

## ANÁLISE TÉCNICA COMPARATIVA DO USO DE BARRAMENTO BLINDADO E SISTEMA CONVENCIONAL DE CABEAMENTO

Ilton Prado Bueno<sup>1</sup> e Fabio Rodrigo Milanez<sup>2</sup>

### RESUMO

Este artigo apresenta uma análise técnica comparativa entre o sistema de cabo convencional e barramento blindado, com foco nos aspectos de eficiência, queda de tensão e custos envolvidos. Os resultados indicam que, no estudo proposto, o cabo convencional se mostra mais eficiente, especialmente em trajetos curtos, além disso, os custos associados ao uso de cabo convencional são inferiores ao de barramento blindado, isso se deve ao menor preço por metro do cabo em relação ao custo por metro do barramento blindado. Embora o barramento blindado ofereça vantagens como área de ocupação menor, custo de mão de obra de instalação menor e queda de tensão menor, o cabo convencional destaca-se no estudo proposto como uma solução mais econômica em relação ao custo-benefício, fator este que determinou sua seleção para estudo proposto.

**Palavras-chave:** cabo convencional, barramento blindado, cobre, alumínio, baixa tensão, queda de tensão, custos, ocupação, edificação.

### ABSTRACT

This article presents a comparative technical analysis between the conventional cable system and the shielded busbar, focusing on the aspects of efficiency, voltage drop and costs involved. The results indicate that, in the proposed study, the conventional cable is more efficient, especially in short distances. Furthermore, the costs associated with the use of conventional cable are lower than those of the shielded busbar, this is due to the lower price per meter of the cable. Although the shielded busbar offers advantages such as area occupied and lower installation labor costs, the conventional cable stands out in the proposed study as a more economical and efficient solution in relation to cost-benefit and voltage drop, factors that determine the performance of the electrical installation.

**Keywords:** conventional cable, shielded busbar, copper, aluminum, low voltage, voltage drop, costs, occupation, building.

---

<sup>1</sup> UniSenaiPR e-mail: [iltonbueno@gmail.com](mailto:iltonbueno@gmail.com)

<sup>2</sup> UniSenaiPR e-mail: [fabio.milanez@sistemafiep.org.br](mailto:fabio.milanez@sistemafiep.org.br)

## **1 INTRODUÇÃO**

A geração e distribuição de energia elétrica como conhecemos nos dias de hoje, teve seu início há muito tempo, por volta de 1879, sendo considerado um marco na história da humanidade, quando Thomas Alva Edison por consequência de necessidades da população e da indústria em geral, construiu a primeira central elétrica para distribuição de energia na cidade de Nova Iorque (PUERTAS; NOGUEIRA, 2017).

No Brasil também havia a necessidade da aplicação da energia elétrica com a crescente demanda das indústrias, serviços públicos e sociais. Na América do Sul tivemos a cidade de Campos, no Rio de Janeiro, em 1883, com o primeiro sistema de iluminação pública do país e das Américas (HASEN OLIVEIRA, 2012. PUERTAS; NOGUEIRA, 2017).

Segundo HANSEN (2019), no mercado energético brasileiro, muitos projetistas elétricos vêm encontrando uma forma de elevar a eficiência do sistema elétrico na distribuição em baixa tensão de empreendimentos verticais, visando melhorias nos equipamentos para distribuição de energia elétrica.

O ponto de entrega de energia elétrica acontece na entrada de serviço, local onde a concessionária local distribuidora faz a medição e a proteção do sistema elétrico, tanto a montante para proteger a sua rede, quanto a jusante sentida carga, para dentro da unidade consumidora (ANEEL, 2021).

Após a entrada de serviço, o sistema interno de cabeamento segue para o quadro de distribuição principal que é formado por cabos isolados e protegidos, conforme a NBR 5410 (2004), onde o limite de tensão é de 1000V em corrente alternada e 1500V corrente contínua (ZIMMERMANN, 2019).

No início do século XX, Henry Ford, empresário do ramo automobilístico, precisaria substituir os motores de sua indústria, e percebeu que teria problemas com seus condutores convencionais, onde a substituição dos mesmos seria inviável economicamente, com perda de tempo e desperdício de materiais. Ford então teve a ideia de barras de distribuição de energia com módulos para derivações e acessos

em qualquer ponto da sua fábrica, fazendo a troca gradativamente do sistema antigo de cabeamento, criando o barramento blindado (MOREIRA, 2022).

O Barramento Blindado é um sistema elétrico pré-fabricado com barramentos constituídos de cobre eletrolítico ou de alumínio, tendo um invólucro externo, com meios de fixação, tendo o recurso também com módulos de derivação, para distribuir energia elétrica nas edificações (COPEL, 2021).

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Nos últimos anos pode-se observar a crescente inserção de um sistema de distribuição de energia elétrica em edifícios de uso coletivo residencial e comercial em baixa tensão, o barramento blindado, que vem tomando lugar do já existente e tradicional sistema de cabeamento nas instalações elétricas, na qual tem suas particularidades em relação ao cabo, como curto espaço de ocupação na área a ser instalada, um sistema mais otimizado com suas peças pré-fabricadas facilitando sua instalação, boa condutividade. Sendo assim, ouve-se a necessidade de avaliar o sistema de barramento blindado em relação ao cabo convencional, para trazer tudo aquilo que abrange esse sistema e fazer uma análise técnica e comparativa em relação ao cabo convencional.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a viabilidade do uso de barramento blindado “Busway” com o uso de sistema de cabo convencional em empreendimento vertical de uso coletivo atendido em baixa tensão.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Analisar a viabilidade técnica e econômica do uso desses sistemas;

Verificar a eficiência dos sistemas quando aplicado em uma edificação de uso coletivo;

Identificar critérios do Sistema proposto conforme regimento da concessionária local;

Fazer comparação de queda de tensão entre os sistemas na distância indicada no estudo;

Analisar os custos de mão de obra e materiais dos sistemas de barramento blindado em comparação a cabo convencional;

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Para a elaboração da pesquisa, será necessário conceituar alguns tópicos para melhor entendimento do estudo apresentado, como: transmissão de sistemas elétricos; materiais aplicados; barramentos blindados e cabos; padrões normativos nacionais e padrões aplicados as concessionárias de energia. Explicitar o método utilizado e comparar os sistemas com embasamento técnico afim de demonstrar qual sistema de distribuição apresenta maior eficiência.

Nesse trabalho será considerado que a geração (fonte) será a partir do transformador rebaixador de tensão (média para baixa tensão), desprezando todas as variações elétricas antes desse ponto, como o sistema elétrico interligado, fluxos de potência, associação em paralelo de fontes e geradores.

Será considerada uma carga distribuída na edificação internamente, sendo adotada um fator de potência de 0,92 de acordo com a agência nacional de energia elétrica (ANEEL, 2021).

Em relação a tensão de linha, é conhecido que as características locais influenciam o nível de fornecimento de tensão. Observa-se que há uma variação na tensão nos pontos de entrega das concessionárias, decorrente de mudanças no carregamento da rede ao longo do dia, entre outros fatores. Para simplificação, esse parâmetro será tratado como uma grandeza fixa.

#### **3.1 TRANSFORMADOR**

Um transformador é formado por dois ou mais enrolamentos que estão interligados através de um campo magnético compartilhado. Quando um desses enrolamentos, conhecido como primário, é ligado a uma fonte de corrente alternada, um fluxo magnético variável é gerado. A intensidade desse fluxo é determinada pela tensão aplicada no primário, pela frequência da corrente e pela quantidade de espiras

no enrolamento. Parte desse fluxo, chamado de fluxo mútuo, envolve o segundo enrolamento (secundário), induzindo nele uma tensão. Essa tensão induzida varia conforme o número de espiras do secundário, a intensidade do fluxo magnético comum e a frequência da corrente. Ao ajustar a proporção entre as espiras do primário e do secundário, é possível obter diferentes relações de tensão, também chamadas de relação de transformação (UMAN, 2014).

Podemos observar na figura 1 a imagem de um transformador de alta para média tensão.

Figura 1: Transformador da subestação igapó 138KV.



Fonte: Do autor (2024).

Por definição, potência elétrica é caracterizada como a rapidez com que um trabalho é realizado, absorvendo uma carga. De forma prática para fins de cálculo é dada pela multiplicação entre a tensão aplicada e a corrente elétrica do mesmo circuito (OLIVEIRA; SCHMIDT; KAGAN; ROBBA, 2000).

Dada na equação (1) abaixo:

$$P = V * I \quad (1)$$

Onde:

*P*: potência (watts, W);

*V*: tensão (volts, V);

*I*: corrente elétrica (amperes, A);

### **3.2 SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)**

Segundo o operador nacional do sistema elétrico (NOS 2025), o sistema de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil tem como força as usinas hidrelétricas com diferentes proprietários, e é composto de forma Hidro-Termo-Eólico de grande porte. O Sistema Interligado Nacional é integrado por quatro subsistemas: Norte/Nordeste, Sudeste/Centro-Oeste e sul.

A conexão dos sistemas elétricos, proporciona a entrega de energia em subsistemas, por meio da malha de transmissão, que permite ganhos e estuda ainda diversos regimes hidrológicos das bacias. Contudo, a integração desses recursos, da geração, interligação, transmissão e distribuição, concede o atendimento ao mercado energia eficiente e com segurança.

