



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Artur de Almeida Evangelista

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO INSTITUTO FEDERAL
DO CEARÁ - CAMPUS FORTALEZA**

Maracanaú, Ceará

2018

Artur de Almeida Evangelista

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ -
CAMPUS FORTALEZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em energias renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria

Maracanaú, Ceará

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- E92a Evangelista, Artur de Almeida.
 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ - CAMPUS
 FORTALEZA / Artur de Almeida Evangelista. - 2018.
 77 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus
 Maracanaú, 2018.
 Orientação: Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria.
1. Diagnósticos Energéticos. 2. Economia de Energia. 3. Medidas de Eficiência Energética. 4.
 Retrofits. I. Título.

CDD 620.91

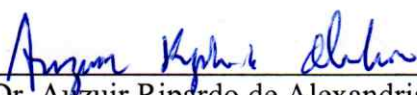
ARTUR DE ALMEIDA EVANGELISTA

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ –
CAMPUS FORTALEZA

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em 01 / 10 / 2018.

BANCA EXAMINADORA



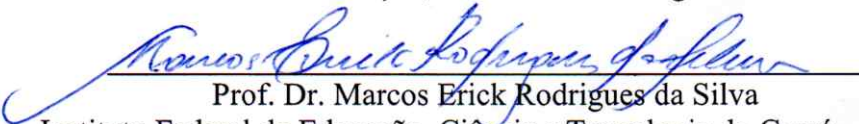
Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Prof. Dr. John Hebert da Silva Felix
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB



Prof. Dr. Glendo de Freitas Guimarães
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Prof. Dr. Marcos Erick Rodrigues da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

*Este trabalho é dedicado a Deus, aos meus pais, Edvaldo e Ana Lúcia, a minha esposa
Narília e aos meus amigos e familiares.*

Agradecimentos

Nesta conclusão de mestrado, eu tenho muito a agradecer primeiramente aos meus pais, que sempre apostaram na minha educação e nunca mediram esforços, sempre me deram todas as condições para que eu me concentrasse em estudar.

Agradeço também a minha esposa Narília e ao nosso bebê que está a caminho, pois eles são as motivações diárias para continuar sempre trabalhando e estudando em busca de um presente e futuro melhores.

Aqui quero agradecer muito especialmente ao IFCE, porque lá consegui me desenvolver como homem, profissional e estudante. Muito do que aprendi passa pelo trabalho que venho desenvolvendo como Engenheiro Eletricista desta ilustre instituição. Dentro do IFCE, existem várias pessoas as quais gostaria de prestar meu agradecimento. Agradeço ao Orientador, Professor Dr. Auzuir, principalmente por ter me aceitado como seu aluno, pois tenho consciência que às vezes fui rude e ansioso com o mesmo. No entanto, fico muito feliz por ter participado junto com ele, afinal é um grande homem que possui várias virtudes e que me fez continuar mesmo com as adversidades do caminho.

Agradeço aos meus colegas de mestrado em geral, pois todos foram importantes no momento de conversa, lazer e pesquisa também. Todos contribuíram para que eu pudesse terminar este trabalho. Agradeço também aos colegas de trabalho que também deram conselhos e força em momentos de dúvida.

Resumo

Na busca de promover a eficiência energética nos países é que são criadas e implementadas políticas, manuais e guias que são responsáveis por aumentar a participação deste tema seja em edificações residenciais, de serviços públicos ou equipamentos de usos finais. Entidades importantes como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e programas como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) são os responsáveis por este trabalho de divulgação e implementação das políticas de eficiência energética. Embora exista preocupação com os gastos de energia elétrica em todos os setores que compõem o país, como programas de gestão de energia e trocas por equipamentos mais eficientes, não são cumpridas metas de economia de energia e de redução de demanda estipuladas em planos de gestão de energia. Assim, o objetivo principal deste trabalho é implementar ações de eficiência energética que efetuem *retrofits* em equipamentos e em edificações, considerando seu desempenho energético e seguindo as metodologias previstas em manuais de aplicação nacionais e aplicando-as em uma instituição de educação localizada no Estado do Ceará. Inicia-se com o levantamento de cargas de iluminação e ar condicionado nas quais são utilizados dados medidos por equipamentos analisadores de energia além de informações retiradas de faturas de energia elétrica. É realizado então o diagnóstico energético da instituição, utilizando manuais consolidados no país para se conseguir resultados expressivos que representam economias de energia da ordem de R\$ 100.000,00 e de mais de 150.000 kWh/ano apenas com ações de *retrofit* de lâmpadas, além de ser possível economizar também com ações de otimização de demanda e tarifária. A implantação de uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE) para discutir e implantar ações de conservação de energia dentro da instituição, torna-se então comprovada através da apresentação dos dados. Sugere-se, portanto, que as ações sejam implementadas em trabalhos futuros com uso de softwares de modelagem de informações e de cálculos computacionais com vistas a simular o desempenho energético de uma instituição. Alertar os responsáveis pelas formulações de políticas públicas a investir em ações de natureza energética é o que se pretende conseguir com a execução das ideias deste trabalho.

Palavras-chaves: Diagnósticos Energéticos; Economia de Energia; Medidas de Eficiência Energética; *Retrofits*.

Abstract

In the quest to promote energy efficiency in the countries, policies, manuals and guides are created and implemented that are responsible for increasing the participation of this theme in residential buildings, public services or end-use equipment. Important entities such as the National Program for the Conservation of Electric Energy (PROCEL) and programs such as the Brazilian Labeling Program (PBE) are responsible for the dissemination and implementation of energy efficiency policies. Although there is concern about electricity expenditures in all sectors of the country, such as implementing energy management programs and exchanges for more efficient equipment, the energy saving and demand reduction targets set in management are not met. Thus, the main objective of this work is to implement energy efficiency actions in inefficient equipment and obsolete technologies, considering their energy performance, following the methodologies provided in national application manuals and applying them to an education institution located in the State of Ceará. It starts with the survey of lighting and air conditioning loads in which data measured by energy analyzing equipment is used in addition to information taken from electric energy bills. The energy diagnosis of the institution is carried out using consolidated manuals in the country to achieve significant results that represent energy savings in the order of R\$ 100,000.00 and of more than 150,000 kWh/year only with actions of retrofit of lamps, in addition to being able to economize also with actions of optimization of demand and tariff. The implementation of an Internal Energy Conservation Commission (ICC) to discuss and implement energy conservation actions within the institution is then proven through the presentation of the data. It is suggested, therefore, that the actions be implemented in future works with the use of information modeling software and computational calculations in order to simulate the energy performance of an institution. It is intended, through the actions carried out, to inform those responsible for formulating public policies the importance of investing in energy efficiency in the institution.

Key-words: Energy diagnosis; Energy Efficiency Measures; Energy savings; *Retrofits*.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Uso de energia com e sem economia de energia.	17
Figura 2 – Percentual de efeitos da eficiência desde o ano 2000 até o ano de 2016.	18
Figura 3 – Despesas do governo federal com serviços de energia elétrica considerando as despesas administrativas totais no ano de 2018.	19
Figura 4 – Despesas do governo federal com serviços de energia elétrica considerando as universidades no ano de 2018.	19
Figura 5 – Lâmpada Incandescente	33
Figura 6 – Lâmpada Halógena	33
Figura 7 – Lâmpada a vapor metálico	34
Figura 8 – Fan coils	37
Figura 9 – Ar-água	37
Figura 10 – Tudo-ar	38
Figura 11 – Resumo de processos principais executados por uma CICE	39
Figura 12 – Delineamento da pesquisa	41
Figura 13 – Localização dos setores e blocos dentro do IFCE.	43
Figura 14 – Analisador de energia trifásico utilizado para armazenar e monitorar variáveis elétricas	44
Figura 15 – Fluxograma das atividades desenvolvidas durante o desenvolvimento do diagnóstico energético.	46
Figura 16 – Consumo anual fora ponta no ano de 2017	51
Figura 17 – Gráfico do Consumo anual ponta no ano de 2017	51
Figura 18 – Gráfico da Demanda anual no ano de 2017	52
Figura 19 – Gráfico da energia consumida anualmente no IFCE considerando o sistema de Iluminação	54
Figura 20 – Gráfico da energia consumida anualmente no IFCE considerando o sistema de Ar-condicionado	58
Figura 21 – Consumo específico de energia anual	60
Figura 22 – Gráfico do Consumo específico de energia durante o período de 3 anos 2015 a 2017	61
Figura 23 – Gráfico do Consumo de energia mensal durante o período de 3 anos 2015 a 2017	61
Figura 24 – Gráfico da Demanda mensal durante o período de 3 anos 2015 a 2017	62
Figura 25 – Curva de Carga Diária considerando uma sala de aula representativa da Instituição	63
Figura 26 – Curva de Carga Diária considerando a comparação entre quatro salas de aula	63

Figura 27 – Horas na ponta semanais por bloco	64
Figura 28 – Análise de demanda, considerando uma demanda acima da contratada no ano de 2017	65
Figura 29 – Análise que considera um quadro de aumento na demanda contratada .	65
Figura 30 – Quadro de energia localizado dentro da sala de aula	75
Figura 31 – Quadro de energia localizado dentro do shaft que alimenta condiciona- dores de ar nas salas de aula	76
Figura 32 – Quadro de energia localizado dentro da sala de controle que alimenta condicionadores de ar no auditório	77
Figura 33 – Quadro de energia localizado dentro da sala da coordenadoria de tecno- logia da informação	78
Figura 34 – Quadro de energia localizado dentro da sala de aula localizadas no final do corredor	79

Lista de tabelas

Tabela 1 – Categorias de equipamentos contemplados com Selo Procel	16
Tabela 2 – Resumo de conceitos utilizados em análises de fatura de energia elétrica	30
Tabela 3 – Tarifa Azul estruturada com preços diferenciados	31
Tabela 4 – Tarifa Verde estruturada com preços diferenciados	31
Tabela 5 – Subgrupos e tensão de fornecimento dos respectivos grupos tarifários	31
Tabela 6 – Conceitos de iluminação	32
Tabela 7 – Comparação para projetos de <i>retrofit</i>	35
Tabela 8 – Atribuições da CICE	39
Tabela 9 – Resultado do FC para o mês de maior demanda e consumo (Junho) em 2017	52
Tabela 10 – Resultado do FC para o mês de menor consumo (Agosto) em 2017	53
Tabela 11 – Levantamento de cargas do Sistema de Iluminação Atual	54
Tabela 12 – Levantamento de cargas do Sistema de Iluminação Proposto	55
Tabela 13 – Resultados das ações de <i>retrofit</i> do Sistema de Iluminação	57
Tabela 14 – Levantamento de cargas do Sistema de Ar condicionado Atual	58
Tabela 15 – Levantamento de cargas do Sistema de Ar condicionado Proposto	58
Tabela 16 – Resultados das ações de <i>retrofit</i> do Sistema de Ar Condicionado	59

Lista de abreviaturas e siglas

PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
CONPET	Programa Nacional de Uso Racional de Produtos de Petróleo e Gás Natural
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
UE	União Europeia
MEPS	Minimum Efficiency Performance Standards
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CE	Consumo Específico de Energia
FC	Fator de carga
DPI	Densidade de potência instalada de iluminação
COP	Coefficiente de performance
EER	Relação de Eficiência Energética
FD	Fator de demanda
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
RCB	Relação Custo-Benefício
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
EUI	Indicador de Uso de Energia
BIM	Building Information Modeling

ENCE	Etiqueta Nacional de Eficiência Energética
FM	Fator de Manutenção
LED	Diodos Emissores de Luz
ESCO	Energy Services Company
M&V	Plano de Medição e Verificação
PD	Pré-diagnóstico
DE	Diagnóstico Energético
EE	Eficiência Energética

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	20
1.2	Objetivos	20
1.2.1	Objetivos específicos	21
1.3	Produção	21
1.4	Organização do texto	21
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	22
2.1	Estado da Arte	22
2.2	Indicadores de eficiência energética	25
2.3	Análise econômica	27
2.4	Tarifação de energia elétrica	30
2.5	Iluminação	32
2.5.1	Lâmpadas	32
2.6	Ar-condicionado	35
2.7	Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE)	38
2.8	Considerações Finais do Capítulo	40
3	METODOLOGIA	41
3.1	Descrição da edificação	42
3.2	Coleta de dados	43
3.3	Diagnóstico Energético	44
3.4	Forma de análise dos dados	48
3.5	Forma de análise dos resultados	48
3.6	Considerações finais do capítulo	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Criação da CICE	50
4.2	Medidas de Eficiência Energética	53
4.2.1	Substituição do Sistema de Iluminação	53
4.2.2	Substituição do Sistema de Condicionamento de Ar	57
4.3	Análise do uso de energia elétrica da Instituição	59
4.3.1	Otimização da demanda	62
4.4	Discussão	66
5	CONCLUSÕES	68

5.1	Trabalhos futuros	69
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICES	74
	APÊNDICE A – FOTOS	75

1 Introdução

A preocupação com a situação energética do país surge desde os anos 70 com a crise do petróleo em que existia uma atenção especial de países industrializados em como economizar energia e como utilizar fontes renováveis de energia. Ao longo dos anos 80, foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), fundado por um convênio entre os Ministérios da Indústria e Comércio, Minas e Energia e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE). Este programa é coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e é gerido em cooperação com outros dois programas: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), para equipamentos que utilizam energia elétrica, e o Programa Nacional de Uso Racional de Produtos de Petróleo e Gás Natural (CONPET), para equipamentos que utilizam combustíveis. Existe também o Programa PBE Edifica que define níveis de eficiência energética em edificações públicas, residenciais e de serviços. Ainda nos anos 80, a atenção voltou-se a redução de perdas de energia e promoção de eficiência energética, principalmente no setor industrial, devido inclusive ao impacto na emissão de poluentes (NOGUEIRA et al., 2015; HADDAD, 2005).

Em 1993 é criado o selo PROCEL, que é um importante instrumento utilizado na identificação de equipamentos mais eficientes no consumo de energia elétrica. Desde então, este selo vem sendo aplicado no mercado brasileiro, dividindo os equipamentos comercializados em diferentes categorias. De maneira geral, em 2017 o Selo Procel foi concedido a um total de 3.308 modelos de equipamentos de 189 fornecedores, distribuídos em 41 categorias, superando a marca de 35 milhões de equipamentos vendidos no Brasil. O uso de equipamentos com o selo ajudou o país a economizar 21,2 bilhões de kWh no ano, evitando ainda que 1,96 milhão tCO_2 equivalentes fossem emitidas na atmosfera. Algumas das categorias citadas são apresentadas na Tabela 1 (PROCEL, 2018).

Mais recentemente devido a crise no abastecimento de energia elétrica que atingiu o Brasil no ano de 2001, destacou-se novamente os estudos na área de eficiência energética (HADDAD, 2005). A eficiência energética é uma área de estudo que se enquadra no conceito de sustentabilidade, e este existe desde o período em que mais se necessitou de energia no Brasil e no qual se vivenciou o racionamento de energia elétrica, ou seja, por volta dos anos 2000, sendo este no qual foi publicado o marco legal da eficiência energética (Lei 10295/2001). Inicialmente, a preocupação maior era com máquinas e aparelhos, queria-se limitar o consumo dos mesmos. Posteriormente é que se iniciou de fato por meio do PBE, a certificação de eficiência energética em outros setores como edifícios comerciais, públicos e de serviços e em veículos automotores. A partir daí, a demanda de energia elétrica tem crescido em ritmos cada vez mais alarmantes e com o intuito de se estudar possíveis

Tabela 1 – Categorias de equipamentos contemplados com Selo Procel

	Categorias de Equipamento	Início da concessão
1	Bomba centrífuga	2011
2	Condicionador de ar - Split Cassete	2010
3	Condicionador de ar - Split Hi-Wall	2004
4	Condicionador de ar - Split Piso-Teto	2009
5	Forno de microondas	2014
6	Freezer Vertical Frost Free	2003
7	Lâmpada Fluorescente Compacta	2001
8	Lâmpada LED - Bulbo	2014
9	Lâmpada LED - Tubular	2014
10	Motor de Indução Trifásico	1997

Fonte: adaptada de [PROCEL \(2018\)](#).

cenários com vistas a evitar o desperdício de energia elétrica, foram pensados o Plano Nacional de Energia (PNE) e o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) ([ALTOÉ et al., 2017](#)).

A respeito do PNE o que se tem são planos e cenários que estabelecem metas de conservação de energia para horizontes de 30 anos, além de trabalhar na formulação de estratégias para a expansão da oferta de energia no país, no entanto, preocupando-se constantemente com o uso sustentável dos recursos. No tocante à projeção de eficiência energética, o PNEf busca uma meta de redução de 10% do consumo de energia elétrica. Dentre as linhas de ações propostas para esta redução, está a aquisição e armazenamento de informações sobre os índices de consumo específico, de desempenho energético de processos e tecnologias de uso final e estudos de medição e verificação de programas de EE. São compostos em sua maioria por membros ministeriais e por órgãos reguladores, além de universidades ([MME, 2011](#)).

O uso de energia elétrica mundial, atualmente, tem sido, de maneira geral, prejudicial ao meio ambiente visto que não vem ocorrendo em uma trajetória sustentável. A demanda mundial de energia primária vem crescendo anualmente principalmente nos países em desenvolvimento, enquanto que nos países desenvolvidos diminuiu ou mesmo declinou. Infelizmente, os dados que se apresentam é que as necessidades energéticas estão sendo atendidas por meio de fontes não renováveis de energia, as quais em escala mundial ainda são competitivas principalmente em termos econômicos e em termos de oferta energéticas. Embora ainda seja maior a presença destes combustíveis na matriz energética mundial, as boas notícias, no entanto, são as medidas que vem sendo tomadas para evitar o seu uso. Para isso, podem-se citar as reduções de preços para se investir em energia renovável que vem caindo anualmente ([REN21, 2017](#)).

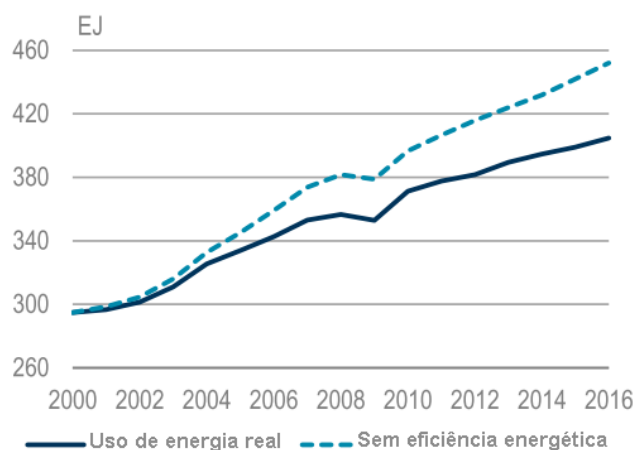
No decorrer dos anos, nota-se que há uma variação no consumo de energia elétrica na rede interligada principalmente quando se comparam as classes de consumo residencial, industrial e comercial e especialmente no Brasil.

Percebe-se que está sendo feito um trabalho de eficiência energética com resultados, pois nota-se uma nítida redução do consumo de energia entre essas classes atualmente, mas também como um cenário para daqui a 10 anos no qual se observa uma redução ainda mais acentuada. As projeções acabam por influenciar de maneira mais geral o consumo de energia elétrica e servem para estimar decisões políticas que venham melhorar a entrega de energia elétrica para os consumidores. As incertezas de consumo de energia elétrica que aparecem no horizonte de 10 anos tais como a mobilidade urbana, a inserção de novas tecnologias na indústria e a mudança nas edificações, fazem com seja cada vez mais importante a preocupação com a eficiência energética e com a sustentabilidade (EPE, 2017).

A eficiência energética também possui sinergias significativas com energia renovável; juntos, ambos podem alcançar mais do que a soma de suas partes. Por exemplo, a economia de energia ajuda a energia renovável a atender a uma parcela maior da demanda de energia a um custo menor e a abrir novos mercados (REN21, 2017).

Pode-se dizer que a eficiência energética no mundo vem aumentando anualmente e que isso vem refletindo em bons números de economia de energia equivalentes ao atual uso de energia de países pertencentes à União Europeia (EU) tais como Alemanha e França, conforme apresentado na Figura 1. É interessante destacar também os fatores que são influenciados pelo aumento da eficiência energética. A redução da necessidade por energia primária, as menores emissões de gás carbônico (CO_2), a melhora na segurança energética e a redução no custo da energia são as consequências de implantação de ações de eficiência energética nos países (IEA, 2017).

