AVALIAÇÃO DA ISOLAÇÃO ELÉTRICA EM SISTEMAS BUSWAY POR ENSAIOS DE ISOLAMENTO NO COMISSIONAMENTO E EM SERVIÇO

João Victor de Oliveira [1] e Adriana Giseli Leite Carvalho[2]

RESUMO

Este trabalho analisa o diagnóstico da isolação de sistemas de barramento blindado (*busway*) por meio de ensaios de isolação realizados no comissionamento e em condições de serviço, com foco na influência da contaminação superficial sobre a interpretação dos resultados. A pesquisa parte da compreensão de que a integridade da isolação elétrica é essencial para a segurança, confiabilidade e continuidade operacional desses sistemas, sendo suscetível à ação de agentes como umidade, poeira e resíduos superficiais. O estudo possui natureza aplicada, com abordagem qualitativa, sendo desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e documental, com base em normas técnicas, guias de ensaio, documentos especializados e materiais técnicos relacionados ao tema. A análise realizada permitiu discutir como a contaminação superficial pode alterar o comportamento dielétrico do barramento blindado, influenciando os valores obtidos nos ensaios e tornando mais complexa a distinção entre falha intrínseca da isolação e condição superficial adversa. Conclui-se que os ensaios de isolação constituem instrumentos relevantes para a avaliação da condição dielétrica do *busway*, porém sua interpretação deve ser associada às condições reais do equipamento, à inspeção visual e ao contexto operacional, a fim de apoiar decisões técnicas mais seguras no comissionamento, na manutenção e na operação.

Palavras-chave: Barramento Blindado. Barramento Pré-Fabricado. Isolação Elétrica. Contaminação Superficial. Ensaios De Isolação.

ABSTRACT

This study analyzes the diagnosis of the insulation condition of busway systems through insulation tests performed during commissioning and under service conditions, focusing on the influence of surface contamination on the interpretation of results. The research is based on the understanding that insulation integrity is essential to the safety, reliability, and operational continuity of these systems, and may be affected by agents such as moisture, dust, and surface residues. The study has an applied nature, with a qualitative approach, and was developed through bibliographic and documentary research based on technical standards, testing guides, specialized documents, and technical materials related to the subject. The analysis made it possible to discuss how surface contamination can alter the dielectric behavior of busway systems, influencing the values obtained in insulation tests and making it more

[1] Discente do curso de Engenharia Elétrica, jv531149@gmail.com

[2] Docente do UniSenai PR, adriana.carvalho@sistemafiep.org.br (Autor correspondente)

difficult to distinguish between intrinsic insulation failure and adverse surface conditions. It is concluded that insulation tests are relevant tools for evaluating the dielectric condition of *busway* systems; however, their interpretation must be associated with the actual equipment conditions, visual inspection, and operational context in order to support safer technical decisions in commissioning, maintenance, and operation.

Keywords: *busway*. prefabricated busbar. electrical insulation. surface contamination. insulation tests.

1. INTRODUÇÃO

Os barramentos blindados, também denominados *busway*s, são sistemas de linhas elétricas pré-fabricadas utilizados na condução e distribuição de energia elétrica em instalações que demandam elevada capacidade de corrente, modularidade construtiva e possibilidade de expansão. Sua aplicação é comum em ambientes industriais, comerciais e prediais, especialmente na interligação entre transformadores, painéis, centros de distribuição e cargas de maior porte.

A confiabilidade operacional desses sistemas depende diretamente da integridade de sua isolação elétrica, responsável por garantir a separação dielétrica entre partes energizadas, estrutura metálica e demais componentes condutivos. Quando essa isolação apresenta degradação ou alteração em seu comportamento dielétrico, podem ocorrer corrente de fuga, redução da resistência de isolamento, falhas entre fases ou entre fase e massa e comprometimento da segurança operacional do sistema.

Nesse contexto, os ensaios de isolação assumem papel fundamental tanto no comissionamento quanto nas atividades de inspeção e manutenção. O ensaio de resistência de isolamento com megômetro permite avaliar a condição da isolação por meio da aplicação de tensão contínua, enquanto o ensaio de tensão aplicada com Hipot verifica a suportabilidade dielétrica do sistema sob tensão elevada.

Entretanto, a interpretação desses ensaios nem sempre é simples. Em campo, a presença de umidade, poeira, resíduos de obra e outros contaminantes sobre a superfície do barramento pode alterar os resultados obtidos, sem representar necessariamente uma falha estrutural da isolação. Em muitos casos, a redução da

resistência medida pode decorrer de caminhos de fuga superficiais, e não de degradação interna do material isolante.

Diante desse cenário, surge o seguinte problema de pesquisa: de que maneira a contaminação superficial interfere nos resultados dos ensaios de isolação em barramentos blindados, afetando o diagnóstico da condição dielétrica do sistema no comissionamento e durante a operação?

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência da contaminação superficial nos ensaios de isolação aplicados a sistemas de barramento blindado (*busway*), comparando as condições observadas no comissionamento e em serviço, a fim de compreender seus impactos sobre o diagnóstico da isolação e sobre a tomada de decisão técnica quanto à energização, inspeção e manutenção.

Os objetivos específicos são:

- Descrever as características construtivas e operacionais dos sistemas de barramento blindado aplicados em instalações elétricas de baixa tensão.
- Apresentar os fundamentos dos ensaios de resistência de isolamento com megômetro e dos ensaios de tensão aplicada com Hipot.
- Identificar como a umidade, a poeira e os resíduos superficiais influenciam o comportamento dielétrico e os resultados dos ensaios de isolação.
- Comparar a interpretação dos ensaios de isolação realizados no comissionamento e em condição de serviço, considerando o contexto operacional do sistema.
- Discutir de que forma a contaminação superficial interfere no diagnóstico técnico da isolação e nas decisões de energização, manutenção e continuidade operacional.

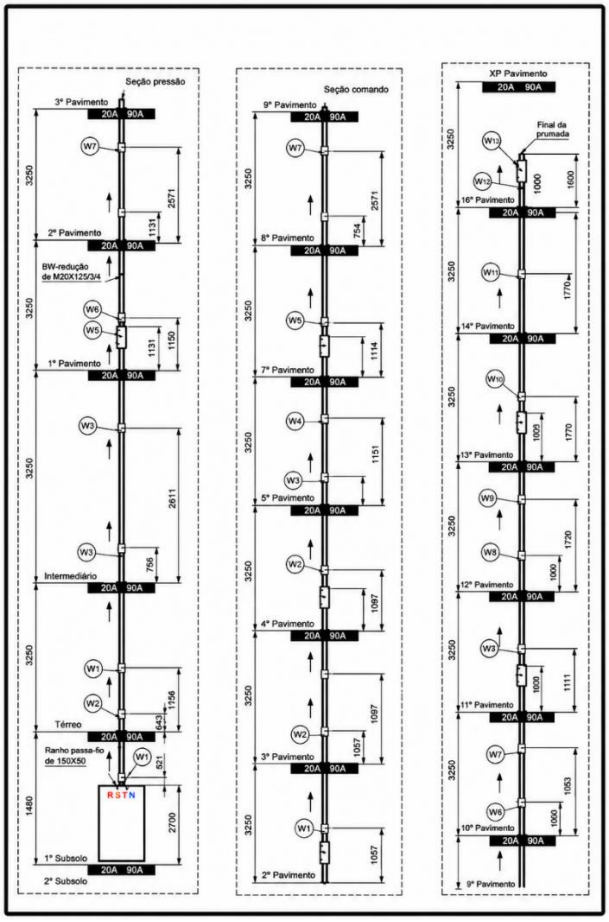
A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de aprimorar a interpretação dos ensaios de isolação em barramentos blindados. Em instalações elétricas de baixa tensão, uma avaliação limitada ao valor medido pode levar tanto à reprovação indevida de um sistema em condições recuperáveis quanto à liberação de um equipamento que exige intervenção. Assim, compreender a influência da contaminação superficial contribui para decisões técnicas mais seguras e diagnósticos mais confiáveis.

2. UNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Barramentos blindados e sua aplicação em sistemas elétricos

Os barramentos blindados, também denominados *busways*, constituem sistemas de linhas elétricas pré-fabricadas destinados à condução e à distribuição de energia elétrica em instalações que demandam elevada capacidade de corrente, modularidade construtiva e possibilidade de expansão do sistema elétrico (ABNT, 2018). Esses sistemas são amplamente utilizados em edificações comerciais, industriais e prediais, principalmente na interligação entre transformadores, painéis, centros de distribuição e cargas elétricas (SCHNEIDER ELECTRIC, 2015). A Figura 1 exemplifica a aplicação com alimentação do painel geral no subsolo 1 até o 16º pavimento.

Figura 1 – Aplicação de *busway* na distribuição vertical de energia.



Fonte: Adaptado de HB Indústria, Projeto HB 2895 (2025).

Conforme ilustrado anteriormente, a aplicação em prumadas verticais, com capacidade de energizar um edifício residencial, desde a sua prumada até os painéis de distribuição. Em conformidade com a ABNT NBR IEC 61439-6, os barramentos blindados integram os sistemas de linhas elétricas pré-fabricadas de baixa tensão, devendo atender aos requisitos relacionados à segurança, suportabilidade dielétrica, elevação de temperatura e integridade mecânica (ABNT, 2018). De forma complementar, a ABNT NBR IEC 61439-1 estabelece regras gerais aplicáveis aos conjuntos de baixa tensão, incluindo critérios de ensaio, construção e verificação funcional (ABNT, 2016).

A utilização de *busways* apresenta vantagens técnicas relacionadas à padronização da distribuição elétrica, redução de espaço físico, facilidade de instalação e futura expansão da instalação elétrica (LEGRAND, 2017). Quando comparados aos sistemas convencionais por cabos, os barramentos blindados podem proporcionar melhor organização física da distribuição de potência e maior facilidade de manutenção em sistemas com elevada demanda de corrente (SIEMENS, 2018).

No contexto brasileiro, a ABNT NBR 16019 estabelece requisitos específicos para instalação de barramentos blindados em baixa tensão, abordando aspectos relacionados ao posicionamento, fixação, ventilação e segurança operacional do sistema (ABNT, 2011). Além disso, a ABNT NBR 5410 fornece o contexto normativo das instalações elétricas de baixa tensão nas quais esses sistemas são aplicados (ABNT, 2004).

Do ponto de vista da segurança ocupacional, a NR-10 define requisitos e condições mínimas para intervenções, ensaios, operação e manutenção em instalações elétricas, incluindo atividades relacionadas a barramentos blindados e sistemas energizados (BRASIL, 2004). Consequentemente, os procedimentos de inspeção, ensaio e manutenção em *busways* devem considerar não apenas aspectos elétricos, mas também requisitos de proteção dos profissionais envolvidos.

Para unidades consumidoras atendidas pela COPEL, a NTC 901111 estabelece características e critérios técnicos para utilização de barramentos blindados em prumadas de edificações, incluindo requisitos para aceitação e energização do sistema (COPEL, 2021). Esses critérios reforçam a necessidade de

avaliação adequada da condição elétrica e construtiva do barramento antes de sua entrada em operação.

Além das normas nacionais, referências internacionais como a IEEE Std C37.23 e a NEMA BU 1.1 são utilizadas como apoio técnico complementar em aspectos relacionados à instalação, suportabilidade, inspeção e manutenção de barramentos metálicos enclausurados (IEEE, 2015; NEMA, 2000). Essas referências contribuem para ampliar a compreensão técnica sobre desempenho e confiabilidade operacional desses sistemas.

Segundo a HB HOLEC (2022), a integridade mecânica e dielétrica dos barramentos blindados é fundamental para garantir segurança, continuidade operacional e desempenho adequado do sistema elétrico. Por essa razão, a avaliação da isolação elétrica torna-se etapa essencial tanto no comissionamento quanto nas atividades de inspeção e manutenção desses sistemas.

Assim, o barramento blindado deve ser compreendido como um conjunto eletromecânico cujo desempenho depende diretamente da integridade de seus elementos condutores, conexões, interfaces construtivas e, principalmente, de sua condição dielétrica (ABB, 2025). Por essa razão, os ensaios de isolação assumem papel relevante na avaliação técnica e na confiabilidade operacional desses sistemas.

2.2 Isolação elétrica em *busways* e influência da contaminação superficial

A isolação elétrica constitui requisito fundamental para o funcionamento seguro dos barramentos blindados, pois é responsável por garantir a separação dielétrica entre partes energizadas, estrutura metálica e demais partes condutivas do sistema (ABNT, 2018). Sua integridade interfere diretamente na ocorrência de corrente de fuga, suportabilidade dielétrica e confiabilidade operacional do conjunto (IEEE, 2015).

Segundo Agrawal (2001), falhas na isolação elétrica podem comprometer significativamente o desempenho dos sistemas de distribuição elétrica, favorecendo o aquecimento localizado, a degradação progressiva e as falhas entre fases ou entre fase e massa. Dessa forma, a condição da isolação representa um dos principais fatores associados à segurança operacional dos *busways*.