A matriz de geração de energia elétrica do sistema interligado nacional (SIN) é de sua maioria composta por usinas hidrelétricas, distribuída em dezesseis bacias hidrográficas em diversas regiões do país. Nos últimos anos, teve um crescimento expressivo nas instalações de usinas eólicas, em sua maioria, nas regiões Nordeste e sul, aumentando sua importância no fornecimento energético. As usinas térmicas, instaladas em sua maioria próximos aos centros de grande demanda, desempenha um papel estratégico fundamental, auxiliando para a segurança do sistema. Seu acionamento ocorre de forma a depender das condições hidrológicas, ajudando na gestão dos reservatórios das hidrelétricas para o fornecimento em situações ocasionais de emergência e futuras. Já os sistemas de transmissão interligam as diferentes fontes de geração, viabilizando o atendimento ao mercado consumidor.

### **3.3 TRANSMISSÃO**

A transmissão de energia elétrica ocorre principalmente por meio da condução de corrente em materiais metálicos altamente condutivos. No entanto, há uma grande variedade de fatores envolvidos, como os tipos de materiais utilizados, os métodos de instalação, e suas propriedades físicas e químicas (HANSEN, 2019).

Além disso, é essencial considerar as propriedades elétricas fundamentais desses condutores, tais como resistividade, condutividade e capacidade de

Na figura 2 podemos analisar como é a interligação das gerações de energia elétrica no Brasil.

**Legenda**

| Existente  | Futura | Complexo       |
|------------|--------|----------------|
| 138 kV     | —      | A Paraná       |
| 230 kV     | —      | B Pernambuco   |
| 345 kV     | —      | C Piauí        |
| 440 kV     | —      | D Paraíba      |
| 500 kV     | —      | E Paulo Afonso |
| 750 kV     | —      |                |
| 1800 kV cc | —      |                |
| 1800 kV cc | —      |                |

● Centro de Carga  
● Pontos de interconexão existentes

### 3.4 DISTRIBUIÇÃO

Os sistemas de distribuição de energia elétrica normalmente fazem parte do sistema elétrico de potência. Sua definição compreende desde a subestação rebaixadora de distribuição até os pontos de conexão dos consumidores finais (VASCONCELOS, 2017).

A Rede de Distribuição Primária opera em média tensão, que no Brasil corresponde a 13,8 kV. Ela abrange a subestação de distribuição, também chamada de subestação primária, e os alimentadores primários.

Já a Rede de Distribuição Secundária funciona em baixa tensão, que no Brasil corresponde a 220/127V ou 380/220V. Ela inclui os transformadores de distribuição, os alimentadores secundários e os ramais de serviço ou de ligação.

### 3.5 SUBESTAÇÃO

Uma subestação é um conjunto de equipamentos, dispositivos e condutores projetados para modificar as características da energia elétrica, como tensão e corrente, possibilitando sua distribuição elétrica aos pontos de consumo em níveis apropriados para uso (MAMEDE, 2021).

A Subestação Central de Transmissão em sua maioria instalada próximo as usinas geradoras de energia, com o papel de elevar a tensão vindo dos geradores de energia, proporcionando a transmissão da potência gerada até os principais centros de consumo.

A Subestação Receptora situada próximo aos grandes centros de consumo, conectada por uma linha de transmissão a uma subestação central ou a uma subestação receptora intermediária.

A Subestação de Consumidor instalada em propriedade privada, provida por alimentadores de distribuição primários provenientes das subestações de subtransmissão, responsáveis por abastecer energia de modo direto aos pontos finais de consumo.

Na figura 3 podemos observar uma instalação de subestação de energia elétrica.

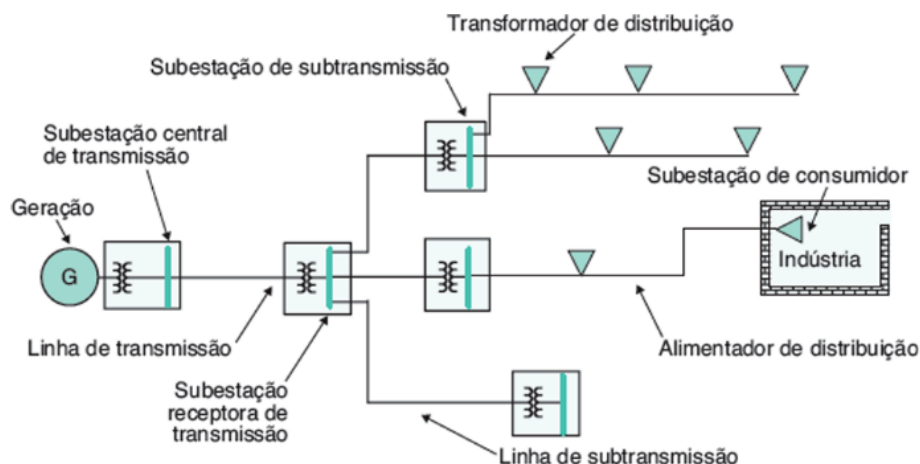
Figura 3: Subestação igapó 138KV.



Fonte: Do autor (2024).

Na figura 4 é possível perceber de forma mais simplificada um diagrama, desde a geração de energia até as cargas consumidoras.

Figura 4: Sistema simplificado de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.



Fonte: (MAMEDE 2021).

Contudo, as concessionárias de energia elétrica normalmente possuem normas próprias para construção das subestações de consumidores, determinando critérios, instruções de projetos, proteção, aterramento. Todas as concessionárias disponibilizam normas para o fornecimento em tensão primárias e secundária, que tem como referência a NBR 14039 – Instalações elétricas em média tensão (MAMEDE, 2021).

### 3.6 PRUMADA ELÉTRICA

Segundo rosa (2022) A prumada elétrica é um vão vertical utilizado como caminho principal para a passagem das conexões elétricas entre diferentes níveis de um edifício. Em construções de uso coletivo, esse espaço geralmente interliga os quadros de medição aos quadros de distribuição localizados nos apartamentos.

As prumadas elétricas devem ser instaladas somente em áreas comuns do condomínio, sendo proibida sua colocação em paredes internas dos apartamentos. Além disso, quando a alimentação elétrica dos apartamentos for realizada por cabos, estes devem estar acomodados em eletrodutos exclusivos.

### 3.7 CABO CONVENCIONAL

Desde os primeiros projetos, os materiais mais indicados para condutores foram o cobre e o alumínio. Porém, o cobre acabou sendo empregado quase que de forma exclusiva, por apresentar características como alta resistência, boa maleabilidade e ductilidade, excelente condutividade elétrica e um custo relativamente acessível (CANDIDO, CHAVES, SANTOS 2022).

Os condutores passaram por uma grande evolução desde a década de 1880, impulsionada pela crescente demanda por transmissão de potências mais elevadas a longas distâncias. Essa evolução também teve como objetivo aumentar a durabilidade dos condutores e melhorar a segurança das instalações elétricas (CANDIDO, CHAVES, SANTOS 2022).

Na tabela 1 temos marcos importantes ao longo do tempo na evolução do cabo convencional.

Tabela 1: Marcos importantes na evolução dos cabos.

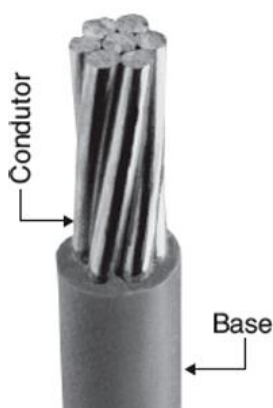
| <b>Data</b> | <b>Acontecimento</b>                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anos 1880   | Primeiro cabo com isolamento de gutta percha, seguido de borracha e betume vulcanizado                                                                                                                                                                     |
| 1890        | Cabo tubular Ferrantini 10 kV, e início da utilização de isolamento de papel                                                                                                                                                                               |
| 1926        | Princípio de pressurização com fluido para cabos com isolamento de papel e tensão de 66 kV em diante                                                                                                                                                       |
| Anos 1950   | Introdução do PVC para uso comercial, e utilização gradual de cabos de alumínio                                                                                                                                                                            |
| Anos 1970   | Extensão gradual do uso de cabos com isolamento termofixo, principalmente XLPE, como alternativa para isolamento de papel                                                                                                                                  |
| Anos 1980   | Descoberta dos materiais supercondutores de altas temperaturas<br>Melhorias das propriedades dos cabos quando submetidos à fogo, tais como propagação reduzida de chamas, baixa emissão de fumaça e emissão reduzida de gases corrosivos e vapores nocivos |
| Anos 1990   | Maior uso de polímeros para aplicações de extra alta tensão<br>Demonstrações práticas dos cabos supercondutores                                                                                                                                            |

Fonte: (CANDIDO, CHAVES, SANTOS 2022).

Os fios e cabos aplicam diversos tipos de materiais isolantes, sendo os mais comuns o PVC (cloreto de polivinila), o EPR (etileno-propileno) e o XLPE (polietileno reticulado). Cada um desses compostos tem propriedades químicas, elétricas e mecânicas distintas, o que determina sua aplicação em situações específicas (MAMEDE, 2021).

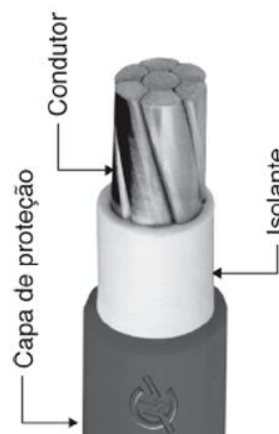
Além disso, os condutores são considerados isolados quando apresentam apenas uma camada de material isolante, sem nenhuma proteção adicional. Já os condutores denominados unipolares possuem uma camada isolante revestida por uma capa protetora, geralmente feita de PVC. As Figuras 5 e 6 ilustram, respectivamente, um cabo de cobre com isolação em PVC e um cabo de cobre unipolar, também com isolação em PVC (MAMEDE, 2021).

