



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSÉ FÁBIO PINÉO BRANDÃO

ANÁLISE DA NORMA INTERNACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA IEC
60364-8-1: VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE APLICAÇÃO ÀS
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS BRASILEIRAS

FORTALEZA

2018

JOSÉ FÁBIO PINÉO BRANDÃO

ANÁLISE DA NORMA INTERNACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA IEC 60364-8-1:
VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE APLICAÇÃO ÀS INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS BRASILEIRAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara

Coorientador: MSc. Tomaz Nunes Cavalcante Neto

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P716a Brandão, José Fábio Pinéo.

Análise da norma internacional de eficiência energética IEC 60364-8-1: : Viabilidade técnico-financeira de aplicação às instalações elétricas brasileiras / José Fábio Pinéo Brandão. – 2018.
41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.

Coorientação: Prof. Me. Tomaz Nunes Cavalcante Neto.

1. Eficiência Energética. 2. Instalações elétricas de baixa tensão. 3. Normas. I. Título.

CDD 621.3

JOSÉ FÁBIO PINÉO BRANDÃO

ANÁLISE DA NORMA INTERNACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA IEC 60364-8-1:
VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE APLICAÇÃO ÀS INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS BRASILEIRAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do
Centro de tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Tomaz Nunes Cavalcante Neto (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng.^a Ana Beatriz Prudêncio de Almeida Rebouças
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, que fez o que estava ao alcance para dar apoio a todas as minhas escolhas e ao meu pai, que juntos contribuíram para os meus estudos.

A minha irmã, Fabiana, que sempre me motivou a continuar qualquer caminho, minha cúmplice e amiga em todos os momentos.

Aos meus tios, tias, primas e avós, que mostravam interesse na minha vida acadêmica, pois isso sempre foi uma das forças para continuar nas horas de dúvida.

Ao meu amigo Everton, que trilhou um boa parte da jornada desse curso junto comigo nos momentos de descontração e de trabalho árduo.

Ao meu amigo Eduardo, que fez parte dos últimos semestres em disciplinas, projetos e entrevistas de estágios, sempre positivo e empolgado com o nosso objetivo em comum.

A minha amiga Celina pela parceria e a querida Ana Rebouças que sempre apoiaram e ajudaram neste trabalho. Pois o que seria desse trabalho final de curso se não fossem vocês?

Aos meus amigos Jeymyson, Isabela, Naiza e a todos os outros amigos e colegas de curso pelo companherismo durante as disciplinas. Esse curso sempre será o nosso vínculo, o nosso orgulho compartilhado de ter vencido essa etapa.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento.

"Então, daqui pra frente, quando você quiser saber alguma coisa, mergulhe nela."

(Paulo Coelho)

RESUMO

Este trabalho propõe uma análise de viabilidade técnico-financeira a partir das orientações da norma internacional IEC 60364-8-1. Inicialmente a situação do Brasil e do mundo em relação ao consumo de energia elétrica e a aplicação de eficiência energética são apresentadas. Em seguida analisa-se o quanto as normas brasileiras estão envolvidas para aplicação do conceito de eficiência energética no desenvolvimento de projetos de instalações elétricas e como a norma internacional, IEC 60364-8-1, aborda o assunto. Então, o trabalho foca nos padrões de dimensionamento de condutores para instalações elétricas de baixa tensão comparando através de aplicação as vantagens da norma internacional IEC 60364-8-1 com as vantagens das normas brasileiras.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Instalações elétricas de baixa tensão. Condutores elétricos. Normas.

ABSTRACT

The propose of this study is a technical-financial feasibility analysis based on the guidelines of the international standard IEC 60364-8-1. Initially the situation of Brazil and the world in relation to the consumption of electric energy and the application of energy efficiency are presented. Next, it analyzes how Brazilian standards are involved in applying the concept of energy efficiency in the development of electrical installations projects and how the international standard, IEC 60364-8-1, addresses the subject. Then, it focuses on conductor design standards for low voltage electrical installations by comparing the advantages of the international standard IEC 60364-8-1 with the advantages of Brazilian standards.

Keywords: Energy Efficiency. Low voltage electrical installations. Electric conductors. Standards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de projeção do consumo de energia elétrica do Brasil	15
Figura 2 – Amostra da tabela 33 da ABNT NRB 5410:2004.	32
Figura 3 – Amostra da tabela 36 da ABNT NRB 5410:2004.	33
Figura 4 – Custos iniciais	37
Figura 5 – Custos ao final de 20 anos	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso de energia elétrica em âmbito global [Quadrilhões Btu]	14
Tabela 2 – Uso de energia elétrica em termos de status nacional	15
Tabela 3 – Parâmetros iniciais	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADEME	Agência do Meio Ambiente e da Matriz Energética
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
DETR	Departamento de Meio Ambiente, Transportes e Regiões
DoE	Departamento de Energia Americano
EERN	Energy Efficiency and Renewable Energy Network
EIA	Energy Information Administration
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GCPS	Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema Elétrico
IDAE	Instituto para a Diversificação e Economia Energética
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PCHs	Pequenas centrais hidrelétricas
PEE	Programa de Eficiência Energética
Proinfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
PROPEE	Programa de Eficiência Energética
SoP	Electricity Standard of Performance

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contexto da energia elétrica no mundo e no Brasil	13
<i>1.1.1</i>	<i>Projeção do Consumo de Energia Elétrica no Mundo</i>	<i>13</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Consumo de Energia elétrica em 2017 no Brasil</i>	<i>14</i>
<i>1.1.3</i>	<i>Projeção do Consumo de Energia elétrica no Brasil</i>	<i>15</i>
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivo	16
1.4	Organização do Trabalho	16
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	17
2.1	O surgimento da Eficiência Energética no Mundo	17
2.2	O surgimento da Eficiência Energética no Brasil	18
3	NORMAS EXISTENTES PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO	22
3.1	Norma ABNT NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão	22
3.2	Norma ABNT NBR 15920 - Cabos elétricos - Cálculo da corrente nominal - Condições de operação - Otimização econômica das seções dos cabos de potência	23
3.3	Norma IEC 60364 - Instalações elétricas de baixa tensão	24
<i>3.3.1</i>	<i>Norma IEC 60364-8-1 Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 8-1: Eficiência energética</i>	<i>25</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Norma IEC 60364-8-1 no Mundo e no Brasil</i>	<i>30</i>
4	ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA IEC 60364-8-1 E DA ABNT NBR 5410 EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	31
4.1	Metodologia de aplicação da ABNT NBR 5410 no dimensionamento dos condutores	31
4.2	Metodologia de aplicação da IEC 60364-8-1 no dimensionamento dos condutores	33
<i>4.2.1</i>	<i>A faixa econômica de correntes para cada condutor de uma série de seções</i>	<i>33</i>
<i>4.2.2</i>	<i>A seção econômica de um condutor para uma dada carga</i>	<i>34</i>
4.3	Aplicação	36

4.4	Resultados	37
5	CONCLUSÕES	39
	REFERÊNCIAS	40
6	ANEXO A - TABELA COM OS VALORES DOS CABOS	42

1 INTRODUÇÃO

Há poucos anos no Brasil percebe-se uma preocupação significativa com a garantia de energia elétrica para todos e a produção sustentável da mesma em perspectivas financeira e ambiental. Já a nível global, essa questão é antiga e já obteve alguns avanços consideráveis.

Essa preocupação está baseada no contexto da energia elétrica no mundo, mas também no Brasil, já que está na listas dos países com dimensões continentais.

1.1 Contexto da energia elétrica no mundo e no Brasil

Para obter um panorama da energia elétrica de forma confiável é necessário medir os números relacionados ao caso em questão como: população, consumo de energia elétrica, consumo per capita, entre outras informações. Com a aquisição de dados relacionados ao contexto da energia elétrica e aplicação de conceitos estatísticos, obtém-se uma análise profunda e com propriedade.

Através da coleta de dados, análises das informações e projeções realizadas a empresa estatal *US Energy Information Administration (EIA)*, localizada em Washington, Distrito de Columbia nos Estados Unidos da América, principal fonte de informações de energia do país, produz relatórios com dados nacionais e internacionais.

Existe também a *International Energy Agency (IEA)*, projetada para ajudar com análise estatística os países membros e além, com foco nas áreas de segurança energética, desenvolvimento econômico e consciência ambiental.