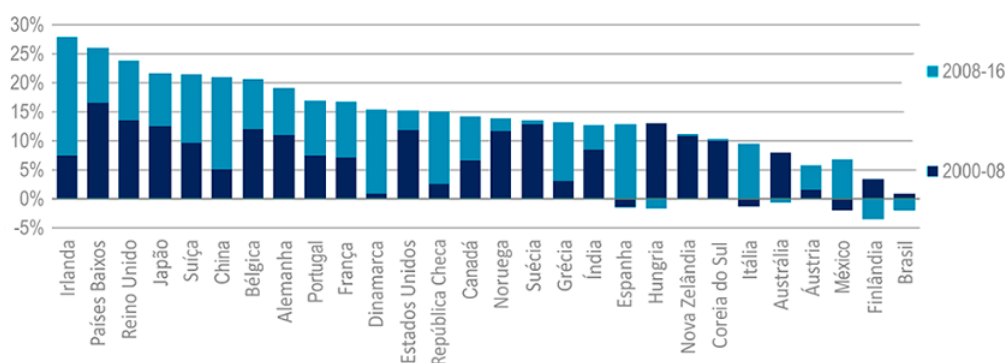
Figura 1 – Uso de energia com e sem economia de energia.



Fonte: Adaptada de IEA (2017).

Os percentuais de crescimento de eficiência energética em alguns países importantes no cenário energético mundial, incluindo o Brasil, são apresentados na Figura 2. Convém destacar que o Brasil não se destaca nessa relação de países no tocante à eficiência porque desde o ano de 2001 não há uma política de eficiência energética que seja eficaz ao desenvolvimento de medidas para a inserção na vida das pessoas e das empresas. Outro dado importante que se destaca é que, diferentemente do Brasil, a China investiu em políticas de eficiência energética conseguindo dentro do período de 8 anos um aumento de 16% no efeito eficiência (IEA, 2017).

Figura 2 – Percentual de efeitos da eficiência desde o ano 2000 até o ano de 2016.



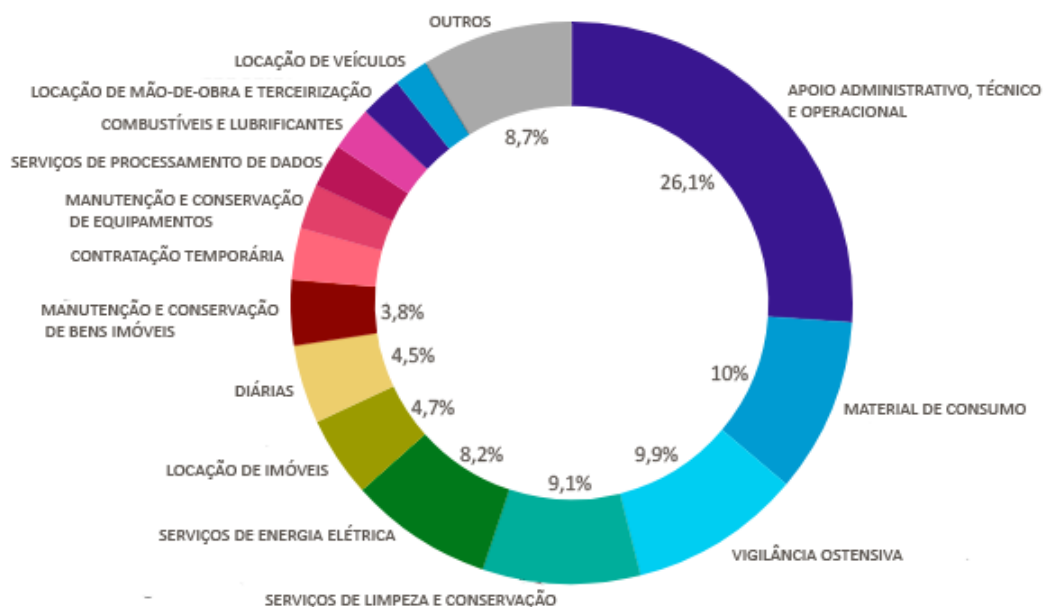
Fonte: adaptada de IEA (2017).

O consumo de energia elétrica dentro do governo federal também é preocupante visto que as despesas com energia na administração pública são bem altas e considerando ainda que se enfrenta problemas fiscais e financeiros que fazem com que seja difícil prosperar. Dados de (MPOG, 2018) do ano de 2018 mostram que os gastos com serviço de energia elétrica já ultrapassaram R\$ 700.000.000,00 (Figura 3). Falando mais especificamente dos setores que envolvem educação, incluso as universidades e institutos federais, os gastos são superiores a R\$ 180.000.000,00 (Figura 4).

Com os dados apresentados, fica mais do que evidente que é preciso intervir para que seja possível um cenário de economia de energia satisfatório e favorável para todos os setores que compõem o sistema de governo brasileiro. Ações de eficiência energética precisam ser postas em prática desde já. Uma contribuição inicial pretende atuar nos equipamentos de usos finais existentes nas instituições, considerando o cálculo de indicadores de eficiência de usos finais bem como indicadores de desempenho energético.

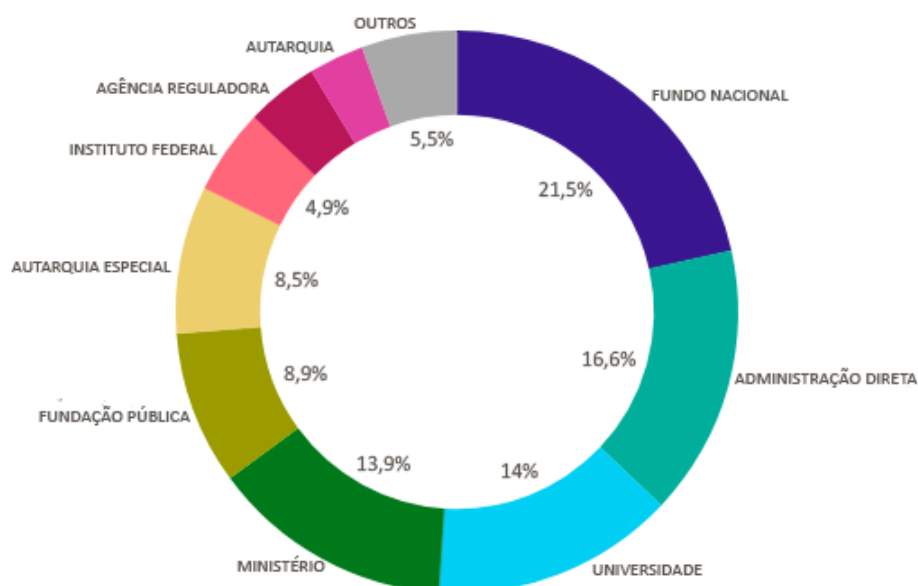
Há um programa de padrões, que determina os níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética de cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, chamado de MEPS (Padrões Mínimos de Desempenho de Eficiência), o qual em nosso país é definido pelo Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) (ANDRADE, 2017). Os MEPS também são abordados aqui, mais precisamente considerando os sistemas de iluminação e de ar condicionado.

Figura 3 – Despesas do governo federal com serviços de energia elétrica considerando as despesas administrativas totais no ano de 2018.



Fonte: adaptada de MPOG (2018).

Figura 4 – Despesas do governo federal com serviços de energia elétrica considerando as universidades no ano de 2018.



Fonte: adaptada de MPOG (2018).

Finalmente, outra contribuição originada deste trabalho é a adequação às leis brasileiras no tocante às políticas de eficiência energética por meio da implantação de comissões de conservação de energia que podem atuar nos mais diferentes agentes sejam eles locais ou globais. Pretende-se com a criação da mesma, implantar a cultura da conservação de energia nas instituições de ensino, locais onde a mesma ainda é pouco difundida, para que seja possível conseguir uma economia de energia elétrica da ordem de 25 a 50%.

1.1 Justificativa

Dentro do conceito e das noções gerais de eficiência energética em uma edificação, surge a divisão dos sistemas de instalações prediais que a compõem os quais retratam características de conservação e manutenção diferente em cada situação tais como perfis de uso e de ocupação dos setores. Tais sistemas são divididos em sistemas de ar-condicionado, sistemas de iluminação e envoltória, além de outros. Uma edificação, seja esta pertencente à administração pública, aos setores comerciais, aos prédios residenciais ou às indústrias, procura sempre trabalhar em prol da redução no consumo de energia dos sistemas citados e com a ideia de eficiência energética (CEPEL, 2014).

Cada sistema de energia componente da edificação possui a sua particularidade na análise quantitativa de redução de consumo de energia. A ideia de se utilizar ferramentas que possam automatizar a simulação de energia de uma edificação foi implementada com sucesso em Kamel e Memari (2018). Normas de eficiência energética em equipamentos tais como motores (ANDRADE; PONTES, 2017) e ar-condicionado também foram analisadas. Pretende-se, portanto, aplicar os conhecimentos adquiridos na interpretação de trabalhos anteriores como formas de melhorar a eficiência energética em uma instituição de ensino conforme é mostrado em (EVANGELISTA; FERNANDES NETO, 2016). No entanto, aqui aborda-se indicadores de eficiência de usos finais bem como indicadores de desempenho energético. A intenção é classificar a instituição de ensino com vistas a se atingir os objetivos elencados em CBCS (2016). Inclui-se também a criação e instituição de uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), que funciona como um instrumento balizador das decisões de aumento no consumo energético e da proposição de programas de manutenção e gestão de energia.

1.2 Objetivos

Realizar estudo de caso da aplicação de conceitos de eficiência energética e de *retrofits* no Campus Fortaleza do Instituto Federal do Ceará.

1.2.1 Objetivos específicos

- Avaliar o potencial de economia de energia do Instituto Federal do Ceará - Campus Fortaleza considerando substituição dos sistemas de iluminação e de ar-condicionado.
- Analisar o uso de energia elétrica da instituição contemplando otimização de demanda e tarifária.
- Implantar a Comissão Interna de Conservação de Energia dentro da instituição.

1.3 Produção

Foram publicados, durante a dissertação de mestrado dois trabalhos, sendo um em Periódico e outro em Evento:

- PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DIGITAL DE ENERGIA ELÉTRICA MONOFÁSICO PARA APLICAÇÕES RESIDENCIAIS. (DINIZ; EVANGELISTA; ALEXANDRIA, 2017)
- GESTÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO : UMA NOVA ABORDAGEM USANDO MODELAGEM 6D. (Dantas Filho et al., 2017)

1.4 Organização do texto

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no primeiro capítulo, apresenta-se um histórico de programas de políticas públicas que englobam o tema de eficiência energética com destaque para aqueles que criam os instrumentos de aplicação tais como o selo procel e o plano nacional de energia, contextualiza-se a situação da eficiência energética no mundo, como as políticas públicas de eficiência energética estão sendo utilizadas no países e situa-se, no contexto da eficiência energética, os equipamentos eficientes, e os gastos com energia elétrica no âmbito da administração pública. Em seguida, no segundo capítulo, apresenta-se o estado da arte e a fundamentação teórica englobando a revisão de literatura sobre os indicadores de eficiência energética utilizados no trabalho, prossegue-se tratando dos fundamentos sobre iluminação, sobre ar condicionado e indica-se a possibilidade de criação de uma comissão interna de conservação de energia, conceituando-a, dentro de uma instituição federal. No terceiro capítulo trata-se da metodologia utilizada na pesquisa a qual abordou aspectos práticos dos estudos de caso que foram implantados na instituição de educação federal. No quarto capítulo, apresentam-se os resultados obtidos divididos em várias seções que abordam as diferentes análises considerando as medidas de eficiência energética, o uso da energia elétrica e a otimização de demanda. No quinto capítulo, apresenta-se a conclusão.

2 Fundamentos Teóricos

Eficiência energética é investir em ações que venham a trazer benefícios financeiros e ambientais aos que a utilizam. Efetuar uma análise de eficiência é identificar a energia que teria sido consumida pela instalação tal como era antes da ação menos a energia que se consumiu após a implementação da ação. Este é um conceito de eficiência energética do ponto de vista da Aneel, quando se é abordado dentro dos planos de eficiência energética implantados nas instituições participantes de seus planos de eficiência energética. Outro conceito diz que é uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia e consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Em resumo, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização ([ABESCO, 2018](#)).

Os conceitos de eficiência variam em cada caso, podendo ser abordado de várias maneiras sejam estas econômicas ou físicas, ainda se pode representá-los do ponto de vista de quanto mais se aumenta a eficiência energética, menos energia se usa para produzir um serviço. Isso tudo pode ser definido como a racionalização da energia, seja de uma edificação, ou dos usos finais. Mais especificamente, pode-se verificar o desperdício de energia, portanto de que maneira, em que setores e em quais tipos de cargas serão analisadas para que sejam implementadas ações de eficiência energética ([MAMEDE FILHO, 2010](#)).

2.1 Estado da Arte

A análise de eficiência energética em residências baseia-se na medição e levantamento dos equipamentos de usos finais. A pesquisa apresentada considera padrões de uso, consumo de energia e utiliza inicialmente como coleta de dados os questionários e como resultado as análises estatísticas para classificar os locais e equipamentos de uma residência padrão que mais consomem energia com vistas a auxiliar em políticas públicas ([SILVA et al., 2014](#)).

A abordagem de eficiência energética e economia de energia em uma edificação pode ser vista em [Borgstein, Lamberts e Hensen \(2016\)](#) onde se utiliza a ideia de indicador de uso de energia (EUI), para caracterizar edificações e acrescentá-las em um grande banco de dados possibilitando assim o uso de estatística e simulação computacional para se chegar a uma satisfatória avaliação de desempenho energético em edificações. Com base no desempenho energético e baseando-se em auditorias energéticas executadas em prédios brasileiros, constatou-se em que as causas das falhas são identificadas como erros no projeto e construção de edifícios ou operações e manutenção ([BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2018](#)).

Especificamente para edificações que abrigam cursos de educação superior, o trabalho de [Bernardo e Oliveira \(2018\)](#) é analisado em seguida, o qual utiliza-se um indicador de uso de energia para estabelecer uma métrica que classifica os edifícios de cada tipo dentro de uma universidade, tais como salas de aula, cantinas, de acordo com sua eficiência energética. Encontra-se resultados de economia de energia bastante satisfatórios de 10 a 34%.

Ainda tomando como referências trabalhos que abordam instituições de ensino superior o trabalho de [Khoshbakht, Gou e Dupre \(2018\)](#) é ainda mais abrangente, pois considera dados de 80 prédios universitários. Os indicadores utilizados são o consumo de energia e a intensidade de uso de energia além de que as condições de ocupação é analisada. O método estatístico utilizado é a análise de fronteira estocástica. Como resultado, identifica-se maior consumo energético em prédios de pesquisa e menores em prédios com fins acadêmicos.

Além das metodologias que estipulam métricas de consumo e indicadores de usos finais, apresenta-se o trabalho de [Kamel e Memari \(2018\)](#) que, nesse caso, aborda uma ferramenta computacional desenvolvida para automatizar a simulação de consumo energético de edifícios, utilizando além de *softwares* apropriados (*EnergyPlus*) outros que utilizam a ideia do *Building Information Modeling* (BIM), conseguindo resultados aceitáveis na comparação entre os softwares consolidados e o desenvolvido.

O uso de uma abordagem probabilística é utilizado no trabalho de [Lee, Lam e Lee \(2018\)](#) para avaliar os riscos de desempenho de medidas de *retrofit* de iluminação. Considerou que pode-se usar técnicas estatísticas e de simulação. Este método envolve o uso de técnicas de simulação (*EnergyPlus* e Monte Carlo) para se calcular a economia de energia em *retrofits*. Nesse caso, necessita-se de dados que indiquem as ações pré e pós-*retrofit*, bem como parâmetros considerados para se calcular a função de distribuição de probabilidade. Os resultados indicam que a abordagem probabilística conseguiu melhores economias de energia que os métodos matemáticas tradicionais de cálculo.

A utilização de medidas de eficiência energética em hotéis também já foi estudada por diferentes autores. Os indicadores utilizados consideram a envoltória, os sistemas de refrigeração, aquecimento e climatização e o sistema de iluminação. As simulações dos edifícios citados são feitas utilizando ferramentas que são comparadas com o consumo real para calibração. As contribuições acontecem no campo de novas abordagens usando automação para os sistemas de iluminação. Conseguem-se valores de economia que variam de 50 a 60% com *payback* de até 6 anos, podendo economizar 67,04 GWh/ano de energia elétrica ([CHEDWAL et al., 2015](#)).

Os efeitos das emissões de gases de efeito estufa como preponderante na preocupação das mudanças climáticas também podem ser considerados nas análises de eficiência energética. Podem-se evitar aproximadamente 0,3 toneladas de gás carbônico (CO_2) por

MWh economizado. Existem metodologias para estimar o impacto da poupança de energia e avaliar as emissões evitadas pelos programas de eficiência energética como em [Vieira, Nogueira e Haddad \(2018\)](#).

Um estudo de caso considerando a avaliação de técnicas de economia de energia é visto em [Kim \(2017\)](#) que efetuou-o no setor industrial, uma fábrica que produz proteínas injetáveis derivadas do fracionamento do plasma sanguíneo humano para uso terapêutico em humanos. Os sistemas de usos finais escolhidos são os condicionadores de ar e a iluminação. Utiliza-se de entrevistas com profissionais para coletar dados de demanda de energia para os equipamentos e para a análise dos dados, faz-se uso das técnicas e conceitos da análise de *payback*, por meio do retorno de investimento e da análise de custo do ciclo de vida. Como resultado, consegue-se uma economia total de 14%.

Já os trabalhos mais completos sobre *retrofits* de edificações abordam diferentes atividades, como auditoria energética, avaliação de desempenho do edifício, análise econômica, e medição e verificação (M & V) de economia de energia. Como [Ma et al. \(2012\)](#) resumiu as tecnologias de *retrofit* podem ser categorizadas em três grupos, gerenciamento do lado da oferta, gerenciamento do lado da demanda e mudança nos padrões de consumo de energia, ou seja, fatores humanos. Seu trabalho fornece uma compreensão de como realizar efetivamente uma reforma do edifício para promover a conservação de energia através do resumo das técnicas utilizadas de determinação de economia de energia por vários autores diferentes, além de apresentar estudos de *retrofits* em edificações comerciais e residenciais.

O trabalho de [Krarti, Dubey e Howarth \(2017\)](#) apresenta os impactos econômicos e ambientais de programas de eficiência energética associados a edifícios novos e existentes no Reino da Arábia Saudita (KSA). Analisa-se cidades com climas diferentes dentro do país por meio da análise de custo do ciclo de vida, mas também são avaliadas medidas de eficiência energética tais como a adição de isolamento térmico ao edifício, a instalação de dispositivos de iluminação eficientes, aparelhos e sistemas de ar condicionado, e a alteração das estratégias operacionais e de controle. classificadas por níveis que abrangem medidas mais baratas a medida mais sofisticadas. Interessante observar que em um país localizado no deserto é implantado um programa de *retrofit* de eficiência energética e consegue-se reduzir o consumo de eletricidade em 10.054 GWh/ano e a demanda máxima em 2.290 MW.

Além de temas que abordam a eficiência energética em edificações e de usos finais, pode-se considerar as pesquisas que levam em consideração a economia de energia e redução de custos com o uso da automação predial utilizando a aplicação de normas europeias que ainda não são aplicadas no Brasil como em ([EVANGELISTA; FERNANDES NETO, 2016](#)).

2.2 Indicadores de eficiência energética

Quando se quer aplicar uma metodologia que possibilita analisar uma instalação de forma que seja possível contabilizar o consumo e sua consequente redução, pode-se basear em diferentes trabalhos como em [Morales \(2007\)](#), [Beck \(2016\)](#). A citada redução de consumo e o ganho de economia de energia podem ser quantificados, para este estudo, pelos indicadores de eficiência de equipamentos de uso final. Os mais comuns deles são o consumo específico de energia (CE), o fator de carga da instalação (FC) e o custo médio da energia, para análises de demanda e de consumo. A densidade de potência instalada (DPI), para o sistema de iluminação. O coeficiente de performance (COP), a relação de eficiência energética (EER) e o índice de eficiência em kW/TR, para os sistemas de ar condicionado ([SANTOS et al., 2006](#); [PENA, 2011](#)).

O CE considera o consumo de energia (kWh) ou a carga instalada (kW) em diferentes cenários de análise. Torna-se extremamente útil comparar os seus resultados em relação à área ocupada, com índice kWh/m^2 , com edificações tipológicas e funcionalmente semelhantes, embora diferentes em níveis de eficiência. Para o cálculo do consumo específico de energia (CE), usa-se a Equação 2.1 ([SANTOS et al., 2006](#)).

$$CE_i = \frac{CA_i}{QP_i} \quad (2.1)$$

em que

CA_i – o consumo mensal de energia dado em kWh/mês;

QP_i – a quantidade de produto ou serviço produzido no mês pela unidade consumidora;

i - índice referente ao mês de análise do histórico de dados.

Torna-se importante ressaltar que o consumo mensal de energia (CA) deve coincidir com o período da quantidade de produto ou serviço produzido no mês (QP).

