



Doutorado em Desenvolvimento
e Meio Ambiente

Associação Plena
em Rede



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE (DDMA)
DA ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE DAS INSTITUIÇÕES

OSVALDO AUGUSTO VASCONCELOS DE OLIVEIRA LOPES DA SILVA

ETIQUETAGEM DO USO DE ELETRICIDADE PARA A CONFORMIDADE DA
GESTÃO ENERGÉTICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR
MULTICAMPI

TERESINA

2020

OSVALDO AUGUSTO VASCONELOS DE OLIVEIRA LOPES DA SILVA

ETIQUETAGEM DO USO DE ELETRICIDADE PARA A CONFORMIDADE DA
GESTÃO ENERGÉTICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR *MULTICAMPI*

Tese apresentada ao Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN) como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento do Tópico Ecotonal Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas públicas e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. José Machado Moita Neto
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Tavares Lira

TERESINA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processos Técnicos

S586e Silva, Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da.
Etiquetagem do uso de eletricidade para a conformidade da gestão energética em instituições de ensino superior multicampi / Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva. -- 2020.
125 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Programa Regional de Pós-Graduação Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFPI/TROPEN), Teresina, 2020.

“Orientador: Prof. Dr. José Machado Moita Neto.”

“Coorientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Tavares Lira.”

1. Rotulagem ambiental. 2. Eficiência Energética. 3. Fontes alternativas. 4. Edificações. I. Moita Neto, José Machado. II. Lira, Marcos Antônio Tavares. III. Título.

CDD 333.7

OSVALDO AUGUSTO VASCONELOS DE OLIVEIRA LOPES DA SILVA

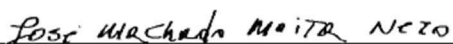
ETIQUETAGEM DO USO DE ELETRICIDADE PARA A CONFORMIDADE DA
GESTÃO ENERGÉTICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR *MULTICAMPI*

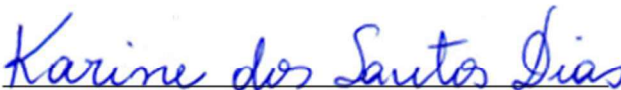
Tese apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

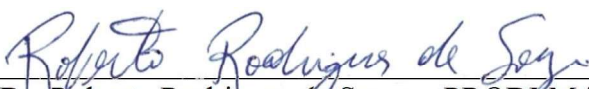
Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste.
Linha de Pesquisa: Políticas públicas e desenvolvimento.

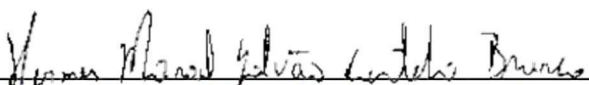
Aprovada em: 13/10/2020

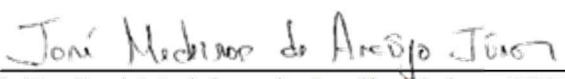
BANCA EXAMINADORA


Prof.º Dr. José Machado Moita Neto - PRODEMA/UFPI
Orientador


Prof.º Dra. Karine dos Santos Dias - IFPI
Membro Externo


Prof.º Dr. Roberto Rodrigues de Souza - PRODEMA/UFS
Membro Externo


Prof.º Dr. Hermes Manoel Galvão Castelo Branco - UFPI
Membro Interno


Prof.º Dr. José Medeiros de Araújo Júnior - UFPI
Membro Interno

AGRADECIMENTOS

Eu não poderia iniciar estes agradecimentos sem destacar o momento de exceção que estamos vivendo que impossibilitou estar com todos vocês pessoalmente para apresentar os resultados da nossa pesquisa.

Entretanto, primeiramente, gostaria de agradecer a minha esposa e toda minha família e amigos, de modo especial: meu pai, minha mãe e minha irmã, porque sem o apoio deles teria sido impossível terminar este doutorado.

E o mesmo posso dizer dos professores Moita e Marcos, que aceitaram o desafio de me orientar nesta caminhada.

Aproveito a oportunidade para lembrar do professor Francisco Pinheiro, que foi meu orientador no mestrado e que nos deixou de maneira repentina neste ano, em nome de quem agradeço a todos os mestres que me ajudaram nesta jornada.

Agradeço aos professores Karina, Roberto, Hermes, Medeiros, Wilza e Roselane, que aceitaram participar desta minha banca de defesa de doutorado, em nome de quem agradeço a todos os professores que muito contribuíram com esta pesquisa nos Seminários de Tese I, II e III e no Exame de Qualificação.

Agradeço ainda o apoio dos meus colegas e amigos do nosso programa de pós-graduação;

E, por fim, agradeço ao IFPI pelo apoio na realização da pesquisa e fornecimento dos dados.

“Por mais que a escala dos impactos seja global,
é ao nível local que muitos impactos são apresentados
e onde as ações podem ser eficazes”

Flores *et al.*, 2013

RESUMO

De acordo com os princípios estabelecidos pela Agenda 2030, reconhecendo-se o uso de energia como um dos aspectos ambientais gerenciáveis em uma organização e a Eficiência Energética como alternativa aos impactos socioambientais da expansão da geração de energia, dada a dificuldade de encontrar dados de consumo de energia subsetoriais e inspirado no Programa Brasileiro de Etiquetagem, essa pesquisa teve como objetivo geral: desenvolver Etiquetas de Conservação de Energia baseadas no consumo da eletricidade para *benchmarking* e conformidade da Gestão Energética em Instituições de Ensino Superior *multicampi*. Para tanto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica e documental com o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí como objeto de estudo e dados coletados nas faturas de energia do período de 2016 a 2019, correlacionando-os com variáveis que medem suas atividades para: avaliar a eficácia do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Instituições de Ensino Superior; executar o diagnóstico energético preliminar da instituição; calcular Índices de Eficiência Energética Relativa para os *campi*, estabelecendo Níveis de Eficiência; estabelecer metas para o aumento da Eficiência Energética; propor um novo modelo de Rotulagem Ambiental Tipo II para Instituições de Ensino Superior *multicampi*; analisar a expansão da utilização de fontes alternativas de energia nessas instituições. Comprovou-se a ineficácia do programa na etiquetagem de edificações, sobretudo em Instituições de Ensino Superior. Detectou-se o mau gerenciamento do uso de energia na instituição analisada e verificou-se que o desenvolvimento de pesquisas em eficiência energética pode trazer impactos positivos nessas instituições, devendo ter continuidade. Pôde-se utilizar a desagregação das faturas de energia e a Análise Envoltória de Dados para determinar indicadores, índices e níveis de eficiência energética para os *campi* de Instituições de Ensino Superior, que foram sintetizados em um novo modelo de rotulagem ambiental Tipo II para o *benchmarking* e gestão energética. Além dessa etiquetagem, constatou-se a viabilidade técnica e os benefícios ambientais, com discutível viabilidade econômica, do sistema fotovoltaico instalado na instituição analisada. Porém detectaram-se condições favoráveis para a atual expansão do sistema, fornecendo orientações para a contratação de novos sistemas através de dados de atlas solarimétricos, e deu-se retorno para a comunidade acadêmica. Por fim, espera-se que os resultados encontrados tragam impactos positivos no desempenho ambiental das instituições, sensibilizando a comunidade acadêmica para questões ambientais e estimulando a introdução de outras Instituições de Ensino Superior nos estudos, além da aplicabilidade da metodologia a outras organizações *multisites* e outros aspectos ambientais.

Palavras-chave: Rotulagem ambiental. Eficiência Energética. Fontes alternativas. Edificações.

ABSTRACT

According to the principles established by Agenda 2030, the use of energy as one of the manageable environmental aspects of an organization and Energy Efficiency as an alternative to the socio-environmental impacts of the expansion of energy generation, given the difficulty of finding subsector energy consumption data and inspired by the Brazilian Labeling Program, this research had as its general objective: to develop Energy Conservation Labels based on the consumption of electricity for benchmarking and compliance of Energy Management in Multicampuses Higher Education Institutions. For this purpose, a bibliographical and documentary research was carried out with the Federal Institute of Science and Technology Education of Piauí as an object of study and data collected in the energy bills of the period from 2016 to 2019, correlating them with variables that measure its activities to: evaluate the effectiveness of the Brazilian Labeling Program in Higher Education Institutions; perform the institution's preliminary energy diagnosis; calculate Relative Energy Efficiency Indices for campuses, establishing Efficiency Levels; establish goals for increasing Energy Efficiency; to propose a new model of Type II Environmental Labeling for Multicampuses Higher Education Institutions; analyze the expansion of the use of alternative sources of energy in these institutions. The ineffectiveness of the program in the labeling of buildings has been proven, especially in Higher Education Institutions. Poor management of energy use in the analyzed institution was detected and it was found that the development of research in energy efficiency can bring positive impacts in these institutions, and must be continued. It was possible to use the disaggregation of energy bills and the Data Envelopment Analysis to determine indicators, indices and levels of energy efficiency for the campuses of Higher Education Institutions, which were synthesized in a new type II environmental labeling for benchmarking and energy management. In addition to this labeling, the technical feasibility and environmental benefits of the photovoltaic system installed in the analyzed institution were found, while a questionable economic viability has been found. However, favorable conditions were detected for the current expansion of these systems, providing guidance for contracting new systems through solarimetric atlas data, and it was given back to the academic community. Finally, it is expected that the results found will bring positive impacts on the environmental performance of the institutions, sensitizing the academic community to environmental issues and stimulating the introduction of other Higher Education Institutions in the studies, in addition to the applicability of the methodology to other multisite organizations and the other Environmental Aspects.

Keywords: Environmental labeling. Energy efficiency. Alternative sources. Buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de rotulagem ambiental.....	19
Figura 2 – Marcos regulatórios da etiquetagem da eficiência energética de edificações no Brasil.....	21
Figura 3 – Modelo Pressão-Estado-Resposta de indicadores ambientais.....	36
Figura 4 – Frequência da publicação sobre os Indicadores de Eficiência Energética de 2007 a 2017	39
Figura 5 – Distribuição percentual de artigos sobre Análise Envoltória de Dados por área de aplicação	43
Figura 6 – Distribuição dos artigos publicados sobre a Análise Envoltória de Dados por ano (1978-2016)	44
Figura 7 – Fronteiras de Eficiência Energética dos setores industriais do Brasil em 2016.....	46
Figura 8 – Análises Envoltórias de Dados orientadas a <i>inputs</i> ou <i>outputs</i>	47
Figura 9 – Fronteira Invertida do modelo Banker, Charnes e Cooper da Análise Envoltória de Dados orientada a <i>inputs</i> dos setores industriais do Brasil em 2016.....	50
Figura 10 – Número de <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.....	53
Figura 11 – Espacialização dos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.....	54
Figura 12 – Objetivos específicos e metodologia proposta.....	55
Figura 13 – Diagnóstico Energético Preliminar e determinação do Indicador de Perdas Evitáveis	56
Figura 14 – Centros de custo das faturas de Energia Elétrica	56
Figura 15 – Determinação do Indicador de Custos Gerenciáveis geral e por agrupamento	57
Figura 16 – Determinação da rotulagem ambiental da Eficiência Energética	61
Figura 17 – Taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia e reajuste tarifário da Concessionária de Energia local de 2010 a 2019	65
Figura 18 – Percentual de Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia emitidas para edificações não residenciais no Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações até junho de 2019	67
Figura 19 – Composição percentual da média anual das Perdas evitáveis (a) e dos Custos Gerenciáveis (b) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019	69

Figura 20 – Variação dos custos gerenciáveis de 2016 a 2019	70
Figura 21 – Variação das perdas evitáveis de 2016 a 2019.....	70
Figura 22 – Média anual dos centros de custo dos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019	71
Figura 23 – Média anual dos centros de custo dos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019	71
Figura 24 – Média anual dos centros de custo dos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019	72
Figura 25 – Percentual dos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí nos encargos de 2016 a 2019 e composição percentual dos encargos	73
Figura 26 – Percentual de energia reativa excedente no <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019.....	73
Figura 27 – Percentual de demanda de ultrapassagem nos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019.....	74
Figura 28 – Análise de demanda do Prédio A do <i>Campus</i> Teresina Central do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019	75
Figura 29 – Contagem dos <i>campi</i> por nível de eficiência relativa com base no Indicador de Perdas Evitáveis de 2016 a 2019	76
Figura 30 – Variação do Indicador de Perdas Evitáveis nos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2018.....	76
Figura 31 – Agrupamento dos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.....	77
Figura 32 – Modelos clássicos da Análise Envoltória de Dados.....	80
Figura 33 – Orientação da Análise Envoltória de Dados a <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	80
Figura 34 – Contagem dos <i>campi</i> por nível de eficiência relativa com base no Indicador de Custos Gerenciáveis geral de 2016 a 2019.....	82
Figura 35 – Variação do Indicador de Custos Gerenciáveis geral nos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019	82
Figura 36 – Número de <i>campi</i> por nível de eficiência relativa baseado no Indicador de Custos Gerenciáveis por agrupamento de 2016 a 2019.....	84
Figura 37 – Variação do Indicador de Custos Gerenciáveis por agrupamento nos <i>campi</i> do IFPI de 2016 a 2019	84
Figura 38 – Variação dos indicadores de uso de energia no <i>Campus</i> de Campo Maior de 2016 a 2019	85

Figura 39 – Variação dos indicadores de ensino no <i>Campus</i> de Campo Maior de 2016 a 2019	85
Figura 40 – Variação dos indicadores de uso de energia no <i>Campus</i> de Uruçuí de 2016 a 2019	86
Figura 41 – Variação dos indicadores de ensino no <i>Campus</i> de Uruçuí de 2016 a 2019.....	86
Figura 42 – Número de <i>campi</i> por nível de eficiência relativa baseado no Índice de Eficiência Energética Relativa geral de 2016 a 2019	87
Figura 43 – Número de <i>campi</i> por nível de eficiência relativa baseado no Índice de Eficiência Energética Relativa por agrupamento de 2016 a 2019	88
Figura 44 – Variação do Índice de Eficiência Energética Relativa geral nos <i>campi</i> do IFPI de 2016 a 2019	88
Figura 45 – Variação do Índice de Eficiência Energética Relativa por agrupamento nos <i>campi</i> do IFPI de 2016 a 2019	89
Figura 46 – Indicador de Perdas Evitáveis, Indicador de Custos Gerenciáveis e Índice de Eficiência Energética Relativa dos <i>campi</i> do IFPI em 2019	89
Figura 47 – Metas para diminuição dos indicadores de uso de energia nos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.....	90
Figura 48 – Metas para o aumento dos indicadores de ensino nos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.....	91
Figura 49 – Rotulagem ambiental da eficiência energética para Instituições de Ensino Superior <i>multicampi</i>	92
Figura 50 – Mapa dinâmico com a rotulagem ambiental da eficiência energética dos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí no ano de 2019.....	93
Figura 51 – Detalhes do Sistema instalado no <i>Campus</i> Floriano do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí	95
Figura 52 – Espacialização das referências de irradiação mais próximas dos <i>campi</i> do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.....	96
Figura 53 – Benefícios relativos ao consumo e aos custos com energia elétrica	100
Figura 54 – Relação entre os Valores Presentes Líquidos das entradas e saídas de capital nos cenários analisados	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Expansão das Universidade Federais de 2003 a 2011	29
Tabela 2 – Expansão da educação superior nos IFET em comparação com as universidades de 2008 a 2017	30
Tabela 3 – Metodologias para a determinação do desempenho de edificações não residenciais	34
Tabela 4 – Relação de artigos sobre os Índices de Eficiência Energética publicados por pesquisadores brasileiros	40
Tabela 5 – Técnicas mais utilizadas atualmente na elaboração de Índices de Eficiência Energética	41
Tabela 6 – Consumo de energia e Produto Interno Bruto dos setores das indústrias do Brasil em 2016	46
Tabela 7 – Índices de Eficiência Energética e metas para os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> com base na Análise Envoltória de Dados para as indústrias do Brasil em 2016	48
Tabela 8 – Índices e ranking de Eficiência Energética dos setores industriais do Brasil em 2016	51
Tabela 9 – <i>Softwares</i> disponíveis para a Análise de Produtividade e Eficiência	52
Tabela 10 – Matriz de Indicadores ambientais	58
Tabela 11 – Cenários da análise econômica da expansão proposta para o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí	66
Tabela 12 – Custos com energia elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí nos anos de 2016 a 2019	69
Tabela 13 – Indicadores de Perdas Evitáveis e níveis de eficiência de 2016 a 2019	75
Tabela 14 – Coeficiente de Correlação de Pearson da Matriz de Indicadores	78
Tabela 15 – Coeficientes e relevância dos indicadores no ensino e no uso de energia dos <i>campi</i>	79
Tabela 16 – Indicadores de Custos Gerenciáveis geral e níveis de eficiência de 2016 a 2019	81
Tabela 17 – Indicadores de Custos Gerenciáveis por agrupamento e níveis de eficiência de 2016 a 2019	83
Tabela 18 – Índices e Níveis de Eficiência Energética Relativa geral e por agrupamento de 2016 a 2019	87

Tabela 19 – Análise técnico-econômica dos Sistemas Fotovoltaicos existentes e contratados pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí no período de 20 de novembro de 2019 a 08 de julho de 2020.....	97
Tabela 20 – Recurso solar disponível, estimativa de geração de energia, de diminuição de emissão de gás carbônico e de redução dos custos com energia elétrica com a instalação de Sistemas Fotovoltaicos	99
Tabela 21 – Melhor e pior cenários de análise econômica da expansão proposta	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análises de Componentes Principais
BCC	Banker, Charnes e Cooper
CAANG	<i>Campus</i> de Angical
CACAM	<i>Campus</i> de Campo Maior
CACOC	<i>Campus</i> de Cocal
CACOR	<i>Campus</i> de Corrente
CAFLO	<i>Campus</i> de Floriano
CAOEI	<i>Campus</i> de Oeiras
CAPAR	<i>Campus</i> de Parnaíba
CAPAU	<i>Campus</i> de Paulistana
CAPEDII	<i>Campus</i> de Pedro II
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAPIC	<i>Campus</i> de Picos
CAPIR	<i>Campus</i> de Piripiri
CASJP	<i>Campus</i> de São João do Piauí
CASRN	<i>Campus</i> de São Raimundo Nonato
CATCE	<i>Campus</i> Teresina Central
CAURU	<i>Campus</i> de Uruçuí
CAVAL	<i>Campus</i> de Valença do Piauí
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CEFET	Centros Federais de Educação Tecnológica
CEFET-PI	Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí
CGIEE	Comitês Gestores de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CP	Fator de Capacidade
CRS	<i>Constant Return Scale</i>
CT-Edificações	Comissão Técnica de Edificações
CTZS	<i>Campus</i> Teresina Zona Sul
CUB	Custo Unitário Básico
DEA	Análise Envolvória de Dados (<i>Data Envelopment Analysis</i>)
DMU	Unidades Tomadoras de Decisão (<i>Decision Making Units</i>)
EAF	Escolas Agrotécnicas Federais

ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
E-SIC	Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão
FIES	Fundo de Financiamento ao Estudante do Ensino Superior
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEE	Índices de Eficiência Energética
IEER	Índice de Eficiência Energética Relativa
IES	Instituições de Ensino Superior
IFET	Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande no Norte
IndCG	Indicador de Custos Gerenciáveis
IndPE	Indicador de Perdas Evitáveis
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IRA	Índice de Risco Ambiental
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MME	Ministério de Minas e Energia
Modelo PSR	Modelo Pressão-Estado-Resposta (<i>Pressure-Status-Response</i>)
MSA	Medida de Adequação da Amostra (<i>Measure of Sampling Adequacy-MSA</i>)
ODEX EEI	<i>ODEX Energy Efficiency Index</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBE Edifica	Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
PDI	Plano de Desenvolvimento Institucional
PEE	Projetos de Eficiência Energética
PIB	Produto Interno Bruto
PNAES	Programa Nacional de Assistência Estudantil
PNE	Plano Nacional de Educação
PR	Taxa de desempenho (<i>Performance Ratio</i>)
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROUNI	Programa Universidade para Todos
RCB	Relação Custo-Benefício
REUNI	Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
ROL	Receita Operacional Líquida
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SFA	<i>Stochastic Frontier Analysis</i>
SFCR	Sistemas Fotovoltaics Conectados a Rede
SFV	Sistema Fotovoltaico
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SIAD	Sistema Integrado de Apoio a Decisão
SIGUE-MS	Sistema Integrado de Gestão do Uso de Energia
SISU/ENEM	Sistema de Seleção Unificado, integrado ao Exame Nacional do Ensino Médio
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFTPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
VPL	Valor Presente Líquido
VRS	<i>Variable Return Scale</i>
Y	Produtividade Final

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1 A expansão recente das ies federais brasileiras e a necessidade de gestão energética	27
2.2 Indicadores ambientais e índices de eficiência energética	33
2.3 Análise envoltória de dados	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
3.1 Caracterização do objeto de estudo	53
3.2 Metodologia da pesquisa	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1 Diagnóstico energético preliminar da IES.....	68
4.2 Determinação dos indicadores de custos gerenciáveis	77
4.3 Desenvolvimento da rotulagem ambiental	86
4.4 Viabilidade da expansão de sistemas fotovoltaicos em IES <i>multicampi</i>	93
5 CONCLUSÕES.....	103
5.1 Trabalhos futuros e retorno à comunidade acadêmica.....	106

1 INTRODUÇÃO

Apontado como referência para um modelo de desenvolvimento ideal, foi publicado pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 1987, o Relatório Brundtland (documento intitulado “*Our Common Future*”) (BRUNDTLAND, 1987), em que o Desenvolvimento Sustentável era concebido como aquele capaz de garantir as necessidades presentes, sem o comprometimento da capacidade de as gerações futuras suprirem suas próprias necessidades. Desde então esse conceito evoluiu e atualmente pode ser entendido como um modo de ser e viver que concilie as atitudes humanas com as limitações da natureza e com as necessidades das gerações atuais e futuras. Sendo, portanto, um conjunto de processos e ações que devem ser pensados em uma perspectiva global, mas executados também em níveis nacionais, regionais e locais, permitindo que todo o planeta possa crescer igualmente sem que uma parcela evolua à custa do prejuízo de outras (BOFF, 2017).

Já na década de 1990, essa ideia de desenvolvimento foi amplamente discutida e entendida como o modelo a ser seguido por todas as nações do mundo, principalmente na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), que culminou na publicação da Agenda 21, programa de planejamento e ação cooperativa global em que se conciliavam a proteção ambiental, a justiça social e a eficiência econômica (FERREIRA, 2016). Na Agenda 2030, por sua vez, publicada pela ONU em setembro de 2015, os países membros se comprometeram com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas a serem buscadas nos 15 anos subsequentes (ONU, 2015). Com relação à utilização de energia, com o sétimo objetivo (Energia acessível e limpa), por exemplo, almeja-se com esse acordo o atendimento das seguintes metas: universalização do acesso, aumento da participação das energias renováveis, dobrar a taxa global de eficiência energética, além de reforçar a cooperação internacional em pesquisas e transferência de tecnologia (ONU, 2018).

Desse modo, de acordo com os princípios estabelecidos pela Agenda 21 e, mais recentemente, pela Agenda 2030, todas as organizações devem possuir um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) de forma a garantir um desempenho ambiental aceitável. Devem pensar globalmente e agir localmente porque, conforme destaca Flores e Medeiros (2013), “por mais que a escala dos impactos seja global, é ao nível local que muitos impactos são apresentados e onde as ações podem ser eficazes”. O uso de energia é só um dos aspectos ambientais gerenciáveis em uma organização, mas sua demanda vem aumentando devido ao crescimento populacional e, principalmente, ao desenvolvimento econômico, causando impactos ambientais que podem ser minimizados com a utilização eficiente da energia que produzimos.

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2019), na escala mundial foi gerada 25.721 TWh de energia elétrica no ano de 2017, com apenas 25,3% desse valor sendo proveniente de energias renováveis. Já no Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019), o balanço de geração de energia elétrica é mais favorável, uma vez que, no ano de 2018, dos 636,4 TWh de energia elétrica consumidos (aumento 1,4% em relação ao ano anterior), houve a participação de 83,3 % de fontes renováveis (hidrelétrica, biomassa, eólica e solar), com o setor industrial sendo o principal consumidor (31,6%). Importante destacar, entretanto, que, quando se considera todos os usos energéticos, não apenas o de eletricidade, a participação das energias renováveis no Brasil cai para 45,3%, o que mostra a necessidade da atuação nesse setor para atingir os objetivos da Agenda 2030.

Ademais, no contexto do uso de energia elétrica, a eficiência energética das edificações residenciais, comerciais e públicas, cenário no qual as Instituições de Ensino Superior (IES) estão inseridas, tornam-se relevantes, uma vez que o consumo de energia elétrica nesses setores correspondeu a 42,6% de todo o país. A Eficiência Energética é o tema deste trabalho e pode ser entendida como um conjunto de medidas que tem como principal benefício a realização das mesmas atividades ou o fornecimento dos mesmos produtos ou serviços com menor consumo de energia (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; VELÁZQUEZ, 2013).

As IES no Brasil experimentaram grande expansão geográfica a partir da década de 1960, exigindo-se delas uma melhor gestão acadêmica e administrativa, para garantir a formação de uma unidade e bons desempenhos nessa nova configuração *multicampi* (NEZ, 2016). Nas IES federais essa expansão tornou-se mais expressiva a partir de 2007 com o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) e com a criação dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFET), que contou com a participação de todas as IES federais já no primeiro ano de programa, com um incremento significativo em sua infraestrutura (ROSINKE *et al.*, 2020; PEREIRA; CRUZ, 2019; LIMA; MACHADO, 2016). A Universidade Federal do Piauí (UFPI), por exemplo, experimentou grande expansão da sua infraestrutura no período de 2010 a 2014, com a área total edificada da Universidade passando de 9.209,96 m² para 90.508,00 m² (UFPI, 2015) e, nesse mesmo período, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), também houve grande expansão com a construção de cinco novos *campi* (IFPI, 2020).

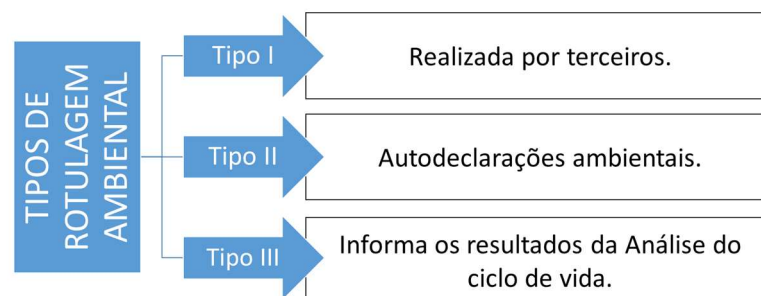
Uma vez que o uso da energia é o insumo com maior Índice de Risco Ambiental (IRA) em IES (SENNA *et al.*, 2014), é imperativa a consolidação da Institucionalização da Gestão Ambiental nessas instituições, com o uso de energia sendo um dos aspectos ambientais gerenciados (SILVA *et al.*, 2016). Isso permitirá que as IES incentivem mudanças concretas na

realidade social não só através de sua atividade fim, mas também com a articulação da gestão e a infraestrutura das edificações, para consolidá-la como um Espaço Educador Sustentável.

Como pode ser constatado nos diversos Balanços Energéticos, a exemplo dos apresentados pela *International Energy Agency* (IEA, 2019), na esfera global, e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019), na esfera nacional, estatísticas de energia geralmente são compiladas e apresentadas numa base setorial, em que os consumidores são agrupados de acordo com a atividade econômica, quais sejam: indústria, transportes, serviços, agricultura e residencial. Todavia o setor de serviços, no qual as Instituições de Ensino Superior estão inseridas, é o mais heterogêneo e, embora os dados de consumo de energia para o setor como um todo estejam disponíveis, os dados de consumo de energia subsetoriais não são facilmente encontrados. Nesse contexto, a rotulagem ambiental do uso de energia nessas instituições torna-se relevante como um instrumento da gestão ambiental, podendo servir de base para uma estratégia de *benchmarking* e estimular a melhoria contínua desse aspecto ambiental.

Rótulos ambientais são declarações que indicam o desempenho ambiental de um produto de modo geral ou relacionado a aspectos ambientais específicos, dentre os quais o uso da energia está incluso. Podem aparecer na forma de texto, símbolo ou elemento gráfico no rótulo, embalagem, boletins técnicos ou em propagandas e publicidade, de forma a permitir comparações entre produtos que desempenham a mesma função e estimular o consumo consciente (ABNT, 2002). É importante destacar que essas rotulagens podem ser de três tipos (Figura 1):

Figura 1 – Tipos de rotulagem ambiental



Fonte: Elaborada pelo autor.

A rotulagem Tipo I se refere à rotulagem feita por terceiros a partir do cumprimento de pré-requisitos (ABNT, 2004); a Tipo II refere-se a autodeclarações ambientais efetuadas pelos responsáveis pelos produtos e serviços (fabricantes, importadores, distribuidores ou varejistas), sem certificação independente (ABNT, 2017); enquanto que a Tipo III refere-se à rotulagem de produtos ou serviços que apresentam informação ambiental quantificada do ciclo de vida de um

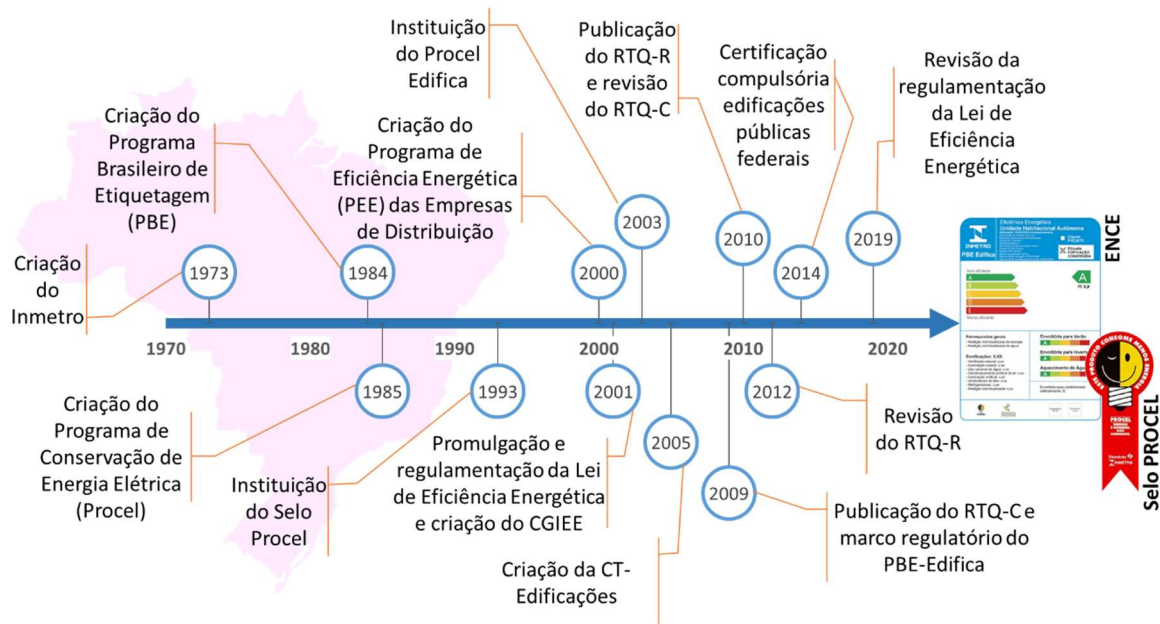
produto (estágios sucessivos de um sistema de produto que vai desde a aquisição da matéria-prima à disposição final) (ABNT, 2015).

O primeiro marco da rotulagem ambiental ocorreu em 1977, quando a Alemanha lançou o rótulo Blue Angel, o primeiro esquema de rótulo ambiental, e desde então essa estratégia se espalhou para vários países do mundo, como os Estados Unidos da América, com o “Green Seal”, e o Japão, com o “*The EcoMark*”, em 1989, e União Européia, com “*The EU Ecolabel*”, em 1998, por exemplo (PRIETO-SANDOVAL *et al.*, 2020). Ainda em vigor, de acordo com Splenger *et al.* (2019), esse primeiro rótulo ambiental é classificado como sendo do tipo I e rotula vários produtos com quase todos os conjuntos de critérios, objetivando, principalmente, a redução dos impactos durante a fase de uso, com outras fases do ciclo de vida (extração e beneficiamento da matéria-prima, logística de distribuição e descarte, por exemplo) cobertas em menor grau.

Na Figura 2, é mostrada uma linha do tempo com os marcos regulatórios que levaram ao atual estado da rotulagem do uso de energia em edificações brasileiras. Para o desenvolvimento de índices de referência para uma estratégia de *benchmarking* no Brasil, foi criado em 1984 o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), criado em 1973, e do Ministério de Minas e Energia (MME), este programa busca informar aos consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra mais consciente, através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), caracterizada como uma forma de rotulagem ambiental, que pode ser de dois tipos: certificações voluntárias (não obrigatórias) ou compulsórias (obrigatórias) (EPE, 2020).

Os benefícios sociais com as etiquetagens voluntárias aumentam com a elevação da: demanda de mercado do produto certificado, da relevância dos aspectos etiquetados e da capacidade do consumidor de entender, de confiar e de usar as informações do rótulo (ROE; TEISL; DEANS, 2014). Já os custos sociais e os argumentos contra as rotulagens compulsórias aumentam quando também aumentam: os custos indevidos e rigidez excessiva à produção; o tamanho e a complexidade de cadeia de fornecimento; mudanças repentinas de padrões ou técnicas de produção; as distorções de mercado com a diminuição da concorrência, por exemplo (ROE; TEISL; DEANS, 2014).

Figura 2 – Marcos regulatórios da etiquetagem da eficiência energética de edificações no Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em imagens de ELETROBRAS (2019).

O PBE conta ainda com o apoio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), criado em 1985 através do subprograma Procel Selo (instituído em 1993), que rotula os equipamentos com o melhor índice de eficiência em cada categoria com o Selo Procel (ELETROBRAS, 2019). Tem-se, portanto, a ENCE como o Selo de Conformidade do Inmetro que atesta os produtos nos pontos de venda, cuja principal informação é a sua eficiência energética através de índices, classificando os produtos em níveis de eficiência energética, e o Selo Procel que identifica os melhores em cada categoria, ambos caracterizados como um rótulo ambiental Tipo I do uso de energia (Figura 2).

Além do Selo Procel, destaca-se também o subprograma Procel Edifica que, instituído em 2003, busca desenvolver atividades para a eficiência energética em edificações e coordena o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), que objetiva a rotulagem ambiental da eficiência energética das edificações no Brasil (EPE, 2020). É mister destacar ainda a criação do Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição de Energia Elétrica (BRASIL, 2000) e a promulgação da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001). Com esse programa, distribuidoras de energia elétrica devem aplicar um percentual mínimo da Receita Operacional Líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética e no Procel, sendo também uma importante fonte de recursos para o programa.

Por sua vez, a Lei de Eficiência Energética prevê o estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou

comercializados no país, além do estabelecimento de um Programa de Metas para sua progressiva evolução (BRASIL, 2001). Ela se articula com o PBE e o Procel, uma vez que esses três mecanismos de estímulo ao consumo de produtos eficientes são complementares e os seus resultados são atribuídos ao Procel.

Assim, em 2017 pôde-se computar uma economia energética de 21,2 bilhões de kWh (39,89% maior que o ano anterior e correspondente a 4,57% de todo o consumo nacional de eletricidade naquele ano, equivalente ao consumo anual de 11,25 milhões de residências brasileiras), evitando a emissão de 1,96 milhão de toneladas de CO₂ na atmosfera, equivalente a 675 mil automóveis durante um ano (ELETROBRAS, 2018). Entretanto, para o aumento de sua efetividade, Nogueira *et al.* (2015) destacam a necessidade de: campanhas de *marketing* para informar ao público geral sobre os benefícios da regulamentação; constante revisão dos limites de eficiência; expansão da quantidade de equipamentos regulados; aumento do número de equipamentos retirados do mercado compulsoriamente devido à sua baixa eficiência energética, semelhante ao que já acontece com as lâmpadas incandescentes.

As iniciativas do PBE têm contribuído com a eficiência na utilização de energia no país. Contudo, desde 2009, essa certificação também pode ser atribuída a edificações no Brasil através da ENCE, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), resultado da interação do PBE com o Procel Edifica. Os Comitês Gestores de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), criados pela Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001), passaram a integrar, em 2005, juntamente com o Inmetro, a Comissão Técnica de Edificações (CT-Edificações), que instituiu os marcos regulatórios do PBE Edifica. Foram publicados em 2009 os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), alterados no ano seguinte (INMETRO, 2010), e também foi publicado em 2010 o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), alterado dois anos depois (INMETRO, 2012), bem como seus documentos complementares.

Esses dois regulamentos utilizam cálculos de engenharia e simulações computacionais a partir de três sistemas individuais das edificações (envoltória, climatização e iluminação) para a determinação do desempenho energético de parte ou de toda a edificação, na fase de projeto ou obra concluída, considerando ainda um conjunto de pré-requisitos (isolamento de tubulações de sistemas de condicionamento de ar, por exemplo) e bonificações (presença de sistema de geração fotovoltaica correspondente a pelo menos 10% do consumo de energia, por exemplo).

Os sistemas de avaliação pública para o desempenho energético de edificações podem ser utilizados em novas construções e nas construções existentes para: cumprimento obrigatório

de padrões mínimos; políticas para penalizar o baixo desempenho energético ou recompensar o bom desempenho energético; rotulagem obrigatória ou voluntária do desempenho energético do edifício; programas de transparência e divulgação; *benchmarking* interno voluntário; avaliação de oportunidades de melhoria (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016). O PBE caracteriza-se como um desses sistemas de avaliação, sendo um instrumento importante para garantir a eficiência energética dos edifícios no país, porém existe a necessidade de um modelo simplificado, mais preciso e eficiente para o processo de etiquetagem (MELO *et al.*, 2012).

Assim, para se conseguir uma implantação completa desse programa, deve-se: desenvolver metodologias para calcular valores realistas; criar campanhas para a conscientização entre o público em geral, treinamento e apoio para aumentar o número de avaliadores de energia; aplicação de sanções em caso de descumprimento; aplicação de medidas de monitoramento e avaliação pós-certificação; estabelecimento e manutenção de um sistema de registro central para coleta de dados relevantes dos certificados (WONG; KRÜGER, 2017). Em comparação com o modelo de etiquetagem de outros países, como os Estados Unidos da América e Portugal, seria importante ainda: valorizar edifícios com o consumo nulo de energia (totalmente autossuficientes); informar as reduções de CO₂; ampliar a sua atuação no setor industrial; tornar a certificação obrigatória (LOPES *et al.*, 2016).

No Brasil, para a maioria das edificações, a etiquetagem é voluntária. Apesar disso, desde junho de 2014, é obrigatória a observância da ENCE na aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia, bem como nos projetos de edificações públicas federais brasileiras novas ou que forem objeto de *retrofit* de responsabilidade da Administração Pública Federal (BRASIL, 2014). Importante destacar que se consideram imóveis públicos federais quaisquer imóveis construídos ou adaptados com recursos públicos federais para exercício de atividade administrativa ou para a prestação de serviços públicos e, mesmo com essa obrigatoriedade, o PBE Edifica mostra-se ineficaz na rotulagem da eficiência energética de edificações.