Em relação às informações de energia do Brasil, existe a *Empresa de Pesquisa Energética (EPE)*, uma empresa pública federal, com o mesmo trabalho de coletar dados e analisar as informações designada a produzir relatórios para o Ministério de Minas e Energia.

1.1.1 Projeção do Consumo de Energia Elétrica no Mundo

De acordo com as medições feita pela *International Energy Agency (IEA)*, o consumo de energia elétrica dos países membros nos períodos entre janeiro e agosto de 2017 foi 6.477.313,0 GWh, e de 2018 foi 6.653.766,0 GWh, representando um aumento de 2,7%. (IEA, 2018)

De acordo com as projeções feitas pela *US Energy Information Administration (EIA)*, (2018), que atua no levantamento e análise de informações do mundo para promover políticas

sólidas de energia e interação econômica, nota-se um constante crescimento da população mundial. Entre 2018 e 2028 tem-se uma previsão de aumento populacional em 9,8%.

O uso da energia elétrica também aumenta nas projeções feita pela EIA, consequência também do aumento da população mundial. A tabela 1 apresenta as projeções feitas para 2018 e 2028. Entre os setores comercial, industrial e residencial, as residências seguem no topo das projeções feitas com uma maior variação do consumo de energia elétrica com um aumento de 22,9% em 10 anos a partir de 2018, em seguida vem o setor comercial com 19,2% e por último o industrial com 8,7% dentro do mesmo período.

Tabela 1 – Uso de energia elétrica em âmbito global [Quadrilhões Btu]

Ano	Comercial	Residencial	Industrial
2018	17,2	21,4	35,8
2028	20,5	26,3	38,9

Fonte: Próprio autor com dados da U.S. Energy Information Administration.

1.1.2 Consumo de Energia elétrica em 2017 no Brasil

Já no Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realiza estudos a partir de dados históricos e projeções para elaborar planos setoriais do Brasil, como elaboração de programas da ONS. De acordo com os estudos realizados, nota-se o consumo de 465,3 TWh através da rede de distribuição de energia elétrica no ano de 2017, representando assim um aumento de 0,85% em relação a 2016. Com o aumento de 0,77% da população entre 2016 e 2017 também registrado pela EPE, tem-se um consumo per capita de 2.240,9 KWh/habitante em 2017, superior 0,08% ao ano.

Considerando os consumidores do setor comercial, industrial e residencial, observou-se com as informações apresentadas na tabela 2 um aumento generalizado no consumo de energia elétrica, sendo o maior registro na indústria com um aumento de 1,15% em relação ao ano passado. Em sequência o setor residencial, com um aumento de 0,78% sobre o valor registrado em 2017 e por último o setor comercial com 0,29% de aumento. A soma dos três setores citados acima representam 83,6% do consumo total de energia elétrica, correspondendo a 388,9 TWh.

Tabela 2 – Uso de energia elétrica em termos de status nacional

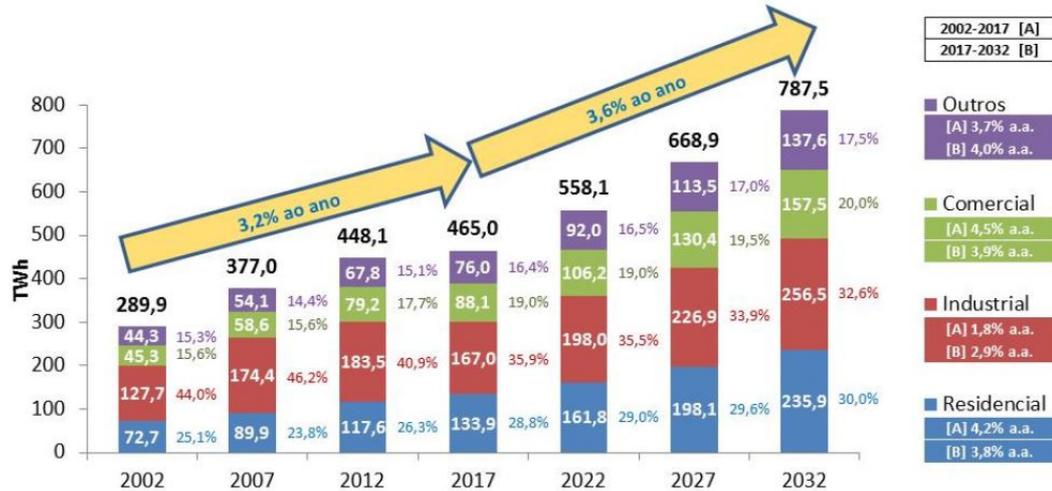
Dado	2016	2017
População [em milhões]	206,08	207,19
Consumo Total	461.413.684,94 Wh	465.343.512,33 Wh
Consumo Residencial	132.872.085,0 Wh	133.904.320,0 Wh
Consumo Industrial	164.948.513,0 Wh	166.846.079,0 Wh
Consumo Comercial	87.872.838,0 Wh	88.129.080,0 Wh
Consumo per capita	2238,99 KWh/hab.	2240,88 KWh/hab.
Consumidor total [em milhões]	80,62	82,47
Consumo médio	476,92 KWh/mês	470,23 KWh/mês

Fonte: Próprio autor com base nos dados da Empresa de Pesquisa Energética (2018).

1.1.3 Projeção do Consumo de Energia elétrica no Brasil

Através das análises do PIB brasileiro, população e outras variáveis econômicas tem-se a projeção do consumo de energia elétrica no cenário de referência, o qual chega a 787,5 TWh em 2032. Esse aumento no consumo representa um crescimento médio anual de 3,6% como é mostrado na Figura 1 com os dados divididos por setores industrial, residencial, comercial e outros.

Figura 1 – Gráfico de projeção do consumo de energia elétrica do Brasil



Fonte: EPE (2018).

1.2 Justificativa

Os indicadores econômicos como industrialização, infraestrutura e emprego são utilizados para identificar os países desenvolvidos e os países em desenvolvimentos, além disso o consumo de energia elétrica é também um dos grandes indicadores de desenvolvimento de uma nação. Como a energia elétrica é um dos principais fatores que contribuem para o crescimento

econômico de uma nação, é necessário que esse consumo ocorra de forma consciente e eficiente.

A melhor maneira de se atingir um consumo consciente é por meio da utilização do conceito de eficiência energética. Atualmente já é discutido na academia a necessidade de aplicação de uma política de gestão energética com estratégias bem definidas visando a eliminação do desperdício no consumo de energia elétrica.

Além disso, tem-se no Brasil normas e regulamentações que possuem elementos estratégicos voltados à efficientização de processos industriais e produtos finais. A IEC 60364-8-1 é uma das normas de eficiência energética relacionada às instalações elétricas, a qual possui o foco em estruturar as instalações dentro de um perfil de consumo eficiente de energia elétrica.

1.3 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo esclarecer a metodologia de aplicação da norma IEC 60364-8-1 e apresentar os impactos da eficiência energética nas instalações elétricas do Brasil.

1.4 Organização do Trabalho

No primeiro capítulo são apresentados o contexto da energia no mundo e no Brasil, a justificativa, o objetivo e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é apresentado o conceito de eficiência energética com o panorama do mesmo no Brasil e no mundo. Além de projetos e regulamentações relacionadas ao assunto.

No terceiro capítulo têm-se a apresentação das normas relacionadas às instalações elétricas para analisar o que já é implantado no Brasil e no mundo.

No quarto capítulo aborda-se uma metodologia para aplicação de ferramentas e conceitos voltados à eficiência energética nas instalações elétricas de baixa tensão, juntamente com a aplicação.

No capítulo cinco são apresentadas as conclusões.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A incerteza da disponibilidade de energia elétrica devido ao constante crescimento populacional, as crises do petróleo e os grandes impactos ambientais dos sistemas energéticos são as principais motivações para o uso responsável e eficiente de energia elétrica.

Usar a energia elétrica de modo eficiente para obter um resultado esperado é um conceito de uma abordagem direta, porém sintética. Esse conceito abrange a necessidade da sensibilização da sociedade relacionada à mudança dos maus hábitos existentes de consumo de energia elétrica, a aplicação dos conhecimentos técnicos através de análises de instalações e sistemas que utilizam energia e a disseminação das tecnologias existentes que consomem menos energia elétrica. (ABESCO, 2018a)

As ações envolvendo eficiência energética são uma alternativa para a sociedade no atendimento da expansão da demanda de energia elétrica e para manter equilibrado a oferta/demanda de energia elétrica.

