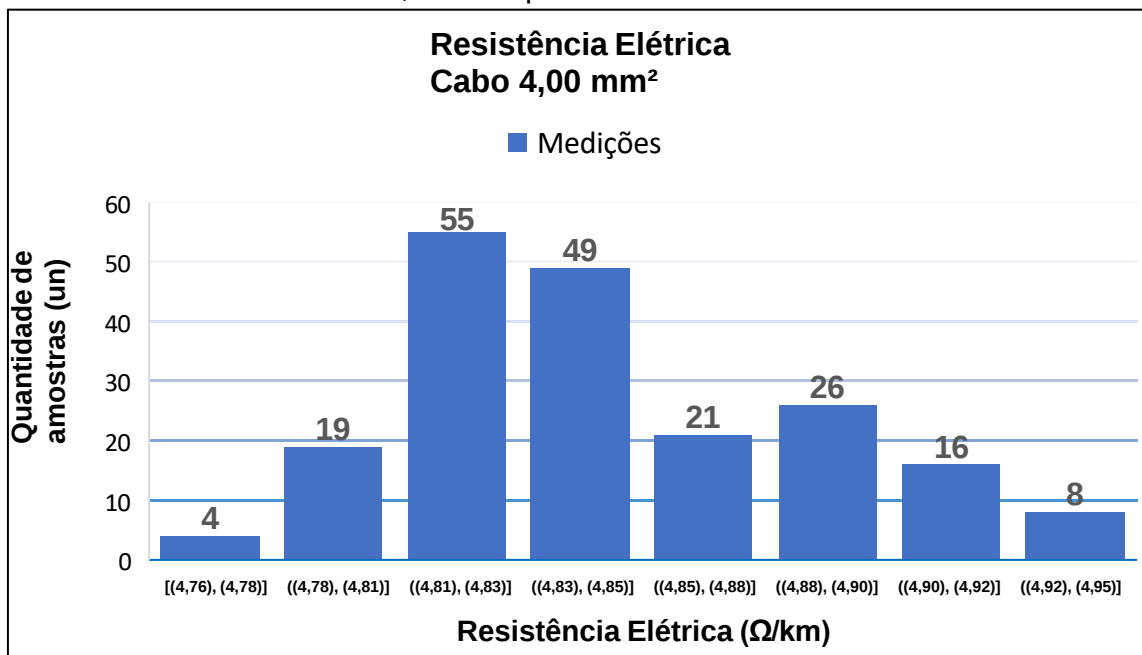
Gráfico 8 - Distribuição da variação da resistência elétrica entre os limites 7,581 (Ω/km) e 8,219 (Ω/km)



Fonte: Do autor (2025).

Para as 198 amostras do cabo de 4,00 mm², o Gráfico 9 (Colunas) mostra a distribuição em diversos intervalos de resistência elétrica das quais podemos destacar 4 amostras apresentando menor resistência e 8 resultados dos ensaios exibindo maior resistência elétrica em (Ω/km). O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras em unidades e o eixo horizontal exibe a os intervalos da resistência elétrica em (Ω/km) encontradas. Além disso, vale ressaltar uma elevada concentração de 55 amostras para o intervalo de resistência elétrica entre 4,81-4,83 (Ω/km).

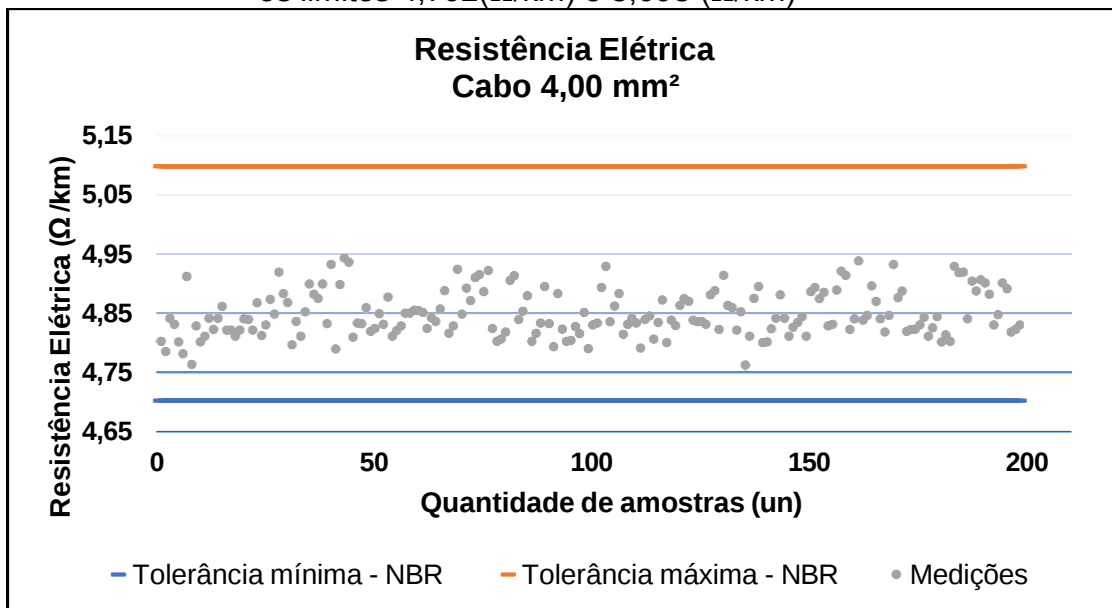
Gráfico 9 - Distribuição da variação da resistência elétrica do cabo de 4,00 mm² por intervalos



Fonte: Do autor (2025).

O Gráfico 10 identifica a variação da resistência elétrica dentro dos limites fixados por norma (Tabela 3), com 4,702 (Ω/km) para menor resistência (linha inferior) e 5,098 (Ω/km) para maior resistência (linha superior), o eixo horizontal ilustra a quantidade de amostras e o eixo vertical a variação da resistência elétrica em (Ω/km), os pontos em verde são as medições de cada amostra, a menor leitura foi de 4,761 (Ω/km) e a maior encontrada foi 4,942 (Ω/km).