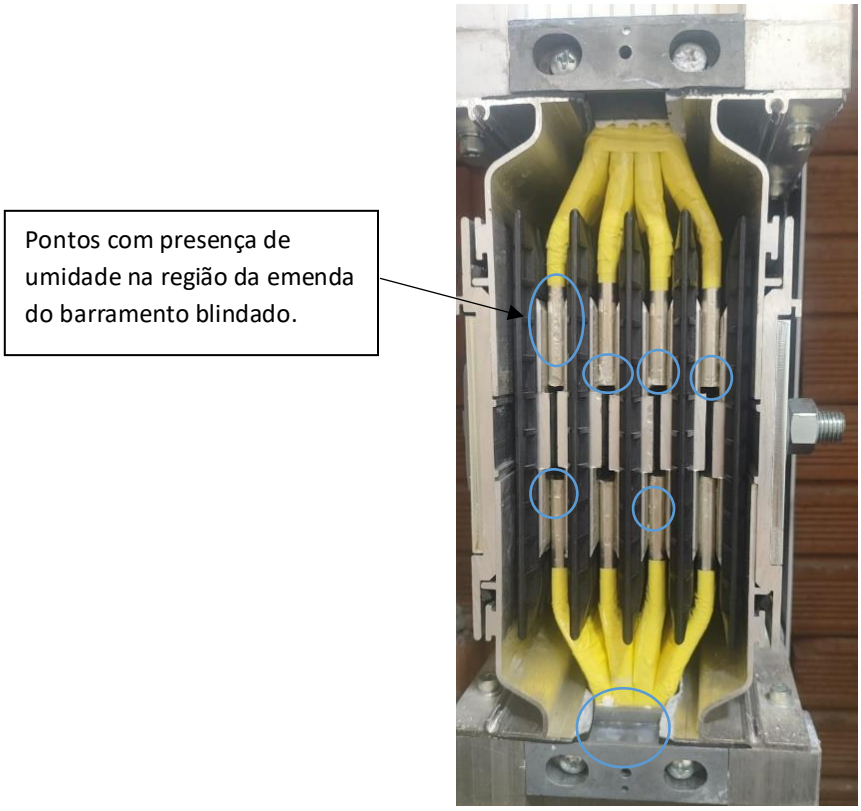
A presença de umidade possui influência significativa sobre o comportamento dielétrico da isolação, especialmente quando associada à poeira, resíduos superficiais

e contaminantes aderidos ao material isolante (MEGGER, 2006). Nessas condições, parte da corrente elétrica aplicada durante o ensaio tende a escoar superficialmente, diminuindo a resistência de isolamento medida pelo equipamento.

Conforme a Megger (2006), a redução da resistência superficial favorece a formação de caminhos de fuga, elevando a corrente de fuga superficial e dificultando a interpretação dos ensaios de isolação. Dessa forma, um resultado insatisfatório pode não representar necessariamente uma falha estrutural da isolação, mas uma condição superficial adversa momentânea.

A presença de água em regiões de emenda ou vedação do barramento blindado pode favorecer a infiltração para o interior do sistema e comprometer o desempenho dielétrico da isolação (HB HOLEC, 2022). Além disso, ambientes sujeitos à umidade elevada ou armazenamento inadequado podem acelerar o processo de degradação elétrica do conjunto, conforme a Figura 2 com sinais de água na emenda.

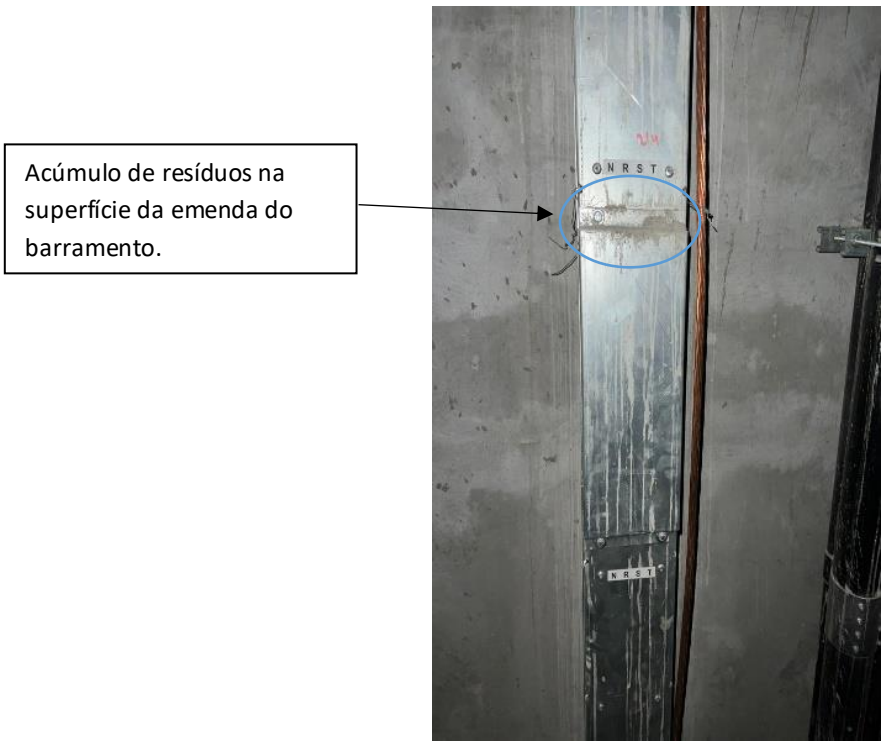
Figura 2 – Emenda aberta de barramento blindado com presença de umidade.



Fonte: Próprio autor (2026).

A presença de resíduos provenientes da obra, poeira e partículas contaminantes sobre a superfície externa do barramento reforça a importância da inspeção visual durante o comissionamento e a manutenção do sistema (CSANYI, 2018). Embora essas condições não representem, isoladamente, falha definitiva da isolação, elas podem alterar os resultados dos ensaios e favorecer correntes de fuga superficiais. Como mostra a Figura 3, o acúmulo de resíduos ainda em fase de montagem do *busway*.

Figura 3 – Emenda lacrada de barramento blindado com resíduos superficiais.



Fonte: Próprio autor (2026).

A condição observada evidencia que o acúmulo de resíduos nas proximidades das emendas pode favorecer a penetração de partículas por frestas ou pontos de interface, contribuindo para a contaminação superficial do barramento blindado.

Segundo Agrawal (2001), a contaminação superficial deve ser incluída como variável relevante no diagnóstico da condição dielétrica de sistemas elétricos, principalmente quando se busca distinguir defeitos estruturais permanentes de alterações superficiais transitórias provocadas por fatores ambientais.

Dessa forma, a análise da isolação em barramentos blindados não deve ser reduzida à simples leitura de um valor numérico obtido no ensaio, mas deve considerar as condições ambientais, superficiais e operacionais do sistema avaliado (MEGGER, 2006). Essa abordagem permite maior confiabilidade na interpretação técnica e nas decisões relacionadas à energização e manutenção do equipamento.

2.3 Ensaios de isolação no comissionamento e em serviço

Os ensaios de isolação são procedimentos essenciais para avaliação da condição dielétrica de sistemas elétricos e subsidiam decisões relacionadas à aceitação, energização, inspeção e manutenção de barramentos blindados (ABNT, 2018). Esses ensaios permitem identificar alterações no comportamento elétrico da isolação e verificar a existência de correntes de fuga ou degradação dielétrica do sistema (MEGGER, 2006).

Segundo a IEEE (2015), a utilização conjunta desses dois ensaios permite avaliação mais completa da condição dielétrica do barramento blindado, contribuindo para decisões técnicas mais seguras no comissionamento e na manutenção do sistema.

Segundo Agrawal (2001), a corrente capacitiva apresenta comportamento transitório inicial, enquanto a corrente de absorção dielétrica está relacionada à polarização do material isolante. Já a corrente de fuga representa a parcela mais relevante para avaliação da condição dielétrica do sistema.

No contexto dos barramentos blindados, a resposta do ensaio pode ser interpretada como resultado da combinação entre caminhos de fuga superficiais e internos do material isolante (MEGGER, 2006). Essa relação pode ser representada pela Equação 1, que apresenta um modelo equivalente de resistências em paralelo:

$$\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_{eq}}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_{superficial}}} + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_{volumétrica}}} \quad (1)$$

A Equação 1 apresentada representa, de forma conceitual, a associação entre os caminhos de fuga considerados na análise da isolação. A resistência equivalente observada no ensaio é indicada por $\boldsymbol{R_{eq}}$, sendo influenciada pelas condições do

sistema avaliado. A resistência superficial, representada por $R_{superficial}$ está relacionada à superfície do material isolante e pode ser afetada por umidade, poeira e contaminantes. Já a resistência volumétrica, indicada por $R_{volumétrica}$ corresponde ao comportamento interno do material isolante.

Esse modelo demonstra que a redução da resistência equivalente pode resultar tanto de contaminação superficial quanto de degradação estrutural da isolação (AGRAWAL, 2001). Dessa forma, a interpretação adequada do ensaio exige análise conjunta entre resultado elétrico, inspeção visual e contexto operacional do equipamento.

Durante o comissionamento, os ensaios de isolação possuem caráter predominantemente de aceitação inicial do sistema, verificando se o barramento blindado apresenta condições adequadas para energização (COPEL, 2021). Nessa etapa, fatores como armazenamento inadequado, umidade residual e contaminação superficial podem influenciar diretamente os resultados obtidos.

Segundo Csanyi (2018), o comissionamento deve ser tratado como procedimento técnico estruturado, envolvendo inspeção física, verificação construtiva e análise da coerência entre os resultados dos ensaios e a condição observada no sistema.

Em condição de serviço, os ensaios assumem caráter predominantemente diagnóstico, pois o barramento já esteve submetido a envelhecimento, aquecimento, vibração e exposição ambiental ao longo da operação (MEGGER, 2006). Nessa situação, os resultados obtidos devem ser interpretados em conjunto com o histórico operacional e as condições observadas em campo.

O ensaio com megômetro e o ensaio de tensão aplicada com Hipot possuem funções distintas e complementares na avaliação da isolação elétrica de *busways* (IEEE, 2015). Enquanto o megômetro avalia a resistência de isolamento, o Hipot verifica a suportabilidade dielétrica do sistema sob tensão elevada.

2.4 Diagnóstico da condição dielétrica e critérios de interpretação

O diagnóstico da condição dielétrica de um barramento blindado consiste na interpretação técnica de sua capacidade de manter níveis adequados de isolação

entre partes submetidas a diferentes potenciais elétricos (MEGGER, 2006). Esse diagnóstico está diretamente relacionado à segurança, confiabilidade e continuidade operacional do sistema elétrico.

Sob a perspectiva técnica, é essencial distinguir defeitos internos da isolação de caminhos de fuga predominantemente superficiais (AGRAWAL, 2001). Defeitos internos podem estar associados ao envelhecimento, fissuras, carbonização e degradação estrutural do material isolante, enquanto os caminhos superficiais geralmente decorrem de umidade, sujeira e contaminantes depositados sobre a superfície da isolação.

Segundo a Megger (2006), a interpretação da resistência de isolamento não deve ser baseada apenas em um valor numérico isolado, mas deve considerar o comportamento do sistema ensaiado, as condições ambientais e os sinais físicos observados durante a inspeção.

A literatura técnica aplicada aos ensaios em barramentos metálicos enclausurados indica que a interpretação confiável da condição dielétrica depende da associação entre medição elétrica, observação de campo e análise do histórico operacional do equipamento (CSANYI, 2018).

Além do valor avaliado, a interpretação técnica deve considerar evidências complementares, como sinais de umidade, depósitos de sujeira, alterações em juntas e emendas, marcas de descarga superficial e comportamento do sistema após procedimentos de limpeza ou secagem (MEGGER, 2006).

Segundo laudos técnicos aplicados à avaliação de barramentos blindados, os ensaios de resistência de isolamento são utilizados como suporte técnico para definição de condutas relacionadas à energização, reinspeção e continuidade operacional do sistema (PROJETICA ENGENHARIA, 2025a, 2025b, 2025c, 2025d).

Assim, o ensaio de isolação deve ser compreendido como instrumento de diagnóstico técnico e não como critério único e isolado de decisão (AGRAWAL, 2001). Seu valor depende da capacidade de relacionar a medição elétrica às condições reais do barramento blindado, distinguindo, sempre que possível, influência superficial transitória e degradação estrutural da isolação.

3. METODOLOGIA

Este estudo tem como objetivo avaliar a isolação elétrica em sistemas busway por meio da realização de ensaios de resistência de isolamento, estabelecendo uma comparação entre as condições observadas nas etapas de comissionamento e durante a operação em serviço.

