

DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE CONDUTORES APLICADOS A INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM BAIXA TENSÃO: UM ESTUDO DE CASOS

Ciro Campos Chaves. E-mail: cirochaves@fainor.com.br

Resumo: A eficiência energética é um tópico que tem sido amplamente discutido tanto na comunidade científica quanto na sociedade em geral. As diversas técnicas relacionadas à eficiência energética, como o uso de iluminação e ventilação natural, aquecimento solar de água, entre outras, são o dimensionamento econômico de condutores, discutido no Brasil pela NBR 15920. Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo de caso. serão comparados os condutores técnicos de dimensionamento, ditados pela NBR 5410, e o dimensionamento econômico dos condutores da NBR 15920, a fim de verificar a viabilidade da técnica de dimensionamento econômico frente à técnica tradicional. Os resultados serão comparados com base em cálculos de engenharia financeira, como o valor presente líquido e o cálculo do retorno sobre investimento ou retorno financeiro.

Palavras-chave: Eficiência Energética, instalações elétricas prediais, dimensionamento econômico de condutores.

ECONOMIC SIZING CONDUCTORS APPLIED TO LOW VOLTAGE ELECTRICAL INSTALLATIONS: A CASE STUDY

Abstract: Energy efficiency is a topic that has been widely discussed both in the scientific community and in society in general. The various techniques related to energy efficiency, such as the use of lighting and natural ventilation, solar water heating, among others, are the economic dimensioning of conductors, discussed in Brazil by NBR 15920. This work aims to make a case study. will be compared the technical sizing drivers dictated by the NBR 5410 and the economic sizing of the NBR 15920 conductors in order to verify the viability of the economical sizing technique compared to the traditional technique. The results will be compared based on financial engineering calculations, such as the net present value and the calculation of the return on investment or financial return.

Keywords: Energy efficiency, building electrical instalations, economic sizing conductors.

1. Introdução

O Desenvolvimento tecnológico da sociedade foi por muitos anos marcado pela máxima de desenvolver a todo custo, ou seja, questões ambientais nem sempre eram a pauta dessa discussão. Inclusive, o crescimento e, conseqüentemente, o desenvolvimento econômico tinham a questão ambiental como um fator limitante para o seu alavancar. Atualmente, sabe-se que o chamado desenvolvimento econômico não relaciona apenas os fatores lucro ou produto interno bruto: as questões sociais e ambientais são variáveis chaves neste processo, e as organizações tendem cada vez mais a deixar de serem meros agentes econômicos para passar a serem agentes sociais e ambientais.

Em um contexto de desenvolvimento voltado à preservação do ambiente e a otimização do uso dos recursos naturais, um dos temas mais debatidos atualmente é, sem dúvidas, a eficiência energética. Reduzir custos com dispêndio desnecessário de energia é uma ideia um tanto atrativa, tanto do ponto de vista ambiental quanto do ponto de vista econômico.

Existem diversas técnicas para eficiência energética em instalações elétricas prediais

citadas na literatura especializada, como por exemplo, a melhor exploração de iluminação e ventilação naturais (necessidade de um projeto arquitetônico voltado para este fim) que diminuam a potência instalada de iluminação e o uso de condicionadores de ar, a utilização de sistemas de aquecimento de água solar, utilização de aparelhos eletrodomésticos com selos de eficiência energética (no Brasil, o selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL etiqueta aparelhos eletrodomésticos e edificações de uso coletivo quanto à eficiência energética), dentre outras medidas. Algumas técnicas estão relacionadas à conscientização no uso da energia elétrica e podem ser facilmente aplicadas, outras devem ser implantadas em fase de projeto e execução das instalações elétricas.

Este trabalho irá abordar a técnica de dimensionamento econômico de condutores, que é normatizada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na norma NBR 15920. A norma preconiza que se devem combinar os custos de compra e instalação com os custos de perda de energia durante a vida útil do condutor, apresentando-os em valores econômicos comparáveis. Utilizando-se da data da compra da instalação como ponto de referência, referindo-se a ela como presente pode-se converter os custos futuros das perdas de energia equivalente no valor presente, utilizando o processo de amortização (MORENO, 2003).

