

Análise de Conformidade Dimensional de Cabos Flexíveis de Baixa Tensão: Estudo de Caso sobre Desbitolamento e seus Riscos às Instalações Elétricas

Itallo Henrique Dias Silva
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
itallo.silva@ufv.br

Dr. Mauro de Oliveira Prates
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
mauroprates@ufv.br

Me. Heitor Sampaio Guimarães-
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
heitor.guimaraes@ufv.br

Resumo—O presente trabalho analisa a conformidade dimensional de cabos flexíveis de baixa tensão com base nas normas técnicas brasileiras da série ABNT NBR NM 247, aplicáveis a condutores isolados com policloreto de vinila para tensões nominais até 450/750 V. A análise restringiu-se especificamente à verificação do diâmetro externo do cabo e do diâmetro do condutor de cobre, dois dos parâmetros dimensionais previstos na norma. A partir de um estudo de caso conduzido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), foram realizadas medições de diâmetro externo e diâmetro do condutor de cobre em cabos flexíveis (encordoados, não rígidos) de 1,5 mm², 2,5 mm², 4,0 mm² e 6,0 mm² de um determinado fabricante, comparando-os com amostras de referência de fabricantes reconhecidos. Os resultados revelaram que todas as amostras do fabricante investigado apresentaram diâmetro do condutor de cobre significativamente inferior ao limite mínimo estabelecido pela norma, diferença confirmada por teste *t* de Welch ($p \ll 0,001$ em todas as seções), o que configura desconformidade técnica sistemática. O trabalho discute ainda os riscos associados ao uso de cabos desbitolados, incluindo sobreaquecimento por efeito Joule, aumento da resistência elétrica, perdas energéticas e risco de incêndios, fundamentando-se em dados estatísticos nacionais sobre acidentes de origem elétrica.

Index Terms—cabos elétricos, conformidade normativa, desbitolamento, ABNT NBR NM 247, segurança elétrica

I. INTRODUÇÃO

As instalações elétricas de baixa tensão desempenham papel fundamental na infraestrutura de edificações residenciais, comerciais e industriais, sendo regulamentadas no Brasil pela norma ABNT NBR 5410 — Instalações Elétricas de Baixa Tensão [1]. A segurança dessas instalações depende diretamente da qualidade dos condutores elétricos, cuja seção transversal, resistência elétrica e capacidade de condução de corrente determinam o desempenho e a integridade de todo o sistema.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece, por meio da série de normas ABNT NBR NM 247 — Cabos Isolados com Policloreto de Vinila (PVC) para Tensões Nominais até 450/750 V [2]–[4], os requisitos mínimos para a fabricação de cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, harmonizadas

com a norma internacional IEC 60227 [18]. Essas normas definem parâmetros dimensionais rigorosos, como espessura da isolamento, diâmetro externo e seção transversal do condutor de cobre, garantindo que os produtos atendam aos critérios de segurança exigidos. A certificação compulsória pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), regulamentada pela Portaria Inmetro n° 640 — Regulamento Técnico da Qualidade para Fios, Cabos e Cordões Elétricos [5], complementa esse arcabouço normativo.

Apesar dessas regulamentações, o mercado brasileiro de fios e cabos elétricos enfrenta problemas significativos de não conformidade. Levantamentos realizados pela Associação Brasileira pela Qualidade dos Fios e Cabos Elétricos (Qualifio) entre 2018 e 2024 indicaram que entre 57% e 65% das amostras coletadas no comércio nacional estavam em desacordo com as normas vigentes [6]. A principal irregularidade consiste na redução da quantidade de cobre utilizada na fabricação, prática conhecida como “desbitolamento”, que acarreta no aumento da resistência elétrica e maior dissipação de calor por efeito Joule [7]. Ao longo deste trabalho, esse termo é utilizado para designar cabos cuja seção transversal real de cobre é inferior à declarada na marcação do produto (definição retomada em detalhe na Seção II-B). Dados da Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (Abracopel) mostram que, em 2022, foram registrados 874 incêndios por sobrecarga ou curto-circuito no Brasil, resultando em 55 óbitos; parte desses eventos é atribuída pela própria Abracopel a condutores fora de especificação, sem que exista, no entanto, uma discriminação estatística oficial da proporção exata atribuível especificamente ao desbitolamento [8].

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar a conformidade dimensional — no que se refere ao diâmetro externo e ao diâmetro do condutor de cobre — de cabos flexíveis de baixa tensão adquiridos pela UFV por meio de processo licitatório (pregão eletrônico), verificando se os produtos atendem aos parâmetros da série ABNT NBR NM 247, e discutir os riscos decorrentes do uso de cabos desbitolados.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Resistência Elétrica e Efeito Joule

A resistência elétrica de um condutor metálico é determinada pela Segunda Lei de Ohm, conforme a equação (1), em que R é a resistência em ohms, ρ é a resistividade do material em $\Omega \cdot m$, L é o comprimento em metros e A é a área da seção transversal em m^2 [9].