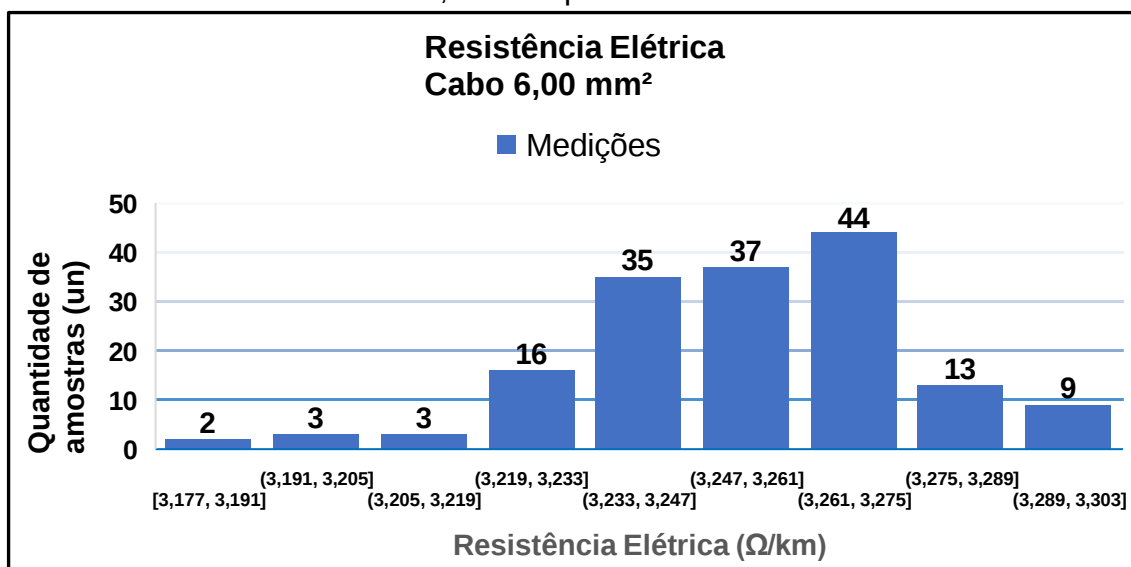
Gráfico 10 - Distribuição da variação da resistência elétrica entre os limites 4,702(Ω/km) e 5,098 (Ω/km)



Fonte: Do autor (2025).

Para as 162 amostras do cabo de 6,00 mm². O Gráfico 11 (Colunas) mostra a distribuição em diversos intervalos de resistência elétrica com destaque para 2 amostras apresentando menor resistência e 9 resultados das análises exibindo maior resistência elétrica em (Ω/km). O eixo vertical ilustra a quantidade de amostras em unidades e o eixo horizontal exibe a os intervalos da resistência elétrica em (Ω/km) encontradas.

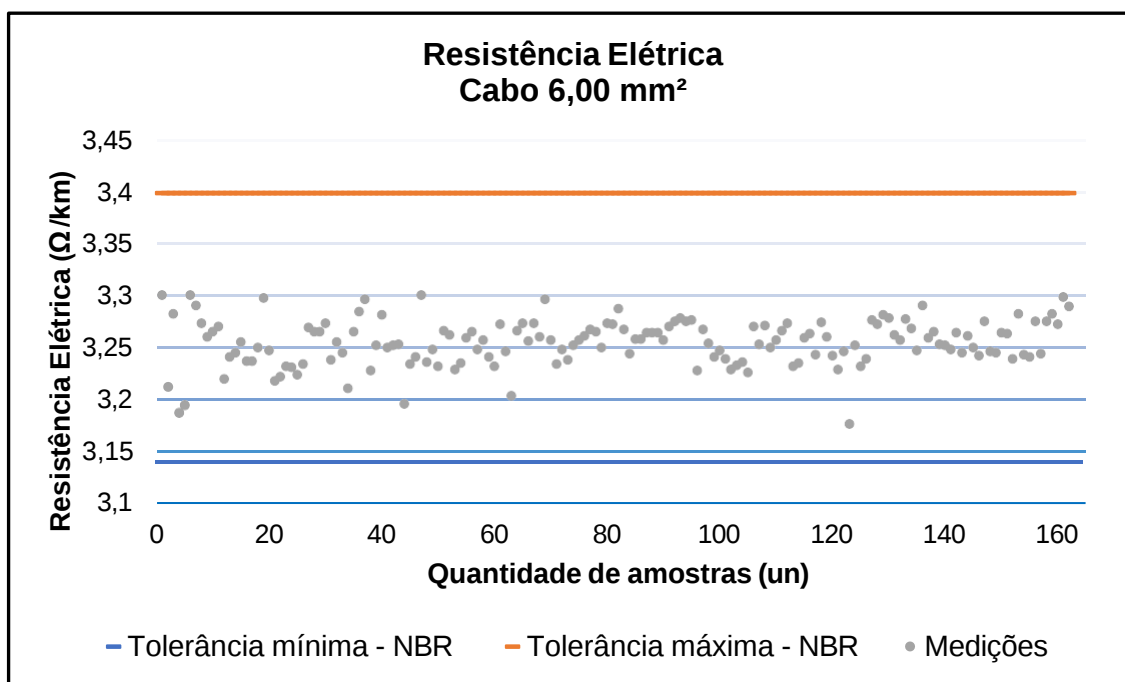
Gráfico 11 - Distribuição da variação da resistência elétrica do cabo de 6,00 mm² por intervalos



Fonte: Do autor (2025).