Outro índice importante a ser apresentado é custo médio da energia (CMe), que mostra a eficiência com custos, ou seja, quanto menor o custo médio, maior a eficiência e quanto maior o custo médio, menor a eficiência. Para a análise do custo médio, tem-se a Equação 2.2 seguinte.

$$CM_e = \frac{Custo}{Consumo\ mensa} \quad (2.2)$$

em que

CM_e – custo médio de energia (R\$/kWh);

Já o FC, mostra como a energia está sendo utilizada ao longo do tempo. Quanto maior for o fator de carga, menor é o custo do kWh. Um fator de carga próximo de 1 indica

que as cargas elétricas foram utilizadas racionalmente ao longo do tempo. Por outro lado, um fator de carga baixo indica que houve concentração de consumo de energia elétrica em curto período de tempo, determinando uma demanda elevada, ocorrendo quando muitos equipamentos são ligados ao mesmo tempo. Um fator de carga mais elevado, portanto é que se espera de uma instalação eficiente e para isso deve-se atuar em três premissas: aumentar o consumo de kWh, porém conservando-se a demanda de potência, otimizar a demanda de potência, conservando-se o mesmo nível de consumo de kWh, atuar simultaneamente nos dois parâmetros acima citados. O FC pode ser calculado pela Equação 2.3 (SANTOS et al., 2006).

$$FC = \frac{CA}{h.DR} \quad (2.3)$$

em que

FC – fator de carga do mês na ponta e fora de ponta;

CA – consumo de energia (kWh) no mês na ponta e fora de ponta;

h – número médio de horas no mês, sendo geralmente 66 horas para a ponta e 664 horas para o período fora de ponta;

DR – demanda registrada máxima de potência no mês na ponta e fora de ponta.

Outro índice de eficiência energética importante na análise crítica de economia de energia de um projeto é o fator de demanda (FD), que é a relação entre a demanda máxima e a carga total conectada a um sistema elétrico durante um intervalo de tempo. É um valor geralmente menor que a unidade, mas pode ser unitário se toda carga for ligada simultaneamente. O valor do FD é calculado pela Equação 2.4.

$$FD = \frac{D_{max}}{P_{inst}} \quad (2.4)$$

em que

FC – fator de demanda;

D_{max} – demanda máxima da instalação, em kW ou kVA;

P_{inst} – potência da carga conectada, em kW ou kVA;

O desempenho de um equipamento de refrigeração como *chillers*, *splits* e *self contained* pode ser representado por um índice que relaciona a potência útil e a potência requerida pelo compressor, de acordo com a Equação 2.5.

$$COP = \frac{P_{util}}{P_{demandada}} \quad (2.5)$$

Note que o índice COP é diretamente proporcional ao rendimento. Quanto maior, melhor o rendimento.

Outro parâmetro importante na análise de eficiência energética em ar condicionado é o índice EER, que relaciona o efeito frigorífico produzido e o trabalho de compressão, sendo expresso em BTU/h/Watts (Equação 2.6).

$$EER = \frac{BTU/h}{watts} \quad (2.6)$$

Já o parâmetro que indica a eficiência de um equipamento de grande porte é dado kW/TR em que o trabalho de compressão é relacionado com o efeito frigorífico em TR, que é igual a 12.000 BTU/h. Quanto menor esse índice, menos potência elétrica é requerida pelo equipamento para gerar uma TR. Pode-se relacionar também o índice EER com o kW/TR e o índice COP com kW/TR, conforme as Equações 2.7, 2.8 e 2.9.

$$kW/TR = \frac{kW}{TR} \quad (2.7)$$

$$COP = \frac{3,53}{\frac{kW}{TR}} \quad (2.8)$$

$$kW/TR = \frac{12}{EER} \quad (2.9)$$

O indicador de eficiência energética de uso final que considera a análise dos sistemas de iluminação é caracterizado pela densidade de potência total de iluminação (DPI), medida em (W/m^2) , e definida como a razão entre (W/m^2) para cada 100 lux de iluminância. Deve-se atentar que este indicador utiliza requisitos específicos para classificar um sistema como eficiente ou não tais como desligamento automático da iluminação, contribuição da luz natural ao sistema de iluminação e divisão dos circuitos. Indo, respectivamente, do sistema mais eficiente ao sistema menos eficiente à medida que o mesmo apresenta os requisitos necessários (ELETROBRÁS; CB3E; INMETRO, 2016).

O Manual RTQ-C indica a utilização do método da área da edificação o qual avalia o sistema de iluminação de forma geral e deve ser aplicado quando a edificação possua no máximo 3 atividades principais ou quando as atividades ocupam mais de 30% da área do edifício. Assim, são determinados limites de DPI para a edificação em geral.

2.3 Análise econômica

Índices econômicos são de grande interesse em um projeto de eficiência energética, seja uma decisão de investimento deve-se ter uma análise de viabilidade técnica e econômica.

Além de poder avaliar um investimento em eficiência energética, é possível ver o tempo de retorno do capital (*payback*), o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), além da análise de custo do ciclo de vida (CEPEL, 2014).

O VPL é bastante usado para fazer análises de alternativas de modo que seus custos e benefícios sejam trazidos para o presente, usando o fator de valor presente, por meio da Equação 2.10. Indica também a lucratividade de um empreendimento, no qual na análise deste, o VPL maior que zero é lucrativo e na comparação com outros empreendimentos o maior VPL entre todos é escolhido (ZACCHI et al., 2008; SANTOS et al., 2006).

$$VPL = R \times \frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n} - I \quad (2.10)$$

em que

VPL – Valor Presente Líquido (R\$);

R – benefício atual (R\$);

i – taxa de juros;

n – vida útil do equipamento;

I - investimento inicial total (R\$);

A TIR é o valor da taxa de juros que zera o Valor Presente Líquido, ela igual o investimento realizado inicialmente ao fluxo de caixa posterior. A análise se dá na comparação com a taxa de juros aplicada à operação, quando a TIR for maior que a taxa o empreendimento é atrativo e quando for menor não é atrativo. Pode-se comparar também com a taxa mínima de atratividade, a expectativa de mínima de lucratividade. Pode-se utilizar a TIR mais precisamente também na relação custo-benefício (RCB), a relação entre o custo total anual pelo benefício total anual (SANTOS et al., 2006). No trabalho de ANEEL (2013b), a análise da viabilidade é feita utilizando este conceito. Quando o projeto tiver mais de um uso final a ser analisado, cada um terá sua RCB individual, a qual no final são somadas para darem origem à RCB global, a qual deve ter um valor menor ou igual a 0,8. O cálculo da RCB é composto pelas equações que são mostradas a seguir, retiradas de ANEEL (2013b).

$$CA_T = \sum CA_n \quad (2.11)$$

em que

CA_T – custo anualizado total (R\$/ano);

CA_n – custo anualizado de cada equipamento e custos relacionados (R\$/ano);

$$CE_T = \sum CE_n \quad (2.12)$$

em que

CE_T – custo total em equipamentos (R\$);

CE_n – custo de cada equipamento (R\$);

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u \quad (2.13)$$

em que

CA_n – custo anualizado de cada equipamento e custos relacionados (R\$/ano);

CE_n – custo de cada equipamento (R\$);

CT – custo de cada equipamento (R\$);

CE_T – custo total em equipamentos (R\$);

FRC_u – fator de recuperação do capital para u anos;

u - vida útil dos equipamentos;

$$FRC_u = \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (2.14)$$

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (2.15)$$

em que

CA_T – custo anualizado total (R\$/ano);

BA_T – benefício anualizado (R\$/ano);

Existem dois tipos de *payback* o simples e o descontado. Aquele não considera o custo de capital (taxa de juros). Faz-se a análise considerando apenas o custo da implantação e dividindo-o pelo benefício. Em resumo, em quanto tempo se necessitada para que os custos de investimento sejam igualados com os benefícios. O cálculo é feito por meio dos conceito de VPL, ou seja, quando este é zero, encontra-se o número de períodos correspondente com a taxa de juros igual ao custo de capital, de acordo com a Equação 2.16 (SANTOS et al., 2006).

$$n = -\frac{\ln(1 - I/R \times i)}{\ln(1 + i)} \quad (2.16)$$

2.4 Tarifação de energia elétrica

É fundamental que em uma análise de eficiência energética seja de prudência tentar economizar energia no que pode ser mais fácil, a fatura de energia elétrica. No entanto, para que seja possível obter ganhos de eficiência energética ou redução no consumo apenas com a redução do valor a ser pago na conta de energia é preciso conhecer os conceitos básicos.

Os principais conceitos são aqueles apresentados como demanda, demanda contratada, consumo de energia elétrica, horário de ponta, fora de ponta e a definição de tarifa de ultrapassagem conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo de conceitos utilizados em análises de fatura de energia elétrica

Conceitos	Definições
Demanda	Média das potências elétricas ativas ou reativas durante um intervalo de tempo especificado
Demanda Contratada	Demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária.
Demanda Medida	Maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 (quinze) minutos durante o período de faturamento
Horário de Ponta	Período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas (17h30min a 20h30 min)
Horário Fora de Ponta	Período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.
Tarifa de Ultrapassagem	Tarifa diferenciada com majoração de 10%, se horossazonal verde, aplicada sobre a parcela da demanda medida, que superar a respectiva demanda contratada.

Fonte: adaptada de [Haddad \(2004\)](#).

Baseado nos conceitos tarifários apresentados na Tabela, pode-se dividir as unidades consumidoras em dois tipos de grupos tarifários, grupo A e grupo B. As unidades consumidoras do grupo A são aquelas atendidas em tensão de fornecimento igual ou superior a 2,3 kV, ou excepcionalmente em tensão inferior a 2,3 kV se a distribuição for subterrânea e tarifa binômia. Deve-se definir, também, com vistas a classificar uma unidade consumidora, a estrutura tarifária que pode ser baseada no consumo de energia elétrica ou na demanda. Existem duas estruturas ambas definidas e escolhidas com base em critérios de tarifas de consumo, demanda, nas horas de utilização e nos períodos do

ano, úmido ou seco, quais sejam a convencional e a horossazonal. A estrutura tarifária horossazonal é aquela aplicada em grandes consumidores na qual faz-se a diferenciação entre tarifas de consumo e tarifas de demanda de acordo com a hora e o período do ano. Especifica-se por tarifa azul, consumo e demanda diferenciadas, e tarifa verde, consumo diferenciado e demanda única (HADDAD, 2004; MAMEDE FILHO, 2010). As Tabelas 3 e 4 caracterizam as tarifas.

Tabela 3 – Tarifa Azul estruturada com preços diferenciados

Tarifa Azul	
Demanda	Consumo
Preço - Horário de Ponta	Preço - Horário de Ponta - Período Úmido
Preço - Horário Fora de Ponta	Preço - Horário Fora de Ponta - Período Úmido
	Preço - Horário de Ponta - Período Seco
	Preço - Horário Fora de Ponta - Período Seco

Fonte: adaptada de Haddad (2004).

Tabela 4 – Tarifa Verde estruturada com preços diferenciados

Tarifa Verde	
Demanda	Consumo
Preço Único - Horário de Ponta e Fora de Ponta	Preço - Horário de Ponta - Período Úmido
	Preço - Horário Fora de Ponta - Período Úmido
	Preço - Horário de Ponta - Período Seco
	Preço - Horário Fora de Ponta - Período Seco

Fonte: adaptada de Haddad (2004).

Para uma unidade consumidora ser enquadrada no grupo B, ela necessita ter tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV e tarifa monômnia. Dentro do grupo A, há 6 subgrupos e dentro do grupo B há quatro subgrupos, conforme visto na Tabela 5 (CEPEL, 2014).

Tabela 5 – Subgrupos e tensão de fornecimento dos respectivos grupos tarifários

Subgrupo	Tensão de Fornecimento	Subgrupo	Tipo
A1	tensão maior ou igual a 230 kV	B1	Residencial
A2	tensão entre 88 e 138 kV	B2	Rural
A3	tensão igual a 69 kV	B3	Demais classes
A3a	tensão entre 30 e 44 kV	B4	Iluminação Pública
A4	tensão entre 2,3 e 25 kV		
AS	Subterrâneo		

Fonte: adaptada de Haddad (2004).

2.5 Iluminação

A iluminação é responsável por uma parcela considerável da energia consumida no Brasil, cerca de 15% considerando todo o sistema brasileiro, mas 44% considerando o setor de serviços públicos (SANTOS et al., 2006). Sendo considerada um potencial sistema de atuação de *retrofit* dentro de uma edificação, devem-se considerar todos os conceitos que se referem a um projeto de iluminação com vistas a evitar desperdícios. Alguns pontos são importantes como o nível de iluminamento suficiente, a distribuição espacial da luz sobre o ambiente, escolha da cor da luz e seu respectivo rendimento, além das influências de paredes e pisos e dos aparelhos de iluminação. Para uma boa implementação de medidas de eficiência energética considerando a iluminação deve-se, preferencialmente, conhecer alguns conceitos apresentados na Tabela 6 (MAMEDE FILHO, 2010).

Tabela 6 – Conceitos de iluminação

Conceito	Definições	Unidade
Luz	Fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas	-
Iluminância	Razão do Fluxo Luminoso pela área da superfície	Lux
Fluxo Luminoso	Potência de radiação emitida por uma fonte de luz	Lúmen
Eficiência Luminosa	Relação entre o Fluxo Luminoso e a Potência consumida por uma fonte	Lúmen/W

Fonte: adaptado de MAMEDE FILHO (2010).

Existem outras definições importantes que dizem respeito à parte operacional das lâmpadas tal como o fator de manutenção (FM) e às luminárias como o fator de utilização e o ofuscamento.

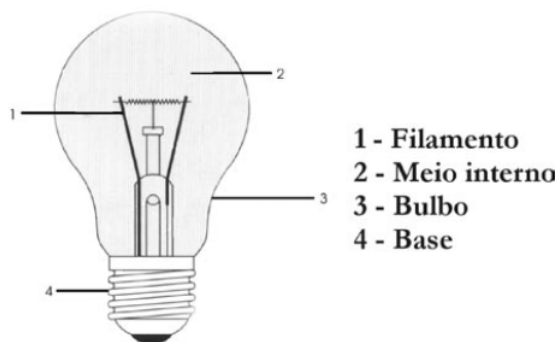
2.5.1 Lâmpadas

Costuma-se classificar as lâmpadas para o estudo de eficiência energética em várias maneiras: lâmpada incandescentes e de descarga (emissão de luz) (MAMEDE FILHO, 2010), ou lâmpadas por efeito térmico e de descarga em gases e vapores (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Em ambas classificações são consideradas diferenças no processo da emissão da luz, embora exista também classificação considerando a vida útil e o rendimento luminoso.

As lâmpadas incandescentes (Figura 5), embora estejam sendo abolidas do mercado de iluminação brasileira, ainda são comuns e ainda possuem algumas vantagens mesmo com sua baixa vida útil e sua elevada dissipação de calor. O funcionamento imediato e o tamanho reduzido são algumas dessas vantagens. Hoje elas são empregadas em vitrines de lojas e em instalações decorativas. Uma maneira encontrada para que a sua eficiência

luminosa seja aumentada pode ser a instalação de um refletor interno, como existente em alguns tipos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

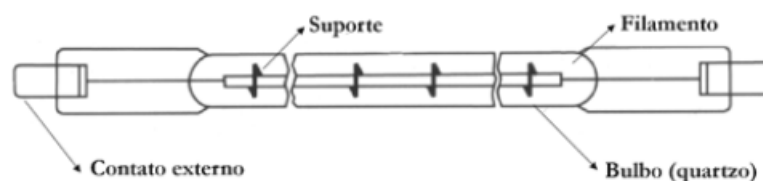
Figura 5 – Lâmpada Incandescente



Fonte: Santos et al. (2006)

Ainda dentro da classificação de lâmpadas por efeito térmico, podem-se destacar as lâmpadas halógenas (Figura 6), as quais são um tipo especial de incandescente. A diferença reside na alta temperatura que o bulbo suporta, evitando assim a condensação do tungstênio evaporado, que evapora em uma comum e se concentra nas paredes causando assim escurecimento. Outra diferença se dá tecnicamente, pois as halógenas possuem eficiência luminosa um pouco maior (SANTOS et al., 2006).

Figura 6 – Lâmpada Halógena



Fonte: Santos et al. (2006)

Seguindo a classificação anteriormente, serão abordadas agora as lâmpadas de descarga, cuja principal diferença para as lâmpadas térmicas é a ausência de filamento. Dentro desta classificação encontram-se as lâmpadas fluorescentes comuns e compactas (baixa pressão) e as lâmpadas de vapor de sódio, de vapor de mercúrio e vapores metálicos (alta pressão).

O princípio de funcionamento encontrando nestas lâmpadas tem a ver com a passagem de corrente elétrica por um gás contido dentro de um bulbo revestido por fósforo. Acontece que é sempre necessário existir um equipamento auxiliar para produzir a tensão necessária para o início do funcionamento da lâmpada. Em resumo, uma lâmpada

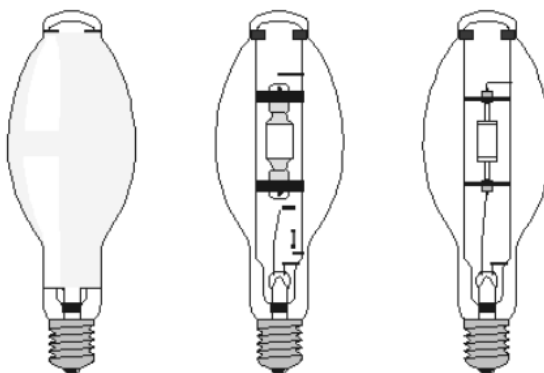
fluorescente tubular possui o meio interno, o tubo de descarga, os eletrodos e o bulbo externo. Com relação à sua eficiência luminosa, comparando com as incandescentes, pode-se dizer que é alta e que possui alta vida útil também. Menciona-se também, muito mais em relação à eficiência, o uso das fluorescentes compactas, que tem sido utilizada para substituir as lâmpadas incandescentes em seus respectivos ambientes muito por conta de apresentar o mesmo fluxo luminoso com menores potências, o que gera economia de energia no final (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; SANTOS et al., 2006).

A lâmpada a vapor de mercúrio funciona por meio de um tubo de quartzo, possuindo nas extremidades dois eletrodos e em seu interior argônio em mercúrio, que vai produzir o efeito luminoso. Com relação às lâmpadas a vapor de mercúrio, destaca-se sua elevada eficiência de cerca de 55 lumens/watt, a sua capacidade de evitar ofuscamento e a sua vida útil. Como desvantagem, apresenta-se a péssima reprodução de cor (MAMEDE FILHO, 2010).

A lâmpada a vapor de sódio são fabricadas em dois tipos, baixa pressão e alta pressão. A de baixa pressão são formadas por um tubo especial de vidro na forma de U, onde se produz a descarga. Este tubo contém sódio e uma mistura de gases inertes com os eletrodos nas extremidades. No entanto, a principal característica destas lâmpadas se apresenta na forma da radiação que é quase totalmente monocromática na cor amarela, além de possuir alta eficiência e vida útil. Já as de alta pressão, possuem uma boa reprodução de cor e um espectro visível e estão sendo bem utilizadas em grande projetos industriais (MAMEDE FILHO, 2010; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Um tipo particular de lâmpada a vapor de mercúrio que vale a pena ser mencionado é a lâmpada a vapor metálico (Figura 7). Nela são adicionados iodetos metálicos que proporcionam um excelente fluxo luminoso e uma elevada eficiência luminosa. Por conta destas características, estas lâmpadas são bastante utilizadas em estacionamentos, quadras esportivas e monumentos (MAMEDE FILHO, 2010; SANTOS et al., 2006).

Figura 7 – Lâmpada a vapor metálico



Fonte: Santos et al. (2006)

As lâmpadas que estão sendo usadas com muita regularidade nas residências brasileiras e que aos poucos vem se tornando cada vez mais realidade nos setores comerciais e industriais são aquelas que trazem consigo a tecnologia LED (Diodos emissores de luz). Esta tecnologia de iluminação possui maior eficiência e uma alta eficácia luminosa e uma elevada vida útil, embora as lâmpadas ainda não tenham atingido o potencial de aproveitamento (BECK, 2016). As lâmpadas com essa tecnologia emitem luz com maior abundância. As vantagens apresentadas pelo seu uso, além de serem substitutas naturais das lâmpadas fluorescentes são o tamanho reduzido, a variedade de cores que emitem, a luz dirigida e a pequena dissipação de calor, além de possuírem uma alta eficiência em comparação às lâmpadas fluorescentes e incandescentes. As lâmpadas LED são compostas de diferentes de tipos de materiais sejam eles galênio, arsênio ou fósforo (SANTOS et al., 2006; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Como resumo do que foi abordado, apresenta-se a Tabela 7 que mostra parâmetros a serem considerados em projetos de *retrofit* de lâmpadas. Observa-se que cada parâmetro tem uma classificação qualitativa que permite compará-los, baseando-se em informações adquiridas de catálogos de fabricantes de lâmpadas.