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (1)$$

Dessa relação, depreende-se que a resistência elétrica é inversamente proporcional à área da seção transversal. Portanto, um cabo cuja seção de cobre seja inferior à nominal apresentará resistência superior à prevista em projeto. Para o cobre eletrolítico com pureza de 99,99%, a resistividade a 20 °C é de aproximadamente $1,72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (valor de referência amplamente utilizado na literatura; pequenas variações entre fontes não afetam as conclusões deste trabalho) [10].

A Lei de Joule, formulada por James Prescott Joule em 1841, estabelece que a energia dissipada na forma de calor em um condutor é diretamente proporcional à resistência, ao quadrado da corrente e ao tempo, conforme a equação (2) [7], em que Q é a energia dissipada em forma de calor (J), R é a resistência elétrica (Ω), I é a corrente elétrica (A) e t é o tempo (s).

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad (2)$$

A combinação das equações (1) e (2) demonstra que a redução da seção transversal provoca aumento simultâneo da resistência e maior geração de calor. Esse sobreaquecimento pode elevar a temperatura do condutor e de sua isolamento a níveis superiores aos admissíveis, degradando as propriedades dielétricas do material isolante e criando condições propícias a falhas de isolamento, curtos-circuitos e incêndios [11].

B. Normas Técnicas e o Problema dos Cabos Desbitolados

Antes de prosseguir, cabe distinguir dois parâmetros centrais deste estudo: o diâmetro externo do cabo, que corresponde à medida do condutor de cobre somado à camada de isolamento em PVC, e o diâmetro do condutor de cobre (também chamado de diâmetro interno), que corresponde exclusivamente à seção metálica condutora, sem a isolamento. É este último, o diâmetro do condutor de cobre, que está diretamente relacionado à seção transversal efetiva de cobre e, portanto, à resistência elétrica do cabo (Seção II-A).

A parte 1 da ABNT NBR NM 247 [2] estabelece os requisitos gerais e as tolerâncias dimensionais, determinando que a espessura da isolamento medida em um ponto qualquer pode ser inferior ao valor especificado desde que a diferença não exceda $0,1 \text{ mm} + 10\%$ do valor nominal. A parte 2 [3] define os métodos de ensaio para medição de espessuras e dimensões externas, e a parte 3 [4] especifica os requisitos construtivos para condutores isolados sem cobertura para instalações fixas, com valores de espessura de isolamento e limites de diâmetro externo para cada seção nominal. A norma ABNT NBR NM

280 [12] complementa o arcabouço ao definir as classes de encordoamento e a resistência elétrica máxima admissível por unidade de comprimento.

O termo “desbitolado” caracteriza cabos cuja seção transversal de cobre é inferior à declarada na marcação do produto. Fabricantes desonestos reduzem a quantidade de cobre, frequentemente compensando com camadas mais espessas de PVC para manter o diâmetro externo aparente [13]. Como o cobre representa cerca de 75% do custo de fabricação, essa prática gera ganhos financeiros significativos [6]. Ensaaios da Qualifio demonstraram que um cabo com deficiência de 30% a 40% de cobre pode atingir 105 °C em apenas três minutos sob carga nominal [6]. Além disso, condutores fora de norma (desbitolados) limitam a capacidade de condução do circuito e podem impedir o disparo do disjuntor sob condições nominais de operação: como a corrente de projeto fica acima do limite real do cabo, mas abaixo do limiar de atuação da proteção, dimensionada para as condições nominais declaradas do condutor, o dispositivo não atua a tempo de evitar o risco [14].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido a partir de um relatório técnico elaborado por engenheiros habilitados da Diretoria de Projetos e Obras da Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, no ano de 2022. Os cabos foram recebidos pela instituição em decorrência de um processo licitatório (pregão eletrônico) para aquisição de material elétrico, no qual, como é praxe em compras públicas, o critério de julgamento foi o menor preço ofertado, dado relevante para a discussão de risco apresentada na Seção V. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Lei nº 13.709/2018) [15], informações que permitam a identificação de pessoas físicas, números de processos administrativos e dados de fornecedores foram anonimizadas neste trabalho.

O fabricante investigado possuía certificado de conformidade ativo junto a organismo certificador credenciado pelo Inmetro para a família de cabos flexíveis com designação 247NW 02-C4, BWF, nas seções de $1 \times 1,50 \text{ mm}^2$ a $1 \times 120,00 \text{ mm}^2$, classe 4 de encordoamento. As normas e portarias de referência utilizadas foram: ABNT NBR NM 280, ABNT NBR NM 247-1, 247-2, 247-3, ABNT NBR NM-IEC 60811-1-1 [17] e Portaria Inmetro 640 [5].