Até o ano de 2015, em seis anos de programa, período que contempla a expansão dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, por exemplo, apenas 84 edificações comerciais, públicas e de serviços foram etiquetadas no país, com alguns estados, nos quais o Piauí está incluso, com nenhuma edificação etiquetada (SILVA *et al.*, 2015), fato também comprovado por Wong e Krüger (2017). Dessa forma, esta tese buscou responder o seguinte problema científico: como desenvolver uma Etiqueta de Eficiência Energética para a conformidade da gestão ambiental em Instituições de Ensino Superior *Multicampi* de maneira

eficiente e eficaz? A principal hipótese levantada foi a de que se pode utilizar o diagnóstico energético a partir de faturas de energia, bem como indicadores de produtividade na elaboração de índices e níveis de Eficiência Energética, que poderão ser sintetizados em rótulos ambientais, inspirados no Programa Brasileiro de Etiquetagem, metodologia diversa da padronizada pelo Inmetro (2010).

Para tanto, foi objetivo geral desta pesquisa: desenvolver Etiquetas de Conservação de Energia baseadas no consumo da eletricidade para *Benchmarking* e conformidade da Gestão Energética em IES *Multicampi*, utilizando-se como objeto de estudo o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). Nesse quadro, foram objetivos específicos: avaliar a eficácia do Programa Brasileiro de Etiquetagem em IES; executar o Diagnóstico Energético Preliminar da instituição; calcular Índices de Eficiência Energética Relativa para os *campi*, estabelecendo Níveis de Eficiência; estabelecer metas para o aumento da Eficiência Energética; propor um novo modelo de Rotulagem Ambiental Tipo II para IES *multicampi*; analisar a expansão da utilização de fontes alternativas de energia em IES *multicampi*.

Cumprir lembrar que o Brasil possui um grande potencial de geração fotovoltaica devido a sua grande extensão territorial e índices de irradiação solar superiores aos de países da Europa, líderes na produção desse tipo de energia (PEREIRA *et al.*, 2017) e, inserto nessa ambiência, este último objetivo específico considerou que já existe um Sistema Fotovoltaico instalado na instituição (MORAIS; BARBOSA; MORAES, 2019a) (SÁ *et al.*, 2017) e que a mesma foi contemplada recentemente com a contratação de novos sistemas (CGU, 2020), resultado da liberação de 60 milhões de reais em novembro de 2019 para a instalação de 852 usinas fotovoltaicas em instituições federais de educação tecnológica com economia anual estimada de R\$ 17,7 milhões (BRASIL, 2019a). Além disso, Urbanetz Junior, Casagrande Junior e Tiepolo (2014), Gomes *et al.* (2015), Buiatti *et al.* (2016) e Moraes *et al.* (2017a) destacam a implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) em várias outras IES: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UFTPR), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande no Norte (IFRN) e Universidade Federal do Piauí (UFPI), caracterizados como micro e minigeração, com bons índices de mérito e, conseqüentemente, viabilidade técnica.

O crescimento populacional e, principalmente, o desenvolvimento econômico geram o aumento da demanda que devem ser supridos com o aumento da eficiência energética ou a construção de novas usinas geradoras de energia que causam impactos socioambientais (EPE, 2019). Como consequência associada, o esgotamento rápido das fontes de energia convencionais e a preocupação com as questões ambientais impulsionaram a busca de novas

formas de energia mais eficientes (SINGH, 2013). Assim as fontes renováveis de energia tornam-se relevantes e indispensáveis para o desenvolvimento de um sistema sustentável de geração de eletricidade (KHAN; ARSALAN, 2016).

Fontes renováveis de energia vêm sendo utilizadas mundialmente e reduzem a pressão sobre o meio ambiente (GOEL; SHARMA, 2017). A energia solar fotovoltaica destaca-se como uma das mais promissoras, uma vez que possui disponibilidade quase ilimitada e acessibilidade em todo o planeta, podendo ser integrada aos diferentes tipos de edificações presentes no meio ambiente urbano e possuindo, de acordo com Dávi *et al* (2016), emissões de gases poluentes muito menores do que as tecnologias convencionais de geração de eletricidade baseadas em combustíveis fósseis.

No ano de 2018, onze países instalaram mais de 1 GW de energia fotovoltaica, e 31 países, dentre os quais o Brasil está incluso, atingiram esse valor cumulativo de capacidade, tendo sido adicionado mundialmente 103 GW de potência (aumento de 25,18% em relação ao ano anterior), totalizando 512 GW (2,9% da matriz de eletricidade mundial) (IEA, 2019). No Brasil, mesmo representando apenas 0,13% da matriz energética, a energia solar fotovoltaica teve sua capacidade aumentada em 92,29% no ano de 2019, atingindo 1.798 MW, em decorrência da construção de grandes usinas solares fotovoltaicas (geração centralizada) e da conexão de sistemas solares fotovoltaicos instalados nas unidades consumidoras (geração distribuída) (EPE, 2019).

Dessa forma, na medida em que se propõe o desenvolvimento de etiquetas de conformidade de padrões de conservação de energia em IES *multicampi* e se estimula a expansão da utilização de fontes alternativas de energia, abre-se um horizonte no qual se pode contribuir para o que preconiza os objetivos do desenvolvimento sustentável no que se refere à energia elétrica. Considerou-se ainda o grande potencial de utilização de energia solar, a difícil utilização e ineficácia dos Índices de Eficiência Energética oficialmente regulamentados no Brasil, bem como sua caracterização como um paradigma tradicional de causalidade linear que avalia a Eficiência Energética das edificações somente a partir de sua infraestrutura, não se reconhecendo, portanto, a sua natureza cíclica, principal diferença para o modelo proposto nesta tese.

Isso posto, esta pesquisa propõe a avaliação da eficiência através do paradigma sistêmico do meio ambiente. Reconhece-se, portanto, a causalidade circular, de modo que cada indicador contribui de maneira distinta em cada um dos ciclos de medição (complexidade), além de se aceitar o imprevisível e o incontrolável (instabilidade) e considerar-se que não existe uma única resposta para o problema (intersubjetividade). Têm-se, portanto, como principais

contribuições científicas: proposição de um novo modelo rotulagem ambiental para as Instituições de Ensino Superior *multicampi* e de orientações para expansão de sistemas fotovoltaicos nessas instituições.

No próximo capítulo, será apresentada a fundamentação teórica, destacando-se a expansão das Instituições de Ensino Superior Federais Brasileiras, sobretudo a partir da criação do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) (BRASIL, 2007b) e da criação dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFET) (BRASIL, 2008). Além disso, será destacada a necessidade da gestão energética em sua configuração *multicampi*, bem como os aspectos relevantes a Indicadores Ambientais, a Índices de Eficiência Energética (IEE) e Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), uma das técnicas que foi utilizada na elaboração da rotulagem ambiental proposta nesta tese e que possui grande relevância para a determinação de IEE.

Ademais, no Capítulo 3 serão apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa, assim como a caracterização do objeto de estudo, enquanto que, no capítulo 4, serão apresentados os resultados da pesquisa com sua respectiva discussão, divididos em quatro tópicos, referentes ao objeto de estudo: diagnóstico energético preliminar; determinação dos custos gerenciáveis; desenvolvimento da rotulagem ambiental; análise da viabilidade da expansão de sistemas fotovoltaicos. Por fim, no Capítulo 5 serão apresentadas as principais conclusões da pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a expansão das Instituições de Ensino Superior Federais no Brasil a partir dos seus Planos Nacionais de Educação (PNE), que resultaram em sua atual configuração *multicampi*, especialmente a partir da criação do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) e da criação dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFET). Destaca-se a existência de problemas administrativos, acadêmicos e dificuldade para a criação de uma unidade orgânica, resultantes dessa estrutura organizacional, além do atual momento de restrição orçamentária atual, que mostra a necessidade da consolidação da gestão ambiental nessas organizações para a melhoria contínua dos seus aspectos ambientais gerenciáveis, sobretudo com relação ao uso da energia. Ademais, nos dois últimos tópicos, serão discutidos aspectos relevantes de Indicadores Ambientais e Índices de Eficiência Energética (IEE), com destaque para a Análise Envoltória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*), técnica para a determinação de IEE que apareceu com maior frequência em recente pesquisa ciencimétrica e relevante para a exploração das hipóteses investidas nesta tese.

2.1 A expansão recente das ies federais brasileiras e a necessidade de gestão energética

Em 1932 foi publicado por 25 intelectuais brasileiros o “Manifesto dos Pioneiros da Educação Nova” (MANIFESTO..., 1932) que propunha a reconstrução educacional do Brasil. Esse documento teve grande repercussão e culminou na obrigatoriedade constitucional de a União fixar, coordenar e fiscalizar um Plano Nacional de Educação (PNE) em todo o território do País (BRASIL, 1934), obrigação esta que foi incorporada em todas as constituições seguintes, com exceção da carta de 37 (BRASIL, 2001). O manifesto era um instrumento político que apontava, portanto, a necessidade de instrumentos de orientação e fiscalização das ações educacionais para a modernização do país através da educação, uma vez que a estrutura existente não correspondia às necessidades da época (MACHADO; CARVALHO, 2015). Para Kang (2017), as políticas educacionais conduzidas pelo governo federal no período 1930 a 1964 foram importantes para determinar os resultados em todos os níveis de ensino com alguma melhoria na redução dos índices de analfabetismo, entretanto, nos governos mais comprometidos com a Industrialização por Substituição de Importações (Getúlio Vargas e Juscelino Kubitschek), essas políticas foram elitistas, privilegiando o ensino superior em detrimento do ensino primário para as massas.

Darius e Darius (2018) também destacam que o século XX, a partir desse primeiro marco do desenvolvimento da educação no país e suas consequências, trouxe um legado positivo com o aumento do número de escolas e do acesso da população ao ensino público, no entanto afirma que ainda resta para os dias atuais o desafio da organização de um Sistema Nacional de Educação coerente, unificado, democrático e de qualidade. O primeiro Plano Nacional de Educação surgiu apenas em 1962 (TEIXEIRA, 1962) e foi proposto pelo Ministério da Educação e Cultura com um plano de metas quantitativas e qualitativas a serem alcançadas num prazo de oito anos, tendo sido alterado nos dois anos seguintes. Não havia, portanto, a obrigação legal, muito embora essa característica não seja imperativa para o seu cumprimento, uma vez que, de acordo com Moreira (2019), nunca foi possível no Brasil realizar a política educacional tal como prevê a lei.

Nos anos seguintes, houve duas revisões deste Plano (1965 e 1966) e uma nova tentativa sem sucesso de instituir um PNE na forma de lei, em 1967, até que a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) previu, em seu artigo 214, a obrigatoriedade de fixação por lei de um PNE de duração plurianual que, posteriormente, teve sua vigência alterada para dez anos (BRASIL, 2001). Somente em 2001, já no segundo governo de Fernando Henrique Cardoso, foi publicado o primeiro Plano Nacional de Educação com força de lei, que priorizava:

1. garantia de ensino fundamental obrigatório de oito anos a todas as crianças de 7 a 14 anos, assegurando o seu ingresso e permanência na escola, e a conclusão desse ensino e a todos os que a ele não tiveram acesso na idade própria ou que não o concluíram;
2. ampliação do atendimento nos demais níveis de ensino (a educação infantil, o ensino médio e a educação superior);
3. valorização dos profissionais da educação;
4. Desenvolvimento de sistemas de informação e de avaliação em todos os níveis e modalidades de ensino, inclusive educação profissional (BRASIL, 2001).

Na aprovação desse PNE, elaborado pelo poder executivo, a democracia atuou apenas na sua forma representativa, uma vez que a sociedade civil organizada, sobretudo as entidades sindicais e estudantis, juntamente com as associações acadêmicas, universitárias e científicas, não tiveram papel relevante na aprovação ou modificação das diretrizes e metas educacionais no ambiente restrito do Congresso Nacional (HERMIDA, 2006). Configurou-se, portanto, como uma formalidade, sem mecanismo de financiamento, uma vez que os artigos que garantiam o financiamento do programa foram vetados pelo então presidente e com pouca articulação com políticas mais amplas, não sendo capaz de nortear o desenvolvimento da educação do país (DOURADO, 2010; MELO; MOURA, 2017; FERREIRA, 2019).

Entretanto, mesmo com clara ênfase no ensino fundamental, durante a vigência do PNE (2001-2010) houve grande expansão do ensino superior com o aumento do orçamento das universidades (Tabela 1), especialmente a partir de 2003 (Expansão I). Este ano marca o início do governo do Presidente Luís Inácio Lula da Silva, com o aumento do número de vagas na graduação presencial, do número total de matrículas, do orçamento e do número de servidores (28%, 13%, 48% e 7%, respectivamente) até o ano de 2007. A partir de então, tem-se o início de um segundo e maior período de expansão através da criação do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) (BRASIL, 2007b), com esses indicadores aumentando novamente em 66%, 53%, 63% e 16%, respectivamente, até o ano de 2011, período de vigência do programa.

Tabela 1 – Expansão das Universidade Federais de 2003 a 2011

Indicadores	Ano base			Variação %		
	2003	2007	2011	2003-07	2007-11	Total
Vagas ofertadas na graduação presencial	109.184	139.875	231.530	28%	66%	112%
Número total de matrículas	596.219	672.136	1.029.141	13%	53%	73%
Orçamento (R\$ bilhões) corrigido pelo IPCA	10,30	15,20	24,80	48%	63%	141%
Número de docentes	49.851	56.440	70.710	13%	25%	42%
Número de Técnicos administrativos	85.343	88.801	98.364	4%	11%	15%

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de Brasil (2012).

Diferentemente do anterior, esse novo governo favoreceu a agenda da educação superior com a democratização de acesso, contemplando questões econômicas e raciais, aperfeiçoamento dos instrumentos de avaliação e incremento da educação a distância, muito embora tenha sido criticado pelo estímulo à privatização e à mercantilização da educação com a reestruturação do Fundo de Financiamento ao Estudante do Ensino Superior (FIES) e a criação do Programa Universidade para Todos (PROUNI), que financiavam o ingresso e a permanência de estudantes em universidades privadas com recursos do governo federal (AGUIAR, 2016), questões essas que não serão aprofundadas neste trabalho. Ainda assim, analisando este e os outros três governos que seguiram, constata-se que não existe um sistema articulado de educação nacional consistente e exequível, denunciando que ainda existe no país dois projetos antagônicos de educação que continuam a colocar frente a frente os interesses público e privado, com clara predileção do governo atual para a agenda ultraliberal, com o contingenciamento do orçamento das universidades, negação à ciência e fundamentalismo religioso, por exemplo (MELO; MOURA, 2017; FERREIRA, 2019).

Com duração de cinco anos, o Programa REUNI tinha como objetivo criar condições para a ampliação do acesso e permanência na educação superior, no nível de graduação, pelo

melhor aproveitamento da estrutura física e de recursos humanos existentes nas universidades federais, muito embora tenha fomentado a conclusão de 1.588 obras e um incremento de 3.065.735,17 m² na infraestrutura das universidades (BRASIL, 2012), condição preponderante para o alcance das metas do programa (BITTENCOURT; FERREIRA; BRITO, 2017). Destaca-se ainda que, assim como nesse programa, a criação dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFET) (BRASIL, 2008) também contribuiu para a expansão do ensino superior nesse período através da criação de novos *campi* com a reestruturação dos Centros Federais de Educação Tecnológica (CEFET), Escolas Agrotécnicas Federais (EAF) e Escolas Técnicas vinculadas às Universidades Federais, que passariam a se equiparar às universidades na oferta de cursos superiores e em sua estrutura organizacional *multicampi* (ROSINKE *et al.*, 2020; PEREIRA; CRUZ, 2019), estrutura esta composta de subunidades com personalidade jurídica e unidade de gestão próprias vinculada a uma reitoria, que cria uma organização multifacetada e híbrida (FERNANDES, 2016; NEZ, 2016).

No ano da criação dos IFET pode-se constatar a criação de 405 cursos presenciais de graduação nessas instituições (14% do total de cursos em universidades, no ano de 2008) com uma expansão de 249,63% no número de cursos até o ano de 2017 (expansão quase três vezes maior que nas universidades e 6,5 vezes maior se considerarmos apenas os *campi* do interior), perfazendo um total de 1.416 cursos e 168.956 matrículas ao final do período (23% do total de vagas em 2017 e aumento de 312,74% ao final do período), demonstrando que a expansão do ensino superior nos IFET foi ainda maior que nas universidades a partir de sua criação, contribuindo em maior parcela para a sua interiorização (Tabela 2). Importante destacar que não se discutirá neste trabalho o aumento dos outros níveis de ensino a partir da criação dos IFET, que também sofreram grande expansão, sobretudo se ajuizarmos, por exemplo, que 50% das ações dessas novas instituições deveriam ser voltadas para a educação técnica profissional de nível médio (BRASIL, 2008).

Tabela 2 – Expansão da educação superior nos IFET em comparação com as universidades de 2008 a 2017

		2008	2017	Δ% 2008-2017
Número de cursos de graduação presencial em universidades	Capital	1.241	1.976	59,23%
	Interior	1.581	2.635	66,67%
	Total	2.822	4.611	63,39%
Número de cursos de graduação presencial em IFET	Capital	223	323	44,84%
	Interior	182	1.093	500,55%
	Total	405	1.416	249,63%
Número de matrículas em cursos de graduação presencial em IFET		40.935	168.956	312,74%

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de Rosinke *et al.* (2020).

Essas duas iniciativas do governo federal (o Programa REUNI e a criação dos IFET) se confundem ainda mais, devido ao fato de que, no mesmo dia em que foi publicado o decreto federal que instituiu o REUNI (BRASIL, 2007b), o governo publicou outro decreto que estabelecia diretrizes para o processo de integração dos IFET (BRASIL, 2007a), com ambas as iniciativas exigindo o atendimento de metas para o aumento da produtividade no ensino, pesquisa e extensão. No entanto, mesmo alinhadas por considerarem o quadro docente ocioso e mal aproveitado, essas duas políticas diferenciavam-se na estratégia, uma vez que, para as universidades, com o REUNI almejava-se a elevação da relação aluno/professor e o aumento do número de ingressantes por semestre, enquanto que, nos IFET, obrigava-se que os *campi* recém-criados abrissem cursos superiores nos limites mínimos dos percentuais estabelecidos pela legislação (FLORO; RI, 2017), o que pode inclusive explicar a maior expansão do ensino superior nos IFET percebida por Rosinke *et al.* (2020). Devido às suas similaridades no ensino superior, trataremos as universidades federais e os IFET como Instituições de Ensino Superior (IES) federais.

As IES federais podem ser consideradas um dinamizador para as economias locais, não só pela formação de mão de obra qualificada, mas também como estímulo ao desenvolvimento das economias locais e regionais, sobretudo em municípios do interior (SOUZA, 2019; PEREIRA; CRUZ, 2019; BRUNE; BIDARRA, 2015). Entretanto, mesmo reconhecendo esses benefícios, a ampliação das oportunidades educacionais não tem ocorrido de modo homogêneo no país, não decorrendo muitas vezes de planejamento qualitativo, mas sim de pressões sociais e barganhas políticas, devendo estar alinhadas à vocação regional e às demandas trazidas pela comunidade local (CAMARGO; ARAUJO, 2018; MACEDO, 2017), embora também se deseje um planejamento para a transformação em escala nacional (GOUVEIA, 2017).

Ainda com relação ao planejamento da expansão, a comissão do MEC que avaliou a expansão das universidades destaca que, mesmo com todas as IES argumentando que houve discussão com a Comunidade Interna e aprovação dos conselhos superiores, exigência do próprio REUNI, apenas 50% delas afirmaram que houve consulta com a sociedade civil organizada e poucas delas afirmaram que seguiu o seu próprio Plano de Desenvolvimento Institucional, muito embora deveriam criar o seu Plano de Reestruturação, conforme as diretrizes do programa (BRASIL, 2012). Ainda de acordo com essa comissão, tais problemas refletem-se na ruim localização geográfica dos *campi* e na baixa infraestrutura disponível (internet, transporte e infraestrutura de apoio para professores e alunos), no aparecimento de problemas administrativos e pedagógicos, uma vez que muitas obras não ficaram prontas em

tempo hábil, além da inadequação dos cursos às necessidades locais, tanto no que diz respeito à consolidação de áreas de conhecimento já existentes ou às novas áreas prioritárias, problemas esses que também foram sentidos na expansão dos IFET, constatados por Silva e Melo (2018), Bittencourt, Ferreira e Brito (2017) e Santos e Santos (2019).

A ampliação do número de vagas em IES, aliada à adoção do Sistema de Seleção Unificado, integrado ao Exame Nacional do Ensino Médio (SISU/ENEM) e ao sistema de cotas, trouxe para as instituições novos públicos estudantis, pertencentes a grupos sociais, econômicos, étnicos e geracionais historicamente excluídos (jovens das camadas populares, trabalhadores e estudantes da escola pública), mesmo que ainda exista grande desigualdade quando considerados aspectos de renda e raciais, sobretudo nos estratos mais altos das faixas de renda (TREVISOL, 2016; MANCEBO; SILVA JUNIOR; OLIVEIRA, 2018; PICANÇO, 2016). Ademais, o aumento da presença desses grupos minoritários explicita a necessidade do aumento de políticas de assistência estudantil e estímulo à criação do Programa Nacional de Assistência Estudantil (PNAES) (BRASIL, 2010).

O PNAES, juntamente com a política de cotas e o sistema ENEM/SISU representam inegáveis avanços nas Políticas de Ações Afirmativas, justificando a sua implantação e efetivação (JESUS; MAYER; CAMARGO, 2016). Focado no auxílio a estudantes em situação de vulnerabilidade social, esse programa aumentou em quatro vezes os investimentos nesta área, considerando apenas as universidades, muito embora tenha sido detectada sua necessidade de ampliação para o aumento ou melhora na oferta de: auxílio financeiro, alimentação, moradia, espaços de convivência e serviços de apoio (serviço social, psicologia, saúde, lazer, esporte e reforço escolar) (BRASIL, 2012).

É inegável o incremento do número de servidores, em especial o de docentes, todavia é imperativa a necessidade de se ajustar o número de servidores, a fim de atender às demandas acadêmicas e administrativas, sobretudo em aspectos qualitativos (BRASIL, 2012; LIMA; MACHADO, 2016). Esses mesmos autores argumentam ainda que a expansão das IES federais é imperativa para avanços nas concepções de gestão universitária por apresentar características especiais e possuir potencialidade de conflitos e tensões. Espera-se dos gestores competências que muitas vezes estão além de suas habilidades, entretanto as suas competências fazem referência principalmente, e quase que exclusivamente, às ações e vivências com seus pares no espaço organizacional, destacando a necessidade de treinamento (BARBOSA; MENDONÇA; CASSUNDE, 2016).

Além da sua configuração *multicampi* que dificulta a criação de uma unidade orgânica e traz consigo problemas administrativos e acadêmicos (FERNANDES, 2016; NEZ, 2016) e

dos desafios da expansão impostos para a gestão das instituições, destaca-se o momento de restrição orçamentária para as IES federais, contrapondo o cenário do início da expansão das IES (SILVA; MELO, 2018), que enseja o aumento da eficiência operacional, que, de acordo com Oliveira *et al.* (2014), não foi sentido no processo de expansão das IES. Ademais o uso da energia possui grande peso nas contas das IES e, como foi citado anteriormente, possui o maior Índice de Risco Ambiental nessas instituições (SENNA *et al.*, 2014), sendo imperativa a consolidação da institucionalização da Gestão Energética como parte integrante de um Sistema de Gestão Ambiental (SILVA *et al.*, 2016). Dessa forma, no tópico seguinte, serão discutidos os aspectos referentes aos Indicadores Ambientais e Índices de Eficiência Energética relevantes a esta pesquisa.

2.2 Indicadores ambientais e índices de eficiência energética

Borgstein, Lamberts e Hensen (2016) puderam identificar 17 exemplos de sistemas e esquemas de classificação de desempenho de energia em edifícios não residenciais existentes em cinco países (Brasil, Estados Unidos da América, Reino Unido, China e Austrália). Nesse estudo, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) foi caracterizado como um sistema de rotulagem com as classificações de ativos, aplicável a novos edifícios e grandes renovações que utilizam o método prescritivo ou simulação por comparação com edifícios nacionais. Com o foco na comparação do consumo de energia dos edifícios, essas técnicas de avaliação são aplicadas para classificar, taxar e ranquear o desempenho energético de edifícios de maneira compulsória ou voluntária e objetivam, na maioria dos casos, a garantia de níveis de desempenho e reduções de consumo de energia em edifícios, além de diferenciarem-se de acordo com o tipo (etiquetagem ou *benchmarking* simples, por exemplo), aplicação e metodologia de *benchmarking*.

Existem várias metodologias de avaliação do desempenho energético de edificações, podendo ser classificadas de várias maneiras, com base nas técnicas utilizadas. Para Hong *et al.* (2013) e Burman *et al.* (2014), podem ser do tipo *top-down* ou *bottom-up* (de cima para baixo ou de baixo para cima, respectivamente, na tradução literal), de modo que, na primeira abordagem, os *benchmarks* são obtidos com base nos valores de desempenho energético do edifício, enquanto que, em uma segunda abordagem, esses índices são obtidos através da análise teórica de um edifício. Já para Li, Han e Xu (2014), de acordo com o nível de controle do pesquisador nos processos de determinação, as metodologias podem ser do tipo caixa branca, cinza ou preta, de modo que: no primeiro modelo, as técnicas são puramente estatísticas, com

poucas informações exigidas em cada edifício; no segundo modelo, misturam-se uma análise física limitada da edificação com metodologias estatísticas; no último modelo, baseiam-se fortemente na estrutura física dos edifícios e são altamente dependentes de entradas do usuário. A escolha da metodologia deve se adequar ao objetivo do estudo, sendo bastante limitada pela disponibilidade de dados e pela relação custo-benefício de sua obtenção.

Existe uma discrepância entre o consumo projetado e o consumo real de energia elétrica, com seis fatores afetando fortemente o consumo de energia em edificações: Clima; Envoltória do edifício; Sistemas de construção; Operações e manutenção; Comportamento dos ocupantes; Condições ambientais internas (IEA, 2013). Percebe-se, portanto, que esses fatores se relacionam claramente com as condições ambientais, infraestrutura física da edificação e com o comportamento dos usuários, podendo ensejar um novo modelo de classificação das metodologias de determinação do desempenho energético de edificações. Assim, tendo em vista as variáveis utilizadas, sugere-se ainda uma reflexão sobre a elaboração de uma matriz de indicadores confiáveis para cada um destes últimos aspectos ambientais e posterior determinação de índices que pode ser objeto de trabalhos futuros. Ademais, puderam-se identificar e classificar as metodologias comumente utilizadas para a determinação do desempenho energético de edificações não residenciais (Tabela 3). Importante destacar ainda que, de acordo com o propósito da determinação do desempenho energético das edificações não residenciais, as metodologias podem ser independentes ou complementares.

Tabela 3 – Metodologias para a determinação do desempenho de edificações não residenciais

METODOLOGIA	DESCRIÇÃO	REFERÊNCIAS
Cálculos de Engenharia (<i>Botton-up</i> e caixa branca)	Totalmente baseados na física do edifício e em cálculos de engenharia.	Fucci <i>et al.</i> , 2016; Dua <i>et al.</i> , 2016; Houvila <i>et al.</i> , 2017
Métodos estatísticos (<i>Top-down</i> e caixa cinza ou preta)	Usam técnicas estatísticas para prever e avaliar o desempenho energético com base em conjuntos de dados existentes de construções múltiplas.	Silva <i>et al.</i> , 2018; Borgstein; Lamberts, 2014; e Li; Tao, 2017
Simulações (<i>Botton-up</i> e caixa cinza ou preta)	Envolvem o uso <i>softwares</i> para simular o desempenho de um edifício.	Zhaoa <i>et al.</i> , 2017; Ruiza <i>et al.</i> , 2016; Planas; Cuerva; Alavedra, 2018
Aprendizagem de máquina (<i>Top-down</i> e caixa preta)	Utilização de algoritmos que podem prever informações.	Ghahramani <i>et al.</i> , 2018; Wang, Chen e Hong, 2018; Cheng <i>et al.</i> , 2019; Glesk; Roper., 2018
Métodos dinâmicos e Análises em tempo real (<i>Top-down</i> e caixa preta)	Realizados através de sistemas de controle e técnicas de modelagem computacional.	Ahmadi-Karvigh <i>et al.</i> , 2018; Schibuola; Scarpa; Tambani, 2018; Lee <i>et al.</i> , 2018
Análise de curva de carga e desagregação de faturas de energia (<i>Top-down</i> e caixa preta)	Avaliação do desempenho do edifício usando informações facilmente disponíveis a partir de contas de energia.	Morais <i>et al.</i> , 2017b; Ketchman <i>et al.</i> , 2018; Niederberger; Champniss, 2018; Silva <i>et al.</i> , 2018

Auditoria energética (<i>Botton-up</i> e caixa-branca)	Técnica para avaliar o desempenho energético de um edifício e identificar seu potencial de melhoria analisando os principais sistemas de construção.	Rousseaux <i>et al.</i> , 2017; Mathioulakis <i>et al.</i> , 2017; Morais <i>et al.</i> , 2017b
Análise pós-ocupação, conforto e qualidade ambiental (<i>Botton-up</i> e caixa-cinza ou preta)	Avaliação do desempenho energético de edificações que considera fatores relacionados às pessoas	Ghahramani <i>et al.</i> , 2018; Fridgen <i>et al.</i> , 2018; Wang, Chen e Hong, 2018

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ademais, define-se indicador como um parâmetro (propriedade que é medida ou observada) ou um valor derivado de parâmetros, que fornece informações sobre ou descreve o estado de um fenômeno, ambiente ou área, com um significado que se estende além do diretamente associado ao valor do próprio parâmetro (NARDO *et al.*, 2008). Existem vários indicadores específicos, comprovados por estudos científicos e metodologicamente avançados para medir os aspectos relevantes ao desempenho ambiental esperado, sobretudo os objetivos definidos na Agenda 2030, destacando-se ainda a necessidade de considerar os conhecimentos científicos ainda na formulação das políticas ambientais de cada uma das organizações (HÁK; JANOUSKOVÁ; MOLDAN, 2016). Entretanto deve-se ajustá-los às necessidades das organizações, limitando o máximo possível o número de indicadores para minimizar o trabalho desnecessário (SUDIN; NASSLANDER; LELAR, 2015).

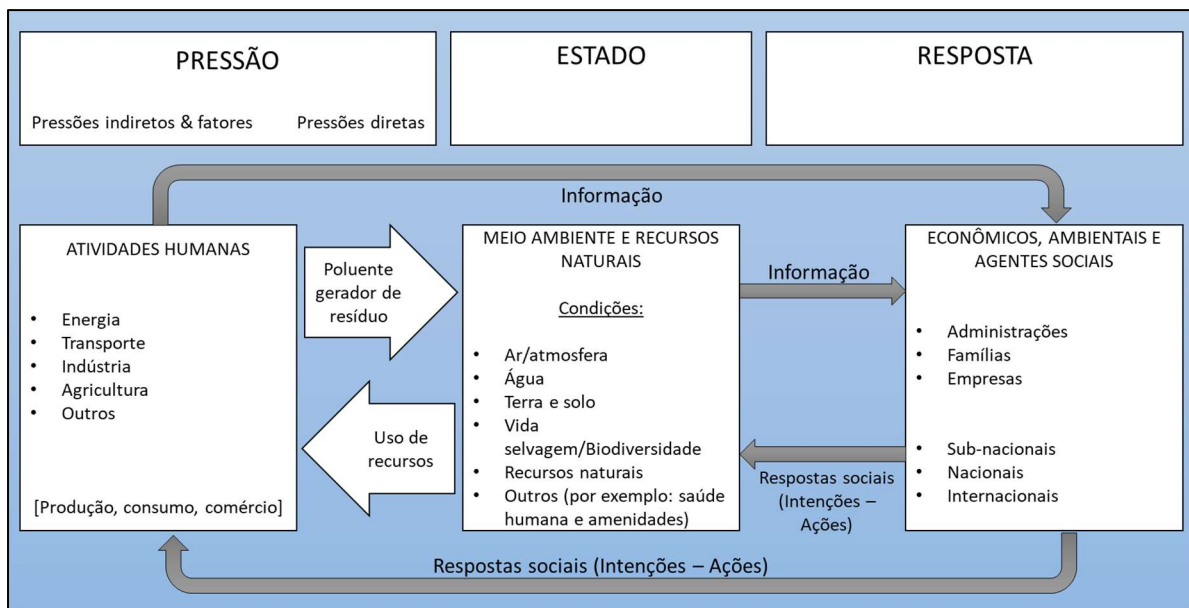
Pôde-se identificar 706 indicadores ambientais em um conjunto de 14 pacotes desenvolvidos por organizações internacionais, governamentais e não governamentais, escolhidos em função do seu sucesso de implementação. Tais indicadores foram divididos em função do tipo e da área de aplicação, com uma distribuição aproximada de 50%, 30% e 20% dos indicadores, podendo ser caracterizados como indicadores de Estado, Pressão e Resposta, respectivamente. Nessa caracterização, a maioria deles sendo referentes ao Ambiente Biótico, Qualidade e Uso dos Recursos Naturais e Contaminação Física e Química (BRAMBILA; FLOMBAUM, 2017). Existem, portanto, uma série de indicadores padronizados por diferentes organizações e relatórios, diferenciando-se por tipo e área de aplicação.

Terá destaque neste trabalho o Modelo PSR (Modelo Pressão-Estado-Resposta – *Pressure-Status-Response*) (Figura 3), definido pela *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD, 2003), organização internacional composta por 35 países, que, em sua maioria, são desenvolvidos. Desde 1994, a OECD relaciona-se com o Brasil, mas apenas em maio de 2017 recebeu um pedido de integração oficial (BRASIL, 2017).

A OECD fornece uma plataforma para comparar políticas econômicas de países, particularmente nas avaliações de desempenho ambiental e objetiva o desenvolvimento de

indicadores ambientais internacionais que são utilizados na tomada de decisões nacionais, internacionais e globais. Essa plataforma enfatiza sua cooperação contínua e influencia em atividades similares desenvolvidas por vários países e organizações internacionais como, por exemplo, a Organização das Nações Unidas, o Banco Mundial, a União Europeia e vários institutos internacionais (OCDE, 2018).

Figura 3 – Modelo Pressão-Estado-Resposta de indicadores ambientais



Fonte: Traduzida de OECD (2003).

Vale destacar, entretanto, que essa abordagem também pode ser usada para desenvolver indicadores em níveis subnacionais ou ecossistêmicos, reconhecendo que não existe um conjunto universal de indicadores, uma vez que esses parâmetros devem ser regularmente refinados e podem mudar com a evolução do conhecimento científico, do cenário político e da disponibilidade de dados. De acordo com o modelo PSR, os indicadores ambientais podem ser de três tipos (Figura 3):

- indicadores de Pressões Ambientais: representam as pressões diretas e indiretas que as atividades humanas exercem sobre o meio ambiente;
- indicadores de Condições Ambientais: refletem a qualidade do meio ambiente e dos recursos naturais;
- indicadores de Respostas Sociais: refletem as ações individuais ou coletivas destinadas a mitigar os efeitos negativos das ações antrópicas no meio ambiente (OECD, 2003).

Pôde-se identificar a utilização dessa metodologia em vários artigos recentemente publicados com aplicabilidade em várias áreas como: indústria marinha (HAN *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2018), avaliação de ecossistemas (LIAO *et al.*, 2018), ambiente urbano (WANG *et al.*, 2018; HUANG *et al.*, 2018), indicadores ambientais (CABELLO *et al.*, 2018) e sustentabilidade ambiental (AVELAR *et al.*, 2018), por exemplo. Apreende-se, ainda, da Figura 3 que esses três tipos de indicadores ambientais relacionam-se em um ciclo, de modo que as pressões ambientais influenciam no meio ambiente com a utilização de recursos e impactos ambientais, ao mesmo tempo em que as condições do meio ambiente devem incentivar decisões e ações que impactem positivamente no ciclo.

A OECD (2003) também fornece uma metodologia de seleção e validação de indicadores ambientais definida e tem duas funções principais: reduzir o número de medidas e parâmetros investigados e simplificar o processo de comunicação dos resultados, devendo ser selecionados com base em três critérios:

- Relevância e utilidade: devem apresentar relevância nacional e servir de base para comparações internacionais, com um limite ou valor de referência que possibilite avaliar o significado dos valores associados a ele, demonstrando tendências cronológicas;
- Solidez e Analiticidade: devem ser bem fundamentados técnica e cientificamente, validados por padrões e consensos internacionais, além de estarem ligados a modelos econômicos;
- Mensurabilidade: devem estar disponíveis e poder ser obtidos com uma relação custo-benefício aceitável, com atualizações regulares e qualidade, sendo documentados adequadamente (OCDE, 2003).

É importante destacar que algumas questões ou tópicos não podem ser avaliados corretamente por medidas quantitativas ou indicadores. Entretanto, mesmo quando isso é possível, os indicadores sozinhos não são capazes de fazer uma correta avaliação do desempenho ambiental, devendo sempre que possível ser agregados ou ponderados e comporem índices, sendo necessária ainda a sua complementação com análise e interpretação, além de informações e dados adicionais.

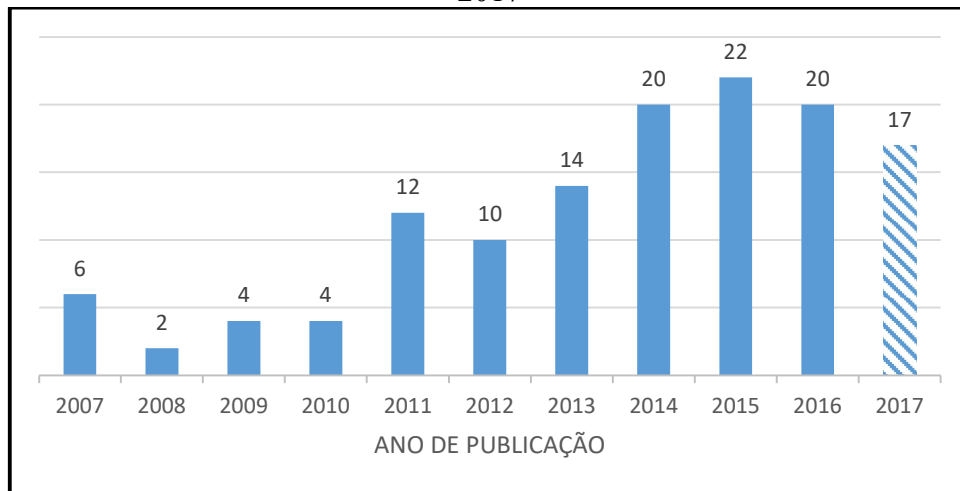
Existem várias formas de se determinar Índices de Eficiência Energética (IEE), com esses parâmetros sendo capazes de fornecer soluções para edificações, e apoiar sistemas de gestão energética através da previsão do consumo de energia, coleta de dados para determinação

da performance energética, fornecendo referências de *benchmarking* e verificação de economia e desperdícios de energia (BAKAR *et al.*, 2015). É objetivo da gestão energética a melhoria contínua do uso da energia. Dessa forma, como não se pode gerenciar o que não se pode medir, analisou-se as técnicas de determinação dos IEE em Edificações publicados recentemente em periódicos internacionais.

Em recente pesquisa no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), sistema de busca de artigos acadêmicos (CAPES, 2017), pesquisaram-se os artigos que continham as expressões em inglês “*energy efficiency index*” e “*building*”, com o objetivo de selecionar o maior número de publicações, unidas pelo operador booleano “AND”, publicados no período de 01 de janeiro de 2007 a 30 de maio de 2017. Para o refinamento da pesquisa, utilizaram-se os filtros “Tipo de material” e “Idioma” para selecionar apenas os artigos em inglês, além da opção “Periódicos revisados por pares” para garantir uma maior relevância do material encontrado. Após essa filtragem, fez-se o refinamento da amostra e excluíram-se os artigos repetidos, os “não científicos” e os de autoria desconhecida. A pesquisa cienciométrica foi realizada para avaliar toda a produção científica relevante à determinação de Índices de Eficiência Energética no período analisado. Todavia, após essa busca inicial, a revisão de literatura continuou com os artigos publicados mais recentemente, porém sem o rigor da cienciométrica, destacando-se apenas os mais relevantes.