3.1 Classificação e Natureza da Pesquisa

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, pois busca compreender tecnicamente um problema relacionado à avaliação da isolação em sistemas de barramento blindado, com foco em sua ocorrência prática nas atividades de comissionamento, inspeção e diagnóstico em serviço. Quanto aos fins, a pesquisa é classificada como:

- **Descritiva**: descreve os procedimentos utilizados nos ensaios de isolação em busways.
- **Explicativa**: analisa de que forma a contaminação superficial pode interferir nos resultados obtidos e na interpretação da condição dielétrica do sistema.

3.2. Delineamento da Pesquisa

Quanto aos meios, o estudo foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica foi utilizada para fundamentar os conceitos de barramento blindado, isolação elétrica, resistência de isolamento, corrente de fuga, contaminação superficial, suportabilidade dielétrica e diagnóstico da isolação. Para o embasamento teórico, foram consideradas normas técnicas, guias de ensaio, manuais especializados e referências técnicas relacionadas à instalação, verificação, operação e avaliação de sistemas de barramento blindado, com destaque para as normas ABNT, NTC 901111 da COPEL, NR-10 e materiais técnicos voltados aos ensaios de isolação.

3.3 Coleta de Dados

A coleta de dados ocorreu exclusivamente por meio documental, não havendo aplicação de questionários, entrevistas ou observação direta em campo. Foram levantadas informações presentes nos laudos técnicos, normas, referências bibliográficas e materiais especializados relacionados ao tema. Entre os dados analisados, consideraram-se os valores de resistência de isolamento, os registros de ensaio de tensão aplicada, as observações técnicas presentes nos documentos, os instrumentos utilizados, as condições relatadas nos sistemas avaliados e as eventuais intervenções corretivas indicadas ou realizadas.

3.4. Equipamento de Ensaio - Megômetro Digital

O megômetro digital é utilizado no ensaio de resistência de isolamento, sendo responsável pela aplicação de uma tensão contínua ao sistema isolante e pela medição da corrente resultante ao longo do tempo, permitindo determinar a resistência de isolamento do barramento (Figura 4).

Figura 4 – Megômetro digital.



Fonte: Indushop (2026).

No ensaio com megômetro, o equipamento aplica uma tensão contínua ao sistema, mede a corrente resultante e permite calcular a resistência de isolamento. A corrente total observada no ensaio pode ser representada pela Equação 2, de forma simplificada,

$$I_{total} = I_{capacitiva} + I_{absorção} + I_{fuga} \quad (2)$$

Nesse contexto, I_{total} representa a corrente total medida durante o ensaio, composta por diferentes parcelas associadas ao comportamento do sistema isolante.

A corrente capacitiva corresponde ao carregamento elétrico inicial, enquanto a corrente de absorção está relacionada à polarização dielétrica do material. Já a corrente de fuga representa a parcela que escoa por caminhos indesejados através ou sobre a isolação. A partir dessa corrente medida, a resistência de isolamento conforme a Equação 3 pode ser calculada pela relação:

$$R_{iso} = \frac{V_{meg}}{I_{med}} \tag{3}$$

A resistência de isolamento, representada por R_{iso} , é obtida a partir da relação entre a tensão aplicada pelo megômetro e a corrente medida durante o ensaio. Nesse caso, V_{meg} corresponde à tensão de ensaio aplicada ao sistema isolante, enquanto I_{med} representa a corrente resultante dessa aplicação. Assim, quanto menor for a corrente medida para uma mesma tensão aplicada, maior será a resistência de isolamento do sistema.

3.5. Equipamento de Ensaio - Hipot

De forma complementar, o Hipot é um equipamento utilizado no ensaio de tensão aplicada, submetendo a isolação a uma tensão elevada com o objetivo de verificar sua suportabilidade dielétrica. Esse ensaio atua como apoio à avaliação da condição da isolação, especialmente após resultados satisfatórios no ensaio de resistência de isolamento (Figura 5).

Figura 5 – Hipot



Fonte: Indushop (2026).

No ensaio de tensão aplicada com Hipot, o equipamento submete a isolação a uma tensão elevada e monitora a corrente que circula durante o teste. De forma simplificada, na Equação 4 essa relação pode ser representada por:

$$I_{Hipot} = \frac{V_{Hipot}}{Z_{iso}} \quad (4)$$

Nessa relação, a corrente monitorada durante o ensaio é representada por I_{Hipot}, enquanto V_{Hipot} corresponde à tensão aplicada pelo equipamento. Já Z_{iso} representa a impedância equivalente da isolação quando submetida ao esforço dielétrico imposto pelo ensaio de tensão aplicada.

Essas relações foram utilizadas como apoio conceitual para a interpretação dos ensaios, permitindo compreender como a umidade, a poeira e os resíduos superficiais podem favorecer caminhos de fuga, elevar a corrente medida e reduzir a resistência de isolamento aparente. Ressalta-se que as expressões possuem caráter simplificado e foram empregadas como suporte interpretativo, não como base para uma análise experimental controlada.

3.6 Fluxograma do Método Proposto, Etapas de Validação e Análise

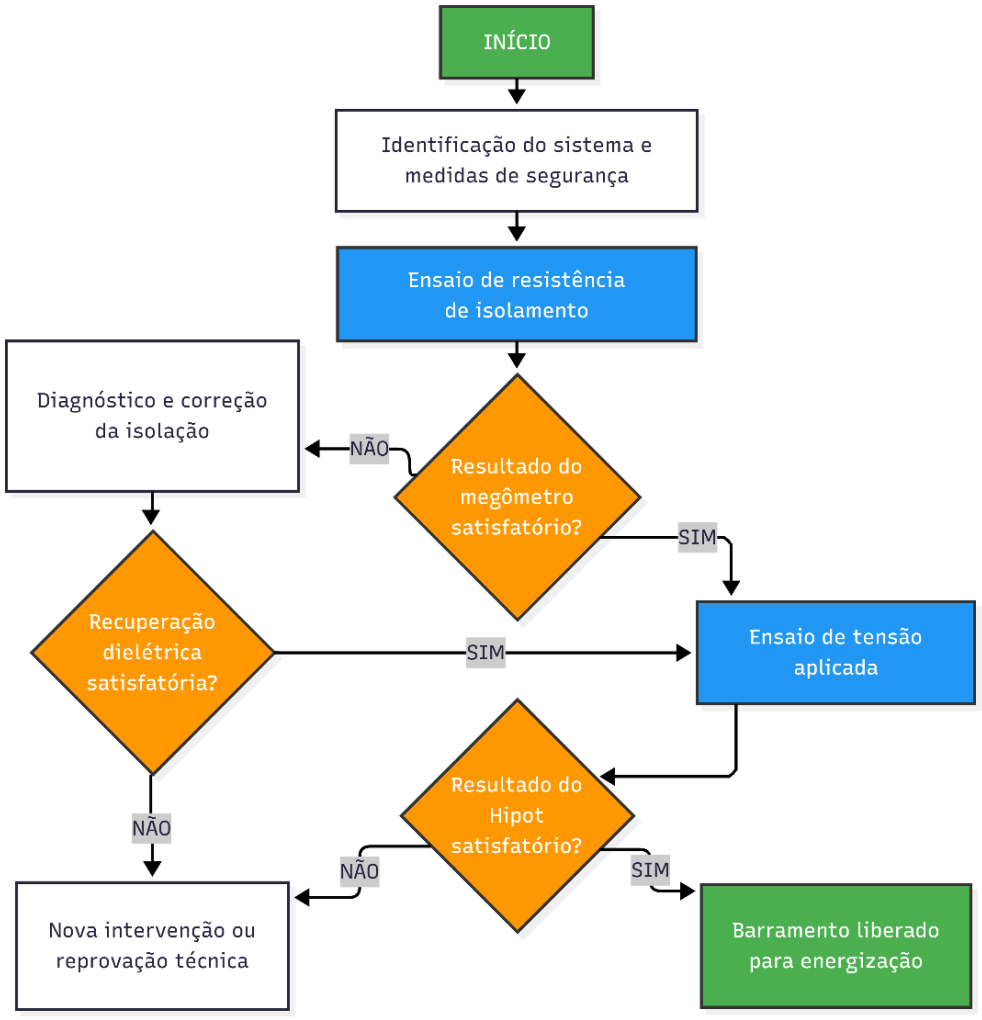
O procedimento de avaliação do barramento blindado inicia-se pela identificação do sistema, registrando informações como: fabricante, modelo, corrente nominal, tensão de operação, número de condutores, comprimento aproximado e local de instalação. Em seguida, são adotadas as medidas de segurança necessárias, incluindo desenergização, desconexão dos cabos, sinalização, isolamento da área e desconexão de todas as cargas ou equipamentos sensíveis, com o objetivo de avaliar exclusivamente o barramento blindado, sem interferência de circuitos externos.

Após essa etapa, realiza-se o ensaio de resistência de isolamento com megômetro, efetuando medições entre fases, entre fases e neutro, entre fases e carcaça/terra, e entre neutro e carcaça/terra. Os resultados são registrados no laudo técnico e utilizados para interpretação da condição da isolação. Quando os valores obtidos são insatisfatórios, realiza-se investigação complementar, considerando possíveis causas como presença de umidade, poeira, resíduos superficiais, falhas em emendas, oxidação ou danos na isolação.

Com resultados satisfatórios no ensaio com megômetro, pode-se prosseguir para o ensaio de tensão aplicada com equipamento Hipot. Nesse ensaio, aplica-se uma tensão de teste entre condutores e massa/terra, ou entre condutores, conforme o procedimento técnico adotado, com o objetivo de verificar a suportabilidade dielétrica da isolação. A combinação desses procedimentos permite avaliar a condição do barramento e subsidiar a decisão técnica quanto à liberação, reprovação ou necessidade de intervenção corretiva. Quando os resultados são satisfatórios, o barramento pode ser liberado para energização.

Com base nos equipamentos e nas relações conceituais apresentadas, o procedimento metodológico adotado para avaliação da isolação do barramento blindado foi organizado em uma sequência lógica de verificação, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma do procedimento de avaliação da isolação do barramento blindado



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise dos dados foi conduzida de forma qualitativa e interpretativa. Os resultados não foram tratados como pesquisa estatística ou experimento controlado, mas como evidências documentais utilizadas para discutir tecnicamente a influência da contaminação superficial na avaliação da isolação. Para isso, a análise foi estruturada a partir de quatro eixos principais: requisitos normativos e técnicos aplicáveis aos busways, fundamentos da isolação elétrica e dos ensaios de resistência de isolamento, mecanismos pelos quais umidade, poeira e resíduos superficiais influenciam o comportamento dielétrico e implicações práticas dessa interferência no diagnóstico técnico realizado no comissionamento e em serviço.

Com base nesses eixos, o estudo buscou comparar duas condições de avaliação do barramento blindado. A primeira corresponde à condição inicial, na qual o sistema apresenta resultados insatisfatórios de isolação, possivelmente influenciados por contaminação superficial, umidade, poeira, resíduos ou falhas localizadas. A segunda corresponde à condição posterior, após intervenção corretiva, como limpeza, secagem, inspeção, reaperto, correção de conexões ou substituição de componentes comprometidos, na qual os ensaios são novamente analisados para verificar possível melhora ou recuperação da condição dielétrica do barramento.

Ressalta-se que os documentos analisados não apresentam, de forma padronizada, todas as variáveis de campo potencialmente relevantes para uma análise experimental controlada, como temperatura ambiente, umidade relativa, condição detalhada de limpeza antes e depois das intervenções e documentação fotográfica associada a cada ponto medido. Por essa razão, os resultados foram tratados como evidências documentais de natureza comparativa e interpretativa, e não como prova experimental conclusiva.

Dessa forma, a metodologia adotada permite reunir base normativa, sustentação bibliográfica e evidências documentais para analisar a influência da contaminação superficial nos ensaios de isolação de barramentos blindados. A partir desse procedimento, busca-se construir uma discussão técnica sobre a confiabilidade do diagnóstico dielétrico no comissionamento e em serviço, considerando não apenas os valores medidos, mas também a condição física, ambiental e superficial do sistema avaliado.

4. DISCUSSÃO

A análise das referências normativas, técnicas e documentais consideradas neste estudo permite verificar que a avaliação da isolação em sistemas de barramento blindado não deve ser interpretada de forma isolada ou estritamente instrumental. Embora os ensaios de resistência de isolamento constituam procedimento essencial para a verificação da condição dielétrica do sistema, seu resultado depende de um conjunto de fatores que extrapola a simples leitura numérica obtida no equipamento de teste. Entre esses fatores, destaca-se a influência das condições superficiais do barramento, especialmente quando há presença de umidade, poeira, resíduos e outros contaminantes capazes de alterar o comportamento dielétrico do conjunto. As referências selecionadas para esse trabalho reforçam que a abordagem do tema exige articulação entre normas de barramento blindado, critérios de aceitação, segurança em ensaios e materiais específicos sobre resistência de isolamento e contaminação superficial.