Foram selecionados aleatoriamente rolos fechados de cabos flexíveis nas seções nominais de $1,5 \text{ mm}^2$, $2,5 \text{ mm}^2$, $4,0 \text{ mm}^2$ e $6,0 \text{ mm}^2$, em cores sortidas, do fabricante sob análise (denominado “Fabricante A”). Especificamente, foram amostrados 3 rolos (cores branco, preto e vermelho) nas seções de $1,5$, $2,5$ e $4,0 \text{ mm}^2$, e 2 rolos (cores preto e verde) na seção de $6,0 \text{ mm}^2$. Para cada fabricante de referência, foi amostrado 1 rolo (1 cor) por seção. De cada rolo, retiraram-se 3 amostras de 10 cm, com 6 medições por amostra, totalizando 18 medições de diâmetro externo e 18 de diâmetro do condutor por rolo — ou seja, 54 medições por seção para o Fabricante A (exceto na seção de $6,0 \text{ mm}^2$, com 36 medições, por conta das 2 cores) e 18 medições por seção para cada fabricante de referência. Para

comparação, foram selecionados rolos de quatro fabricantes reconhecidos no mercado nacional (denominados “Fabricantes de Referência”), disponíveis no almoxarifado da instituição.

A metodologia seguiu as recomendações da ABNT NBR NM 247-2 [3]. De cada rolo, foram retiradas três amostras de 10 cm de comprimento. Utilizando um paquímetro digital (Fig. 1) com resolução de 0,01 mm (instrumento de fábrica, sem certificado de calibração emitido por laboratório acreditado pela Rede Brasileira de Calibração — RBC), foram realizadas seis medições de diâmetro em pontos distintos de cada amostra, sendo duas nas extremidades, uma no ponto central e três em pontos aleatórios. O valor médio do diâmetro externo e do condutor de cobre foi calculado por média aritmética simples, complementado pelo respectivo desvio padrão amostral (Tabelas III e V).



Figura 1. Paquímetro digital utilizado nas medições dimensionais dos cabos.

Cabe registrar como limitação metodológica que o número de amostras não foi definido a partir de um cálculo formal de dimensionamento amostral prévio (fixando nível de confiança e margem de erro desejados antes da coleta); a representatividade do lote amostrado frente ao universo total de cabos fornecidos, portanto, não pode ser garantida estatisticamente. Ainda assim, a partir das medições brutas do relatório técnico, aplicou-se um teste *t* de Welch (variâncias desiguais) comparando o diâmetro do condutor de cobre do Fabricante A com o do respectivo fabricante de referência em cada seção; os resultados desse teste são apresentados na Seção IV.

Os parâmetros de referência foram consultados na ABNT NBR NM 247-3 [4], tipo 247 NM 02-CX – BWF-B. A Tabela I apresenta os limites dimensionais e a Tabela II os limites calculados para o diâmetro do condutor de cobre, já considerando a tolerância admitida pela norma, por exemplo, para a seção de 1,5 mm², cujo diâmetro nominal do condutor é 1,4 mm, a tolerância admitida é de 10% do valor nominal acrescida de 0,1 mm ($0,10 \times 1,4 + 0,1 = 0,24$ mm), resultando em um valor mínimo absoluto de $1,4 - 0,24 \approx 1,15$ mm, abaixo do qual o cabo é considerado não conforme mesmo dentro da margem de tolerância.

IV. RESULTADOS

Os resultados demonstraram irregularidade generalizada no diâmetro do condutor de cobre do Fabricante A em todas as seções e cores analisadas. A Tabela III apresenta os valores

Table I
PARÂMETROS NORMATIVOS PARA CABOS TIPO 247 NM 02-CX – BWF-B

Seção (mm ²)	Esp. isol. (mm)	Diâmetro ext. (mm)	
		Mín.	Máx.
1,5	0,7	2,8	3,4
2,5	0,8	3,4	4,1
4,0	0,8	3,9	4,8
6,0	0,8	4,4	5,3

Table II
LIMITES DE DIÂMETRO DO CONDUTOR DE COBRE DERIVADOS DA NORMA

Seção (mm ²)	Mín. (mm)	Máx. (mm)
1,5	1,4	2,0
2,5	1,8	2,5
4,0	2,3	3,2
6,0	2,8	3,7

médios consolidados, acompanhados do desvio padrão amostral, confrontados com os limites normativos.

Table III
COMPARATIVO DE DIÂMETROS MÉDIOS DO CONDUTOR DE COBRE (MM)

Seção (mm ²)	Lim. mín.	Fab. A (média ± DP)	Ref. (média ± DP)	Desvio (%)
1,5	1,40	0,88 ± 0,04*	1,28 ± 0,05*	-37,1
2,5	1,80	1,22 ± 0,05	1,84 ± 0,12	-32,2
4,0	2,30	1,57 ± 0,09	2,34 ± 0,11	-31,7
6,0	2,80	2,01 ± 0,12	2,83 ± 0,14	-28,2

*Abaixo do limite, mas dentro da tolerância da norma.

DP = desvio padrão amostral. *n* = 54 (Fab. A) e *n* = 18 (Ref.) para 1,5/2,5/4,0 mm²; *n* = 36 e *n* = 18 para 6,0 mm².