A quantidade de filtros do Portal de Periódicos da CAPES é limitada, não sendo possível, por exemplo, restringir as buscas ao “título”, ao “resumo” ou às “palavras-chave”, por exemplo, razão pela qual se optou por utilizar um termo de busca mais restritivo (“*Energy Efficiency Index*”) ao invés de outros mais genéricos como: “*Energy*” ou “*Energy Efficiency*”. A Pesquisa Cienciométrica, com os termos e filtros utilizados, retornou um total de 143 artigos publicados nesses dez anos. Após o refinamento da amostra, excluíram-se cinco artigos repetidos (BAKAR *et al.*, 2015; KEYVANFAR *et al.*, 2014; KUMAR; MARJANOVIC-HALBURD, 2014; LU; HU; MA; WEN, 2014; SHIMODA; CHOONCHUACHAN; MIZUNO, 2007), cinco artigos “não científicos” (quatro deles do periódico: *World Pumps*) e dois artigos de autoria desconhecida ou não informada ([?], 2011; [?], 2013), restando na amostra um total de 131 artigos. Destaca-se um aumento no número de artigos publicados a partir de 2011 e o ano de 2017, com 17 publicações sobre a temática, seis artigos a mais que a média do período estudado apenas nos cinco primeiros meses do ano (Figura 4).

Figura 4 – Frequência da publicação sobre os Indicadores de Eficiência Energética de 2007 a 2017



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os artigos identificados foram publicados em 46 periódicos diferentes, e destacam-se positivamente os periódicos: “*Energy*”, com o maior número de publicações (16 publicações), e “*Renewable & sustainable energy reviews*”, com o maior Fator de Impacto (média de 8,05 citações para cada artigo publicado no periódico). A busca por termos na Língua Inglesa possibilitou que se encontrassem artigos originários de 34 países diferentes, com uma média de 3,85 artigos por país, destacando-se a China com o maior número de publicações (24 publicações, mais que o dobro da Espanha, segundo colocado) e o Brasil com apenas cinco publicações (3,8% do total), número que talvez pudesse ser maior, caso os termos fossem buscados em Língua Portuguesa.

Com relação aos artigos publicados por pesquisadores de instituições brasileiras, ressalta-se o fato de dois dos cinco artigos (FOSSATI *et al.*, 2016; OLIVEIRA; REBELATTO, 2015) estudarem a eficiência energética em edificações residenciais, com os autores destacando a necessidade de alterações no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (Tabela 4). Além disso, destaca-se o artigo de Agostinho e Siche (2014), que, mesmo pesquisando as Usinas Produtoras de Etanol de Cana-de-açúcar, *a priori* temática diferente desta investigação, traz uma conclusão importante sobre os Índices de Eficiência Energética em edificações, que são o objeto de estudo deste trabalho (Tabela 4).

Tabela 4 – Relação de artigos sobre os Índices de Eficiência Energética publicados por pesquisadores brasileiros

ARTIGO	OBJETIVO GERAL	TÉCNICAS UTILIZADAS	PRINCIPAIS CONCLUSÕES
<i>Building energy efficiency: an overview of the brazilian residential labeling scheme</i> (FOSSATI <i>et al.</i> , 2016)	Revisa os códigos e sistemas de etiquetagem da eficiência energética de edifícios em todo o mundo, apresenta uma visão geral das normas brasileiras sobre eficiência energética e discute o esquema de rotulagem para edifícios residenciais adotados no Brasil.	<i>Energy Labelling</i>	Indica que é necessária uma revisão para conseguir um processo mais flexível e economicamente viável que permita ao programa ser estabelecido como obrigatório.
<i>The evaluation of electric energy consumption in the brazilian residential sector: a technological improvement proposal in order to increase its efficiency</i> (OLIVEIRA; REBELATTO, 2015)	Avaliar o impacto econômico e financeiro das medidas governamentais para reduzir o consumo de energia de refrigeradores, congeladores, aparelhos de ar condicionado e chuveiro elétrico através de tecnologias mais eficientes.	<i>Regression Analysis; Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) Method.</i>	Se o governo estabelecesse novas metas de redução e incentivasse o uso de tecnologias mais eficientes, haveria uma redução significativa do consumo, mantendo níveis de preços atuais para a compra dos aparelhos mais eficazes, ao mesmo tempo em que trazem retornos financeiros significativos ao Estado.
<i>Influence of natural and artificial light on structured steel buildings</i> (CASTANHEIRA <i>et al.</i> , 2015)	Compila diversas variáveis que interferem diretamente no desenvolvimento de projetos arquitetônicos para projetos de iluminação em construções estruturadas em aço.	Apenas cita Stroker (2003) por apresentar uma análise de Índices de Eficiência Energética e de Iluminação, sem dar maiores detalhes.	O uso de iluminação natural em edifícios e, em particular, aqueles com predominância de ocupação diurna podem contribuir significativamente para a eficiência energética, para o conforto visual e para o bem-estar de seus ocupantes.
Hidden costs of a typical embodied energy analysis: Brazilian sugarcane ethanol as a case study (AGOSTINHO; SICHE, 2014)	Discute pontos teóricos, dentro de uma análise de energia incorporada para responder questões relacionadas ao conceito de renovabilidade na produção de etanol de cana-de-açúcar.	<i>Embodied Energy Analysis; Energy Accounting</i>	As metodologias científicas utilizadas respondem negativamente ao seu problema de pesquisa, mas ressalta que as metodologias disponíveis fornecem diferentes indicadores com diferentes significados e devem ser usadas adequadamente, evitando conclusões mais amplas, que não são realmente representadas pelos índices calculados.
ECO-ALOC: Energy-efficient resource allocation for cluster-based software routers (FRAGNI; COSTA, 2012)	Explora o uso de roteadores de <i>software</i> baseados em <i>cluster</i> como forma de compartilhar recursos de hardware, reduzir custos e economizar energia.	<i>Server Energy Efficiency Index</i>	Mostrou que o sistema proposto fornece economias de energia de até 93%, dependendo dos computadores que estão na rede.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisou-se ainda o conteúdo de todos os artigos publicados em 2016 e 2017 (41 artigos) que foram selecionados com a metodologia proposta e com o objetivo de identificar qual a

técnica utilizada para a determinação dos Índices de Eficiência Energética. Foram identificadas 41 técnicas diferentes e, das técnicas que foram utilizadas por pesquisadores brasileiros, apenas a Etiquetagem de Energia (*Energy Labeling*) ganhou destaque (Tabela 5).

Tabela 5 – Técnicas mais utilizadas atualmente na elaboração de Índices de Eficiência Energética

ÍNDICES E TÉCNICAS	REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA
DEA (<i>Data Envelopment Analysis</i>)	Wanga <i>et al.</i> , 2017; Li; Tao, 2017; Jebali; Essid; Khraief, 2017; Liao <i>et al.</i> , 2016; Molinos-Senante; Encinas; Ureta, 2016; Chang, 2016; Chen <i>et al.</i> , 2016; Makridou <i>et al.</i> , 2016	Metodologia de análise de eficiência relativa que compara uma eficiência otimizada com a eficiência das unidades analisadas estabelecendo um índice de avaliação da eficiência da relação insumos/produtos dessas unidades quando existem várias entradas e saídas.	8
<i>Coefficient of Performance (COP); Energy Efficiency Ratio (EER); Energy Efficiency of Water Transportation; Energy Consumption Proportions of Heat Pump; Potential Energy Efficiency Index</i>	Fucci <i>et al.</i> , 2016; Dua <i>et al.</i> , 2016	Razão entre a energia útil fornecida para o sistema e a energia consumida no processo.	7
<i>Multiple Linear Regression</i>	Wanga <i>et al.</i> , 2016; Morris <i>et al.</i> , 2016; Ramos; Labandeira; Löschel, 2016	Abordagem para modelar a relação entre uma variável escalar dependente e mais de uma variável explicativa.	3
<i>Regression Analysis</i>	Zhaao <i>et al.</i> , 2017; Sekkia <i>et al.</i> , 2016; Oliveira; Rebelatto, 2015	Técnica que permite explorar e inferir a relação de uma variável dependente com variáveis independentes específicas (variáveis explicativas).	3
<i>Decision Tree</i>	Rousseaux <i>et al.</i> , 2017; Wanga <i>et al.</i> , 2017	Ferramenta de suporte à decisão que usa um gráfico ou modelo de decisões em árvore e suas possíveis consequências, incluindo resultados de evento casual, custos de recursos e utilidade, sendo amplamente utilizado para relacionamentos ocultos entre múltiplas entidades.	2
<i>Ecodesign Tool</i>	Rousseaux <i>et al.</i> , 2017; Mathioulakis <i>et al.</i> , 2017	Ferramentas para integrar o design ecológico nos processos, considerando os impactos ambientais do produto durante todo o ciclo de vida, que podem ser normativas ou não-normativas, genéricas ou setoriais, bem como "ambientais" ou "de melhoria".	2

<i>Energy Labelling</i>	Mathioulakis <i>et al.</i> , 2017; Fossati <i>et al.</i> , 2016	Etiquetagem de produtos, processos e sistemas para informar sua eficiência energética, podendo conter índices e indicadores.	2
<i>Energy-pollution Efficiency Index (EPEI); Energy-pollution Productivity Change Index (EPPCI)</i>	Li, Han e Xu, 2016	Média aritmética de um índice específico com um Índice de Eficiência Energética.	2
ODEX Energy Efficiency Index (ODEX EEI)	Copiello, 2017; Ringel <i>et al.</i> , 2016	Utilizado para fornecer um monitoramento abrangente das tendências de consumo de energia e eficiência, bem como uma avaliação das medidas políticas de eficiência energética por setor para países da União Europeia, calculado como uma média ponderada de índices sub-setoriais de progresso da eficiência energética, com metodologia específica.	2
<i>Simulated Energy Consumption (SEC)</i>	Zhaoa <i>et al.</i> , 2017; Ruiza <i>et al.</i> , 2016	Simulação do consumo de energia com a utilização de software.	2
<i>Stochastic Frontier Analysis</i>	Li; Tao, 2017; Lundgren; Marklunda; Zhanga, 2016	Metodologia de análise de eficiência relativa que compara uma eficiência otimizada com a eficiência das unidades analisadas estabelecendo um índice de avaliação da eficiência da relação insumos/produtos dessas unidades quando existem várias entradas e uma única saída.	2

Fonte: Elaborada pelo autor.

A técnica que apareceu com maior frequência foi a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), entretanto a simples “Razão” entre dois indicadores ou índices consolidados, com pelo menos um deles relacionado à energia, ainda é muito utilizada. Conforme será visto posteriormente, a DEA serve para avaliar o grau de eficiência de unidades produtivas, considerando os insumos disponíveis (*inputs*) e os resultados alcançados (*outputs*). Utilizando-se as medições desses parâmetros em cada uma das unidades produtivas analisadas, essa metodologia é capaz de determinar a Eficiência Relativa através de Programação Linear (JI; LEE, 2010).

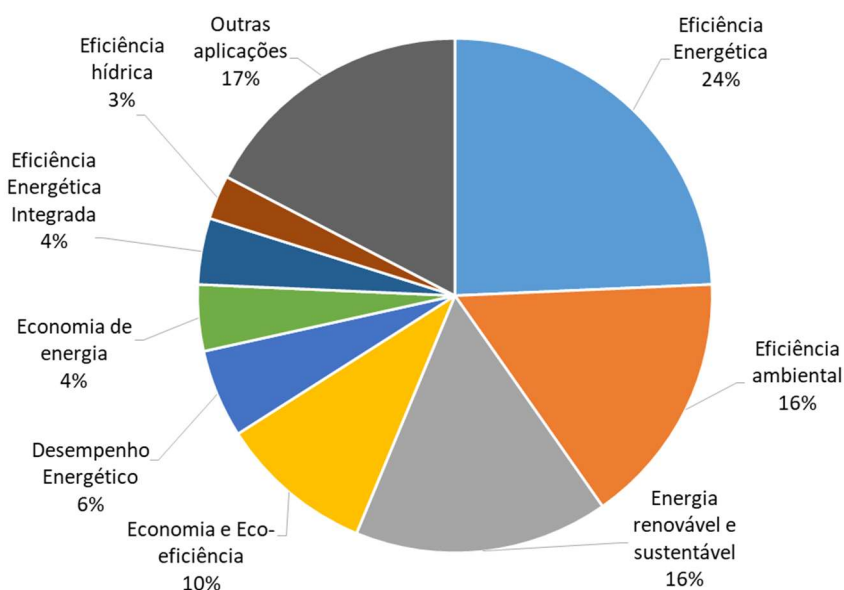
Nesse levantamento, destaca-se ainda a utilização da DEA em dois estágios (*DEA Two-stage Procedure*) e em três estágios (*DEA Three-stage Procedure*), utilizadas por Jebali *et al.* (2017) e Chen *et al.* (2016), respectivamente, que são variações da DEA, caracterizadas como DEA em Múltiplos Estágios (*Multi-stage DEA*), que visam a minimizar os efeitos de influências secundárias nos índices utilizados, além da técnica *DEA-Discriminant Analysis*, também utilizada por Chen *et al.* (2016) para realizar outras comparações entre as unidades

com o máximo de eficiência, determinados pela DEA convencional, haja vista que todas essas unidades recebem o mesmo índice (índice igual a 1).

Mesmo com os poucos filtros disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES, a pesquisa com termos restritivos retornou 131 artigos adequados (91,6% dos artigos selecionados pelo portal) e a opção por pesquisar os termos na Língua Inglesa mostrou-se acertada por retornar artigos de 34 países diferentes, mas pode ter sido a razão de não se encontrar muitos artigos produzidos por pesquisadores de instituições brasileiras. A DEA também foi o objeto de estudo da pesquisa cienciométrica de Mardani *et al.* (2017), que tinha como objetivo revisar os documentos que utilizaram essa técnica para avaliar a eficiência energética em nove diferentes áreas de aplicação que foram publicados de 2006 a 2015 em 45 revistas internacionais da base de dados da *Web of Science*, identificando 144 publicações, com a distribuição, conforme mostrado na Figura 5.

Com a seleção de modelos de análise apropriados, a DEA pode ser útil para pesquisadores interessados em utilizá-la para estudar questões de energia e meio ambiente, dada a importância das técnicas de modelagem nessas áreas com o crescente interesse em comparações de desempenho (MARDANI *et al.*, 2017). No tópico seguinte, devido a sua relevância, a DEA será apresentada com destaque aos seus modelos clássicos, uma vez que ela será utilizada na metodologia de pesquisa por considerar análises cíclicas e o paradigma sistêmico do meio ambiente.

Figura 5 – Distribuição percentual de artigos sobre Análise Envoltória de Dados por área de aplicação



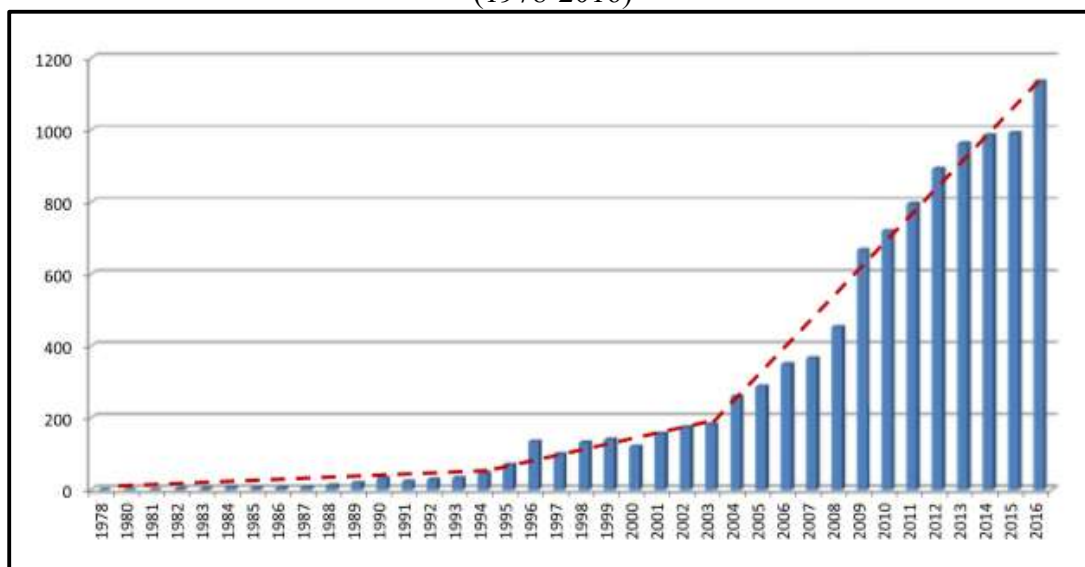
Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de Mardani *et al.* (2017).

2.3 Análise envoltória de dados

Desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) que objetivavam o desenvolvimento de medidas de eficiência de Unidades Tomadoras de Decisão (*Decision Making Units* – DMU) para avaliação de programas públicos (utilizada inicialmente em um programa educacional para a avaliação de escolas), a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é uma técnica não paramétrica utilizada para avaliar o grau de eficiência de unidades produtivas semelhantes, considerando os insumos disponíveis (*inputs*) e os produtos alcançados (*outputs*). Utilizando-se as medições desses parâmetros em cada uma dessas DMU analisadas (unidades produtivas que se desejam avaliar e comparar com outras de mesma natureza e responsáveis por transformar os *inputs* em *outputs*), essa metodologia é capaz de determinar a Eficiência Relativa (parâmetro que varia de zero a um) em relação aos que obtiveram desempenho máximo dentre os cenários analisados (índice um de Eficiência Relativa) através de Programação Linear (JI; LEE, 2010).

Desde a sua criação, pôde-se identificar um total de 10.300 artigos publicados por 11.975 autores diferentes, com um crescente aumento no número de publicações nos últimos anos, destacando-se a eficiência ambiental e a agricultura como as palavras-chave e áreas de estudo mais populares nas publicações de 2016 e 2017, respectivamente (EMROUZNEJAD; YANG, 2018). Na Figura 6, é mostrado o número de artigos publicados por ano, com destaque para o grande número de artigos veiculados sobre essa temática a partir de 2004 (média de 680, por ano, até 2016):

Figura 6 – Distribuição dos artigos publicados sobre a Análise Envoltória de Dados por ano (1978-2016)



Fonte: Emrouznejad e Yang (2018).

A DEA utiliza dados multivariados e cria fronteiras de eficiência objetivando a maior razão entre as combinações lineares dos *outputs* e *inputs*, classificando-se de acordo com os tipos de retorno de escala em dois modelos clássicos: CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) ou BCC (Banker, Charnes e Cooper), sendo o primeiro mais adequado, quando não existem diferenças de escala entre as amostras, e o segundo mais adequado, quando essa diferença existe (CHEN *et al.*, 2016). Importante destacar que, de acordo com Banker *et al.* (1989), deve-se respeitar a Regra de Ouro (*Golden Rule*) da DEA de que o número de DMUs deve atender a dois critérios: ser maior ou igual a três vezes a soma total do número de variáveis (*inputs* e *outputs*) utilizadas e ser maior ou igual ao produto do número de *inputs* e *outputs*.

O modelo CCR, desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), também é conhecido por *Constant Return Scale* (CRS) e considera que um aumento na utilização de insumos deve promover um aumento proporcional nos resultados. Já o modelo BCC, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), é conhecido por *Variable Return Scale* (VRS) e considera que o aumento da utilização de *inputs* também deve provocar um aumento nos *outputs*, entretanto esse aumento pode ser proporcionalmente maior, menor ou igual. Como consequência, o modelo CCR cria uma fronteira de eficiência que tem a forma de uma reta (linear), enquanto a fronteira criada pelo modelo BCC é côncava, contornando as DMU com maior eficiência, sendo, portanto, menos exigente e mais flexível que a primeira.

A DEA pode ser facilmente visualizada num plano cartesiano de dados bivariados em que as entradas e as saídas são representadas por uma única variável ou por uma única combinação linear das variáveis. Dessa forma, para ilustrar essas técnicas, passaremos a determinar a Eficiência Energética Relativa de todos os setores industriais do Brasil no ano de 2016, utilizando como dados de entrada o consumo de energia medido em toneladas equivalentes de petróleo (tep) de cada um dos setores da indústria no Brasil; e, por sua vez, como dados de saída, os Produtos Internos Brutos (PIB), que também foram produzidos por cada um deles, medido em dólares americanos, de acordo com os dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), excluindo-se para fins didáticos o setor identificado no documento como “Outras indústrias” (Tabela 6).

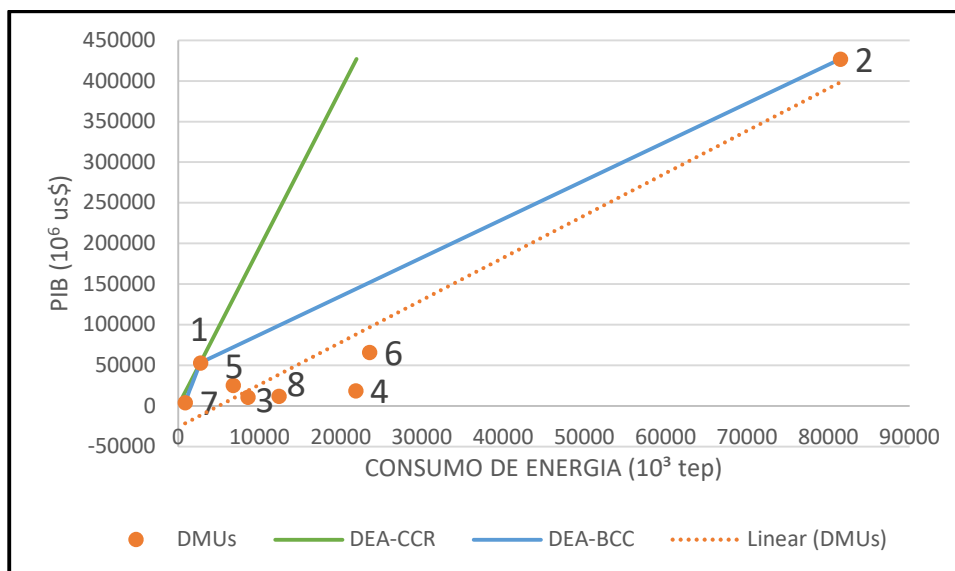
Tabela 6 – Consumo de energia e Produto Interno Bruto dos setores das indústrias do Brasil em 2016

DMU	SETORES	<i>INPUT</i>	<i>OUTPUT</i>
		Consumo energético (10 ³ tep)	PIB (10 ⁶ US\$)
1	Extrativista mineral	2714	52826
2	Transformação	81469	427157
3	Não metálicos	8543	10981
4	Metalúrgica	21836	18689
5	Química	6743	25335
6	Alimentos e bebidas	23531	65933
7	Têxtil	842	3969
8	Papel e Celulose	12382	11920

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de EPE (2017).

As fronteiras de eficiência criadas pela DEA como os modelos CCR e BBC foram determinadas (Figura 7) e contrastam com os modelos de regressão tradicionais, como de regressão linear também mostrada no gráfico, evidenciando que essa última técnica não é eficaz para modelar matematicamente a eficiência por não representar o potencial máximo da utilização de insumos.

Figura 7 – Fronteiras de Eficiência Energética dos setores industriais do Brasil em 2016



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de EPE (2017).

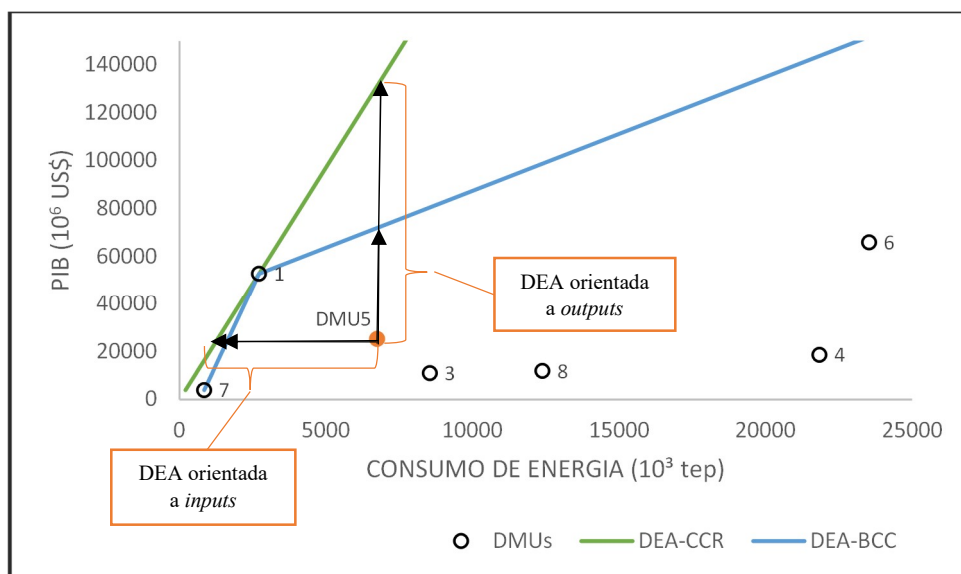
Pode-se definir a produtividade de uma DMU como sendo a razão entre os insumos e produtos. Através da DEA, definidas as fronteiras de eficiência, é possível estabelecer-se valores-alvo ou metas para a redução dos insumos ou para o aumento dos produtos de cada uma

das DMU para que elas possam se tornar eficientes, de acordo com o tipo de orientação (orientados a *inputs* ou *outputs*, respectivamente). Dessa forma os índices de eficiência definidos por essa análise variam de zero a um e representam a razão entre a produtividade dessa unidade e a produtividade da DMU eficiente, de acordo com o modelo e a orientação escolhida para a DEA.

Independentemente do modelo utilizado, os índices criados pela DEA representam a distância de cada uma das DMU à respectiva curva de eficiência, de modo que, para atingir essa fronteira de eficiência, três soluções são possíveis (

Figura 8): manter constantes as entradas e aumentar as saídas (DEA orientada a *outputs*) ou manter constantes as saídas e diminuir as entradas (DEA orientada a *inputs*), ou, simultaneamente, diminuir as entradas e aumentar as saídas (melhor opção), permitindo o contínuo processo de aprimoramento (WANGA *et al.*, 2017). A DEA fornece, portanto, indicações do que melhorar para atingir melhor grau de eficiência em uma análise cíclica porque pode ser repetida em ciclos de medição subsequentes.

Figura 8 – Análises Envoltórias de Dados orientadas a *inputs* ou *outputs*



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de EPE (2017).

Esses índices são facilmente determinados para dados bivariados. Utilizando a

Figura 8, pode-se definir, por exemplo, que o índice de eficiência da DMU5 com o modelo CCR ou BCC orientado a *inputs* é a razão entre a sua produtividade e a produtividade de uma DMU fictícia, definida pela projeção horizontal dessa unidade na respectiva curva de eficiência, enquanto que esse mesmo índice orientado a *outputs* é a razão entre a produtividade

dessa unidade e a produtividade da projeção vertical dela sobre a curva do respectivo modelo. O modelo CCR retorna o mesmo valor para o índice, independentemente da orientação, o que não acontece com o modelo BCC por causa de um fator na sua determinação para adequar a técnica às diferenças de escala das DMU. A Tabela 7 apresenta os índices de eficiência dos setores da indústria brasileira no ano de 2016 determinados por cada um dos métodos:

Tabela 7 – Índices de Eficiência Energética e metas para os *inputs* e *outputs* com base na Análise Envoltória de Dados para as indústrias do Brasil em 2016

DMU	CCR			BCC			
	IEE	Orientação <i>input</i>	Orientação <i>output</i>	Orientação <i>input</i>		Orientação <i>output</i>	
		ALVO <i>Input</i>	ALVO <i>Output</i>	IEE	ALVO <i>Input</i>	IEE	ALVO <i>Output</i>
1	1,00	203,91	16388,91	1,00	842,00	1,00	3969,00
2	0,27	564,16	52826,00	1,00	1110,67	1,00	52826,00
3	0,07	612,40	131247,50	0,13	1146,65	0,14	71976,27
4	0,04	960,17	166283,17	0,06	1406,01	0,13	80531,87
5	0,19	1301,62	241006,46	0,25	1660,66	0,35	98779,05
6	0,14	2714,00	425021,57	0,23	2714,00	0,43	143714,93
7	0,24	3387,39	458013,49	1,00	5471,56	1,00	151771,44
8	0,05	21945,71	1585733,75	0,09	81469,00	0,12	427157,00

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de EPE (2017).

As Equações 1 e 2 definem as técnicas de CCR orientadas a *inputs* e *outputs*, respectivamente, e as Equações 3 e 4 definem as técnicas de BCC orientadas a *inputs* e *outputs*, na forma de programação linear que pode ser facilmente implementada em uma planilha eletrônica, com estas equações devendo ser desenvolvidas para cada uma das DMU analisadas:

$$\text{Max } Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^r u_i x_{io} = 1 \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j$$

$$\text{Min } h_o = \sum_{i=1}^r v_i x_{io}$$

$$Eff_o = \frac{1}{h_o}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall j, i$$

$$\text{Max } Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} + u_o$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
\sum_{j=1}^r u_j x_{io} &= 1 \\
\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + u_o &\leq 0, \forall k \\
v_i, u_j &\geq 0, \forall i, j \\
u_o &\in \mathcal{R}
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
\text{Min } h_o &= \sum_{i=1}^r v_i x_{io} + v_o \\
\text{Eff}_o &= \frac{1}{h_o} \\
\text{Sujeito a:} \\
\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} &= 1 \\
\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - v_o &\leq 0, \forall k \\
u_j, v_i &\geq 0, \forall j, i \\
u_o &\in \mathcal{R}
\end{aligned} \tag{4}$$

Onde: Eff_o – Eficiência da DMU analisada;

v_i e u_j – pesos de *inputs* i , $i = 1, \dots, r$, e *outputs* j , $j = 1, \dots, s$, respectivamente, e variáveis de decisão das programações lineares

x_{ik} e y_{jk} – *inputs* i e *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$

x_{io} e y_{jo} – *inputs* i e *outputs* j da DMU analisada

h_o – inverso da eficiência da DMU analisada

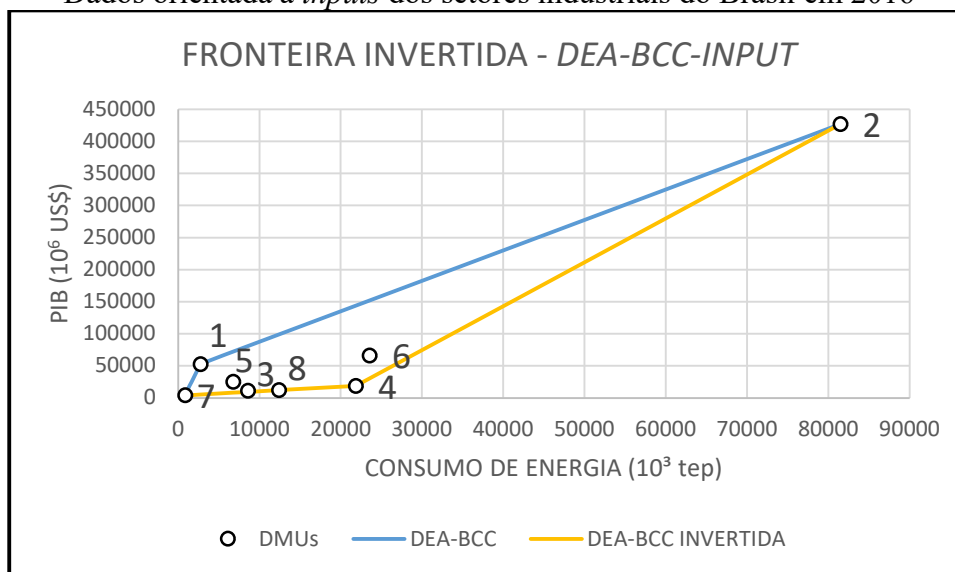
u_o e v_o – variáveis duais associadas ao alvo da DMU analisada (ANGULO MEZA *et al.*, 2004).

Desse modo, definindo-se o consumo e a demanda de energia como entradas de um processo produtivo e utilizando-se o modelo orientado a *inputs* em uma Análise Envoltória de Dados, pode-se estabelecer metas para a redução desse insumo, e utilizando-se o modelo orientado a *outputs* pode-se estabelecer metas para o aumento da produção, determinados em função dos pesos definidos para cada uma das DMU analisadas e variáveis de decisão das programações lineares. Ambas as estratégias levam ao aumento da eficiência energética das DMU, devendo ser estimuladas, simultaneamente, através de uma estratégia de *Benchmarking*, sendo monitoradas com o estímulo à melhoria contínua, objetivo de todo sistema de gestão. Essa estratégia de gestão visa a atingir e a ultrapassar o que é considerado o melhor nível e, como a DEA determina índices de eficiência energética relativa, pode-se dividir os índices de eficiência em vários níveis com largura igual, com o seu comprimento definido, conforme a Equação 5.

$$\text{Comprimento do nível} = \frac{\text{maior índice} - \text{menor índice}}{\text{número de níveis}} \tag{5}$$

Conforme pôde ser visto na Tabela 7, em uma mesma DEA, diversas unidades produtivas podem receber o índice de Eficiência Energética igual a 1, entretanto, em alguns casos, faz-se necessária a criação de um ranking das DMU ordenando as unidades com base na sua eficiência. Além da técnica da análise discriminante, utilizada por Chen *et al.* (2016), cienciométrica e evidenciada no Tópico 2.1, pode ser aplicada a técnica da Fronteira Invertida, destacada nesse trabalho em função do *software* que será utilizado. Introduzida por Yamada, Matui e Sugiyama (1994) e Entani, Maeda e Tanaka (2002), essa técnica determina uma curva de eficiência utilizando como parâmetro as DMU com as piores produtividades. Na prática, para a determinação dessa curva de ineficiência, deve-se utilizar as mesmas equações da Análise Envoltória de Dados tradicional, invertendo-se os *inputs* e *outputs*. A Fronteira Invertida da DEA com o modelo BCC orientado a *inputs* dos dados da Tabela 6 é mostrada na Figura 9:

Figura 9 – Fronteira Invertida do modelo Banker, Charnes e Cooper da Análise Envoltória de Dados orientada a *inputs* dos setores industriais do Brasil em 2016



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa forma, pode-se determinar um novo índice de eficiência composto pela DEA convencional e invertida para ranquear as DMU que obtiveram índices de eficiência iguais a 1 utilizando-se a Equação 6, que deve ainda ser normalizado, ou seja, dividido pelo maior índice calculado para a série de dados, conforme a Equação 7.

$$Eficiência\ composta = \frac{Eficiência\ padrão - Eficiência\ invertida + 1}{2} \quad (6)$$

$$Eficiência\ composta\ normalizada = \frac{Eficiência\ composta\ da\ DMU}{Maior\ valor\ encontrado} \quad (7)$$

Os Índices de Eficiência Energética dos setores industriais do Brasil em 2016, bem como o seu ranking determinado pela DEA com o modelo BCC orientado a *inputs* utilizando os dados da EPE (2017) são mostrados na Tabela 8:

Tabela 8 – Índices e ranking de Eficiência Energética dos setores industriais do Brasil em 2016

DMU	ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				RANKING
	Padrão	Invertida	Composta	Composta normalizada	
1	1,00	0,10	0,95	1,00	1º
2	1,00	1,00	0,50	0,53	2º
3	0,13	0,78	0,18	0,19	6º
4	0,06	1,00	0,03	0,03	8º
5	0,25	0,30	0,48	0,50	4º
6	0,23	0,82	0,21	0,22	5º
7	1,00	1,00	0,50	0,53	2º
8	0,09	1,00	0,05	0,05	7º

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de EPE (2017).

Importante destacar que as técnicas utilizadas para ranquear as DMU após a DEA podem dar resultados diferentes ou ainda não serem suficientes para distinguir todas elas, como nesse exemplo em que ambas as DMU 2 e 7 obtiveram índices iguais nas DEA padrão e invertida, ficando no segundo lugar do *ranking*. A DEA caracteriza-se, portanto, como uma técnica para a avaliação do desempenho de unidades semelhantes *top-down* e caixa preta, sendo relevante na determinação de índices, níveis e rankings adequados para uma estratégia de gestão ambiental e *benchmarking*.

Daraio *et al.* (2017) realizaram uma pesquisa nas bases de dados dos portais Scopus e Google Scholar com o objetivo de determinar quantos e quais softwares existem para a análise da produtividade e eficiência. Incluíram apenas os programas ou softwares que são difundidos como um pacote ou uma caixa de ferramentas e para os quais há documentação suficiente em inglês para o usuário, destacando a crescente disponibilidade de ferramentas para a implementação de eficiência. Identificaram, portanto, sete softwares de propósitos gerais que têm essa capacidade e 21 programas dedicados, além de três programas *online* (Tabela 9).

Tabela 9 – *Softwares* disponíveis para a Análise de Produtividade e Eficiência

Softwares	Tipos	Técnica utilizada
AMPL; GAMS; Mathematica; Matlab	Generalista	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)
R; SAS; STATA	Generalista	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) & <i>Stochastic Frontier Analysis</i> (SFA)
BSFM; DEA-Excel; DEAFrontier; DEAQual; DEA-Solver-Pro; DPIN; SEM; Frontier Analyst; Inverse DEA; MaxDEA; OnFront; Open Source DEA; PIM-DEAsoft; ISYDS (SIAD); SmartDEA; TFPIP	Dedicado	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)
Frontier; WinBUGS	Dedicado	<i>Stochastic Frontier Analysis</i> (SFA)
LIMDEP; NLOGIT	Dedicado	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) & <i>Stochastic Frontier Analysis</i> (SFA)
DEAOS; DEA Solver online; WebdeA	<i>Online</i>	<i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em Daraio *et al.* (2017).

Muitos dos softwares generalistas são bastante conhecidos no meio científico (R, SAS, STATA, Matlab). Entretanto, para facilitar os cálculos dos Índices de Eficiência Energética, optou-se por utilizar um software dedicado à DEA, técnica utilizada pela maioria dos softwares encontrados (87,1%). Conforme visto nas Equações 1, 2, 3 e 4, nos cálculos da Análise Envoltória de Dados, deve-se resolver um problema de programação linear para cada uma das DMU estudadas. Dessa forma, por ser de fácil acesso e de uso gratuito, utilizou-se o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD) (ANGULO MEZA *et al.*, 2004), ferramenta dedicada à análise de produtividade e eficiência, também citada na pesquisa de Daraio *et al.* (2017), que foi desenvolvida na Universidade Federal Fluminense (UFF) e que utiliza técnicas de DEA convencionais ou alternativas para determinar índices de eficiência, pesos, alvos e *benchmarks*.

No capítulo seguinte, será feita uma caracterização do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), objeto de estudo desta tese, e será apresentada a metodologia utilizada para atingir cada um dos objetivos específicos, de modo especial a avaliação do Programa Brasileiro de Etiquetagem na rotulagem ambiental de edificações de Instituições de Ensino Superior (IES), a proposição de um novo modelo de Etiqueta de Eficiência Energética para essas instituições, principal contribuição científica desta tese, além da análise da viabilidade da expansão do uso de fontes alternativas de energia em IES, sobretudo a fotovoltaica, apresentada como uma estratégia de eficiência energética.