Sob a perspectiva do comissionamento, os ensaios de isolação assumem função decisiva para a liberação do sistema à energização. Nessa etapa, espera-se que o barramento blindado apresente condições compatíveis com sua entrada em operação, o que envolve não apenas integridade construtiva e montagem adequada, mas também comportamento dielétrico satisfatório. Entretanto, a literatura técnica analisada indica que resultados insatisfatórios nessa fase nem sempre decorrem exclusivamente de falhas intrínsecas da isolação. Em muitas situações, a presença de umidade residual, sujeira acumulada, armazenamento inadequado, contaminações adquiridas na obra ou mesmo condições ambientais desfavoráveis pode comprometer o desempenho do ensaio e conduzir a uma interpretação de reprovação que exige análise mais cuidadosa. Esse entendimento é coerente com a relevância atribuída, nas referências levantadas, à NTC 901111, à ABNT NBR IEC 61439-6 e aos materiais técnicos voltados ao comissionamento e aos testes em barramentos blindados.

Quando se considera o barramento blindado em serviço, a complexidade da interpretação tende a aumentar. Isso ocorre porque, ao longo da operação, o sistema fica exposto a variáveis ambientais e operacionais que podem modificar gradualmente a condição de sua isolação. Nessa situação, os ensaios deixam de possuir apenas

caráter de aceitação inicial e passam a funcionar como ferramenta diagnóstica, cujo resultado precisa ser interpretado em conjunto com o histórico do equipamento, o ambiente de instalação, as evidências físicas observadas e a natureza da anormalidade identificada. Desse modo, a análise da resistência de isolamento em serviço deve ser compreendida como parte de um processo mais amplo de avaliação da confiabilidade operacional do sistema, e não apenas como uma verificação pontual desvinculada do contexto real de uso.

Nesse ponto, a contaminação superficial surge como elemento central da discussão. As referências reunidas para o trabalho mostram que estudos sobre contaminantes e poluição superficial oferecem base importante para compreender como a deposição de partículas, umidade e resíduos sobre superfícies isolantes favorece a formação de caminhos de fuga e reduz a resistência elétrica superficial, interferindo diretamente nos resultados dos ensaios.

A redução da resistência de isolamento observada nos ensaios pode ser compreendida a partir do comportamento equivalente dos caminhos de fuga distribuídos ao longo do barramento blindado. No ensaio com megômetro, a tensão contínua é aplicada entre partes que devem permanecer eletricamente isoladas, como fase e terra, fase e fase ou neutro e terra, e a corrente medida corresponde à corrente de fuga resultante através ou sobre a isolação.

Em um trecho extenso de barramento blindado, o ensaio com megômetro não avalia apenas um ponto isolado, mas a condição equivalente de todo o trecho submetido à tensão de ensaio. Assim, diferentes caminhos de fuga distribuídos ao longo do sistema podem contribuir simultaneamente para a corrente medida. Esses caminhos podem ser interpretados, de forma conceitual, como resistências associadas em paralelo, conforme indicado na Equação 5:

$$\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_{eq}}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_1}} + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_2}} + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_3}} + \cdots + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_n}} \tag{5}$$

Nessa expressão, $\boldsymbol{R_{eq}}$ representa a resistência equivalente medida pelo megômetro, enquanto $\boldsymbol{R_1}$, $\boldsymbol{R_2}$, $\boldsymbol{R_3}$ e $\boldsymbol{R_n}$ representam possíveis caminhos de fuga distribuídos ao longo do sistema de isolação. Como ocorre em uma associação em paralelo, o acréscimo de novos caminhos de fuga reduz a resistência equivalente

observada no ensaio. Dessa forma, a resistência de isolamento medida tende a diminuir quando aumenta a extensão do trecho avaliado ou quando surgem condições que favorecem caminhos de fuga, como umidade, poeira, resíduos superficiais ou falhas localizadas.

Dessa forma, quanto maior o comprimento do barramento avaliado, maior tende a ser a quantidade de caminhos de fuga considerados na medição. Além disso, condições como umidade, poeira, resíduos superficiais, emendas e interfaces construtivas podem reduzir a resistência desses caminhos, aumentando a corrente de fuga e diminuindo a resistência de isolamento medida. Portanto, a redução da resistência não deve ser atribuída automaticamente a uma falha intrínseca da isolação, mas interpretada em conjunto com o comprimento do trecho ensaiado, a inspeção visual, as condições superficiais e o comportamento do sistema após limpeza, secagem ou nova avaliação.

Isso significa que, em determinadas circunstâncias, o valor obtido em um teste de isolação pode refletir de forma mais intensa a condição superficial momentânea do sistema do que uma degradação estrutural profunda do material isolante. Essa constatação é tecnicamente relevante porque altera o modo como o profissional deve interpretar a medição e direcionar a decisão subsequente.

A redução da resistência de isolação não representa apenas um resultado numérico desfavorável no ensaio, mas pode estar associada a consequências técnicas relevantes para a operação, a confiabilidade e a segurança do sistema.

Quando a resistência de isolação apresenta valor reduzido, isso pode indicar que o sistema não está conseguindo isolar adequadamente as partes energizadas. Na prática, essa condição pode favorecer a ocorrência de corrente de fuga, uma vez que parte da corrente elétrica passa a escoar por caminhos indesejados, como a superfície do material isolante ou a carcaça aterrada. Esse fenômeno compromete o comportamento elétrico normal do barramento e sugere que a condição dielétrica do conjunto já não se encontra em nível ideal.

Outro efeito relevante está relacionado ao aquecimento e ao risco de degradação progressiva. A corrente de fuga pode gerar perdas e provocar elevação de temperatura em pontos localizados, especialmente nas regiões mais comprometidas da isolação. Com o passar do tempo, esse aquecimento tende a

acelerar o envelhecimento do material isolante, reduzir ainda mais sua capacidade dielétrica e favorecer a evolução da anomalia, transformando uma condição inicial em falha elétrica de maior gravidade.

Além disso, essa condição pode comprometer a própria interpretação do estado do sistema. Em determinados casos, a leitura reduzida pode estar associada à condição superficial do barramento, alterando o resultado do ensaio e indicando a existência de uma anormalidade elétrica relevante. Mesmo sem perfuração completa do isolante, o sistema pode passar a apresentar comportamento incompatível com uma condição plenamente segura, o que reduz a confiabilidade da avaliação e exige análise técnica criteriosa.

Por fim, a consequência mais crítica consiste na falha de energização ou no surgimento de defeitos durante a operação. Com a isolação reduzida, o barramento torna-se mais suscetível à fuga para terra, instabilidades elétricas, atuação indevida de dispositivos de proteção, formação de arco elétrico e, em situações mais severas, ruptura da isolação. Assim, ainda que o sistema consiga ser energizado, ele passa a operar com menor confiabilidade, menor segurança elétrica e maior probabilidade de falha.

A distinção entre contaminação superficial e falha intrínseca da isolação pode ser sintetizada em termos de natureza do problema, comportamento elétrico e conduta técnica adotada, conforme apresentado no Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação entre contaminação superficial e falha de isolação

Critério	Contaminação superficial	Falha de isolação
Local do problema	Superfície do isolante	Interior do material isolante
Causa predominante	Umidade, poeira, resíduos ou poluição superficial	Envelhecimento, fissura, dano mecânico, carbonização ou defeito estrutural
Tipo de corrente associada	Corrente de fuga superficial	Corrente de fuga interna
Comportamento no ensaio	Pode apresentar valor reduzido de forma transitória ou irregular	Tende a apresentar valor reduzido de forma persistente
Resposta após limpeza e secagem	Pode haver recuperação significativa dos valores de isolação	Normalmente não há recuperação satisfatória

Gravidade técnica	Pode ser reversível, dependendo da origem da contaminação	Indica comprometimento real da capacidade dielétrica
Conduta recomendada	Limpeza, secagem, inspeção e repetição controlada do ensaio	Investigação aprofundada, reparo ou substituição do componente

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Conforme apresentado nas Tabelas 2 e 3, foram analisados dois barramentos blindados distintos, cada um avaliado em dois momentos diferentes. O primeiro barramento foi documentado pelos Laudos 1 e 2, correspondentes aos Anexos A e B, enquanto o segundo barramento foi documentado pelos Laudos 3 e 4, correspondentes aos Anexos C e D. Os valores apresentados nas tabelas foram extraídos desses laudos e utilizados como base para a análise comparativa desenvolvida neste trabalho.

No primeiro barramento, a comparação entre o Laudo 1 (Anexo A) e o Laudo 2 (Anexo B) evidencia a ocorrência de uma anomalia pontual seguida da normalização dos resultados. No Laudo 1 foi registrado o valor de 5 MΩ na medição entre as fases S e T da Prumada 01, enquanto os demais pontos do mesmo barramento apresentavam valores na faixa de GΩ, motivo pelo qual o ensaio foi classificado como situação de revisão. Após nova avaliação, documentada no Laudo 2, essa mesma medição passou a registrar 3,1 GΩ, com resultado aprovado e níveis satisfatórios nos demais pontos avaliados. Essa variação indica um comportamento dielétrico não uniforme no primeiro momento do ensaio, seguido do restabelecimento de uma condição de isolação compatível com a operação normal do sistema.

Tabela 2 – Valores de resistência de isolamento obtidos nos Laudos 1 e 2 (Situação 1)

Ponto de Medição	Laudo 1 – Anexo A (MΩ)	Laudo 2 – Anexo B (MΩ)
Fase R x Terra	1700	1700
Fase S x Terra	2200	2200
Fase T x Terra	2300	2300
Neutro x Terra	1900	1900
Fase R x Fase S	2400	2400
Fase S x Fase T	5	3100
Fase T x Fase R	3600	3600
Neutro x Fase R	1400	1400
Neutro x Fase S	2100	2100
Neutro x Fase T	4000	4000

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Tabela 3 – Valores de resistência de isolamento da Prumada 01 obtidos nos Laudos 3 e 4 (Situação 2)

Ponto de Medição	Laudo 3 – Anexo C (MΩ)	Laudo 4 – Anexo D (MΩ)
Fase R x Terra	0,4	1300
Fase S x Terra	1,7	1100
Fase T x Terra	0,8	800
Neutro x Terra	0,3	900
Fase R x Fase S	1,2	1200
Fase S x Fase T	1,4	1400
Fase T x Fase R	0,8	1500
Neutro x Fase R	0,3	2400
Neutro x Fase S	1,3	2100
Neutro x Fase T	0,9	1400

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Do ponto de vista técnico, esse tipo de resultado não caracteriza, de forma imediata, uma falha estrutural definitiva da isolação, mas evidencia a necessidade de investigação adicional. A presença de contaminação superficial, umidade localizada ou mesmo condição momentânea de montagem pode favorecer a formação de caminhos de fuga ao longo do isolante, reduzindo a resistência de isolamento medida sem que haja necessariamente degradação interna do material dielétrico. Nesse contexto, o comportamento observado no conjunto documental é compatível com a adoção de procedimentos de inspeção, verificação física, secagem, limpeza ou reaperto, seguidos de repetição do ensaio para confirmação da condição do barramento.

A melhora observada entre o Laudo 1 e o Laudo 2 indica que resultados reduzidos e localizados devem ser interpretados com cautela. Em situações desse tipo, a comparação entre medições sucessivas pode fornecer evidência mais consistente do que a análise isolada de um único valor, especialmente quando a discrepância se concentra em ponto específico e não se repete de forma generalizada ao longo do sistema.

No segundo caso analisado, correspondente à comparação entre o Laudo 3 e o Laudo 4, verifica-se situação mais crítica no primeiro momento de avaliação. No Laudo 3, a prumada 01 apresentou valores de resistência de isolamento da ordem de 0,30 MΩ, 0,40 MΩ e 0,80 MΩ em diferentes pontos, condição incompatível com os requisitos esperados para liberação do sistema e, por isso, classificada como

reprovada No Laudo 4, emitido após nova avaliação, os resultados passaram a se situar na faixa de GΩ, com valores entre 0,7 GΩ e 4,6 GΩ nas medições registradas, indicando recuperação substancial da resposta dielétrica do barramento.

No caso representado pelos Laudos 3 e 4, a comparação entre os documentos sugere que foram adotadas ações corretivas ou de revisão antes da nova campanha de ensaios, embora os laudos não descrevam em detalhe cada intervenção executada. Além da melhora nos valores de resistência de isolamento, o ensaio de tensão aplicada permaneceu satisfatório, com aplicação de 1600 V por 5 segundos, sem registro de perfurações ou descargas no laudo aprovado. Esse conjunto de informações reforça a utilidade da análise comparativa entre documentos sucessivos para apoiar o diagnóstico técnico.