Para os cabos de 1,5 mm² do Fabricante A, o diâmetro médio do condutor foi de 0,88 mm, considerando a média entre as cores branco (0,87 mm), preto (0,89 mm) e vermelho (0,88 mm). Esse valor é 37,1% inferior ao limite mínimo de 1,40 mm. Em termos de área, essa redução implica seção de cobre de aproximadamente 0,61 mm², ou seja, 59,3% inferior à seção nominal de 1,5 mm². O cabo de referência apresentou diâmetro de 1,28 mm, ligeiramente inferior ao limite, mas dentro da margem de tolerância da ABNT NBR NM 247-1 [2] (conforme cálculo detalhado na Seção III).

Nos cabos de 2,5 mm², o Fabricante A apresentou diâmetro médio entre 1,18 mm (vermelho) e 1,24 mm (verde e azul), com média geral de 1,22 mm, representando deficiência de 32,2% em relação ao limite mínimo de 1,80 mm. A Fig. 2 ilustra a medição do condutor de cobre de um cabo de 2,5 mm² do Fabricante A, com leitura de 1,45 mm no paquímetro, valor significativamente abaixo do limite normativo. A título de comparação, a Fig. 3 apresenta o cabo de 2,5 mm² do fabricante de referência, cuja seção de cobre é visivelmente superior, tendo atingido diâmetro médio de 1,84 mm, em plena conformidade com a norma.

Nos cabos de 4,0 mm², os valores do Fabricante A variaram entre 1,52 mm (preto) e 1,65 mm (vermelho), com média de 1,57 mm (desvio de -31,7% frente ao mínimo de 2,30 mm).



Figura 2. Medição do condutor de cobre de cabo flexível 2,5 mm² do Fabricante A: leitura de 1,45 mm, inferior ao limite mínimo de 1,80 mm.



Figura 3. Cabo flexível 2,5 mm² do fabricante de referência, com seção de cobre visivelmente superior à do Fabricante A para a mesma seção nominal.

Nos cabos de 6,0 mm², o diâmetro médio foi de 2,01 mm, considerando preto (2,05 mm) e verde (1,97 mm), frente ao mínimo de 2,80 mm (desvio de $-28,2\%$). Em todos os casos, os fabricantes de referência mantiveram-se em conformidade, confirmando que os parâmetros normativos são plenamente alcançáveis por fabricantes que adotam boas práticas. A Fig. 4 traz o registro fotográfico comparativo dos condutores desencapados das seções de 4,0 mm² e 6,0 mm², em que a diferença de volume de cobre entre o Fabricante A e os fabricantes de referência é visualmente perceptível.

Para confirmar estatisticamente essa não conformidade generalizada, aplicou-se o teste t de Welch descrito na Seção III. A Tabela IV apresenta os resultados: em todas as quatro seções, a diferença de médias entre o Fabricante A e o respectivo fabricante de referência é estatisticamente significativa a um nível de significância inferior a 0,001 ($p \ll 0,001$), o que corrobora estatisticamente, e não apenas visualmente, a conclusão de não conformidade sistemática do Fabricante A.

A análise do diâmetro externo (Tabela V) revela que os valores do Fabricante A situam-se predominantemente abaixo do limite inferior, indicando que não houve compensação

Table IV
TESTE t DE WELCH — DIÂMETRO DO CONDUTOR DE COBRE

Seção	n_A	n_{Ref}	t	p
1,5	54	18	-30,4	$4,2 \times 10^{-20}$
2,5	54	18	-20,5	$1,7 \times 10^{-14}$
4,0	54	18	-27,2	$5,4 \times 10^{-20}$
6,0	36	18	-22,1	$2,0 \times 10^{-20}$

com excesso de PVC, diferentemente do que ocorre com outros fabricantes irregulares que mantêm aparência externa normal. Um teste t de Welch equivalente ao da Tabela IV, aplicado ao diâmetro externo (detalhado no Apêndice A, Tabela VIII), reforça estatisticamente essa leitura: ao contrário do diâmetro do condutor — significativo em todas as seções —, o diâmetro externo apresenta resultado misto: significativo e menor que a referência nas seções de 1,5 e 6,0 mm², sem diferença estatística na seção de 4,0 mm² ($p = 0,099$), e até significativamente maior que a referência na seção de 2,5 mm². Esse padrão inconsistente é coerente com a ausência de uma estratégia deliberada de compensação por excesso de PVC: se houvesse tal compensação, seria esperado um viés sistemático do diâmetro externo do Fabricante A para cima em todas as seções, o que não se observa.