Figura 5: Cabo isolado



Fonte: (MAMADE 2021).

Figura 6: Cabo unipolar.



Fonte: (MAMADE 2021).

### 3.8 BARRAMENTO BLINDADO

O barramento blindado tem como objetivo conduzir e distribuir a energia elétrica de forma eficaz, sendo capaz de alternar com os tradicionais sistemas de cabeamento convencional, principalmente quando sua utilização oferece mais benefícios. O revestimento do barramento blindado é fabricado em alumínio, como mostra as figuras 7 e 8, o que dificulta a formação de correntes parasitas, também conhecidas como correntes de Foucault. Isso impede o superaquecimento do invólucro e favorece para uma maior eficiência na condução de corrente elétrica.

As estruturas do barramento são produzidas com chapas de aço galvanizado, e logo em seguida recebe uma pintura (em pó ou à base de poliéster), garantindo maior resistência às condições climáticas e melhor isolamento elétrico contra objetos estranhos. Essas características fazem do barramento blindado uma solução segura, durável, compacta e versátil (ZIMMERMANN, 2019).

Figura 7: Barramento blindado com derivação.



Fonte: Do autor (2025).

Figura 8: Barramento blindado.



Fonte: Do autor (2025).

## 4 METODOLOGIA

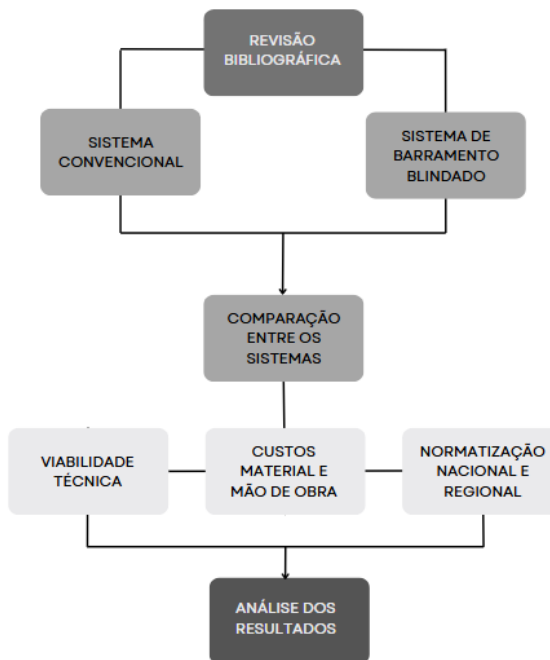
A pesquisa em questão adota uma abordagem técnica, comparativa e aplicada, de caráter quantitativo e qualitativo, visando analisar a viabilidade do uso do barramento blindado em comparação ao sistema convencional de cabeamento.

Este estudo foi desenvolvido mediante a análise de aspectos importantes para comparação entre os sistemas de barramento blindado de alumínio e cabeamentos de cobre. Sendo eles aspectos técnicos, econômicos e normativos, a fim de diferenciar a solução mais eficiente e apropriada para aplicações em sistemas de distribuição elétrica predial de uso coletivo.

Este trabalho terá como base um estudo de caso de um edifício de uso coletivo de quatorze pavimentos, com oito apartamentos por andar, tendo altura de uma laje a outra de três metros. Com carga demandada de 11.089 W por apartamento, será desenvolvido um projeto elétrico, considerando a partir do Quadro Distribuição Geral (QDG) até os quadros de medição localizados nos pavimentos, por meio do sistema convencional de cabeamento, e, em seguida, utilizando o sistema de barramento blindado.

Para atingir os objetivos propostos, a metodologia foi estruturada no fluxograma da figura 9, nas seguintes etapas:

Figura 9: Fluxograma da metodologia de pesquisa.



Fonte: Do autor (2025).

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 CÁLCULO DE DEMANDA

Utilizaremos a NTC 900600 da COPEL (2013) na qual trás instruções para cálculo da demanda em edifícios de uso coletivo. A demanda considerada para determinação do tipo de fornecimento será a demanda total do conjunto, que é a soma da demanda dos apartamentos. Como já temos o valor, será dada a equação da seguinte forma:

$$W_{total} = W * N^{\circ} \text{ aptos} \quad (2)$$

Onde:

$W_{total}$  = Potência total;

$W$  = Watts;

$N^{\circ} \text{ aptos}$  = Número de apartamentos;

Sendo assim, para o cálculo da potência total de todos os apartamentos utilizaremos a equação (2):

$$W_{\text{total}} = 11089 * 8 = 88712 \text{ W}$$

Sabendo o  $W_{\text{total}}$  dos apartamentos de um pavimento, temos a potência total do pavimento chamado carga instalada ( $C_i$ ). Logo seguiremos para a carga demandada ( $C_d$ ) do pavimento no Centro de Medição (CM), o resultado da equação é dado em Watts (W), aplicando o fator de demanda ( $F_d$ ), para este estudo será aplicado o valor de 40%, tendo:

$$C_d (\text{W}) = C_i * F_d \quad (3)$$

Onde:

$C_d$  = Carga demandada;

$C_i$  = Carga instalada;

$F_d$  = Fator de demanda;

Para o cálculo da carga demandada no centro de medição (CM) utilizaremos a equação (3):

$$\text{Carga demandada} = 88712 * 40\% = 35.484,8 \text{ W}$$

Conhecendo a carga demandada do centro de medição (CM) de um dos pavimentos, conseguiremos obter a partir desse resultado a carga de total do edifício, no caso proposto de 14 pavimentos.

Para esta situação teremos que multiplicar a carga demandada do centro de medição (CM) pelo número de pavimentos. Teremos:

$$W_{\text{total do edifício}} = C_d (\text{CM}) * N^{\circ} \text{ pav.} \quad (4)$$

Onde:

$W_{\text{total do edifício}}$  = Potência total do edifício;

$C_d (\text{CM})$  = Carga demandada do centro de medição;

$N^{\circ} \text{ pav.}$  = Número de pavimentos;

Para o cálculo da Potência total do edifício, utilizaremos a equação (4).

$$W_{\text{total do edifício}} = 35484,8 * 14 = 496.787,2 \text{ W}$$

Sabendo a potência total do edifício, iremos calcular a carga instalada, na qual se encontra o Quadro Geral de Distribuição (QGD). Para esse cálculo iremos inserir o fator de demanda do edifício, que no estudo proposto será de 23%. Teremos:

$$C_i \text{ Torre} = W_{\text{total do edifício}} * F_d \quad (5)$$

Onde:

Ci torre = Carga instalada da torre;

Wtotal do edifício = Potência total do edifício;

Fd = Fator de demanda;

Para o cálculo da carga instalada da torre no Quadro geral de distribuição, utilizaremos a equação (5).

$$Ci \text{ torre} = 496.787,2 * 23\% = 1.142.610,56 \text{ W}$$

Sabendo a carga instalada do edifício, iremos calcular a carga demandada, na qual se encontra o quadro geral de distribuição (QGD). Para esse cálculo iremos inserir o fator de demanda, que no estudo proposto será de 15%. Teremos:

$$Cd \text{ Torre} = Ci * Fd \quad (6)$$

Onde:

Cd torre = Carga demanda da torre;

Ci = carga instalada;

Fd = Fator de demanda;

Para o cálculo da carga demandada, utilizaremos a equação (6).

$$Cd \text{ torre} = 1.142.610,56 * 15\% = 171.391.584 \text{ W} = 171,4 \text{ KW}$$

## **5.2 PROTEÇÃO DA PRUMADA ELÉTRICA**

A Lei de Ohm, expressada pela equação  $V=I \cdot R$ , é essencial para o dimensionamento adequado de dispositivos de proteção em circuitos elétricos. Essa fórmula permite calcular a corrente que passará por um circuito com base na resistência dos fios e na tensão aplicada, sendo fundamental para selecionar o disjuntor correto. O objetivo é garantir que o dispositivo interrompa o fluxo de corrente de maneira segura em situações de sobrecarga ou curto-circuito, protegendo assim o sistema elétrico.

Para o caso proposto, seguindo a mesma fórmula da lei de Ohm, mas adaptada, pois, temos como referência a potência e a tensão para o cálculo do dimensionamento do disjuntor, teremos:

$$I = \frac{W}{V * \sqrt{3}} \quad (7)$$

Onde:

I = Corrente (A);

W = potência (W);

V = Tensão (V);

Para o cálculo do disjuntor geral da prumada elétrica, será utilizada a equação (7):

$$I = 171.400 / (220 * \sqrt{3}) = 449,8 \text{ A}$$

Como no mercado não existe a comercialização de disjuntor na corrente do resultado acima, devemos levar em consideração que o disjuntor a ser definido deve ser superior, conforme orientação da norma ABNT NBR 5410 (2004), logo teremos um disjuntor de 500A para proteção do nosso circuito de prumada.

### **5.3 QUEDA DE TENSÃO**

Para cabo convencional, de acordo com a norma ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004), a queda de tensão é um dos fatores considerados no dimensionamento de circuitos elétricos de baixa tensão. Assim, em qualquer ponto de consumo da instalação, essa queda não deve ultrapassar os limites estabelecidos em relação à tensão nominal do sistema (NBR 5410, 2004).