2.1 O surgimento da Eficiência Energética no Mundo

A primeira crise do petróleo na década de 1970 fez o mundo criar investimentos para projetos de eficiência energética e fontes alternativas de energia com a intenção de diminuir a dependência da população em relação ao petróleo e seus derivados.

Outro motivo foi a preocupação com os impactos ambientais, resultados do aquecimento global do efeito estufa gerado pelo consumo de combustíveis fósseis. Em 1997 foi assinado um tratado importante e grandioso, negociado entre as grandes potências econômicas da época, para reduzir a emissão dos gases do efeito estufa, o protocolo de Kyoto. (KERDNA, 2018)

Para se atingir os objetivos cada país-membro do protocolo desenvolveu programas e tecnologias para gerar eficiência em toda a cadeia energética. De acordo com (SOUZA ET AL., 2011):

Estados Unidos: o Departamento de Energia Americano (DoE) trabalha com o programa *Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EERN)*. Para baixar custos e proteger o meio ambiente o programa estimula a exploração de fontes renováveis e a competitividade econômica. Com foco nas empresas concessionárias de energia, nas indústrias, construção civil e em setores de transporte, o DoE investe em pesquisa de desenvolvimento, com os Programas

de Etiquetagem e Padronização de Equipamentos (DoE/EPA).

Canadá: Na década de 70 já possuía programas de eficiência energética. Depois de alguns anos foi criado o *National Action Program on Climate*. Os principais programas são voltados à indústria, setor público, transportes, normalização de equipamentos na construção civil, programa de etiquetagem de equipamentos eficientes e orientação de consumidores.

Reino Unido: Foram implementados modernos aquecedores de água, controle de aquecimento, melhorias no isolamento de paredes na construção, iluminação eficiente e fomento a empreendimentos que contribuíssem com a conservação de energia. O governo focou na sensibilização da população e na implantação de programas do Departamento de Meio Ambiente, Transportes e Regiões (DETR) e do programa *Electricity Standard of Performance (SoP)*.

França: A Agência do Meio Ambiente e da Matriz Energética (ADEME) é responsável pela eficiência energética no país com o auxílio das políticas ambientais e energéticas. As áreas prioritárias foram a economia dos resíduos, poluição do ar e matriz energética limpa.

Espanha: O Instituto para a Diversificação e Economia Energética (IDAE) é responsável pela eficiência energética no país. Desenvolve projetos relacionados ao uso racional da energia e incentivo às fontes renováveis, auditorias energéticas, estímulo ao uso de combustíveis limpos e substituição de equipamentos obsoletos.

Já outros países como Japão, Noruega, Dinamarca, Suécia, Nova Zelândia e Austrália desenvolvem programas similares objetivando a redução do desperdícios de energia como: programas de etiquetagem e a normalização de produtos, métodos e processos industriais.

2.2 O surgimento da Eficiência Energética no Brasil

Foi criada uma política energética que fez com que o setor público brasileiro assumisse o controle direto do setor elétrico, ou seja, tornando-o responsável pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica do país a partir dos anos de 1960. Essa centralização de poder resultou no planejamento e construção de hidrelétricas de grande porte e também a integração dos sistemas isolados planejado pelo Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema Elétrico (GCPS), coordenado pela Eletrobras e com participação de empresas privadas, municipais, estaduais e federais.

Depois da crise do petróleo em 1979, quando se descobriu que este não é um recurso renovável, o Brasil teve dificuldade de manter os pagamentos e não pôde fazer mais investimentos devido as altas taxas de juros da dívida externa, afetando o financiamento do setor elétrico e a

expansão do sistema.

Em setembro de 1985 ocorreu o primeiro grande blecaute da história do Brasil devido a geração de energia maior que a capacidade da rede de transmissão, atingindo nove estados brasileiros. (PRADO, 2003)

Em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia (Inmetro) abordou a necessidade de um programas de avaliação da conformidade com foco no desempenho de equipamento. Inicialmente voltado para o setor automotivo, o intuito do programa era informar a população sobre o nível de eficiência energética através de etiquetas de identificação. (PBEEDIFICA, 2018)

Em dezembro de 1985 foi criado O Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, um programa do governo brasileiro, que promove ações de eficiência energética, as quais contribuem para o aumento da eficiência de equipamentos e serviços, despertam os bons hábitos e divulgam o conhecimento sobre o consumo eficiente da energia elétrica. Esse programa foi estabelecido no final de 1985 e é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobras.(PROCELINFO, 2006)

As ações de eficiência energética promovidas pelo Procel ajudam o país a economizar energia elétrica gerando benefícios para o país, como a postergação de investimentos em novas estruturas de geração e transmissão no setor elétrico, e conseqüentemente, a redução dos impactos ambientais tornando o Brasil um país ainda mais sustentável. (PROCELINFO, 2006)

Uma dessas ações é o selo Procel de economia de energia, iniciado em dezembro de 1993, o qual é uma ferramenta que atua como indicador de eficiência de equipamentos e eletrodomésticos para a população brasileira. Através de parcerias junto ao Inmetro, associações de fabricantes e laboratório de universidades, foram estabelecidos índices de desempenho e consumo para serem aplicados em ensaios laboratoriais e assim, ser feita a identificação de equipamentos considerados aptos a receber o selo. (PROCELINFO, 2006)

Alem do selo Procel existem outros programas, como o Procel conhecimento, Procel Edificações, Procel iluminação pública (Reluz), Procel poder público e Procel indústria e comércio. (PROCELINFO, 2006)

Já em 1998, o Programa de Eficiência Energética (PEE), foi criado para promover a eficiência energética em todos os setores da economia, através de projetos que apresentam viabilidade econômica, os quais maximizam os benefícios da demanda de energia elétrica poupada. Projetos estes custeados pela obrigação fixada nos contratos de concessão de energia

elétrica.

Em março de 1999 ocorre um outro grande blecaute atingindo o Paraguai, mais dez estados brasileiros e o Distrito Federal com o desligamento da usina de Itaipu.

Em 24 de julho de 2000, foi criada a lei número 9.991, que atribui às concessionárias e permissionárias de distribuição a obrigação de usar 0,5% de sua receita operacional líquida em ações de eficiência energética. (ANEEL, 2018)

Devido a não implantação de um ambiente regulatório adequado, a ineficácia da gestão governamental e a escassez de chuvas foi promovido, entre junho de 2001 até março de 2002, o racionamento de energia, com a meta de economizar 20% de energia elétrica.

Em outubro de 2001 foi criada a lei de eficiência energética N^o. 10.295, Decreto 4.508/2002, a qual determina os níveis de eficiência energética de máquinas e aparelhos em relação ao consumo de energia elétrica.

Em 2002, o Ministério de Minas e Energias criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (Proinfa), para desenvolver fontes alternativas e renováveis de energia elétrica. O programa contempla a instalação de 144 usinas elétricas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada, sendo provenientes de Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), usinas eólicas e usinas a base de biomassa. (BRASIL, 2018)

Um outro marco institucional foi a autorização de criação da EPE pela lei nº 10.847, 15/03/2004, com o foco em coletar dados e analisar as informações do setor elétrico para o Ministério de Minas e Energia (MME).

Em 2009, foi lançado o Selo PBE Edifica, um programa resultado da parceria do Procel Edifica mais o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) possibilitando a identificação de edifícios comerciais, edifícios de serviços, edifícios públicos e edifícios residenciais. O processo de etiquetagem é feita através do nível de eficiência da iluminação, climatização e envoltória do edifício. (SUSTENTAQUI, 2018)

Em julho de 2013, foram aprovados os Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), através da Resolução Normativa nº 556. O PROPEE é um manual composto de 10 (dez) módulos, cujos procedimentos determinados devem ser seguidos pelas distribuidoras, para elaboração e execução de projetos de eficiência energética regulados pela Aneel. Tais procedimentos definem a estrutura, a forma de apresentação dos projetos, os critérios de avaliação, a metodologia de fiscalização, os procedimentos para contabilização dos custos e os tipos de projetos que podem ser realizados. (ABESCO, 2018b)

No ano de 2014 foi criada a *International Electrotechnical Commission (IEC) 60364-8-1*, uma norma internacional, que considera a instalação elétrica como um produto em que pode ser aplicado a eficiência energética. O Brasil tem tecnologia para aplicar o conceito abordado nesta norma. Falta, para tanto, apenas a nacionalização da norma e um reforço institucional para a sua utilização.