Tabela 7 – Comparação para projetos de *retrofit*

<i>Lâmpada</i>	<i>Eficiência Luminosa</i>	<i>Vida Média</i>	<i>Energia Consumida</i>	<i>Custo Inicial</i>	<i>Custo Total</i>
Incandescente	Baixa	Baixa	Alta	Baixo	Alto
Fluorescente T5/T8	Alta	Média	Média	Médio	Médio
Vapor Sódio	Alta	Alta	Baixa	Alto	Baixo
Vapor Mercúrio	Média	Médio	Médio	Médio	Médio
LED	Alta	Alta	Baixa	Alto	Baixo

Fonte: adaptada de Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

2.6 Ar-condicionado

Ao se representar sistemas de ar condicionado, deve-se sempre se preocupar em usar de maneira racional os mesmo, pois assim como o mesmo é um agente importante no alto consumo de edificios, também é um potencial alvo de ações de eficiência energética devido a vários fatores. O condicionamento de ar, é indispensável em ambientes que visam aumentar o conforto do usuário, em laboratórios de controle, em ambientes que requerem segurança contra toxicidade, em processos industriais que exigem umidade e muitos outros ambientes (SANTOS et al., 2006).

Existem várias classificações que abrangem os sistemas de climatização mais utilizados em um edifício, podendo ser segundo os fluidos, de expansão direta, tudo água, ar-água, tudo ar (PENA, 2011). Podendo também serem divididos pela função como aqueles de ventilação mecânica, de aquecimento e de refrigeração (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Os sistemas de expansão direta são classificados desta forma porque o ar é diretamente resfriado pelo fluido refrigerante, que são substâncias que possuem propriedades físicas ideais para o bom funcionamento de uma máquina de ar condicionado. As aplicações destes sistemas são os ar condicionado de janela, *split* e *self contained*.

Os aparelhos de ar condicionado de janela possuem em um único módulo todos os componentes necessários para a refrigeração do ambiente tais como o condensador e o evaporador. É o aparelho mais simples dentre todos os tipos porque possuem fácil instalação e manutenção. No entanto, não são eficientes, além de possuírem alto nível de ruído (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O tipo de ar condicionado split são assim chamados porque possuem as unidades evaporadoras e condensadoras separadas entre si, mas interligadas por tubulação em cobre revestido de um isolante, contendo gás refrigerante. Eles podem atender ambientes que não possuem tantas subdivisões, sendo que para este tipo de uso indica-se o ar condicionado multisplit, no qual se podem combinar várias unidades (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O *Self Contained*, assim como o split e o janela, insuflam o ar diretamente no ambiente, no entanto, para fins práticos não insuflam de maneira individual, pois são equipamentos de grande porte e que necessitam de outros acessórios (dutos) para que a grande quantidade de ar seja distribuída.

Os condicionadores de ar ditos de expansão indireta são aqueles em que o fluido usado como refrigerante do ar é a água. Estes sistemas podem ser de três tipos quais sejam tudo água, ar-água e tudo ar. As aplicações destes sistemas são os *chillers*. A representação de um sistema tudo água é mostrada na Figura 8 pelos *Fan coils*, que distribuem a água para os recintos, funcionando de forma semelhante à unidade evaporadora. Este sistema é bastante aplicado em locais onde não é possível instalar dutos devido a limitações físicas ou financeiras. A representação de um sistema ar-água é mostrada na Figura 9. Este sistema é bastante aplicado em prédios com grande número de salas. A representação de um sistema tudo ar é mostrada na Figura 10. Este sistema é dividido em sistema multizona e sistema VAV. Todos os condicionadores de ar apresentados anteriormente apresentam comercialmente a capacidade de refrigeração em Watts, BTU/h ou TR (PENA, 2011).

Figura 8 – Fan coils

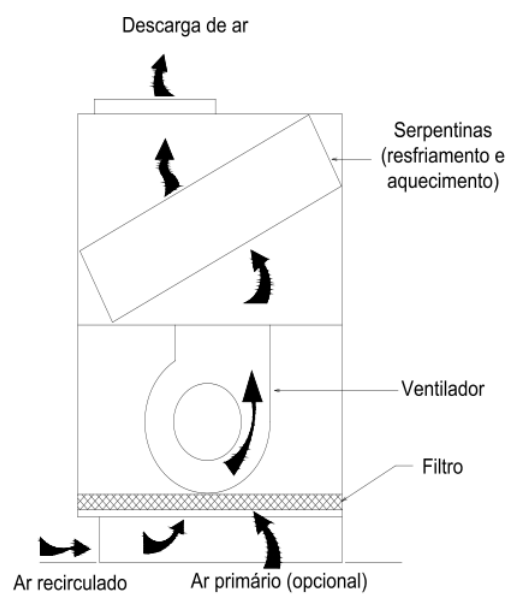
Fonte: [Pena \(2011\)](#)

Figura 9 – Ar-água

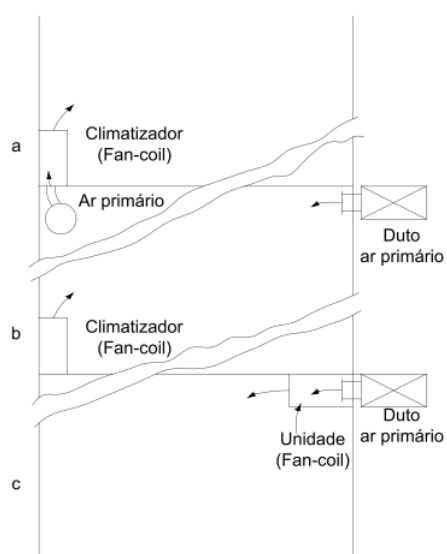
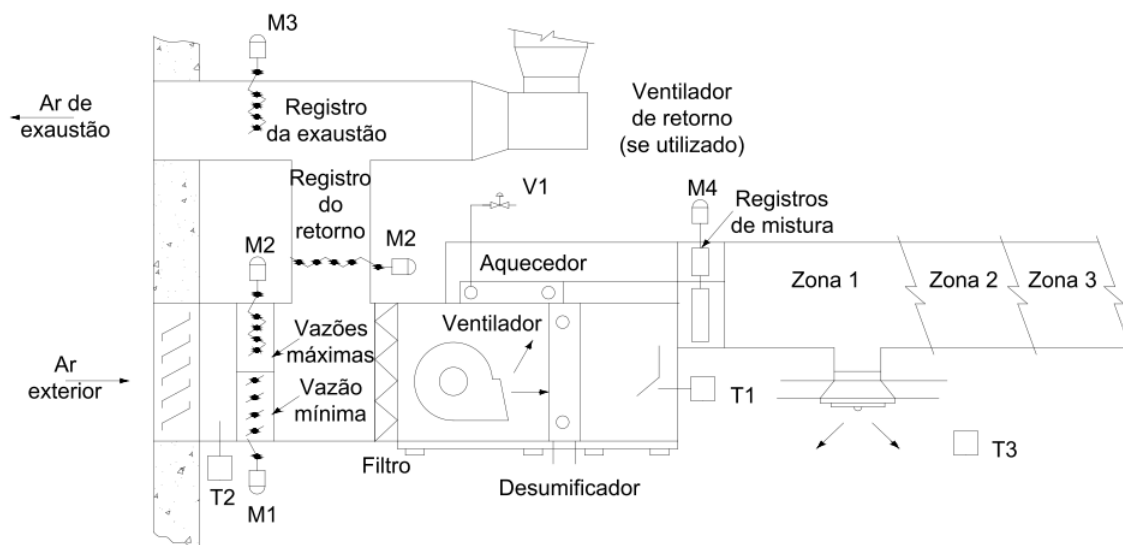
Fonte: [Pena \(2011\)](#)

Figura 10 – Tudo-ar



Fonte: [Pena \(2011\)](#)

2.7 Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE)

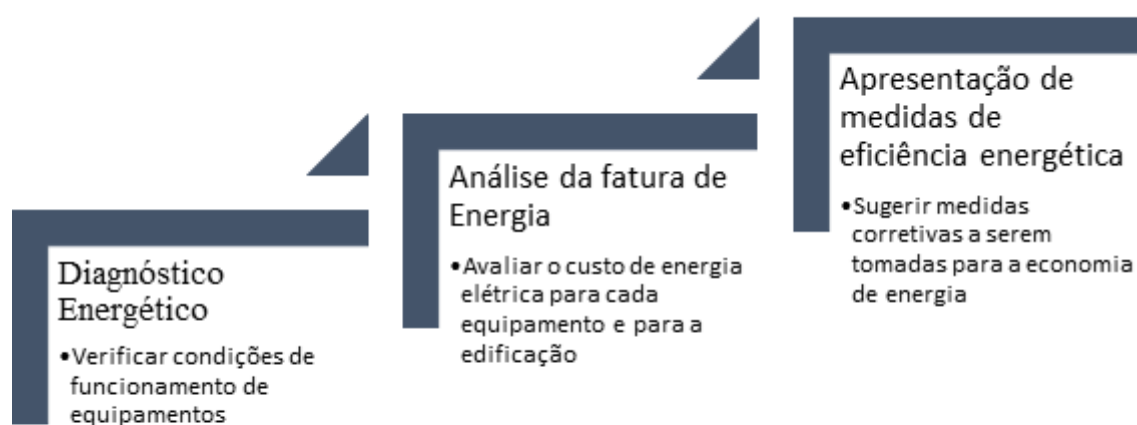
De acordo com [BRASIL \(1990\)](#) deve ser criada uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), em cada estabelecimento pertencente a órgão ou entidade da Administração Federal direta e indireta, fundações, empresas públicas e sociedades de economia mista controladas direta ou indiretamente pela União, que apresente consumo anual de energia elétrica superior a 600.000 kWh.

Quando se tem um consumo de energia elétrica tão elevado, torna-se necessário criar metas que ajudam a alcançar objetivos definidos de gestão de energia. A CICE, então, é a comissão responsável por elaborar, implantar e acompanhar essas metas. Deve-se pensar também na participação de todos que participam do sistema pertencente ao órgão, pois é indispensável essa colaboração com o usuário e a CICE. A Tabela 8 e a Figura 11 resumem as atribuições da CICE. Interessante observar que a atuação não se dá estritamente no campo técnico mas também no campo gerencial já que há campanhas para conscientização de usuários, bem como designações e participações em outros setores, além de elaboração de um Programa de Conservação de Energia no estabelecimento. A equipe que compõe a CICE deve ser composta por 6 membros e dentre os escolhidos deve estar um profissional com experiência em conservação de energia e que possua ligação funcional com a diretoria, além de jornalistas, administradores e especialistas em segurança do trabalho. As despesas necessárias ao funcionamento da CICE serão custeadas com recursos provenientes da dotação orçamentária do respectivo órgão ou entidade ([MMA, 2015](#); [BRASIL, 1990](#)).

Tabela 8 – Atribuições da CICE

1	Promover a auditoria energética para análise do potencial de redução
2	Estabelecer metas de redução
3	Monitorar o consumo de energia por setores e/ou sistemas da edificação
4	Estabelecer indicadores para monitoramento
5	Estabelecer gráficos e relatórios gerenciais
6	Avaliar os resultados alcançados para o ano e propor metas revisadas
7	Designar coordenadores para atividades específicas, relacionadas à conservação
8	Realizar cursos específicos para treinamento de pessoal
9	Conscientizar e motivar os empregados
10	Divulgar resultados dos objetivos alcançados

Figura 11 – Resumo de processos principais executados por uma CICE



Fonte: Adaptada de [Schauz \(2011\)](#)

Além do exposto, deve-se observar na criação de uma CICE em qualquer estabelecimento que sempre há uma divulgação de campanha de conscientização contendo cartazes, manuais, notícias em jornais e o que pode ser dito a respeito das campanhas é que deve-se sempre seguir uma lista de recomendações convidando o usuário a desligar aparelhos e apagar luzes em ambientes inutilizados além de pedir sugestões ao usuário no tocante à economia de energia (SCHAUZ, 2011). Entre as principais ações da CICE, consideram-se as seguintes o controle do consumo específico de energia por setores e/ou sistemas; controle e avaliação dos planos de distribuição e recuperação de energia, etc (ZACCHI et al., 2008).

2.8 Considerações Finais do Capítulo

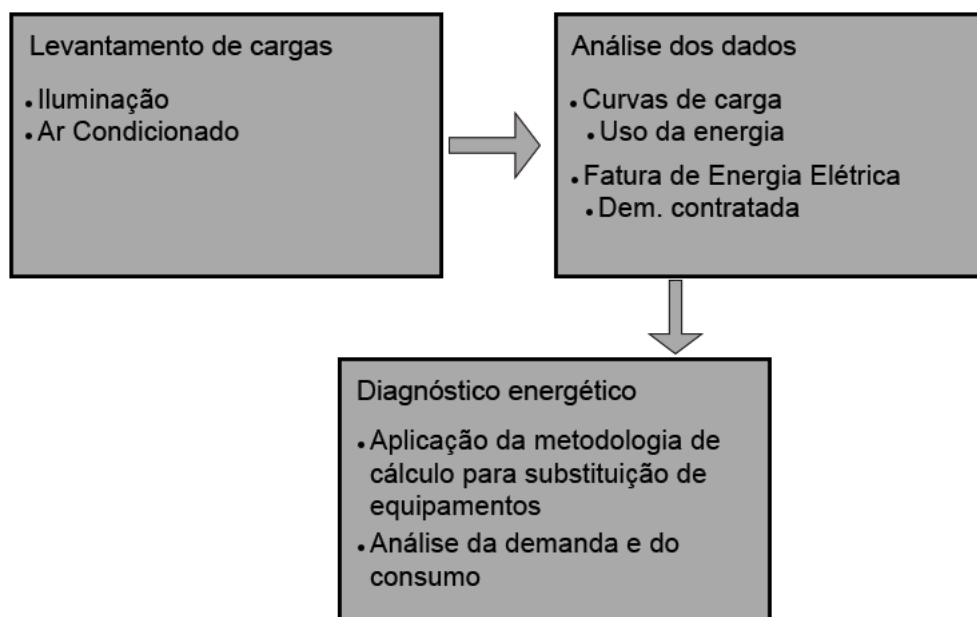
Este capítulo apresentou os principais assuntos relacionados ao tema de eficiência energética presentes em livros, artigos e manuais. As definições e conceitos de eficiência energética de várias fontes diferentes foram abordados. Decidiu-se utilizar os indicadores de eficiência energética mais utilizados em um projeto de eficiência energética tais como o consumo específico, o fator de carga, a densidade de potência instalada para os sistemas de iluminação, o coeficiente de performance para os sistemas de condicionadores de ar. Os principais trabalhos que tratam de análise de desempenho energético de edificações, de metodologias de cálculos para as ações de eficiência energética no Brasil e em vários países foram considerados em ordem cronológica. Como para uma aplicação de eficiência energética em qualquer que seja o tipo de edificação, comercial, pública e residencial necessita-se saber conceitos básicos. Estes foram abordados neste capítulo em forma de equações contendo parâmetros como *payback*, relação custo-benefício e taxa interna de retorno. Finaliza-se, tratando dos conceitos inerentes aos sistemas de ar condicionado, de iluminação, da tarifação de energia elétrica e das diretrizes para criação da comissão interna de Conservação de Energia.

3 Metodologia

Realizou-se um estudo de caso tomando como exemplo uma instituição de educação que atende estudantes dos mais variados níveis estudantis como ensino médio, técnico e superior. Constata-se que estão presentes vários tipos de consumidores diferentes, tais como merenda escolar, ambulatórios, laboratórios, bibliotecas, auditórios e ginásios. Todos os ambientes apresentados e que estão presentes na edificação possuem equipamentos que consomem energia e por isso são candidatos a sofrerem *retrofit* em suas respectivas instalações.

A formulação do problema e a pergunta que se quer responder com as ações de eficiência energética é quanto uma instituição de ensino pode economizar energia melhorando as suas instalações e otimizando sua demanda. Mais precisamente analisa-se a eficiência energética e efetua-se um *retrofit* nas instalações das salas de aula e de alguns laboratórios. A ferramenta de cálculo que foi usada para atingir as economias e a eficiência foram as metodologias que aparecem em [CEPEL \(2014\)](#), em [Santos et al. \(2006\)](#), em [ANEEL \(2013a\)](#) e em [CBCS \(2016\)](#) as quais foram referências para o estudo de caso. Entretanto, não se utilizou todas as equações e nem todas as formas de analisar os dados presentes nas referências citadas. As próximas seções são compostas pelas etapas utilizadas na análise de eficiência energética, identificação de desperdícios e potenciais de melhorias da edificação. O delineamento da pesquisa é apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Delineamento da pesquisa



Fonte: Autor (2018).

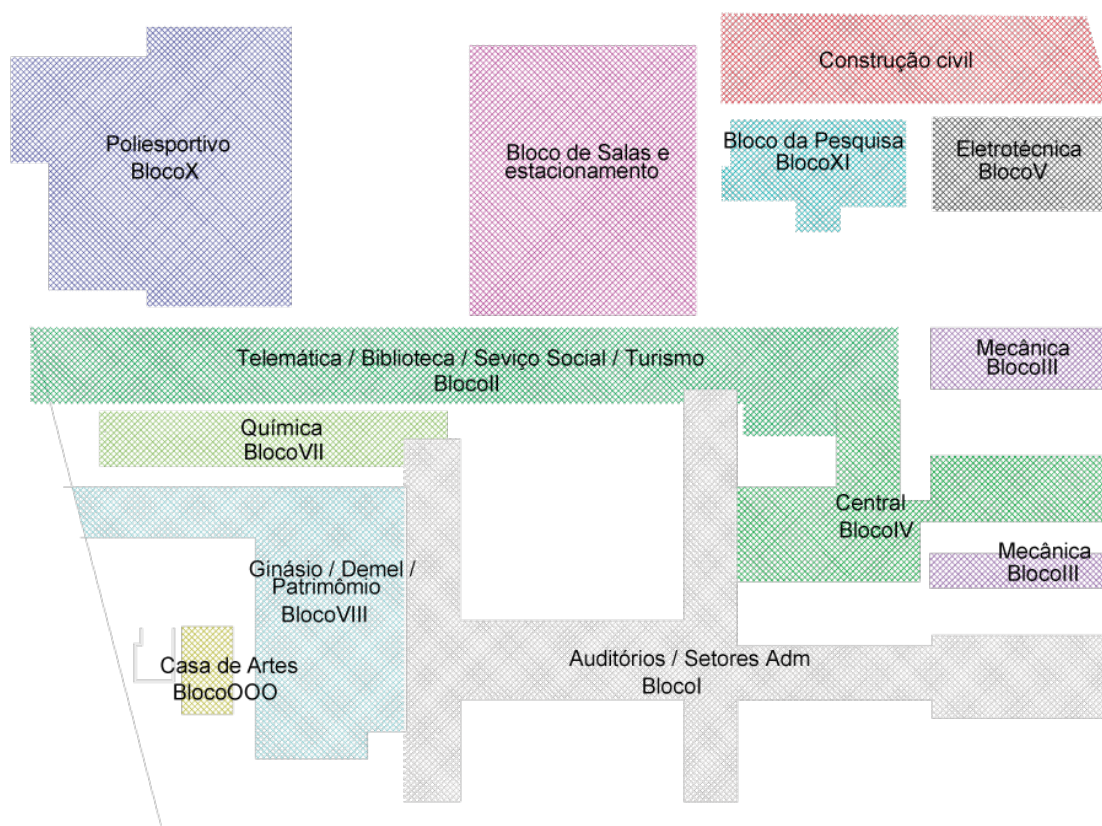
3.1 Descrição da edificação

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Fortaleza é uma instituição que possui mais de cem anos de existência e que já enfrentou várias transformações em seu estatuto e em seu funcionamento. No tocante ao uso de suas instalações elétricas, vê-se um grande potencial de economia de energia que pode ser implementado em pouco tempo.

A edificação é composta por vários blocos separados, mas que em algum momento se conectam por meio de escadas, elevadores e rampas. Sua área útil total é igual a 37.858 m^2 . A maioria das esquadrias é de alumínio com vidro transparente fazendo-se o uso de persianas, mas ainda persiste esquadrias de madeira. O período de funcionamento ocorre de 07h30min às 22h30min. Circulam pelo prédio aproximadamente 10.000 pessoas. A modalidade tarifária está definida em horossazonal verde pertencente ao grupo A4, com tensão de fornecimento igual a 13,8 kV e classificação de consumo poder público federal.

Os quadros de energia que prevalecem ainda são aqueles considerados defasados para a tecnologia atual. Em muitos setores as lâmpadas são do tipo fluorescentes, com algumas incandescentes. A maior parte da climatização é feita por condicionadores de ar do tipo *split* e do tipo piso teto com alguns setores possuindo os do tipo janela também. Existem também centenas de equipamentos de informática, tais como *nobreaks*, impressoras e dispositivos para laboratório. A divisão e localização dos setores e blocos dentro do IFCE e suas respectivas denominações são apresentadas na Figura 13. A maior área é vista no Bloco I, com este sendo também o bloco mais antigo encontrado na instituição com construção datada desde antes dos anos 50. O bloco mais novo é o bloco de salas e o bloco de pesquisa, os quais foram entregues para uso há 4 anos aproximadamente.

Figura 13 – Localização dos setores e blocos dentro do IFCE.



Fonte: Autor (2018).

3.2 Coleta de dados

Os dados coletados para análise foram coletados de equipamentos de medição de energia, por meio de visita in loco em cada setor e por meio de banco de dados cadastrados presentes nos setores. Foram adquiridos uma grande quantidade de dados com o objetivo de abranger uma ampla variedade de parâmetros. Os dados foram coletados dos equipamentos que variam desde quadros de baixa tensão, cabos elétricos, passando por condicionadores de ar, elevadores, motores e iluminação.