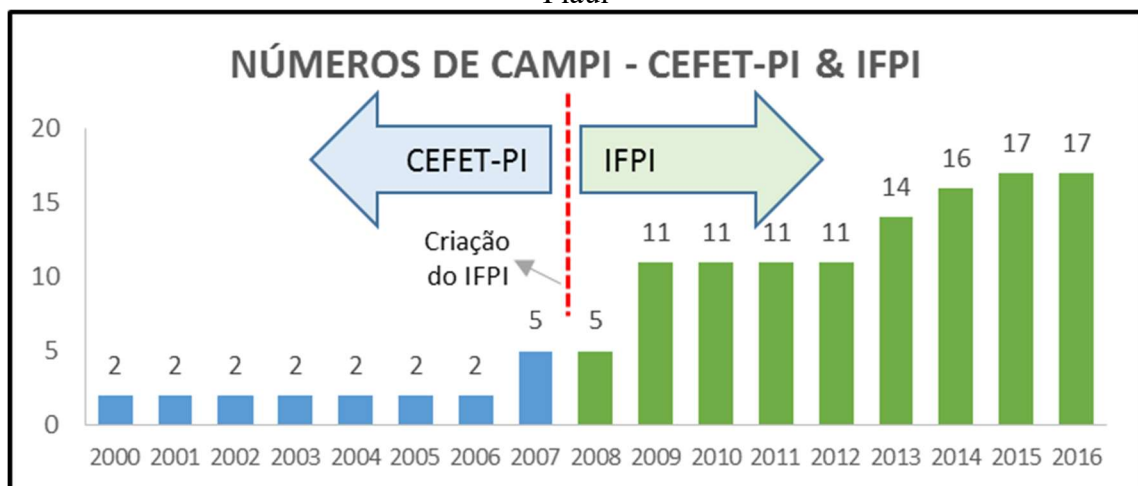
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo trata do caminho metodológico empregado, dos mecanismos de avaliação usados para desenvolver os conceitos específicos da tese, dos limites das práticas de coleta e da seleção e uso dos dados que servem de subsídio para a apreensão científica dos conteúdos. Antes, porém, é importante caracterizar o objeto de estudo, os *campi* do IFPI.

3.1 Caracterização do objeto de estudo

A partir do ano 2008, a criação dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia contribuiu para o crescimento do número de municípios atendidos pelas Instituições de Ensino Superior Federais (ROSINKE *et al.*, 2020; PEREIRA; CRUZ, 2019), tal como ocorreu no estado do Piauí. O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), por exemplo, que inicialmente era o Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí (CEFET-PI), sofreu grande expansão, principalmente a partir do ano de 2008, e ampliou sua representatividade no estado com a construção de 12 novos *campi* até o ano de 2015 (Figura 10), resultado dessa política de expansão e interiorização do acesso à Educação Tecnológica (RÊGO, 2015), consolidando-se com uma estrutura organizacional *multicampi*.

Figura 10 – Número de *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

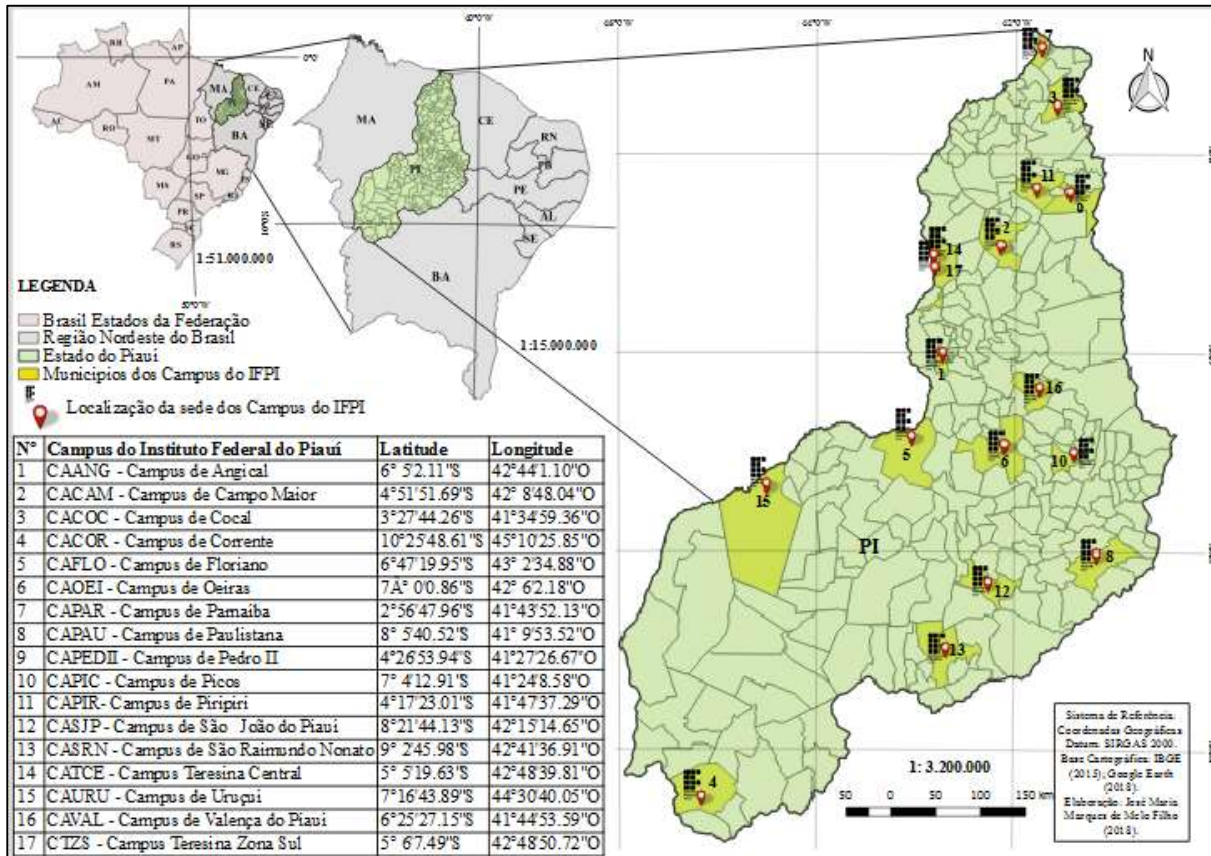


Fonte: Moraes *et al.* (2017b).

Todos os *campi* do IFPI são objeto de estudo desta tese sendo, portanto, censitária e de caráter dedutivo. Atualmente a IES consolida-se como uma Instituição de Ensino Superior, Básica e Profissional, vinculada ao Governo Federal Brasileiro, criada no ano de 2008 pela Lei

Federal nº 11.892 e conta com 17 *campi* universitários, distribuídos em todas as regiões do estado (Figura 11). Além disso, atualmente visa a “Consolidar-se como centro de excelência em Educação Profissional, Científica e Tecnológica, mantendo-se entre as melhores instituições de ensino do País” (IFPI, 2020).

Figura 11 – Espacialização dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



Fonte: Elaborada pelo autor.

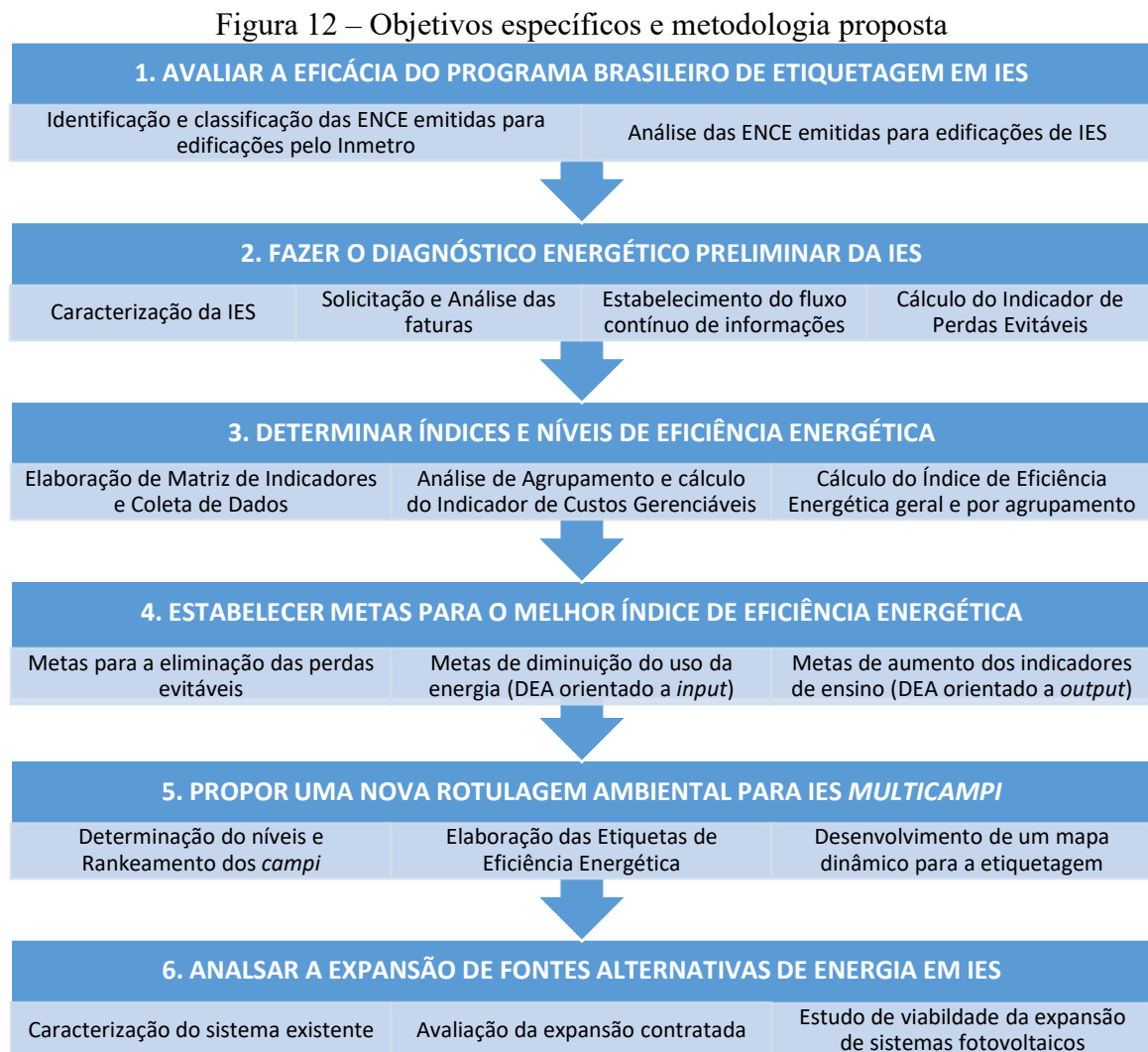
O apoio da administração é imperativo para a realização de estudos de Eficiência Energética em IES e evidenciam o reconhecimento da comunidade acadêmica como peça importante para a consolidação da Educação e da Gestão Ambiental nessas instituições. Assim, o meu vínculo como Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico nesta IES e a minha experiência anterior em estudos realizados na própria instituição que contaram o apoio da administração desta IES (MORAIS *et al.*, 2017b; MORAIS *et al.*, 2018) motivaram a escolha do IFPI como objeto de estudo.

Ademais, justifica-se a pesquisa na IES por ter o IFPI grande representatividade no estado e os resultados serem aplicáveis a outras instituições *multicampi*. Para mais, evidencia-se que a instituição não está gerenciando corretamente o uso de energia elétrica, com uma

parcela do valor pago à concessionária de energia pelo *Campus* Teresina Central, maior e mais antigo *campus* da IES, constituída de gastos desnecessários que poderiam ser facilmente evitados com a atuação de um Sistema de Gestão Energética e de baixos índices de Eficiência Energética nas salas de aula que poderiam ser elevados com a execução de Projetos de Eficiência Energética, sendo necessária a continuidade dos estudos, sobretudo no diagnóstico de todos os Aspectos Ambientais em todos os *campi* da instituição (MORAIS *et al.*, 2017b).

3.2 Metodologia da pesquisa

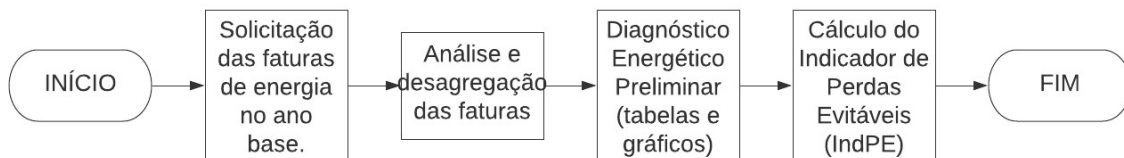
Na Figura 12, a seguir, é apresentado um fluxograma que relaciona os objetivos específicos com a metodologia proposta para atingir cada um deles:



Fonte: Elaborada pelo autor.

A pesquisa iniciou-se com a avaliação do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Instituições de Ensino Superior. Para tanto, fez-se um levantamento no site do Inmetro (INMETRO, 2019) a fim de identificar e classificar por tipo as Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia emitidas para edificações no Brasil e, especificamente, as edificações de IES. Em seguida, com a caracterização geral do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), através de uma busca na bibliografia disponível e no site da instituição por documentos relevantes, como o Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) e os Relatórios de Gestão, iniciou-se o Diagnóstico Energético (Figura 13).

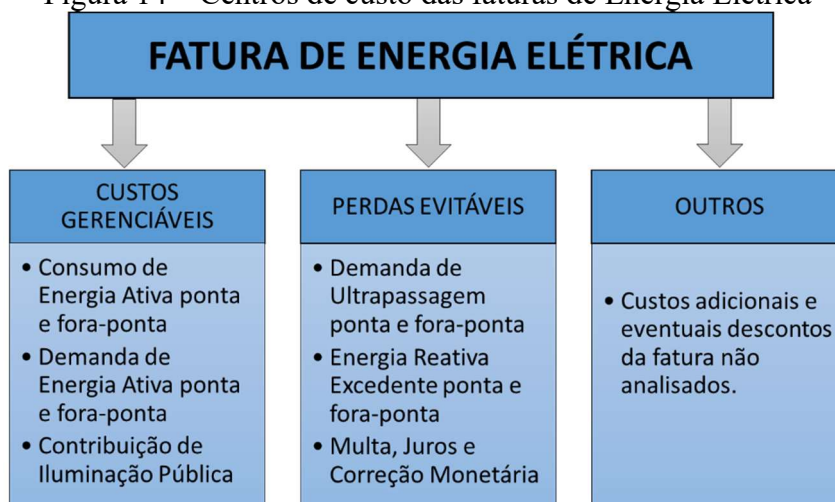
Figura 13 – Diagnóstico Energético Preliminar e determinação do Indicador de Perdas Evitáveis



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme a metodologia definida por Silva *et al.* (2016; 2018) e Morais *et al.* (2017b), fez-se uma pesquisa censitária e, considerando-se a sua estrutura organizacional *multicampi*, solicitou-se a cópia digitalizada das faturas de energia de todos os *campi* do IFPI dos anos de 2016 a 2019 para, através da sua desagregação, fazer o diagnóstico energético preliminar, identificando-se três centros de custo (Figura 14):

Figura 14 – Centros de custo das faturas de Energia Elétrica



Fonte: Elaborada pelo autor.

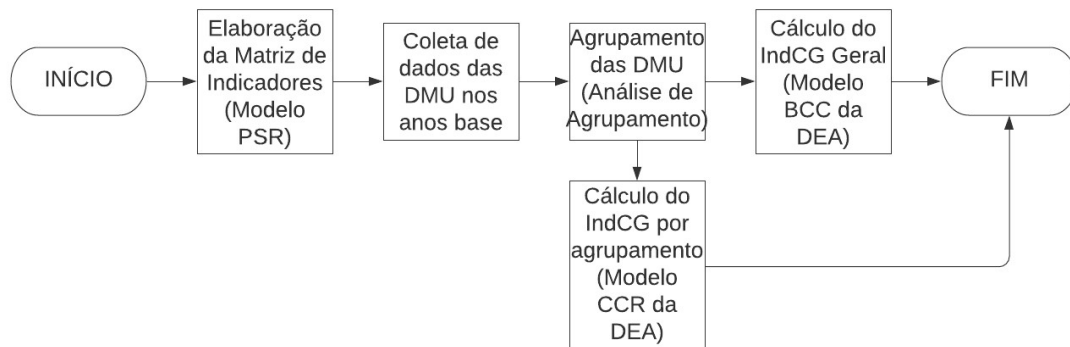
Nesse diagnóstico preliminar, sugeriram-se, ainda, estratégias para a eliminação das perdas evitáveis e para o monitoramento dos custos gerenciáveis que foram apresentados à administração superior da IES como resultados parciais, a fim de estabelecer um fluxo contínuo de informações nos meses subsequentes e viabilizar a continuidade dos estudos. Importante destacar que essa metodologia também é usada nos estudos de Ketchman *et al.* (2018) e Niederberger e Champniss (2018) (Tabela 3). Ademais, à vista do percentual desses centros de custos no total da fatura de energia, definiu-se o Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE), conforme a Equação 8, e classificaram-se os *campi* em cinco níveis com as larguras iguais, a partir da diferença entre o maior e o menor indicador, conforme a Equação 5.

$$IndPE = \frac{\% \text{ de Custos Gerenciáveis}}{\% \text{ de Perdas Evitáveis} + \% \text{ de Custos Gerenciáveis}} \quad (8)$$

Para o estabelecimento de Níveis de Eficiência Energética para os *campi* da IES, elaborou-se uma Matriz de Indicadores Ambientais, com base no Modelo PSR, com as variáveis de pressão (uso da energia) e de estado (número de servidores, aspectos de infraestrutura e ensino), conforme mostrado na

Tabela 10. Essas variáveis foram escolhidas com base na atividade fim da instituição, uma vez que esta claramente prioriza o ensino em detrimento da pesquisa e da extensão (IFPI, 2010; IFPI, 2018b), e em critérios qualitativos e quantitativos: confiabilidade dos dados, relação com problema, utilidade para o usuário, disponibilidade dos dados, relevância, redundância e mensurabilidade. Utilizaram-se, portanto, dados primários referentes a esses indicadores em todos os *campi* da IES correspondentes aos anos de 2016 a 2019, através de uma solicitação formal encaminhada à administração dessa entidade, além de dados secundários coletados na Plataforma Nilo Peçanha (BRASIL, 2019b).

Figura 15 – Determinação do Indicador de Custos Gerenciáveis geral e por agrupamento



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 10 – Matriz de Indicadores ambientais

TIPO	ASPECTO	INDIC.	DESCRIÇÃO	REFERÊNCIAS	
PRESSÃO	CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA	X1	Média mensal do consumo de energia elétrica ativa ponta (kWh)	(CEPEL, 2014) (LAMBERTS <i>et al.</i> , 2014) (SILVA; BARBOSA; SANTOS, 2017) (SILVA <i>et al.</i> , 2018) (MORAIS <i>et al.</i> , 2017b) (LEITE <i>et al.</i> , 2015)	
		X2	Média mensal do consumo de energia elétrica ativa fora-ponta (kWh)		
		X3	Média mensal da demanda máxima de energia ativa ponta (kW)		
		X4	Média mensal da demanda máxima de energia ativa fora-ponta (kW)		
ESTADO	NÚMERO DE SERVIDORES	Y1	Número total de servidores técnicos administrativos	(ALFARIS <i>et al.</i> , 2016) (JAMALUDIN; MAHMOOD; ILHAM, 2017) (COTTAFAVA <i>et al.</i> , 2018) (HUOVILA; TUOMINEN; AIRAKSINEN, 2017) (OLSTHOORN; SCHLEICH; HIRZEL, 2017)	
		Y2	Número total de professores efetivos		
	ASPECTOS DE INFRAESTRUTURA	Y3	Área total da edificação (m ²)		
		Y4	Número de salas de aula		
		Y5	Área total das salas de aula (m ²)		
		Y6	Número de laboratórios		
		Y7	Bombas d'água e elevadores (CV)		
	ENSINO	Y8	Número de alunos em Cursos Técnicos Concomitantes e Subsequentes		(SILVA FILHO <i>et al.</i> , 2016) (PEIXINHO, 2013) (KAVESKI <i>et al.</i> , 2015) (COSTA; BARBOSA., 2018)
		Y9	Número de alunos em Cursos Técnicos Integrados		
		Y10	Número de alunos em Cursos Técnicos Superiores		
		Y11	Número de alunos em Cursos de Pós-graduação		

Fonte: Elaborada pelo autor.

De posse desses dados, para o agrupamento dos *campi* em diferentes categorias de escala, utilizando-se o software estatístico SPSS, fez-se uma análise multivariada desses dados e plotou-se um dendrograma, gráfico construído através da Análise de Agrupamento que permite agrupar diferentes observações. Utilizou-se como critério a Distância Euclidiana, conforme a Equação 9, e consideraram-se os centroides de cada grupo de observações em que o valor de cada uma das observações nesse centroide é a média aritmética dos valores desse indicador em cada uma delas (MANLY, 2008), utilizando-se como referência os indicadores no ano de 2017 em todos os *campi* do IFPI. Dividiram-se, então, os *campi* entre os dois grupos que possuíam a maior distância entre si.

$$D = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (9)$$

Onde: D – Distância Euclidiana entre os objetos i e j

x_{ik} – valor da variável x_k para o objeto i

x_{jk} – valor da variável x_k para o objeto j

p – número de indicadores

Vale ressaltar ainda que, para evitar-se que uma variável dominasse a análise, previamente, normalizaram-se esses dados com base na diferença entre os valores mínimos e máximos, conforme a Equação 10, para os indicadores em que são desejáveis os valores máximos, e conforme a Equação 11, para os indicadores em que o desejável são os valores mínimos (KILKS, 2015):

$$X(n) = \frac{i(n) - \min(i)}{\max(i) - \min(i)} \quad (10)$$

$$X(n) = \frac{i(n) - \max(i)}{\min(i) - \max(i)} \quad (11)$$

onde: X (n) – valor normalizado do indicador;

n – observações, com n variando de 0 ao tamanho da amostra;

i – valor real calculado para o indicador;

max (i) – valor máximo que o indicador pode assumir; e

min (i) – valor mínimo que o indicador pode assumir.

A seguir, com o auxílio do *software* Excel, elaborou-se uma matriz de correlação, calculando-se o Coeficiente de Correlação de Pearson para avaliar dois a dois o grau de correlação entre os indicadores de ensino com o uso de energia (Equação 12). Com os coeficientes calculados, o grau de correção foi então avaliado conforme orienta Devore (2013): Se $0,8 \leq |R| \leq 1$, existe uma correlação aceitável entre as variáveis; Se $0,5 \leq |R| < 0,8$, existe uma correlação moderada entre as variáveis; Se $0 \leq |R| < 0,5$, não existe uma correlação aceitável entre as variáveis.

$$R = \frac{n \times \sum(x_i \times y_i) - (\sum x_i) \times (\sum y_i)}{\sqrt{[n \times \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \times [n \times \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (12)$$

Sendo: R = Coeficiente de Correlação de Pearson;

n = número de observações;

x_i = cada uma das medições de um dos indicadores;

y_i = cada uma das medições do outro indicador.

Objetivando uma melhor visualização do modelo proposto, também se utilizando o pacote estatístico do SPSS, sobretudo nas análises de dados multivariados, foram feitas duas Análises de Componentes Principais (ACP), uma para o consumo de energia elétrica (*input*) e outra para atividade fim da instituição (*output*) com os dados referentes aos anos de 2016 e 2017. Utilizou-se o método Varimax na rotação dos fatores para minimizar o número de variáveis com altas cargas em um fator, e, para verificar a adequabilidade dessa técnica, utilizaram-se o teste de esfericidade de Bartlett e a estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (*KMO*), além da Medida de Adequação da Amostra (*Measure of Sampling Adequacy-MSA*) para cada variável. São desejáveis um *p-value* menor que 0,05 no teste de esfericidade, *KMO* maior que 0,6 e *MSA* maior que 0,5 (KHAN; LIMA; LIMA, 2018).

Utilizaram-se os indicadores mais relevantes em cada uma dessas análises em função dos seus coeficientes em cada um dos fatores, considerando-se ainda o percentual da variância dos indicadores explicada por cada fator (KHAN; LIMA; LIMA, 2018). Com esses indicadores de consumo de energia e ensino da IES (*inputs* e *outputs*, respectivamente) selecionados, empregou-se a DEA para a determinação de curvas de eficiência nos modelos CCR e BBC, usando-se as DMU com valores não nulos, que foram plotadas em dois Planos Cartesianos. Assim, foi possível ilustrar a determinação dos índices e os caminhos para o aumento da eficiência. Cumpre destacar que essa metodologia também foi utilizada nos estudos de Blum e Okwelum (2018), Borgstein e Lamberts (2014) e Galindro *et al.* (2019) na análise da eficiência de eletrodoméstico, edificações e produtos de panificação, respectivamente.

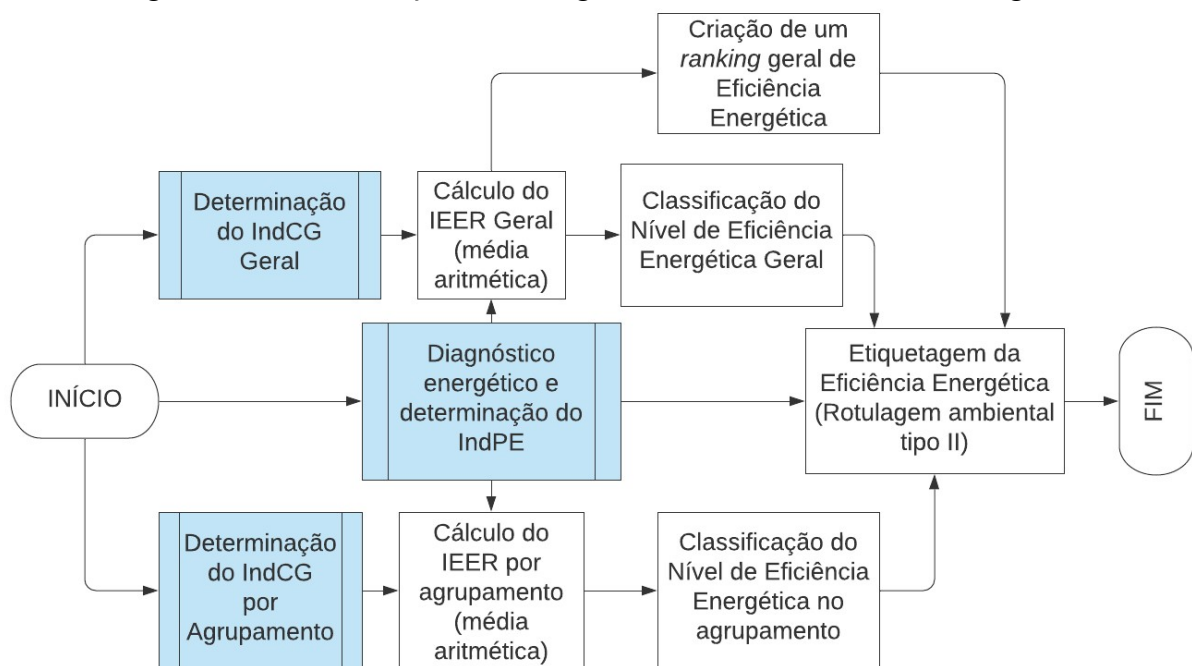
Em seguida, utilizou-se novamente a DEA, com o modelo de análise (BCC ou CCR) definido com base na homogeneidade das amostras, e determinaram-se os Indicadores de Custos Gerenciáveis (IndCG) gerais e por agrupamento, que foram posteriormente classificados de modo igual ao IndPE (conforme a Equação 5), em função do tamanho dos *campi*. Destaca-se ainda que se respeitou a Regra de Ouro (*Golden Rule*) da DEA, definida por Banker *et al.* (1989), e que se utilizou nestas e nas DEA seguintes o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (ANGULO MEZA *et al.*, 2004), ferramenta dedicada à análise de produtividade e eficiência.

Assim, de posse desses indicadores, criou-se o Índice de Eficiência Energética Relativa (IEER) geral e por agrupamento através da média aritmética do IndPE e do IndCG e, novamente, dividiram-se os *campi* em cinco níveis de eficiência energética relativa também de comprimentos iguais (Equação 5), criando-se ainda um ranking através do seu desempenho energético e estimaram-se os *benchmarks* para o aumento da eficiência energética. Estabeleceram-se, portanto, metas para a eliminação das perdas evitáveis e utilizaram-se os modelos de Análise Envoltória de Dados orientados a *inputs* e *outputs* para estabelecer

benchmarks de consumo e demanda de energia e para as atividades de ensino, a fim de atingir o melhor nível de eficiência energética.

Concluída essa etapa, propôs-se um novo modelo de rotulagem ambiental tipo II para a eficiência energética (Figura 16), ou seja, um modelo de autodeclaração ambiental a ser desenvolvido pelas próprias IES sem certificação independente, seguindo os requisitos gerais e específicos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). Para tanto, utilizou-se como ponto de partida o modelo padronizado pelo PBE Edifica (paradigma tradicional), em que se apresentou para cada um dos *campi* uma nova etiqueta de eficiência energética contendo informações relevantes para sua eficiência energética, tais como: indicadores, índices, níveis, rankings, *benchmarks* e diagnósticos energéticos, objetivando uma estratégia de *benchmarking*. Ao final da etiquetagem, utilizou-se a ferramenta My Maps (GOOGLE, 2020) para a elaboração de um mapa dinâmico para possibilitar o acesso à rotulagem ambiental em cada um dos *campi*.

Figura 16 – Determinação da rotulagem ambiental da Eficiência Energética



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ainda como estratégia de aumento da eficiência energética, destaca-se na IES a presença de um sistema de geração fotovoltaica (MORAIS; BARBOSA; MORAES, 2019a). Fez-se a caracterização do SFCR instalado no Campus de Floriano do IFPI através de uma pesquisa bibliográfica sobre o seu desempenho técnico-econômico e ambiental (redução da emissão de gás carbônico). Em seguida, destacou-se a realização de um Pregão Eletrônico de Registro de

Preços para uma eventual Instalação de Sistemas de Microgeração de Energia Solar Fotovoltaica Conectados à Rede na IES (IFPI, 2018a) que, posteriormente, foi utilizado para a contratação de SFCR com os recursos disponibilizados pelo governo federal por Instituições de Ensino Superior brasileiras situadas em sete unidades da federação (Bahia, Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Ceará e Piauí) na contratação de 3.234 kWp, dentre as quais o IFPI está incluso (BRASIL, 2020c).

Assim, para estudar a expansão contratada para a instituição, analisaram-se os documentos oficiais disponíveis, sobretudo o Portal da Transparência do Governo Federal (BRASIL, 2020c), além de se solicitarem informações diretamente à instituição através do Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (E-SIC) (BRASIL, 2020d). Buscou-se identificar, portanto, em quais *campi* os sistemas serão instalados e as suas características técnico-econômicas, comparando-as com o sistema já instalado da IES (MORAIS *et al.*, 2019).

Com relação ao seu desempenho técnico, os parâmetros comumente utilizados para o monitoramento e análise (Índices de mérito) são: Produtividade Final (Y), dada em kWh/kWp e definida como a razão entre o fluxo de energia líquido de todo o sistema (E) e o total da potência de pico dos módulos fotovoltaicos (P_o) (Equação 13) (IEC, 1998); Desempenho Médio Global ou Taxa de Desempenho (PR, do inglês *Performance Ratio*), adimensional e traduz na razão entre a produtividade Final (Y_f) em relação à Produtividade de Referência (Y_r), determinada com base nos parâmetros nominais dos componentes do sistema (Equação 14) (IEC, 1998); Fator de Capacidade (CF), também adimensional, que representa o nível de atividade de um sistema de geração através da relação entre a energia efetivamente produzida (E) e a produção que teria, funcionando em sua Potência Nominal (P_o) durante esse mesmo período (Δt) (Equação 15) (NAKABAYASHI, 2015). Entretanto utilizaremos na análise dos novos sistemas contratados pela IES apenas a projeção do primeiro indicador, em função dos sistemas ainda não estarem instalados.

$$Y = E/P_o \quad [13]$$

$$PR = Y_f/Y_r \quad [14]$$

$$CF = E/(P_o \times \Delta t) \quad [15]$$

Para a medição do recurso solar disponível e necessária para a determinação de desempenho de sistemas fotovoltaicos, deve-se instalar equipamentos para medição dos níveis de irradiação: módulos de referência calibrados e instalados no plano dos sistemas analisados ou um piranômetro (equipamento de medição) instalado em conjunto com os sistemas (IEC, 1998). Todavia a instalação desses equipamentos exigida pelas normas oficiais em todos os *campi* da instituição dificultaria este estudo em função dos custos, optando-se, portanto, por utilizar o banco de dados da Segunda Versão do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al*, 2017), que também serviu de referência na determinação de índices de irradiação nos estudos de Paim *et al* (2019), Deschamps e Rüther (2019), Giongo (2018), Ferreira *et al* (2018) e Morais *et al* (2019).

Dessa forma, objetivando-se encontrar os dados de irradiação solar nos metadados do atlas, coletaram-se as coordenadas geográficas de cada um dos *campi* da instituição e tabulou-se o valor médio da irradiação global anual disponível nos metadados da segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al*, 2017), no ponto de referência mais próximo de cada um dos *campi* do IFPI (Equação 16). A distância em quilômetros (D) entre o ponto de referência do atlas e os *campi* da IES foi determinada com base no raio médio da Terra ($R = 6371\text{km}$) nas latitudes ($lat1$ e $lat2$) e longitudes ($long1$ e $long2$) dos dois pontos, com “ $\cos^{-1} \theta$ ” medido em radianos (SANTOS; OLIVEIRA, 2018).

$$D = R \times \cos^{-1}[\sin(lat1) \times \sin(lat2) + \cos(lat1) \times \cos(lat2) \times \cos(long1 - long2)]$$

[16]

Na determinação da produtividade dos sistemas (Equação 13), utilizaram-se os dados de irradiação nos *campi*, a caracterização dos sistemas contratados e os parâmetros mínimos exigidos para os sistemas no processo de licitação. Nessa análise de viabilidade técnica da expansão na IES, estimou-se a geração de energia anual (E) resultante da instalação dos SFCR nos *campi* (Equação 17) e dividiu-se pela potência estimada para os módulos geradores fotovoltaicos. Considerou-se a irradiação anual no local de instalação do Sistema Fotovoltaico (SFV) (H), a área da superfície dos módulos (A), a eficiência dos módulos (η) e o número de módulos instalados (n) (VILLALVA, 2015). Essa estimativa de geração de energia ainda foi multiplicada pelo máximo fator de perdas, considerando as perdas globais exigidas pela IES (IFPI, 2018a), em função das perdas inerentes aos SFV que decorrem principalmente das perdas nos módulos fotovoltaicos e nos inversores (TELES *et al*, 2018). O mesmo fator de perdas foi

dividido pela potência do sistema para estimar a potência total dos módulos geradores fotovoltaicos (MACÊDO; ZILLES, 2007) e (PÉREZ-HIGUERAS *et al*, 2018).

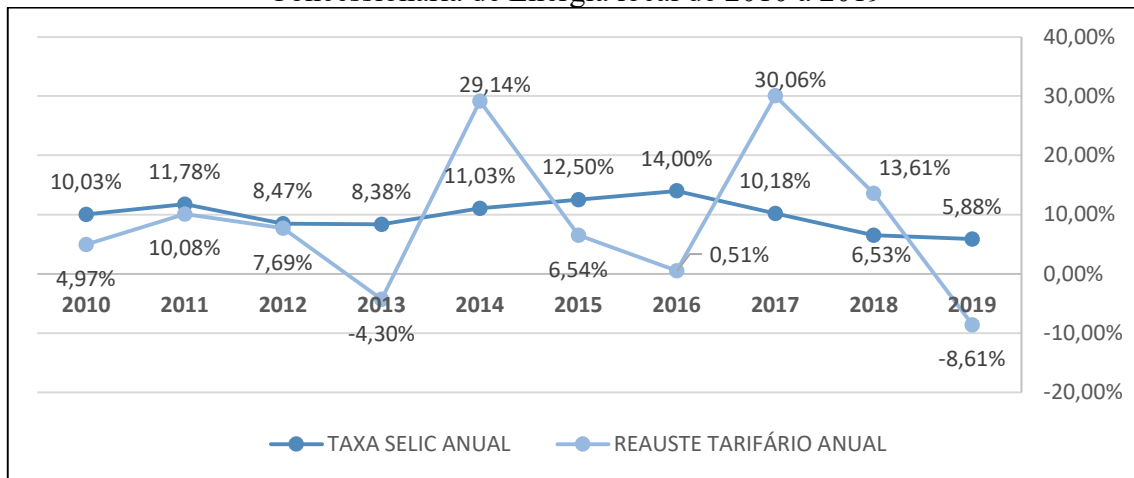
$$E = H \times A \times \eta \times n \quad [17]$$

Já, para a análise da viabilidade econômica, determinou-se o Custo Unitário Básico (CUB), dividindo-se o valor do contrato pela potência do sistema e utilizaram-se as entradas de capital decorrentes da energia produzida pelo SFV, considerando-se a média dos custos mensais de energia do ano de 2019 no local em que estão situados, para estimar o potencial de redução anual dos custos com o consumo de energia elétrica, além das saídas de capital oriundas da implantação, operação e manutenção do sistema. Além disso, consideraram-se, métricas próprias da engenharia econômica, quais sejam: Valor Presente Líquido (VPL) (Equação 18), de modo que a diferença entre as entradas e saídas de capital (A_n) em cada um dos períodos considerados (n) é trazida para o momento da decisão de investir, considerando-se a vida útil do projeto (t) e a taxa de desconto considerada (r); Taxa Interna de Retorno (TIR), taxa de desconto que iguala o VPL a zero; *Payback*, período em que o VPL passa a ser positivo; Relação Custo-Benefício (RCB), razão entre o VPL das saídas e entradas de capital (SILVA; BARBOSA; SANTOS, 2017).

$$VPL = \sum_{n=1}^t \frac{A_n}{(1+r)^n} \quad [18]$$

Calcularam-se as métricas econômicas, considerando-se a taxa de degradação anual máxima incidente sobre a estimativa de geração e sua vida útil mínima, resultado da perda de eficiência do sistema, além de custos de manutenção e operação de 1% do investimento inicial, impactando no fluxo de caixa a cada dez anos (NAKABAYASHI, 2015). Utilizou-se como taxa de desconto a diferença entre a média dos dez últimos anos dos reajustes tarifários da concessionária de energia local e das previsões para a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic), apontada como referência pela ANEEL (2018) (Figura 17).

Figura 17 – Taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia e reajuste tarifário da Concessionária de Energia local de 2010 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em dados de Brasil (2020a) e Brasil (2020b).

Desse modo, os dados de irradiação de todos os *campi* foram usados para a criação de *rankings* do potencial de geração, de redução das emissões de gás carbônico e de benefícios econômicos para a energia (usaram-se novamente as tarifas de energia do ano de 2019). Ajuizou-se a situação hipotética de instalação dos sistemas fotovoltaicos em todos os *campi* com a média dos parâmetros dos sistemas recentemente contratados pela IES (BRASIL, 2020c) e com a eficiência mínima exigida na contratação dos sistemas da instituição (IFPI, 2018a). O potencial de redução da emissão de gás carbônico foi determinado apenas na fase de uso do sistema apoiado nos dados da Empresa de Pesquisa Energética que computam anualmente a taxa de emissão desse gás em função do kWh de energia gerada no país (EPE, 2019).