6.2.7.1 Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

- a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio;

No item 4.6 da NTC 901110 da COPEL (2020), também nos traz limitações sobre a queda de tensão na qual este trabalho tem como base.

A queda de tensão admissível no trecho entre o ponto de entrega e o ponto de medição, deverá ser de no máximo 2%. Após o ponto de medição, os valores de queda de tensão deverão ser observados pelo responsável técnico do projeto elétrico.

Segundo o Eng. mecânico Fábio Amaral (Engerey, 2015) É necessário calcular a queda de tensão ainda na etapa de projeto, ajustando a bitola dos condutores para que essa queda não ultrapasse os valores máximos permitidos pela NBR-5410. Caso os circuitos principais da instalação ultrapassem 100 metros de extensão, é permitido acrescentar 0,005% à queda de tensão para cada metro excedente, desde que o incremento total não supere 0,5% (NBR 5410, 2004).

Formulário para calcular a queda de tensão, tendo como base a equação (8).

$$\Delta V(\%) = \frac{L * K * I_p}{10 * V} \quad (8)$$

$$L = \frac{\Delta V(\%) * 10 * V}{K * I_p} \quad (9)$$

$\Delta V(\%)$  = Queda de tensão percentual;

L = comprimento máximo (metros);

K = queda de tensão unitária (V/A.km);

$I_p$  = Corrente de projeto (ampères);

V = Tensão nominal da linha (volts);

Já no barramento blindado, segundo a COPEL (2021) na NTC 901111 no item 7.1 em diante, também nos traz as seguintes informações para queda de tensão:

7.1.1 A máxima queda de tensão admissível no trecho entre o ponto de entrega e o ponto de medição, considerando a carga concentrada trecho a trecho, deverá ser de no máximo 2%.

7.1.2 Os valores correspondentes às resistências em corrente alternada, a temperatura de operação, e as reatâncias dos barramentos blindados deverão ser levantados nas tabelas com características técnicas dos mesmos, preenchida e assinada pelo fabricante.

As quedas de tensões em barramentos deverão ser calculadas através das seguintes fórmulas, dada na equação (10).

|                                   |                                                  |                                                   |      |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------|
| $Z = R * \cos\phi + X * \sin\phi$ | $\Delta V_{3f} = \sqrt{3} * L * Z * I * 10^{-3}$ | $\Delta V(\%)_{(3f)} = \frac{\Delta V_{(3f)}}{V}$ | (10) |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------|

Onde:

R: Resistência de fase, em corrente alternada e a temperatura de operação, do barramento blindado, em mΩ/m;

X: Reatância de fase do barramento blindado, em mΩ/m;

Z: Impedância de fase do barramento blindado, em mΩ/m;

Cos  $\phi$ : Fator de potência;

L: Comprimento do trecho de barramento blindado, em m;

I: Corrente da carga máxima do trecho, em A;

$\Delta V(3f)$ : Queda de tensão, na extremidade do trecho, em V;

V: Tensão nominal de fase a fase, em V;

$\Delta V(\%)(3f)$ : Queda de tensão na extremidade do trecho, em porcentagem;

## 5.4 ANÁLISE DA QUEDA DE TENSÃO

Para melhor ilustração na qual mostrará de forma didática e simplificada, a concessionária COPEL fornece de forma gratuita em sua plataforma digital uma planilha na qual é editável tais itens: distância, tensão, corrente, carga instalada, carga demandada, o fator K é dado através de ensaios feitos em laboratório pelos fabricantes, para mostrar a forma a ser seguido o dimensionamento será apresentada as tabelas das figuras 10 e 11, tanto do cabo convencional como para barramento blindado.

Figura 10: Cabo convencional

| Trecho | De           | Para    | DISTÂNCIA<br>(m) | TENSÃO DE<br>FEEDBACK<br>(V) | CORRENTE<br>DO<br>DISJUNTOR<br>(A) | POTÊNCIA<br>DEMANDADA<br>(KW) | NÚMERO<br>DE<br>CIRCUITOS<br>(und) | CORRENTE<br>E POR<br>CIRCUITO<br>(A) | CONDUTORES                       | k<br>(conform<br>e<br>condutor<br>V100mA) | Delta V (%) | Delta V (%)<br>acumulada |
|--------|--------------|---------|------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|-------------|--------------------------|
| 1      | SECCIONADORA | QDG     | 5,00             | 220                          | 500                                | 172                           | 2                                  | 226                                  | 3#185(185)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR | 0,026                                     | 0,1334      | 0,1334                   |
| 2      | QDG          | CONEXÃO | 27,00            | 220                          | 500                                | 172                           | 2                                  | 226                                  | 3#150(150)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR | 0,031                                     | 0,8588      | 0,9921                   |
| 3      | CONEXÃO      | CM1     | 3,00             | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#35(35)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,099                                     | 0,1240      | 1,1162                   |
| 4      | CONEXÃO      | CM2     | 6,00             | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#35(35)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,099                                     | 0,2480      | 1,2402                   |
| 5      | CONEXÃO      | CM3     | 9,00             | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#35(35)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,099                                     | 0,3720      | 1,3642                   |
| 6      | CONEXÃO      | CM4     | 12,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#35(35)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,099                                     | 0,4961      | 1,4882                   |
| 7      | CONEXÃO      | CM5     | 15,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#35(35)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,099                                     | 0,6201      | 1,6122                   |
| 8      | CONEXÃO      | CM6     | 18,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#35(35)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,099                                     | 0,7441      | 1,7362                   |
| 9      | CONEXÃO      | CM7     | 21,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#35(35)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,099                                     | 0,8681      | 1,8603                   |
| 10     | CONEXÃO      | CM8     | 24,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#35(35)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,099                                     | 0,9921      | 1,9843                   |
| 11     | CONEXÃO      | CM9     | 27,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#50(50)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,076                                     | 0,8568      | 1,8490                   |
| 12     | CONEXÃO      | CM10    | 30,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#50(50)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,076                                     | 0,9520      | 1,9442                   |
| 13     | CONEXÃO      | CM11    | 33,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#70(70)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,056                                     | 0,7717      | 1,7638                   |
| 14     | CONEXÃO      | CM12    | 36,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#70(70)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,056                                     | 0,8418      | 1,8340                   |
| 15     | CONEXÃO      | CM13    | 39,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#70(70)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,056                                     | 0,9120      | 1,9041                   |
| 16     | CONEXÃO      | CM14    | 42,00            | 220                          | 125                                | 35                            | 1                                  | 92                                   | 3#70(70)mm2 COBRE ISOLAÇÃO EPR   | 0,056                                     | 0,9821      | 1,9743                   |

Fonte: COPEL (2020).

Figura 11: Fator K de cabo convencional

PLANILHA DE FATOR K PARA CONDUTORES

| ISOLAÇÃO            | CONDUTORES DE COBRE |             |  | ES DE       |
|---------------------|---------------------|-------------|--|-------------|
|                     | PVC                 | EPR/XLPE    |  | XLPE        |
|                     | K                   | K           |  | K           |
| Seção Nominal (mm²) | ( V/100m.A)         | ( V/100m.A) |  | ( V/100m.A) |
| 10                  | 0,317               | 0,320       |  | 0,571       |
| 16                  | 0,203               | 0,205       |  | 0,365       |
| 25                  | 0,133               | 0,134       |  | 0,234       |
| 35                  | 0,098               | 0,099       |  | 0,172       |
| 50                  | 0,076               | 0,076       |  | 0,129       |
| 70                  | 0,055               | 0,056       |  | 0,092       |
| 95                  | 0,043               | 0,043       |  | 0,069       |
| 120                 | 0,036               | 0,036       |  | 0,057       |
| 150                 | 0,031               | 0,031       |  | 0,048       |
| 185                 | 0,027               | 0,026       |  | 0,040       |
| 240                 | 0,023               | 0,021       |  | 0,033       |

Fonte: COPEL (2020).

Podemos observar que a partir da conexão distribuído em todos os pavimentos até o CM8, a bitola do condutor será de 35mm² fase e um de neutro, já o condutor terra será utilizado a tabela 58 da ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004), fala que o condutor fase(S) se tiver bitola de até 35mm², seu conduto terra será de 16mm², acima de 35mm², o condutor terra será metade da fase(S), da conexão aos CMs 9 e 10 a bitola do condutor será de 50mm² fase e um de neutro, e o condutor terra será de 25mm², da conexão aos CMs 11 ao 14 a bitola do condutor será de 70mm² fase e um de neutro, e o condutor terra será de 35mm². Todos os cabos serão de isolação EPR.