Nas coletas de campo, foram mobilizadas equipes de colaboradores que se alternam em visitas aos setores que armazenam informações em banco de dados próprio. Entrevistar o pessoal responsável pelo setor para se conseguir extrair informações que seriam repassadas para os relatórios a serem gerados foi o próximo passo. Equipamentos como os da Figura 14 também foram utilizados com o intuito de se fazer um monitoramento em tempo real, gravando e analisando sistemas de uma e três fases bem como potência aparente, ativa e reativa, fator de potência e etc. Para a coleta de dados com o analisador necessitou-se instalar o equipamento no quadro de energia em que as cargas estão conectadas.

O equipamento possui alicates amperímetros para medir correntes, garras "jacaré" para medirem tensão e um *datalogger* que permite armazenar até 20.000 leituras. Os dados armazenados foram lidos em softwares de análises gráficas, mas para que sejam úteis é necessário que os mesmos sofram uma otimização matemática com vistas a gerar gráficos.

Figura 14 – Analisador de energia trifásico utilizado para armazenar e monitorar variáveis elétricas



Fonte: Homis do Brasil (2018).

3.3 Diagnóstico Energético

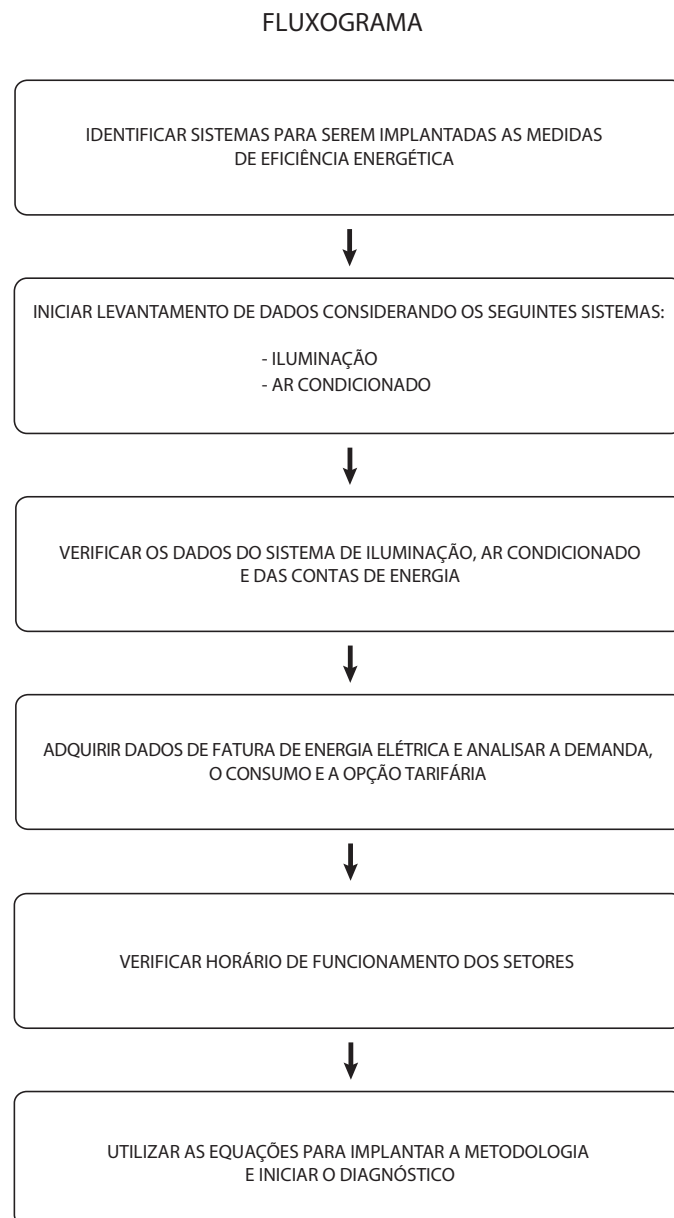
No ano de 2016, a instituição conseguiu um projeto de eficiência energética executado pela 3E engenharia, uma empresa de engenharia que presta serviços especializados em conservação de energia e promove a eficiência energética nas instalações, é a chamada ESCO (*Energy Services Company*). Dentro das principais oportunidades identificadas pela ESCO estão: a avaliação de atrativos e oportunidades econômicas, assessoramento de contratação de financiamentos, a implantação das oportunidades identificadas e o *start-up* das implementações, incluindo o Plano de Medição & Verificação (M&V) para confirmar as economias (ABESCO, 2018).

O resultado deste serviço executado pela ESCO 3E engenharia foi o pré-diagnóstico (PD), que é uma análise um pouco mais abrangente, com margem de erro de 20 a 30%, e que apresenta quanto a unidade do cliente gasta de energia em um determinado período (usualmente 12 meses), onde e como é gasto esta energia e de que forma é possível reduzir o consumo e os gastos com energia elétrica. O próximo passo tendo definido as variáveis apresentadas, é avançar para a etapa de diagnóstico energético (DE) por meio do qual é detalhado os sistemas e ações. O DE não é um projeto executivo, é um projeto básico mas

detalha, como, onde, de que forma, quem, quando é realizado a implantação além de ser uma ferramenta que estima em que quantidade as diversas formas de energia estão sendo gastas numa edificação, em seus sistemas (ar condicionado, iluminação, motorização, etc.) (ABESCO, 2018; PENA, 2011).

O diagnóstico energético pode ser resumido por meio do fluxograma apresentado na Figura 15 na qual são resumidos os principais passos a serem executados para o sucesso de uma ação de eficiência energética.

Figura 15 – Fluxograma das atividades desenvolvidas durante o desenvolvimento do diagnóstico energético.



Fonte: Autor.

Identifica-se, portanto, alguns sistemas que podem ser estudados detalhadamente visando a implantação do projeto de eficiência energética (EE), no qual é possível avaliar

as perdas (em kWh), os custos de investimentos e o tempo de retorno. Além dos sistemas que sofreram as ações de *retrofit*, procura-se, ao analisar as contas de energia da instituição, atuar para que a fatura de energia seja reduzida.

Por meio do acesso às contas de energia elétrica da instituição considerando três anos passados (2015 a 2017), realiza-se análises separadas do consumo de energia elétrica anual e da demanda anual com o intuito de se procurar reduzir ou mesmo eliminar as ociosidades e ultrapassagens de demanda.

Verifica-se a possibilidade de redução de demanda contratada visto que suspeitou-se inicialmente que a energia estava sendo usada sem necessidade em alguns momentos. Com isso, através da comparação de demandas de potência registradas, contratadas e faturadas anuais em três anos diferentes, conseguiu-se resultados satisfatórios que representam como a energia está sendo utilizada.

Além da análise da conta de energia elétrica incluindo a demanda e o consumo, também é realizada uma otimização tarifária que é uma simulação realizada com os dados obtidos nas contas de energia elétrica. A partir deles, decidiu-se a conveniência da tarifa utilizada (que proporciona o menor custo médio) considerando também os fatores de carga vigentes e a legislação tarifária em vigor.

Com a análise da otimização tarifária e de demanda, apresenta-se também a redução de consumo de energia elétrica dentro da instituição por meio de levantamento de cargas e diagnóstico da utilização de salas e laboratórios no horário de ponta. Para isso, adquire-se os horários das salas de aula junto a direção de ensino. As demais salas e laboratórios que são gerenciadas pelos departamentos tem sua utilização consultada junto aos responsáveis. Em seguida, as informações são lançadas em software de modelagem de informações (*Autodesk Revit*) para centralizar a análise dos dados e os resultados são processados e exportados em formato de planilhas e mapas de utilização.

Ao se basear em estudos anteriores que indicavam a necessidade de se ter uma economia de energia no estudo de caso analisado, procura-se escolher as variáveis dos sistemas e modelos de usos finais que sofreriam o *retrofit*. Os candidatos escolhidos foram as lâmpadas e os condicionadores de ar.

Para os quadros de energia a metodologia adotada segue a lógica da substituição do dispositivo por outro que engloba novos conceitos tais como internet das coisas e domótica. Os quadros que se apresentam anteriormente na instituição não estavam adequados ao bom funcionamento pois se mostravam ultrapassados do ponto de vista tecnológico não possuindo alguma implantação tecnológica que viesse a justificar uma modernização. A ideia principal, no entanto, baseia-se em poder gerir os horários de desligamento das principais cargas atreladas ao quadro de energia, sendo possível com isso evitar que o mesmo seja usado desnecessariamente, pois percebia-se que muitos locais ficavam desocupados mas

com os equipamentos elétricos em pleno funcionamento. No final, acarreta-se um maior consumo de energia. De forma geral e mais resumida, procura-se, com a instalação dos novos quadros de energia, racionalizar o consumo de energia elétrica.

Para realizar o estudo de caso do subsistema iluminação, escolheu-se o bloco central, onde estão localizadas as salas de aula, a biblioteca e alguns laboratórios pertencentes ao departamento de telemática e da indústria. Os respectivos blocos funcionavam com luminárias aletadas contendo lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 32 W e fluorescentes compactas de 20 W. O bloco IV, também chamado bloco central, foi construído em 2008, possuindo até o presente momento 10 anos de construção. O bloco é composto por 3 pavimentos. A maioria das salas de aula que atendem ao ensino médio profissionalizante se encontram nesse bloco. Já a biblioteca faz parte de outros setores dentre eles a Telemática, o Serviço Social e o Turismo. A biblioteca possui vários setores que a compõem, todos eles contendo uma considerável quantidade de lâmpadas, apresentando, portanto, um bom potencial de economia de energia.

Falando-se dos sistemas de iluminação, no estudo de caso é considerado o benefício de um *retrofit* de lâmpadas em diferentes setores diferentes dentro da instituição. Decidiu-se substituir, portanto, lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W por lâmpadas LED do tipo tubular de 18 W. As ações de eficiência energética que são executadas para este estudo de caso consideram apenas a substituição de equipamentos, no entanto uma ação importante abordada teoricamente é a instalação de dispositivos de controle como *dimmers* e sensores de presença.

Em se tratando dos condicionadores de ar e considerando que aborda-se a análise para 2 setores diferentes, pode-se utilizar as informações presentes em [Dantas Filho et al. \(2017\)](#) e também adquiridas de banco de dados próprio da instituição. Importante salientar que decidiu-se atuar no *retrofit* das máquinas que possuíam selo Procel C e D.

3.4 Forma de análise dos dados

Os dados adquiridos no passo anterior são repassados para software de modelagem de informações de construção (*Autodesk Revit*) para serem devidamente organizados. As equações presentes em [Santos et al. \(2006\)](#), conforme apresentadas no Capítulo 2, também são utilizadas, pois por meio delas foi possível chegar a números exatos de economia de energia.

3.5 Forma de análise dos resultados

Decidiu-se dividir os resultados em seções diferentes, uma seção foi dedicada a execução das ações de *retrofit* de lâmpadas e das ações de troca de condicionadores de ar.

Outra seção focou em apresentar o resultado da otimização do uso da energia, por meio da demanda de potência, consumo e opção tarifária.

3.6 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou a metodologia e materiais utilizados durante a execução do trabalho. Foi apresentado o levantamento de cargas dos sistemas de iluminação e dos sistemas de ar condicionado por meio da divisão da instituição em blocos cada um com suas particularidades. Os materiais utilizados para a aquisição de alguns dados necessários para gerar a curva de carga de alguns blocos também foram apresentados, particularmente o analisador de energia. Com os dados adquiridos, apresentou-se as formas de análise que estão presentes no Capítulo Resultados tais como a otimização tarifária, a análise da demanda e o diagnóstico energético da instituição.

Assim, o capítulo seguinte aborda como os os dados são utilizados para construir as curvas de cargas e os respectivos gráficos de consumo, demanda, consumo específico e as comparações entre essas variáveis nos anos. É possível avançar na pesquisa e aplicar as equações para colher os benefícios conseguidos com a ação de eficiência energética, conforme apresentado no capítulo.

4 Resultados e Discussão

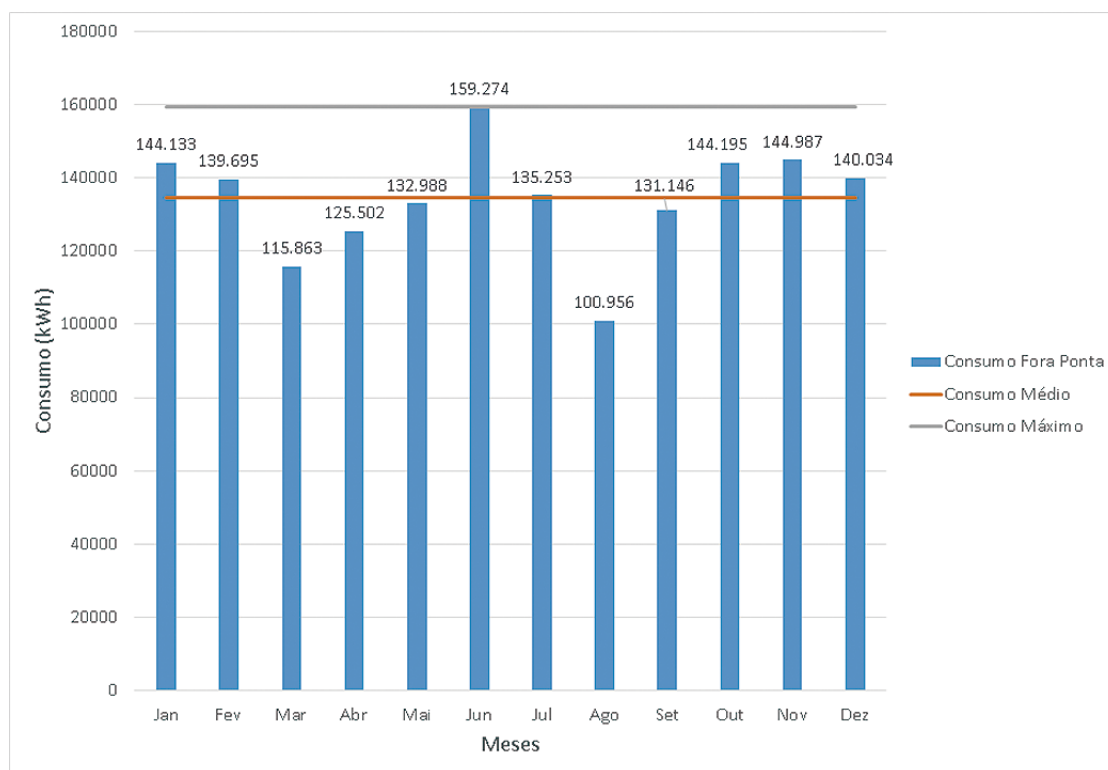
Após a execução da fase de diagnóstico energético, no qual foram analisadas as contas de energia, calculadas as curvas de cargas e em seguida o levantamento de carga englobando todos os sistemas presentes na análise de eficiência energética da instituição, apresenta-se os resultados alcançados pelas medidas de eficiência energética adotadas em cada sistema qual seja iluminação e ar condicionado e por meio da otimização tarifária e de demanda. Os resultados são divididos em várias seções apresentadas a seguir.

4.1 Criação da CICE

A criação da CICE do IFCE Campus Fortaleza está condicionada à observância do decreto o qual dispõe sobre a criação da mesma, nos órgãos e entidades da Administração Federal direta e indireta. O principal destaque a ser dado é que o consumo anual de energia elétrica deve ser superior a 600.000 kWh. Observando a Figura 16, é possível constatar que o consumo anual superou este valor em 2017, inclusive sendo maior que o dobro do destacado pela lei, enquadrando-se o campus, portanto, como beneficiário da CICE. O trabalho da CICE dentro do IFCE, no entanto, vem se desenvolvendo ao longo dos anos, o que pode ser destacado é o monitoramento da evolução das contas de energia, no que diz respeito principalmente à observação do contrato de energia.

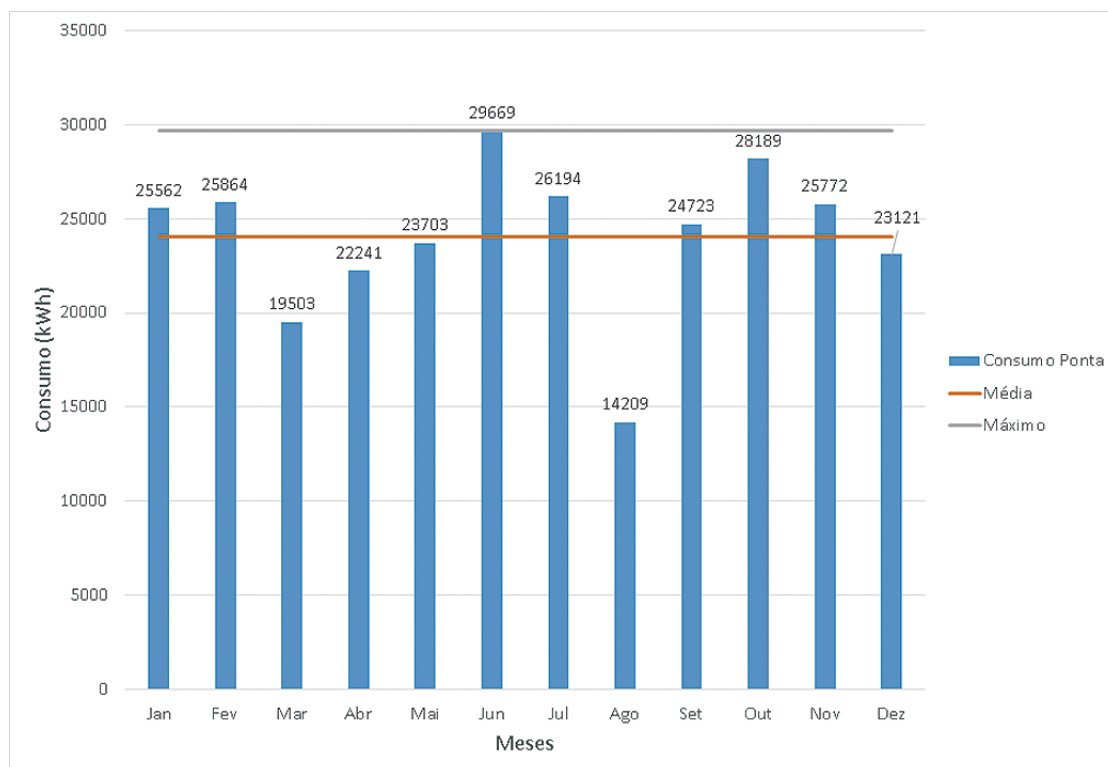
Observando os gráficos nas Figuras 16, 17 e 18 percebe-se que alguns dados interessantes e que podem induzir uma redução no valor pago pela fatura de energia elétrica podem ser devidamente analisados. Há um potencial de economia de energia no tocante ao consumo, no horário fora ponta e também no horário ponta, conforme observado durante o ano de 2017 (Figuras 16 e 17). Destaca-se também que existem meses em que o consumo fora ponta é reduzido 36%, conforme se observa o mês de Julho e o mês de Agosto. Essa redução ocorre em razão das férias escolares na instituição. Agora comparando-se os comportamentos nos horários de ponta e de fora ponta, nota-se que o mês de Agosto (férias escolares de 2017), está compatível com a redução de consumo. Uma interpretação da Figura 18 aponta que a demanda máxima ocorre no mês de Junho e com valor igual a 668 kW.

Figura 16 – Consumo anual fora ponta no ano de 2017



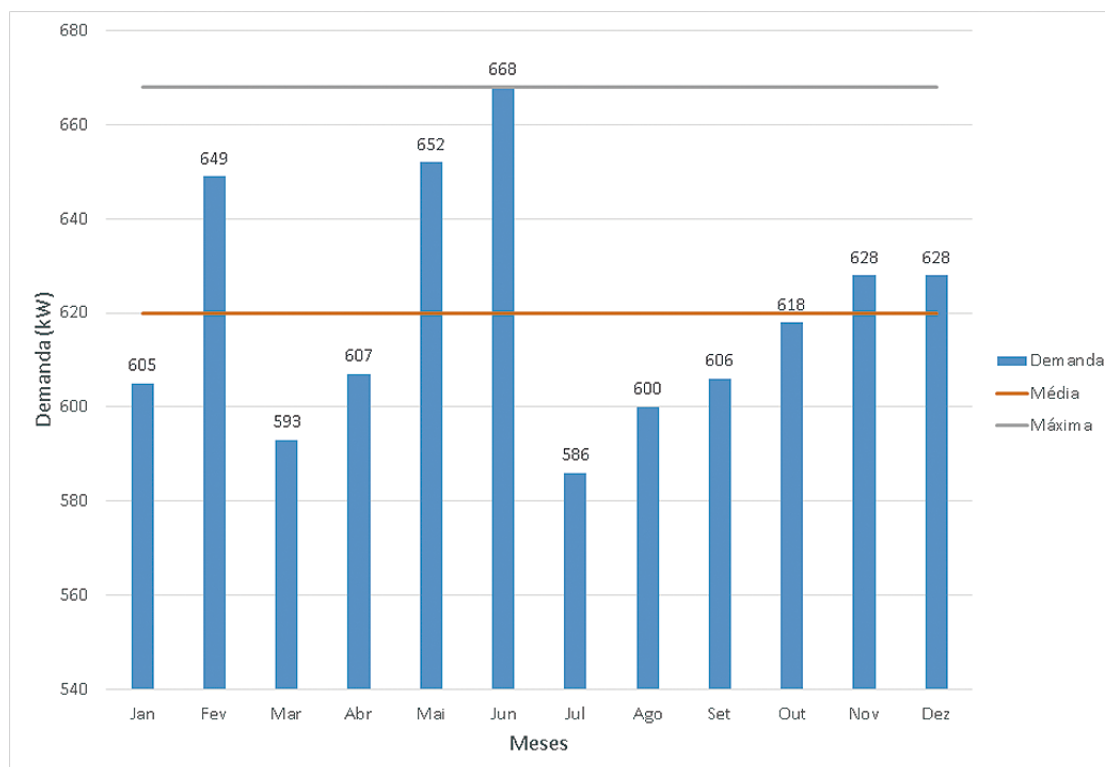
Fonte: Autor.