O gráfico 12 identifica a faixa de variação da resistência elétrica dentro dos limites fixados por norma (Tabela 3), com 3,135 (Ω/km) para menor resistência (linha inferior) e 3,399 (Ω/km) para maior resistência (linha superior), o eixo horizontal ilustra a quantidade de amostras em unidades e o eixo vertical a variação da resistência elétrica em (Ω/km), os pontos são as medições encontradas de cada amostra, a menor leitura foi de 3,177 (Ω/km) e a análise de maior valor achada foi 3,300 (Ω/km).

Gráfico 12 - Distribuição da variação da resistência elétrica entre os limites



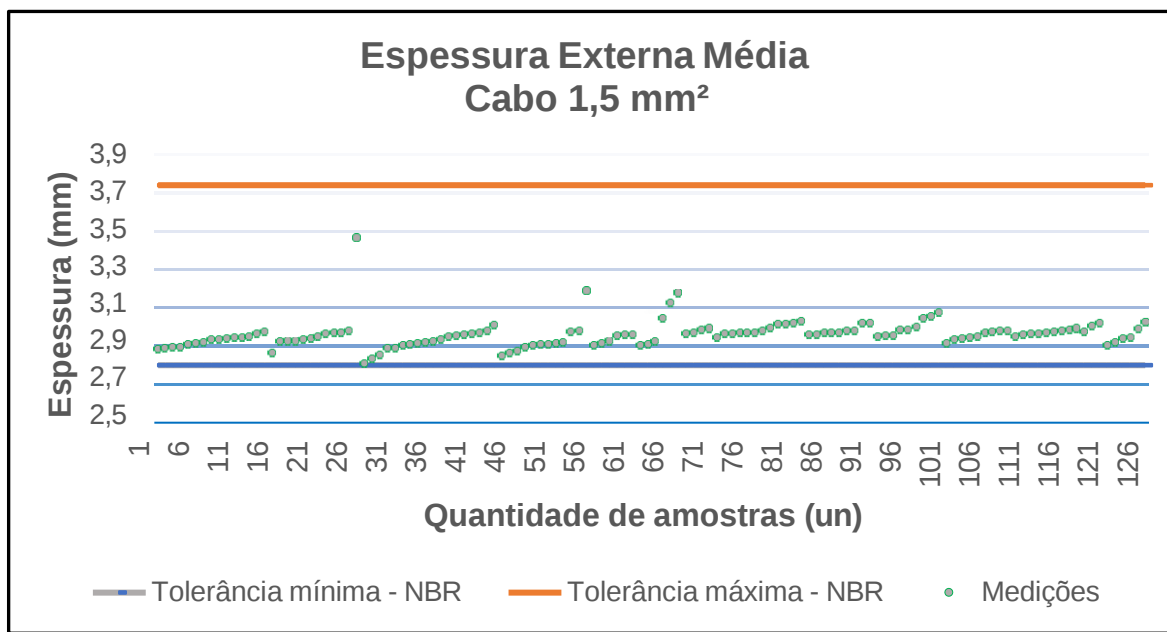
Fonte: Do autor (2025).

6.6 MEDIÇÃO DA SEÇÃO CIRCULAR EXTERNA MÉDIA

O estudo da espessura média externa da seção circular dos cabos tem o propósito de prevenir a sobriedade da capacidade de resistência elétrica da camada isolante e o controle do peso do produto. As 130 amostras do cabo de 1,5 mm^2 apresentaram valores sempre próximos do mínimo exigido na norma 247-3 (2002) (Tabela 1), a mesma também classifica os cabos já isolados como BWF 70°C 450/750V CX MM^2 (ABNT, 2002). O Gráfico 13 identifica as variações das espessuras médias externas sempre próximo do valor mínimo de 2,80 mm (linha inferior), e o valor de 3,74 mm indica o maior valor (linha superior), o eixo horizontal apresenta a quantidade de amostras analisadas e o eixo vertical a espessura da seção circular

média em milímetros. Os pontos simbolizam as medições verificadas de cada amostra. O menor valor alcançado foi 2,800 mm e o maior valor de 3,470 mm.

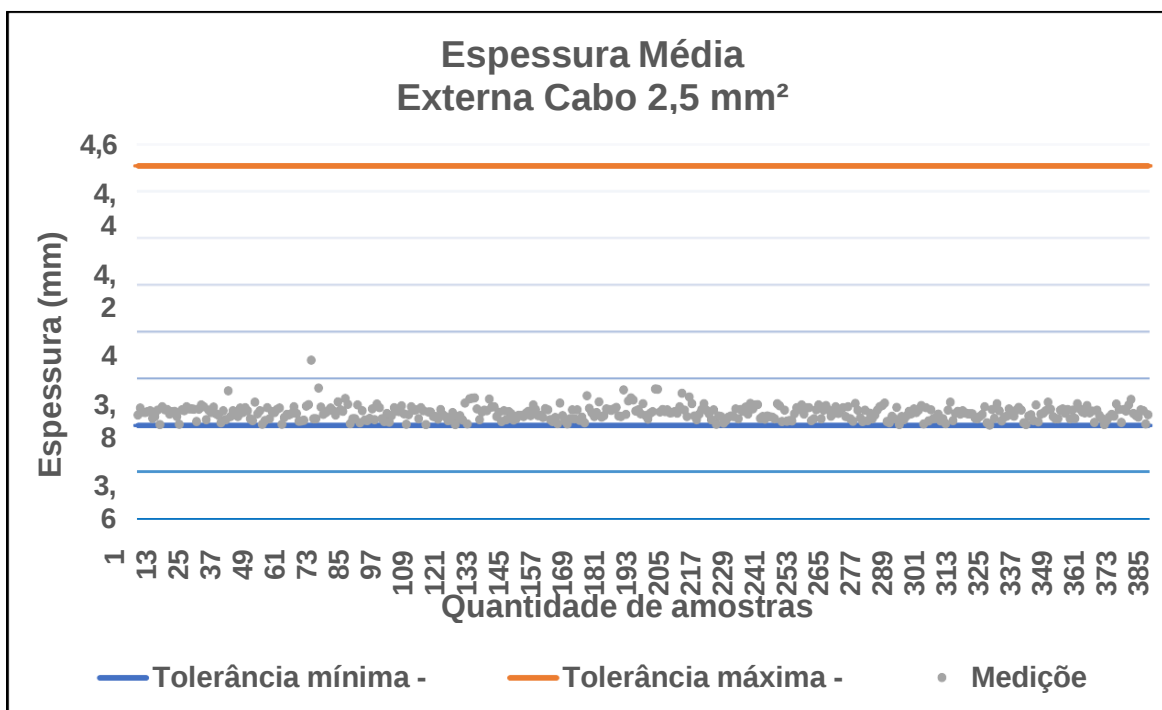
Gráfico 13 - Medição da seção circular externa média – Cabo BWF 70°C 450/750V
1,5 MM²