Abaixo na figura 12, é apresentada a planilha da copel para o cálculo de queda de tensão em barramento blindado:

Figura 12: Barramento blindado

| Trecho | De           | Para    | DISTÂNCIA<br>(m) | TENSÃO FF<br>(V) | CORRENTE DA PROTEÇÃO<br>(A) | NÚMERO DE CIRCUITO<br>(und) | CORRENTE POR CIRCUITO<br>(A) |                                              | Delta V (%) | Delta V (%)<br>acumulada |
|--------|--------------|---------|------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------------------|-------------|--------------------------|
| 1      | SECCIONADORA | QDG     | 5,00             | 220              | 500                         | 2                           | 250                          | 3x150(150)mm <sup>2</sup> COBRE ISOLAÇÃO EPR | 0,1761      | 0,1761                   |
| 2      | QDG          | CONEXÃO | 27,00            | 220              | 500                         | 2                           | 250                          | 3x150(150)mm <sup>2</sup> COBRE ISOLAÇÃO EPR | 0,9511      | 1,1273                   |
|        |              |         |                  |                  |                             |                             |                              |                                              |             |                          |

| Trecho | De      | Para | Dist. (m) | TENSÃO FF | CARGA<br>(W) | DEMANDA<br>(W) | CORRENTE | k<br>V/100m.A | Delta V (%) | Delta V (%)<br>acumulada |
|--------|---------|------|-----------|-----------|--------------|----------------|----------|---------------|-------------|--------------------------|
| 1      | CONEXÃO | CM1  | 3,00      | 220       | 200          | 172.000        | 450      | 0,0152        | 0,0933      | 1,2205                   |
| 2      | CM1     | CM2  | 3,00      | 220       | 190          | 35.000         | 418      | 0,0152        | 0,0866      | 1,3072                   |
| 3      | CM2     | CM3  | 3,00      | 220       | 163          | 35.000         | 386      | 0,0152        | 0,0800      | 1,3872                   |
| 4      | CM3     | CM4  | 3,00      | 220       | 155          | 35.000         | 354      | 0,0152        | 0,0734      | 1,4606                   |
| 5      | CM4     | CM5  | 3,00      | 220       | 152          | 35.000         | 322      | 0,0152        | 0,0667      | 1,5273                   |
| 6      | CM5     | CM6  | 3,00      | 220       | 135          | 35.000         | 290      | 0,0152        | 0,0601      | 1,5874                   |
| 7      | CM6     | CM7  | 3,00      | 220       | 125          | 35.000         | 258      | 0,0152        | 0,0535      | 1,6409                   |
| 8      | CM7     | CM8  | 3,00      | 220       | 110          | 35.000         | 226      | 0,0152        | 0,0468      | 1,6877                   |
| 9      | CM8     | CM9  | 3,00      | 220       | 97           | 35.000         | 194      | 0,0152        | 0,0402      | 1,7279                   |
| 10     | CM9     | CM10 | 3,00      | 220       | 85           | 35.000         | 162      | 0,0152        | 0,0336      | 1,7615                   |
| 11     | CM10    | CM11 | 3,00      | 220       | 70           | 35.000         | 130      | 0,0152        | 0,0269      | 1,7885                   |
| 12     | CM11    | CM12 | 3,00      | 220       | 60           | 35.000         | 98       | 0,0152        | 0,0203      | 1,8088                   |
| 13     | CM12    | CM13 | 3,00      | 220       | 45           | 35.000         | 66       | 0,0152        | 0,0137      | 1,8225                   |
| 14     | CM13    | CM14 | 3,00      | 220       | 30           | 35.000         | 34       | 0,0152        | 0,0070      | 1,8295                   |

Fonte: COPEL (2020).

No caso do barramento blindado é levado em consideração para sua seleção a corrente inicial do sistema, como podemos observar que da conexão ao CM1 sua corrente é de 450 A, com essa informação, foi selecionado um barramento da fabricante HB Indústrias modelo HBc-A 1000 (Figura 13) para o trabalho proposto, segue as informações técnicas do catálogo da empresa.

Figura 13: Dados técnicos do barramento blindado

BARRAMENTO BLINDADO HBc

Manual de Instruções

X- Dados técnicos.

| Dados Gerais - Condutores em Alumínio                                                                                                                                                                                                  |                             |                                                                                                     |            |            |            |            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Código                                                                                                                                                                                                                                 | -                           | HBc-A 0320                                                                                          | HBc-A 0400 | HBc-A 0630 | HBc-A 0800 | HBc-A 1000 | HBc-A 1250 |
| Corrente nominal em regime contínuo - 40°C (I <sub>n</sub> )                                                                                                                                                                           | A                           | 320                                                                                                 | 400*       | 630*       | 800*       | 1000*      | 1250*      |
| Tensão nominal de operação (U <sub>o</sub> )                                                                                                                                                                                           | V                           | 1000                                                                                                |            |            |            |            |            |
| Tensão nominal de isolamento (U <sub>i</sub> )                                                                                                                                                                                         | V                           | 1000                                                                                                |            |            |            |            |            |
| Tensão de impulso (U <sub>imp</sub> )                                                                                                                                                                                                  | kV                          | 12                                                                                                  |            |            |            |            |            |
| Frequência (f)                                                                                                                                                                                                                         | Hz                          | 50/60                                                                                               |            |            |            |            |            |
| Grau de Proteção                                                                                                                                                                                                                       | IP                          | IP -55                                                                                              |            |            |            |            |            |
| Grau de Poluição                                                                                                                                                                                                                       | -                           | 3                                                                                                   |            |            |            |            |            |
| Proteção de pessoas                                                                                                                                                                                                                    | -                           | invólucro de alumínio aterrado                                                                      |            |            |            |            |            |
| De acordo com norma                                                                                                                                                                                                                    | -                           | IEC 61439-1 . IEC 61439-6                                                                           |            |            |            |            |            |
| Número de condutores                                                                                                                                                                                                                   | -                           | 4 (3F + N + PE na carcaça); 5 (3F + N + PE100%); 4,5 (3F + N + PE50%); 4,5 (3F + N + PE50% externo) |            |            |            |            |            |
| Correntes admissíveis                                                                                                                                                                                                                  |                             |                                                                                                     |            |            |            |            |            |
| Corrente suportável nominal de crista (I <sub>cr</sub> )                                                                                                                                                                               | kA                          | 73.5                                                                                                | 73.5       | 73.5       | 73.5       | 105        | 132        |
| Corrente suportável nominal de curta duração - rms (I <sub>sc</sub> )                                                                                                                                                                  | kA                          | 35                                                                                                  | 35         | 35         | 35         | 50         | 60         |
| Características mecânicas                                                                                                                                                                                                              |                             |                                                                                                     |            |            |            |            |            |
| Peso 3F+N100%                                                                                                                                                                                                                          | Kg/m                        | 11                                                                                                  | 11         | 11         | 11         | 13.5       | 15.5       |
| Peso 3F+N100%+PE100%                                                                                                                                                                                                                   | Kg/m                        | 12                                                                                                  | 12         | 12         | 12         | 15         | 17.5       |
| Seção dos condutores                                                                                                                                                                                                                   | mm²                         | 320                                                                                                 | 320        | 320        | 320        | 480        | 640        |
| Seção equivalente da carcaça, em alumínio                                                                                                                                                                                              | mm²                         | 2010                                                                                                | 2010       | 2010       | 2010       | 2115       | 2220       |
| Dimensões Alt. x Larg. (condutores deitados)                                                                                                                                                                                           | mmxmm                       | 160x105                                                                                             | 160x105    | 160x105    | 160x105    | 160x125    | 160x145    |
| Dimensões Alt. x Larg. (condutores em pé)                                                                                                                                                                                              | mmxmm                       | 105x160                                                                                             | 105x160    | 105x160    | 105x160    | 125x160    | 145x160    |
| Comprimento padrão dos elementos retos                                                                                                                                                                                                 | mm                          | 4000 / 3000 / 2000 / 1000 (comprimentos especiais sob projeto)                                      |            |            |            |            |            |
| Características dos condutores ativos                                                                                                                                                                                                  |                             |                                                                                                     |            |            |            |            |            |
| Seção do condutor                                                                                                                                                                                                                      | mmxmm                       | 40x8                                                                                                | 40x8       | 40x8       | 40x8       | 60x8       | 80x8       |
| Resistência por fase R <sub>ca</sub>                                                                                                                                                                                                   | mΩ/m                        | 0.0958                                                                                              | 0.0958     | 0.0958     | 0.0958     | 0.0723     | 0.0563     |
| Resistência por fase no equilíbrio térmico - R <sub>t</sub>                                                                                                                                                                            | mΩ/m                        | 0.1029                                                                                              | 0.1050     | 0.1126     | 0.1200     | 0.0920     | 0.0720     |
| Reatância por fase - X <sub>i</sub>                                                                                                                                                                                                    | mΩ/m                        | 0.0540                                                                                              | 0.0540     | 0.0540     | 0.0540     | 0.0310     | 0.0220     |
| Impedância por fase - Z <sub>i</sub>                                                                                                                                                                                                   | mΩ/m                        | 0.1162                                                                                              | 0.1181     | 0.1249     | 0.1320     | 0.0970     | 0.0750     |
| Resistência de malha de falta - R <sub>s</sub>                                                                                                                                                                                         | mΩ/m                        | 0.268                                                                                               | 0.268      | 0.268      | 0.268      | 0.206      | 0.160      |
| Reatância de malha de falta - X <sub>s</sub>                                                                                                                                                                                           | mΩ/m                        | 0.171                                                                                               | 0.171      | 0.171      | 0.171      | 0.172      | 0.119      |
| Impedância de malha de falta - Z <sub>s</sub>                                                                                                                                                                                          | mΩ/m                        | 0.318                                                                                               | 0.318      | 0.318      | 0.318      | 0.268      | 0.199      |
| Fator k para cálculo da queda de tensão                                                                                                                                                                                                |                             | cosφ                                                                                                |            |            |            |            |            |
| Queda de tensão por metro e por ampere - ΔV [V/m/A].10 <sup>-3</sup>                                                                                                                                                                   | Carga distribuída no trecho | 0.92                                                                                                | 0.0100     | 0.0102     | 0.0108     | 0.0114     | 0.0084     |
|                                                                                                                                                                                                                                        | Carga concentrada           | 0.92                                                                                                | 0.0201     | 0.0204     | 0.0216     | 0.0228     | 0.0167     |
| Fator k pelo método adotado pela AES Eletropaulo                                                                                                                                                                                       |                             | lproj/ln                                                                                            |            |            |            |            |            |
| Queda de tensão por metro e por ampere para carga concentrada no final do trecho e fração de corrente de projeto em relação à corrente nominal do barramento blindado, para a temperatura ambiente de 35°C ΔV [V/m/A].10 <sup>-3</sup> | 0.5                         | -                                                                                                   | 0.0203     | 0.0207     | 0.0210     | 0.0152     | 0.0117     |
|                                                                                                                                                                                                                                        | 0.6                         | -                                                                                                   | 0.0204     | 0.0209     | 0.0214     | 0.0155     | 0.0119     |
|                                                                                                                                                                                                                                        | 0.7                         | -                                                                                                   | 0.0205     | 0.0212     | 0.0218     | 0.0158     | 0.0122     |
|                                                                                                                                                                                                                                        | 0.8                         | -                                                                                                   | 0.0207     | 0.0215     | 0.0223     | 0.0162     | 0.0126     |
|                                                                                                                                                                                                                                        | 0.9                         | -                                                                                                   | 0.0208     | 0.0218     | 0.0229     | 0.0167     | 0.0130     |
| O método leva em consideração a variação da resistência elétrica em função do carregamento                                                                                                                                             | 1.0                         | -                                                                                                   | 0.0210     | 0.0222     | 0.0234     | 0.0172     | 0.0133     |
| Fatores                                                                                                                                                                                                                                |                             |                                                                                                     |            |            |            |            |            |
| A corrente nominal refere-se a uma temperatura ambiente de 40°C. Para temperaturas ambiente superiores, deve-se utilizar fator de redução                                                                                              | 30 °C                       | 35 °C                                                                                               | 40 °C      | 45 °C      | 50 °C      | 55 °C      |            |
|                                                                                                                                                                                                                                        | 1.10                        | 1.05                                                                                                | 1          | 0.95       | 0.90       | 0.85       |            |
| A corrente nominal pode ser aplicada para o barramento blindado instalado em qualquer posição, tanto no percurso horizontal quanto vertical (prumada)                                                                                  |                             | K= 1                                                                                                |            |            |            |            |            |
|                                                                                                                                                                                                                                        |                             | instalado em prumada ou na horizontal com barras condutoras tanto deitadas quanto em pé             |            |            |            |            |            |