Ademais, além dessa análise em termos absolutos, foram criadas duas novas escalas, mensurando os benefícios relativos ao consumo de energia e aos custos com energia elétrica. Por fim, da mesma forma que para os sistemas já contratados, fez-se a análise econômica para essa expansão proposta em seis cenários (Tabela 11). Consideraram-se os valores máximo, mínimo e a média dos CUB dos sistemas (excluindo-se os *outliers*), de acordo as ofertas das empresas no Pregão Eletrônico de Registro de Preços realizado pela IES (IFPI, 2018a), além do maior e do menor benefício econômico, conforme o *ranking* de benefícios econômicos.

Tabela 11 – Cenários da análise econômica da expansão proposta para o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

CENÁRIOS	INVESTIMENTO INICIAL	BENEFÍCIOS ECONÔMICOS
1	Menor CUB proposto	Maior retorno financeiro
2	Média dos CUB propostos	Maior retorno financeiro
3	Maior CUB proposto	Maior retorno financeiro
4	Menor CUB proposto	Menor retorno financeiro
5	Média dos CUB propostos	Menor retorno financeiro
6	Maior CUB proposto	Menor retorno financeiro

Fonte: Elaborada pelo autor.

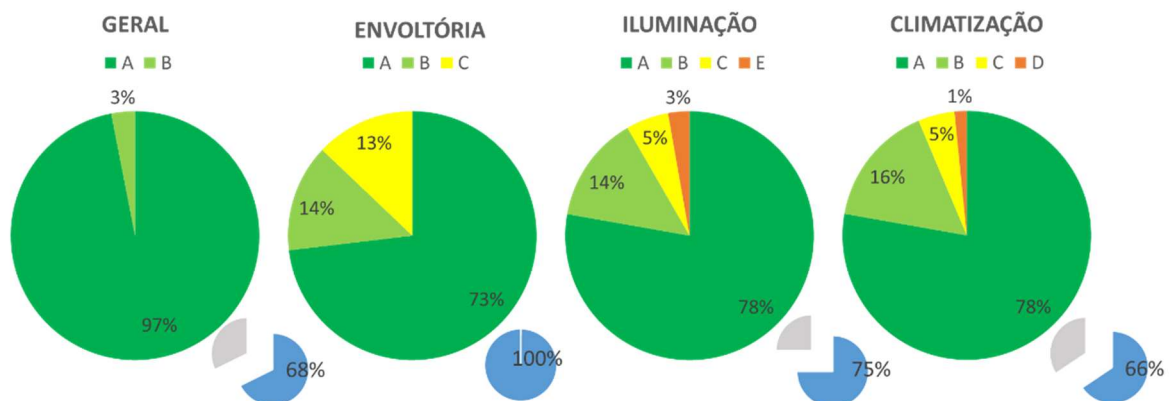
O desenvolvimento de estudos de Eficiência Energética em Instituições de Ensino deve objetivar mais do que a criação de indicadores gerenciais. Assim, durante o desenvolvimento da pesquisa, além da apresentação dos resultados parciais à administração superior, realizaram-se ainda ações que visavam a dar o retorno à Comunidade Acadêmica, estimular a Gestão Energética na IES e a continuidade dos estudos, sobretudo com: desenvolvimento de Projeto de Iniciação Científica Junior, fornecimento de dados para a realização de pesquisas, apresentação da pesquisa para os alunos das instituições, participação em projetos de extensão, apresentação dos resultados parciais da pesquisa em eventos científicos e publicação de artigos científicos, sensibilizando a comunidade acadêmica para as questões ambientais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando-se os dados do Inmetro (2019), pôde-se identificar em todo o país apenas 96 edificações não residenciais com a eficiência energética de suas edificações rotuladas no âmbito do PBE até 10 de junho de 2019, 18 a mais que Wong e Krüger (2017). Destacam-se as regiões sudeste e nordeste com o maior percentual de etiquetas emitidas (50,0% e 24,0%, respectivamente), principalmente devido a São Paulo e à Bahia que foram os estados com o maior número de ENCE emitidas (27,1% e 20,8%, respectivamente), além de 12 estados com nenhuma certificação da eficiência energética de edificações não residenciais (Acre, Alagoas, Amapá, Goiás, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rondônia, Roraima e Tocantins).

O percentual de cada um dos níveis de eficiência energética nos sistemas das edificações analisados pelo PBE Edifica foi identificado (Figura 18), destacando-se que a maioria dos sistemas apresenta bons níveis. O percentual de cada um dos sistemas analisados com relação ao total de edificações etiquetadas (gráfico em azul) variou de 66% a 100% devido à possibilidade de certificações parciais das edificações. Entretanto se destaca que a análise da envoltória foi efetuada em todas as edificações por ser um item obrigatório a todas as ENCE, seja ela geral ou parcial.

Figura 18 – Percentual de Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia emitidas para edificações não residenciais no Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações até junho de 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pôde-se identificar que apenas duas edificações de Instituições de Ensino Superior foram rotuladas com a ENCE: a Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e o Restaurante Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), etiquetadas em novembro de 2013 e outubro de 2012, respectivamente. Nessas certificações, a

envoltória e a iluminação da edificação da UFMG foram classificadas com os índices C e B de eficiência energética (baixos níveis), respectivamente, e a envoltória da edificação da UFSC foi classificada com o índice A de eficiência energética (maior nível). Importante destacar que, mesmo que mais de um sistema seja certificado, apenas uma ENCE é emitida. Esse resultado comprova, portanto, que apesar da obrigatoriedade da ENCE em IES federais (BRASIL, 2014), o PBE Edifica na certificação das edificações é ineficaz, conforme comprovado por Silva *et al.* (2015) e Wong e Krüger (2017), principalmente em IES que devem ser exemplo de sustentabilidade para toda a comunidade. Apesar disso, cumpre lembrar que esse estudo não leva em consideração as implicações da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001) e da obrigatoriedade da compra de produtos com o índice A de eficiência energética (BRASIL, 2014), que podem ser objeto de estudo de trabalhos futuros.

4.1 Diagnóstico energético preliminar da IES

Considerando a estrutura organizacional *multicampi* do IFPI, após a análise das Faturas de Energia Elétrica, identificaram-se os custos com Energia Elétrica em todos os *campi* da instituição nos anos de 2016 a 2019 (Tabela 12), com a sua composição percentual mostrada na Figura 19a. Pôde-se constatar uma média anual de R\$ 230.021,76 (4,38% do total), mais do que foi gasto individualmente com energia elétrica em quatro dos 17 *campi* do IFPI no ano de 2019 (CACOC, CAOEI, CAPEII e CAVAL), constituindo-se de perdas que devem ser eliminadas imediatamente. Além disso, constatou-se uma média anual de R\$ 5.374.360,44 de Custos Gerenciáveis, que devem reduzidos com a execução de Projetos de Eficiência Energética (PEE) ou com a utilização de Fontes Alternativas de Energia.

Tais ações devem objetivar, prioritariamente, a redução do consumo de energia no horário em que ela é mais cara (17h30 às 20h30) (ANEEL, 2010), uma vez que o que foi gasto com o consumo de energia nesse horário (apenas três horas durante o dia) correspondeu a 34% desse centro de custo, conforme mostra a Figura 19b. Podem ser desenvolvidos, por exemplo, PEE direcionados a sistemas de iluminação e climatização de salas de aula, objetivando o índice A de Eficiência Energética (INMETRO, 2010), sendo vistos, portanto, como Projetos de Investimento de Aderência Estratégica, viável técnico-economicamente, destacando a fase inicial do Ciclo de Vida das edificações como decisiva para o seu potencial de economia de energia e a viabilidade econômica dos projetos (SILVA *et al.*, 2016). Tais projetos podem objetivar, por exemplo: utilização de equipamentos mais eficientes, educação ambiental, maior aproveitamento da luz natural e automação predial.

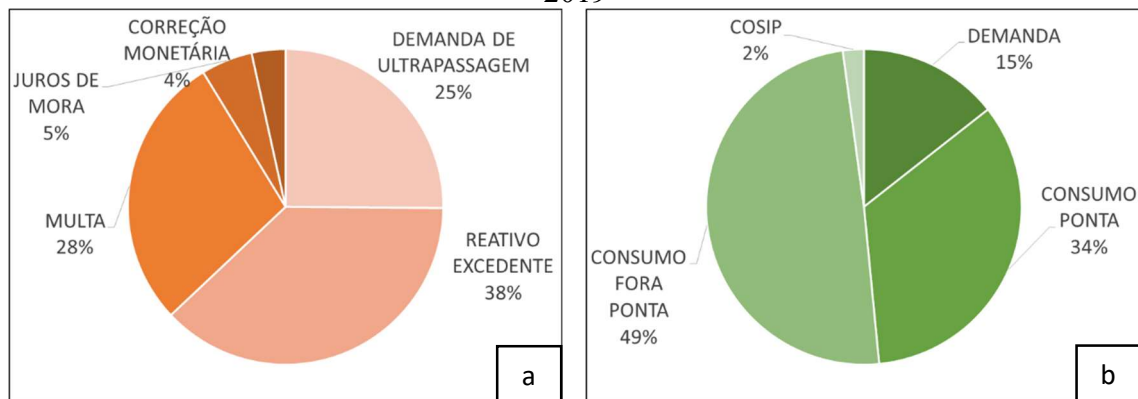
Tabela 12 – Custos com energia elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí nos anos de 2016 a 2019

INSUMOS	2016	2017	2018	2019	MÉDIA ANUAL	
	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	%
TOTAL DA FATURA	4.330.125,85	4.624.818,04	5.921.169,26	6.108.722,90	5.246.209,01	100,00%
TOTAL CUSTOS GERENCIÁVEIS	4.360.863,56	4.762.192,47	6.059.927,94	6.314.457,80	5.374.360,44	102,44%
DEMANDA	708.753,53	648.530,82	779.652,78	961.356,15	774.573,32	14,76%
CONSUMO PONTA	1.279.736,25	1.650.506,04	2.099.384,28	2.288.752,03	1.829.594,65	34,87%
CONSUMO FORA PONTA	2.289.969,22	2.348.814,02	3.045.944,65	2.933.507,82	2.654.558,93	50,60%
COSIP	82.404,56	114.341,58	134.946,23	130.841,80	115.633,54	2,20%
TOTAL PERDAS EVITÁVEIS	267.387,55	171.042,54	259.575,67	222.081,30	230.021,76	4,38%
DEMANDA DE ULTRAPASSAGEM	121.474,48	27.761,74	44.475,81	37.535,54	57.811,89	1,10%
REATIVO EXCEDENTE	69.234,70	76.354,14	102.183,25	100.335,54	87.026,91	1,66%
MULTA	58.466,57	54.879,87	81.991,74	64.856,91	65.048,77	1,24%
JUROS DE MORA	9.951,10	10.721,37	15.447,24	12.496,26	12.153,99	0,23%
CORREÇÃO MONETÁRIA	8.260,70	1.325,42	15.477,63	6.857,05	7.980,20	0,15%
OUTROS*	-297.319,94	-307.920,60	-397.816,24	-427.816,20	-357.718,25	-6,82%

* Custos adicionais e eventuais descontos da fatura não analisados pelo projeto

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 19 – Composição percentual da média anual das Perdas evitáveis (a) e dos Custos Gerenciáveis (b) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019

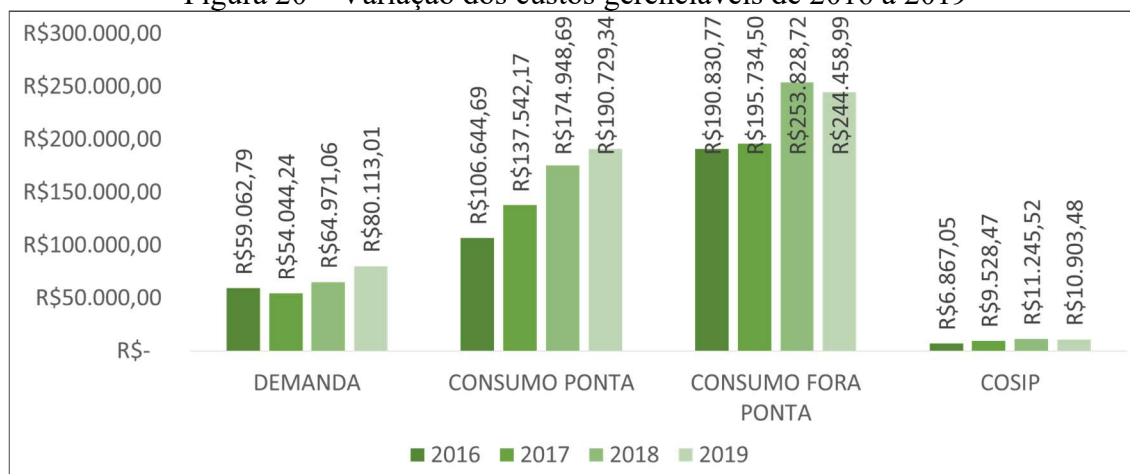


Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisaram-se as variações dos custos gerenciáveis (Figura 20), assim como a das perdas evitáveis (Figura 21), e, nos quatro anos analisados, percebe-se uma tendência de crescimento de todos os componentes desse primeiro centro de custo, exceto no custo com a demanda medida no segundo ano e dos custos com o consumo fora ponta no último ano, que obtiveram pequenos decréscimos. Já com relação ao último centro do custo, as variações não foram constantes, com destaque para os custos com a demanda de ultrapassagem, componente

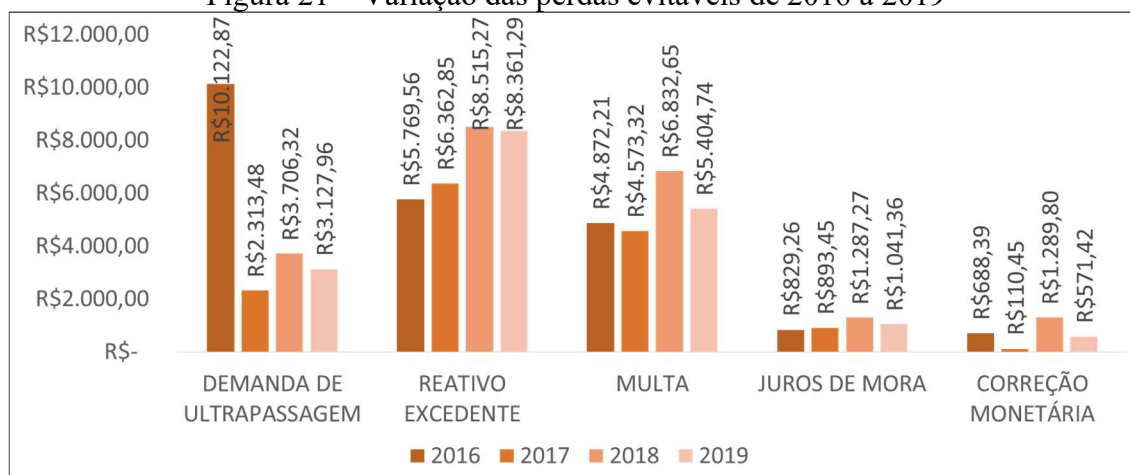
que apresentou uma grande queda de 2016 para 2017, mas voltou a subir de 2017 para 2018, refletindo uma ação pontual por parte da administração da IES, que será discutida posteriormente. Importante notar ainda que o aumento nos gastos com energia elétrica também sofre o reflexo do reajuste tarifário anual que varia bastante, com um reajuste médio anual de 8,98% (Figura 17). Assim, a gestão energética, sobretudo a eficiência energética, deve considerar a variação no consumo e na demanda em suas unidades físicas, conforme será mostrado no Tópico 4.2. Entretanto essa análise em termos monetários é relevante devido à linguagem multidisciplinar, própria das ciências ambientais e do impacto desses custos na gestão das organizações.

Figura 20 – Variação dos custos gerenciáveis de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 21 – Variação das perdas evitáveis de 2016 a 2019

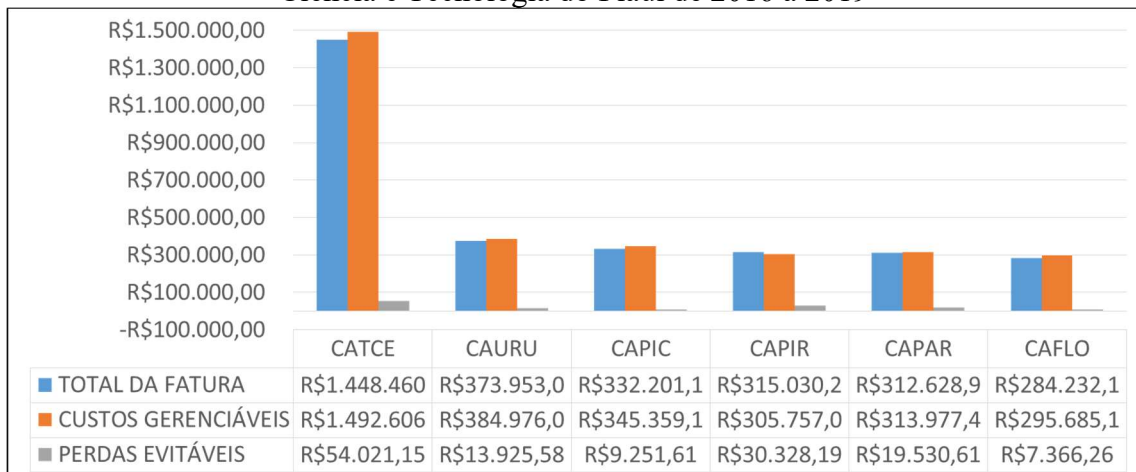


Fonte: Elaborada pelo autor.

A média dos custos mensais por *campi* em cada um dos Centros de Custos, de 2016 a 2019, foi determinada (Figura 22, Figura 23 e Figura 24), destacando-se o *Campus* Teresina

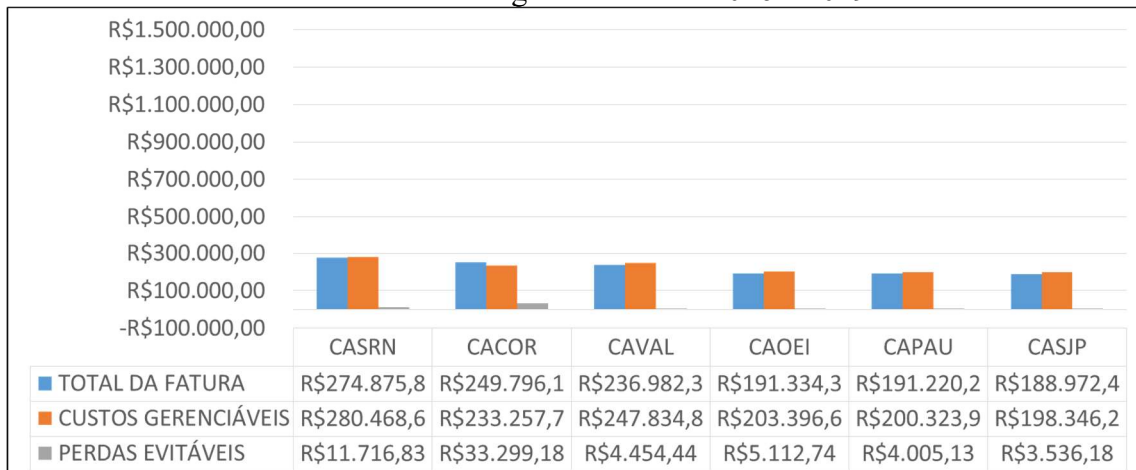
Central (CATCE) como o que possui os maiores gastos com Energia Elétrica e também as maiores perdas em termos absolutos (R\$ 4.501,76/mês), o que já era esperado por ser o maior da instituição. Além deste *campus*, pôde-se destacar os *Campi* de Corrente (CACOR) e de São João do Piauí (CASJP) com as maiores (13,33%) e menores (1,87%) perdas em relação ao valor da fatura, respectivamente.

Figura 22 – Média anual dos centros de custo dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



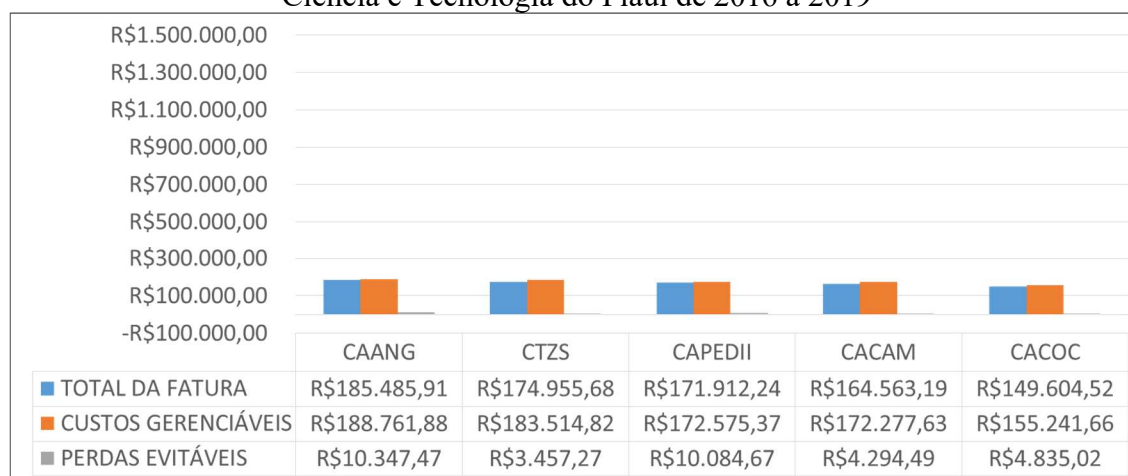
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 23 – Média anual dos centros de custo dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 24 – Média anual dos centros de custo dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

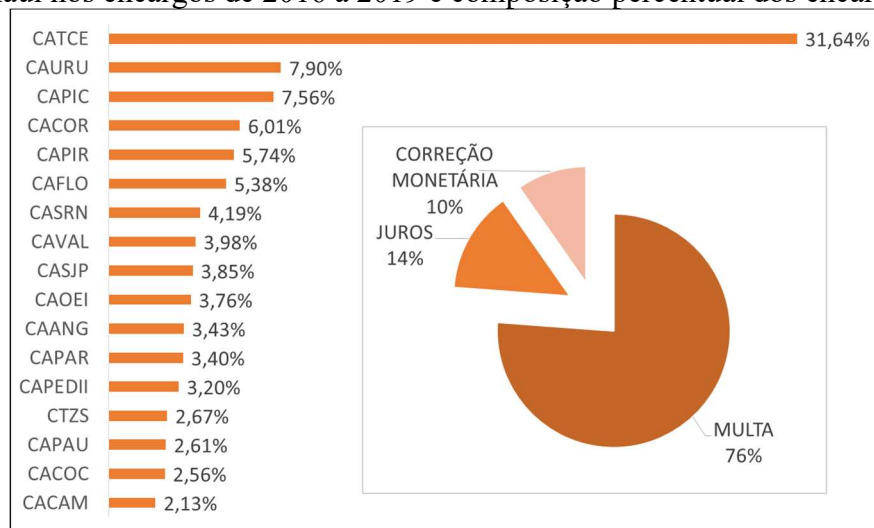
A composição percentual dos Centros de Custos foi realizada (Figura 19) com o objetivo de direcionar as ações Eficiência Energética e, conseqüentemente, reduzir os custos com Energia Elétrica. Conforme mostrado na Tabela 12, as multas, juros e correção monetária por causa do atraso no pagamento das faturas totalizaram R\$ 85.734,63 em perdas anuais (37% das Perdas Evitáveis, de acordo com a Figura 19a) que poderiam ser facilmente evitadas com o pagamento em dia das faturas de energia, uma vez que são cobrados 2% de multas e 1% ao mês *pro rata die*, além da correção monetária pelo atraso (ANEEL, 2010). Já na Figura 25, pode ser vista a participação percentual de cada um dos *campi* nesse total de encargos. É mostrado que todos os *campi* foram penalizados, destacando que o CATCE foi o *campus* mais penalizado e que peso maior é referente às multas (76%) que são cobradas, mesmo que o atraso no pagamento seja de poucos dias.

Parte da Energia Elétrica fornecida pelas Concessionárias, definida como Energia Reativa, é utilizada para garantir o funcionamento de algumas máquinas e equipamentos, sendo o restante definido como Energia Ativa e retorna Trabalho Útil. Para uma melhor Eficiência Energética, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), agência reguladora do setor elétrico, define em 0,92 (Fator de Potência) a razão mínima entre essa energia útil e o total fornecido pela rede (Energia Aparente) (ANEEL, 2010). O consumo excessivo de Energia Reativa fez com que o IFPI pagasse uma média de R\$ 87.026,91 por ano (38% das Perdas Evitáveis, conforme a Figura 19a) e, para que isso não ocorra novamente, faz-se necessária a execução de obras de engenharia para a Correção do Fator de Potência, geralmente com a instalação de Bancos de Capacitores. Essas obras requerem investimento financeiro e, por isso, elaborou-se uma distribuição percentual dos gastos com Energia Reativa para direcionar os

recursos, priorizando os *campi* que mais foram penalizados e, conseqüentemente, possuem um maior potencial de economia. Conforme mostrado na

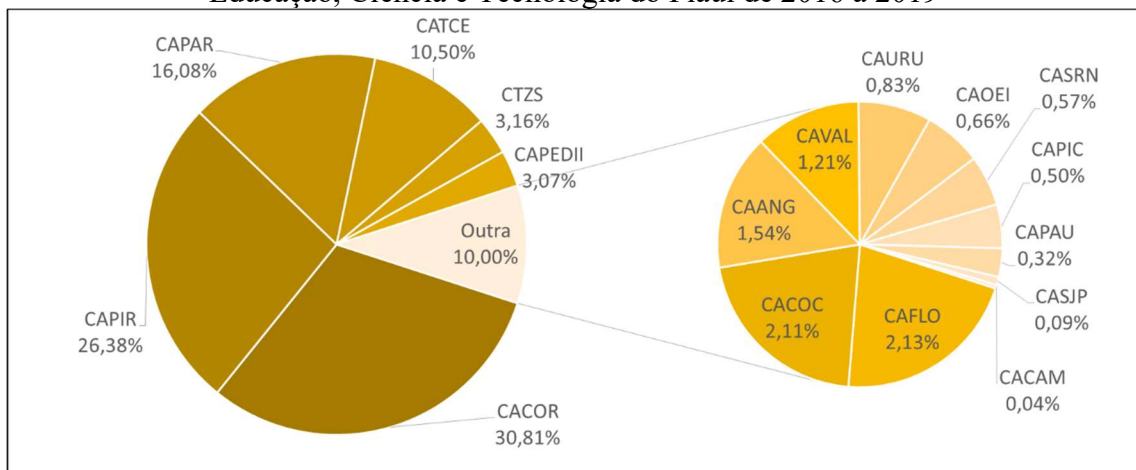
Figura 26, diferentemente do que se presumia, o *Campus* Teresina Central, mesmo sendo o maior, mais antigo e sede de instituição, deve ser apenas a quarta opção de investimento, ficando atrás de outros três *campi* (CACOR, CAPIR e CAPAR).

Figura 25 – Percentual dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí nos encargos de 2016 a 2019 e composição percentual dos encargos



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 26 – Percentual de energia reativa excedente no *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019

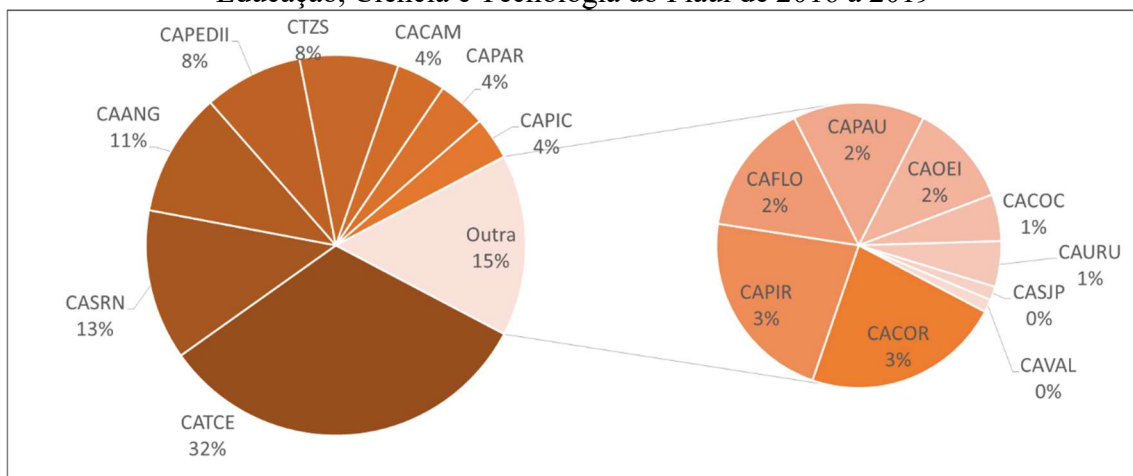


Fonte: Elaborada pelo autor.

O último percentual das Perdas Evitáveis que deve ser evitado, de acordo com a Figura 19a, é o pagamento da Demanda de Ultrapassagem, que corresponde a 25%, ou seja, uma média anual de R\$ 57.811,89 nos anos de 2016 a 2019 pago pelo IFPI, que ocorre quando as unidades

consumidoras solicitam da rede elétrica uma Potência Elétrica superior a 5% do valor contratado junto à concessionária (ANEEL, 2010). Dessa forma, deve-se analisar as Demandas Medidas nos Horários Ponta e Fora-ponta em cada um dos *campi* nos últimos três anos ou a partir de uma mudança significativa no consumo (reforma, ampliação, mudança no padrão de consumo), e revisar os contratos de fornecimento, sobretudo nos *Campi* Teresina Central, São Raimundo Nonato, Angical, Pedro II e Teresina Zona Sul, que juntos correspondem a 72% dos encargos pagos pela IES referente a este indicador (Figura 27).

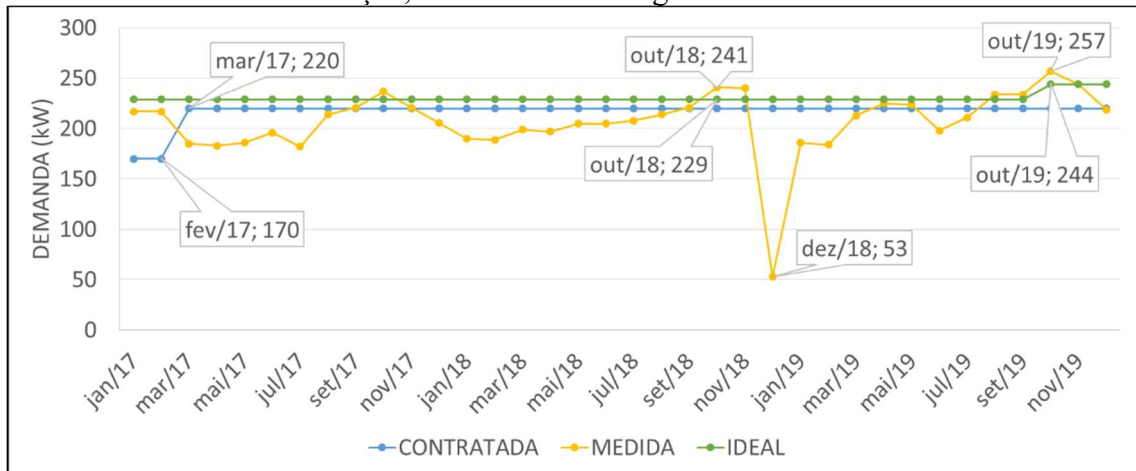
Figura 27 – Percentual de demanda de ultrapassagem nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 28, é apresentada a Análise de Demanda de uma das unidades consumidoras do CATCE de 2017 a 2019. Destaca-se nessa análise a revisão do contrato de demanda a partir do mês de março de 2017 (mudança de 170 para 220 kW), resultado da pesquisa desenvolvida por Moraes *et al.* (2017b), o mês de dezembro de 2018, com a mínima Demanda Medida (53 kW), e os meses de outubro de 2018 e outubro de 2019, cujas demandas medidas ensejavam a duas revisões nos contratos de demanda que não ocorreram (aumentos de 220kW para 229kW e 244kW, respectivamente). A análise da Figura 21, juntamente com a Figura 28, sugere que, de 2016 para 2017, houve uma redução nos valores pagos com demanda de ultrapassagem, resultado da revisão do contrato de fornecimento de energia em todas as unidades consumidoras no IFPI no início do ano de 2017, entretanto o aumento desse custo no ano seguinte sugere que, mesmo sendo uma ação concreta de eficiência, essa foi uma ação pontual que deve ter uma continuidade para a garantia dos bons resultados.

Figura 28 – Análise de demanda do Prédio A do *Campus* Teresina Central do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

A desagregação das faturas de energia ainda foi determinante para o cálculo do Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE), definido na Equação 8, que mede o percentual de perdas evitáveis nos valores pagos à concessionária de energia e influencia com a metade do peso na ponderação do Índice de Eficiência Energética proposto nesta tese. Os IndPE nos anos de 2016 a 2019, bem como os níveis de eficiência relativa dos *campi* com relação a esses indicadores foram determinados conforme a Equação 5 (Tabela 13):

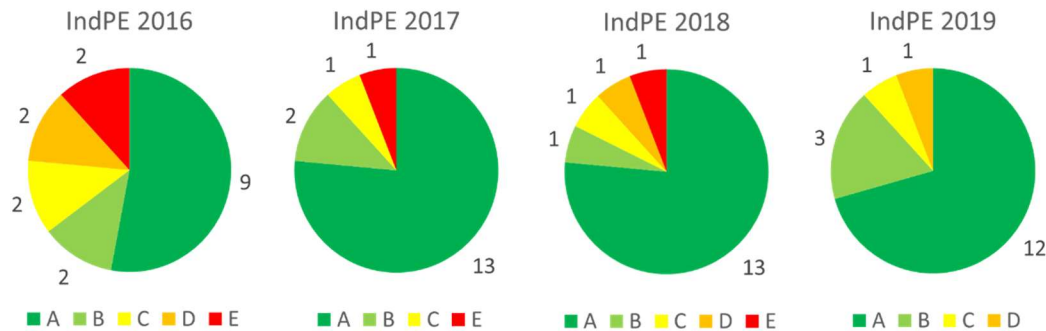
Tabela 13 – Indicadores de Perdas Evitáveis e níveis de eficiência de 2016 a 2019

<i>Campus</i>	IndPE							
	2016		2017		2018		2019	
	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível
CAANG	0,98	A	0,98	A	0,92	C	0,95	B
CACAM	0,98	A	0,98	A	0,97	A	0,98	A
CACOC	0,99	A	0,97	A	0,96	A	0,96	B
CACOR	0,87	E	0,85	E	0,86	E	0,91	C
CAFLO	0,97	A	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CAOEI	0,98	A	0,98	A	0,97	A	0,97	A
CAPAR	0,91	D	0,95	B	0,95	B	0,96	B
CAPAU	0,97	A	0,99	A	0,97	A	0,98	A
CAPEDII	0,87	E	0,94	B	0,96	A	0,97	A
CAPIC	0,96	B	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CAPIR	0,92	C	0,93	C	0,90	D	0,89	D
CASJP	0,99	A	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CASRN	0,90	D	0,99	A	0,97	A	0,98	A
CATCE	0,95	B	0,97	A	0,97	A	0,97	A
CTZS	0,92	C	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CAURU	0,98	A	0,98	A	0,98	A	0,99	A
CAVAL	0,99	A	0,97	A	0,98	A	0,98	A

Fonte: Elaborada pelo autor.

A contagem dos *campi* em cada um dos anos analisados com base no seu nível de eficiência relativa relacionado às perdas evitáveis (Figura 29) sugere, de modo geral, que a gestão energética da IES com relação a esse indicador teve uma grande melhora de 2016 para 2017, contudo sofreu uma pequena piora de 2017 para 2018, voltando a melhorar no ano seguinte.

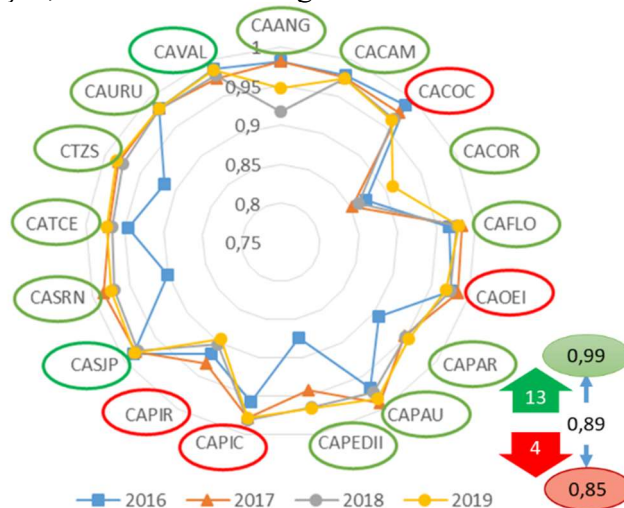
Figura 29 – Contagem dos *campi* por nível de eficiência relativa com base no Indicador de Perdas Evitáveis de 2016 a 2019



Fonte: Elaborado pelo autor.

O IndPE nos *campi* do IFPI de 2016 a 2019 variou de 0,85 a 0,99, com um valor médio de 0,89, com destaque em verde e vermelho, respectivamente, para os *campi* que melhoraram e pioraram de 2018 a 2019 (Figura 30).

Figura 30 – Variação do Indicador de Perdas Evitáveis nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2018



Fonte: Elaborada pelo autor.

Apreende-se, portanto, que 13 dos 17 *campi* tiveram uma melhora neste indicador no último ano, ou seja, uma melhoria na gestão energética por parte da IES, sobretudo com relação

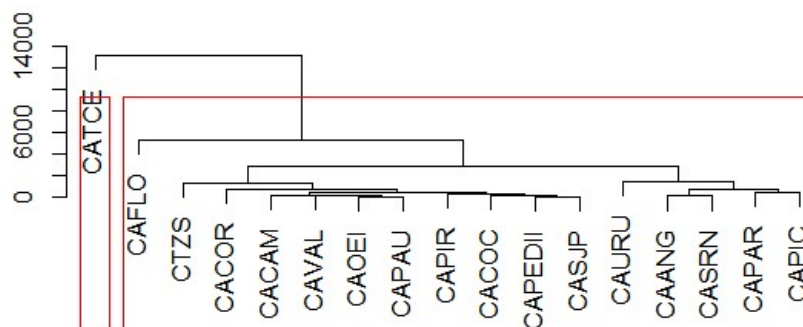
aos custos com energia elétrica. Porém deve ser buscada a melhoria contínua deste aspecto ambiental em todos os *campi* da IES, buscando atingir o melhor nível, sobretudo nos *campi* com os menores indicadores com o pagamento das faturas em dia, revisão nos contratos de fornecimento e correção do fator de potência.

4.2 Determinação dos indicadores de custos gerenciáveis

Todas as ações propostas para a eliminação das Perdas Evitáveis preveem a economia média mensal de R\$ 19.168,48 que devem ser vistas em uma Análise Econômica como Benefícios das Intervenções propostas. Entretanto os Custos Gerenciáveis representam a maior parcela das despesas com energia elétrica, 22 vezes maior, e requerem a atuação de um Sistema de Gestão Energética. Para tanto, coletaram-se dados para a elaboração de uma Matriz de Indicadores definida na

Tabela 10 nos anos de 2016 a 2019 e, utilizando-se os indicadores de estado do ano de 2017, previamente normalizados conforme as Equações 10 e 11, realizou-se uma Análise de Agrupamento e plotou-se o dendrograma mostrado na Figura 31. Daí pôde-se formar dois agrupamentos com base na distância multivariada dos *campi*, destacando que todos eles são semelhantes, exceto o CATCE. Esse resultado foi importante porque direcionou os agrupamentos para o cálculo do Indicador de Custos Gerenciáveis (IndCG) e do Índice de Eficiência Energética Relativa (IEER) que puderam ser determinados para cada um dos grupos e também de modo geral.