Fonte: Do autor (2025).

Para o cabo BWF 70°C 450/750V 2,5 MM², foram analisadas 415 amostras que apresentaram valores sempre próximos do mínimo exigido na norma 247-3 (2002) (Tabela 1) (ABNT, 2002). O Gráfico 14 identifica as variações das espessuras médias externas sempre próximo do valor mínimo de 3,400 mm (linha inferior), e o valor de 4,410 mm indica o maior valor (linha superior), o eixo horizontal apresenta a quantidade total de amostras analisadas (pontos) e o eixo vertical a espessura da seção circular média em milímetros. Os pontos simbolizam as medições achadas de cada amostra. O menor valor achado foi 3,400 mm e o maior valor de 3,680 mm.

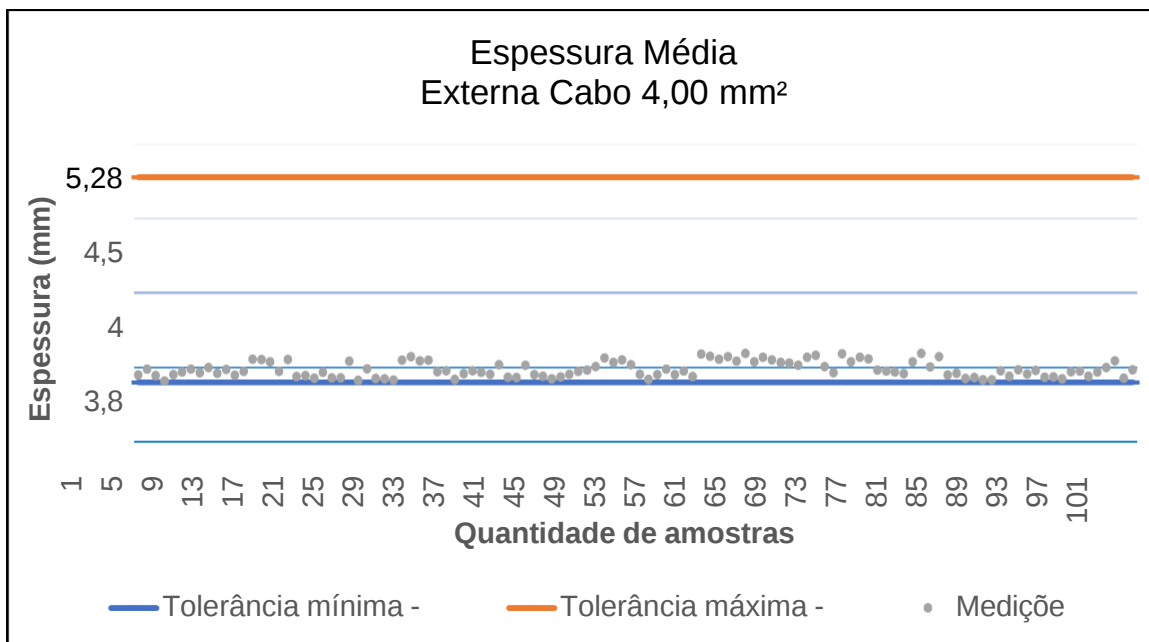
Gráfico 14 - Medição da seção circular externa média – Cabo BWF 70°C
450/750V 2,5 MM²



Fonte: Do autor (2025).

Para o cabo BWF 70°C 450/750V 4,00 MM², foram analisadas 114 amostras que apresentaram valores sempre próximos do mínimo exigido na norma 247-3 (2002) (Tabela 1) (ABNT, 2002). O Gráfico 15 identifica as variações das espessuras médias externas sempre próximo do valor mínimo de 3,900 mm (linha inferior), e o valor de 5,280 mm indica o maior valor (linha superior), o eixo horizontal apresenta a quantidade total de amostras analisadas e o eixo vertical a espessura da seção circular média em milímetros. Os pontos em verde simbolizam as medições de cada amostra. O menor valor alcançado foi 3,908 mm e o maior valor de 4,094 mm.