Será apresentado um estudo de casos em uma estrutura que visa analisar a viabilidade de se utilizar das técnicas de dimensionamento econômico de condutores em um dos circuitos alimentadores do quadro de distribuição da instalação. Serão comparados o dimensionamento técnico, da norma NBR 5410 e o econômico, da já citada NBR 15920, em função do custo da implantação e manutenção de ambas as instalações. A viabilidade dar-se-á, segundo Moreno (2003), de acordo com critério de tempo de retorno do investimento ou payback, visando justificar os custos adicionais da instalação dos cabos dimensionados economicamente em relação ao montante economizado proveniente da menor perda de energia durante a vida útil do cabo em questão.

O intuito deste modelo de formatação é esclarecer aos autores o formato a ser utilizado nos artigos submetidos a RET. Ele está escrito, exatamente, como o modelo indicado para os artigos, desta forma, é uma referência.

Leia atentamente as instruções e formate seu artigo de acordo com este padrão. Recomenda-se, para isso, o uso dos estilos de formatação pré-definidos que constam deste documento. Para tanto, basta copiar e colar os textos do original diretamente em uma cópia deste documento.

Vale ressaltar que uma formatação correta é essencial para uma boa avaliação do seu artigo. Artigos fora da formatação serão excluídos do processo de avaliação.

2. Materiais e métodos

No Brasil, as instalações elétricas em baixa tensão são normatizadas pela norma técnica NBR 5410, norma esta que é baseada na norma internacional IEC 60364 – *Electrical Installations of Buildings*. A norma determina como baixa tensão as tensões abaixo de 1000 V em corrente alternada, com frequência de até 400 Hz, ou 1500 V em corrente contínua, ou seja, a grande maioria das instalações prediais e algumas industriais. Ela abrange:

- Edificações comerciais e residenciais, em geral;

- Estabelecimentos institucionais de uso público;
- Estabelecimentos industriais;
- Estabelecimentos agropecuários e hortigranjeiros;
- Edificações pré-fabricadas;
- Reboques de acampamentos (Traillers), locais de acampamento (Campings);
- Canteiros de obras, feiras, exposições, e outras instalações temporárias.

Para todos estes tipos de instalação, a norma determina questões de normatização de tensões nominais, bem como a forma de instalar e dimensionar eletrodutos e condutores dos circuitos terminais, de forma que a instalação apresente segurança e confiabilidade.

O condutor elétrico é definido como um produto metálico, geralmente de forma cilíndrica e de comprimento muito maior que a sua seção transversal, utilizado para transportar energia elétrica ou para transmitir sinais elétricos (COTRIM, 2009). Tal definição é utilizada de forma mais ampla, ou seja, não se refere apenas à parte condutora, define também os fios e cabos elétricos e todas as suas partes que o compõe (parte isolante, etc.). Os condutores mais utilizados nas instalações elétricas, de acordo com Cotrim (2009), são os fios, que são condutores rígidos, maciço e flexível, de formato cilíndrico; as barras, que são condutores rígidos em forma de tubo ou seção perfilada, fornecido em trechos retilíneos; barramentos, que são conjunto de barras de mesma seção nominal, com seus suportes e acessórios; e, finalmente, o condutor encordado, que é o condutor constituído por fios dispostos helicoidalmente.

Existem seis critérios para o dimensionamento técnico de condutores elétricos que são enfatizados pela norma. São eles:

- Seção transversal mínima;
 - Capacidade de condução de corrente;
 - Queda de tensão;
 - Proteção contra sobrecargas;
 - Proteção contra curto-circuitos;
 - Proteção contra contatos indiretos (aplicável apenas quando se usam dispositivos a sobrecorrente na função de seccionamento automático).

Quanto à seção mínima, a tabela 43, item 6.2.6 de define a seção de 1.5 mm² como a seção mínima para circuitos terminais destinados a iluminação, e a seção de 2.5 mm² para circuitos destinados ao uso de tomadas de uso geral (TUG's) e tomadas de uso específico (TUE's).