3 NORMAS EXISTENTES PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

É importante identificar as normas que regem os requisitos de montagem, condições de utilização e recomendações para as instalações elétricas e analisá-las com foco em mensurar quanto a eficiência energética está difundida de forma institucional.

3.1 Norma ABNT NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão

A norma ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão foi criada a partir da necessidade de estabelecer as condições mínimas para garantir a segurança e o funcionamento adequado das instalações elétricas brasileiras. A partir de 1980, as revisões foram baseadas na IEC 60364 - Instalações elétricas de baixa tensão. Hoje, a norma 5410 é considerada consolidada e madura. (OSETORELETRICO, 2018)

Os objetivos da Norma 5410 tem como princípios a proteção contra choques elétricos, a proteção contra efeitos térmicos indesejados, a proteção contra sobrecorrentes, a proteção contra sobretensão, desligamentos de emergência, seccionamento, acessibilidades e instalação de componentes e qualificação de profissionais.

A norma reconhece que a ocorrência de choque elétrico em pessoas e animais pode acontecer pelo contato com partes vivas, com isso aplica-se a utilização de proteção por isolamento por meio de barreiras ou invólucros.

O choque elétrico também pode acontecer pelo contato com partes condutora da instalação que normalmente não esteja diretamente energizada, porém se tornou energizada devido a um defeito na isolação e para evitá-lo utiliza-se seccionamento automático, equipotencialização e proteção diferencial-residual de alta sensibilidade.

Em relação a proteção contra os efeitos térmicos as pessoas e os componentes da instalação devem ser protegidos contra risco de queimadura, degradação de materiais e perigo de incêndio.

Sobrecorrentes devem ser anuladas por um ou mais dispositivos de seccionamento automático, antes que se tornem perigosas e resultem na degradação devido aos seus efeitos térmicos e mecânicos.

A norma recomenda a proteção contra surtos nos pontos de entrada e/ou saída da edificação. Além dos pontos descritos acima pode ser necessário a proteção contra surtos ao longo da instalação e equipamentos mais sensíveis.

Um dispositivo de proteção deve seccionar automaticamente a alimentação do circuito ou equipamento por ele protegido sempre que uma falta ocorrer em caso de desligamento de emergência e para fins de manutenção.

De acordo com a norma, os componentes da instalação devem possuir espaço suficiente para operação e reparos quando necessário. É necessário, também, a utilização de componentes conforme as características técnicas compatíveis com as condições elétricas e operacionais a que foram submetidos.

Na seleção dos componentes a norma diz que devem ser considerados as possíveis perturbações que podem ocorrer na instalação elétrica devido ao fator de potência, às correntes de energização, ao desequilíbrio de fases e às harmônicas. Além disso, a Norma defende que toda a instalação elétrica deve ser montada e verificada por pessoas qualificadas, de forma a assegurar a integridade dos componentes. (ABNT NBR 5410, 2004)

De modo geral, percebe-se que todos os dimensionamentos e cálculos possuem o objetivo de proteger os componentes e usuários das instalações elétricas.

3.2 Norma ABNT NBR 15920 - Cabos elétricos - Cálculo da corrente nominal - Condições de operação - Otimização econômica das seções dos cabos de potência

A norma ABNT NBR 15920 é uma tradução literal da IEC 60287-3-2 que determina a seção econômica de um condutor, criada por uma comissão de estudos formada junto à ABNT e liderada pelo Instituto Brasileiro do Cobre. Esta norma é aplicável a todas as instalações elétrica de baixa e média tensão, e já é utilizada em outros países com o intuito de reduzir as perdas de energia elétrica por efeito Joule nas edificações de grande porte.

O procedimento usado para a seleção de uma seção de condutores leva em conta apenas os custos do investimento inicial do condutor, porém é a soma dos custos iniciais e dos custos das perdas durante a vida útil do cabo que devem ser considerados.

Um condutor com seção maior do que a que seria escolhida baseada no mínimo custo inicial conduz a uma menor perda de energia para a mesma corrente, e quando considerado a utilização durante a sua vida útil, o consumo de energia elétrica é menos oneroso, o que representa o critério econômico.

Apesar do critério econômico, a norma diz que também devem ser considerados os critérios de curto-circuito e sua duração, e de queda de tensão. Porém o cabo escolhido pelo critério econômico pode ser também satisfatório para os outros critérios.

Para a determinação das seções econômicas dos condutores é feita uma abordagem conforme a norma em relação à faixa econômica de correntes para cada condutor de uma série de seções e outra abordagem em relação a seção econômica de um condutor para uma dada carga. (ABNT NBR 15920, 2011)

3.3 Norma IEC 60364 - Instalações elétricas de baixa tensão

A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC - *International Electrotechnical Commission*) é uma organização mundial que promove a interligação internacional nas questões voltadas à normalização na área da eletricidade e eletrônica. Para tal atividade, a IEC publica Normas Internacionais, Especificações Técnicas e Relatórios Técnicos. A preparação dessas normas é confiada a comitês técnicos, organizações internacionais, governamentais e não-governamentais, além de uma estreita colaboração com a Organização Internacional de Normalização (ISO - *International Organization for Standardization*).

A norma IEC 60364 fornece requisitos de desempenho gerais e sua utilização não é recomendada como um documento de instalação por projetistas de sistema elétrico, instaladores ou fiscalizadores, mas pode servir como um guia para o desenvolvimento de regras nacionais de instalações elétricas.

Na primeira parte, a norma fornece as regras para o projeto, a montagem e a verificação de instalações elétricas. Essas regras destinam-se a garantir a segurança das pessoas, animais e propriedades contra perigos e danos que possam surgir no uso razoável de instalações elétricas e prever o bom funcionamento dessas instalações.

Na quarta parte, existem medidas para a proteção de pessoas, animais e propriedades contra efeitos térmicos, combustão ou degradação de materiais e risco de queimaduras causadas por equipamento, medidas contra chamas em caso de perigo de incêndio propagado a partir de instalações elétricas para outros compartimentos, e o comprometimento do funcionamento seguro de equipamentos, incluindo serviços de segurança.

A norma IEC 60364 cobre a proteção de condutores ativos dos efeitos das sobrecorrentes. Ela descreve ainda a forma como condutores vivos são protegidos por um ou mais dispositivos para a desconexão automática da fonte em caso de sobrecarga e curto-circuito, exceto nos casos onde há omissão de dispositivos de proteção contra sobrecarga ou contra curto-circuito. Ela inclui também a coordenação de proteção contra sobrecarga e proteção de circuito.

A norma abrange a proteção de instalações elétricas e medidas contra perturbações

de tensão e perturbações eletromagnéticas. Os requisitos estão organizados em quatro cláusulas:

- 442: Proteção de instalações de baixa tensão contra sobretensões devido a falhas de terra no sistema de alta tensão e devido a falhas no sistema de baixa tensão.
- 443: Proteção contra sobretensões de origem atmosférica ou devido a comutação.
- 444: Medidas contra influências eletromagnéticas.
- 445: Proteção contra subtensão.

Na quinta parte são fornecidas regras comuns para o cumprimento das medidas de proteção, requisitos para o funcionamento adequado da instalação e requisitos adequados às influências externas através dos tipos de sistema de fiação, seleção e montagem de sistemas de fiação em relação a influências externas, capacidades de transporte de corrente, queda de tensão nas instalações dos consumidores, seleção e montagem de sistemas de fiação para minimizar a propagação do fogo, proximidade de sistemas de cabeamento para outros serviços, seleção e montagem de sistemas de fiação em relação a manutenção, incluindo limpeza.

Ela apresenta requisitos gerais para isolamento, comutação e controle, e requisitos para seleção e montagem dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente, dispositivos de proteção de corrente residual e dispositivos de monitoramento de isolamento. Abrange também a proteção de instalações elétricas e medidas contra perturbações de tensão e perturbações eletromagnéticas arranjos de aterramento e condutores de proteção.

A sexta parte da IEC 60364 fornece requisitos para a verificação inicial e periódica de uma instalação elétrica, por inspeção e teste, de uma instalação elétrica para determinar se os requisitos das outras partes da IEC 60364 foram atendidos. A verificação inicial ocorre após a conclusão de uma nova instalação ou alterações em instalações existentes. A verificação periódica analisa se a instalação e todos os seus equipamentos constituintes estão em condições satisfatórias de uso.