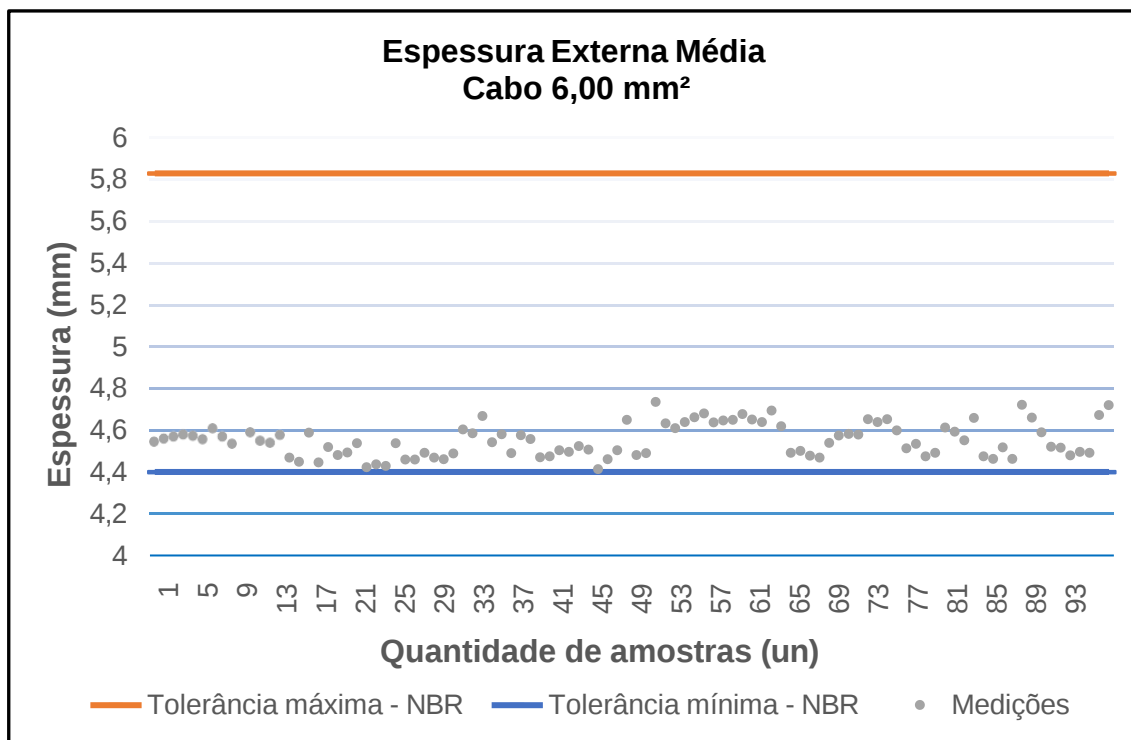
Gráfico 15 - Medição da seção circular média externa – Cabo
BWF 70°C 450/750V 4,00 MM²



Fonte: Do autor (2025).

Para o cabo BWF 70°C 450/750V 6,00 MM², foram analisadas 114 amostras que apresentaram valores sempre próximos do mínimo exigido na norma 247-3 (2002) (Tabela 1) (ABNT, 2002). O Gráfico 16 identifica as variações das espessuras médias externas sempre próximo do valor mínimo de 4,400 mm (linha inferior), e o valor de 5,830 mm indica o maior valor (linha superior), o eixo horizontal apresenta a quantidade total de amostras analisadas e o eixo vertical a espessura da seção circular média em milímetros. Os pontos simbolizam as medições de cada amostra. O menor valor alcançado foi 4,414 mm e o maior valor de 4,994 mm.

Gráfico 16 - Medição da seção circular externa média – Cabo BWF 70°C
450/750V 6,00 MM²

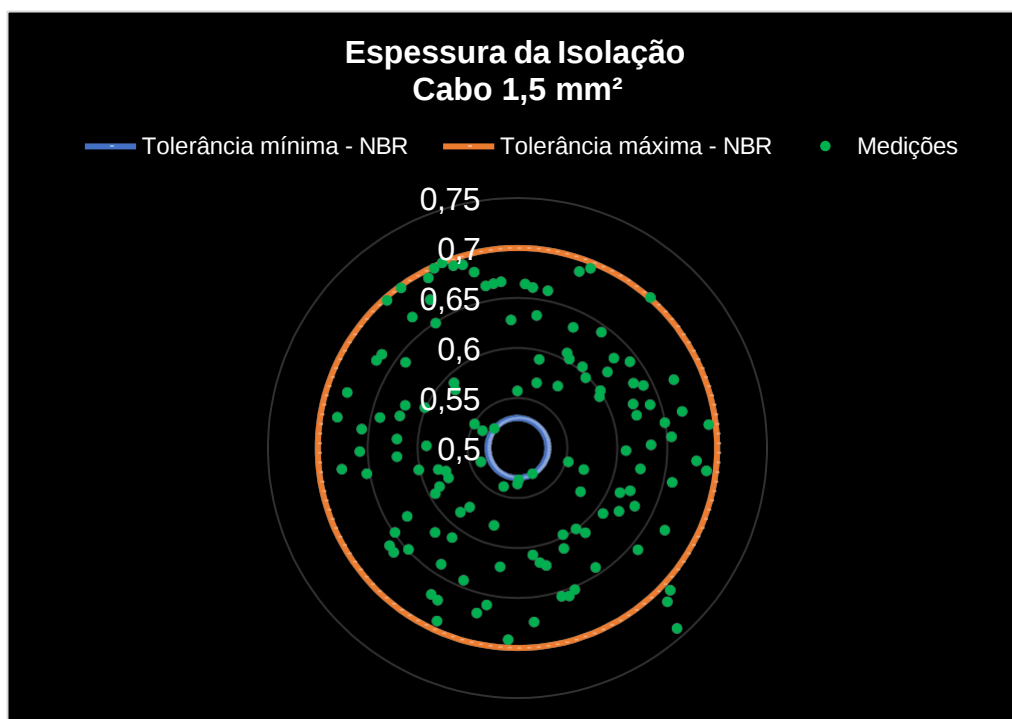


Fonte: Do autor (2025).

6.7 MEDIÇÃO DA ESPESSURA MÍNIMA DA ISOLAÇÃO

As medições das espessuras das amostras analisadas apresentaram diversos resultados dentro das faixas delimitadas pela norma e algumas excederam o limite máximo de espessura mínima, isso representa baixa precisão e baixa exatidão do processo de extrusão do cabo. Apesar disso, nenhuma das amostras apresentaram valores abaixo do mínimo exigido, das 130 amostras do cabo BWF 70°C 450/750V 1,5 MM² apresentadas no Gráfico 17 ilustram uma distribuição variada entre os limites máximos de 0,700 mm (círculo maior) e limites mínimos de 0,530 mm (círculo menor). O menor valor encontrado foi 0,530 mm e maior resultado identificado foi 0,753 mm. Os números em vertical representam os valores em milímetros.