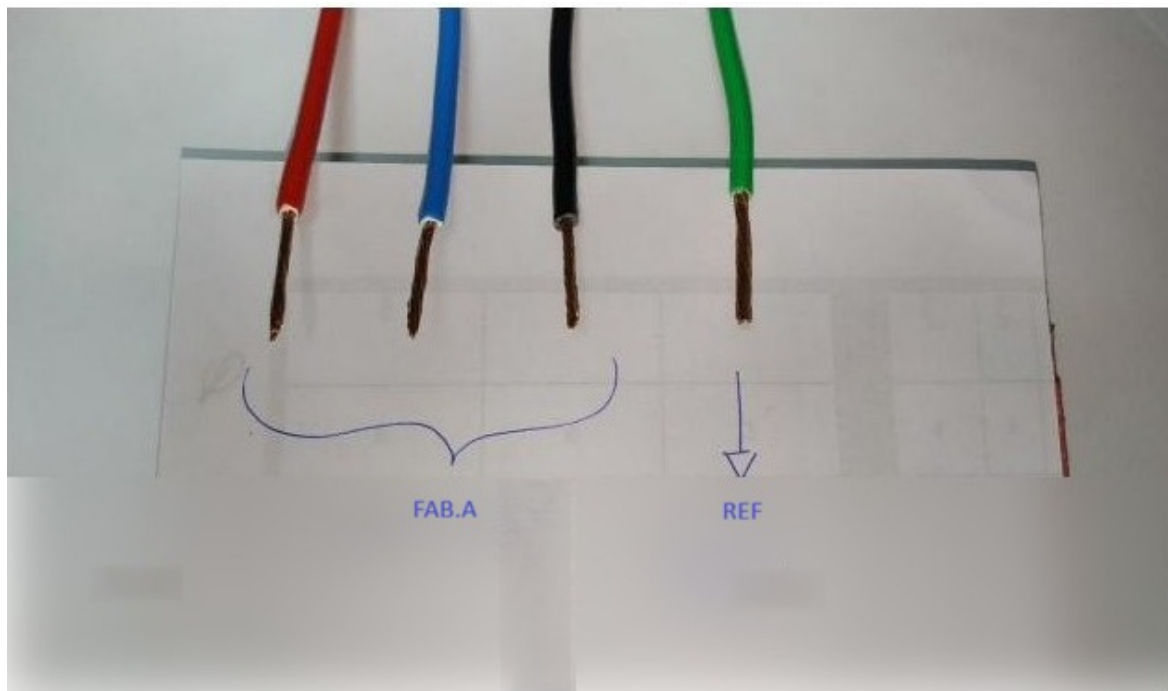
Table V
COMPARATIVO DE DIÂMETROS EXTERNOS MÉDIOS (MM)

Seção (mm²)	Lim. inf.	Lim. sup.	Fab. A (média±DP)	Ref. (média±DP)
1,5	2,80	3,40	$2,62 \pm 0,05$	$2,95 \pm 0,08$
2,5	3,40	4,10	$3,54 \pm 0,06$	$3,43 \pm 0,04$
4,0	3,90	4,80	$3,83 \pm 0,10$	$3,88 \pm 0,11$
6,0	4,40	5,30	$4,18 \pm 0,07$	$4,40 \pm 0,09$