O critério da capacidade de condução de corrente vem do conceito de corrente de projeto. Em uma instalação elétrica, cada circuito terminal terá uma corrente nominal, que é denominada corrente de projeto (COTRIM, 2009). A corrente de projeto é calculada por:

$$I_b = \frac{\sum_{i=1}^n P_{n,i}}{t \cdot U_n \cos \varphi} \quad (1)$$

Onde o somatório pode ser substituído simplesmente pela potência P, no caso de o circuito terminal alimentar uma única carga, o fator t vale um para circuitos monofásicos e bifásicos, ou $\sqrt{3}$ para circuitos trifásicos, U é a tensão nominal e o cosseno representa o fator de potência do mesmo. Esta seria, teoricamente, a corrente

que iria percorrer o condutor a ser dimensionado para o circuito em questão, no entanto, outros fatores irão determinar o valor desta corrente elétrica.

A segunda lei de Ohm enuncia a resistência elétrica em um condutor cilíndrico como sendo:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

Onde ρ representa a resistividade do material, l é o comprimento do condutor e A é a sua seção transversal. No entanto, a resistividade do material condutor é função da temperatura, como segue:

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + (T_2 - T_1)] \quad (3)$$

E aqui, tem-se a resistividade inicial e final do material, representada por ρ_2 e ρ_1 , respectivamente, bem como a variação de temperatura $T_2 - T_1$. Se a resistividade varia com a temperatura, conseqüentemente a resistência do condutor irá variar em (2) e, de acordo com a primeira lei de Ohm:

$$V = R.I \quad (4)$$

Se a resistência elétrica do condutor variar, de acordo as equações anteriores, a corrente elétrica que percorre o mesmo também irá variar, mostrando que a corrente elétrica depende da temperatura de operação.

Os condutores são instalados de várias maneiras no ambiente, geralmente em tubos plásticos denominados eletrodutos, ou em eletrocalhas ou blocos aveolados (COTRIM, 2009). Estes, por sua vez, irão conter os condutores, respeitando um limite máximo de 40% de seu volume interno ocupado. A quantidade de circuitos terminais diferentes ou condutores carregados dentro de um mesmo eletroduto (excluindo-se o neutro em circuitos trifásicos) também irá influenciar na temperatura de operação e, conseqüentemente, variar a corrente elétrica de projeto. Por isso que, para o segundo critério, de capacidade de condução de corrente, a corrente elétrica deverá ser corrigida por dois fatores de agrupamento, sendo a nova corrente de projeto, ou corrente fictícia:

$$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2} \quad (5)$$

Aqui, os fatores f são os fatores de correção de temperatura e os fatores de correção de agrupamento. Estas informações geralmente são fornecidas pelos fabricantes de cabos elétricos, e esta informação deve ser incluída para o cálculo da corrente fictícia de projeto.

Como visto, de acordo com (2), o condutor apresenta uma resistência elétrica, que é diretamente proporcional ao seu comprimento. Já em (4) é determinada a queda de tensão em uma resistência. No entanto, a norma determina que a queda de tensão não deve ser superior a 7% da tensão nominal, a partir do secundário do transformador ou gerador, tanto do cliente quanto da concessionária, 5% calculados a partir do ponto de entrega e, em nenhum outro caso a queda de tensão nos circuitos terminais deve ser superior a 4%. Um método muito eficiente para o cálculo da queda de tensão é dado por:

$$\Delta U_{mit} = \frac{\Delta U \% . U}{I_b . l} \quad (6)$$

A queda de tensão unitária é fornecida pelo fabricante do cabo, enquanto que a queda de tensão percentual é dada na norma, U é a tensão nominal, I_b é a corrente de projeto e l é o comprimento do circuito em questão. Aqui, pode-se notar que quanto maior o comprimento, maior será a resistência elétrica do condutor e, conseqüentemente, maior será a sua queda de tensão.