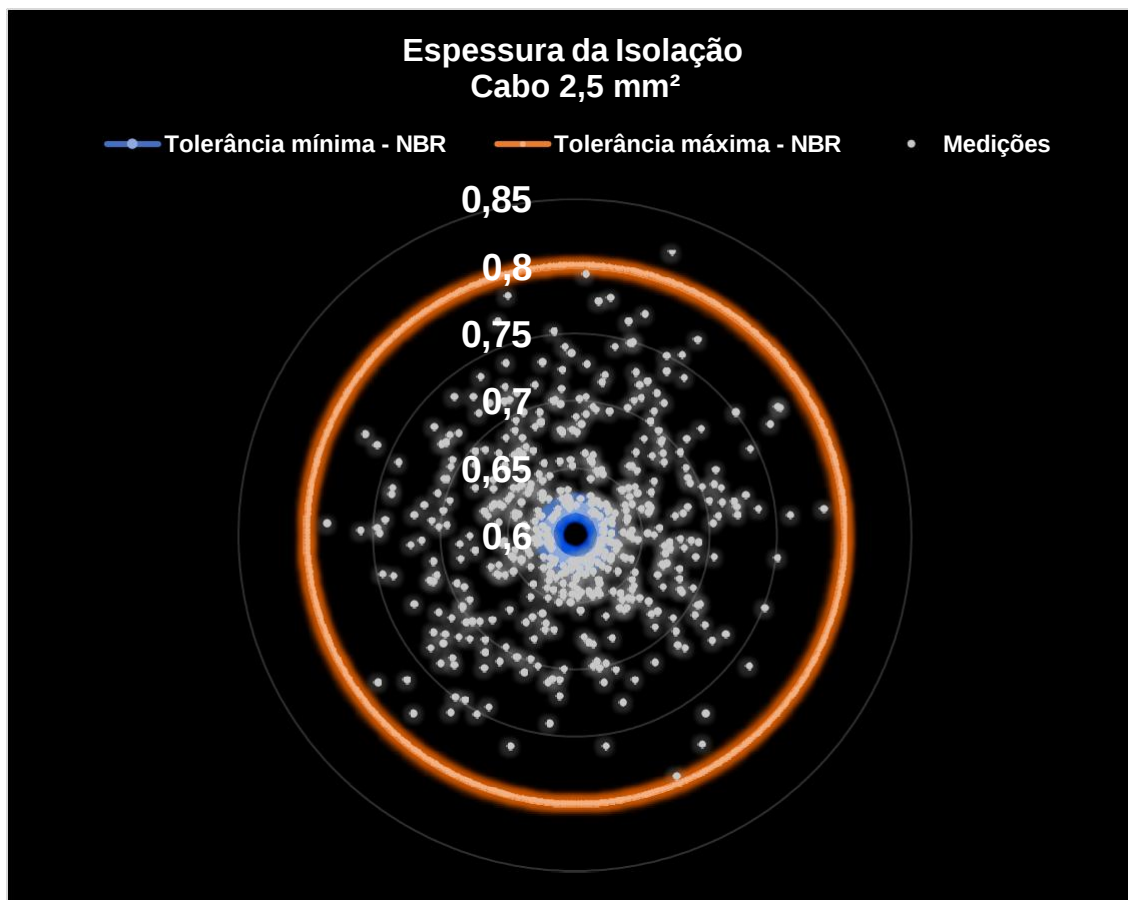
Gráfico 17 - Medição da espessura mínima de isolamento – Cabo BWF 70°C
450/750V 1,5 MM²



Fonte: Do autor (2025).

Para o cabo BWF 70°C 450/750V 2,5 MM², foram analisadas 517 amostras que apresentaram valores ocupando toda faixa dos limites exigidos na norma NM 247-3 (2002) (Tabela 1) (ABNT, 2002). O Gráfico 18 identifica as variações das espessuras mínimas variando dentro da faixa do valor mínimo de 0,620 mm (linha inferior), e o valor de 0,800 mm indica o maior valor (linha superior), o eixo horizontal apresenta a quantidade total de amostras analisadas e o eixo vertical a espessura da isolamento em milímetros. Os pontos simbolizam as medições encontradas de cada amostra. O menor valor alcançado foi 0,620 mm e o maior valor encontrado foi 0,821 mm.