Já sua sétima parte apresenta requisitos para instalações em locais especiais, como banheiro, piscina, hospitais, sistemas de fornecimento de energia solar fotovoltaica, veículos elétricos e outros tipos de instalações. (IEC 60364, 2005)

3.3.1 Norma IEC 60364-8-1 Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 8-1: Eficiência energética

A otimização do uso de energia elétrica pode ser facilitada por considerações apropriadas no projeto e na instalação, e baseia-se no gerenciamento da eficiência energética com

medições durante toda a vida da instalação elétrica ajudando, assim, a identificar oportunidades para melhorias e correções.

Lançada no final de 2014, a IEC 60364-8-1 é uma parte da IEC 60364 que trata da eficiência energética das instalações elétricas, pois ela oferece requisitos adicionais, medidas e recomendações para o projeto, tanto para a execução como para a verificação de todos os tipos de instalações elétricas de baixa tensão, incluindo a geração local e armazenamento de energia.

Estes requisitos e recomendações aplicam-se, dentro do escopo da série IEC 60364, para novas instalações e para modificações de instalações existentes. Eles possuem uma abordagem de gerenciamento energético eficiente, com o intuito de obter o melhor serviço funcionalmente e o menor consumo de energia elétrica para a disponibilidade de energia e o equilíbrio econômico. (IEC 60364-8-1, 2014)

A Setores de atividades

A norma identifica quatro setores de atividades diferentes através de uma abordagem geral de eficiência energética, pois cada um possui características específicas que requerem uma metodologia específica de implementação. Esses setores são:

- Edificações residenciais (habitações);
- Edificações comerciais;
- Edificações industriais;
- Infraestrutura.

A IEC 60364-8-1 possui uma sequência de requisitos e determinações que servem de parâmetros para um planejamento de etapas bem definidas.

B Requisitos de projeto e recomendações

Nesta cláusula são considerados como princípios de projetos de instalação o perfil energético das cargas e a minimização das perdas de energia elétrica através da redução das perdas nos condutores e da localização da subestação, fonte local de geração de energia e do quadro de distribuição.

Torna-se necessário determinar as demandas em KVA principais das cargas de instalação juntamente com o tempo de operação e a estimativa do consumo anual.

Para manter as perdas no nível mínimo, os transformadores e os principais quadros de distribuição devem ser localizados o mais próximos das cargas principais. A norma indica o método de baricentro para identificar a distribuição das cargas. No anexo A há um exemplo apresentado pela própria norma.

A quantidade de subestações é também um requisito, pois depende de critérios como potência necessária, área da edificação e a distribuição das cargas terá influência no comprimento e seções dos condutores.

Deve-se atentar à eficiência máxima do transformador utilizado, que corresponde de 25% a 50% da potência máxima. A escolha de um transformador energeticamente eficiente resulta em um aumento de custo, porém o tempo de retorno pode ser estimado relativamente curto em comparação com a vida média do mesmo.

Em relação a queda de tensão nos condutores, a norma recomenda seguir as orientações da quinta parte da IEC 60364. No caso das instalações elétricas brasileiras é necessário consultar a ABNT NBR 5410.

Sobre as seções nominais dos condutores deve ser considerado o custo das perdas que irão acontecer durante a vida útil do condutor em relação ao custo inicial. Existe uma norma brasileira baseada na IEC 60287-3-2, a ABNT NBR 15920, que possui um método de cálculo equivalente para esse fim.

É necessário também um projeto de instalação de um sistema para reduzir o consumo de energia reativa, pois o mesmo reduz perdas térmicas nos condutores.

Outro requisito para reduzir as perdas térmicas nos condutores é a redução de harmônicas na carga através de filtros de harmônicas ou do aumento da seção nominal dos condutores.

C Determinação de zonas, utilizações e malhas

De acordo com a norma é necessário a determinação de zonas, uma área ou local onde é usada energia elétrica, para permitir medições e análise do consumo de energia. Existem critérios na norma para definir as zonas e malhas voltados a viabilidade de gerenciamento e monitoramento de energia. Esses critérios são:

- Critérios técnicos baseados em parâmetros externos, pois a interrupção de alguns serviços devem ser mínimas. Como exemplo as luminárias perto da janela devem estar em malhas diferentes em relação as luminárias que estão

longe da janela, facilitando assim o desligamento do primeiro conjunto de luminária citado devido a iluminação natural da janela.

- Critérios técnicos baseados em controle, onde a mesma malha alimenta os dispositivos de controle do mesmo sistema.
- Critérios técnicos baseados em pontos críticos para a medição, pois podem existir malhas diferentes para as mesmas cargas dependendo do objetivo da medição.
- Critérios técnicos baseados nos custos da eletricidade, devido variação dos preços em relação ao período de uso das malhas.

D Eficiência energética e sistema de gerenciamento de carga

A norma sugere a instalação de um sistema de eficiência energética que considera as cargas, a geração, o armazenamento e os requisitos dos usuários com a distribuidora. É necessário ter prioridade ao uso das diferentes cargas visando um processo de otimização do uso. Deve existir acionamento manual que permita ao usuário assumir o controle das funções. Recomenda-se precisão nas medições, registro de dados, gerenciamento das redes e comunicação segura entre sensores e equipamentos.

E Manutenção e aumento do desempenho da instalação

A medição é uma das chaves principais para auditar o consumo, monitorar, manter e melhorar a instalação elétrica.

Garantir a quantidade certa de energia produzida e utilizada na hora certa com um programa de desempenho com auditoria inicial e periódica das instalações elétricas, precisão dos equipamentos de medição e manutenção periódica.

F Parâmetros para a implementação de medidas de eficiência

Aqui são fornecidos requisitos que se devem usar para implementar medidas de eficiência e assim, alcançar um bom nível de desempenho.

- Em relação a motores é necessário observar as condições de uso. Se o

mesmo está a vazio, ou a plena carga ou se está superdimensionado. Deve-se também reduzir a corrente de partida através de dispositivos de controle com variação de velocidade, reduzir o ruído e a vibração, evitando assim danos mecânicos.

- Em relação a iluminação deve-se utilizar interruptores fotosensíveis, reatores eficientes, detectores de movimento ou interruptores cronometrados para ter um controle mais fácil e reduzir o consumo de energia elétrica, dependendo da lâmpada.
- Já nos sistemas de climatização é recomendado utilizar controle adequado de acordo com a ocupação dos espaços.
- Preza-se também pela aquisição de transformadores eficientes, além da redução das perdas nos condutores através do aumento das áreas das seções transversais dos cabos e e da redução das correntes reativas e das harmônicas.
- Recomenda-se fazer a correção do fator de potência, além de instalar um sistema de monitoramento para controlar o desempenho do consumo, identificar o uso de energia através do controle de carga e fazer um levantamento da qualidade de energia com medições de queda de tensão, fator de potência e harmônicas.

G Ações

Sugere-se analisar todas as medições para tomada de ações diretas ou programadas para manter as soluções existentes ou implementar novas opções. Desse modo, pode-se estabelecer metas de energia para otimizar o consumo.

H Processo de avaliação de instalações elétricas

No Anexo B da norma apresenta-se um método avaliativo com exemplo para identificar a eficiência energética de uma instalação elétrica. Há cinco classes de eficiência energética de instalações elétricas, EIEC0 a EIEC4, com a classe EIEC4 sendo a mais alta (IEC 60364-8-1, 2014):

- EIEC0: instalação de eficiência muito baixa;
- EIEC1: instalação de eficiência baixa;
- EIEC2: instalação de eficiência média;
- EIEC3: instalação de eficiência alta;
- EIEC4: instalação de eficiência otimizada.

3.3.2 Norma IEC 60364-8-1 no Mundo e no Brasil

Da mesma forma que a norma IEC 60364 fornece requisitos de desempenho gerais e assim, não é recomendada à utilização como um documento de instalação ou fiscalização, a parte 8, IEC 60364-8-1, também deve servir apenas como um guia para o desenvolvimento de regras nacionais de instalações elétricas.