Os outros critérios estabelecidos estão relacionados aos dimensionamentos de equipamentos protetores para curtos circuitos e sobrecargas, como disjuntores, interruptores diferenciais residuais, que irão atuar sempre em caso de choques elétricos, curto circuitos e surtos de corrente na instalação. Seguindo estes critérios, o projetista irá dimensionar a seção transversal do condutor como sendo a menor seção possível, mas que ofereça segurança e confiabilidade para a instalação elétrica.

Conforme citado, o dimensionamento técnico de condutores elétricos segundo a norma NBR 5410 fornece uma seção mínima que atenda a requisitos de segurança e confiabilidade à instalação. Oferecendo uma seção mínima, o custo inicial do cabo é menor, já que o custo do cabo depende diretamente da quantidade de material, como por exemplo, cobre empregada em sua construção. Fazendo-se uma análise profunda, pode-se observar que esta parece não ser a melhor escolha, economicamente falando. A equação (2) demonstrou a resistência elétrica de um cabo ou fio condutor. A primeira observação é que a resistência elétrica é inversamente proporcional à seção transversal do cabo. Com isso, pode-se afirmar que:

- Adotar uma maior seção transversal no condutor implica em uma diminuição de sua resistência interna;
- Quanto menor a resistência interna, menor serão as perdas de energia por efeito Joule.

Como geralmente o consumo de energia elétrica pelas concessionárias é dado na unidade de Kwh, pode-se calcular o gasto em energia elétrica em energia dissipada por efeito joule no condutor, como segue

$$\Delta E = R.I^2.\Delta t \quad (7)$$

Onde R representa a resistência do condutor, I a corrente que o percorre e t é o tempo decorrido, em horas.

Então, de fato, o aumento na seção do condutor irá acarretar em menos energia dissipada por efeito Joule. A questão no aumento do consumo de energia elétrica e sua relação com o dimensionamento de cabos elétricos de potência é uma questão que vem sendo amplamente discutida. O custo da energia é um componente cada vez mais importante nos custos operacionais das edificações comerciais e industriais. Neste sentido, todos os esforços possíveis devem ser feitos para conter gastos desnecessários. Os aspectos ambientais e conservacionistas relacionados com a energia desperdiçada também são importantes fatores, cada vez mais ressaltados (ABESCO, 2014).

Enquanto por um lado, adotar uma menor seção no condutor acarreta em um menor custo inicial de aquisição do mesmo, por outro lado uma maior seção irá onerar o custo inicial, no entanto o custo operacional do cabo, que é o custo relacionado à manutenção da instalação elétrica, será menor. Sem contar que, aumentando-se a seção, a vida útil do condutor iria aumentar, já que o mesmo iria dissipar menores perdas e, conseqüentemente operar em menores temperaturas. A questão central desta problemática é, então, encontrar o ponto ótimo, ou seja, a melhor seção que atenda os requisitos de menor dispêndio de energia, de forma que justifique o custo mais alto

empregado inicialmente na instalação e aquisição do cabo, ou seja, identificar uma seção do condutor que reduza o custo da energia desperdiçada, sem incorrer em custos iniciais excessivos provenientes da compra e instalação do cabo, obtendo assim uma solução ótima (MORENO, 2003).

Pode-se traçar um gráfico do custo do cabo em função da sua seção transversal. Ele estabelece uma relação linear entre a seção e o custo, ou seja, quando se aumenta a seção do cabo, o custo aumenta de forma aproximadamente linear. Os custos operacionais, por perda Joule, tendem a cair de forma quadrática quando se aumenta a seção transversal. Como o custo total pode ser encontrado da soma das duas parcelas, respectivamente custo inicial e custo operacional:

$$CT = CI + CJ \quad (7)$$

Efetuada-se a soma dos custos, como indicada acima, encontra-se o ponto de interseção entre os custos inicial e por perdas Joule, que correspondem ao ponto de mínimo do gráfico gerado pela soma dos dois custos, como se pode observar na figura seguir.