Figura 17 – Gráfico do Consumo anual ponta no ano de 2017



Fonte: Autor.

Figura 18 – Gráfico da Demanda anual no ano de 2017



Fonte: Autor.

Utiliza-se, então, da ideia do indicador de eficiência fator de carga, para mostrar a maneira que a energia está sendo utilizada. Quanto maior o fator de carga, mais racionalmente se usa a energia e quanto mais próximo de zero indica que houve concentração de cargas em um determinado período de tempo neste mês, o que ocasiona a demanda de pico. Assim, aplicando-se a Equação 2.3 e utilizando a opção tarifária horossazonal verde, em que não se tem diferenciação de tarifas de demanda, constrói-se as Tabela 9 e 10.

Tabela 9 – Resultado do FC para o mês de maior demanda e consumo (Junho) em 2017

Demanda Máxima		668	kW
Horas no mês	FP	664	h
	P	66	h
Consumo	FP	159274	kWh
	P	29669	kWh
Fator de Carga	FP	0,36	
	P	0,67	

Fonte: Autor.

Tabela 10 – Resultado do FC para o mês de menor consumo (Agosto) em 2017

Demanda Registrada	600	kW	
Horas no mês	FP	664	h
	P	66	h
Consumo	FP	100956	kWh
	P	14209	kWh
Fator de Carga	FP	0,25	
	P	0,36	

Fonte: Autor.

Em resumo, temos que na Tabela 9, o FC mensal do horário fora de ponta está baixo e deve-se atuar para que as cargas que estão causando uma demanda de pico em um horário específico deste mês não sejam concentradas e ligadas em um único momento, dividindo os horários de ligação das mesmas. Em outro cenário, analisando a Tabela 10 observa-se que o FC está muito baixo seja para o horário fora de ponta ou para o horário de ponta, que não é conveniente pois neste mês não ocorreu a maior demanda registrada durante o ano. Não é interessante manter o FC neste patamar, porque isso implica que a instalação não está sendo eficiente no uso da energia. A maior explicação para isso é que a demanda continuou acima da média, quando na verdade deveria ter sido reduzida juntamente com o consumo.

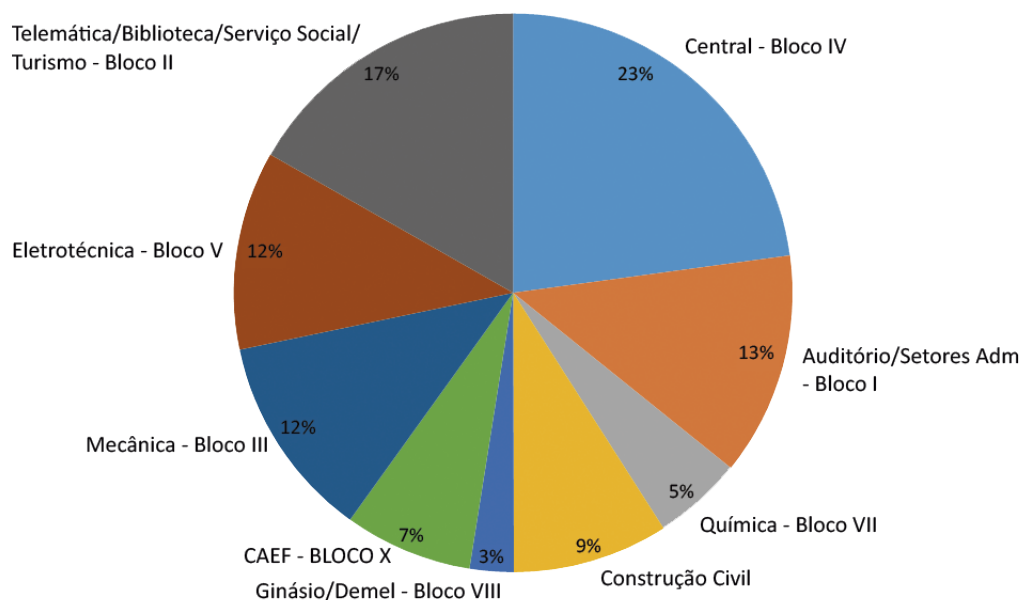
Outro trabalho relevante conseguido com a implantação da CICE é a possibilidade de ser executada uma troca de informações entre vários profissionais sejam os que tratam de engenharia, os que tratam de arquitetura, de jornalismo e de administração, pois todos eles devem fazer parte da composição de uma CICE.

4.2 Medidas de Eficiência Energética

4.2.1 Substituição do Sistema de Iluminação

Analisando o desempenho energético por blocos conforme a maneira que se escolheu para representar a instituição vista no Capítulo 3, apresenta-se o gráfico da Figura 19. Esta Figura mostra principalmente que o maior uso de iluminação dentro da instituição ocorre no Bloco IV, onde ocorrem a maioria das aulas e onde se concentram a maioria dos alunos e professores. Pode-se inferir que a influência da iluminação dentro do sistema elétrico da instituição é considerável e que ela é apontada como sistema potencial de economia de energia.

Figura 19 – Gráfico da energia consumida anualmente no IFCE considerando o sistema de Iluminação



Fonte: Autor.

Assim, com o levantamento de carga apresentado na Tabela 11, foram efetuados cálculos para implementar e registrar a energia economizada e a redução de demanda na ação proposta de trocas de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LEDs, considerando o horário de ponta e de fora ponta. Assim, sugere-se a troca conforme apresentado na Tabela 12. As Equações 4.1, 4.2 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 utilizadas para este cálculo são mostradas a seguir e foram retiradas de ANEEL (2013a) e de Zacchi et al. (2008).

Tabela 11 – Levantamento de cargas do Sistema de Iluminação Atual

Setor	Lâmpada	Quantidade Lâmpadas	Quantidade Reatores	Potência	Reator
				W	W
Central - Bloco IV	Fluorescente	592	296	32,00	3,00
Auditório/Setores Adm - Bloco I	Fluorescente	488	244	32,00	3,00
Química - Bloco VII	Fluorescente	134	67	32,00	3,00
Construção Civil	Fluorescente	233	117	32,00	3,00
Ginásio/DEMEL - Bloco VIII	Fluorescente	66	33	32,00	3,00
CAEF - Bloco X	Fluorescente	192	96	32,00	3,00
Mecânica - Bloco III	Fluorescente	306	153	32,00	3,00
Eletrotécnica - Bloco V	Fluorescente	298	149	32,00	3,00
Telemática / Biblioteca / Serviço Social / Turismo - Bloco II	Fluorescente	434	217	32,00	3,00

Fonte: Autor.

Tabela 12 – Levantamento de cargas do Sistema de Iluminação Proposto

Setor	Lâmpada	Quantidade Lâmpadas	Quantidade Reatores	Potência	Reator
				W	W
Central - Bloco IV	LED	592	0	18,00	0,00
Auditório/Setores Adm - Bloco I	LED	488	0	18,00	0,00
Química - Bloco VII	LED	134	0	18,00	0,00
Construção Civil	LED	233	0	18,00	0,00
Ginásio/DEMEL - Bloco VIII	LED	66	0	18,00	0,00
CAEF - Bloco X	LED	192	0	18,00	0,00
Mecânica - Bloco III	LED	306	0	18,00	0,00
Eletrotécnica - Bloco V	LED	298	0	18,00	0,00
Telemática / Biblioteca / Serviço Social / Turismo - Bloco II	LED	434	0	18,00	0,00

Fonte: Autor.

$$P_{inst} = \frac{p \times qtd}{1000} \quad (4.1)$$

$$Ec = \frac{P_{inst} \times h}{1000} \quad (4.2)$$

em que

EC – Energia Consumida, em MWh/ano;

qtd – Quantidade de equipamentos (Iluminação ou ar condicionado);

h - Funcionamento (h/ano);

p - Potência (Lâmpada + reator);

Pinst – potência instalada, em kW;

$$EEp = \frac{[(nla \times pla + nra \times pra) \times hp - (nlp \times plp + nrp \times prp) \times hp]}{1000} \quad (4.3)$$

$$EEfp = \frac{[(nla \times pla + nra \times pra) \times hfp - (nlp \times plp + nrp \times prp) \times hfp]}{1000} \quad (4.4)$$

$$RDp = \frac{[(nla \times pla + nra \times pra) \times FCP \times FD - (nlp \times plp + nrp \times prp) \times FCP \times FD]}{1000} \quad (4.5)$$

$$RDfp = \frac{[(nla \times pla + nra \times pra) \times FD - (nlp \times plp + nrp \times prp) \times FD]}{1000} \quad (4.6)$$

em que

Eep – energia economizada ponta (kWh/ano);

$Eefp$ - energia economizada fora de ponta (kWh/ano);

nla – quantidade de lâmpadas do sistema atual;

nlp - quantidade de lâmpadas do sistema proposto;

pla - potência da lâmpada do sistema atual (W);

plp - potência da lâmpada do sistema atual (W);

nra - quantidade de reatores do atual;

nrp - quantidade de reatores do sistema proposto;

pra - potência do reator do sistema atual (W);

prp - potência do reator do sistema proposto (W);

hp - tempo de uso ponta (h/ano);

hfp - tempo de uso fora de ponta (h/ano);

Rdp - redução demanda ponta (kW);

$Rdfp$ - redução demanda fora ponta (kW);

FCP - fator de coincidência na ponta;

FD - fator de demanda;

$$BAi = (EEp \times kWhp + EEfp \times kWhfp) + RD \times 12 \times kW \quad (4.7)$$

em que

BAi - benefícios anualizados (R\$);

Eep – energia economizada ponta (kWh/ano);

$EEfp$ - energia economizada na fora ponta (kWh/ano);

RD - redução de demanda (kW);

$kWhp$ - tarifa média de energia na ponta (R\$/kWh);

$kWhdp$ - tarifa média de energia na fora ponta (R\$/kWh);

kW - tarifa demanda Horo-sazonal Verde (R\$/kW);

Portanto, os resultados dos cálculos de energia economizada na ponta, fora de ponta, a redução de demanda na ponta e fora de ponta e os benefícios financeiros conseguidos com a ação são resumidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados das ações de *retrofit* do Sistema de Iluminação

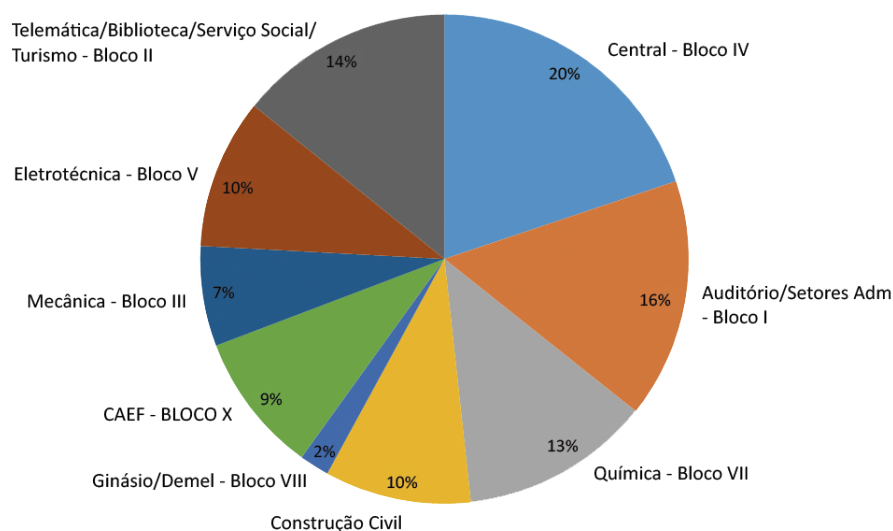
Setor	Energia Economizada na Ponta	Energia Economizada Fora ponta	Redução de Demanda na Ponta	Redução de Demanda na Fora Ponta	Benefícios
	kWh/ano	kWh/ano	kW	kW	R\$
Central - Bloco IV	7267,39	28262,08	3,09	3,58	R\$ 24.507,11
Audatório/Setores Adm - Bloco I	5990,69	15975,17	0,85	2,95	R\$ 16.896,06
Química - Bloco VII	1644,98	6397,16	0,70	0,81	R\$ 5.547,22
Construção Civil	2860,31	11123,42	1,22	1,41	R\$ 9.645,54
Ginásio/DEMEL - Bloco VIII	810,22	3150,84	0,34	0,40	R\$ 2.732,21
CAEF - Bloco X	2356,99	9166,08	1,00	1,16	R\$ 7.948,25
Mecânica - Bloco III	3756,46	14608,44	1,60	1,85	R\$ 12.667,53
Eletrotécnica - Bloco V	3658,25	14226,52	1,55	1,80	R\$ 12.336,35
Telemática / Biblioteca / Serviço Social / Turismo - Bloco II	5327,78	20719,16	2,26	2,62	R\$ 17.966,36
Total	33673,07	123628,87	12,61	16,58	R\$ 110.246,64

Fonte: Autor.

4.2.2 Substituição do Sistema de Condicionamento de Ar

Analisando a Figura 20, percebe-se também que o Bloco IV é o maior consumidor de energia elétrica da instituição no que diz respeito ao sistema de ar condicionado. Após essa constatação, inicia-se a análise que tem como resultado uma ação de eficiência energética que efetua uma troca de aparelhos *splits* piso teto antigos possuindo selo PROCEL C e D por aqueles que possuem selo PROCEL A e EER mais alto, além de se efetuar trocas de sistemas piso teto para aqueles com sistemas VRF (*Variable Refrigerant Flow*) do tipo *multisplit*, possuindo diferentes unidades internas conectadas a apenas uma unidade externa. A primeira realização que deve ocorrer no *retrofit* do sistema de ar condicionado é o levantamento de cargas dos setores e as características que o compõem são os equipamentos, a quantidade, a potência em Btu/h, a potência em Watts, a EER e o Selo Procel correspondente do modelo. Ambos levantamentos dos sistemas como estão funcionando e do sistema proposto na ação de eficiência energética são apresentados nas Tabelas 14 e 15.

Figura 20 – Gráfico da energia consumida anualmente no IFCE considerando o sistema de Ar-condicionado



Fonte: Autor.

Tabela 14 – Levantamento de cargas do Sistema de Ar condicionado Atual

Setor	Equipamento/modelo	Quantidade	Potência	Potência	EER	Selo Procel
			Btu/h	W	W/W	
Central - Bloco IV	Split Piso Teto/ELGIN	3	36000	3715,00	2,84	C
Química - Bloco VII	Split Piso Teto/KOMECO	3	36000	4413,39	2,39	D
Construção Civil	Split Piso Teto/KOMECO	1	36000	4413,39	2,39	D
Ginásio/DEMEL - Bloco VIII	Janeleiro/SPRINGER	2	30000	3117,02	2,82	B
Eletrotécnica - Bloco V	Split Piso Teto/KOMECO	3	36000	4413,39	2,39	D

Fonte: Autor.

Tabela 15 – Levantamento de cargas do Sistema de Ar condicionado Proposto

Setor	Equipamento/modelo	Quantidade	Potência	Potência	EER	Selo Procel
			Btu/h	W	W/W	
Central - Bloco IV	VRF Splits	1	36000	3255,56	3,24	A
Química - Bloco VII	Split Piso Teto/ELGIN	3	36000	3255,56	3,24	A
Construção Civil	Split Piso Teto/ELGIN	1	36000	3255,56	3,24	A
Ginásio/DEMEL - Bloco VIII	Split/FUJITSU	2	30000	2577,71	3,41	A
Eletrotécnica - Bloco V	Split Piso Teto/ELGIN	3	36000	3255,56	3,24	A

Fonte: Autor.

Seleciona-se apenas os setores que apresentam as máquinas mais ineficientes do ponto de vista do INMETRO/PBE, ou seja, os que apresentavam um Selo Procel diferentes de A ou ainda simplesmente as máquinas que possuíam coeficiente de eficiência energética (EER) menores que 3,23. Para executar a troca dos equipamentos, considera-se apenas os condicionadores de ar do tipo *Split* Piso/Teto, pois os mesmos possuem um grande potencial de economia de energia visto possuírem alta demanda. Além disso, alguns setores também apontam a presença de janelheiros antigos, com Selo Procel B, os quais entraram na análise para serem trocados por *Splits*.

Portanto, os resultados dos cálculos de energia economizada na ponta, fora de ponta, a redução de demanda na ponta e fora de ponta e os benefícios financeiros conseguidos com a ação são resumidos na Tabela 16. A ideia de se fazer um *retrofit* dos sistemas de condicionamento de ar apresenta números menores, em termos monetários, àqueles alcançados com o *retrofit* dos sistemas de iluminação. Até se consegue um benefício financeiro com a simples alteração das máquinas ineficientes por modelos mais eficientes (Selo Procel) de mais do que R\$ 45.000,00, mas que no final não se aplica muito devido ao preço alto que se paga por essas máquinas. Deve-se avaliar, portanto, outras medidas que não sejam a simples troca de um modelo por outro, pois vê-se que não é interessante.

Tabela 16 – Resultados das ações de *retrofit* do Sistema de Ar Condicionado

Setor	Energia Economizada na Ponta	Energia Economizada Fora ponta	Redução de Demanda na Ponta	Redução de Demanda na Fora Ponta	Benefícios
	kWh/ano	kWh/ano	kW	kW	R\$
Central - Bloco IV	6248,44	24299,49	2,65	3,08	R\$ 21.069,51
Química - Bloco VII	2751,01	10698,38	1,17	1,35	R\$ 9.276,31
Construção Civil	917,00	3566,13	0,39	0,45	R\$ 3.092,10
Ginásio/DEMEL - Bloco VIII	854,26	3322,14	0,36	0,42	R\$ 2.880,55
Eletrônica - Bloco V	2751,01	10698,38	1,17	1,35	R\$ 9.276,31
TOTAL	13521,73	52584,52	5,73	6,66	R\$ 45.594,80

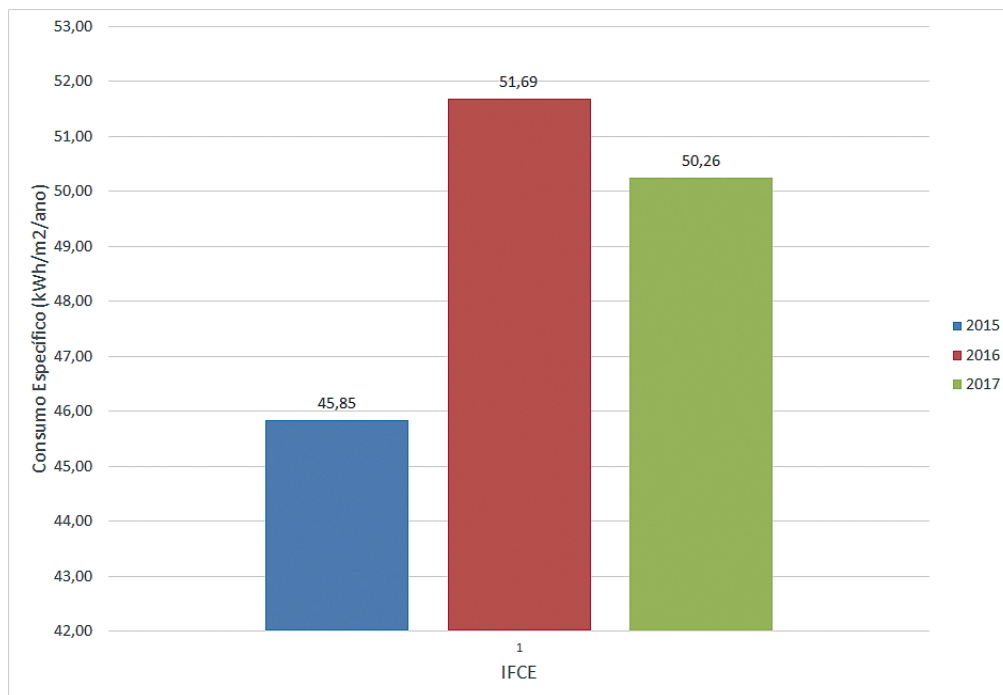
Fonte: Autor.