Figura 31 – Agrupamento dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



Fonte: Elaborada pelo autor.

As técnicas utilizadas para os agrupamentos, assim como a escolha do número de grupos são discricionárias do pesquisador, uma vez que poderiam ser utilizados, inclusive, critérios subjetivos como: localização geográfica, ano de fundação ou estrutura organizacional, por

exemplo. Todavia, com a utilização de técnicas hierárquicas e com a prévia normalização dos indicadores, buscou-se a similaridade das amostras nos agrupamentos, com base nos indicadores selecionados, e o número de grupos foi determinado, considerando-se que, neste caso particular, se fossem utilizados mais agrupamentos, o *Campus* de Floriano, assim como o *Campus* Teresina Central, ficariam sozinhos em um terceiro agrupamento, não contribuindo para as discussões dos resultados.

Em seguida, fez-se a Análise de Correlação de Pearson de todos os indicadores de consumo de energia e ensino (dois a dois) para avaliar seu grau de correlação, com o resultado mostrado na Tabela 14. Utilizou-se uma graduação que vai do vermelho ao verde, conforme aumenta a correlação entre os indicadores e pôde-se perceber que todos os indicadores são fortemente correlacionados, com exceção do indicador Y11 (Número de alunos em Cursos de Pós-Graduação), sugerindo que a variação deste indicador não explica fortemente a variação no uso da energia, no entanto optou-se por mantê-lo na análise por se tratar de um indicador importante para caracterização da atividade fim da instituição.

Ademais, a grande correlação entre os indicadores sugere a possibilidade de realização da Análise de Componentes Principais (ACP), que poderia substituir a matriz de indicadores por um número relativamente menor de fatores que guardariam a sua variância, com uma precisão que também poderia ser determinada (MANLY, 2008). Mas essa técnica não foi utilizada com esse objetivo, uma vez que se possui um número suficiente de observações para o atendimento à Regra de Ouro da DEA (BANKER *et al.*, 1989), e a substituição dos indicadores pelos fatores poderia deixar o entendimento dos resultados mais complexo e dificultar a gestão energética, sobretudo com relação aos *benchmarks*, que são um dos resultados da DEA.

Tabela 14 – Coeficiente de Correlação de Pearson da Matriz de Indicadores

	X1	X2	X3	X4	Y8	Y9	Y10	Y11
X1	1,00							
X2	0,99	1,00						
X3	1,00	0,98	1,00					
X4	0,98	0,99	0,99	1,00				
Y8	0,91	0,92	0,91	0,92	1,00			
Y9	0,77	0,76	0,75	0,75	0,60	1,00		
Y10	0,98	0,97	0,98	0,97	0,90	0,74	1,00	
Y11	0,62	0,59	0,64	0,63	0,66	0,34	0,67	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

Já para a ACP necessária para a seleção das melhores variáveis para a ilustração do modelo proposto, primeiramente analisou-se a adequação dos indicadores tanto para o uso de energia quanto para os de ensino com resultados positivos, indicando que a ACP pôde ser

utilizada assim como todos os indicadores selecionados. Como resultado, os Testes de Esfericidade de Barlett rejeitaram a hipótese nula (significativos a 1%), os Índices KMO foram iguais a 0,667 para os indicadores de energia e 0,790 para os indicadores de ensino e a MSA de todos os indicadores obteve valores superiores a 0,5.

Assim, dada a alta correlação entre todas as variáveis, as duas análises retornaram um único fator que explica a variância do uso de energia e o ensino de cada um dos *campi* (o que torna inviável a rotação dos fatores), com 99,13% e 82,25% de precisão, respectivamente. A relevância de cada um dos indicadores nesses fatores é mostrada na Tabela 15 e, de acordo com Khan, Lima e Lima (2018), pode ser determinada pela razão entre o seu coeficiente e soma de todos os coeficientes, após a normalização. Dessa análise podemos destacar que todos os indicadores são igualmente relevantes para os fatores com a média mensal da demanda máxima de energia ativa ponta (X3) e o número de alunos em Cursos Técnicos Superiores (Y10) (Tabela 10) com uma leve vantagem sobre os outros. É relevante destacar, entretanto, que nesta e nas análises que se seguem, não foram utilizadas as medições referentes ao *Campus* de Floriano no ano de 2016, porque o medidor de energia da concessionária previamente instalado não media o consumo de energia ponta e fora-ponta separadamente, indicadores analisados na matriz (Indicadores X1 e X2 da Tabela 10

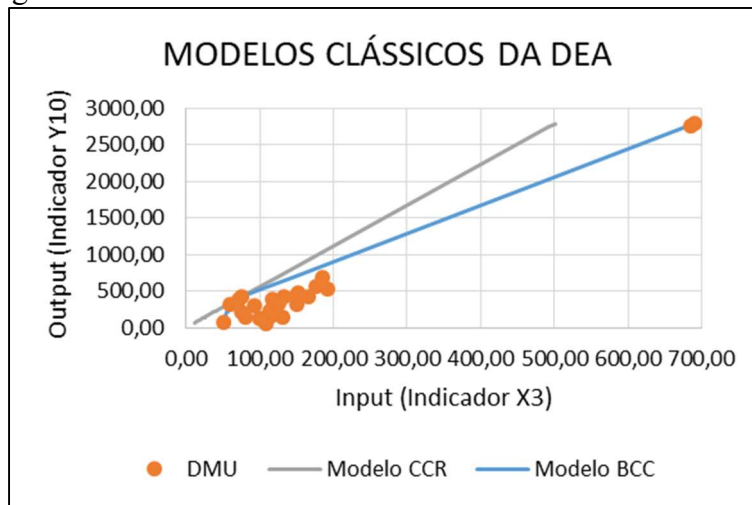
Tabela 15 – Coeficientes e relevância dos indicadores no ensino e no uso de energia dos *campi*

INDICADOR	USO DE ENERGIA				ENSINO			
	X1	X2	X3	X4	Y8	Y9	Y10	Y11
COEFICIENTE	0,251039	0,251228	0,251231	0,250864	0,288290	0,280245	0,296287	0,233497
RELEVÂNCIA	24,99%	25,01%	25,01%	24,98%	26,25%	25,52%	26,98%	21,26%

Fonte: Elaborada pelo autor.

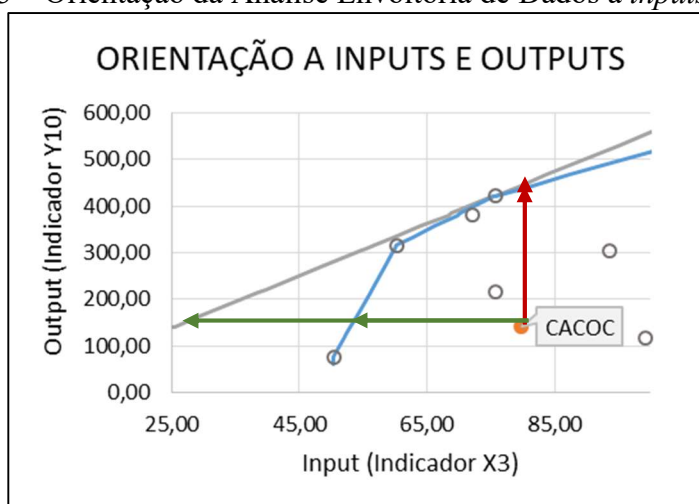
Para ilustrar o modelo proposto escolheram-se os indicadores de maior relevância às análises, uma vez que os próprios fatores não puderam ser utilizados porque, após a normalização necessária para evitar erros na ACP, os insumos e os produtos apresentaram valores negativos não suportados pela Análise Envoltória de Dados (DEA), técnica utilizada na determinação do IndCG. Assim pôde-se ilustrar as curvas de eficiência determinadas pela DEA nos modelos CCR (retorno constante de escala) e BCC (retorno variável de escala) orientados a insumos utilizando-se as Unidades Tomadoras de Decisão (DMU) com valores não nulos, conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32 – Modelos clássicos da Análise Envoltória de Dados



Fonte: Elaborada pelo autor.

Além disso, pôde-se salientar como a redução dos insumos (modelo orientado a *inputs*) e o aumento dos produtos (modelo orientado a *outputs*), destacados em verde e vermelho na Figura 33, respectivamente, podem levar as DMU ineficientes ao índice A de Eficiência Energética Relativa e a atingir a curva de eficiência. Conforme pode ser visto nesta figura, a escolha do modelo e a orientação da DEA também são determinantes para o índice de Eficiência Relativa, uma vez que ele é resultado da razão entre a produtividade da DMU analisada e da sua projeção em uma das curvas de eficiências, de acordo com a orientação escolhida.

Figura 33 – Orientação da Análise Envoltória de Dados a *inputs* e *outputs*

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ademais, com base nos conceitos de produtividade, pôde-se determinar o Indicador de Custos Gerenciáveis (IndCG) utilizando-se as medições de uso de energia e ensino nos anos de

2016 a 2019, como uma medida da eficiência relativa na demanda e no uso de energia ativa (energia que retorna trabalho útil). Utilizou-se o modelo BCC da DEA na determinação desse indicador para o índice geral, uma vez que esse modelo considera que pode haver retornos diferentes em função da escala da DMU, enquanto que o Modelo CCR da DEA foi utilizado para a determinação deste indicador nos agrupamentos, pelo fato de este último modelo considerar retornos constantes, independentemente da escala da DMU. São mostrados, então, os IndCG geral e os níveis de eficiência relativa com relação a esse indicador em todos os *campi* do IFPI, com exceção do *Campus* de Florianópolis, do ano de 2016, pelo mesmo motivo explicado anteriormente (Tabela 16).

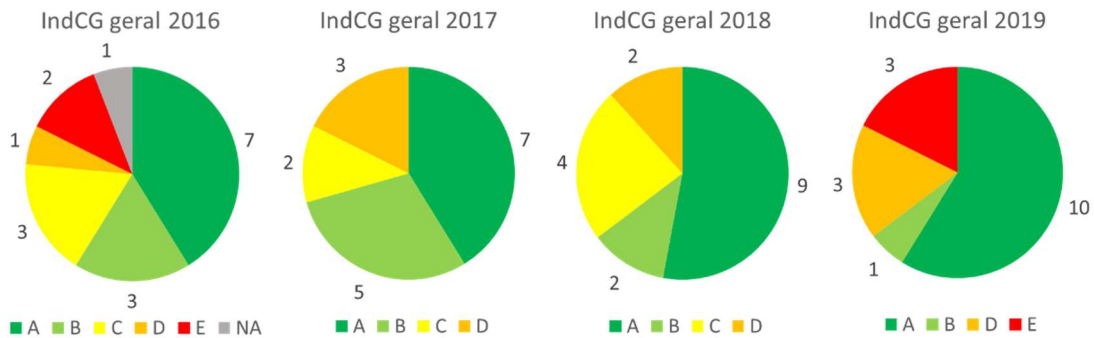
Tabela 16 – Indicadores de Custos Gerenciáveis geral e níveis de eficiência de 2016 a 2019

<i>Campus</i>	IndCG Geral							
	2016		2017		2018		2019	
	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível
CAANG	1,00	A	1,00	A	0,77	C	0,76	D
CACAM	1,00	A	0,91	A	1,00	A	0,69	E
CACOC	0,90	A	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CACOR	0,85	B	0,82	B	1,00	A	1,00	A
CAFLO	-	NA	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CAOEI	1,00	A	0,80	B	1,00	A	1,00	A
CAPAR	0,87	B	0,84	B	0,88	B	1,00	A
CAPAU	0,67	D	0,73	C	0,98	A	0,93	B
CAPEDEII	1,00	A	0,85	B	1,00	A	0,94	A
CAPIC	0,71	C	0,88	B	0,73	C	0,75	D
CAPIR	0,73	C	0,66	D	0,76	C	0,65	E
CASJP	0,75	C	0,74	C	0,69	D	0,77	D
CASRN	0,48	E	0,60	D	0,67	D	0,69	E
CATCE	1,00	A	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CTZS	0,97	A	0,96	A	1,00	A	1,00	A
CAURU	0,57	E	0,64	D	0,78	C	0,96	A
CAVAL	0,89	B	0,95	A	0,86	B	0,93	A

Fonte: Elaborada pelo autor.

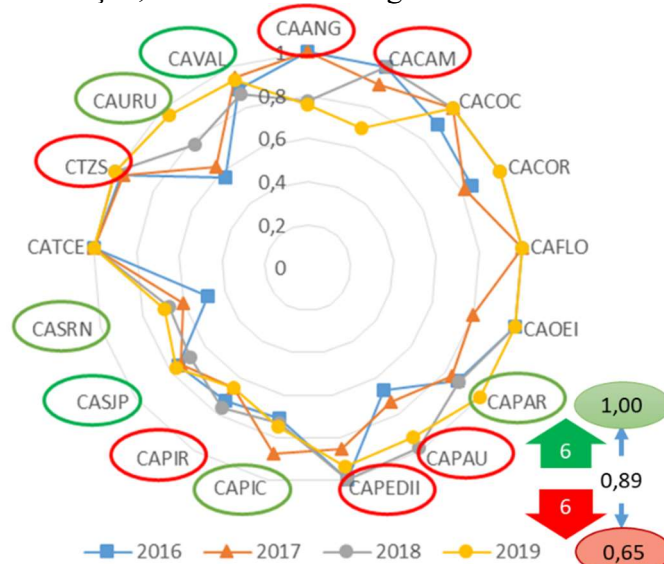
Além disso, na Figura 34, é mostrada a contagem dos *campi* do IFPI de 2016 a 2019 com base no IndCG geral, e na Figura 35 é mostrada a variação desse indicador ano a ano. Com uma média de 0,89, esse indicador variou 0,65 a 1,00, destacando que não houve uma consistência na variação desse indicador em todos os *campi* no decorrer do período estudado, com seis *campi* melhorando e seis *campi* piorando a eficiência no uso da energia neste último ano.

Figura 34 – Contagem dos *campi* por nível de eficiência relativa com base no Indicador de Custos Gerenciáveis geral de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 35 – Variação do Indicador de Custos Gerenciáveis geral nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ainda se utilizando o conceito de produtividade, com o modelo CCR da DEA determinou-se o IndCG para os agrupamentos, uma vez que esse modelo é um pouco mais exigente que o BCC. Na Tabela 17 são mostrados os IndCG por agrupamento e os níveis de eficiência relativa com relação a esse indicador em todos os *campi* do IFPI (exceto o *Campus* de Floriano em 2016).

Tabela 17 – Indicadores de Custos Gerenciáveis por agrupamento e níveis de eficiência de 2016 a 2019

Campus	IndCG por agrupamento							
	2016		2017		2018		2019	
	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível
CAANG	1,00	A	1,00	A	0,76	B	0,73	C
CACAM	1,00	A	0,51	D	1,00	A	0,66	D
CACOC	0,59	D	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CACOR	0,85	B	0,80	B	1,00	A	1,00	A
CAFLO	-	NA	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CAOEI	1,00	A	0,70	C	1,00	A	1,00	A
CAPAR	0,86	B	0,79	B	0,84	B	0,92	A
CAPAU	0,57	D	0,68	C	0,97	A	0,93	A
CAPEDEII	1,00	A	0,75	B	1,00	A	0,90	B
CAPIC	0,70	C	0,83	B	0,67	C	0,75	C
CAPIR	0,73	C	0,64	C	0,76	B	0,65	D
CASJP	0,38	E	0,50	E	0,60	D	0,63	D
CASRN	0,39	E	0,54	D	0,67	C	0,69	C
CATCE	1,00	A	1,00	A	1,00	A	1,00	A
CTZS	0,90	A	0,94	A	1,00	A	0,95	A
CAURU	0,52	D	0,61	D	0,77	B	0,95	A
CAVAL	0,85	B	0,92	A	0,85	B	0,93	A

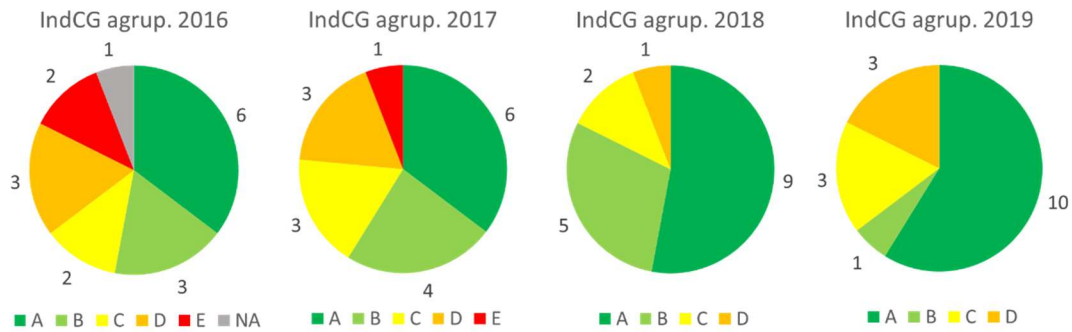
Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim como para o índice geral, na Figura 36 e na Figura 37, é mostrada a contagem dos *campi* do IFPI de 2016 a 2019, com base no IndCG agrupamento e variação desse indicador ano a ano, respectivamente, destacando-se novamente em verde e vermelho os *campi* que pioraram e melhoraram de 2018 a 2019 com relação a esse indicador. Pôde-se também constatar, de maneira geral, que não houve uma consistência na variação desse indicador em todos os *campi* no decorrer do período estudado, com os mesmos seis *campi* melhorando e seis *campi* piorando a eficiência energética e o indicador variando de 0,63 a 1,00, com um valor médio de 0,86.

Por fim, mesmo não havendo um padrão na variação nesses indicadores, pode-se destacar os *Campi* de Campo Maior e Uruçuí como as DMU que apresentaram a maior diminuição e maior aumento nos IndCG geral (variações de -0,31 e -0,34) e por agrupamento (variações de 0,39 e 0,43), respectivamente. Mostrou-se ainda a variação dos indicadores de uso de energia e de ensino tanto para o *campus* que teve a maior variação (

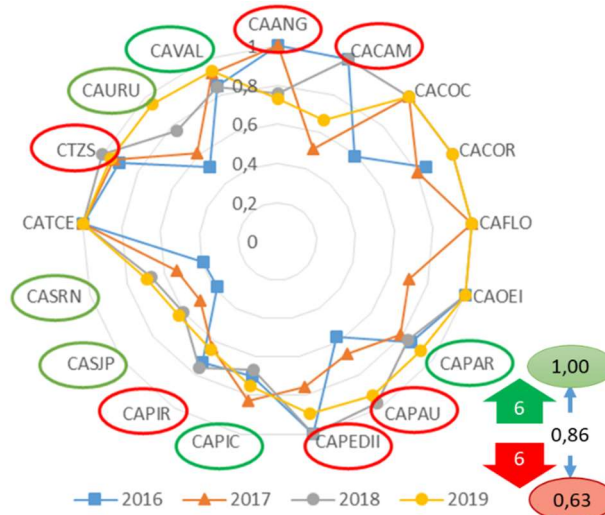
Figura 38 e Figura 39), quanto para o que teve a menor variação (Figura 40 e Figura 41). Percebem-se um aumento nos *inputs* e uma diminuição nos *outputs* no *campus* com a melhor evolução no período e, conseqüentemente, um aumento na sua produtividade, e constata-se o inverso no *campus* com a pior evolução no período.

Figura 36 – Número de *campi* por nível de eficiência relativa baseado no Indicador de Custos Gerenciáveis por agrupamento de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 37 – Variação do Indicador de Custos Gerenciáveis por agrupamento nos *campi* do IFPI de 2016 a 2019

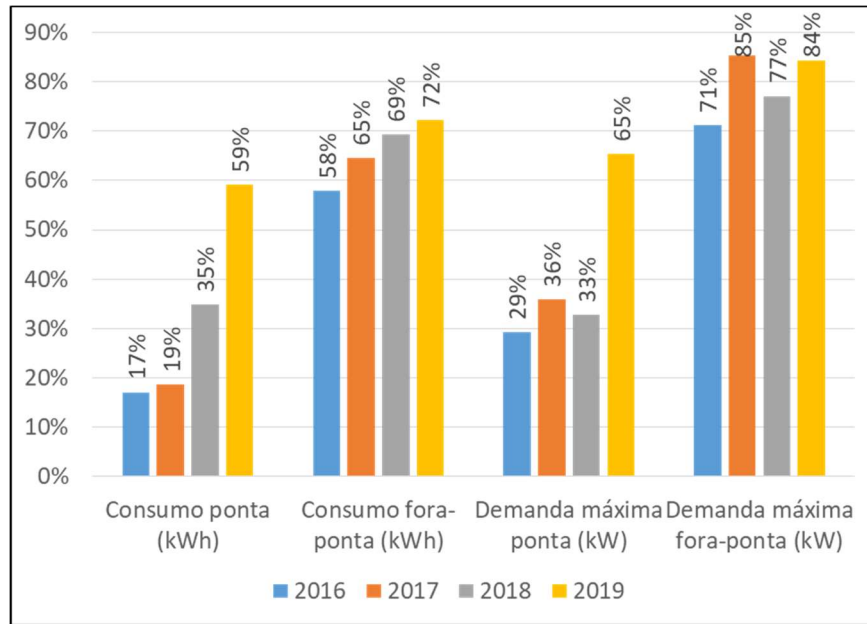


Fonte: Elaborada pelo autor.

A DMU com maior eficiência consequentemente possui a melhor produtividade, e podemos definir esse último conceito como a razão entre os *outputs* e *inputs*. Assim, analisando-se a variação do IndCG, podemos constatar que esse indicador reflete a variação da produtividade ao constatarmos que, no primeiro *campus* em que esse indicador diminuiu, ocorreu uma diminuição nos *outputs* (Figura 39) e um aumento dos *inputs* (

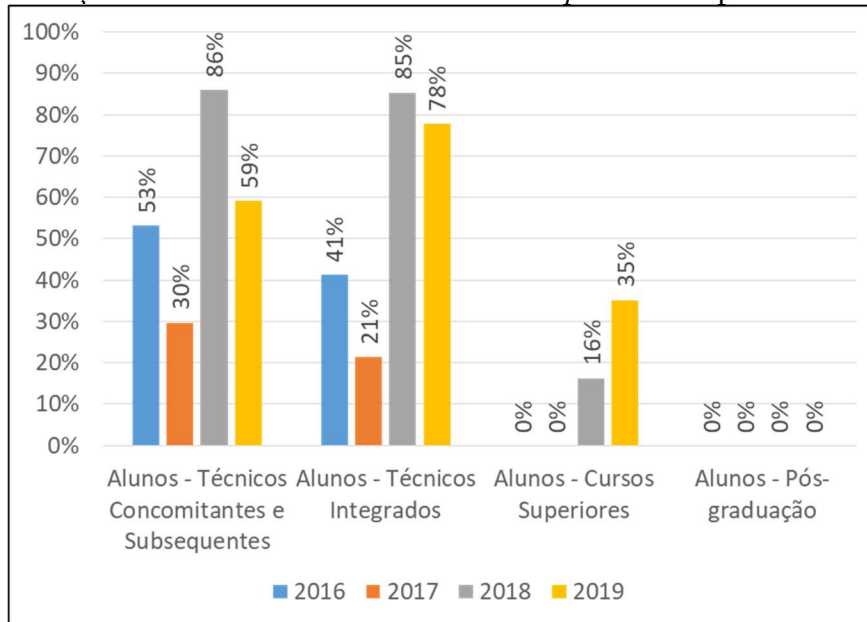
Figura 38), diminuindo a produtividade e a eficiência, e que no segundo *campus*, onde o IndCG geral aumentou, percebeu-se um aumento dos *outputs* (Figura 41) e uma diminuição nos *inputs* (Figura 40), aumentando a produtividade e a eficiência. Confirma-se, assim, a eficácia do IndCG.

Figura 38 – Variação dos indicadores de uso de energia no *Campus* de Campo Maior de 2016 a 2019

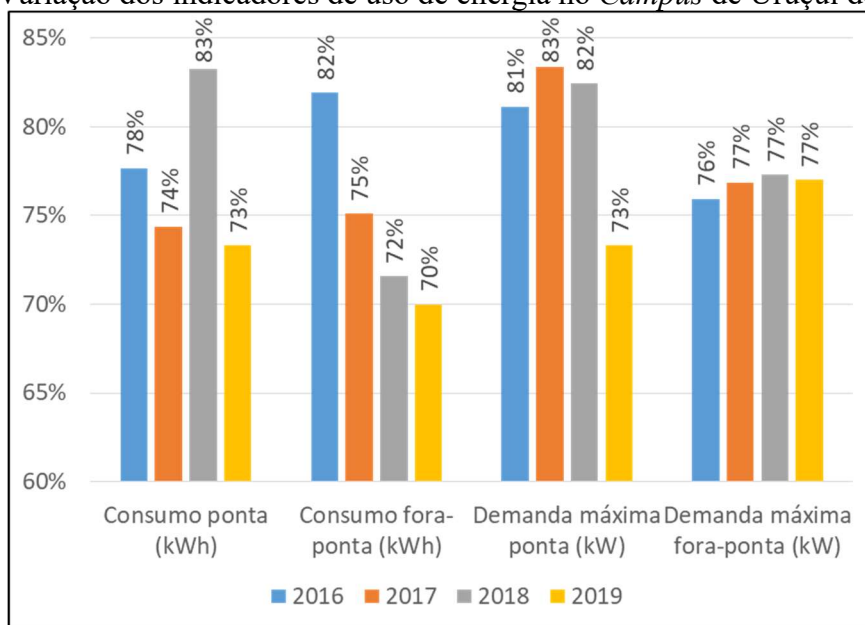


Fonte: Elaborada pelo autor.

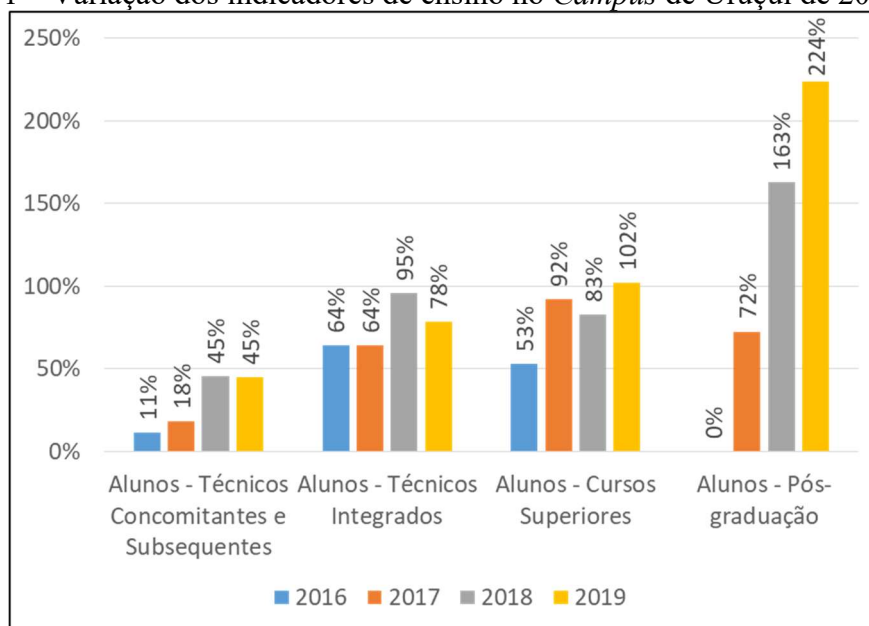
Figura 39 – Variação dos indicadores de ensino no *Campus* de Campo Maior de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 40 – Variação dos indicadores de uso de energia no *Campus* de Uruçuí de 2016 a 2019

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 41 – Variação dos indicadores de ensino no *Campus* de Uruçuí de 2016 a 2019

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Desenvolvimento da rotulagem ambiental

Depois de calculados o Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE) e o Indicador de Custos Gerenciáveis (IndCG) geral e por agrupamento, pôde-se calcular o Índice de Eficiência Energética Relativa (IEER) também de maneira geral e por agrupamento com a média aritmética dos dois indicadores para todos os *campi* do IFPI de 2016 a 2019 (exceto para o *Campus* de Floriano em 2016), cujos resultados são mostrados na Tabela 18. Na Figura 42 e na Figura 43,

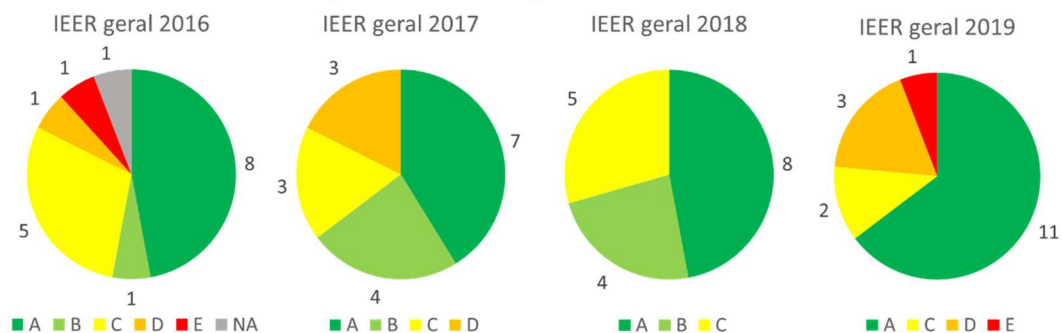
são mostradas a contagem por nível de eficiência com base neste índice no período analisado de maneira geral e por agrupamento. De maneira geral, podemos notar uma melhora neste indicador ao longo dos anos (em ambos) em função da melhoria no Indicador de Perdas Evitáveis, entretanto, conforme destacado no Tópico 4.1, a ação que teve o impacto positivo neste indicador foi apenas pontual, devendo ser continuada.

Tabela 18 – Índices e Níveis de Eficiência Energética Relativa geral e por agrupamento de 2016 a 2019

CAMPUS	2016				2017				2018				2019			
	Geral		Agrup.		Geral		Agrup.		Geral		Agrup.		Geral		Agrup.	
	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível	Índice	Nível
CAANG	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,84	C	0,84	C	0,85	D	0,84	C
CACAM	0,99	A	0,99	A	0,94	A	0,74	D	0,99	A	0,99	A	0,83	D	0,82	D
CACOC	0,94	A	0,79	C	0,99	A	0,99	A	0,98	A	0,98	A	0,98	A	0,98	A
CACOR	0,86	C	0,86	B	0,83	C	0,82	C	0,93	B	0,93	A	0,95	A	0,95	A
CAFLO	-	NA	-	NA	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,99	A
CAOEI	0,99	A	0,99	A	0,89	B	0,84	C	0,99	A	0,99	A	0,98	A	0,98	A
CAPAR	0,89	B	0,88	B	0,89	B	0,87	B	0,91	B	0,89	B	0,98	A	0,94	B
CAPAU	0,82	C	0,77	D	0,86	C	0,83	C	0,98	A	0,97	A	0,96	A	0,96	A
CAPEDII	0,94	A	0,94	A	0,90	B	0,85	C	0,98	A	0,98	A	0,95	A	0,93	B
CAPIC	0,83	C	0,83	C	0,93	B	0,90	B	0,86	C	0,82	C	0,86	C	0,86	C
CAPIR	0,82	C	0,82	C	0,79	D	0,78	C	0,83	C	0,83	C	0,77	E	0,77	E
CASJP	0,87	C	0,69	E	0,86	C	0,74	D	0,83	C	0,79	C	0,88	C	0,81	D
CASRN	0,69	E	0,65	E	0,79	D	0,76	D	0,82	C	0,82	C	0,83	D	0,83	D
CATCE	0,97	A	0,97	A	0,99	A	0,99	A	0,98	A	0,98	A	0,99	A	0,99	A
CTZS	0,94	A	0,91	B	0,97	A	0,96	A	0,99	A	0,99	A	0,99	A	0,97	A
CAURU	0,77	D	0,75	D	0,81	D	0,80	C	0,88	B	0,87	B	0,97	A	0,97	A
CAVAL	0,94	A	0,92	B	0,96	A	0,95	A	0,92	B	0,91	B	0,96	A	0,96	A

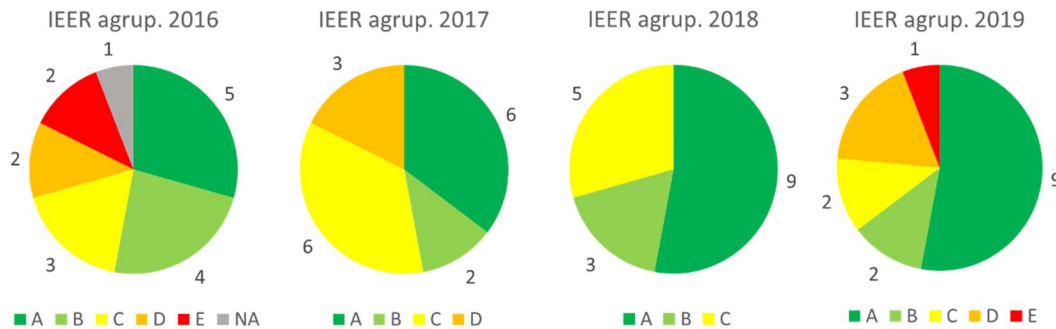
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 42 – Número de *campi* por nível de eficiência relativa baseado no Índice de Eficiência Energética Relativa geral de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

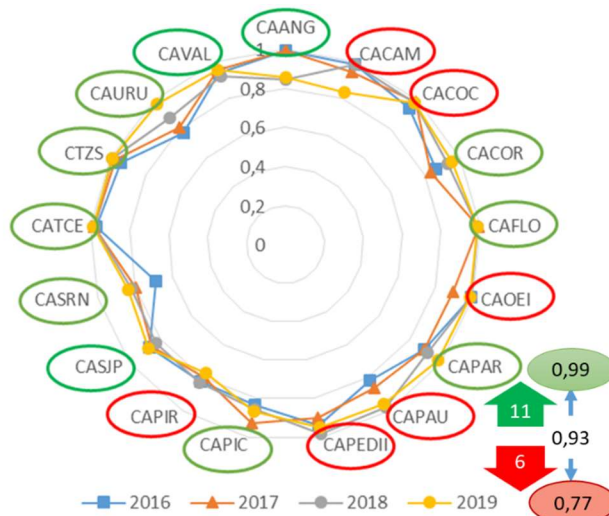
Figura 43 – Número de *campi* por nível de eficiência relativa baseado no Índice de Eficiência Energética Relativa por agrupamento de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

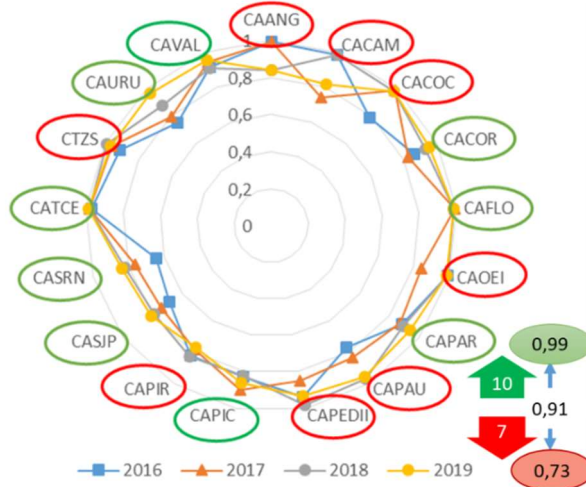
Já na Figura 44 e na Figura 45, são mostradas as variações do IEER geral e por agrupamento de 2016 a 2019. O IEER geral teve um valor médio 0,93, variando de 0,77 a 0,99, enquanto que o IEER por agrupamento teve um valor médio de 0,91, variando de 0,73 a 0,99. Assim como nos indicadores que os compõem, não houve um padrão na variação do índice dentro da IES, com alguns melhorando e outros piorando o seu desempenho, não havendo uma uniformidade entre a variação do índice geral e por agrupamento (seis *campi* melhoraram na primeira análise e sete *campi* melhoraram na análise nos grupos). Comparando-se as duas figuras, podemos concluir que a metodologia na determinação do IEER nos agrupamentos é mais exigente que a metodologia para a determinação do índice geral, uma vez que determinou indicadores menores em termos absolutos, e por essa razão estes primeiros foram utilizados para a determinação das metas para o aumento da eficiência.

Figura 44 – Variação do Índice de Eficiência Energética Relativa geral nos *campi* do IFPI de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

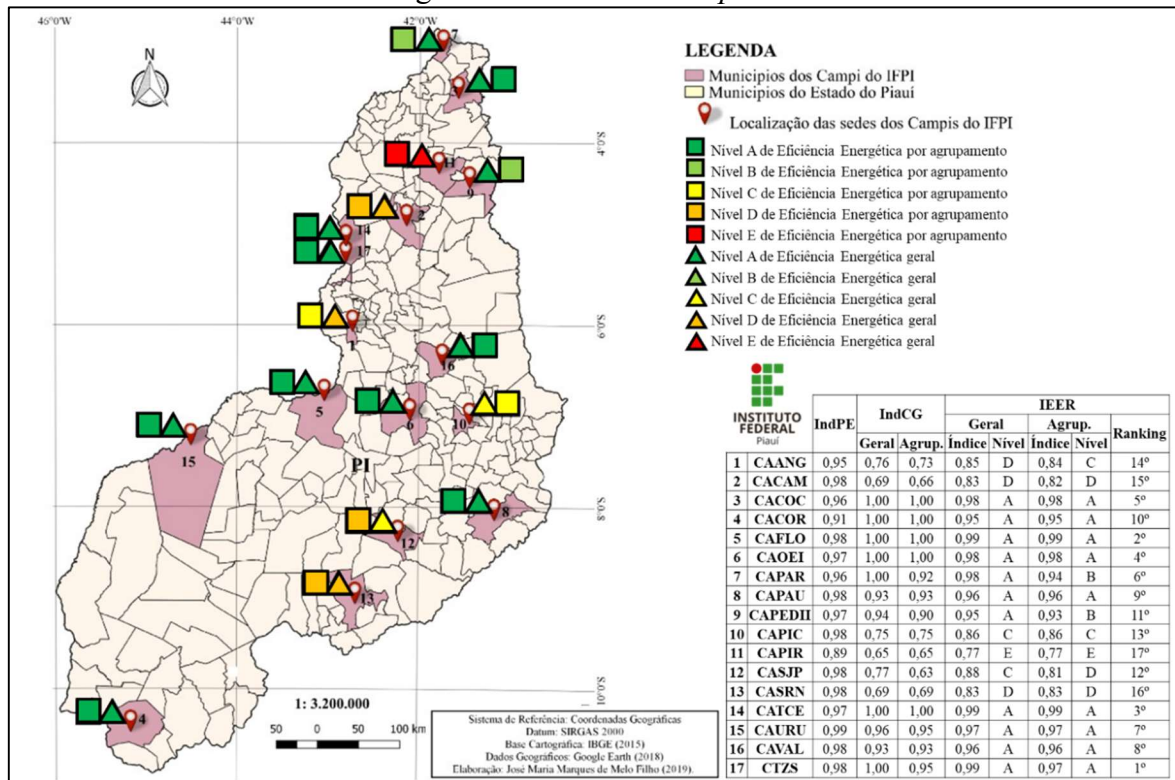
Figura 45 – Variação do Índice de Eficiência Energética Relativa por agrupamento nos *campi* do IFPI de 2016 a 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por sua vez, na Figura 46, são mostrados os resultados em todos os *campi* no ano de 2019 (IndPE, IndCG e IEER, geral e por agrupamento) e destacou-se ainda um *ranking* elaborado com o IEER geral, com os *Campi* de Piri-piri e Teresina Zona Sul, com o pior e melhor índice.