Fonte: HB (2020).

Quando analisamos o parâmetro da queda de tensão dos sistemas de barramento blindado e cabo convencional, foi feita a média simples dos valores de queda de tensão dos pavimentos. Com isso, nota-se que no cabo convencional a queda de tensão cresce de maneira mais significativa, linear, e para que se atenda a

normativa da concessionária, quando a queda de tensão chega próximo de 2%, aumenta-se a bitola do cabo a fim de melhorar a condução de corrente devido ao aumento da distância.

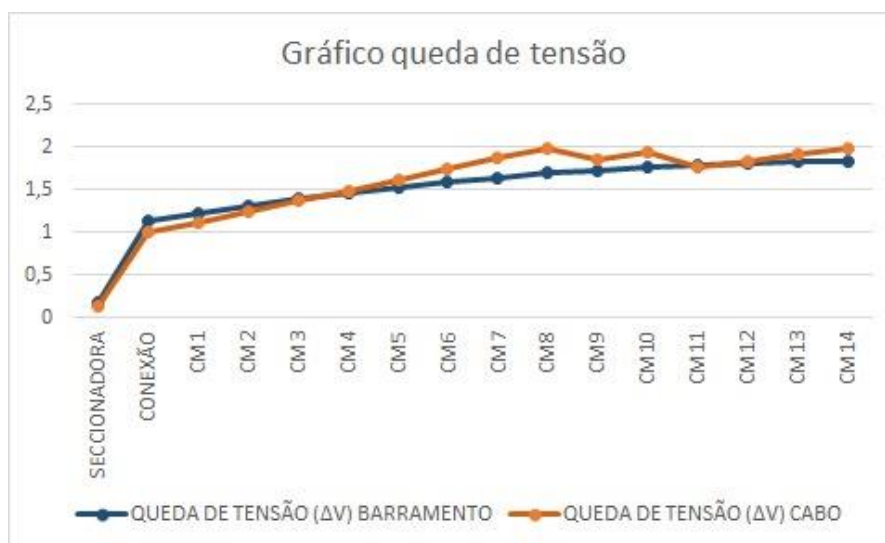
Já no barramento blindado constatamos na tabela 1 que a queda de tensão conforme aumenta a distância, cresce com menor variação entre os centros de medição, isto é, à medida que se aumenta a distância, aumenta a queda de tensão, porém a variação linear é menor, como mostra o gráfico 1.

Tabela 1: Queda de tensão

| QUEDA DE TENSÃO ( $\Delta V$ ) |            |        |
|--------------------------------|------------|--------|
| PAVIMENTO                      | BARRAMENTO | CABO   |
| SECCIONADORA                   | 0,1761     | 0,1334 |
| CONEXÃO                        | 1,1273     | 0,9921 |
| CM1                            | 1,2205     | 1,1162 |
| CM2                            | 1,3072     | 1,2402 |
| CM3                            | 1,3872     | 1,3642 |
| CM4                            | 1,4606     | 1,4882 |
| CM5                            | 1,5273     | 1,6122 |
| CM6                            | 1,5874     | 1,7362 |
| CM7                            | 1,6409     | 1,8603 |
| CM8                            | 1,6877     | 1,9843 |
| CM9                            | 1,7279     | 1,849  |
| CM10                           | 1,7615     | 1,9442 |
| CM11                           | 1,7885     | 1,7638 |
| CM12                           | 1,8088     | 1,834  |
| CM13                           | 1,8225     | 1,9041 |
| CM14                           | 1,8295     | 1,9743 |
| MÉDIA SIMPLES:                 | 1,6113     | 1,6908 |

Fonte: Do autor (2025).

Gráfico 1: Gráfico da queda de tensão

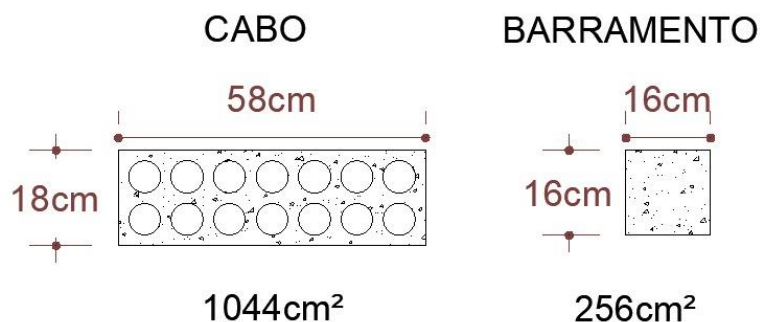


Fonte: Do autor (2025).

## 5.5 ÁREA DE INSTALAÇÃO

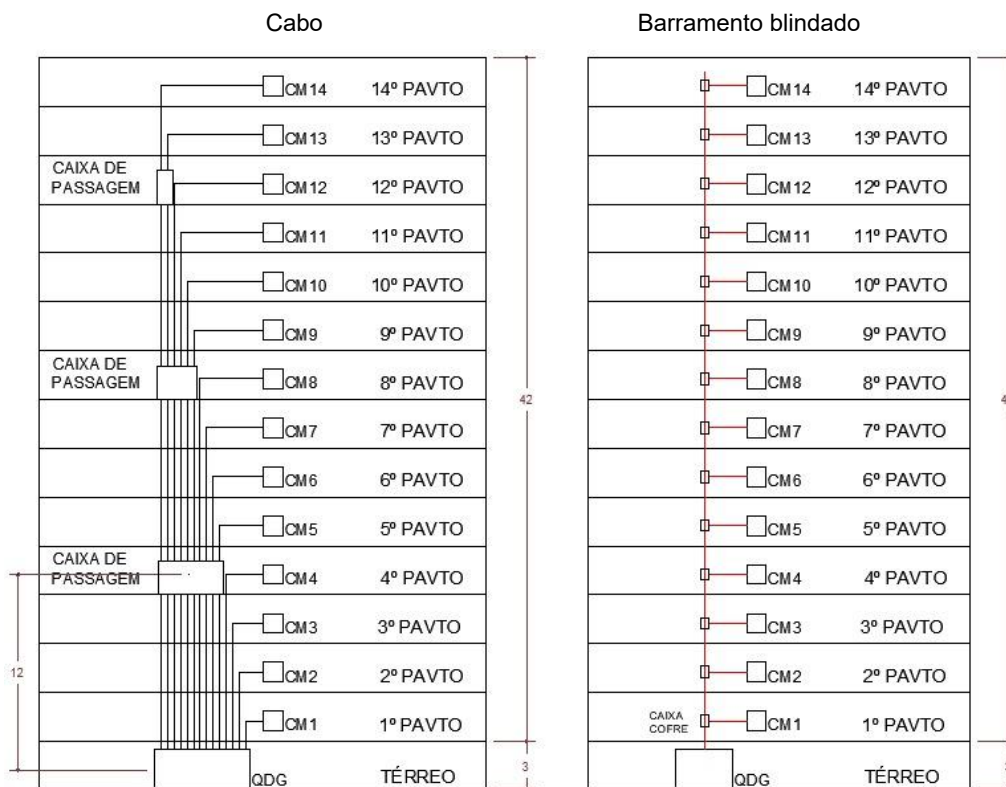
Neste esquemático das figuras 14 e 15, podemos observar as dimensões de ocupação na área técnica tanto de barramento blindado como de cabo convencional, instalada na área de circulação dos pavimentos tipo de uma edificação de uso coletivo vertical, onde neste quesito, destaca-se o barramento blindado, tendo como dimensão de ocupação 75,47% menor com relação a cabo convencional.