A comparação entre os dois estudos de caso evidencia que a contaminação superficial pode atuar de forma localizada ou generalizada, influenciando diretamente os resultados dos ensaios de isolação. No caso representado pelos Laudos 1 e 2, a anomalia foi pontual e posteriormente deixou de se manifestar no laudo aprovado, o que é compatível com interferência localizada. No caso representado pelos Laudos 3 e 4, a degradação observada no primeiro laudo apresentou caráter mais amplo na prumada 01, comprometendo de modo mais expressivo a confiabilidade do sistema. Em ambos os casos, contudo, a comparação entre medições sucessivas mostra recuperação dos níveis de isolação, o que sugere que parte relevante dos efeitos observados estava associada a condições reversíveis.

Com base nos laudos analisados, foram organizados os principais cenários observados, relacionando os valores documentados antes e após nova avaliação técnica.

A análise conjunta dos casos reforça que os ensaios de resistência de isolamento precisam ser interpretados em conjunto com a distribuição das medições, a presença de anomalias localizadas e as evidências físicas observadas durante a inspeção. A distinção entre falha intrínseca da isolação e influência de contaminação superficial é essencial para a definição de condutas técnicas adequadas, evitando tanto intervenções desnecessárias quanto a permanência de condições potencialmente críticas.

A interpretação da resistência de isolamento também deve considerar o comprimento do barramento e a corrente de fuga associada ao ensaio. Conforme estabelecido pela NTC 901111 da COPEL, a leitura obtida com o megômetro pode ser influenciada pelo comprimento da instalação e pelas dimensões das barras condutoras. A norma destaca que a resistência de isolamento tende a apresentar comportamento inversamente proporcional ao comprimento do barramento e orienta que, para trechos de até 30 m, leituras inferiores a 5 MΩ sejam investigadas.

Com base nessa orientação, adotou-se neste trabalho, para análise comparativa, uma estimativa proporcional da resistência de referência em função do comprimento da instalação. Ressalta-se que essa relação não constitui uma regra normativa nem um critério absoluto de aprovação ou reprovação, mas uma interpretação técnica utilizada para apoiar a comparação entre a resistência medida e o comprimento do barramento, conforme expresso pela Equação 6:

A expressão considera $\boldsymbol{R_{ref}(L)}$ como a resistência de referência proporcional ao comprimento da instalação, expressa em MΩ, enquanto $\boldsymbol{L}$ representa o comprimento total analisado, em metros. Dessa forma, a relação permite interpretar a resistência esperada conforme a extensão do barramento avaliado.

No caso analisado, a prumada possui 54 m de comprimento. Assim, a resistência de referência proporcional pode ser estimada por:

$$\boldsymbol{R_{ref}(L) = 5 \cdot \left(\frac{30}{L}\right)} \tag{6}$$

$$\boldsymbol{R_{ref}(54) = 2{,}78\ \text{MΩ}}$$

Ressalta-se que essa expressão não constitui um limite normativo absoluto para trechos superiores a 30 m, mas uma referência proporcional de apoio à interpretação técnica, construída a partir da relação indicada pela NTC 901111.

Para complementar a análise comparativa entre a resistência medida e a referência proporcional estimada, adotou-se o índice de atendimento à referência proporcional, definido pela Equação 7:

$$\boldsymbol{I_{ref} = \frac{R_{medida}}{R_{ref}}} \tag{7}$$

A expressão considera I_{ref} como o índice de atendimento à referência proporcional, utilizado para comparar o resultado obtido no ensaio com o valor esperado para a instalação. A resistência medida, representada por R_{medida}, corresponde ao valor de isolamento obtido durante o ensaio, enquanto R_{ref} indica a resistência de referência estimada em função do comprimento do barramento analisado.

Valores de $I_{ref} > 1$ indicam que a resistência medida se encontra acima da referência proporcional estimada, enquanto valores de $I_{ref} < 1$ indicam que o resultado ficou abaixo dessa referência. Essa relação não deve ser utilizada de forma isolada como critério absoluto de aprovação ou reprovação, mas como apoio à interpretação técnica em conjunto com os demais elementos do diagnóstico, como inspeção visual, condições físicas do barramento e resultados de ensaios complementares.

Para exemplificar a aplicação da análise proporcional da resistência de isolamento, foi considerada uma leitura obtida durante o ensaio com megômetro digital em uma prumada de barramento blindado. A leitura registrada no equipamento, apresentada na Figura 7, corresponde a aproximadamente 0,40 MΩ, valor utilizado.

Figura 7 – Leitura de resistência de isolamento obtida por megômetro digital.



Fonte: Próprio autor (2026).

A leitura registrada no equipamento corresponde à avaliação de uma prumada de 54 m. Aplicando-se o índice de atendimento à referência proporcional, obtém-se:

$$R_{medida} = 0,40 \text{ M}\Omega$$

Obtida em megômetro digital durante a avaliação da prumada de 54 m. Aplicando-se o índice de atendimento à referência proporcional, obtém-se:

$$I_{ref} = 0,14$$

Como $I_{ref} < 1$, verifica-se que a resistência medida se encontra significativamente abaixo da referência proporcional estimada para o comprimento da prumada, caracterizando uma condição desfavorável e reforçando a necessidade de investigação técnica.

Além da comparação com a referência proporcional, a relação entre resistência de isolamento e corrente de fuga pode ser descrita a partir da Lei de Ohm. Considerando que o megômetro aplica uma tensão contínua ao sistema e mede a corrente resultante, a resistência de isolamento é representada pela Equação 8:

$$R = \frac{V}{I} \tag{8}$$

De forma equivalente, a corrente de fuga pode ser estimada pela Equação 9:

$$I = \frac{V}{R} \tag{9}$$

Para fins de análise e simulação, considerando a tensão de ensaio de 1000 V adotada nos laudos avaliados e a resistência expressa em MΩ, a corrente de fuga estimada em microampères pode ser representada pela Equação 10 por:

$$I_{fuga}[\mu A] = \frac{1000}{R[\text{M}\Omega]} \tag{10}$$

$$I_{fuga} = 2,5 \text{ mA}$$

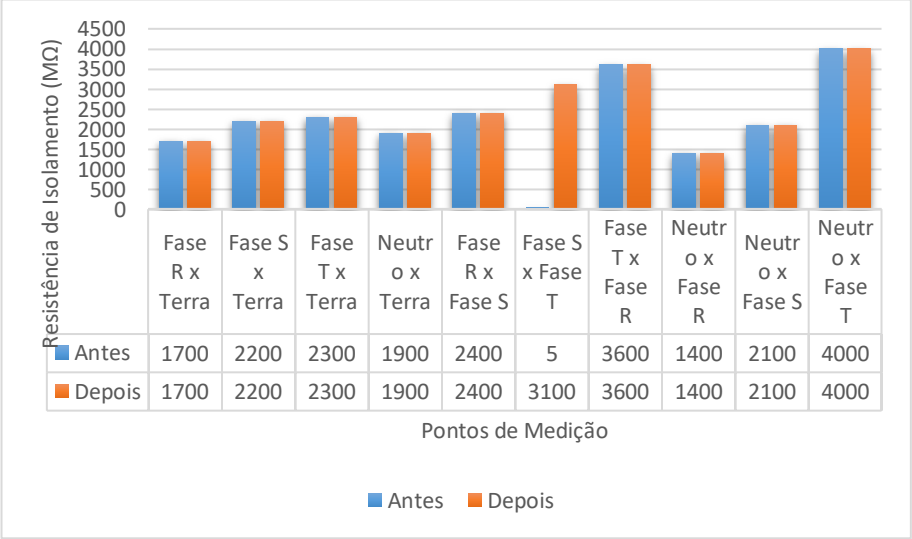
Esse resultado evidencia que uma redução acentuada da resistência de isolamento corresponde à elevação da corrente de fuga estimada. No caso analisado, a leitura de 0,40 MΩ, associada a uma prumada de 54 m, resultou em índice de atendimento proporcional de 0,14 e corrente de fuga estimada de 2,5 mA. Esses valores indicam condição dielétrica desfavorável, reforçando que a interpretação do

ensaio não deve se limitar ao valor numérico medido, mas considerar também a corrente de fuga, a inspeção visual, as condições físicas do barramento e os demais ensaios aplicáveis.

Para complementar a análise documental apresentada nas Tabelas 2 e 3, os resultados de resistência de isolamento extraídos dos laudos técnicos foram representados graficamente, permitindo uma visualização comparativa da evolução dos valores registrados em cada barramento entre as avaliações inicial e posterior. Essa representação gráfica facilita a identificação das variações observadas nos ensaios, evidenciando a recuperação dos níveis de resistência de isolamento após as intervenções realizadas e auxiliando na interpretação do comportamento dielétrico do sistema.

As Figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para o primeiro e o segundo barramento blindado, permitindo comparar os valores medidos em cada etapa da avaliação. Em ambos os casos, os gráficos evidenciam a transição de resultados inicialmente registrados na ordem de MΩ para valores posteriores situados na faixa de GΩ, complementando a análise quantitativa apresentada nas tabelas e tornando mais clara a evolução da condição de isolação dos sistemas avaliados.

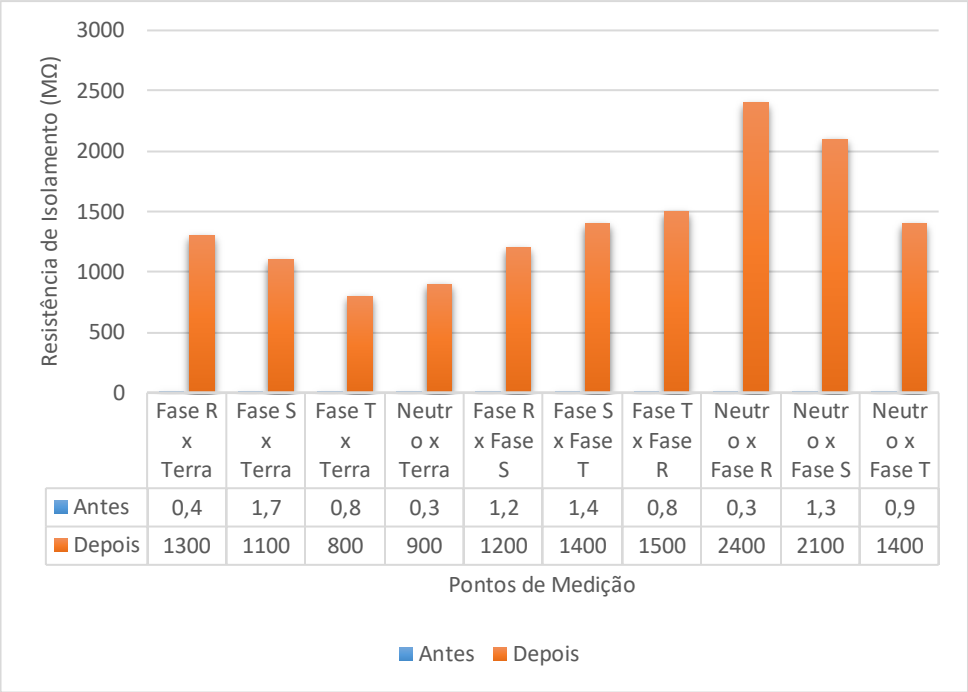
Figura 8 - Gráfico da comparação da resistência de isolamento antes e após nova avaliação técnica na Situação 1.



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A Figura 9 apresenta a comparação dos resultados de resistência de isolamento do segundo barramento, conforme os Laudos 3 e 4 (Anexos C e D).

Figura 9 - Gráfico da comparação da resistência de isolamento antes e após nova avaliação técnica na Situação 2, considerando a Prumada 01.

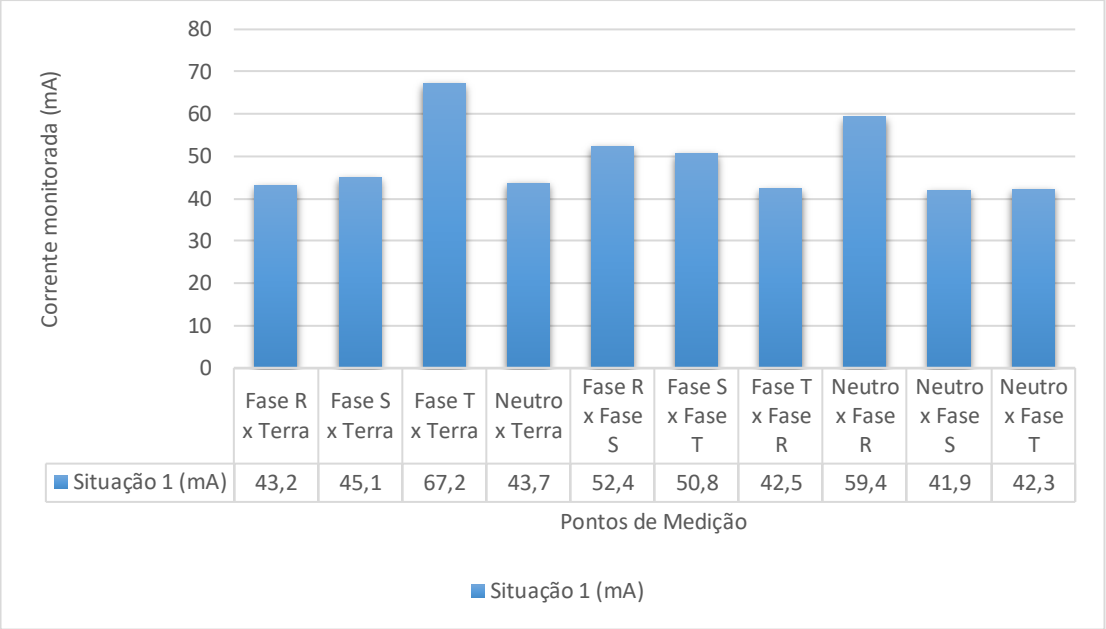


Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A representação gráfica facilita a visualização da diferença entre valores reduzidos de resistência, na ordem de MΩ, e valores posteriores na ordem de GΩ. Essa variação evidencia melhora significativa da resposta dielétrica entre os momentos avaliados, sem que os dados sejam tratados como prova experimental isolada.