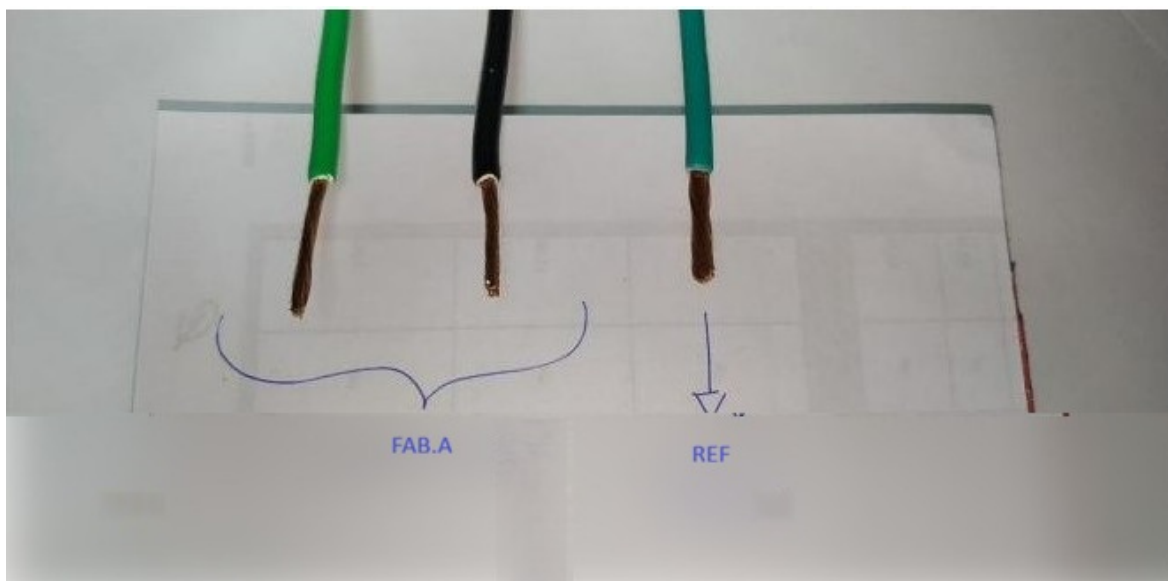
V. DISCUSSÃO

Os resultados estão alinhados com os dados da Qualifio e do Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos (Sindicel), que apontam um problema estrutural no mercado brasileiro [6]. A magnitude dos desvios encontrados, com reduções de 28% a 37% no diâmetro do condutor, é compatível com prática deliberada de sonegação de material, a hipótese é reforçada pela baixa variabilidade entre as diferentes cores de um mesmo lote e, sobretudo, por evidência estatística formal: o teste t de Welch aplicado às medições brutas (Tabela IV, Seção IV) rejeita a hipótese de igualdade de médias entre o Fabricante A e os fabricantes de referência com nível de significância inferior a 0,001 em todas as seções analisadas.

Do ponto de vista da engenharia elétrica, as implicações são severas. Considerando a equação (1), a redução de 37% no diâmetro de um condutor de 1,5 mm² implica redução de aproximadamente 60% na área da seção transversal, resultando em aumento proporcional da resistência elétrica. Pela equação (2), esse aumento eleva a potência dissipada por efeito Joule em 2,5 vezes para a mesma corrente. Em condições de carga nominal, o condutor operaria em temperaturas muito superiores às previstas, podendo ultrapassar os 70 °C admissíveis para



(a)



(b)

Figura 4. Comparação visual de amostras de cabos flexíveis desencapados. Em ambas as seções, (a) 4,0 mm² e (b) 6,0 mm², os condutores do Fabricante A (Fab. A) apresentam seção de cobre visivelmente inferior à dos fabricantes de referência (Ref.).

isolação em PVC [2], criando risco concreto de degradação térmica e incêndio.

A importância da bitola correta transcende a conformidade normativa. A ABNT NBR 5410 [1] estabelece critérios para dimensionamento considerando capacidade de condução, queda de tensão e proteção contra sobrecorrentes, pressupondo que os materiais atendam às especificações declaradas. Quando um cabo nominalmente de 2,5 mm² possui seção real de aproximadamente 1,17 mm², toda a cadeia de dimensionamento é comprometida silenciosamente. A queda de tensão real torna-se mais que o dobro da calculada em projeto, podendo provocar mau funcionamento de equipamentos, oscilações luminosas e redução da vida útil de motores [14]. Essa perda energética contínua também eleva o consumo registrado pelo medidor, representando prejuízo econômico ao longo de toda a vida útil da instalação.

A interação entre o efeito Joule excessivo e o confinamento dos condutores em eletrodutos ou no interior de paredes amplifica os riscos térmicos, uma vez que os fatores de correção previstos na ABNT NBR 5410 [1] já reduzem a capacidade de condução admissível. Os dados da Abracopel [8] mostram que houve crescimento de 37,21% nos incêndios por sobrecarga entre 2021 e 2022, e que as residências concentram cerca de 50% dos incêndios e mais de 80% das mortes nessas ocorrências; esses números dizem respeito a incêndios de origem elétrica em geral, e são apresentados aqui como pano de fundo estatístico do problema, não como evidência de que uma fração específica desses eventos seja atribuível ao desbitolamento, associação que este estudo não teve como objetivo comprovar.

Cabe destacar que o Fabricante A possuía certificado de conformidade ativo junto ao Inmetro, indicando que os mecanismos de controle podem ser insuficientes para detectar fabricantes que mantêm a produção nos parâmetros adequados apenas durante períodos de auditoria. A fiscalização do Inmetro verificou 24.080 unidades e identificou irregularidades em 12 marcas [16]; a existência de centenas de marcas no mercado, muitas criadas para dificultar o rastreamento, torna a fiscalização um desafio permanente. No âmbito das compras públicas, a priorização do menor preço em processos licitatórios pode favorecer produtos irregulares. A inclusão de exigências técnicas nos editais e a adoção de rotinas de inspeção de recebimento, como a realizada no caso estudado, são medidas essenciais para mitigar esse risco.

Outro aspecto relevante diz respeito ao impacto econômico dos cabos desbitolados ao longo do ciclo de vida da instalação. Instalações com condutores fora de especificação tendem a apresentar vida útil significativamente reduzida, podendo necessitar de substituição completa em 5 a 10 anos, contra os 20 a 30 anos esperados de uma instalação com materiais conformes [14]. O aumento da resistência elétrica se traduz em maiores perdas por efeito Joule, elevando de forma contínua o consumo de energia e as contas ao longo dos anos. A depreciação prematura de equipamentos eletroeletrônicos conectados a circuitos com excesso de queda de tensão constitui um custo oculto frequentemente não associado pelo consumidor leigo à

qualidade da fiação empregada na instalação. Dessa forma, o aparente ganho econômico na aquisição de cabos de menor preço resulta, na prática, em custos totais significativamente superiores, além dos riscos à segurança já discutidos.