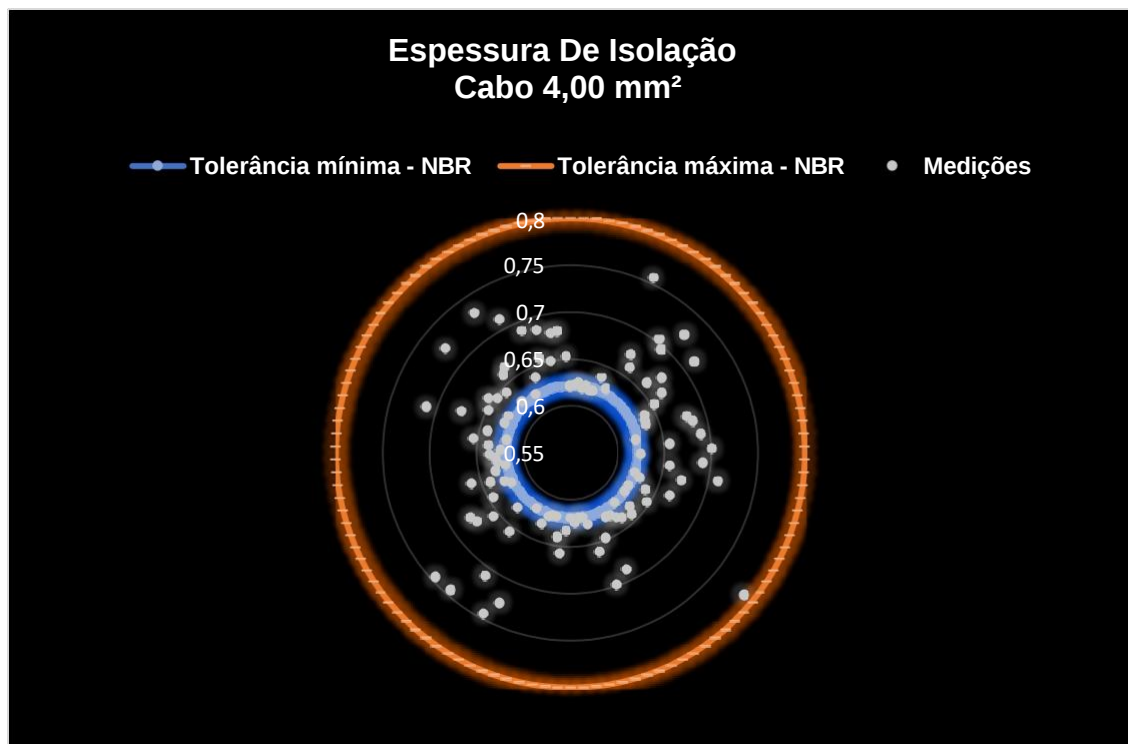
Gráfico 18 - Medição da espessura mínima de isolamento – Cabo BWF 70°C
450/750V 2,5 MM²



Fonte: Do autor (2025).

Para o cabo de BWF 70°C 450/750V 4,00 MM², foram analisadas 114 amostras que apresentaram valores ocupando toda faixa dos limites exigidos na norma NM 247-3 (2002) (Tabela 1) (ABNT, 2002). O Gráfico 19 identifica as variações das espessuras mínimas variando dentro da faixa do valor mínimo de 0,620 mm (linha inferior), e o valor de 0,800 mm indica o maior valor (linha superior), o eixo horizontal apresenta a quantidade total de amostras analisadas e o eixo vertical a espessura da isolamento em milímetros. Os pontos simbolizam as medições de cada amostra, estes apresentaram uma boa tendência em permanecer nos limites mínimos de tolerância. O menor valor alcançado foi 0,620 mm e o maior valor encontrado foi 0,788 mm.

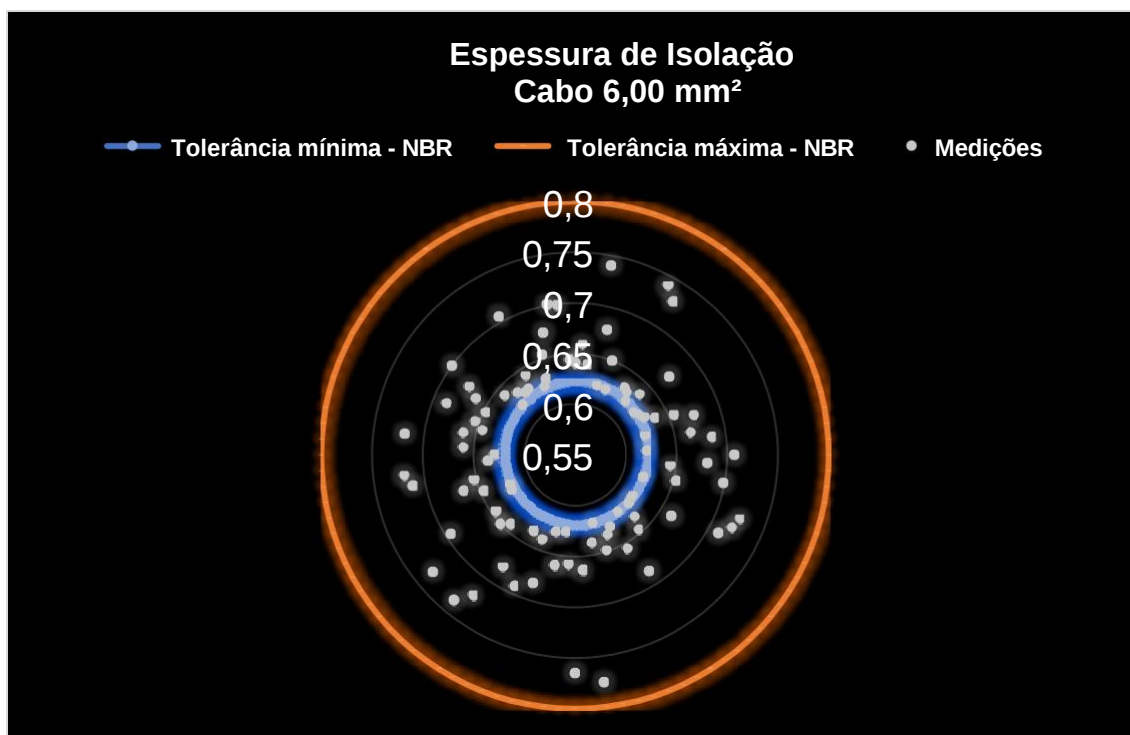
Gráfico 19 - Medição da espessura mínima de isolamento – Cabo BWF 70°C
450/750V 4,00 MM²



Fonte: Do autor (2025).

Para o cabo BWF 70°C 450/750V 6,00 MM², foram analisadas 100 amostras que apresentaram valores ocupando toda faixa dos limites exigidos na norma 247-3 (2002) (Tabela 1) (ABNT, 2002). O Gráfico 20 identifica as variações das espessuras mínimas variando dentro da faixa do valor mínimo de 0,620 mm (linha inferior), e o valor de 0,800 mm indica o maior valor (linha superior), o eixo horizontal apresenta a quantidade total de amostras analisadas. Os pontos simbolizam as medições de cada amostra, estes mostram que não é possível definir nenhum padrão para os limites mínimos e máximos. O menor valor alcançado foi 0,620 mm e o maior valor encontrado foi 0,776 mm.