Além dos resultados de resistência de isolamento, os ensaios de tensão aplicada também contribuem para a avaliação da condição dielétrica dos barramentos. As Figuras 10 e 11 apresentam a comparação das correntes monitoradas durante o ensaio com Hipot, realizado com tensão aplicada de 1600 V por 5 segundos, considerando a Situação 1, correspondente aos Laudos 1 e 2, e a Situação 2, correspondente aos Laudos 3 e 4.

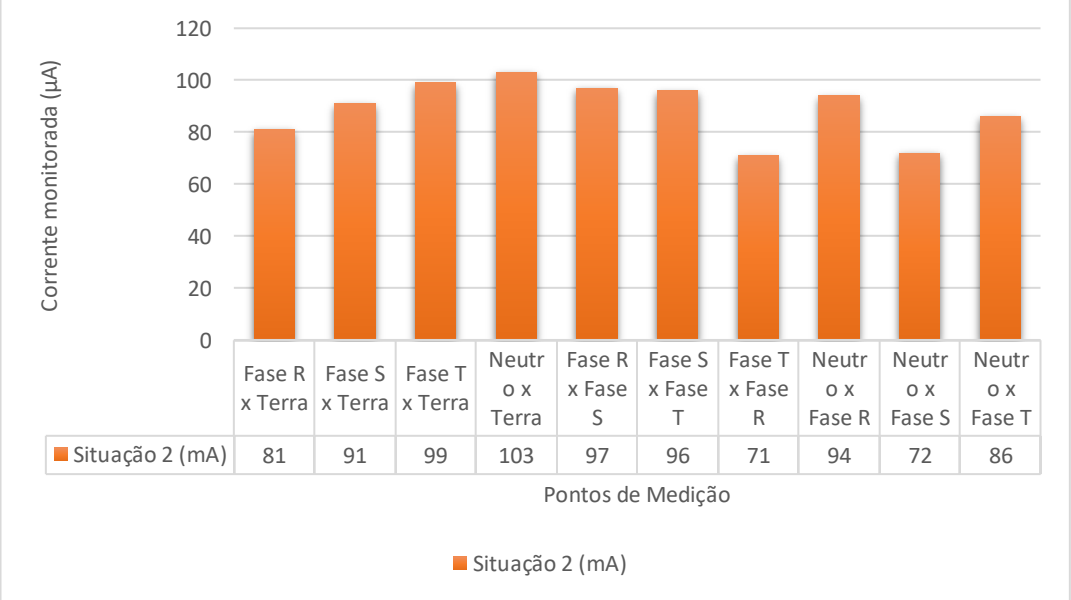
Figura 10 - Gráfico da comparação das correntes monitoradas no ensaio de tensão aplicada com Hipot.



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A Figura 11 apresenta os resultados obtidos para o segundo barramento blindado, permitindo comparar as correntes monitoradas durante o ensaio de tensão aplicada com Hipot em relação ao primeiro barramento.

Figura 11 - Gráfico da comparação das correntes monitoradas no ensaio de tensão aplicada com Hipot.



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Embora os resultados tenham sido considerados satisfatórios quanto à suportabilidade dielétrica, observa-se diferença entre as correntes registradas nos conjuntos documentais analisados. Essa diferença não caracteriza, isoladamente, falha dielétrica, mas contribui para a interpretação comparativa do comportamento do sistema sob tensão aplicada. Os valores de corrente monitorados durante o ensaio com Hipot permitem observar diferenças de comportamento entre as prumadas, contribuindo para a análise comparativa da condição dielétrica do sistema. Dessa forma, o ensaio de tensão aplicada deve ser compreendido como complementar ao ensaio de resistência de isolamento, e não como elemento único de decisão técnica.

Assim, as representações gráficas auxiliam na compreensão da evolução dos resultados documentados, sem substituir a análise técnica dos laudos. Sua função neste trabalho é apoiar visualmente a comparação entre condição inicial e condição posterior, contribuindo para a interpretação integrada dos ensaios de isolação.

Com base nos resultados documentais e nas representações gráficas apresentadas, o Tabela 4 organiza os principais cenários observados, relacionando a situação inicial, os valores críticos identificados, a condição posterior e o resultado final da avaliação técnica.

Tabela 4 – Comparação dos estudos de caso analisados

Conjunto documental	Situação inicial	Valor crítico observado	Condição posterior	Resultado final
Laudos 1 e 2	Revisão por anomalia pontual	5 MΩ entre fases S e T	3,1 GΩ entre fases S e T no laudo posterior	Aprovado
Laudos 3 e 4	Reprovado na Prumada 01	0,30 a 0,80 MΩ	0,7 a 4,6 GΩ e tensão aplicada satisfatória	Aprovado

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A comparação apresentada acima reforça que a interpretação dos ensaios deve considerar a evolução da condição dielétrica entre a situação inicial e a condição posterior registrada nos laudos. Desse modo, a aprovação ou reprovação técnica não deve ser associada apenas ao valor inicial medido, mas ao conjunto de evidências documentais analisadas.

Outro ponto relevante da discussão refere-se ao papel das normas e documentos técnicos no processo de interpretação. As normas específicas de barramento blindado e os documentos orientados a ensaios oferecem o enquadramento necessário para a realização e aceitação técnica do sistema, mas a literatura analisada sugere que sua aplicação prática depende da leitura técnica das condições observadas em campo. Em outras palavras, o atendimento aos requisitos normativos é indispensável, porém não substitui o julgamento técnico fundamentado na observação de campo. Essa relação entre norma, medição e interpretação é particularmente importante em sistemas como o *busway,* nos quais características construtivas, condições ambientais e ocorrências localizadas podem influenciar significativamente o comportamento da isolação.

Dessa forma, os estudos de caso apresentados corroboram a discussão teórica desenvolvida neste trabalho, demonstrando que a contaminação superficial constitui fator relevante na avaliação da isolação de barramentos blindados, podendo alterar significativamente os resultados dos ensaios e influenciar diretamente a tomada de decisão no comissionamento e em serviço.

Portanto, a discussão conduzida neste trabalho aponta que a confiabilidade do diagnóstico dielétrico em *busways* depende da capacidade de correlacionar o ensaio de isolação com o estado observado do barramento no momento da avaliação. A interpretação adequada dos resultados exige reconhecer que fatores superficiais, como umidade, poeira e resíduos, podem alterar a medição e induzir conclusões equivocadas quando não são devidamente considerados. Assim, mais do que verificar se um valor é alto ou baixo, torna-se necessário compreender o que esse valor representa dentro do contexto físico e operacional do sistema. É justamente nessa necessidade de interpretação crítica e tecnicamente fundamentada que se sustenta a relevância do presente estudo.

A partir da análise desenvolvida, observa-se que o diagnóstico da isolação em barramentos blindados deve ser compreendido como uma atividade técnica integrada, envolvendo ensaio elétrico, inspeção visual, avaliação das condições superficiais e análise do contexto operacional. Nessa perspectiva, o comissionamento e a condição em serviço não devem ser vistos como cenários totalmente independentes, mas como etapas distintas de um mesmo processo de garantia da confiabilidade do sistema. No

comissionamento, a ênfase recai sobre a aceitação e a liberação inicial; em serviço, sobre o monitoramento, a manutenção e a preservação do desempenho dielétrico. Em ambos os casos, contudo, a contaminação superficial pode interferir de maneira decisiva no resultado dos ensaios e, consequentemente, na decisão técnica derivada deles.

Dessa forma, responde-se ao problema de pesquisa ao verificar que a contaminação superficial interfere nos ensaios de isolação por favorecer caminhos de fuga e reduzir a resistência de isolamento medida, podendo alterar a avaliação da condição dielétrica do barramento tanto no comissionamento, ao influenciar decisões de liberação para energização, quanto em serviço, ao afetar o diagnóstico técnico e a definição de condutas de manutenção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na fundamentação teórica, na metodologia adotada e na discussão realizada, entende-se que o objetivo geral deste trabalho foi atingido, uma vez que foi possível analisar a influência da contaminação superficial nos ensaios de isolação aplicados a sistemas de barramento blindado, considerando tanto as condições de comissionamento quanto as condições de serviço.

Verificou-se que os barramentos blindados dependem diretamente da integridade de sua isolação elétrica para garantir segurança, confiabilidade e continuidade operacional. Nesse contexto, os ensaios de resistência de isolamento com megômetro e os ensaios de tensão aplicada com Hipot constituem instrumentos importantes para avaliação da condição dielétrica do sistema, desde que seus resultados sejam interpretados em conjunto com as condições reais do equipamento.

A análise permitiu identificar que a presença de umidade, poeira, resíduos de obra e demais contaminantes superficiais pode interferir nos resultados dos ensaios de isolação. Esses agentes podem favorecer a formação de caminhos de fuga, elevar a corrente de fuga e reduzir a resistência de isolamento medida. Dessa forma, uma leitura insatisfatória não deve ser interpretada automaticamente como falha estrutural da isolação, pois pode estar relacionada a uma condição superficial adversa existente no momento do ensaio.

Também foi possível compreender que os ensaios de isolação possuem finalidades distintas conforme a etapa de aplicação. No comissionamento, seu principal objetivo é verificar se o barramento blindado apresenta condições adequadas para energização. Em condição de serviço, esses ensaios assumem caráter diagnóstico, auxiliando na definição de condutas relacionadas à inspeção, limpeza, secagem, manutenção corretiva ou continuidade operacional do sistema.

Assim, o problema de pesquisa é respondido ao se concluir que a contaminação superficial interfere nos ensaios de isolação por alterar o comportamento dielétrico do barramento blindado e dificultar a distinção entre degradação interna da isolação e condição superficial momentânea. Essa interferência pode afetar diretamente o diagnóstico técnico e influenciar decisões relacionadas à energização, reinspeção, manutenção e continuidade operacional.

Como contribuição, este trabalho reforça que a avaliação da isolação em barramentos blindados não deve se limitar aos valores obtidos nos ensaios. A interpretação deve considerar também a inspeção visual, o histórico do equipamento, as condições ambientais, o comprimento do trecho avaliado, as condições superficiais e o contexto operacional do sistema. Dessa forma, o diagnóstico torna-se mais confiável, tecnicamente fundamentado e adequado à realidade de campo.

Conclui-se ainda que a interpretação criteriosa dos ensaios de isolação contribui diretamente para o aumento da confiabilidade operacional dos barramentos blindados. Ao associar os valores medidos à inspeção visual e às condições reais de instalação, torna-se possível reduzir a probabilidade de falhas futuras, evitar reprovações indevidas e apoiar decisões mais seguras quanto à liberação, manutenção ou intervenção no sistema.

Como medida preventiva, recomenda-se manter o barramento blindado limpo, seco e protegido contra resíduos de obra, poeira e umidade, principalmente nas regiões de emenda e interfaces construtivas. A inspeção das emendas, a proteção durante o armazenamento e a limpeza antes da energização constituem medidas preventivas que reduzem a possibilidade de caminhos de fuga superficiais e contribuem para maior segurança na operação.

Dessa forma, o busway não deve ser avaliado apenas por suas vantagens construtivas, como compacidade, modularidade, organização da instalação e

facilidade de manutenção, mas também por sua capacidade de oferecer desempenho seguro e confiável quando corretamente instalado, conservado e ensaiado. A confiabilidade do sistema depende não apenas da tecnologia empregada, mas também da correta instalação, conservação, inspeção e interpretação dos ensaios realizados.

Por se tratar de um estudo de natureza documental e interpretativa, as conclusões apresentadas devem ser compreendidas como indicativas e tecnicamente fundamentadas, sem substituir investigações experimentais controladas. Para trabalhos futuros, sugere-se o aprofundamento do tema por meio de ensaios práticos, medições comparativas em campo e avaliação de diferentes níveis de contaminação superficial em barramentos blindados.