Por fim, vale registrar que a verificação dimensional apresentada neste trabalho tem finalidade técnica, voltada ao controle de qualidade e à inspeção de recebimento de materiais. A utilização desse tipo de evidência para fins de contestação jurídica ou rescisão contratual perante o fornecedor, embora tecnicamente sustentada, envolve considerações que extrapolam o escopo de engenharia deste estudo e não são aqui exploradas.

VI. CONCLUSÃO

A análise dimensional demonstrou de forma clara que os cabos flexíveis do fabricante investigado apresentam desconformidade sistemática com a ABNT NBR NM 247, com desvios de -28,2% a -37,1% no diâmetro do condutor de cobre. A fundamentação teórica demonstra que essa redução eleva a resistência elétrica e a dissipação de calor por efeito Joule, constituindo ameaça à segurança de pessoas e patrimônio.

A verificação dimensional por paquímetro digital mostrou-se eficaz para detecção de não conformidades grosseiras como as identificadas neste estudo, resultado agora respaldado também por teste estatístico formal (teste *t* de Welch, $p \ll 0,001$ em todas as seções). Ainda assim, sem laudo de calibração RBC e sem dimensionamento amostral formal definido *a priori*, a generalização dos achados para a totalidade do lote fornecido pelo Fabricante A mantém caráter exploratório. Recomenda-se que instituições públicas e privadas incorporem rotinas de inspeção de recebimento de materiais elétricos, incluindo verificação dimensional e, quando possível, medição de resistência elétrica, como barreira adicional contra produtos irregulares, incluindo varejistas que comercializam diretamente para o consumidor final que por vezes não tem capacidade técnica de identificar produtos fora de especificação.

Trabalhos futuros podem incluir: (i) o cálculo formal do dimensionamento amostral *a priori* (nível de confiança e margem de erro definidos antes da coleta), de forma a permitir a generalização estatística dos achados para a totalidade do lote fornecido; (ii) ensaios de resistência elétrica conforme a ABNT NBR NM 280 [12]; (iii) ensaios mecânicos da isolação conforme a ABNT NBR NM-IEC 60811-1-1 [17]; e (iv) simulações térmicas sob diferentes condições de carga e instalação. Estudos com maior abrangência amostral e regional contribuiriam para subsidiar políticas de fiscalização mais efetivas e garantir a segurança das instalações elétricas em todo o território nacional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa pelo apoio institucional e aos profissionais da Diretoria de Projetos e Obras pela disponibilização dos dados técnicos que possibilitaram este estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão,” Rio de Janeiro, 2004.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “ABNT NBR NM 247-1: Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive – Parte 1: Requisitos gerais,” Rio de Janeiro, 2002.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “ABNT NBR NM 247-2: Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive – Parte 2: Métodos de ensaios,” Rio de Janeiro, 2002.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “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,” Rio de Janeiro, 2002.
- [5] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, “Portaria Inmetro nº 640: Regulamento técnico da qualidade para fios, cabos e cordões elétricos,” Brasília, 2012.
- [6] Qualifio – Associação Brasileira pela Qualidade dos Fios e Cabos Elétricos, “Relatórios de monitoramento do mercado de fios e cabos elétricos 2018–2024,” Santo André, 2024.
- [7] D. Halliday, R. Resnick, e J. Walker, *Fundamentos de Física*, vol. 3, 10.ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016, cap. 26.
- [8] Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade, “Anuário estatístico de acidentes de origem elétrica 2023 – ano base 2022,” São Paulo, 2023.
- [9] H. D. Young e R. A. Freedman, *Física III: Eletromagnetismo*, 14.ª ed. São Paulo: Pearson, 2016.
- [10] W. D. Callister Jr. e D. G. Rethwisch, *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*, 9.ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [11] H. Moreno, “Cabos elétricos de baixa tensão – conforme a NBR 5410,” Cobrecom/Procobre, São Paulo, 2014.
- [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “ABNT NBR NM 280: Condutores de cabos isolados,” Rio de Janeiro, 2011.
- [13] Leonardo Energy Brasil, “Cabo normatizado x cabo desbitolado,” 2019. [Online]. Disponível em: <https://leonardo-energy.org.br/>
- [14] J. Mamede Filho, *Instalações Elétricas Industriais*, 9.ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- [15] Brasil, “Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018: Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD),” *Diário Oficial da União*, Brasília, 2018.
- [16] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, “Plano Nacional de Vigilância de Mercado – Resultados da fiscalização de fios e cabos elétricos,” Brasília, 2023.
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “ABNT NBR NM-IEC 60811-1-1: Métodos de ensaios comuns para materiais de isolamento e de cobertura de cabos elétricos,” Rio de Janeiro, 2001.
- [18] International Electrotechnical Commission, “IEC 60227: Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V,” Genebra, 2024.