4.3 Análise do uso de energia elétrica da Instituição

Procurou-se também analisar o consumo específico da Instituição, o consumo e a demanda mensal, conforme mostrado nos gráficos das Figuras 21, 22, 23, 24. Nota-se que a Figura 21 representa a caracterização final que permite comparações com outros sistemas energéticos de instituições de ensino, como o CBCS (2016) já vem fazendo trabalhos importantes no sentido de criação de benchmarkings, proporcionando informações para otimização da operação, tomada de decisão e avaliação da eficiência energética de edificações existentes, no Brasil. Existem dois projetos concluídos e em implantação no Brasil que

são os benchmarkings para agências bancárias e para escritórios corporativos, mas não há ainda para o caso de Instituições de Educação e de Universidades.

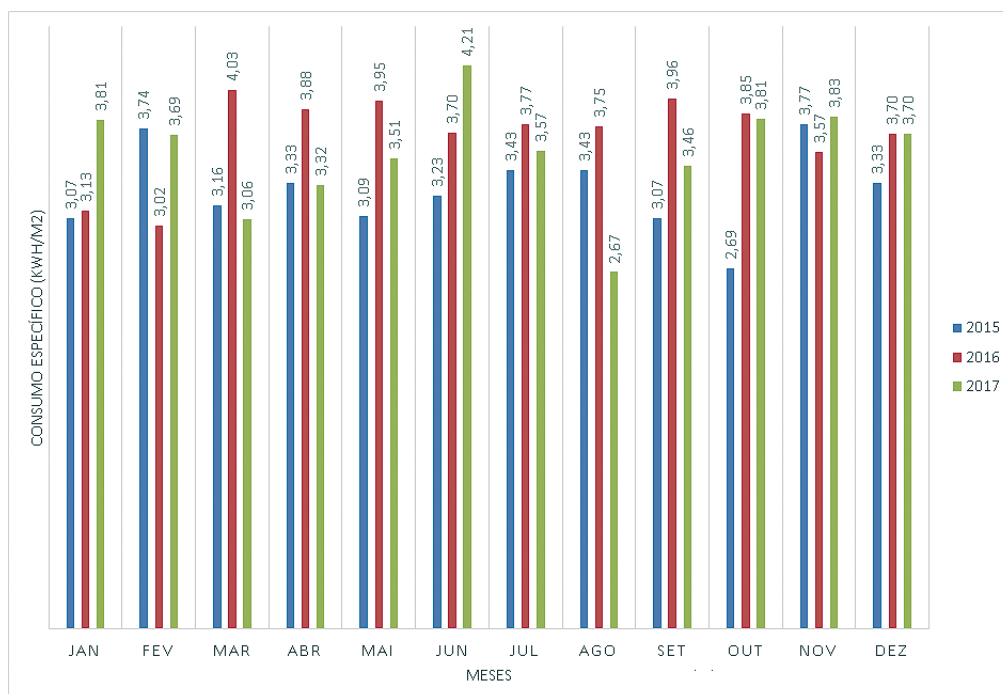
Figura 21 – Consumo específico de energia anual



Fonte: Autor.

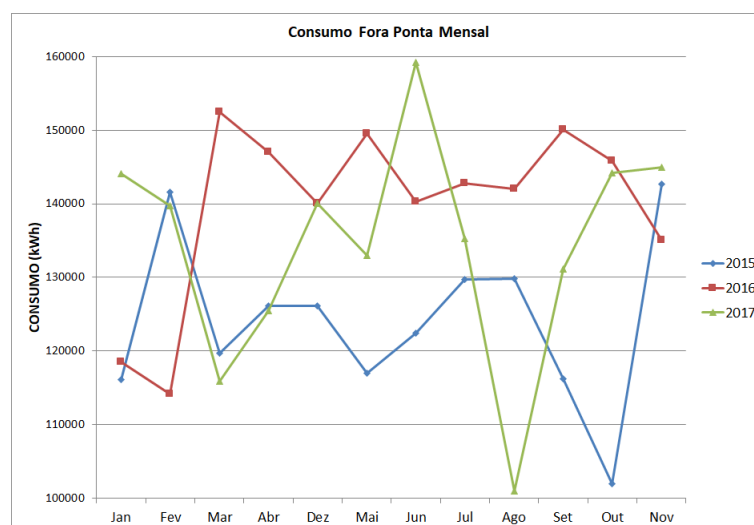
A Figura 22 especifica melhor os consumos específicos quando considera o período mensal na análise, tornando mais complicada a comparação com os valores de consumos específicos referências, sendo mais útil na análise de desempenho energético individual do Campus. Observa-se que o ano de maior consumo de energia dentro da instituição foi o ano de 2016. Notadamente o que é observado na Figura 23 é a comparação entre os consumos de energia fora ponta. Percebe-se variações entre os diferentes meses em todos anos analisados, embora se observe que o consumo médio do ano de 2015 é menor que os outros anos. O maior destaque é o ano de 2017 que possui os maiores picos de consumo, sejam máximos ou mínimos, o que não permite que se tenha um controle da carga visto que há uma incerteza de consumo dentro da instituição causado pelo meses em que não há aulas. Na comparação entre as demandas mensais que está presente na Figura 24 é evidente que ocorreu um aumento no uso de energia elétrica entre o ano de 2015 e 2017, embora exista uma queda considerável entre os meses de Fevereiro a Maio (2016 - 2017). No entanto, não se deve atribuir a queda no uso de energia a medidas de conservação de energia já que o calendário da instituição é muito influenciado por eventos externos tais como greves e feriados prolongados.

Figura 22 – Gráfico do Consumo específico de energia durante o período de 3 anos 2015 a 2017



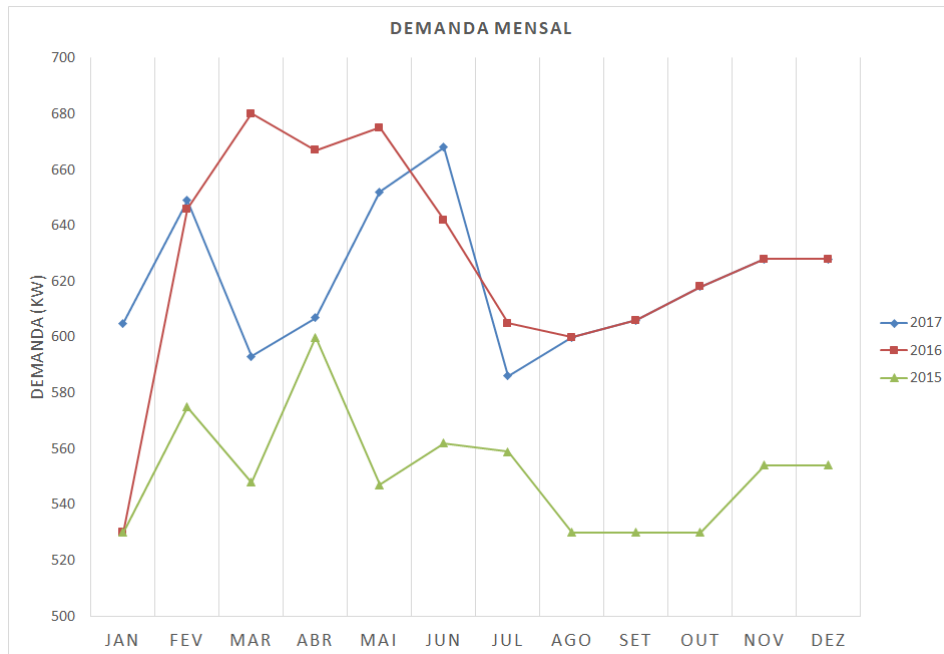
Fonte: Autor.

Figura 23 – Gráfico do Consumo de energia mensal durante o período de 3 anos 2015 a 2017



Fonte: Autor.

Figura 24 – Gráfico da Demanda mensal durante o período de 3 anos 2015 a 2017

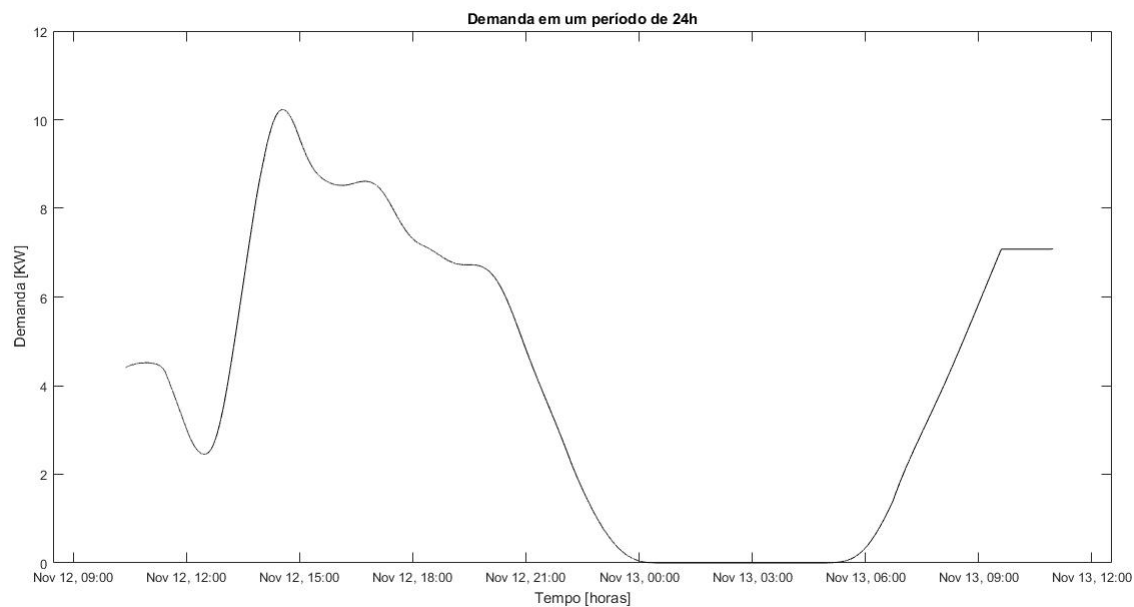


Fonte: Autor.

4.3.1 Otimização da demanda

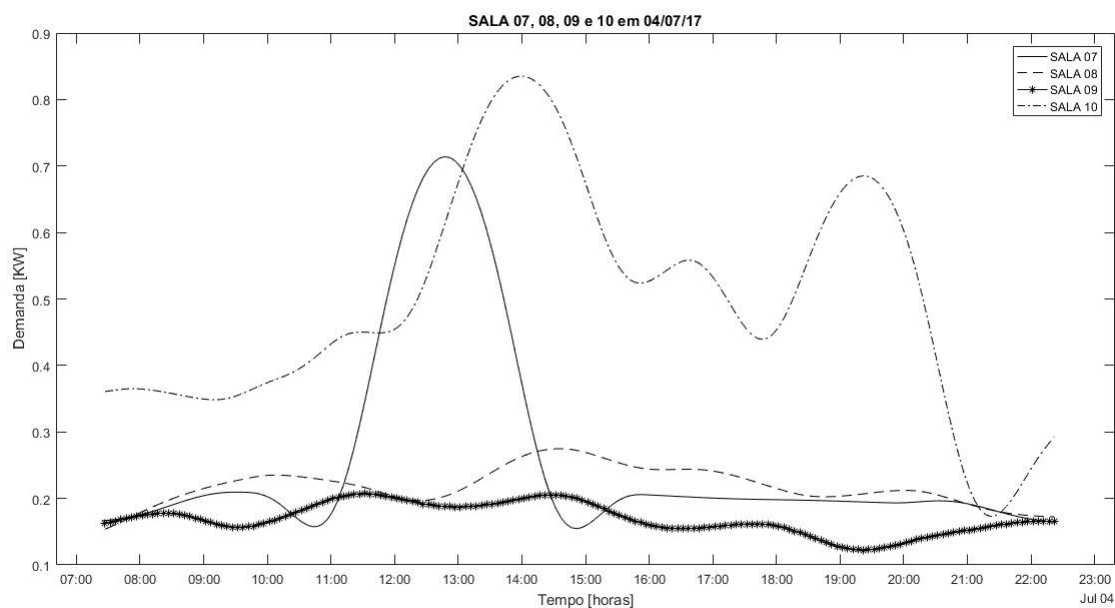
Considera-se que para iniciar a análise de otimização de energia implica conhecer a curva de carga de uma instalação. O comportamento de cargas conectadas a um quadro de energia localizado na instituição é mostrado na Figura 25. Este quadro alimenta cargas como condicionadores de ar que estão instalados nas salas de aula. Observa-se que o período de maior carga (demanda de pico, aproximadamente igual a 10 kW) acontece durante o horário da tarde (fora de ponta), entre 13 h e 15 h. No entanto, importa destacar que no horário de ponta, que ocorre entre 17h30min e 20h30min, a demanda continua alta embora apresente uma tendência de queda. A comparação entre diferentes comportamentos de demanda durante o dia é vista na Figura 26. As cargas presentes na análise são os sistemas de iluminação e as tomadas, não foram considerados os condicionadores de ar. Observa-se que as maiores demandas ocorrem no período entre 11 horas e 15 horas.

Figura 25 – Curva de Carga Diária considerando uma sala de aula representativa da Instituição



Fonte: Autor.

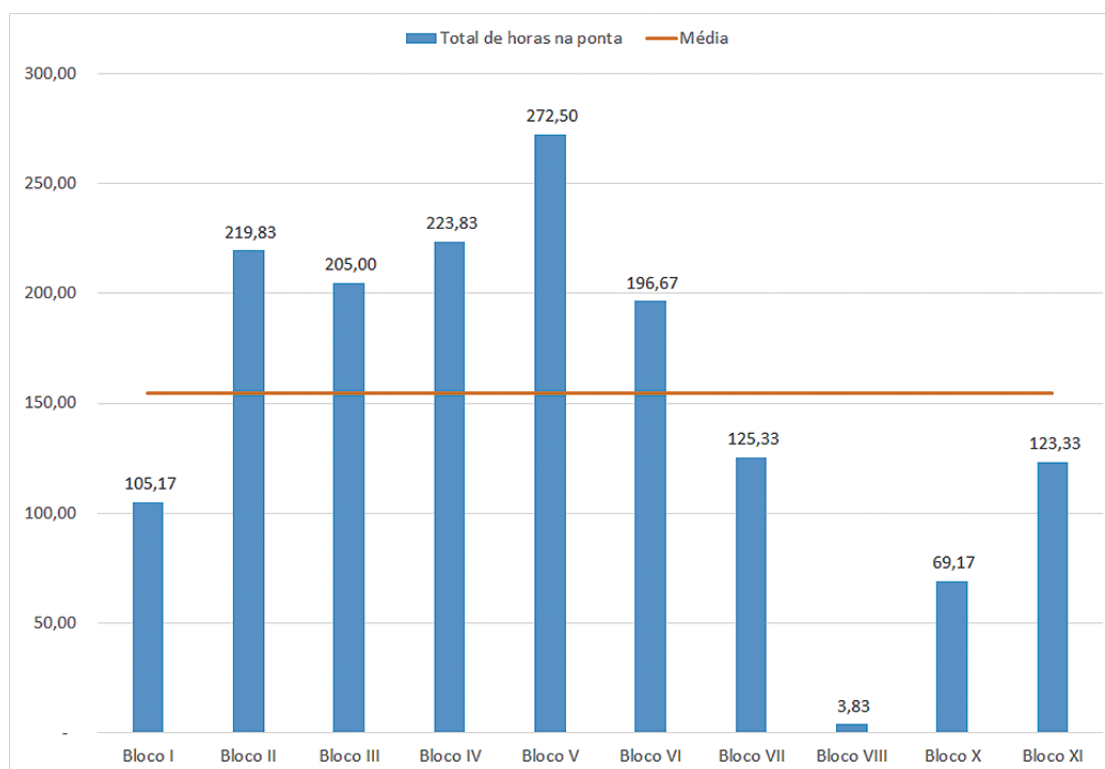
Figura 26 – Curva de Carga Diária considerando a comparação entre quatro salas de aula



Fonte: Autor.

A importância dos resultados contidos na análise da Figura 25 é melhor representada quando se analisa a Figura 27 a seguir, pois a partir delas pode-se ver os blocos que mais estão consumindo energia no horário de ponta. Embora o Bloco I (Central), onde estão localizadas as sala de aula, esteja abaixo da média de horas na ponta semanais, sua utilização na ponta ainda é considerada alta. Considerando a carga de 7,5 kW, que é utilizada na ponta, pode-se conseguir uma redução de demanda igual a 58,8% somente com a utilização das salas de aula fora do horário de ponta (17h30min às 20h30min).

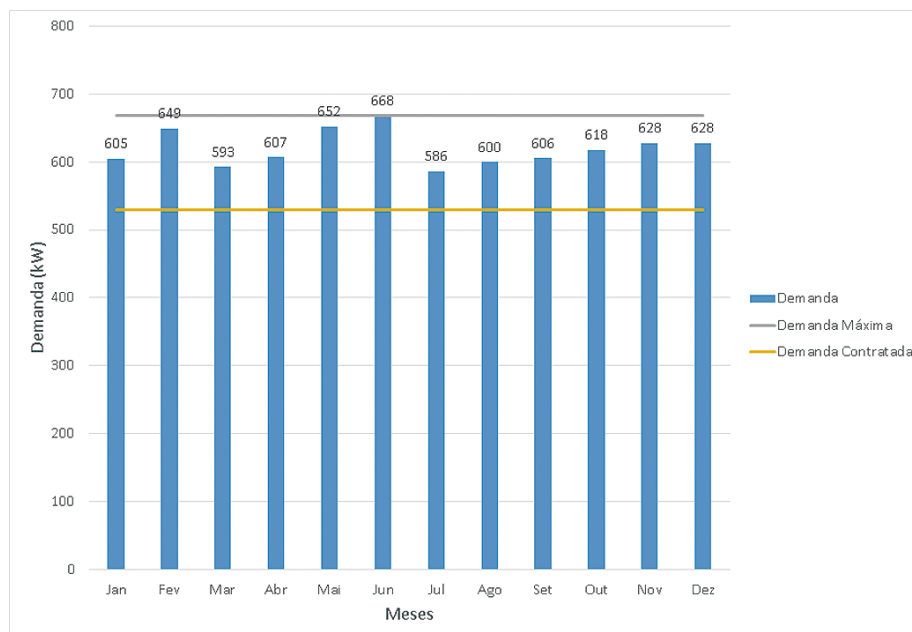
Figura 27 – Horas na ponta semanais por bloco



Fonte: Autor.

Analisando o gráfico na Figura 28 fica evidente que a instituição esteve durante todo o ano de 2017 com o contrato de demanda sempre acima do que foi estipulado em contrato inicialmente. Isto se torna bastante preocupante no sentido de que vem-se pagando por energia e demanda desnecessárias para o sistema elétrico da instituição. O contrato de energia elétrica que possui uma demanda registrada superior à demanda contratada recebe o nome de insuficiente, porque não está suprindo a demanda que está sendo solicitada à rede. Além disso, por causa da demanda registrada superior à contratada paga-se uma tarifa de ultrapassagem já que em termos percentuais superiores aos limites estabelecidos a demanda foi maior. Deve-se, portanto, procurar reduzir ou mesmo eliminar as ociosidades e ultrapassagens de demanda com técnicas de controle de carga ou mesmo mudança de hábito do uso da instalação.

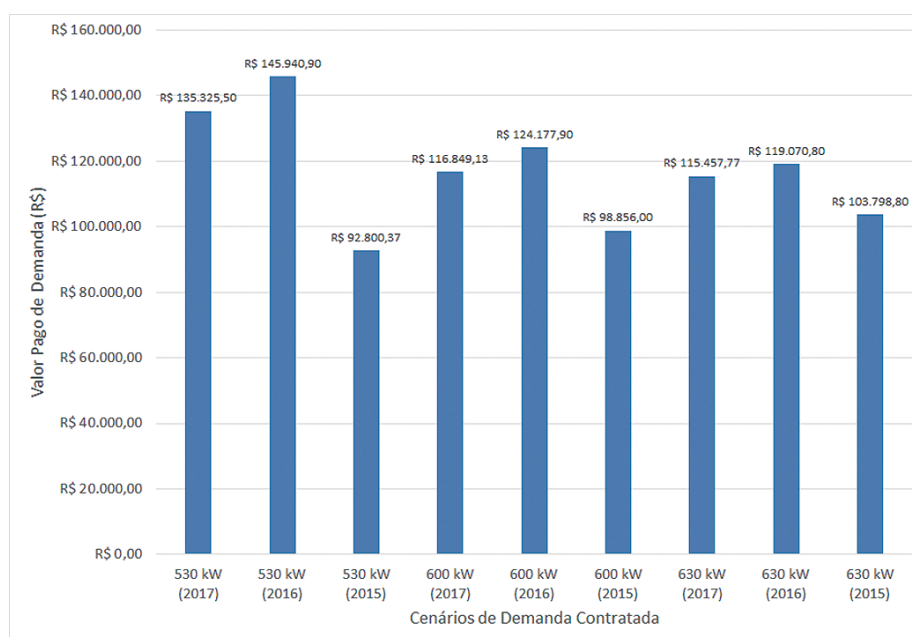
Figura 28 – Análise de demanda, considerando uma demanda acima da contratada no ano de 2017



Fonte: Autor.