REFERÊNCIAS

ABB. *ReliaGear® Busway: manual de instalação, operação e manutenção* . [Sl]: ABB, 2025. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/5ce021e06b764317b2b180dce69b80a0/1VAL098202-MB_RevD_ReliaGearbusway-IOMM_DGT.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2026.

AGRAWAL, KC. Testando um sistema de barramento com invólucro metálico. Em: AGRAWAL, KC. *Manual de Engenharia de Energia Industrial* . Oxford: Newnes, 2001. cap. 32.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16019: linhas elétricas pré-fabricadas (barramentos cegos) de baixa tensão – requisitos para instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 61439-1: conjuntos de manobra e comando de baixa tensão – parte 1: regras gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. Errata 1: 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 61439-6: conjuntos de manobra e comando de baixa tensão – parte 6: sistemas de linhas elétricas pré-fabricadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Portaria MTE n.º 598, de 7 de dezembro de 2004. Alterada pela Portaria

MTPS n.º 508, de 29 de abril de 2016, e pela Portaria SEPRT n.º 915, de 30 de julho de 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2026.

COPEL. NTC 901111: ônibus barramentos blindados. Curitiba: COPEL, 2021.

CSANYI, Edvard. *Procedimentos de Inspeção e Teste para Barramentos Metálicos* . Portal de Engenharia Elétrica, 2 jul. 2018. Disponível em: <https://electrical-engineering-portal.com/inspection-and-test-procedures-for-metal-enclosed-busways>. Acesso em: 28 mar. 2026.

HB HOLEC. *Manual técnico de barramentos blindados HBc-A* . Curitiba: HB HOLEC, 2022.

INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS. IEEE Std C37.23-2015: *Norma IEEE para barramento blindado metálico* . Nova York: IEEE, 2015.

INDUSHOP. *Hipot Tester 5KV -10 mA – CA – INSTRUTEMP* . Indushop, 2026. Disponível em: página do produto “Hipot Tester 5KV -10 mA – CA – INSTRUTEMP”. Acesso em: 2 jun. 2026.

LEGRAND. *Barramentos blindados Abobrinha: soluções para distribuição de energia elétrica* . São Paulo: Legrand Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.legrand.com.br>. Acesso em: 28 mar. 2026.

MEGGER. *Mais vale prevenir do que remediar: O guia completo para testes de isolamento elétrico* . [Sl]: Megger, 2006.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS. NEMA BU 1.1: *instruções gerais para manuseio, instalação, operação e manutenção de barramentos com tensão nominal de 600 volts ou menos* . Rosslyn, VA: NEMA, 2000.

PROJETICA ENGENHARIA. Relatório técnico: laudo busway 1. Londrina, 2025a.

PROJETICA ENGENHARIA. Relatório técnico: laudo busway 2. Londrina, 2025b.

PROJETICA ENGENHARIA. Relatório técnico: laudo busway 3. Londrina, 2025c.

PROJETICA ENGENHARIA. Relatório técnico: laudo busway 4. Londrina, 2025d.

SCHNEIDER ELÉTRICA. *Guia técnico de barramentos blindados Canalis* . São Paulo: Schneider Electric Brasil, 2015. Disponível em: <https://www.se.com/br>. Acesso em: 28 mar. 2026.

SIEMENS. *Sistemas de barramentos LD, LI e BD2: sistemas de distribuição de energia por barramentos blindados* . São Paulo: Siemens Ltda., 2018. Disponível em: <https://www.siemens.com>. Acesso em: 28 mar. 2026.

ANEXO A – Relatório técnico: Laudo Busway 1, com dados do cliente ocultados

Informações da Unidade

Dados de Identificação

[redacted]

Classificação: Condomínio Residencial
Razão Social: [redacted]
CNPJ: [redacted]
Endereço: [redacted]
RTda Unidade: [redacted]
Data do Ensaio: 20/06/2025 - 9:00h

[redacted]

OBJETIVO

Estabelecer as características, procedimentos e condições mínimas para aceitação de linhas elétricas pré-fabricadas, conhecidas como barramentos blindados (Bus-Way) em prumadas de edificações residenciais e/ou comerciais, em trechos de energia não medida, de instalações de unidades consumidoras atendidas pela Copel.

IDENTIFICAÇÃO DOS BARRAMENTOS

PRUMADA 01
FABRICANTE: HB HOLEC BARRAS
TENSÃO: 1000V
FREQUENCIA: 50/60 Hz
COMPRIMENTO: 85 METROS
CORRENTE: 1250A
IEC - 61439-6
LOTE: ED-08-HB3104-A



O sistema de distribuição de energia do Edifício é composto por um barramento blindado tipo "bus-way" com capacidade de 1250 A, operando a 127 V (fase/neutro) e 220 V (fase/fase). Este barramento se estende verticalmente desde o quadro geral no térreo até o 26º andar através de um prumada.

Laudo Busway 03

Ensaio de

Resistência de Isolamento

Para garantir a integridade do sistema elétrico do Edifício, foram realizadas medições de isolamento utilizando um Megôhmetro com saída de tensão de 1000V. As medições abrangeram os seguintes pontos críticos:

- **Entre Fases:** Verificação do isolamento entre as fases para assegurar que não há falhas ou degradação que possam comprometero desempenho do sistema.
- **Entre Fases e Neutro:** Avaliação do isolamento entre cada fase e o neutro, garantindo que não há fugas de corrente que possam causar mau funcionamento ou riscos de segurança.
- **Entre Cada Fase e Neutro contra a Terra (Carcaça):** Medição da resistência de isolamento entre cada fase e a terra (carcaça), essencial para detectar possíveis caminhos de corrente indesejados que possam resultar em choques elétricos ou danos ao equipamento.

Essas medições são fundamentais para confirmar a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, detectando precocemente qualquer anomalia que possa comprometer a operação segura do edifício.

> VALORES ENCONTRADO

PRUMADA 01:

Fase R x Terra = 1,7 GΩ
Fase S x Terra = 2,2 GΩ
Fase T x Terra = 2,3 GΩ
Neutro x Terra = 1,9 GΩ

Fase R x Fase S = 2,4 GΩ
Fase S x Fase T = 5 MΩ
Fase T x Fase R = 3,6 GΩ

Neutro x Fase R = 1,4 GΩ
Neutro x Fase S = 2,1 GΩ
Neutro x Fase T = 4,0 GΩ

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

REVISÃO

Os valores obtidos em todas as medições estão em conformidade com as normas técnicas vigentes, exceto Fases S e Fase T.

*Grandeza das medições resistência de isolação: MΩ = Mega Ohms
GΩ = Giga Ohms

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- Foi identificado um valor de isolamento de 5 MΩ entre as fases S e T na PRUMADA 01, bem abaixo dos demais valores, significativamente inferior aos demais. Recomenda-se inspeção física no barramento para verificar umidade, sujeira, danos no isolamento e conexões soltas. Após inspeção e correções, deve-se repetir a medição, pois o valor é inconsistente com os demais resultados e indica possível falha no isolamento.

Ensaio de
Tensão Aplicada

Para garantir a integridade e a segurança do sistema elétrico do Edifício, foram realizadas medições de isolamento utilizando o equipamento Hipot. O Hipot foi empregado para testar o isolamento entre fases e neutro, bem como entre cada fase e neutro contra a terra (carcaça). As especificações e procedimentos de teste foram os seguintes:

- **Tensão do Ensaio:** 1600V para sistemas de 127/220 V
- **Tempo de Aplicação:** 5 segundos por teste
- **Resultado Esperado:** Não deve haver perfurações ou descargas

Essas medições são fundamentais para confirmar a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, detectando precocemente qualquer anomalia que possa comprometer a operação segura do edifício.

> VALORES ENCONTRADO

PRUMADA 01:

Fase R x terra =	43,2 mA
Fase S x terra =	45,1 mA
Fase T x terra =	67,2 mA
Neutro x Terra =	43,7 mA
Fase R x Fase S =	52,4 mA
Fase S x Fase T =	50,8 mA
Fase T x Fase R =	42,5 mA
Neutro x Fase R =	59,4 mA
Neutro x Fase S =	41,9 mA
Neutro x Fase T =	42,3 mA

ENSAIO DE TENSÃO APLICADA

APROVADO

Os valores obtidos em todas as medições estão em conformidade com as normas técnicas vigentes.

*Grandeza das medições tensão aplicada: mA = mili Ampére

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- É crucial proteger o barramento contra umidade e contato com água. Caso ocorra contato com água, deve-se solicitar um novo laudo para atestar a integridade dos valores encontrados. Estes cuidados garantem a operação segura e eficientedo sistema elétrico.

ANEXO B – Relatório técnico: Laudo Busway 2, com dados do cliente ocultados

Informações da Unidade

Dados de Identificação

[redacted]

Classificação: Condomínio Residencial
Razão Social: [redacted]
CNPJ: [redacted]
Endereço: [redacted]
RT da Unidade: [redacted]
Data do Ensaio: 21/07/2025 - 9:00h

[redacted]

OBJETIVO

Estabelecer as características, procedimentos e condições mínimas para aceitação de linhas elétricas pré-fabricadas, conhecidas como barramentos blindados (Bus-Way) em prumadas de edificações residenciais e/ou comerciais, em trechos de energia não medida, de instalações de unidades consumidoras atendidas pela Copel.

IDENTIFICAÇÃO DOS BARRAMENTOS

PRUMADA 01
FABRICANTE: HB HOLEC BARRAS
TENSÃO: 1000V
FREQUENCIA: 50/60 Hz
COMPRIMENTO: 85 METROS
CORRENTE: 1250A
IEC - 61439-6
LOTE: ED-08-HB3104-A



O sistema de distribuição de energia do Edifício é composto por um barramento blindado tipo "bus-way" com capacidade de 1250 A, operando a 127 V (fase/neutro) e 220 V (fase/fase). Este barramento se estende verticalmente desde o quadro geral no térreo até o 26º andar através de um prumada.

Laudo Busway 03

Ensaio de

Resistência de Isolamento

Para garantir a integridade do sistema elétrico do Edifício, foram realizadas medições de isolamento utilizando um Megôhmetro com saída de tensão de 1000V. As medições abrangeram os seguintes pontos críticos:

- **Entre Fases:** Verificação do isolamento entre as fases para assegurar que não há falhas ou degradação que possam comprometero desempenho do sistema.
- **Entre Fases e Neutro:** Avaliação do isolamento entre cada fase e o neutro, garantindo que não há fugas de corrente que possam causar mau funcionamento ou riscos de segurança.
- **Entre Cada Fase e Neutro contra a Terra (Carcaça):** Medição da resistência de isolamento entre cada fase e a terra (carcaça), essencial para detectar possíveis caminhos de corrente indesejados que possam resultar em choques elétricos ou danos ao equipamento.

Essas medições são fundamentais para confirmar a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, detectando precocemente qualquer anomalia que possa comprometer a operação segura do edifício.

> VALORES ENCONTRADO

PRUMADA 01:

Fase R x Terra = 1,7 GΩ
Fase S x Terra = 2,2 GΩ
Fase T x Terra = 2,3 GΩ
Neutro x Terra = 1,9 GΩ

Fase R x Fase S = 2,4 GΩ
Fase S x Fase T = 3,1 GΩ
Fase T x Fase R = 3,6 GΩ

Neutro x Fase R = 1,4 GΩ
Neutro x Fase S = 2,1 GΩ
Neutro x Fase T = 4,0 GΩ

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

APROVADO

Os valores obtidos em todas as medições estão em conformidade com as normas técnicas vigentes.

*Grandeza das medições resistência de isolação: MΩ = Mega Ohms
GΩ = Giga Ohms

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- É crucial proteger o barramento contra umidade e contato com água. Caso ocorra contato com água, deve-se solicitar um novo laudo para atestar a integridade dos valores de isolamento. Estes cuidados garantem a operação segura e eficientedo sistema elétrico.

Laudo Busway 04

Ensaio de

Tensão Aplicada

Para garantir a integridade e a segurança do sistema elétrico do Edifício, foram realizadas medições de isolamento utilizando o equipamento Hipot. O Hipot foi empregado para testar o isolamento entre fases e neutro, bem como entre cada fase e neutro contra a terra (carcaça). As especificações e procedimentos de teste foram os seguintes:

- **Tensão do Ensaio:** 1600V para sistemas de 127/220 V
- **Tempo de Aplicação:** 5 segundos por teste
- **Resultado Esperado:** Não deve haver perfurações ou descargas

Essas medições são fundamentais para confirmar a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, detectando precocemente qualquer anomalia que possa comprometer a operação segura do edifício.

> VALORES ENCONTRADO

PRUMADA 01:

Fase R x terra =	43,2 mA
Fase S x terra =	45,1 mA
Fase T x terra =	67,2 mA
Neutro x Terra =	43,7 mA
Fase R x Fase S =	52,4 mA
Fase S x Fase T =	50,8 mA
Fase T x Fase R =	42,5 mA
Neutro x Fase R =	59,4 mA
Neutro x Fase S =	41,9 mA
Neutro x Fase T =	42,3 mA

ENSAIO DE TENSÃO APLICADA

APROVADO

Os valores obtidos em todas as medições estão em conformidade com as normas técnicas vigentes.