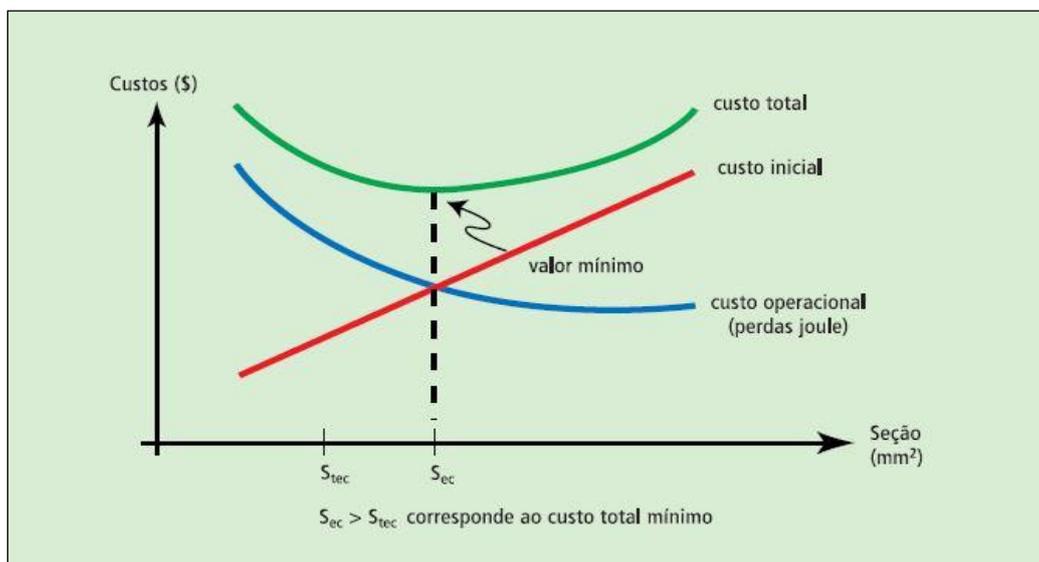


Figura 1 - Custos do cabo em função da sua seção nominal

O objetivo do cálculo do dimensionamento econômico de condutores é encontrar este ponto de mínimo, correspondente à seção econômica, tanto do ponto de vista financeiro quanto do ponto de vista de eficiência energética.

Conforme visto anteriormente, existe uma norma técnica brasileira que trata do dimensionamento econômico de condutores, que é a norma técnica NBR 15920. A norma preconiza que se devem combinar os custos de compra e instalação com os custos de perda de energia durante a vida útil do cabo, apresentando-os em valores econômicos comparáveis. Utilizando-se da data da compra como ponto de referência e convertendo os custos futuros das perdas de energia elétrica em seu valor presente.

Há duas formas, segundo de se calcular a seção econômica do condutor. Em Moreno (2003), a abordagem que calcula a área da seção transversal ótima para a carga, escolhendo-se a seção mais próxima é ideal para a análise de uma única instalação e bem prática para se aplicar, apesar da complexidade e grande quantidade de variáveis presentes nas equações. Simplificações podem ser tomadas, como em Moreno (2003) a fim de tornar o cálculo menos trabalhoso, de forma que a precisão do mesmo ainda seja

ótima. A seção econômica do condutor pode ser calculada de acordo com a seguinte equação:

$$S_{ec} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{I_{\max}^2 \cdot F \cdot \rho_{20} \cdot B \cdot [1 + \alpha_{20}(T_m - 20)]}{A}} \quad (8)$$

Para se realizar este cálculo, é necessário determinar os parâmetros que serão utilizados, calculados de acordo com as seguintes expressões:

$$F = Np \cdot Nc \cdot (T \cdot P + D) \frac{Q}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)} \quad (9)$$

$$B = (1 + Ys + Yp) \cdot (1 + \lambda_1 \cdot \lambda_2) \quad (10)$$

$$Q = \sum_{n=1}^N r^{n-1} = \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (11)$$

$$r = \frac{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{b}{100}\right)}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)} \quad (12)$$

Onde:

- Sec - Seção econômica do condutor;
- I_{max} - Corrente de projeto máxima prevista no primeiro ano;
- F - Quantidade auxiliar;
- α_{20} - Resistividade do material à temperatura de 20°C (ambiente);
- B - Quantidade auxiliar;
- α_{20} - Coeficiente de temperatura à 20°C;
- T_m - Temperatura média de operação;
- N_p - Número de condutores por fase no circuito;
- N_c - Número de circuitos que levam ao mesmo tipo de valor de carga;
- T - Tempo de operação com perda Joule máxima (h/ano);
- P - Custo de um Watt-hora (Unidade monetária/W.h);
- D - Variação anual da demanda (Unidade monetária/W.ano);
- Q - Quantidade auxiliar;
- I - Taxa de capitalização para o cálculo do valor presente;
- Y_p - Fator de proximidade;
- Y_s - Fator devido ao efeito peculiar;
- λ_1 - Fator de perda na cobertura;
- λ_2 - Fator de perda na armação;

- R - Quantidade auxiliar;
- N - Vida econômica (anos);
- A - Aumento da carga (Imax%);
- B - Aumento anual do custo de energia, excluindo-se a inflação.

Moreno (2003) traz algumas ressalvas que podem simplificar o cálculo utilizando as equações acima descritas. Para cabos em baixa tensão, (<1KV) e média tensão (<36,2KV) as grandezas Y_p , Y_s , λ_1 e λ_2 podem ser desprezadas. As grandezas referentes a perdas dielétricas também podem ser desprezadas. Como já mencionado, algumas outras simplificações são levadas em conta, adaptando as equações anteriores para equações mais simples, porém mais fáceis de aplicar:

- Custo inicial de instalação dos cabos constante, independentemente da seção do mesmo;
- Desprezo das perdas devido a efeito peculiar e de proximidade, bem como devido a blindagens e armações metálicas;
- Considera-se, quando se fala de custo de energia, apenas a energia ativa;
- Considera-se a temperatura média de operação 50°C;
- Considera-se um crescimento anual médio da carga do circuito em torno de 1.5%;
- Admite-se uma taxa de juros média de 6%.

Desta forma, as expressões se reduzem a:

$$S_{ec} = \frac{I_b}{C_h \cdot C_n} \cdot \sqrt{\frac{e}{G'}} \quad (13)$$

$$C_h = \frac{2.66}{\sqrt{H}} \quad (14)$$

$$C_n = \frac{0.69}{\sqrt{1 - 0.937^N}} \quad (15)$$

$$G' = \frac{P_2 - P_1}{S_2 - S_1} \quad (16)$$

Onde:

- I_b : Corrente de projeto;
- e : Custo da energia elétrica ativa, em R\$/KWh;
- H : Número de horas/ano de funcionamento do circuito;
- N : Número de anos considerados no cálculo;
- P_1, P_2 : Preços dos cabos;
- S_1, S_2 : Seção dos cabos.

Para a determinação do coeficiente G' , precisa-se consultar a empresa fabricante dos cabos para se obter o seu preço, que pode ser dado usualmente em unidades de R\$/mm².Km. Vale ressaltar que nem sempre a seção encontrada nestes cálculos é uma seção existente no mercado, portanto será adotada aquela que mais se aproximar do valor calculado.

3. Resultados e discussão

O estudo de casos desenvolvido neste trabalho fora realizado em uma estrutura de uma instituição de ensino superior da cidade de Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. Para a aplicação e análise da viabilidade do dimensionamento econômico de condutores, foi escolhido um circuito da instalação, referente a um dos quadros de distribuição localizados no terceiro andar da instituição. Ela possui subestação própria, e a partir da subestação são alimentados sei quadros de distribuição, e a cada quadro estão associados circuitos terminais, destinados a tomadas de uso geral, tomadas de uso específico, dentre outros componentes.

O cálculo econômico não é justificado para cargas baixas, como circuitos terminais de iluminação e tomadas. Por isso, para a aplicação do método foram escolhidos os condutores de um dos circuitos alimentadores de um dos quadros de distribuição. O quadro escolhido foi um destinado a alimentar a carga das salas de aula do quarto pavimento do módulo principal de aulas. O circuito em questão é trifásico, com tensão de 380 V e uma potência total de 23.5 KW. A corrente de projeto foi de 42 A, utilizando um disjuntor de 40 A para a sua proteção. O condutor utilizado para esta aplicação foi um condutor de cobre de seção transversal de 10 mm², dimensionado utilizando-se das técnicas de dimensionamento técnico de condutores, previstas pela norma. O comprimento do circuito é de, aproximadamente, 50 m.