Na Alemanha, a norma DIN VDE 0100-801, que define pela primeira vez o aspecto de eficiência energética, é obrigatória desde outubro de 2015 e está em conformidade com a IEC 60364-8-1. Ela é a nova parte da série padrão DIN VDE 0100 que apresenta requisitos e recomendações para o planejamento e montagem de instalações elétricas com o objetivo principal de otimizar o consumo de energia elétrica. (DIN VDE 0100-801, 2015)

Atualmente, no Reino Unido, foi publicada pelo comitê nacional, JPEL/64, a edição da norma britânica BS 7671-"Requisitos para Instalações Elétricas", para o acréscimo de novas exigências em relação à eficiência energética devido à publicação da IEC 60364-8-1, e entra em vigor a partir de janeiro de 2019. (IET, 2018)

Já no Brasil a IEC 60364-8-1 é assunto principal entre palestras, congressos e fóruns de instalações elétrica e eficiência energética, faltando apenas a nacionalização da norma e um reforço institucional para a sua utilização.

4 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA IEC 60364-8-1 E DA ABNT NBR 5410 EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

O Brasil possui uma norma sólida e madura, a ABNT NBR 5410, em relação a segurança tanto dos componentes que formam as instalações elétricas quanto a segurança dos usuários que as utilizam. Apesar de existirem vários programas, regulamentações e incentivos voltados a eficiência energética acontecendo no Brasil, as instalações elétricas estão fora dessas operações de melhoria.

Na norma IEC 60346-8-1 é apresentada uma abordagem de dimensionamento de condutores que não é utilizada na elaboração de projetos das instalações elétricas brasileiras, porém essa abordagem já é normatizada através da ABNT NBR 15920 no Brasil, faltando apenas o investimento na aplicação.

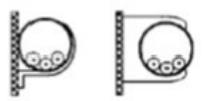
4.1 Metodologia de aplicação da ABNT NBR 5410 no dimensionamento dos condutores

O dimensionamento dos condutores dos circuitos da instalação elétrica brasileira é realizada através dos critérios definidos pela ABNT NBR 5410, que foi baseada na IEC 60364.

Para o dimensionamento dos condutores devem-se satisfazer simultaneamente a capacidade de condução de corrente, ou simplesmente ampacidade, os limites de queda de tensão e a capacidade de condução de corrente de curto-circuito por tempo limitado.

Inicialmente de acordo com a norma, para identificar a seção do condutor é necessário conhecer o material condutor da linha e o método de referência. A Figura 2 mostra uma recorte da Tabela 33 da norma NBR 5410, onde se especifica o tipo de material condutor e a forma de disposição dos condutores, e com isso, é possível a identificação do método de referência.

Figura 2 – Amostra da tabela 33 da ABNT NRB 5410:2004.

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1

Fonte: ABNT NRB 5410:2004.

Após o cálculo da corrente de projeto e já com os fatores de correção necessários incluídos, determina-se a corrente máxima, que percorrerá o condutor e, de acordo com o método de instalação, procura-se nas tabelas de Capacidade de Condução, em função dos métodos de referência. A Figura 3 apresenta uma amostra da tabela 33 da norma 5410. (ABNT NBR 5410, 2004)

Figura 3 – Amostra da tabela 36 da ABNT NRB 5410:2004.

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	Cobre											
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15

Fonte: ABNT NRB 5410:2004.

Esses critérios, – capacidade de condução, queda de tensão e corrente de curto circuito, conduzem ao dimensionamento do condutor capaz de permitir a passagem da corrente elétrica respeitando os limites de aquecimento conforme as características informadas pelo fabricante.

4.2 Metodologia de aplicação da IEC 60364-8-1 no dimensionamento dos condutores

Segundo a IEC 60364-8-1 "Para cabos, a seção escolhida deve ser determinada considerando o custo das perdas que irão ocorrer durante a vida útil do cabo em relação ao custo inicial do cabo. Um método de cálculo pode ser encontrado na IEC 60287-3-2.". No entanto, existe uma norma brasileira baseada na IEC 60287-3-2, ABNT NBR 15920, que possui um método de cálculo para esse fim.

Para a determinação das seções econômicas dos condutores é feita duas abordagens conforme a ABNT NBR 15920:

1. A faixa econômica de correntes para cada condutor de uma série de seções;
2. A seção econômica de um condutor para uma dada carga.

4.2.1 A faixa econômica de correntes para cada condutor de uma série de seções

Todas as seções de condutores possuem uma faixa econômica de correntes para uma determinada condição de instalação. As equações abaixo são utilizadas para calcular os limites inferior, Equação 4.1, e superior, Equação 4.2, de uma dada seção. (ABNT NBR 15920, 2011)

$$\text{Limite inferior de } I_{max} = \sqrt{\frac{CI - CI_1}{FL(R_1 - R)}} \quad (A) \quad (4.1)$$

$$\text{Limite superior de } I_{max} = \sqrt{\frac{CI_2 - CI}{FL(R - R_2)}} \quad (A) \quad (4.2)$$

Onde:

L = Comprimento do cabo (m);

CI = Custo do comprimento do cabo instalado cuja seção está sendo considerada, expresso em unidade monetária (R\$);

CI₁ = Custo de instalação da próxima menor seção nominal de condutor, expresso em unidade monetária (R\$);

CI₂ = Custo de instalação da próxima maior seção nominal de condutor, expresso em unidade monetária (R\$);

R = Resistência C.A. por unidade de comprimento da seção do condutor que está sendo considerada, expressa em ohms por metro (Ω/m);

R₁ = Resistência C.A. por unidade de comprimento da próxima menor seção nominal do condutor, expressa em ohms por metro (Ω/m);

R₂ = Resistência C.A. por unidade de comprimento da próxima maior seção nominal do condutor, expressa em ohms por metro (Ω/m).

4.2.2 A seção econômica de um condutor para uma dada carga

O custo total de instalar e operar um condutor é calculado conforme a Equação 4.3:

$$CT = CI + CJ \quad (R\$) \quad (4.3)$$

Onde:

CI = Custo inicial do cabo instalado cuja seção está sendo considerada, expresso em unidade monetária (R\$);

CJ = Custo equivalente as perdas por Joule durante a vida econômica de N anos a partir da data de aquisição (R\$).

O custo inicial do cabo instalado, CI, considerando um modelo de função linear, pode ser ajustado em função do tipo do cabo e seção transversal como é possível ver na Equação 4.4 .

$$CI(S) = L(A S + C) \quad (R\$) \quad (4.4)$$

Onde:

A = Componente variável do custo, relacionado à seção do condutor (R\$/m.mm²);

C = Componente constante do custo (R\$/m);

S = Área da seção transversal do cabo condutor (mm²);

L = Comprimento do cabo (m).

Para análises com diferentes seções de condutores é melhor expressar todos os parâmetros financeiros em função de uma variável com a Equação 4.5:

$$F = N_p N_c (T P + D) \frac{Q}{1 + i/D} \quad (R\$/W) \quad (4.5)$$

O custo equivalente as perdas por Joule durante a vida econômica de N anos a partir da data de aquisição (R\$) é calculado através da Equação 4.6.

$$CJ(S) = I_{max}^2 R L F \quad (R\$) \quad (4.6)$$

Onde:

I_{max} = Corrente de projeto máxima prevista para o circuito no primeiro ano (A);

R = Resistência C.A. aparente do condutor por unidade de comprimento (Ω/m);

L = Comprimento do cabo (m);

F = os parâmetros assumidos que ocorrerão durante a vida econômica do cabo encontrado na Equação 4.5.

Através da ABNT NBR 15920, a seção econômica de um circuito é a que possui o menor custo de investimento de aquisição, instalação e operação. No cálculo de custo total são considerados os custos de aquisição e instalação dos cabos, as perdas e custos gerados que um condutor ocasiona devido ao efeito Joule.

4.3 Aplicação

Para aplicação e análise dos conceitos estabelecidos pelas normas foi escolhido um estudo de caso em um projeto de instalações elétricas de uma indústria da disciplina de Instalações Elétricas Industriais do curso bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. O circuito escolhido possui 50 m de extensão desde a saída do quadro de força (QGF-02-02) até o motor de 95 KVA acoplado na máquina industrial. Ele foi projetado para uma corrente de 195,5 A, em uma tensão de 380 V trifásico. Pelo critério de condução, de acordo com a NBR 5010/2004, o circuito teria um condutor de cobre com 50 mm^2 para as fases e 50 mm^2 para o neutro. Seguindo o critério de queda de tensão foi projetado um cabos de cobre com 95 mm^2 para as fases e 50 mm^2 para o neutro com isolamento em EPR 0,6/1kV.