Figura 14: dimensões dos sistemas



Fonte: Do autor (2025).

Figura 15: Esquemático dos dois sistemas.



Fonte: Do autor (2025).

## 5.6 ANÁLISE DE CUSTOS

Para a análise de custos do sistema de alimentação por cabo convencional, foi utilizada a tabela 2 para cálculos do comprimento do cabeamento, considerando as distâncias da conexão até os pavimentos. Sendo três vias de fase, uma via de neutro, e uma via de terra com as bitolas indicadas na tabela 2.

Tabela 2: Comprimento dos cabos alimentadores

| COMPRIMENTO DOS CABOS ALIMENTADORES |                 |                                  |           |                          |           |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| TRECHO                              | COMPRIMENTO (m) | FASE E NEUTRO (mm <sup>2</sup> ) | TOTAL (m) | TERRA (mm <sup>2</sup> ) | TOTAL (m) |
| SECCIONADORA-QDG                    | 5,00            | 185,00                           | 20,00     | 95,00                    | 5,00      |
| QDG-CONEXÃO                         | 27,00           | 150,00                           | 108,00    | 75,00                    | 27,00     |
| CONEXÃO-CM1                         | 2,97            | 35,00                            | 11,88     | 16,00                    | 2,97      |
| CONEXÃO-CM2                         | 5,97            | 35,00                            | 23,88     | 16,00                    | 5,97      |
| CONEXÃO-CM3                         | 8,97            | 35,00                            | 35,88     | 16,00                    | 8,97      |
| CONEXÃO-CM4                         | 11,97           | 35,00                            | 47,88     | 16,00                    | 11,97     |
| CONEXÃO-CM5                         | 14,97           | 35,00                            | 59,88     | 16,00                    | 14,97     |
| CONEXÃO-CM6                         | 17,97           | 35,00                            | 71,88     | 16,00                    | 17,97     |
| CONEXÃO-CM7                         | 20,97           | 35,00                            | 83,88     | 16,00                    | 20,97     |
| CONEXÃO-CM8                         | 23,97           | 35,00                            | 95,88     | 16,00                    | 23,97     |
| CONEXÃO-CM9                         | 26,97           | 50,00                            | 107,88    | 25,00                    | 26,97     |
| CONEXÃO-CM10                        | 29,97           | 50,00                            | 119,88    | 25,00                    | 29,97     |
| CONEXÃO-CM11                        | 32,97           | 70,00                            | 131,88    | 35,00                    | 32,97     |
| CONEXÃO-CM12                        | 35,97           | 70,00                            | 143,88    | 35,00                    | 35,97     |
| CONEXÃO-CM13                        | 38,97           | 70,00                            | 155,88    | 35,00                    | 38,97     |
| CONEXÃO-CM14                        | 41,97           | 70,00                            | 167,88    | 35,00                    | 41,97     |

Fonte: Do autor (2025).

Em seguida foi calculado o custo de mão de obra de instalação do sistema, incluído infraestrutura, caixas de passagem, cabeamento e montagem dos centros de medição nos pavimentos. Para o cálculo de mão de obra foi considerado horas trabalhadas de dois oficiais eletricitas.

Na tabela 3 apresenta-se o custo total do uso do sistema de cabeamento, levando em consideração os itens de materiais e mão de obra acima citados:

Tabela 3: Custos de instalação de cabos condutores.

| ITEM                    | QUANT. | UNIDADE | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO TOTAL           |
|-------------------------|--------|---------|----------------|-----------------------|
| Caixas QGD              | 1,00   | UNID.   | R\$ 2.995,00   | R\$ 2.995,00          |
| Caixa CM                | 14,00  | UNID.   | R\$ 2.364,47   | R\$ 33.102,58         |
| Caixa de passagem       | 3,00   | UNID.   | R\$ 756,27     | R\$ 2.268,81          |
| Cabo 185mm <sup>2</sup> | 20,00  | m       | R\$ 109,90     | R\$ 2.198,07          |
| Cabo 150mm <sup>2</sup> | 108,00 | m       | R\$ 99,54      | R\$ 10.750,64         |
| Cabo 95mm <sup>2</sup>  | 5,00   | m       | R\$ 62,80      | R\$ 314,01            |
| Cabo 75mm <sup>2</sup>  | 27,00  | m       | R\$ 51,70      | R\$ 1.395,90          |
| Cabo 70mm <sup>2</sup>  | 599,52 | m       | R\$ 42,42      | R\$ 25.431,64         |
| Cabo 50mm <sup>2</sup>  | 227,76 | m       | R\$ 33,67      | R\$ 7.669,59          |
| Cabo 35mm <sup>2</sup>  | 580,92 | m       | R\$ 23,68      | R\$ 13.756,19         |
| Cabo 25mm <sup>2</sup>  | 56,94  | m       | R\$ 14,58      | R\$ 830,44            |
| Cabo 16mm <sup>2</sup>  | 107,76 | m       | R\$ 10,66      | R\$ 1.148,72          |
| Eletroduto PEAD 4"      | 96,00  | m       | R\$ 25,77      | R\$ 2.473,92          |
| Eletroduto 2.1/2"       | 206,82 | m       | R\$ 13,86      | R\$ 2.866,53          |
| Eletroduto 2"           | 107,76 | m       | R\$ 7,12       | R\$ 767,25            |
| Mão de obra             | -      | -       | -              | R\$ 19.564,31         |
|                         |        |         | <b>SOMA:</b>   | <b>R\$ 127.533,60</b> |

Fonte: Do autor (2025).

No estudo de orçamentação do uso de barramento blindado de alumínio, também é usado cabeamento para ligação do cofre do barramento até o centro de medição do pavimento, o número de vias e suas funções se repetem, porém a distância é consideravelmente menor pois a distribuição vertical é feita pelo barramento blindado. Na tabela 4 exhibe o cabeamento considerado:

Tabela 4: Comprimento dos cabos alimentadores para barramento blindado.

| TRECHO             | COMPRIMENTO (m) | FASE E NEUTRO (mm <sup>2</sup> ) | TOTAL (m) | TERRA (mm <sup>2</sup> ) | TOTAL (m) |
|--------------------|-----------------|----------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| SECCIONADORA - QDG | 5,00            | 150,00                           | 20,00     | 75,00                    | 5,00      |
| QDG - CONEXÃO      | 27,00           | 150,00                           | 108,00    | 75,00                    | 27,00     |
| COFRE-CM1          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM2          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM3          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM4          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM5          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM6          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM7          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM8          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM9          | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM10         | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM11         | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM12         | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM13         | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |
| COFRE-CM14         | 4,00            | 35,00                            | 16,00     | 16,00                    | 4,00      |

Fonte: Do autor (2025).

Em seguida adotou-se os mesmos custos para as caixas do centro de medição e parâmetros para o cálculo do custo de mão de obra, entretanto esse sistema possui uma instalação mais rápida e eficiente por se tratar de um sistema industrializado.

O custo do barramento blindado apresentado na tabela 5, adota-se o barramento blindado de alumínio em uma subida vertical sem desvios.

Tabela 5: Custos de instalação barramento blindado.

| ITEM                    | QUANT. | UNIDADE | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO TOTAL           |
|-------------------------|--------|---------|----------------|-----------------------|
| Caixas QGD              | 1,00   | UNID.   | R\$ 2.995,00   | R\$ 2.995,00          |
| Caixa CM                | 14,00  | UNID.   | R\$ 2.364,47   | R\$ 33.102,58         |
| Barramento blindado     | 1,00   | UNID.   | R\$ 76.144,57  | R\$ 76.144,57         |
| Cabo 150mm <sup>2</sup> | 128,00 | m       | R\$ 99,54      | R\$ 12.741,12         |
| Cabo 75mm <sup>2</sup>  | 32,00  | m       | R\$ 51,70      | R\$ 1.654,40          |
| Cabo 35mm <sup>2</sup>  | 224,00 | m       | R\$ 23,68      | R\$ 5.304,32          |
| Cabo 16mm <sup>2</sup>  | 56,00  | m       | R\$ 10,66      | R\$ 596,96            |
| Eletroduto PEAD 4"      | 96,00  | m       | R\$ 25,77      | R\$ 2.473,92          |
| Mão de obra             | -      | -       | -              | R\$ 14.985,43         |
| <b>SOMA:</b>            |        |         |                | <b>R\$ 149.998,30</b> |

Fonte: Do autor (2025).

Portanto, o uso de cabo convencional tornou-se mais vantajoso mostrando uma economia de 14,98% em relação ao uso de barramento blindado onde considerou um edifício residencial vertical de 14 pavimentos (gráfico 2).

Gráfico 2: Comparativo de custos.