Gráfico 20 - Medição da espessura mínima de isolamento – Cabo BWF 70°C
450/750V 6,00 MM²



Fonte: Do autor (2025).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como propósito confirmar a conformidade dos resultados dos ensaios com as normas técnicas NBR NM 280 (2011) E NBR NM 247-3 (2002), proporcionando uma compreensão mais aprofundada da consistência das análises realizadas nas amostras ao longo de três meses de verificações. A partir dos resultados obtidos, foi possível, com base nos critérios normativos, avaliar o desempenho das amostras para medição do diâmetro da seção circular do fio, ensaios de tração, resistência elétrica, medição do diâmetro externo médio e espessura mínima da isolamento.

As medições das amostras da seção circular do fio apresentaram baixíssima variação mediante os intervalos permitidos nos critérios técnicos fixados na Tabela 3. Isso garantiu a uniformidade dos feixes de fios para o encordoamento que forma o cabo elétrico. Assim prossegue-se para continuação do processo de fabricação.

As amostras do ensaio de tração apresentaram bom aproveitamento de toda faixa permitida, ou seja, variação entre 20% e 27% de alongamento descrito na Tabela 2. Os resultados mostraram que o produto atende plenamente aos requisitos normativos para continuidade do processo de fabricação.

Após os ensaios de tração, as amostras dos cabos encordoados de 1,5 mm², 2,5 mm², 4,00 mm² e 6,00 mm² foram submetidos a medição de sua resistência elétrica, cada uma dentro de sua respectiva faixa de operação permitidas na NBR NM 280 (2011) listadas na Tabela 2, estas apresentaram um bom desempenho dentro da faixa de tolerância, todas as bitolas tenderam a permanecer numa faixa próxima a média do intervalo. Assim, atendendo plenamente as especificações técnicas exigidas, os produtos prosseguem para extrusora, esta realiza o recobrimento do cabo e amostras foram enviadas ao laboratório para análise do diâmetro médio externo e a espessura de isolamento.

Conforme a norma NM NBR 247-3 (2002), os cabos extrusados passam a ser classificados como BWF 70 °C 450/750 V CX MM². As medições dos diâmetros externos médios das bitolas de 1,5 mm² e 6,00 mm² evidenciaram um leve afastamento em relação à tolerância mínima exigida, enquanto que as bitolas de 2,5 mm² e 4,00 mm² apresentaram maior proximidade dos valores mínimos e melhor precisão. Com isso, observa-se que todos os resultados estão em conformidade com os requisitos normativos aplicáveis à análise da seção circular média externa.

As medições das espessuras mínimas de isolamento dos cabos BWF 70 °C 450/750 V, das seções de 1,5 mm², 2,5 mm², 4,00 mm² e 6,00 mm², indicaram que houve um aproveitamento amplo da faixa de tolerância especificada para cada bitola, o que caracteriza uma menor precisão nos resultados. Apesar disso, nenhuma das amostras apresentou valores inferiores ao limite mínimo de tolerância. Assim, pode-se concluir que todas as amostras analisadas estão em conformidade com os requisitos mínimos estabelecidos na Tabela 1.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se a inclusão dos ensaios de capacidade de resistência do isolamento e de aplicação de tensão elétrica nas mesmas classes de cabos avaliadas neste trabalho. Tais análises contribuirão para uma compreensão mais abrangente do desempenho dos produtos em conformidade com as normas técnicas vigentes, enriquecendo mais o processo de verificação da qualidade e segurança dos cabos.

REFERENCIAS

ABNT. **NBR NM 247-3** – Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive: Parte 3: Condutores isolados (sem cobertura) para instalações fixas (IEC 60227-3, MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT. **NBR NM 280** – Condutores de cabos isolados. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT. **NBR NM-IEC 60811-1-1**: Métodos de ensaios comuns para os materiais de isolamento e de cobertura de cabos elétricos: Parte 1: Métodos para aplicação geral – Capítulo 1: Medição de espessuras e dimensões externas – Ensaio para a determinação das propriedades mecânicas. 1. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.

ABNT; INMETRO. **Guia para a expressão da incerteza de medição**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT; INMETRO, 2003.

ABNT; **ISO/IEC. 17067** – Avaliação da conformidade: Fundamentos para certificação de produtos e diretrizes de esquemas para certificação de produtos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

ALVES, G. B.; BONINI, L. M. M.; MAIELLARO, J. R. Análise da Capabilidade do Processo de Extrusão. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 6, p. 320–334, 30 jun. 2022.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica**. 2. ed. São Paulo: Makron Books do Brasil Ltda, 1986. v. 3.

GIOVANETTI, J.; CLETO, M. G. **Impacto da certificação de produto na indústria brasileira de baterias automotivas: um estudo de caso**. *Gestão & Produção*, v. 25, n. 2, p. 304–318, jun. 2018.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems**. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2012.

HELMAN, H.; CETLIN, P. R. **Fundamentos da conformação mecânica dos metais**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2015. v. único.

JCGM. 106: 2012 – **Avaliação de dados de medição: O papel da incerteza de medição na avaliação da conformidade**. 1. ed. Brasília, DF: Baratto, Antonio Carlos; Inmetro, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/metrologia-cientifica/documentos-tecnicos-em-metrologia/gum2022.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing Engineering and Technology in SI Units**. SI Conversion by Hamldon Musa. 6. ed. [S. l.]: Pearson, 2009. v. único.

REDE METRÓLOGICA RS. **Certificação de produtos: guia prático**. Porto Alegre: Metrópole, 2000.

RIBEIRO, S. I. **Os benefícios e as dificuldades na certificação da qualidade: Norma NP EN ISO 9001:2008**. Instituto Politécnico do Porto, fev. 2012.