Os seguintes dados, então, foram utilizados para o cálculo do dimensionamento econômico:

- $I_b = 42$ A (corrente de projeto);
- $e = \text{R\$ } 0,5113817$ (custo do KWh);
- $H = 5840$ (Número de horas-ano de funcionamento do circuito);
- $N = 10$ (número de anos a ser considerado no cálculo);

Para a adoção de G' , faz-se necessário uma consulta ao fabricante de cabos em questão a fim de obter o seu custo. Deve-se efetuar uma média de todas as combinações possíveis de cabos, efetuando-se o cálculo dois a dois. A seguinte tabela apresenta os resultados deste cálculo:

Tabela 1 – Determinação do coeficiente G'

Seção (mm ²)	Preço (R\$/Km)	G' (R\$/mm ² .Km)
10	4749	-
16	6817	345
25	10316	389
35	14280	397
50	23362	605
70	37400	701,9
95	56135	749,4
100	89739	1344,2

Fonte: Adaptado da IEC 287-3-2

Por exemplo, para obter o coeficiente G' na segunda linha e terceira coluna da tabela, efetuou-se a razão entre as diferenças nos preços, no caso 6817 R\$/Km menos 4749 R\$/km e as diferenças nas seções transversais correspondentes, 16 e 14 mm², obtendo-se o valor de 345.

O cálculo é feito de forma análoga entre o cabo atual e seu antecessor, e, a partir destes dados obtidos, obteve-se a média aritmética de G' , que foi aproximadamente 1430.

De posse destes dados, e substituindo-os em (13), (14), (15) e (16), foram obtidos os seguintes valores foi obtido o valor de 22.87 mm² para a seção econômica. Como este valor não é um valor comercial, a aproximação foi feita para a seção transversal de 25 mm².

Uma vez calculada a seção econômica, deve-se estudar a sua viabilidade de implantação. Primeiramente, deve-se calcular a perda de energia elétrica por ano, de acordo com a seguinte equação:

$$C_e = I_b^2 \cdot R \cdot n \cdot H \cdot e \cdot 10^{-3} \quad (17)$$

Onde R representa a resistência elétrica do cabo, n é o número de condutores carregados no circuito, e os outros parâmetros já foram fornecidos anteriormente. Pela fabricante do cabo, obteve-se a resistência elétrica do condutor como sendo 1.910 Ω/Km. Multiplicando pelo comprimento de 0.05 Km, por 1.236, que é o fator de correção de temperatura para a temperatura de 70 °C, obtém-se R=0.118 Ω. Para isto, utilizando a equação (17), o valor encontrado para C_e é de R\$ 1691,60 para o cabo dimensionado de forma técnica, o de 10 mm². O cabo dimensionado pelo critério econômico possui uma resistência R calculada de 0.044 Ω. Utilizando a equação (17) para o cabo de 10 mm² foi encontrado o valor de R\$ 630,75. Consultando mais uma vez a tabela do fabricante, foi estimado o custo inicial de instalação para ambos os cabos, resultando em:

Tabela 2 – Estimativa dos custos de instalação

Item	Quantidade
Linha de 10 mm ²	R\$ 3504,30
Linha de 25 mm ²	R\$ 8420,25

Fonte: Adaptado da IEC 287-3-2

Os custos totais dos cabos incluem os valores da perda de energia ao longo do tempo, para isto será necessário utilizar recursos de engenharia financeira e ao conceito de Valor Presente (VP), que irão demonstrar como os pagamentos futuros da energia efetuados durante a via útil do cabo podem ser expressos em valores equivalentes à data de execução do projeto. Efetuando a conversão de valores futuros em valores presentes, pode-se soma-los ao custo inicial da instalação. Para determinação do VP, as seguintes equações serão utilizadas:

$$VP = CQ \quad (18)$$

$$Q = r \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (19)$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{i}{100}} \quad (20)$$

Sendo C a quantidade paga anualmente pelas perdas de energia, dadas pela equação (17); N o número de anos considerados no cálculo e i a taxa de juros percentual ao ano.