APÊNDICE A — TESTE t DE WELCH COMPLETO E DADOS DE EXEMPLO (MATERIAL SUPLEMENTAR)

O corpo deste trabalho apresenta, na Tabela IV (Seção IV) e nos parágrafos da Seção V, os resultados resumidos do teste t de Welch (estatística t e valor- p) para o diâmetro do condutor e para o diâmetro externo. Este apêndice traz o cálculo completo — incluindo média, variância, erro padrão e graus de liberdade de cada grupo — para conferência e reprodutibilidade, além de um exemplo dos dados brutos que originaram esses cálculos.

Como material suplementar adicional a este trabalho, disponibiliza-se ainda a planilha eletrônica `teste_t_cabos.xlsx`, contendo as 270 medições individuais (todas as seções e cores) com fórmulas vivas ligadas aos dados brutos, permitindo recalcular os resultados caso os dados sejam revisados (por exemplo, após confirmação do provável erro de digitação apontado na Seção V).

A.1 — Exemplo de dados brutos (seção de 1,5 mm², cor branca)

A Tabela VI reproduz, a título de exemplo, as 18 medições de uma das cores de uma das seções (a íntegra das quatro seções e todas as cores está na planilha suplementar).

Table VI
EXEMPLO DE DADOS BRUTOS — SEÇÃO 1,5 MM², COR BRANCA (MM)

Fabricante A (Zatflex)			Referência (Condex)		
Diâm. condutor			Diâm. condutor		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
0,87	0,89	0,90	1,34	1,27	1,31
0,84	0,91	0,90	1,26	1,18	1,32
0,84	0,87	0,89	1,32	1,28	1,33
0,83	0,85	0,88	1,18	1,26	1,26
0,85	0,84	0,85	1,20	1,28	1,35
0,80	0,90	0,87	1,28	1,32	1,32

A.2 — Teste t de Welch completo: diâmetro do condutor de cobre

A Tabela VII traz o mesmo teste t de Welch resumido na Tabela IV (Seção IV), agora com todas as etapas do cálculo (média, variância, erro padrão e graus de liberdade de Welch–Satterthwaite), para conferência. Fórmulas: $SE = \sqrt{\text{var}_A/n_A + \text{var}_{Ref}/n_{Ref}}$; $t = (\bar{x}_A - \bar{x}_{Ref})/SE$; $p = T.DIST.2T(|t|, gl)$; e

$$gl = \frac{\left(\frac{\text{var}_A}{n_A} + \frac{\text{var}_{Ref}}{n_{Ref}} \right)^2}{\frac{(\text{var}_A/n_A)^2}{n_A - 1} + \frac{(\text{var}_{Ref}/n_{Ref})^2}{n_{Ref} - 1}}.$$

Conclusão ($\alpha = 0,05$), em todas as seções: diferença significativa (Fabricante A sistematicamente menor que a referência).

A.3 — Teste t de Welch completo: diâmetro externo

A Tabela VIII apresenta o mesmo teste, calculado com o procedimento idêntico ao da Tabela VII, porém sobre a variável de diâmetro externo em vez do diâmetro do condutor (comentado na Seção V).

Note-se que, diferentemente do diâmetro do condutor (Tabela VII), em que o Fabricante A é sistematicamente menor que a referência com altíssima significância nas quatro seções, o diâmetro externo não segue um padrão único: é menor em duas seções, estatisticamente indistinguível em uma ($p = 0,099$ para 4,0 mm²), e até maior na seção de 2,5 mm². Essa inconsistência é o que se espera na ausência de uma estratégia deliberada de compensação por excesso de PVC (discussão completa na Seção V).

Table VII
TESTE t DE WELCH COMPLETO — DIÂMETRO DO CONDUTOR DE COBRE (VARIÁVEL PRINCIPAL)

Seção (mm ²)	n_A	n_{Ref}	Média _A	Média _{Ref}	Var. _A	Var. _{Ref}	SE	t	gl	p -valor
1,5	54	18	0,878	1,281	0,001378	0,002705	0,01326	-30,39	23,0	4,51E-20
2,5	54	18	1,220	1,837	0,002834	0,015306	0,03005	-20,51	19,1	2,01E-14
4,0	54	18	1,571	2,342	0,007766	0,011874	0,02835	-27,18	24,8	1,54E-19
6,0	36	18	2,008	2,834	0,014334	0,018120	0,03748	-22,06	30,8	4,26E-20

Table VIII
TESTE t DE WELCH COMPLETO — DIÂMETRO EXTERNO (VARIÁVEL SECUNDÁRIA)

Seção (mm ²)	n_A	n_{Ref}	Média _A	Média _{Ref}	Var. _A	Var. _{Ref}	SE	t	gl	p -valor
1,5	54	18	2,615	2,954	0,002991	0,006273	0,02010	-16,91	22,7	4,31E-14
2,5	54	18	3,543	3,427	0,003890	0,001351	0,01213	9,56	50,4	7,17E-13
4,0	54	18	3,833	3,882	0,009291	0,011285	0,02827	-1,71	27,0	9,92E-02
6,0	36	18	4,176	4,397	0,004991	0,008776	0,02502	-8,82	27,0	2,68E-09