*Grandeza das medições tensão aplicada: mA = mili Ampére

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- É crucial proteger o barramento contra umidade e contato com água. Caso ocorra contato com água, deve-se solicitar um novo laudo para atestar a integridade dos valores encontrados. Estes cuidados garantem a operação segura e eficientedo sistema elétrico.

ANEXO C – Relatório técnico: Laudo Busway 3, com dados do cliente ocultados

Informações da Unidade

Dados de Identificação

[redacted]

Classificação: *Condomínio Residencial*
Razão Social: [redacted]
CNPJ: [redacted]
Endereço: [redacted]
RT da Unidade: [redacted]
Data do Ensaio: *02/07/2025 - 9:00h*

[redacted]

OBJETIVO

Estabelecer as características, procedimentos e condições mínimas para aceitação de linhas elétricas pré-fabricadas, conhecidas como barramentos blindados (Bus-Way) em prumadas de edificações residenciais e/ou comerciais, em trechos de energia não medida, de instalações de unidades consumidoras atendidas pela Copel.

IDENTIFICAÇÃO DOS BARRAMENTOS

PRUMADA 01
FABRICANTE: MAXBAR
TENSÃO: 1000V
FREQUENCIA: 50/60 Hz
COMPRIMENTO: 54 METROS
CORRENTE: 1250A
IEC - 61-439-6
LOTE: 3029

PRUMADA 02
FABRICANTE: MAXBAR
TENSÃO: 1000V
FREQUENCIA: 50/60 Hz
COMPRIMENTO: 84 METROS
CORRENTE: 3200A
IEC - 61-439-6
LOTE: 3029





O sistema de distribuição de energia do Edifício é composto por dois barramentos blindados tipo "bus-way" com capacidade de 1250A e 3200A, operando a 127V (fase/neutro) e 220V (fase/fase). Estes barramentos se estendem verticalmente desde o quadro geral no térreo até o 18º andar através de duas prumada.

Laudo Busway 03

Ensaio de

Resistência de Isolamento

Para garantir a integridade do sistema elétrico do Edifício, foram realizadas medições de isolamento utilizando um Megôhmetro com saída de tensão de 1000V. As medições abrangeram os seguintes pontos críticos:

- **Entre Fases:** Verificação do isolamento entre as fases para assegurar que não há falhas ou degradação que possam comprometer o desempenho do sistema.
- **Entre Fases e Neutro:** Avaliação do isolamento entre cada fase e o neutro, garantindo que não há fugas de corrente que possam causar mau funcionamento ou riscos de segurança.
- **Entre Cada Fase e Neutro contra a Terra (Carcaça):** Medição da resistência de isolamento entre cada fase e a terra (carcaça), essencial para detectar possíveis caminhos de corrente indesejados que possam resultar em choques elétricos ou danos ao equipamento.

Essas medições são fundamentais para confirmar a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, detectando precocemente qualquer anomalia que possa comprometer a operação segura do edifício.

> VALORES ENCONTRADO

PRUMADA 01:

Fase R x Terra = 0,40 MΩ
Fase S x Terra = 1,70 MΩ
Fase T x Terra = 0,80 MΩ
Neutro x Terra = 0,30 MΩ

Fase R x Fase S = 1,20 MΩ
Fase S x Fase T = 1,40 MΩ
Fase T x Fase R = 0,80 MΩ

Neutro x Fase R = 30 MΩ
Neutro x Fase S = 30 MΩ
Neutro x Fase T = 0,90 MΩ

PRUMADA 02:

Fase R x Terra = 1,0 GΩ
Fase S x Terra = 1,0 GΩ
Fase T x Terra = 0,80 GΩ
Neutro x Terra = 0,70 GΩ

Fase R x Fase S = 1,3 GΩ
Fase S x Fase T = 4,6 GΩ
Fase T x Fase R = 2,8 GΩ

Neutro x Fase R = 0,8 GΩ
Neutro x Fase S = 2,7 GΩ
Neutro x Fase T = 2,8 GΩ

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

REPROVADO

Os valores da Prumada 02 está em conformidade com as normas técnicas vigentes, mas a Prumada 01 não atende aos requisitos.

*Grandeza das medições resistência de isolação: MΩ = Mega Ohms
GΩ = Giga Ohms

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- O ensaio realizado demonstra que a Prumada 01 apresentou valores de resistência de isolamento muito abaixo do mínimo exigido pela norma vigente, com medições inferiores a 1 MΩ em diversos pontos.
- É crucial proteger o barramento contra umidade e contato com água. Caso ocorra contato com água, deve-se solicitar um novo laudo para atestar a integridade dos valores de isolamento. Estes cuidados garantem a operação segura e eficiente do sistema elétrico.

Ensaio de
Tensão Aplicada

Para garantir a integridade e a segurança do sistema elétrico do Edifício, foram realizadas medições de isolamento utilizando o equipamento Hipot. O Hipot foi empregado para testar o isolamento entre fases e neutro, bem como entre cada fase e neutro contra a terra (carcaça). As especificações e procedimentos de teste foram os seguintes:

- **Tensão do Ensaio:** 1600 V para sistemas de 127/220 V
- **Tempo de Aplicação:** 5 segundos por teste
- **Resultado Esperado:** Não deve haver perfurações ou descargas

Essas medições são fundamentais para confirmar a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, detectando precocemente qualquer anomalia que possa comprometer a operação segura do edifício.

> VALORES ENCONTRADO

ENSAIO DE TENSÃO APLICADA

APROVADO

Os valores obtidos em todas as medições estão em conformidade com as normas técnicas vigentes.

PRUMADA 01:

Fase R x Terra = 81 mA
Fase S x Terra = 91 mA
Fase T x Terra = 99 mA
Neutro x Terra = 103 mA

Fase R x Fase S = 97 mA
Fase S x Fase T = 96 mA
Fase T x Fase R = 71 mA
Neutro x Fase R = 94 mA

Neutro x Fase S = 72 mA
Neutro x Fase T = 86 mA

PRUMADA 02:

Fase R x Terra = 97 mA
Fase S x Terra = 49 mA
Fase T x Terra = 55 mA
Neutro x Terra = 70 mA

Fase R x Fase S = 46 mA
Fase S x Fase T = 57 mA
Fase T x Fase R = 56 mA

Neutro x Fase R = 68 mA
Neutro x Fase S = 38 mA
Neutro x Fase T = 30 mA

*Grandeza das medições tensão aplicada: mA = mili Ampére

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- É crucial proteger o barramento contra umidade e contato com água. Caso ocorra contato com água, deve-se solicitar um novo laudo para atestar a integridade dos valores encontrados. Estes cuidados garantem a operação segura e eficiente do sistema elétrico.

ANEXO D – Relatório técnico: Laudo Busway 4, com dados do cliente ocultados

Informações da Unidade

Dados de Identificação

[redacted]

Classificação: *Condomínio Residencial*
Razão Social: [redacted]
CNPJ: [redacted]
Endereço: [redacted]
RT da Unidade: [redacted]
Data do Ensaio: *11/07/2025 - 9:00h*

[redacted]

OBJETIVO

Estabelecer as características, procedimentos e condições mínimas para aceitação de linhas elétricas pré-fabricadas, conhecidas como barramentos blindados (Bus-Way) em prumadas de edificações residenciais e/ou comerciais, em trechos de energia não medida, de instalações de unidades consumidoras atendidas pela Copel.

IDENTIFICAÇÃO DOS BARRAMENTOS

PRUMADA 01
FABRICANTE: MAXBAR
TENSÃO: 1000V
FREQUENCIA: 50/60 Hz
COMPRIMENTO: 54 METROS
CORRENTE: 1250A
IEC - 61-439-6
LOTE: 3029

PRUMADA 02
FABRICANTE: MAXBAR
TENSÃO: 1000V
FREQUENCIA: 50/60 Hz
COMPRIMENTO: 84 METROS
CORRENTE: 3200A
IEC - 61-439-6
LOTE: 3029





O sistema de distribuição de energia do Edifício é composto por dois barramentos blindados tipo "bus-way" com capacidade de 1250A e 3200A, operando a 127V (fase/neutro) e 220V (fase/fase). Estes barramentos se estendem verticalmente desde o quadro geral no térreo até o 18º andar através de duas prumada.

Laudo Busway 03

Ensaio de

Resistência de Isolamento

Para garantir a integridade do sistema elétrico do Edifício, foram realizadas medições de isolamento utilizando um Megôhmetro com saída de tensão de 1000V. As medições abrangeram os seguintes pontos críticos:

- **Entre Fases:** Verificação do isolamento entre as fases para assegurar que não há falhas ou degradação que possam comprometer o desempenho do sistema.
- **Entre Fases e Neutro:** Avaliação do isolamento entre cada fase e o neutro, garantindo que não há fugas de corrente que possam causar mau funcionamento ou riscos de segurança.
- **Entre Cada Fase e Neutro contra a Terra (Carcaça):** Medição da resistência de isolamento entre cada fase e a terra (carcaça), essencial para detectar possíveis caminhos de corrente indesejados que possam resultar em choques elétricos ou danos ao equipamento.

Essas medições são fundamentais para confirmar a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, detectando precocemente qualquer anomalia que possa comprometer a operação segura do edifício.

> VALORES ENCONTRADO

PRUMADA 01:

Fase R x Terra = 1,3 GΩ
Fase S x Terra = 1,1 GΩ
Fase T x Terra = 0,8 GΩ
Neutro x Terra = 0,9 GΩ

Fase R x Fase S = 1,2 GΩ
Fase S x Fase T = 1,4 GΩ
Fase T x Fase R = 1,5 GΩ

Neutro x Fase R = 2,4 GΩ
Neutro x Fase S = 2,1 GΩ
Neutro x Fase T = 1,4 GΩ

PRUMADA 02:

Fase R x Terra = 1,0 GΩ
Fase S x Terra = 1,0 GΩ
Fase T x Terra = 0,80 GΩ
Neutro x Terra = 0,70 GΩ

Fase R x Fase S = 1,3 GΩ
Fase S x Fase T = 4,6 GΩ
Fase T x Fase R = 2,8 GΩ

Neutro x Fase R = 0,8 GΩ
Neutro x Fase S = 2,7 GΩ
Neutro x Fase T = 2,8 GΩ

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

APROVADO

Os valores obtidos em todas as medições estão em conformidade com as normas técnicas vigentes.

*Grandeza das medições resistência de isolação: MΩ = Mega Ohms
GΩ = Giga Ohms

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- É crucial proteger o barramento contra umidade e contato com água. Caso ocorra contato com água, deve-se solicitar um novo laudo para atestar a integridade dos valores de isolamento. Estes cuidados garantem a operação segura e eficiente do sistema elétrico.

Ensaio de

Tensão Aplicada

Para garantir a integridade e a segurança do sistema elétrico do Edifício, foram realizadas medições de isolamento utilizando o equipamento Hipot. O Hipot foi empregado para testar o isolamento entre fases e neutro, bem como entre cada fase e neutro contra a terra (carcaça). As especificações e procedimentos de teste foram os seguintes:

- **Tensão do Ensaio:** 1600 V para sistemas de 127/220 V
- **Tempo de Aplicação:** 5 segundos por teste
- **Resultado Esperado:** Não deve haver perfurações ou descargas

Essas medições são fundamentais para confirmar a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, detectando precocemente qualquer anomalia que possa comprometer a operação segura do edifício.

> VALORES ENCONTRADO

PRUMADA 01:

Fase R x Terra = 81 mA
Fase S x Terra = 91 mA
Fase T x Terra = 99 mA
Neutro x Terra = 103 mA

Fase R x Fase S = 97 mA
Fase S x Fase T = 96 mA
Fase T x Fase R = 71 mA

Neutro x Fase R = 94 mA
Neutro x Fase S = 72 mA
Neutro x Fase T = 86 mA

PRUMADA 02:

Fase R x Terra = 97 mA
Fase S x Terra = 49 mA
Fase T x Terra = 55 mA
Neutro x Terra = 70 mA

Fase R x Fase S = 46 mA
Fase S x Fase T = 57 mA
Fase T x Fase R = 56 mA

Neutro x Fase R = 68 mA
Neutro x Fase S = 38 mA
Neutro x Fase T = 30 mA

ENSAIO DE TENSÃO APLICADA

APROVADO

Os valores obtidos em todas as medições estão em conformidade com as normas técnicas vigentes.

*Grandeza das medições tensão aplicada: mA = mili Ampére

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- É crucial proteger o barramento contra umidade e contato com água. Caso ocorra contato com água, deve-se solicitar um novo laudo para atestar a integridade dos valores encontrados. Estes cuidados garantem a operação segura e eficiente do sistema elétrico.

Esta obra está licenciada com Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.