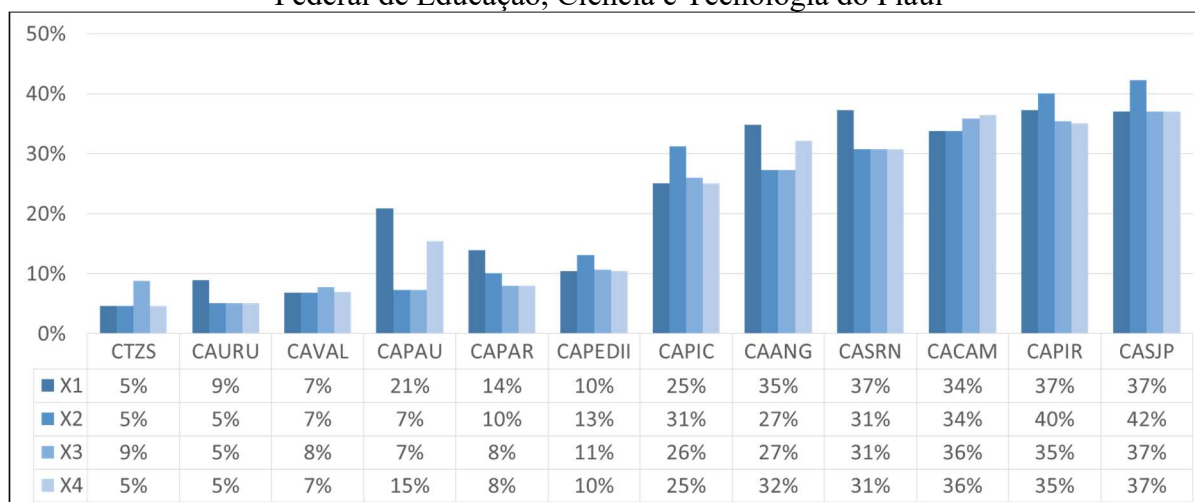
Figura 46 – Indicador de Perdas Evitáveis, Indicador de Custos Gerenciáveis e Índice de Eficiência Energética Relativa dos *campi* do IFPI em 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

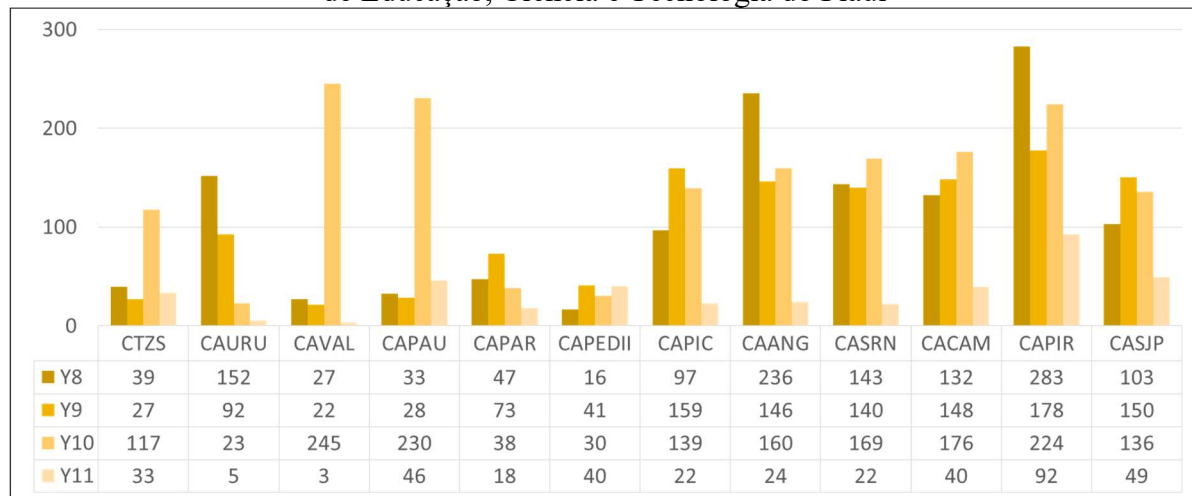
Para que todos os *campi* atinjam o nível máximo de eficiência energética, devem atingir o nível máximo em ambos os indicadores. Para o máximo desempenho no IndPE, devem eliminar completamente as perdas evitáveis com as ações destacadas no Tópico 4.1, quais sejam: pagamento das faturas em dia para eliminar os encargos, revisão dos contratos de fornecimento de energia para que não paguem multa com a demanda de ultrapassagem, além da instalação de bancos de capacitores para a correção do fator de potência e eliminação do consumo excessivo de energia reativa. Já para o nível máximo do IndCG, conforme destacado no tópico 4.2, dois caminhos são possíveis, devendo ser estimulados simultaneamente, ou seja, deve-se diminuir o consumo e a demanda de energia ativa e aumentar o número de alunos. Foram determinadas com a DEA modelo BBC orientada a *inputs* as metas para a diminuição dos *inputs* (Figura 47) e com a DEA modelo BBC orientada a *output* as metas para o aumento dos indicadores de ensino (Figura 48), para os *campi* com baixo desempenho neste indicador. Vale ressaltar que o atendimento a essas metas trará benefícios adicionais com o aumento dos recursos recebidos pela instituição e diminuição dos impactos socioambientais da expansão do Sistema Elétrico do país.

Figura 47 – Metas para diminuição dos indicadores de uso de energia nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



Fonte: Elaborada pelo autor.

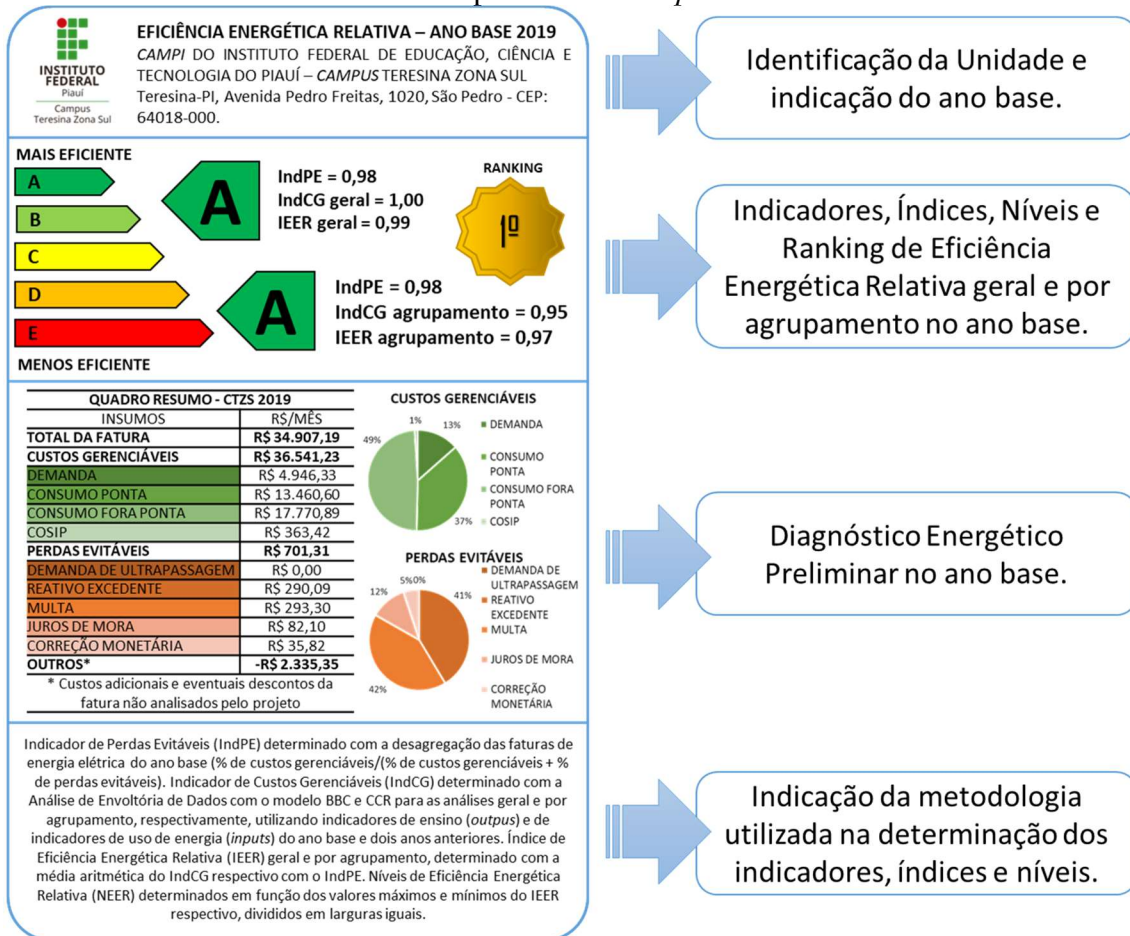
Figura 48 – Metas para o aumento dos indicadores de ensino nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



Fonte: Elaborada pelo autor.

Importante destacar que os *campi* com menor Indicador de Custos Gerenciáveis apresentam metas mais ambiciosas. E, como primeira estratégia de gestão energética, reconhecendo-se que declarações ambientais podem ser feitas de várias formas (textos, símbolos, rótulos, boletins técnicos etc.) e de acordo com as normas de rotulagem ambiental da Abnt (2017), desenvolveram-se novos modelos de Etiquetas de Eficiência Energética Relativas (EEER). Utilizaram-se como base as Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações (PBE Edifica), paradigma tradicional com baixa eficácia no país e rotulagem ambiental Tipo I (rotulagem desenvolvida por terceiros) (Figura 49), desenvolvendo-se, portanto, uma rotulagem ambiental tipo II (autodeclaração ambiental) clara, transparente, cientificamente sólida e documentada, características necessárias para a confiabilidade da autodeclaração. Essa nova proposta de rotulagem se difere da primeira pelo seu tipo e metodologia, uma vez que é “*top down*” e utiliza apenas informações constantes nas faturas de energia e dados contantes na matriz de indicadores coletados nos anos analisados, sendo, portanto, de mais fácil determinação que a etiquetagem proposta pelo Inmetro.

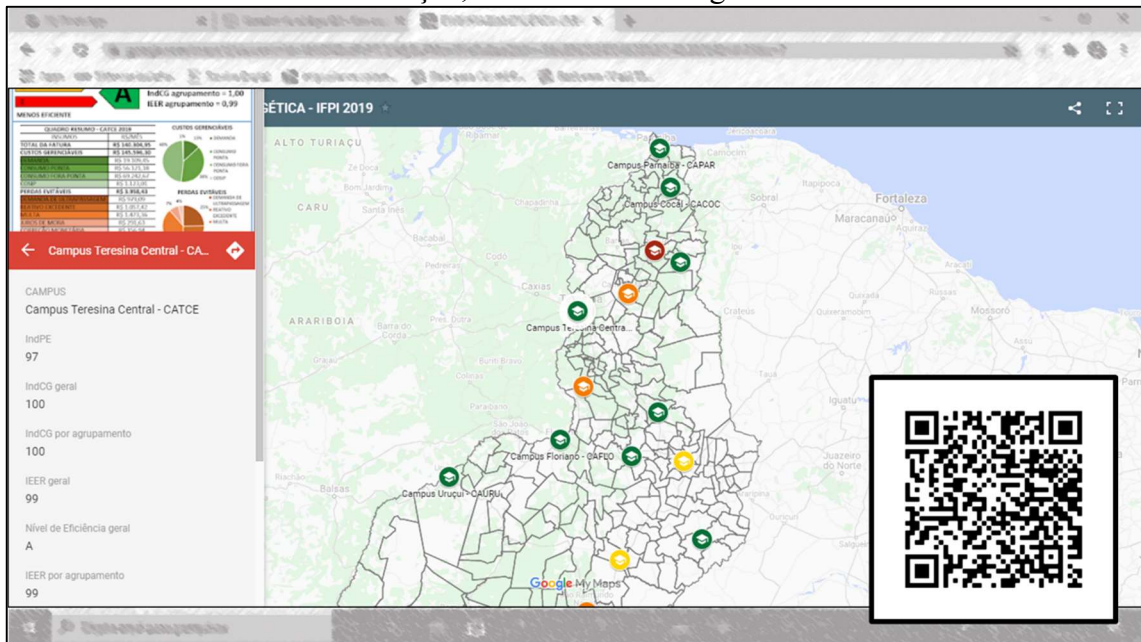
Figura 49 – Rotulagem ambiental da eficiência energética para Instituições de Ensino Superior *multicampi*



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 49, é mostrada a composição das etiquetas desenvolvidas para as Instituições de Ensino Superior *multicampi* no ano base de 2019, podendo servir de ferramentas em uma estratégia de *benchmarking* e orientar as ações de um Sistema de Gestão Energética. Todos os rótulos ambientais para os *campi* do IFPI neste ano podem ser acessados em um mapa dinâmico (SILVA; LIRA; MOITA NETO, 2020b) disponível na internet que pode ser acessado através do *QR Code* mostrado na Figura 50, ao clicar nos ícones de cada um dos *campi*.

Figura 50 – Mapa dinâmico com a rotulagem ambiental da eficiência energética dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí no ano de 2019



Fonte: Elaborada pelo autor.

Essa nova proposta de rotulagem ambiental da eficiência energética pode ser aplicável a outras organizações *multisites*, uma vez que é baseada na desagregação das faturas de energia e na Análise Envoltória de Dados. O IndPE pode ser utilizado conforme a Equação 8, sem nenhum prejuízo para a rotulagem, desde que as unidades consumidoras sejam do tipo A (alimentadas em alta tensão) (ANEEL, 2010), enquanto que, para a aplicação do IndCG, é importante a adequação da matriz de indicadores, conforme orienta a OECD (2003). A eficiência energética está alinhada com a agenda 2030, trazendo benefícios ambientais com a mitigação dos impactos do aumento da demanda de energia elétrica e da consequente expansão do sistema elétrico do país, além de trazer benefícios para a comunidade acadêmica uma vez que o desenvolvimento de Projetos de Eficiência Energética pode adequar os sistemas às normas técnicas vigentes, trazendo conforto ambiental, além de o recurso economizado poder ser revertido na melhoria da infraestrutura das IES e em ações afirmativas como: fornecimento de bolsas, alimentação e moradia para os alunos.

4.4 Viabilidade da expansão de sistemas fotovoltaicos em IES *multicampi*

O *Campus* de Floriano possui 9.481,41 m² de área construída e é utilizado por 80 professores, 62 técnico-administrativos, 39 servidores terceirizados e um total de 1.300 alunos, funcionando nos turnos da manhã, tarde e noite. O Sistema Fotovoltaico instalado nessa unidade

foi o primeiro sistema de minigeração instalado no Piauí (potência maior que 75 kW e menor que 5 MW) e entrou em operação em junho de 2016 com uma média mensal de 21.333 kWh no primeiro ano de operação, correspondendo a 32,44% do seu consumo de energia, evitando a emissão de 25,93 toneladas de CO₂ nesse mesmo período (SÁ *et al.*, 2017).

Esse sistema é composto por 660 módulos fotovoltaicos policristalinos do modelo Canadian Solar CS6P-260P de 260 Wp, e os inversores utilizados são da marca SMA Sunny Tripower, de modelos SIW500 ST010 (um), SIW500 ST015 (um) e SIW500 ST025 (cinco), totalizando 7 inversores e 150 kWp de potência (MORAIS; BARBOSA; MORAES, 2019a). Os módulos fotovoltaicos encontram-se montados sobre estrutura metálica fixa com inclinação de 15°, orientada para o Nordeste (desvio azimutal de 5°) nos telhados 1, 2, 3 e 4N e orientada para o Sudoeste (desvio azimutal de -175°) nos telhados 4S e 5 (Figura 51) (MORAIS; BARBOSA; MORAES, 2019a).

Esse SFV possui viabilidade técnica, com Produtividade, Fator de Capacidade e Taxa de Performance iguais a, respectivamente, 1.493,12 kWh/kWp, 17,04% e 73,54%, ou seja, índices de mérito superiores a outros sistemas fotovoltaicos instalados em outras Instituições de Ensino Superior estudados por Urbanetz Junior, Casagrande Junior e Tiepolo (2014), Gomes *et al.* (2015) e Buiatti *et al.* (2016), sobretudo devido aos altos índices diários médios de irradiação da cidade (5.641 kWh/m²/dia). Entretanto, mesmo com alta aderência estratégica, a sua viabilidade econômica é colocada em cheque devido ao alto investimento inicial (R\$ 1.150.000,00) e alto Custo Unitário Básico (R\$ 7,67/Wp), baixo retorno financeiro (Relação Custo-benefício igual a 4,37) e elevado tempo de retorno do investimento (19 anos após a sua instalação) (MORAIS; BARBOSA; MORAES, 2019a).

Figura 51 – Detalhes do Sistema instalado no *Campus* Floriano do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



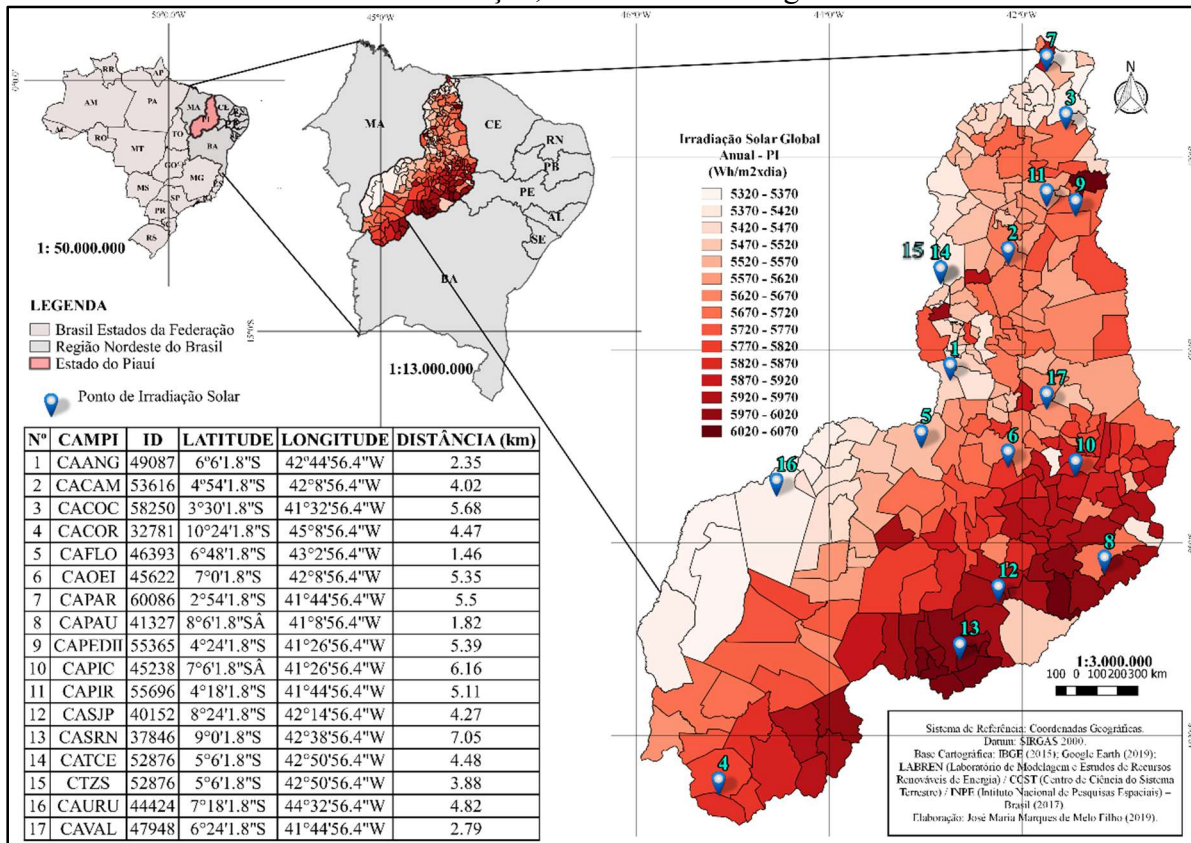
Fonte: Elaborada pelo autor.

Esse sistema estimulou a criação da disciplina “Energias Renováveis” no Curso Técnico em Eletromecânica que é ofertado regularmente pela instituição, a construção do Implantação do laboratório de energia solar fotovoltaica do *campus*, a execução de um Projeto de Pesquisa, além da execução de três Projetos de Extensão (SÁ, 2019). Além disso, destaca-se a defesa de duas dissertações de mestrado (SÁ, 2019; MORAIS, 2018) e o desenvolvimento de uma tese de doutorado (SILVA, 2018) de professores da própria instituição que estudam o sistema, além da consequente publicação de artigos científicos que levam o nome da IES. Assim, além dos benefícios técnicos, econômicos e ambientais, o sistema instalado no *Campus* de Floriano também trouxe benefícios para a atividade fim da instituição (ensino, pesquisa e extensão).

Pôde-se encontrar no banco de dados da segunda versão do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al*, 2017), os pontos de referência mais próximos de cada um dos 17 *campi* da IES, considerando as suas coordenadas geográficas (Figura 11) e utilizando-se a Equação 9, e estimar as distâncias entre eles com base no raio médio da superfície terrestre, identificando-se também a média anual da irradiação global diária na sede de cada um dos municípios do

estado (Figura 52). Assim, apreende-se que a maioria dos municípios com o maior potencial de utilização de energia solar encontra-se na região sudeste do estado.

Figura 52 – Espacialização das referências de irradiação mais próximas dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pôde-se identificar para a instituição a contratação de dez novos Sistemas Fotovoltaicos: oito de microgeração distribuída com potência média de 53 kWp e dois novos sistemas de minigeração distribuída de 80 e 119 kWp de potência, totalizando 625kWp e um Custo Unitário Básico (CUB) médio de R\$3,06/Wp (Tabela 19) (CGU, 2020). Entretanto cabe ressaltar que, mesmo tendo sido contratado na mesma época que os outros sistemas, o contrato do *Campus* Teresina Central (CATCE) foi feito com uma empresa diferente dos demais, com um CUB 34% maior que a média destes.

Tabela 19 – Análise técnico-econômica dos Sistemas Fotovoltaicos existentes e contratados pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí no período de 20 de novembro de 2019 a 08 de julho de 2020

<i>Campi</i>	Potência Total do Sistema (kWp)	Custo Unitário Básico (R\$/Wp)	Irradiação Solar Global (Wh/m ² ×dia)	Produtividade Estimada do Sistema (kWh/kWp)	Valor Presente Líquido (R\$)	Payback (anos)	Taxa Interna de Retorno	Relação Custo-Benefício
CAFLO*	150	7,67	5.641	1.506,21	263.172,06	19	1,91%	4,37
CASRN**	60	2,84	5.894	1.700,80	1.148.063,20	3	36,31%	0,15
CAPAU**	51	2,89	5.856	2.195,11	1.287.112,73	3	46,59%	0,11
CACOR**	65	2,82	5.768	1.663,55	1.213.591,72	3	35,72%	0,15
CACAM**	60	3,16	5.702	1.644,51	1.084.755,89	4	31,31%	0,17
CAPEDII**	80	3,07	5.686	1.639,90	1.449.184,33	3	32,21%	0,17
CAVAL**	60	2,84	5.683	1.639,03	1.099.972,87	3	34,92%	0,15
CAPIR**	57	3,18	5.666	1.644,82	1.023.442,03	4	31,09%	0,18
CATCE**	18	3,98	5.572	2.088,16	424.984,34	4	31,56%	0,17
CTZS**	119	2,99	5.527	1.613,35	2.130.621,18	3	32,52%	0,17
CAURU**	55	2,88	5.467	1.586,54	919.246,62	4	31,88%	0,17
TOTAL**	625	-	-	-	11.780.974,91	-	-	-
MÉDIA**	62	3,06	5.682	1.741,58	1.178.097,49	3,40	34,41%	0,16

*Sistema existente ** Sistemas contratados

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com exceção deste último *campus*, cujo contrato ainda não foi publicado pela IES, a contratação dos sistemas foi feita através do Sistema de Registro de Preços na modalidade “chave na mão”, modelo que prevê o fornecimento do material, a instalação e o comissionamento. O contrato contemplou ainda o treinamento para utilização do sistema, um ano de manutenção e o sistema de monitoramento, devendo atender a padrões mínimos de desempenho (fator de perdas máximo igual a 23%), dentre os quais destacam-se, para os módulos fotovoltaicos: potência nominal mínima (260Wp), potência mínima por área (155Wp/m²), eficiência mínima (15,89%), vida útil mínima (25 anos) e Nível máximo de degradação da potência no seu período de garantia (10%) (IFPI, 2018a).

Com a irradiação solar média (PEREIRA *et al*, 2017) nos pontos de referência mais próximos de cada um dos *campi* (Figura 52), todos esses parâmetros foram utilizados na análise técnico-econômica dos sistemas contratados, considerando ainda um custo de manutenção e operação de 1% do investimento inicial, incidente a cada dez anos (MORAIS; BARBOSA; MORAES, 2019a) (Tabela 19). Os novos sistemas contratados preveem um lucro de R\$ 11.780.974,91 ao final da vida útil considerada e apresentam parâmetros técnico-econômicos superiores ao do sistema instalado no ano de 2016, com uma produtividade estimada média 15,63% maior e um Custo Unitário Básico médio 60,10% menor.

Para a estimativa dos benefícios econômicos, em virtude do contrato de fornecimento de energia dos *campi* da IES (tarifa verde que cobra um valor único para o contrato de demanda

e valores diferenciados para o fornecimento de energia dependendo da hora do dia) e do horário em que a geração de energia ocorre (primeiras horas do dia até o final da tarde), considerou-se a média do custo com a energia elétrica no horário fora-ponta (de 21h30 até as 17h29 do dia seguinte) no ano de 2019 (média de R\$ 0,495571/kWh, 49,59% maior que o custo inicialmente considerado para o sistema existente). Ademais, utilizou-se uma taxa de desconto de 0,91 para os novos sistemas (52,35% menor), resultante da diferença entre a média dos últimos dez anos dos reajustes anuais das tarifas de energia elétrica e da média dos últimos das projeções anuais da taxa Selic, e as mesmas: vida útil (25 anos), taxa de degradação do sistema (0,8% ao ano) e custos de operação e manutenção (1% do investimento inicial a cada 10 anos), e assim constatou-se o retorno dos investimentos em no máximo de 4 anos e uma Relação Custo-benefício média de 0,16 (reduções de 78,95% e 96,34%, respectivamente) além de uma Taxa Interna de Retorno de 34,41% (17,01 vezes maior).

Apreende-se, portanto, que a expansão contratada é viável, devendo ser estimulada, e apresenta condições técnico-econômicas superiores às inicialmente encontradas no ano da instalação do primeiro sistema da IES, quais sejam: maior produtividade, Custo Unitário Básico menor, energia mais cara e taxa de juros mais baixa. Entretanto, mesmo com uma diferença de dois anos entre a instalação do SFV de Floriano e da contratação dos novos sistemas, deve-se destacar o alto investimento inicial necessário para a instalação deste primeiro sistema, com um CUB 160% mais caro que a média dos custos dos novos sistemas contratados (mais que o dobro), além da diferença de 34% entre o CUB de sistemas, um dos sistemas novos e a média do CUB dos outros, o que contraria o aspecto da eficiência das Compras Públicas Sustentáveis, regulamentado pelo governo federal (BRASIL, 2010).

Assim, para orientar o processo de expansão de Sistemas Fotovoltaicos em Instituições de Ensino Superior *Multicampi*, visando a excluir a temporalidade da análise, com a identificação do ponto de referência mais próximo de cada um dos *campi* e do recurso solar disponível em cada um deles (PEREIRA *et al*, 2017), projetou-se uma expansão dos SFV resultante da instalação desses sistemas em todos os *campi* da instituição (Tabela 20). Para essas estimativas, utilizaram-se a média dos parâmetros dos sistemas recentemente contratados pela IES (Tabela 19) e a eficiência mínima exigida na contratação dos sistemas da instituição (IFPI, 2018a). Essa expansão é viável técnico-economicamente com um lucro estimado de R\$ 19.025.567,73 após os 25 anos de vida útil do projeto e um investimento inicial de R\$ 3.229.332,35 (RCB e TIR iguais a 0,17 e 32,13%, respectivamente), com o seu retorno integral projetado para o final do quarto ano de operação.

Tabela 20 – Recurso solar disponível, estimativa de geração de energia, de diminuição de emissão de gás carbônico e de redução dos custos com energia elétrica com a instalação de Sistemas Fotovoltaicos

<i>CAMPI</i>	IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL (Wh/m ² ×dia)	GERAÇÃO ANUAL DE ENERGIA (kWh)	REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO ₂ (kg)	RANKING DA MAIOR GERAÇÃO DE ENERGIA	REDUÇÃO DE CUSTOS COM ENERGIA (R\$)	RANKING DO MAIOR BENEFÍCIO
CASRN*	5.894	136.947,63	12.051,39	1º	R\$ 68.127,98	1º
CAPAU*	5.856	136.064,70	11.973,69	2º	R\$ 67.688,74	2º
CASJP	5.850	135.925,28	11.961,43	3º	R\$ 67.616,74	3º
CAPIC	5.804	134.856,47	11.867,37	4º	R\$ 67.110,88	4º
CAOEI	5.777	134.229,12	11.812,16	5º	R\$ 66.770,29	5º
CACOR*	5.768	134.020,01	11.793,76	6º	R\$ 66.668,94	6º
CACAM*	5.702	132.486,49	11.658,81	7º	R\$ 65.903,44	7º
CAPEDI*	5.686	132.114,73	11.626,10	8º	R\$ 65.723,73	8º
CAVAL*	5.683	132.045,02	11.619,96	9º	R\$ 65.683,84	9º
CAPIR*	5.666	131.650,03	11.585,20	10º	R\$ 65.492,55	10º
CAFLO**	5.641	131.069,15	11.534,09	11º	R\$ 65.226,14	11º
CAANG	5.607	130.279,16	11.464,57	12º	R\$ 62.743,93	16º
CAPAR	5.577	129.582,10	11.403,23	13º	R\$ 64.486,11	12º
CATCE*	5.572	129.465,93	11.393,00	14º	R\$ 64.428,30	13º
CTZS*	5.572	129.465,93	11.393,00	15º	R\$ 64.428,30	14º
CACOC	5.570	129.419,46	11.388,91	16º	R\$ 64.382,90	15º
CAURU*	5.467	127.026,24	11.178,31	17º	R\$ 60.743,11	17º

**Campi* com sistemas contratados ** *Campus* com sistema existente

Fonte: Elaborada pelo autor.

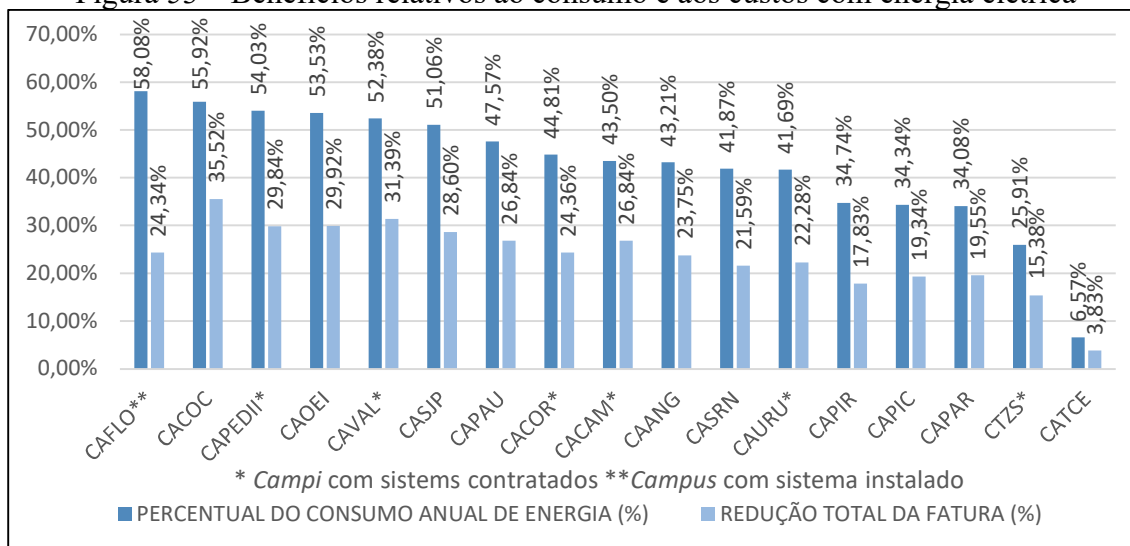
Com a expansão proposta, poder-se-á gerar uma média de 132.155,73 kWh de energia, cujo total seria maior do que toda a energia consumida individualmente por qualquer um dos 17 *campi* e representaria 32,49% de todo o consumo da IES, além de evitar a emissão de uma média de 11,63 toneladas de CO₂, trazendo benefícios ambientais e possibilitando a criação de um *ranking* de benefícios técnicos e ambientais. Também, utilizando-se os custos com energia do ano de 2019, pôde-se estimar um benefício médio anual de R\$ 65.483,88. Contudo, assim como não existe uma distribuição uniforme do recurso solar no estado (Figura 52), o mesmo pôde ser constatado com o custo da energia elétrica, o que também impacta nos benefícios econômicos dos sistemas em termos absolutos, gerando um novo *ranking* com benefícios econômicos.

Os *Campi* de São Raimundo Nonato e de Uruçuí apresentaram os melhores e piores resultados, e o *Campus* de Floriano, que já possui um SFV instalado, ficou apenas na 11ª posição dos *rankings* de benefícios técnico-econômicos e ambientais. Com relação aos sistemas contratados, percebeu-se que o *campus* com os melhores benefícios técnicos, econômicos e ambientais (*Campus* São Raimundo Nonato) seria apenas o primeiro na lista de prioridades e o pior deles (*Campus* Uruçuí) seria a última opção. Já o *Campus* Teresina Zona Sul, com o maior

sistema contratado (120 kWp), seria a 14ª prioridade se considerássemos os benefícios econômicos e apenas 15ª opção se considerássemos os benefícios técnicos e ambientais. Apreende-se, portanto, que, na escolha do *campus* para a instalação do primeiro sistema e na escolha dos *campi* para a expansão contratada, esses fatores não foram considerados prioritariamente.

Os percentuais da geração de energia estimados para cada um dos *campi* com relação ao seu consumo total, além dos benefícios econômicos percentuais dos sistemas propostos relativos ao total de sua fatura foram determinados e ordenados em função do primeiro indicador (Figura 53). A média dos benefícios relativos ao consumo e aos custos com energia elétrica foi de 42,55% e 23,60%, respectivamente, criando-se assim dois novos *rankings* de benefícios. Verificou-se um *ranking* diferente do encontrado anteriormente, quando se considerava apenas o recurso solar. E, mesmo quando se considera o valor monetário da energia, o benefício pode ser visto de maneira diferente, em termos absolutos ou relativos.

Figura 53 – Benefícios relativos ao consumo e aos custos com energia elétrica



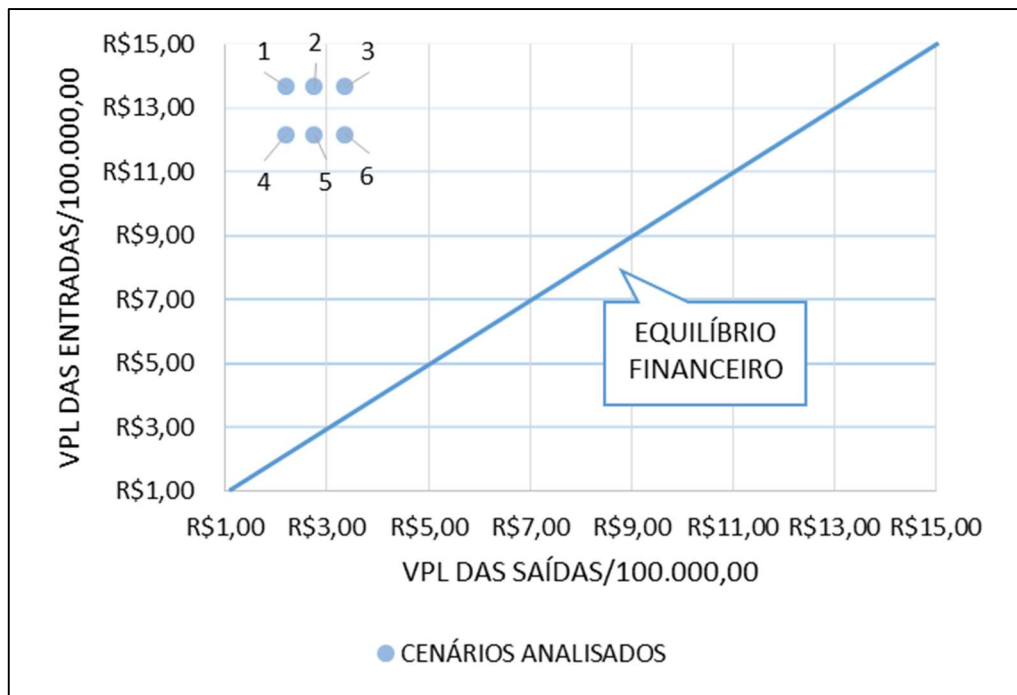
Fonte: Elaborada pelo autor.

Por fim, foi possível calcular as métricas da análise econômica dos sistemas fotovoltaicos nos seis cenários mostrados na Tabela 11. Os maiores e menores benefícios econômicos foram estimados para os *Campi* de São Raimundo Nonato e Uruçuí (R\$ 68.127,98 e R\$ 60.743,11 por ano, respectivamente). Já para a determinação dos CUB foram analisadas as 32 propostas de empresas diferentes que foram apresentadas para dois grupos de cidades do estado: quatro cidades do norte (Teresina, Campo Maior, Pedro II e Piripiri) e seis cidades do sul do estado (Uruçuí, Corrente, Paulistana, São Raimundo Nonato e Valença do Piauí),

totalizando 58 propostas após a exclusão de seis *outliers*. Os maiores, menores e a média dos CUB foram: R\$ 5,32, R\$ 3,48 e R\$ 4,35 por watt-pico, respectivamente.

Através da relação entre os Valores Presente Líquidos das entradas e saídas de capital em todos os cenários analisados, a expansão é viável economicamente, uma vez que todos os cenários se situam acima da linha que representa o equilíbrio financeiro (VPL das entradas de capital igual ao VPL das saídas de capital) (Figura 54). Entretanto o investimento inicial necessário para a instalação do sistema e os retornos econômicos do sistema variaram em 52,87% e 23,05% entre o melhor e o pior dos cenários analisados (cenários um e seis, respectivamente) (Tabela 21), aspectos que impactam negativamente na eficiência econômica dos projetos.

Figura 54 – Relação entre os Valores Presentes Líquidos das entradas e saídas de capital nos cenários analisados



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 21 – Melhor e pior cenários de análise econômica da expansão proposta

	CENÁRIO 1	CENÁRIO 6
POTÊNCIA (kWp)	62	62
INVESTIMENTO INICIAL (R\$)	R\$ 215.760,00	R\$ 329.840,00
ECONOMIA DE ENERGIA ANUAL (R\$)	R\$ 68.127,98	R\$ 60.743,11
TAXA DE DESCONTO	0,91%	0,91%
VIDA ÚTIL	25	25
VALOR PRESENTE LÍQUIDO (R\$)	R\$ 1.145.894,05	R\$ 881.811,69
RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO	0,19	0,37
PAYBACK (anos)	4	6
TAXA INTERNA DE RETORNO	29,26%	16,05%

Fonte: Elaborada pelo autor.

De um cenário para o outro, o tempo de retorno do investimento aumentou em 50% e a relação custo-benefício aumentou em 98,66%, diminuindo a Taxa interna de retorno em 45,17%. Assim, considerando-se a economia de escala na contratação dos novos sistemas, deve-se buscar o menor custo unitário básico para se conseguir métricas semelhantes ao encontrado no Cenário 1 (Tabela 11), uma vez que a tendência natural é que, quanto maior o sistema, menor deve ser o seu Custo Unitário Básico (BRITO; MELO, 2018).