Com base na NBR 5410/2004, tabela 37, o método de referência é B1.

Para a aplicação dos cálculos de custos da NBR 15920/2011 foram assumidos os dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros iniciais

Descrição	Variável	Valor
Número de anos de operação	N	20
Tempo de operação com perdas Joules	T	8760 h/ano
Número de condutores de fase por circuito	N_p	3
Número de circuito que levam mesma carga	N_c	1
Aumento anual de carga	a	1%
Aumento anual do custo de energia	b	5%
Taxa de capitalização (sem inflação)	i	6%
Custo de 1 watt-hora para a carga (tarifa verde)	P	0,00075622 R\$/W.h
Variação anual de demanda	D	0

Fonte: Próprio autor

Durante a etapa de dimensionamento foi utilizado um levantameto de preço de mercado apresentada no Anexo A para o cálculo da variável A ($\text{R}\$/\text{m} \times \text{mm}^2$). Para identificar uma seção economicamente viável realizou-se os cálculos para as seções de 70 mm^2 até 500 mm^2 apresentados na Tabela 4.

Tabela 04 – Custo total de cada condutor no final de 20 anos.

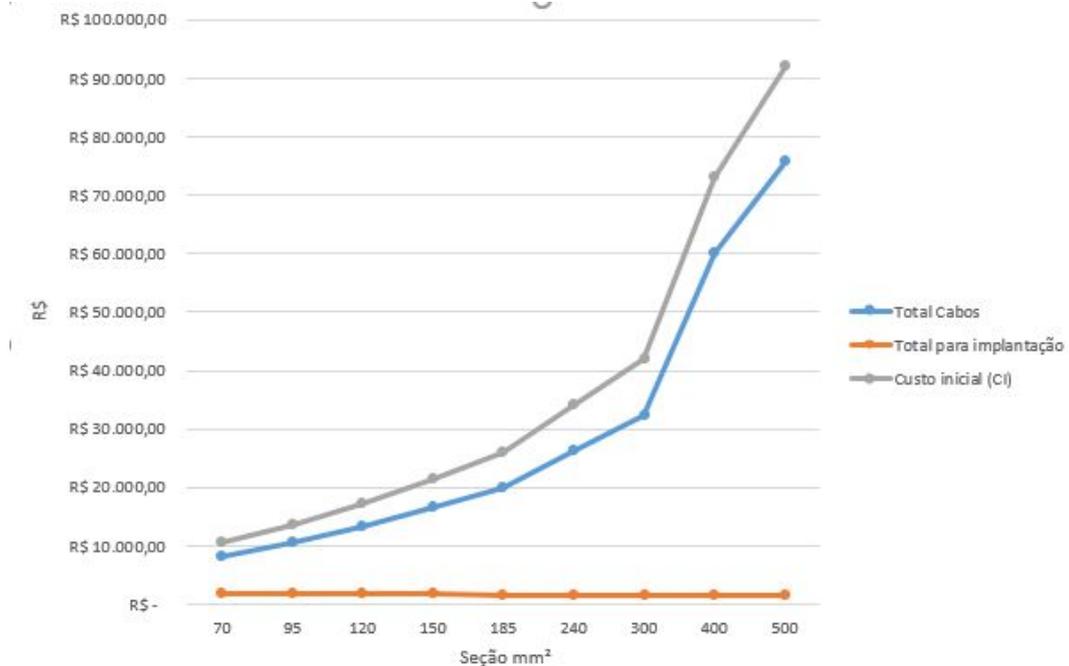
Seção (mm ²)	70	95	120	150	185	240	300	400	500
Instalação (R\$)	1.721,00	1.723,40	1.739,69	1.740,35	1.411,60	1.423,37	1.429,34	1.492,10	1.540,40
Cabo (R\$)	8.190,50	10.586,50	13.378,50	16.680,50	19.972,50	26.200,50	32.316,50	60.022,50	75.800,50
CI (R\$)	10.465,50	13.674,00	17.278,50	21.555,50	25.985,00	34.000,50	42.066,50	73.022,50	92.050,50
CJ (R\$)	233.542,77	173.064,23	137.802,92	111.309,37	91.657,21	72.869,15	55.579,37	47.992,80	41.698,40
CT (R\$)	244.008,27	186.738,23	155.081,42	132.864,87	117.642,21	106.869,65	97.645,87	121.015,30	133.748,90

Fonte: Próprio autor

4.4 Resultados

Conforme a Figura 4, que traz o gráfico de custos iniciais, observa-se um aumento nos valores de aquisição do condutor em função da seção dos condutores, que representa, inicialmente, uma desvantagem econômica com a aquisição de condutores maiores do que o necessário para atender a capacidade de condução, queda de tensão e a capacidade de condução de corrente de curto circuito.

Figura 4 – Custos iniciais

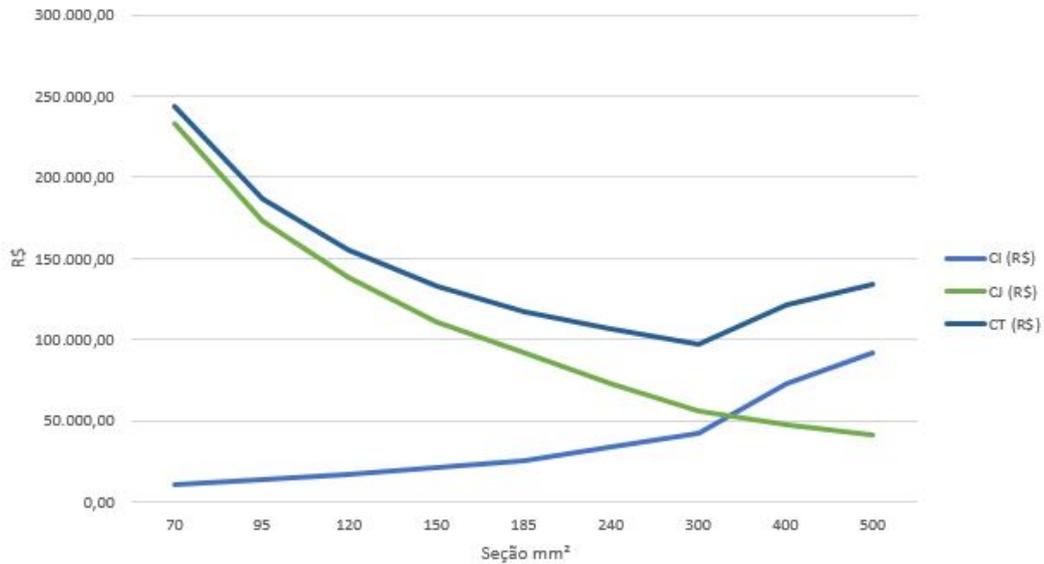


Fonte: Próprio autor

Pórem, quando a mesma curva é comparada com a curva de valores economizados

durante 20 anos devido a redução de desperdício de energia elétrica com perda por efeito Joule as novas conclusões divergem com as anteriores. Como é possível observar na Figura 5.

Figura 5 – Custos ao final de 20 anos



Fonte: Próprio autor

Através da Figura 5 é possível identificar também a seção econômica com a condição em que o ponto do valor inicial cruza com o ponto do valor presentes das perdas por efeito Joule. Com isso, a seção de 300 mm^2 é a mais próxima de uma seção econômica.

Com o dimensionamento de condutores pelos critérios técnicos da NBR 5410 o circuito poderia operar com um cabo de 95 mm^2 . Já através da NBR 15920 com o dimensionamento econômico de condutores, chega-se em um cabo 300 mm^2 , que representou um aumento nos custos iniciais de instalação de 207,6%. Ao final dos vinte anos de vida econômica prevista, o cabo de maior seção apresenta um custo de 47,7% menor, ou seja, uma diferença de R\$ 89.092,36.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os indicadores de crescimento populacional e desenvolvimento da economia, a situação atual do desperdício de energia elétrica é alarmante. A demanda de energia elétrica aumenta e com isso para minimização do problema e postergar ações mais onerosas e robustas.

Apesar dos vários programas e resoluções existentes no Brasil relacionados a eficiência energética, a abrangência deles é mais focado em produtos e equipamentos. Essas ações possuem um grande valor e já produziram ótimos resultados, porém é importante e necessário estender a aplicação do conceito de eficiência energética para os outras segmentos do setor elétrico.