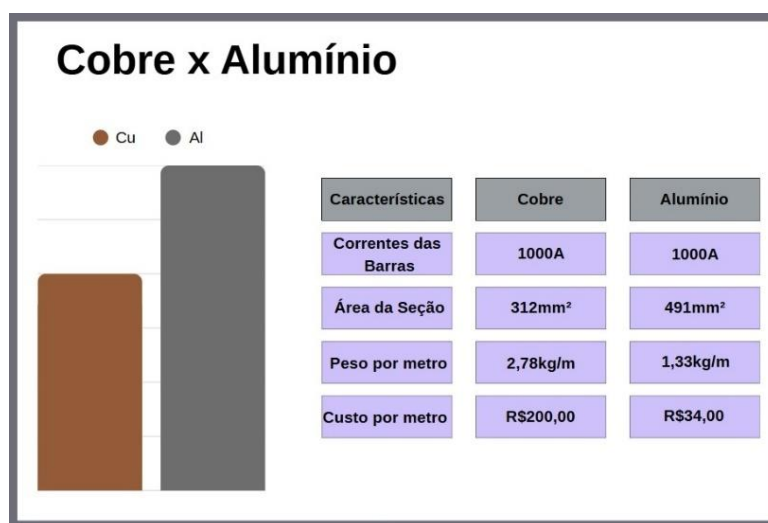


Fonte: Do autor (2025).

Segundo o Eng. Gabriel Leite, gerente de produção da HB indústria no setor de barramento blindado, comenta sobre a simulação de ensaios, e preço: Trata-se de uma simulação das barras condutoras, levando em conta apenas o material condutivo e desconsiderando o invólucro, uma vez que ele é idêntico para ambos os casos. Com base no teste de elevação de temperatura que realizamos, estas são as considerações adotadas para aplicações com corrente de 1000 A. Assim, ambas as barras foram projetadas para essa capacidade de corrente, apresentando desempenho térmico equivalente.

Quanto as dimensões, a barra de alumínio possui uma seção transversal maior do que a de cobre, mas, ainda assim, seu peso final é inferior. Ao analisarmos o custo por quilograma, os valores por metro linear de cada barra de cobre e de alumínio estão destacados, evidenciando uma diferença de custo considerável, sendo que o barramento de alumínio tem um custo 83% menor que o cobre, como mostra a figura 16.

Figura 16: Comparação de preço entre cobre e alumínio



Fonte: Leite (2023).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o estudo de caso apresentado nesse trabalho, sendo uma edificação de uso coletivo de 14 pavimentos, concluímos que o uso do sistema de cabo convencional de cobre é o mais viável. Pode-se observar na comparação de queda de tensão que houve uma pequena diferença entre os sistemas, com isso, não

influenciou na decisão final. Portanto, na decisão da seleção visto que dentre os três principais fatores analisados (queda de tensão, área de ocupação e custo de material e instalação), o cabo se destacou em um deles, custo de instalação, fator este que determinou sua seleção para estudo proposto, tornando o sistema mais vantajoso para aplicação.

Sugere-se para um estudo futuro a análise dos sistemas apresentados em um edifício vertical de uso coletivo mais alto, pois, conforme a análise comparativa da queda de tensão dos sistemas, observou-se que a progressão da queda de tensão do barramento blindado é mais eficiente para longas distâncias. E também apresenta uma ocupação na área técnica menor, fator relevante quando aumenta a distância do edifício.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL nº 1000: Resolução normativa. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410: Instalações elétricas em baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <https://universidadeniltonlins.com.br/wp-content/uploads/2019/04/NBR-5410.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2025.

BE-A-BÁ DA ELÉTRICA. Engerey painéis elétricos. Disponível em: <https://www.engerey.com.br/be-a-ba-da-eletrica>. Acesso em: 08 mar. 2025.

BRASIL. Resolução normativa ANEEL Nº 1.000, 07 de dezembro de 2021. **Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica**. Dez, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2025.

BWW BARRAMENTOS BLINDADOS DE BAIXA TENSÃO. Jaraguá do Sul-SC. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h28/h56/WEG-50066627-barramentos-blindados-de-baixa-tensao-BWW-pt.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

CANDIDO, Lucas da Silva; CHAVES, Thomas Alan Brunot de Bruijn; SANTOS, Warley de Lima Alves dos. **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFÍCIO POR CABEAMENTO OU**

**BARRAMENTO BLINDADO.** São Judas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/9160c95c-1c38-412a-bb46-78c4c2cb6c9e>. Acesso em: 19 abr. 2025.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. NTC 901111: Barramentos blindados – busway. Curitiba: COPEL, 2021. Disponível em: <blob:https://www.copel.com/d87d0751-37e6-40aa-b5a9-64ed45d0502e>. Acesso em: 03 abr. 2025.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. NTC 901110: Atendimento a edificação de uso coletivo. Curitiba: COPEL, 2020. Disponível em: <blob:https://www.copel.com/6794ca38-2048-4870-940d-56ddedc3ed02>. Acesso em: 03 abr. 2025.

COPEL. Copel - Pura Energia. Disponível em: <<https://www.copel.com/site/>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

HANSEN, Cláudia Regina Salgado de Oliveira. **ELETRICIDADE NO BRASIL DA PRIMEIRA REPÚBLICA: A CBEE e os Guinle no Distrito Federal.** Trabalho de conclusão de pós-graduação (Pós-graduação em História) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012. Disponível em: <https://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/11651/Deivis%20Hansen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 07 abr. 2025.

MANUAL PRYSMIAN DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS. Santo André-SP. Disponível em: [https://br.prysmian.com/sites/default/files/atoms/files/Manual\\_Instalacoes\\_Eletricas.pdf](https://br.prysmian.com/sites/default/files/atoms/files/Manual_Instalacoes_Eletricas.pdf). Acesso em: 17 abr. 2025.

MAMEDE, João Filho. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS.** Edição 9. 2010. E-book. Disponível em: [https://www.academia.edu/87274655/Instala%C3%A7%C3%B5es\\_El%C3%A9tricas\\_Industriais\\_Jo%C3%A3\\_Mamede\\_Filho\\_9o\\_Ed](https://www.academia.edu/87274655/Instala%C3%A7%C3%B5es_El%C3%A9tricas_Industriais_Jo%C3%A3_Mamede_Filho_9o_Ed). Acesso em: 15 mar. 2025.

MOORE, G.F. **MANUAL DE CABOS ELÉTRICOS.** Liverpool. Edição 3. 1997. E-book. Disponível em: [https://gacbe.ac.in/images/E%20books/Electric%20Cables%20Handbook%203rd%20ed%20-%20C.%20Moore%20\(Blackwell,%201997\).pdf](https://gacbe.ac.in/images/E%20books/Electric%20Cables%20Handbook%203rd%20ed%20-%20C.%20Moore%20(Blackwell,%201997).pdf). Acesso em: 15 mar. 2025.

MOREIRA, Bruno. Barramento blindado é mais um passo para a industrialização da construção civil. **O SETOR ELÉTRICO.** Guia setorial – Equipamentos para linhas elétricas, página 46-51, mar, 2022. Disponível em: [https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2022/04/Edicao-185\\_Final\\_simples-46-51.pdf](https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2022/04/Edicao-185_Final_simples-46-51.pdf). Acesso em: 19 abr. 2025.

O setor de energia elétrica no Brasil. **REVISTA DO SERVIÇO PÚBLICO.** Ano 43. Vol. 114, página 94-211, 1988. Disponível em:

<https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/issue/view/117/142>. Acesso em: 17 mar. 2025.

O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL. Operador Nacional de Sistema Elétrico. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 08 mar. 2025.

PLANILHA DE CÁLCULO DE QUEDA DE TENSÃO. Disponível em: <https://copel0.sharepoint.com/:x:/s/documentos-site-copel/EaCSnZUngaVMtaS8E0jhJvkBwo2mrYYD3zcKBEYUyH4-Eg?rttime=eSONifui3Ug>. Acesso em: 15 mai. 2025.

ROSA, Luiz Eduardo da. **COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO CABOS CONVENCIONAIS E BARRAMENTO BLINDADO: UM ESTUDO DE CASO EM UM EDIFÍCIO DE USO COLETIVO**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação engenharia elétrica) – Instituto federal de Santa Catarina, Itajaí, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2634/Luiz\\_Eduardo\\_da\\_Rosa%20-%20TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2634/Luiz_Eduardo_da_Rosa%20-%20TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 01 mai. 2025.

TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Empresa de pesquisa energética. Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-70/Cap4\\_Texto.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-70/Cap4_Texto.pdf). Acesso em: 22 mar. 2025.

VASCONCELOS, Filipe Matos. **GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. Londrina-pr. Editora e distribuidora educacional AS, 2017. E-book. Disponível em: [https://www.academia.edu/42844605/Gera%C3%A7%C3%A3o\\_transmiss%C3%A3o\\_e\\_distribui%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_energia\\_el%C3%A9trica#loswp-work-container](https://www.academia.edu/42844605/Gera%C3%A7%C3%A3o_transmiss%C3%A3o_e_distribui%C3%A7%C3%A3o_de_energia_el%C3%A9trica#loswp-work-container). Acesso em: 10 abr. 2025.

ZIMMERMANN, Bruno Leonardo Schmitz. **CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS DA APLICAÇÃO DO BARRAMENTO BLINDADO EM COMPARAÇÃO AO SISTEMA DE CABEAMENTOS**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia eletrônica) - Universidade Tecnológica federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.