Baseado no contrato insuficiente de demanda, efetuou-se então um estudo para alterar a demanda contratada na instituição. A Figura 29 é interpretada da seguinte maneira, foram analisados dois cenários de contratação de demanda contratada tomando como exemplo três anos anteriores.

Figura 29 – Análise que considera um quadro de aumento na demanda contratada



Fonte: Autor.

No ano de 2015, com a demanda contratada sendo igual a 530 kW, pagou-se R\$ 92.800,37 somente de demanda, considerando que são pagos consumo e demanda. Baseando-se nos valores de demanda contratada em 2015 e considerando que a demanda fosse de 600 kW seriam pagos 6,5% a mais que em 2015. Em um segundo cenário com a demanda contratada sendo 630 kW, os valores pagos de demanda seriam 10% maiores que os valores pagos de demanda igual a 600 kW. O cenário para 2015 não é favorável à instituição porque os valores pagos de demanda seriam maiores, portanto não seria vantajoso aumentar o contrato de demanda para 600 kW nem mesmo para 630 kW principalmente porque os valores de demanda registradas estão em sua maior parte abaixo do limite de 5% estipulado em contrato.

Para o ano de 2016, a análise foi diferente e já se começa a perceber uma economia em termos financeiros mais acentuada. Em termos percentuais, se a demanda contratada fosse 600 kW ocorreria uma redução de 15%. Uma redução maior seria alcançada se a demanda contratada fosse 630 kW, aproximadamente 18% em comparação com a demanda contratada de 530 kW. O cenário analisado é favorável à redução de valor pago de demanda justamente porque os valores de demanda registrados foram maiores do que em 2015.

No ano de 2017, ocorre uma situação semelhante ao ano de 2016. Seria esperado uma redução de 14% nos valores pagos de demanda, se a demanda contratada fosse 600 kW e para uma demanda contratada de 630 kW a redução seria de 15%.

4.4 Discussão

Conforme visto nas Figuras 19 e 20, a energia consumida na instituição é formada em quase sua totalidade pelos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar. De todos os setores analisados na instituição, destaca-se o Bloco IV, com um consumo de energia dos sistemas de ar-condicionado igual a 20% e de iluminação igual a 23%, sendo que mais de 50% do consumo anual de ar-condicionado e de iluminação é formado pelos blocos administrativos, salas de aula e auditórios. Assim, os gráficos apresentados indicam os setores que se apresentam como potenciais alvos de medidas de eficiência energética.

Deve-se dar um destaque importante aos resultados conseguidos com apenas a substituição de lâmpadas fluorescentes por LEDS conforme é observado nas Tabelas 12 e 13. Considerando que a troca ocorre exatamente pelas mesmas quantidade de lâmpadas, ou seja só será alterado o tipo de lâmpada, um benefício monetário de R\$ 110.246,64 é muito interessante se for pensado em termos de economia dentro da instituição, pois representa o valor pago em uma fatura mensal de energia elétrica.

Os resultados observados na Tabela 16 indicam que a melhor alternativa de *retrofit*, ou seja, a que implica em maior benefício financeiro dentre as opções sugeridas é a troca de equipamentos do tipo *split* individuais por equipamentos do tipo *multisplit* com sistema

VRP, pois o ganho chega a ser 46% do ganho total. Recomenda-se, portanto, adotar a solução empregada de trocas de equipamentos em todos os setores, pois assim deve-se conseguir uma redução de demanda na ponta e energia economizada mais satisfatórias à instituição.

As análises das Figuras 23 e 24 tem validade à medida que se considera que houve um significativo aumento de infraestrutura no Campus depois de 2015. A média das demandas no ano de 2015 era igual a 551 kW e em 2016 essa média aumentou 12%. Logo, houve uma expressiva expansão em termos de energia, acompanhando, no entanto, a expansão física. Outra observação interessante é a que no mês de Fevereiro existe um aumento de demanda que está atrelado ao início das aulas.

A partir da análise das curvas de cargas, constata-se um fato preocupante para a instituição dentro de um conjunto formado por quatro salas de aula, a demanda de pico aparece em um período em que não está ocorrendo aula (11h às 13h). Este fato é solucionado por meio de ações de reprogramação de cargas através da automação. Existem normas que abordam a economia de energia por meio da automação predial. A abordagem para este caso aconteceria por meio de uma instalação de detecção automática de luz, o que faria com que o uso do ambiente no horário de intervalo e consequentemente o consumo de energia, fossem reduzidos devido a ações automatizadas. O problema da utilização dos blocos nos horários de ponta pode ser também avaliado por meio da automação predial. Mas, antes de serem feitos investimentos altos, pode-se utilizar da metodologia de alteração de horários da entrada de cargas tais como as máquinas de ar condicionado as quais podem ser programadas para iniciar antes do horário de ponta ou podem ser feitas alterações em seus gradientes de temperatura que irão ditar a temperatura interna da sala, pois isso afeta o consumo de energia e a demanda e consequentemente desloca o pico da curva de carga.

A grande contribuição a partir da interpretação do quadro de aumento de demanda contratada é que é possível conseguir uma economia percentual de 14% no valor gasto apenas com demanda na fatura de energia elétrica referente ao ano de 2017. Esta economia é alcançada considerando o aumento de demanda contratada de 530 kW para 600 kW, se fosse aumentada para 630 kW, a economia percentual seria de 15%. O que se observa é a vantagem de se ter um bom controle de demanda de maneira que haja um balanceamento entre ultrapassagem e ociosidade. É interessante sempre buscar um equilíbrio que evite os gastos desnecessários com energia elétrica. Como conclusão dessa análise, pode-se fazer uma comparação entre os anos anteriores (2015 a 2017) para constatar que se a demanda contratada fosse 600 kW, haveria uma redução de 6% nos valores pagos de demanda entre 2016 e 2017. Isso representa uma economia de R\$ 7.328,77. Portanto, deve-se adotar para a instituição este valor de demanda contratada visto que ainda é adotado o valor de 530 kW.

5 Conclusões

O estudo de caso aplicado ao Instituto Federal do Ceará levou em consideração a troca dos sistemas de iluminação e de ar-condicionado. Considerando os sistemas de iluminação, que contribui com aproximadamente 15% do consumo de energia elétrica anual, as medidas de eficiência energética que se apresentaram foram as trocas de tecnologia de lâmpadas, de fluorescentes para leds. Cada setor e bloco da instituição foi contemplado com a troca, com o bloco central de salas de aula (Bloco IV) sendo o maior consumidor de iluminação dentro da instituição. Assim, tem-se que a medida de eficiência energética utilizada nos sistemas de iluminação se apresenta como uma excelente alternativa de economia de energia devido aos benefícios financeiros da ordem de R\$ 100.000,000. Adicionalmente, na substituição dos sistemas de ar-condicionado, adotou-se o sistema VRF *multisplit* em substituição ao sistema com equipamentos do tipo *split*. Com isso, consegue-se atingir valores de benefícios financeiros acima de R\$ 45.000,00 utilizando medidas de eficiência energética para a troca de tecnologia empregada na climatização. O bloco mais consumidor de climatização também é o bloco IV, com aproximadamente 20% do total.

Na análise do uso de energia elétrica da instituição, o que se observa é que além da do aumento do consumo específico do Campus Fortaleza devido ao crescimento em infraestrutura com a adição de novos blocos didáticos e novas cargas elétricas, destaca-se o quadro de aumento de demanda no período de 3 anos analisados. O funcionamento do Campus sempre com a demanda acima da demanda contratada levou a um aumento na fatura de energia e conseqüentemente no valor pago. Assim, a solução, depois de serem considerados os diferentes cenários, adotada para a redução dos valores pagos de demanda contratada foi o aumento da demanda contratada com vistas a evitar o pagamento de tarifa de ultrapassagem, representando assim uma economia percentual de 15% que é indispensável para se levar em questão em uma política energética adotada pela instituição.

As análises das curvas de cargas apresentaram um problema recorrente da instituição que é o uso de cargas de ar condicionado e iluminação no horário de ponta e em períodos sem funcionamento das salas de aula. Uma abordagem para solucionar o problema é a reprogramação dos horários das cargas que mais consomem energia, como o sistema de ar-condicionado. Considerando o consumo de energia da iluminação, é proposto, como forma de reduzir o uso, a adoção de técnicas de automação predial tais como o desligamento automático de luz quando há luz natural presente no ambiente. A implantação da CICE também deve ser mencionada visto que agrega confiança à medida que se otimiza a utilização de energia por meio de orientações aos usuários de energia elétrica da instituição.

Na perspectiva de implantação de medidas de eficiência energética em instituições de ensino, além de encontrar respostas para o aumento na fatura de energia e mais ainda saber como reduzir os valores pagos e racionalizar o uso da energia é onde se configura a contribuição do trabalho. A implementação das ações de eficiência energética nos respectivos sistemas deve acontecer para que seja possível comprovar o estudo teórico efetuado com vistas a contribuir com a eficiência energética da instituição. Atender às metas de eficiência energética estipuladas em políticas públicas de conservação de energia é o que se busca com as medidas de eficiência energética apresentadas.

Portanto, os trabalhos que buscam implementar ações de eficiência energética, classificar e caracterizar edificações podem ser inspirados nas análises feitas e apresentadas aqui, pois são técnicas de fácil implementação mas que produzem resultados satisfatórios. Os benefícios decorrentes da utilização de técnicas de eficiência energética seja em uma edificação residencial ou não, como o caso de uma instituição de ensino estão claros vistos que os resultados apontaram isso.

5.1 Trabalhos futuros

As aplicações decorrentes do método apresentado aqui são várias e vão desde o uso de softwares de simulação computacional que fazem análise de desempenho energético de uma edificação até ações de eficiência energética mais abrangentes, que abordem mais equipamentos de usos finais tais como: motores, sistemas de refrigeração, transformadores e etc.

Deve-se abordar os benefícios financeiros que foram mencionados no trabalho por meio de uma abordagem de engenharia econômica, utilizando conceitos tais como custos anualizados, fator de recuperação de capital e relação custo benefício. Estas questões se tornam importante à medida que se queira avançar na implementação das medidas de eficiência energética seja em uma instituição ou em qualquer edificação.

Outra contribuição importante que deverá ser apresentada posteriormente é aquela que efetua comparações de consumo específico entre os Campus do IFCE, pois daí pode-se conseguir importantes economias de energia que somadas às aquelas citadas só tendem a contribuir mais ainda para o uso racional de energia.

Referências

- ABESCO. **O que é Eficiência Energética? (EE)**. 2018. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>. 22, 44, 45
- ALTOÉ, L.; COSTA, J. M.; Oliveira Filho, D.; MARTINEZ, F. J. R.; FERRAREZ, A. H.; VIANA, L. d. A. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 285–297, 2017. ISSN 0103-4014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000100285&lng=p. 16
- ANDRADE, C. T. d. C. **Uma Abordagem Determinística com Análise de Incerteza para a Viabilidade de Programas de Eficiência Energética: Estudo de Caso de Motores Elétricos**. 192 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, 2017. 18
- ANDRADE, C. T. d. C.; PONTES, R. S. T. Economic analysis of Brazilian policies for energy efficient electric motors. **Energy Policy**, Elsevier Ltd, v. 106, n. February, p. 315–325, 2017. ISSN 03014215. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.029>. 20
- ANEEL. **PROPEE - Módulo 04 – Tipologias de Projeto**. Brasília: ANEEL, 2013. 53 p. 41, 54
- _____. **PROPEE - Módulo 07 – Cálculo da Viabilidade**. 2013. 17 p. 28
- BECK, E. D. O. **Desempenho Luminoso e Energético de LEDS para Reformas de Sistemas de Iluminação de Ambientes de Escritório**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2016. 25, 35
- BERNARDO, H.; OLIVEIRA, F. Estimation of Energy Savings Potential in Higher Education Buildings Supported by Energy Performance Benchmarking: A Case Study. **Environments**, v. 5, n. 8, p. 85, 2018. ISSN 2076-3298. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2076-3298/5/8/85>. 23
- BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. **Energy and Buildings**, Elsevier, v. 128, p. 734–755, sep 2016. ISSN 0378-7788. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816306144>. 22
- _____. Mapping failures in energy and environmental performance of buildings. **Energy and Buildings**, Elsevier, v. 158, p. 476–485, jan. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817322132>. 22
- BRASIL. **DECRETO Nº 99.656, DE 26 OUTUBRO DE 1990**. Dispõe sobre a criação, nos órgãos e entidades da Administração Federal direta e indireta, da Comissão Interna de Conservação de Energia (Cice), nos casos que menciona, e dá outras providências. 1990. 38

- CBCS. **Guia Prático para Realização de Diagnósticos Energéticos em Edificações**. 2016. 29 p. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID=%7BB6F7573B-CB26-4363-9E8F-64F8B72018C1%7D&ServiceInstUID=%7B46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1%7D>>. 20, 41, 59
- CEPEL. **Guia para eficiência energética nas edificações públicas**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2014. 229 p. ISBN 9788599714096. 20, 28, 31, 41
- CHEDWAL, R.; MATHUR, J.; AGARWAL, G. D.; DHAKA, S. Energy saving potential through Energy Conservation Building Code and advance energy efficiency measures in hotel buildings of Jaipur City, India. **Energy and Buildings**, Elsevier B.V., v. 92, p. 282–295, 2015. ISSN 03787788. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.066>>. 23
- Dantas Filho, J. B. P.; RIBEIRO, G. B. D. S.; HOLANDA, P. S.; ROQUE, B. V.; RIBEIRO, R. G.; EVANGELISTA, A. d. A. GESTÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO : UMA NOVA ABORDAGEM USANDO MODELAGEM 6D. In: **1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção**. Fortaleza: 10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2017. p. 380. 21, 48
- DINIZ, B. R. A.; EVANGELISTA, A. A.; ALEXANDRIA, A. R. PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DIGITAL DE ENERGIA ELÉTRICA MONOFÁSICO PARA APLICAÇÕES RESIDENCIAIS. **Holos**, v. 33, n. 33, 2017. 21
- ELETROBRÁS; CB3E; INMETRO. **Manual para Aplicação do RTQ-C: Comercial, de Serviço e Público**. v4. Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.pbefidifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual-rtqc_V4.pdf>. 27
- EPE. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro, 2017. 17
- EVANGELISTA, A. A.; FERNANDES NETO, T. R. Energy Savings with Building Automation Through the EN15232 Standard. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 8, p. 3655–3662, 2016. ISSN 1548-0992. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7786347/>>. 20, 24
- HADDAD, J. **Energia Elétrica: Conceitos, Qualidade E Tarificação**. Brasil: Procel Indústria, 2004. 145 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Energ{_}Elet{_}Conceitos{_}QuFaliid{_}Tarif{_}Elet>. 30, 31
- _____. A lei de eficiência energética e o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética para equipamentos no brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 11, n. 1, p. 1–8, 2005. 15
- IEA. **Market Report Series: Energy Efficiency 2017**. EUA, 2017. 135 p. 17, 18
- KAMEL, E.; MEMARI, A. M. Automated Building Energy Modeling and Assessment Tool (ABEMAT). **Energy**, Elsevier Ltd, v. 147, p. 15–24, 2018. ISSN 03605442. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.023>>. 20, 23

KHOSHBAKHT, M.; GOU, Z.; DUPRE, K. Energy use characteristics and benchmarking for higher education buildings. **Energy and Buildings**, Elsevier B.V., v. 164, p. 61–76, 2018. ISSN 03787788. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.001>>. 23

KIM, J. J. Economic analysis on energy saving technologies for complex manufacturing building. **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier B.V., v. 123, p. 249–254, 2017. ISSN 18790658. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.018>>. 24

KRARTI, M.; DUBEY, K.; HOWARTH, N. Evaluation of building energy efficiency investment options for the Kingdom of Saudi Arabia. **Energy**, Pergamon, v. 134, p. 595–610, sep 2017. ISSN 0360-5442. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217308411>>. 24

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3 ed.. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás / PROCEL EDUCAÇÃO, 2014. 382 p. ISBN 9038615663. 32, 33, 34, 35, 36

LEE, P.; LAM, P.; LEE, W. Performance risks of lighting retrofit in Energy Performance Contracting projects. **Energy for Sustainable Development**, Elsevier, v. 45, p. 219–229, aug 2018. ISSN 0973-0826. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S097308261731400X>>. 23

MA, Z.; COOPER, P.; DALY, D.; LEDO, L. Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. **Energy and Buildings**, 2012. ISSN 03787788. 24

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. ISBN 978-85-216-1742-6. 22, 31, 32, 34

MMA. **Guia Prático : Conceitos E Ferramentas De Gestão E Auditoria Energéticas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015. 80 p. ISBN 9788577382514. 38

MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2011. 16

MORALES, C. **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio à gestão: Classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 25

MPOG. **Painel de Custeio Administrativo**. 2018. Disponível em: <<http://paineldecusteio.planejamento.gov.br/custeio.html>>. 18, 19

NOGUEIRA, L. A. H.; CARDOSO, R. B.; CAVALCANTI, C. Z. B.; LEONELLI, P. A. Evaluation of the energy impacts of the energy efficiency law in brazil. **Energy for Sustainable Development**, v. 24, p. 58–69, 2015. ISSN 0973-0826. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082614001197?via%3Dihub>>. 15

PENA, S. M. **Sistemas de ar condicionado e refrigeração**. Brasil: Eletrobrás, Procel, 2011. 96 p. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo/{_}/18/2014/04/22/6281/manual/{_}ar/{_}condici>. 25, 36, 37, 38, 45

PROCEL. **Relatório de resultados do Procel 2018 - ano base 2017**. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2018/>>. 15, 16

REN21. **Renewables 2017 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2017. 16, 17

SANTOS, A. H. M.; SIMÕES, A. A.; MARTINS, A. R. S.; VIANA, A. N. C.; FERREIRA, C.; BORTONI, E. d. C.; GUARDIA, E. C.; LORA, E. E. S.; NOGUEIRA, F. J. H.; TEIXEIRA, F. N.; HADDAD, J.; CORTEZ, J. A.; NOGUEIRA, L. A. H.; ALMEIDA, M. d. S. V. de; PIRANI, M. J.; DIAS, M. V. X.; MARQUES, M. C. S.; VENTURINI, O.; GAMA, P. H. R. P.; MENDES, P. P. d. C.; YAMACHITA, R. A.; SILVA, V. F. da. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. 3ª edição. ed. Itajubá: Eletrobrás / PROCEL EDUCAÇÃO, 2006. 597 p. ISBN 978-85-60369-01-0. 25, 26, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 41, 48

SCHAUZ, M. A. **A Contribuição da Comissão Interna de Conservação de Energia para a Melhoria da Eficiência Energética nas Organizações**. Dissertação (candthesis) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. 39, 40

SILVA, A. S.; LUIZ, F.; MANSUR, A. C.; VIEIRA, A. S.; SCHAEFER, A.; GHISI, E. Knowing electricity end-uses to successfully promote energy efficiency in buildings: a case study in low-income houses in Southern Brazil. **International Journal of Sustainable Energy Planning and Management**, v. 2, n. 2012, p. 7–18, 2014. ISSN 2246 - 2929. Disponível em: <<http://journals.aau.dk/index.php/sepm/article/view/265>>. 22

VIEIRA, N. D. B.; NOGUEIRA, L. A. H.; HADDAD, J. An assessment of CO2 emissions avoided by energy-efficiency programs: A general methodology and a case study in Brazil. **Energy**, Pergamon, v. 142, p. 702–715, jan 2018. ISSN 0360-5442. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217317772>>. 24

ZACCHI, D. R. P.; MATOS, F. M. D.; GADOTTI, J. J.; GIANESINI, M. A.; ALVES, P. N. **Manual técnico orientativo: eficiência energética e gestão da energia elétrica na indústria**. Brasil: Associação Empresarial de Joinville, 2008. 31 p. Disponível em: <<http://www.acij.com.br>>. 28, 40, 54

Apêndices

APÊNDICE A – FOTOS

Os setores apresentados que sofreram retrofit nos quadros de energia são apresentados nas Figuras 30, 31, 32, 33, 34.

Figura 30 – Quadro de energia localizado dentro da sala de aula



Fonte: Autor (2018).

Figura 31 – Quadro de energia localizado dentro do shaft que alimenta condicionadores de ar nas salas de aula



Fonte: Autor (2018).

Figura 32 – Quadro de energia localizado dentro da sala de controle que alimenta condicionadores de ar no auditório



Fonte: Autor (2018).

Figura 33 – Quadro de energia localizado dentro da sala da coordenadoria de tecnologia da informação



Fonte: Autor (2018).

Figura 34 – Quadro de energia localizado dentro da sala de aula localizadas no final do corredor



Fonte: Autor (2018).