No decorrer deste trabalho foi apresentado a norma IEC 60346-8-1, uma norma internacional que apresenta requisitos e recomendações para aplicação do conceito de eficiência energética nas instalações elétricas de baixa tensão. Ela apresenta uma abordagem de dimensionamento de condutores que não é utilizada na elaboração de projetos das instalações elétricas brasileiras, porém essa abordagem já é normatizada através da ABNT NBR 15920 no Brasil, faltando apenas o investimento na aplicação.

Neste trabalho foi possível ver aplicação da ABNT NBR 15920 no dimensionamento de condutores e a comparação com a metodologia utilizada atualmente pela NBR 5410. Os resultados mostraram-se vantajosos no ponto de vista econômico, pois apesar do custo de aquisição elevado, o investimento é recuperado ao longo dos anos.

Além de tudo, através da redução de desperdício de energia elétrica por efeito Joule tem-se a vantagem de trabalhar com temperaturas menores evitando assim a degradação do isolamento e aumentando a vida útil do condutor.

O trabalho corroborou o despertar para a aplicação do método econômico no dimensionamento de condutores para instalações elétricas de baixa tensão. Os engenheiros projetistas devem analisar além dos custos iniciais do projeto, o custos com o consumo de energia elétrica através das perdas por efeito Joule.

Como sugestão para trabalhos futuros, é interessante o desenvolvimento de ferramentas computacionais para agilizar os cálculos e facilitar as análises individuais para cada projeto de instalação elétrica.

REFERÊNCIAS

- ABESCO, A. B. das Empresas de Serviços de Conservação de E. **Abesco**. 2018. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: 29 jun. 2018.
- ABESCO, A. B. das Empresas de Serviços de Conservação de E. **Abesco**. 2018. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/propee/>>. Acesso em: 29 jun. 2018.
- ANEEL, A. N. de E. E. **Aneel**. 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/15495819/Revista+de+Efici%C3%Aancia+Energ%C3%A9tica+PEE+-+2017.pdf/ec81860f-4f80-f2d3-3692-1dc24f556e17?version=1.1>>. Acesso em: 29 jun. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15920**: Apresentação de citações em documentos — procedimentos. Rio de Janeiro, 2011. 3 p.
- BRASIL, G. do. **Governo do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editorial/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>>. Acesso em: 29 jun. 2018.
- EIA. 2018. Disponível em: <<https://www.eia.org>>. Acesso em: 26 set. 2018.
- HAGER VERTRIEBSGESELLSCHAFT MBH CO. KG. **DIN VDE 0100-801**: Anforderungen bei der planung von niederspannungsanlagen. Blieskastel - Alemanha, 2015. 3 p.
- IEA. **Monthly Statistics - The latest oil, gas, electricity and prices data from OECD countries**. 2018. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/monthly/>>. Acesso em: 26 out. 2018.
- IEC 60364-8-1. **IEC 60364-8-1:2014**: Instalações elétricas de baixa tensão – parte 8-1: Eficiência energética. São Paulo, 2014.
- IET. **The impact of the 18th Edition (BS 7671:2018) – New Part 8, Section 801 Energy Efficiency**. 2018. Disponível em: <<https://electrical.theiet.org/media/1153/the-impact-of-the-18th-edition-new-part-8-section-801-energy-efficiency.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2018.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60364**: Low-voltage electrical installations. Suíça, 2005. 3 p.
- KERDANA. **Protocolo de Kyoto**. 2018. Disponível em: <<http://protocolo-de-kyoto.info/>>. Acesso em: 28 jun. 2018.
- OSETORELETRICO. **SetorElétrico**. 2018. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/a-evolucao-da-norma-mae-das-instalacoes-de-baixa-tensao/>>. Acesso em: 29 jun. 2018.
- PBEEDIFICA. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. 2018. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: 26 set. 2018.
- PRADO, J. G. L. T. S. Reforma e crise do setor elétrico no período fhc: -. **SciELO**, SciELO, v. 15, n. 2, 2003.

PROCELINFO, C. **Procel**. 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID>>. Acesso em: 29 jul. 2018.

SOUZA ET AL., A. d. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. 2011.

SUSTENTAQUI. **Etiqueta PBE Edifica: O que é e como obter**. 2018. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/dicas/etiqueta-pbe-edifica/>>. Acesso em: 26 set. 2018.

6 ANEXO A - TABELA COM OS VALORES DOS CABOS

Material	Quantidade	Diâmetro em mm ²									
		70	95	120	150	185	240	300	400	500	
Terminal de pressão	3	R\$ 8,20	R\$ 9,00	R\$ 14,45	R\$ 14,65	R\$ 18,40	R\$ 18,99	R\$ 20,98	R\$ 21,90	R\$ 38,00	
Parafuso - Porcas - Anilhas	88	R\$ 0,25	R\$ 0,25	R\$ 0,25	R\$ 0,25	R\$ 0,25	R\$ 0,25	R\$ 0,25	R\$ 0,25	R\$ 0,25	
Bandeja 250mmx25 mm(50 m)	50	R\$ 9,37	R\$ 9,37	R\$ 9,37	R\$ 9,37	R\$ 9,37	R\$ 9,37	R\$ 9,37	R\$ 9,37	R\$ 9,37	
Mão Francesa simples	30	R\$ 7,23	R\$ 7,23	R\$ 7,23	R\$ 7,23	R\$ 7,23	R\$ 7,23	R\$ 7,23	R\$ 7,23	R\$ 7,23	
Curva de 90°	2	R\$ 38,00	R\$ 38,00	R\$ 38,00	R\$ 38,00	R\$ 38,00	R\$ 42,00	R\$ 42,00	R\$ 42,00	R\$ 42,00	
Curva de inversão 90°	1	R\$ 43,00	R\$ 43,00	R\$ 43,00	R\$ 43,00	R\$ 43,00	R\$ 45,00	R\$ 45,00	R\$ 45,00	R\$ 45,00	
Mão de obra	1	R\$ 870,00	R\$ 870,00	R\$ 870,00	R\$ 870,00	R\$ 530,00	R\$ 530,00	R\$ 530,00	R\$ 590,00	R\$ 590,00	
Total para o circuito		R\$ 1.721,00	R\$ 1.723,90	R\$ 1.739,89	R\$ 1.740,35	R\$ 1.411,60	R\$ 1.423,37	R\$ 1.429,34	R\$ 1.492,10	R\$ 1.540,40	
Total por metro		R\$ 34,42	R\$ 34,47	R\$ 34,79	R\$ 34,81	R\$ 28,23	R\$ 28,47	R\$ 28,59	R\$ 29,94	R\$ 30,81	
Costo do cabo em R\$/m(Phase)		R\$ 38,49	R\$ 50,47	R\$ 64,43	R\$ 80,94	R\$ 97,40	R\$ 128,54	R\$ 159,12	R\$ 297,65	R\$ 376,54	
Total para o circuito (Phase)		R\$ 5.773,50	R\$ 7.570,50	R\$ 9.694,50	R\$ 12.141,00	R\$ 14.610,00	R\$ 19.281,00	R\$ 23.868,00	R\$ 44.647,50	R\$ 56.481,00	
Cabo Neutro		R\$ 2.417,00	R\$ 3.016,00	R\$ 3.714,00	R\$ 4.539,50	R\$ 5.362,50	R\$ 6.919,50	R\$ 8.448,50	R\$ 15.375,00	R\$ 19.319,50	
Total Cabos		R\$ 8.190,50	R\$ 10.586,50	R\$ 13.378,50	R\$ 16.680,50	R\$ 19.972,50	R\$ 26.200,50	R\$ 32.316,50	R\$ 60.022,50	R\$ 75.800,50	
Total por metro		R\$ 163,81	R\$ 211,73	R\$ 267,57	R\$ 333,61	R\$ 399,45	R\$ 524,01	R\$ 646,33	R\$ 1.200,45	R\$ 1.516,01	
Costo inicial(CI)		R\$ 10.465,50	R\$ 13.674,00	R\$ 17.278,50	R\$ 21.555,50	R\$ 25.985,00	R\$ 34.000,50	R\$ 42.066,50	R\$ 73.022,50	R\$ 92.050,50	

Tabela de custos de implantação dos cabos