Utilizando-se das equações, e calculando o VP para os dois cabos chegaram-se aos seguintes resultados:

Tabela 1 –Parâmetros de custo para seção técnica, de 10 mm², e seção econômica, de 25 mm²

Seção (mm ²)	Custo inicial (R\$)	V. presente (R\$)	Custo total (R\$)	%
10	4749	-		100
25	7	345		82

Fonte: Adaptado da IEC 287-3-2

Para finalizar a análise econômica, faz-se necessário o cálculo do prazo do retorno do investimento, ou Payback, que irá mostrar após quanto tempo será obtido o retorno do investimento inicial de se instalar um cabo de seção maior que a dimensionada pelo critério técnico. Pode-se perceber que a diferença entre os custos iniciais pelos dois critérios foi de R\$ 8420,25 – R\$ 3504,30 = R\$ 4915,95, enquanto que a diferença entre o VP pelos dois critérios: R\$ 12416,34 – R\$ 4629,70 = R\$ 7786,64. No período de 10 anos, equivalerá a R\$ 778,66 por ano.

Dividindo a diferença entre os custos iniciais e a diferença entre o VP, encontra-se o período de retorno do investimento, que é de 6,31 anos, ou seja, em aproximadamente seis anos este valor investido seria recuperado.

4. Conclusões

Como foi visto, a adoção do dimensionamento econômico de condutores resulta em menores perdas de energia por efeito Joule, já que a seção do condutor é inversamente proporcional à sua resistência elétrica. Aumentando-se a seção, diminui-se a resistência e, conseqüentemente, as perdas, sendo que um dos principais objetivos foi de encontrar a seção que diminua as perdas em função do aumento no investimento inicial do cabo de maior seção.

Utilizando o cálculo financeiro como ferramenta auxiliar, foi constatado que, apesar de o investimento inicial ser oneroso, a adoção da seção econômica resulta em uma economia real de energia elétrica, com prazo de retorno de investimento em cerca de seis anos. Tendo em vista que a vida útil de uma instalação elétrica é de aproximadamente dez anos, a aplicação desta técnica pode ser considerada viável, mostrando assim que é possível, em muitos casos, aliar fatores ambientais e econômicos, premissa das técnicas da eficiência energética.

Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Instalações elétricas em baixa tensão: NBR 5410*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 128 p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Cálculo da corrente nominal – condições de operação – otimização econômica das seções de cabos de potência. NBR IEC 60287-3-2*. Rio de Janeiro:

ABNT, 2009. 28 p.

AUTOR. Revista Lumière Eletric. COOBE: Um evento voltado para a eficiência energética. Edição 147, página 86, 2010.

BORNE, Lucas Silva. *Eficiência energética em instalações elétricas.* 2010. 102 p. Monografia – (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

Cabos elétricos Prysmian. Disponível em: <www.itaim.ind.br>. Acesso em: 30 de Abr de 2019.

CATÁLOGO ITAIM. Disponível em: <www.prysmian.com.br>. Acesso em: 30 de Abr de 2018.

COSTA, André de Souza. *Eficiência energética em iluminação de ambientes, em uma instituição de ensino.* 2007. 156 p. Dissertação (Mestrado em tecnologia) – Universidade Tecnológica do Paraná, Paraná.

COTRIM, Ademaro. *Instalações Elétricas.* 5 ed. São Paulo: Pearson Pretience Hall, 2009.

DANIEL, Eduardo. *A segurança e eficiência energética nas instalações elétricas prediais: Um modelo de avaliação.* 2010. 114 p. Dissertação (Mestrado em energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

PROCEL edifica. *Eficiência energética em edificações no Brasil.* Disponível em: <www.procelinfo.com.br>. Acesso em: 20 de Abr de 2019.

MORENO, Hilton. *Dimensionamento econômico de condutores elétricos: um caminho para economizar energia.* PROCOBRE. Instituto Brasileiro de Cobre. 3 ed. São Paulo: 2003.