5 CONCLUSÕES

Mesmo não levando em consideração as implicações da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001) e da obrigatoriedade da compra de produtos com o índice A de eficiência energética (BRASIL, 2014), o levantamento feito no site o Inmetro das Etiquetas Nacionais de Edificações (ENCE) comprova a ineficácia do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) na rotulagem ambiental da eficiência energética de edificações no Brasil. Fato comprovado, sobretudo, em Instituições de Ensino Superior (IES), com apenas duas edificações etiquetadas mesmo após dez anos da regulamentação.

O diagnóstico energético no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFPI), objeto de estudo desta tese, comprovou, através do método dedutivo, as conclusões previamente induzidas que afirmavam que a instituição não está gerenciando corretamente o uso de energia elétrica. Constatou-se que 4,38% do valor pago para a concessionária de energia local nos anos 2016 a 2019 são compostos por perdas que totalizam uma média anual maior que todo o valor gasto individualmente com energia elétrica em quatro dos 17 *campi* da instituição no ano de 2019 e poderiam ser facilmente evitadas com a atuação de um Sistema de Gestão Energética.

Pôde-se comprovar que o desenvolvimento de pesquisas na área de eficiência energética pode trazer impactos positivos para a gestão do uso de energia em Instituições de Ensino Superior, como a revisão dos contratos de fornecimento de energia detectados na IES. Entretanto, se não houver um monitoramento contínuo do uso da energia, atribuição de um Sistema de Gestão Energética, em alguns casos essas ações podem ser apenas pontuais, com resultados ruins em longo prazo.

Faturas de energia elétrica podem ser desagregadas e utilizadas no diagnóstico energético de IES *multicampi*, permitindo a identificação de centros de custo (Perdas Evitáveis, Custos Gerenciáveis e Outros), definindo-se um Indicador de Perdas Evitáveis (IndPE). Esse indicador pode ser utilizado sem nenhum prejuízo para a rotulagem ambiental, desde que as unidades consumidoras sejam do tipo A (alimentadas em alta tensão), destacando ainda os *campi* que possuem as maiores e menores contribuições para essas despesas. Por sua vez, as composições percentuais dos custos em todos os *campi* podem direcionar prioridades de investimentos em Projetos de Eficiência Energética (PEE) quanto ao objeto e ao *campus* onde o projeto deve ser executado, priorizando o maior benefício para a instituição.

Uma Matriz de Indicadores Ambientais que utiliza o Modelo Pressão-Estado-Resposta (Modelo PSR) pode ser elaborada para caracterizar todos os *campi* das IES, possibilitando, através da estatística multivariada, o agrupamento dos *campi* semelhantes e a elaboração de um

Indicador de Custos Gerenciáveis (IndCG) com a Análise Envoltória de Dados (DEA) geral e por agrupamento. Os dados da matriz podem ser utilizados, portanto, como insumos e produtos (indicadores de ensino e de uso de energia, respectivamente) em uma análise de produtividade e eficiência no uso da energia e, juntamente com a desagregação das faturas de energia (que resultou no IndPE), também definir o Índice de Eficiência Energética Relativa (IEER) geral e por agrupamento. Todavia, para a aplicação do IndCG em outras organizações *multisites*, é importante a adequação da matriz de indicadores, conforme orienta a OECD.

Ainda se utilizando desses dados, os modelos tradicionais da DEA (CCR e BCC) podem ser utilizados para a determinação de metas para a redução do consumo e demanda de energia ou aumento dos indicadores de ensino em IES *multicampi* que devem ser estimuladas simultaneamente. Utilizando-se o *benchmarking*, pode-se dispor dessa metodologia para ranquear os *campi* das IES e monitorar o uso da energia em vários ciclos de medição, estimulando a melhoria contínua desse aspecto ambiental, objetivo principal de um Sistema de Gestão Energética, além de contribuir para Agenda 2030.

Tais resultados podem ainda ser sintetizados em uma Etiqueta de Eficiência Energética Relativa (EEER) como uma Rotulagem Ambiental tipo II e elaboradas para cada *campus*, estimulando ainda mais essa estratégia de gestão. Trata-se, portanto, de uma metodologia *top-down* e caixa preta, mais simples e eficaz que a metodologia padronizada pelo Inmetro (paradigma tradicional), reconhecendo-se a complexidade, a intersubjetividade e a instabilidade do meio ambiente e se confirmando a principal hipótese investigada nesta tese. Ademais, a etiquetagem pode ser apresentada em um mapa dinâmico, disponível na internet, facilitando a comunicação dos resultados, estratégia inerente a um Sistema de Gestão Ambiental.

Além da rotulagem ambiental, analisaram-se o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede instalado no *Campus* de Floriano do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, assim como a expansão contratada pela instituição no ano de 2020. Para o primeiro sistema, verificou-se que ele foi o primeiro sistema de minigeração instalado no estado e que possui viabilidade técnica em função dos bons índices de mérito, boa aderência estratégica por estar alinhado com a missão e a visão da instituição e que, no seu primeiro ano de funcionamento, foi capaz de trazer benefícios ao ensino, pesquisa e extensão.

No entanto, esse sistema possui uma discutível viabilidade econômica, uma vez que, mesmo com um Valor Presente Líquido positivo, o investimento possui um elevado tempo de retorno e uma alta relação custo-benefício em função do seu elevado investimento inicial. Já no estudo da expansão contratada, constatou-se que a mesma é viável e deve ser estimulada com condições técnico-econômicas superiores às inicialmente encontradas no ano da instalação do

primeiro sistema da IES, quais sejam: maior produtividade, Custo Unitário Básico menor, energia mais cara e taxa de juros mais baixa.

Pôde-se utilizar um atlas solarimétrico para analisar a viabilidade da expansão de SFV em Instituições de Ensino Superior *Multicampi* através de uma avaliação multicritério. Determinou-se que a maioria dos municípios do Piauí com os maiores potenciais de geração encontram-se na região sudeste do estado, reafirmando a viabilidade técnico-econômica e a grande aderência estratégica, além de trazer benefícios à redução dos custos com energia, à preservação do meio ambiente e ao incremento em sua atividade fim, sobretudo nos *campi* desta região do estado.

A metodologia foi eficaz na identificação de prioridades de investimento em energia solar e possibilitou a criação de *rankings* de benefícios que consideram a geração de energia e a redução de custos em valores absolutos e relativos, redução na emissão de CO₂, além de métricas de análises econômicas. Porém, mesmo com a possibilidade de criação desses *rankings*, esses critérios técnicos podem não ser suficientes, uma vez que eles não foram determinantes para definir na IES estudada qual o critério decisivo para a escolha do *campus* em que o SFVR foi instalado e dos *campi* em que os novos sistemas serão instalados, daí a necessidade de esse problema ser estudado em trabalhos futuros.

Deve-se ainda, sob a ótica das Compras Públicas Sustentáveis, para a garantia da isonomia, da eficiência dos gastos públicos e da promoção do desenvolvimento sustentável, analisar os processos de licitação que implantaram os sistemas. Deve-se entender os motivos das diferenças nos custos de implantação e da escolha de locais de instalação com menores retornos técnicos, econômicos e ambientais para se buscar em sistemas futuros alternativas para um melhor custo-benefício, sobretudo considerando-se a economia de escala, uma vez que, quanto maior o sistema, menor deve ser o custo unitário básico. Nenhum *ranking* é definitivo e não existe um tamanho padrão para os SFVR a ser instalados. A melhor opção para o gestor é analisar todos os cenários e determinar a melhor intervenção.

Contudo recomenda-se para a expansão dos SFVR em IES *Multicampi* a instalação de sistemas pequenos (microgeração) nos *campi* que preveem menores benefícios técnico-econômicos para estimular a educação ambiental. Tais ações devem incentivar a criação de um Espaço Educador Sustentável e trazer benefícios ao ensino, pesquisa e extensão, reservando-se os maiores investimentos, prioritariamente, aos *campi* em que se esperam os maiores benefícios técnicos, econômicos e ambientais.

Espera-se que os resultados desta pesquisa também tenham impactos positivos no desempenho ambiental das IES e promovam a sensibilização da comunidade acadêmica às

questões ambientais, tendo em vista que o uso de energia é somente um dos aspectos ambientais gerenciáveis, estimulando o desenvolvimento das IES como Espaços Educadores Sustentáveis. Ademais, pretende-se estimular a introdução de outras instituições nos estudos para que a metodologia proposta possa ser utilizada como referência de *Benchmarking* na Gestão Energética de todas as IES e orientem a construção e ampliação de sistemas fotovoltaicos, trazendo benefícios ambientais e contribuindo para Agenda 2030 e, conseqüentemente, para o alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável. E, por fim, dada a flexibilidade das técnicas sugeridas, espera-se ainda que essa estratégia seja aplicável a outras organizações *multisite* e a outros Aspectos Ambientais.

5.1 Trabalhos futuros e retorno à comunidade acadêmica

O apoio das Instituições de Ensino Superior com a disponibilização das informações solicitadas é imperativo para a realização dos estudos de Eficiência Energética, e nesta tese foi relevante. Assim, levando-se em consideração que o desenvolvimento de estudos de gestão ambiental em IES deve objetivar mais do que o desenvolvimento de informações gerenciais, além da realização do diagnóstico energético da instituição com posterior apresentação dos resultados parciais para a administração, pôde-se, durante o desenvolvimento da pesquisa, executar ações que trouxeram benefícios para a comunidade acadêmica e para a instituição:

- publicação de artigos científicos na Revista Brasileira de Ciência Ambientais (SILVA *et al.*, 2018; SILVA; LIRA; MOITA NETO, 2020a) e no VII Congresso Brasileiro de Energia Solar (MORAIS *et al.*, 2018);
- utilização dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas ministradas durante o período letivo em curso, contribuindo com as atividades de ensino;
- apresentação da pesquisa em forma de palestra no V Encontro de Inovação Tecnológica (EITEC), evento científico da IES no *Campus* Picos, ocorrido no período de 08 a 10 de agosto de 2018 (SILVA, 2018);
- execução de um Projeto de Iniciação Científica Júnior (Projeto de Pesquisa), financiado pela IES, que contou com a participação de um aluno bolsista e pôde analisar e corrigir o banco de dados, detectar problemas de uso e elencar requisitos para o desenvolvimento da segunda versão do Sistema Integrado de Gestão do Uso de Energia (SIGUE MS), *software* dedicado à gestão energética que está sendo desenvolvido na própria IES (SILVA; MORAIS; MOURA, 2019);

- execução de um Projeto de Pesquisa, Estruturação e Reestruturação Laboratorial (Projeto de Pesquisa) financiado pela IES a ser realizado no ano de 2020 para analisar a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico (SFV) no *Campus* Teresina Central. Com este projeto, ainda se prevê a estruturação dos laboratórios da IES com compra de uma estação meteorológica, um computador e um *software* dedicado para projetos de SFV (MORAIS; SILVA, 2019b).
- aprovação da execução de um Curso de Formação Inicial e Continuada em Energia Solar Fotovoltaica e Eficiência Energética (Projeto de Extensão) financiado pela IES e voltado para comunidade externa, a ser realizado no segundo semestre do ano de 2020. Com esse projeto, pretende-se ainda a atualização do acervo da biblioteca do *campus*, reestruturação de laboratórios com a compra de equipamentos de medição, além da realização de uma ação social com a entrega de cestas básicas (MORAIS; SILVA; SILVA, 2019c).

Ademais, sugerem-se, como trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos inclusive na forma de Projetos de Extensão e Iniciação Científica:

1. desenvolvimento da segunda versão do Sistema Integrado de Gestão do Uso de Energia (SIGUE MS);
2. identificação das causas da baixa eficácia do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) na rotulagem ambiental de IES;
3. monitoramento do uso da energia da IES estudada nos anos subsequentes;
4. avaliação da percepção dos gestores com relação a rotulagem proposta;
5. análise dos motivos para os altos custos do Sistema Fotovoltaico (SFV) do *Campus* de Floriano;
6. identificação dos motivos da escolha do IFPI de Floriano para o SFV;
7. replicação dos estudos em outras IES e organizações *multisites*.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, F.; SICHE, R. Hidden costs of a typical embodied energy analysis: Brazilian sugarcane ethanol as a case study. **Biomass & bioenergy**, v. 71, p. 69-83, 2014.

AGUIAR, V. Um balanço das políticas do governo Lula para a educação superior: continuidade e ruptura. **Revista de Sociologia e Política**, v. 24, n. 57, 2016.

AHMADI-KARVIGH, S. et al. Real-time activity recognition for energy efficiency in buildings. **Applied Energy**, v. 211, p. 146-160, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE**. Brasília: ANEEL, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília: ANEEL, 2010.

ALFARIS, F.; JUAIDI, A.; MANZANO-AGUGLIARO, F. Improvement of efficiency through an energy management program as a sustainable practice in schools. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 794-805, 2016.

ANGULO MEZA, L. *et al.* Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14020**. Rótulos e declarações ambientais: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14021**. Rótulos e declarações ambientais: autodeclarações ambientais (rotulagem tipo II). Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14021**. Rótulos e declarações ambientais: rotulagem ambiental do tipo I: princípios e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14021**. Rótulos e declarações ambientais: Rotulagem ambiental do tipo III: Princípios e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AVELAR, S. *et al.* Targeting sustainability issues at geosites: a study in Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. **Geoheritage**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2018.

BAKAR, N. N. A. *et al.* Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. **Renewable & sustainable energy reviews**, v. 44, p. 1 -11, 2015.

BANKER, R. D. *et al.* An Introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. *In: CHAN, J. L.; PATTON, J. M. Research in governmental and nonprofit accounting*, v. 5, p. 125-163, 1989.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BARBOSA, M. A. C.; MENDONÇA, J. R. C.; CASSUNDE, F. R. S. A. Managerial competences (expected versus perceived) of academic-managers of federal higher education institution: perceptions of teachers from a federal university. *Administração: Ensino e Pesquisa RAEP*, v. 17, n. 3, p. 439, 2016.

BITTENCOURT, M. F. N.; FERREIRA, P. A.; BRITO, M. J. Avaliação do processo de implementação de obras públicas em universidades federais: um estudo do Programa REUNI. *Revista Gestão universitária na América Latina*, v. 10 n. 1, p. 79-102, 2017.

BLUM, H.; OKWELUM, E.; Estimating an economic-efficient frontier for dishwasher consumer choice. *Energy Efficiency*, v. 11, n. 6, p. 1325-1341, 2018.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é - o que não é.** Petrópolis: Vozes, 2017.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Evaluating energy performance in non-domestic buildings: a review. *Energy & Buildings*, v. 128, p. 734-755, 2016.

BORGSTEIN, H. E.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. *Energy & Buildings*, v. 82, p. 82-91, 2014.

BRAMBILA, A.; FLOMBAUM, P. Comparison of environmental indicator sets using a unified indicator classification framework. *Ecological Indicators*, v. 83, p. 96-102, 2017.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Calendário e resultado dos processos tarifários de distribuição.** Brasília, 2020a. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas: histórico.** Brasília, 2020b. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO. **Portal da Transparência - Detalhamento dos Contratos.** Brasília, 2020c. Disponível em: <http://www.portaltransparencia.gov.br/contratos>. Acesso em: 08 jul. 2020.

BRASIL. CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO. **Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão.** Brasília, 2020d. Disponível em: <https://esic.cgu.gov.br/sistema/Principal.aspx>. Acesso em: 08 jul. 2020.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil de 16 de julho de 1934.** Rio de Janeiro, 1934. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao34.htm. Acesso em: 22 jul. 2020.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Decreto nº 6.095, de 24 de abril de 2007**. Estabelece diretrizes para o processo de integração de instituições federais de educação tecnológica, para fins de constituição dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia - IFET, no âmbito da Rede Federal de Educação Tecnológica. Brasília, 2007a.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Decreto nº 7.234, 19 de julho de 2010**. Institui o Programa Nacional de Assistência Estudantil (Pnaes). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7234.htm. Acesso em: 20 jul. 2020.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Governo brasileiro formaliza pedido para entrar na OCDE**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www2.planalto.gov.br/acompanhe-planalto/noticias/2017/05/governo-brasileiro-formaliza-pedido-para-entrar-na-ocde>. Acesso em: 27 mar. 2018.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Lei nº 10.172, de 9 de janeiro de 2001** – Aprova o Plano Nacional de Educação e dá outras providências. Brasília, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110172.html. Acesso em: 22 jul. 2020.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, 2001.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Lei Nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008**. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11892.htm. Brasília, 2008.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Lei Nº 12.349, de 15 de dezembro de 2010**. Altera as Leis nºs 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.958, de 20 de dezembro de 1994, e 10.973, de 2 de dezembro de 2004; e revoga o § 1º do art. 2º da Lei no 11.273, de 6 de fevereiro de 2006. Brasília, 2010.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2000.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. **MEC libera R\$ 60 milhões para instalação de usinas fotovoltaicas em instituições federais de educação tecnológica**. Brasília, 2019a. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/content/article/12-noticias/acoes-programas-e-projetos-637152388/82751-mec-libera-r-60-milhoes-para-instalacao-de-usinas-fotovoltaicas-em-instituicoes-federais-de-educacao-tecnologica-2?Itemid=164>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Plataforma Nilo Peçanha**. Disponível em: <https://www.plataformanilopecanha.org>. Acesso em: 7 ago. 2019b.

BRASIL. MINISTÉRIO DE ESTADO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa nº 2, de 04 de junho de 2014**. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Brasília, 2014.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/ConstituicaoCompilado.htm. Acesso em: 20 jul. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. **Análise sobre a expansão das Universidades Federais (2003 a 2012)**: Relatório da comissão constituída pela portaria n. 126/2012. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Decreto nº 6.096, 24 de abril de 2007**. Institui o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais - REUNI. Brasília, 2007b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6096.htm. Acesso em: 20 jul. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Decreto nº 6.096, 24 de abril de 2007**. Institui o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais - REUNI. Brasília, 2007b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6096.htm. Acesso em: 20 jul. 2020.

BRITO, B. H.; MELO, M. L. F. G. Análise financeira de sistemas de microgeração fotovoltaica financiados em Palmas – TO. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. Anais [...]*. Gramado, 2018.

BRUNDTLAND, G. H. **Our Common Future**. The World Commission on Environment and Development. Oxford University. Oslo: Oxford University Press, 1987.

BRUNE, S.; BIDARRA, Z. S. Higher education institutions and development: short-term economic impacts of federal universities in western Parana. **Revista Brasileira de Pós-Graduacao**, v. 12, n. 28, p. 537, 2015.

BUIATTI, G. M. *et al.* Desempenho de micro e mini usinas fotovoltaicas no Instituto Federal do Rio Grande do Norte. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 6. Anais [...]*. Belo Horizonte, 2016.

BURMAN, E. *et al.* A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 2 – Bottom-up approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 2, p. 247-261, 2014.

CABELLO, J. *et al.* Dual weak-strong sustainability synthetic indicators using a double reference point scheme: the case of Andalucía, Spain. **Operational Research**, p. 1-26, 2018.

CAMARGO, A. M. M.; ARAUJO, I. M. Expansion and interiorization of federal universities from 2003 to 2014: a debate on governmental perspectives. **Acta Scientiarum**, v. 40, n. 1, 2018.

CASTANHEIRA, E. C.; SOUZA, H. A.; FORTES, M. Z. Influence of natural and artificial light on structured steel buildings. **Renewable & sustainable energy reviews**, v. 48, p. 392-398, 2015.

CENTRO DE PESQUISA ENERGÉTICA (CEPEL). **Guia para eficiência energética nas edificações públicas**. Versão 1. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

CHANG, M. Applying the energy productivity index that considers maximized energy reduction on SADC (Southern Africa Development Community) members. **Energy**, v. 95, p. 313-323, 2016.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.

CHEN, Y. *et al.* The energy efficiency of China's regional construction industry based on the three-stage DEA model and the DEA-DA model. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 1, p. 34-43, 2016.

CHENG, X. *et al.* NIDL: a pilot study of contactless measurement of skin temperature for intelligent building. **Energy & Buildings**, v. 198, p. 340-352, 2019.

CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO (CGU). **Portal da Transparência**: detalhamento dos Contratos. Brasília, 2020. Disponível em: <http://www.portaltransparencia.gov.br/contratos>. Acesso em: 20 abr. 2020.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **Missão e objetivos**. 2017b. Disponível em: http://www-periodicos-capes-gov-br.ez117.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_pcontent&view=pcontent&alias=missao-objetivos&Itemid=102. Acesso em: 05 jul. 2017.

COPIELLO, S. Building energy efficiency: A research branch made of paradoxes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 1064-1076, 2017.

COSTA, D. M.; BARBOSA, F. V. Efficiency of public policies for financing higher education: a comparative study among Brazil, Canada and China. **Meta**, v. 10, n. 28, p. 106-138, 2018.

COTTAFAVA, D. *et al.* Explorative multidimensional analysis for energy efficiency: dataviz versus clustering algorithms. **Energies**, v. 11, n. 5, p. 1312, 2018.

DARAIÓ, C. *et al.* Productivity and Efficiency Analysis Software: An Exploratory Bibliographical Survey of the Options. **IÉSEG Working Paper Series**, v. 5, 2017.

DARIUS, R. P. P.; DARIUS, F. A. A educação pública no Brasil no século XX: considerações à luz da formação dos grupos escolares e do manifesto dos pioneiros da educação nova. **DOXA**, v. 20, n. 1, p. 32-41, 2018.

DÁVI, G. A. *et al.* Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 120, p. 19-29, 2016.

DESCHAMPS, E. M.; RÜTHER, R. Optimization of inverter loading ratio for grid connected photovoltaic systems. **Solar Energy**, v. 179, p. 106-118, 2019.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística**: para engenharia e ciências. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

DOURADO, L. F. Avaliação do plano nacional de educação 2001-2009: questões estruturais e Conjunturais de uma política. **Revista Educação e Sociedade**, v. 31, n. 112, p. 677-705. 2010.

DUA, J. *et al.* The impacts of daytime external envelope heat gain/storage on the nighttime cooling load and the related mitigation measures in a bedroom in the subtropics. **Energy and buildings**, v. 118, p. 70-81, 2016.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (ELETROBRAS). **Procel Results Report 2018**: base year 2017. Rio de Janeiro, 2019

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (ELETROBRAS). **Selo Procel Edificações**: qual a diferença entre Selo Procel Edificações e Etiqueta PBE Edifica? Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E85A0ACC-8C62-465D-9EBD-47FF3BAECDAE}#1>. Acesso em: 24 out. 2019.

EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 61, p. 4-8, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da Eficiência Energética**. Brasil 2019. Relatório de Indicadores. Brasília, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Brazilian Energy Balance**. Brasília, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Brazilian Energy Balance**. Brasília, 2019.

ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. **European Journal of Operational Research**, v. 136, p. 32-45, 2002.

FERNANDES, F. O apelo divisional da estruturação híbrida e multicampi dos Institutos Federais. **HOLOS**, v. 32, n. 4, p. 258-268, 2016.

FERREIRA, A. *et al.* Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, v. 81, p. 181-191, 2018.

FERREIRA, B. J. P. Public Education as a Social Right: challenges for the construction of a coordinated system in Brazil. **Revista Katálysis**, v. 22, n. 3, p.502-512. 2019.

FERREIRA, R. F. Sustentabilidade: O empoderamento social e a educação ambiental em uma perspectiva Soft Law. *In*: FERREIRA, R. F.; JESUS JÚNIOR, G. (org). **Direito Ambiental: Diálogos interdisciplinares**. Itabuna: Editora A5, 2016.

FLORES, S. S.; MEDEIROS, R. M. V. A dimensão territorial da sustentabilidade. *In*: SAQUET, M. A. (org). **Estudos territoriais na ciência geográfica**. 1. ed. São Paulo: Outras Expressões, 2013.

FLORO, E. F.; RI, N. M. D. Termo de acordo, metas e compromisso: a incursão do REUNI nos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia. **Revista Educação e Cultura Contemporânea**, v. 15, n. 38, 2017.

FOSSATI, M. *et al.* Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable & sustainable energy reviews**, v. 65, p. 1216-1331, 2016.

FRAGNI, C.; COSTA, L. H. M. K. ECO-ALOC: Energy-efficient resource allocation for cluster-based software routers. **Computer networks**, v. 56, p. 2249-2261, 2012.

FRIDGEN, G. *et al.* Big Data beats engineering in residential energy performance assessment: a case study. **Computer Science - Research and Development**, v. 33, n. 1, p. 235-236, 2018.

FUCCI, F. *et al.* Study of a prototype of an advanced mechanical ventilation system with heat recovery integrated by heat pump. **Energy and buildings**, v. 133, p. 111-121, 2016.

GALINDRO, B. *et al.* Use of data envelopment analysis to benchmark environmental product declarations: a suggested framework. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-15, 2019.

GHAHRAMANI, A. *et al.* Learning occupants' workplace interactions from wearable and stationary ambient sensing systems. **Applied Energy**, v.230, p. 42-51, 2018.

GIONGO, V. Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-18, 2018.

GLESK, I.; ROPER, M. Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review. **Visualization in Engineering**, v. 6, n. 1, p. 1-20, 2018.

GOEL, S.; SHARMA, R. Performance evaluation of stand alone, grid connected and hybrid renewable energy systems for rural application: a comparative review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 1378-1389, 2017.

GOMES, H. S. *et al.* Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos: Estudo de caso de UFV de 2,16 kWp instalada na Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU. *In*: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, 11. **Anais [...]**. Campina Grande, 2015.

GOOGLE. **Google My Maps**. 2020. Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/>. Acessado em: 20 jul. 2020.

GOUVEIA, F. P. S. A expansão dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia no território brasileiro: entre o local e o nacional. **Espaço e Economia**, v. 5, n. 9, 2017.

HÁK, T.; JANOUSKOVÁ, S.; MOLDAN, B. Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 565-573, 2016.

HAN, Y. *et al.* A study on evaluation the marine carrying capacity in Guangxi Province, China. **Marine Policy**, v. 91, p. 66-74, 2018.

HERMIDA, J. F. O Plano Nacional de Educação (Lei 10.172), de 9 de janeiro de 2001. **Educar em Revista**, v. 27, p. 239-258, 2006.

HONG, S. *et al.* A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 1 – Top-down approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 2, n. 2, p. 119-130, 2013.

HUANG, H. *et al.* The changing pattern of urban flooding in Guangzhou, China. **Science of the Total Environment**, v. 622-623, p. 394-401, 2018.

HUOVILA, A.; TUOMINEN, P.; AIRAKSINEN, M. Effects of Building Occupancy on Indicators of Energy Efficiency. **Energy**, v. 10, p. 628, 2017.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IFPI). **Plano de Desenvolvimento institucional 2020-2024**. Construindo para o futuro. Teresina: IFPI, 2020.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IFPI). **Pregão Eletrônico N° 06/2018**. Sistema de Registro de Preços. Teresina: IFPI, 2018a.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IFPI). **Resolução CONSUP n° 039/2010**. Normatiza a distribuição da carga horária docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). Teresina: IFPI, 2010.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IFPI). **Resolução CONSUP n° 07/2018** – Aprova a Organização Didática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) e revoga a Resolução 040/2010. Teresina: IFPI, 2018b.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010**. Aprova a revisão dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro: INMETRO, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012**. Aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Tabela de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicos**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2019. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Total Energy Use in Buildings Analysis and Evaluation Methods**. Paris, 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Electricity Information: overview**. Paris, 2019.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **Photovoltaic IEC Standard 61724: System Performance Monitoring - Guidelines for Measurement, Data Exchange, and Analysis**. Geneva: IEC, 1998.

JAMALUDIN, A. A.; MAHMOOD, N. Z.; ILHAM, Z. Performance of electricity usage at residential college buildings in the University of Malaya campus. **Energy for Sustainable Development**, v. 40, p. 85-102, 2017.

JEBALI, E.; ESSID, H.; KHRAIEF, N. The analysis of energy efficiency of the Mediterranean countries: A two-stage double bootstrap DEA approach. **Energy**, v. 134, p. 991-1000, 2017.

JESUS, L. N.; MAYER, A. L. M.; CAMARGO, P. L. T. Student assistance national program: from the une's leadership to progress in the struggle for students' rights by FONAPRACE. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 3, p. 247, 2016.

Jl, Y.; LEE, K. Data Envelopment Analysis. **The Stata Journal**, v. 10, n. 2, p. 267-280, 2010.

KANG, Thomas. Educação para as elites, financiamento e ensino primário no Brasil, 1930-1964. **Latin American Research Review**, v. 52, n. 1, p. 35-48. 2017.

KAVESKI, I. D. S.; MARTINS, J. A. S.; SCARPIN, J. E. A eficiência dos gastos públicos com o ensino médio regular nas instituições estaduais brasileiras. **Enfoque: Reflexão Contábil**, v. 34, n. 1, p. 29-44. 2015.

KETCHMAN, K. J. *et al.* Synergizing disparate component-level energy resources into a single whole building tool to support energy conservation action in small commercial buildings. **Energy & Buildings**, v. 176, p. 325-332, 2018.

KEYVANFAR, A. *et al.* User satisfaction adaptive behaviors for assessing energy efficient building indoor cooling and lighting environment. **Renewable & sustainable energy reviews**, v. 39, p. 277-295, 2014.

KHAN, A. S., LIMA, F. E.; LIMA, P. V. P. S. (org). **Uso de indicadores em Ciências Econômicas, Sociais e Ambientais**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2018.

KHAN, J.; ARSALAN, M. H. Solar power technologies for sustainable electricity generation: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 414-425, 2016.

KILKS, S. Composite index for benchmarking local energy systems of Mediterranean port cities. **Energy**, v. 92, p. 622-638, 2015.

- KUMAR, C. V.; MARJANOVIC-HALBURD, L. An investigation into retro-commissioning effectiveness in tropical climates. **ASHRAE Transactions**, v. 120, n. 2, 2014.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2014.
- LEE, D. *et al.* Three-Dimensional Visualization Solution to Building-Energy Diagnosis for EnergyFeedback. **Energies**, v. 11, n. 7, p. 1736, 2018.
- LEITE, C. S. *et al.* Automatic Control System Feasibility for take advantage of Natural Lighting in Study Rooms. *In: CLAGTEE 2015 - ELEVENTH LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION. Anais [...].* São José dos Campos, 2015.
- LI, L.; HU, J.; XIA, N. Industrial energy-pollution performance of regions in China based on a unified framework combining static and dynamic indexes. **Journal of cleaner production**, v. 131, p. 341-350, 2016.
- LI, M.; TAO, W. Review of methodologies and polices for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry. **Applied Energy**, v. 187, p. 203-215, 2017.
- LI, Z.; HAN, Y. ; XU, P. Methods for benchmarking building energy consumption against its past or intended performance: an overview. **Applied Energy**, v. 124, p. 325-334, 2014.
- LIAO, C. *et al.* Ecological restoration enhances ecosystem health in the karst regions of southwest China. **Ecological Indicators**, v. 90, p. 416-425. 2018.
- LIAO, H. *et al.* Measuring energy economic efficiency: a mathematical programming approach. **Applied energy**, v. 179, p. 479-487, 2016.
- LIMA, E. E.; MACHADO, L. R. S. Reuni e Expansão Universitária na UFMG de 2008 a 2012. **Educação & Realidade**, v. 41, n. 2, p. 383-406, 2016.
- LIMA, E. E.; MACHADO, L. R. S. Reuni e Expansão Universitária na UFMG de 2008 a 2012. **Educação & Realidade**, v.41, n. 2, p.383-406. 2016.
- LIU, X. *et al.* Evaluating the sustainability of marine industrial parks based on the DPSIR framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 158-170, 2018.
- LOPES, A. C. P. *et al.* Energy efficiency labeling program for buildings in Brazil compared to the United States' and Portugal's. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 207-219, 2016.
- LU, H.; HU, B.; MA, Z.; WEN, S. Reinforcement learning optimization for energy-efficient cellular networks with coordinated multipoint communications. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2014, 2014.

- LUNDGREN, T.; MARKLUNDA, P.; ZHANGA, S. Industrial energy demand and energy efficiency – Evidence from Sweden. **Resource and energy economics**, v. 43, p. 130-152, 2016.
- MACEDO, P. C. S. Educação profissional e desenvolvimento territorial: a expansão dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, v. 2, n. 13, p. 94-106, 2017.
- MACÊDO, W. N.; ZILLES, R. Operational results of grid-connected photovoltaic system with different inverter's sizing factors (ISF). **Progress in Photovoltaics**, v. 15, p. 337-352, 2007.
- MACHADO, M. C. G.; CARVALHO, C. H. O legado do Manifesto de 32 à educação brasileira: os desafios persistem. **Educação em questão**, v. 51, n. 37, p. 175-194, 2015.
- MAKRIDOU, G. *et al.* Measuring the efficiency of energy-intensive industries across European countries. **Energy policy**, v. 88, p. 573-583, 2016.
- MANCEBO, D.; SILVA JUNIOR, J. R.; OLIVEIRA, J. F. Policies, management and the right to higher education: new modes of regulation and trends in construction. **Acta Scientiarum**, v. 40, n. 1, 2018.
- MANIFESTO dos pioneiros da educação nova: a reconstrução educacional no Brasil: ao povo e ao Governo. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1932.
- MANLY, B. J. F. **Métodos Estatísticos Multivariados**: uma introdução. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- MARDANI, A. *et al.*. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1298-1322, 2017.
- MATHIOULAKIS, E. *et al.* Energy Labelling and Ecodesign of solar thermal products: opportunities, challenges and problematic implementation aspects. **Renewable Energy**, v. 101, p. 728-736, 2017.
- MELO, A. P. *et al.* Assessing the accuracy of a simplified building energy simulation model using bestest: the case study of Brazilian regulation. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 219-228, 2012.
- MELO, T.; MOURA, D. PNE (2001-2010), PNE (2014-2024): orientações para a Educação Profissional no Brasil. **HOLOS**, v. 33, n. 3, p. 3-15, 2017.
- MOLINOS-SENANTE, M.; ENCINAS, F.; URETA, F. Benchmarking the energy performance of office buildings: a data envelopment analysis approach. **Rect@**, v. 16, 179-190, 2016.
- MORAIS, F. H. M. **Desempenho operacional de sistemas fotovoltaicos instalados em instituições de ensino multicampi**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2018.

MORAIS, F. H. M.; BARBOSA, F. R.; MORAES, A. M. Technical-economic analysis of the first mini-generation photovoltaic system of Piauí, Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 10. 2019a.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L. **Análise da viabilidade técnico-econômica da instalação de um sistema solar fotovoltaico no campus Teresina Central do IFPI**. Projeto de Pesquisa e de reestruturação laboratorial. Teresina: IFPI, 2019b.

MORAIS, F. H. M. *et al.* Avaliação técnico-econômica do desempenho operacional do primeiro ano de geração de um SFCR integrado à edificação. *In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. Anais [...]*. Gramado, 2018.

MORAIS, F. H. *et al.* Avaliação Estudo de Viabilidade do Sistema Fotovoltaico de 36,48 kWp Instalado na Universidade Federal do Piauí. *In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM ENERGIA SOLAR, 2. Anais [...]* Teresina, 2017a.

MORAIS, F. H. M. *et al.* Use of Energy Bills for Energy Management in Multicampi Universitie. **Revista Espacios**, v. 38, n. 12, p. 20, Caracas, 2017b.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L.; SILVA, J. P. B. **Curso de Formação Inicial e Continuada em Energia Solar Fotovoltaica e Eficiência Energética**. Projeto de Extensão. Teresina: IFPI, 2019c.

MOREIRA, C. F. N. Political and economic disputes over Brazilian educational democratization in the 21st Century. **Revista Katálysis**, v. 22, n. 3, p. 447-456, 2019.

MORRIS, J. *et al.* Benchmarking and tracking domestic gas and electricity consumption at the local authority level. **Energy Efficiency**, v. 9, p. 723-743, 2016.

NAKABAYASHI, R. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: viabilidade econômica**. Nota Técnica. IEE-USP (LSF), São Paulo, 2015.

NARDO, M., *et al.* Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. *In: OECD Statistics Working Paper*. Paris, 2008.

NEZ, E. Os dilemas da Gestão de Universidades Multicampi no Brasil. **Revista Gestão Universitária na América Latina – GUAL**, v. 9, n. 2, p. 131-153, Florianópolis, 2016.

NIEDERBERGER, A. A.; CHAMPNISS, G. Flip sides of the same coin? A simple efficiency score versus energy bill savings information to drive consumers to choose more energy-efficient products. **Energy Efficiency**, v. 11, n. 7, p. 1657-1671, 2018.

NOGUEIRA, L. A. H. *et al.* Evaluation of the energy impacts of the Energy Efficiency Law in Brazil. **Energy for Sustainable Development**, v. 24, p. 58-69, 2015.

OLIVEIRA, A. J. *et al.* Programa Reuni nas Instituições de Ensino Superior Federal [IFES] brasileiras: um estudo da eficiência operacional por meio da Análise Envoltória de Dados [DEA] no período de 2006 a 2012. **RACE**, v. 13, n. 3, p. 1179-1210, 2014.

OLIVEIRA, M. H. F.; REBELATTO, D. A. N. The evaluation of electric energy consumption in the Brazilian residential sector: A technological improvement proposal in order to increase its efficiency. **Renewable & sustainable energy reviews**, v. 49, p. 836-844, 2015.

OLSTHOORN, M.; SCHLEICH, J.; HIRZEL, S. Adoption of energy efficiency measures for non-residential buildings: technological and organizational heterogeneity in the trade, commerce and services sector. **Ecological Economics**, v. 136, p. 240-254, 2017.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Environmental indicators: Development, Measurement and Use**. Paris, 2003.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Members and partners**. Paris, 2018. Disponível em: <http://www.oecd.org/about/membersandpartners/>. Acesso em: 18 abr. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Plataforma Agenda 2030: acelerando as transformações para a Agenda 2030 no Brasil**. Nova York, 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br>. Acesso em: 24 abr. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Nova York, 2015.

PAIM, M. *et al.*. Evaluating regulatory strategies for mitigating hydrological risk in Brazil through diversification of its electricity mix. **Energy Policy**, v. 128, p. 393-401, 2019.

PEIXINHO, A. M. L. A trajetória do Programa Nacional de Alimentação Escolar no período de 2003-2010: relato do gestor nacional. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 4, p. 909-916, 2013.

PEREIRA, E. B. *et al.*. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, L.; CRUZ, J. Os Institutos Federais e o desenvolvimento regional: interface possível. **HOLOS**, v. 35, n. 4, p. 1-18, 2019.

PÉREZ-HIGUERAS, P. *et al.* Optimum sizing of the inverter for maximizing the energy yield in state-of-the-art high-concentrator photovoltaic systems. **Solar Energy**, v. 171, p. 728, 2018.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J. ; VELÁZQUEZ, D. Revisiting energy efficiency fundamentals. **Energy Efficiency**, v. 6, 2. ed, p. 239-254, Sevilha, 2013.

PICANÇO, F. Juventude e acesso ao ensino superior no Brasil: Onde está o alvo das políticas de ação afirmativa. **Latin American Research Review**, v. 51, n. 1, p. 109-131, 2016.

PLANAS, C.; CUERVA, E.; ALAVEDRA, P. Effects of the type of facade on the energy performance of office buildings representative of the city of Barcelona. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 9, n. 4, p. 3325, 2018.

PRIETO-SANDOVAL, V. *et al.* Challenges for ecolabeling growth: lessons from the EU Ecolabel in Spain. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 5, p. 856-867, 2020.

RAMOS, A.; LABANDEIRA, X.; LÖSCHEL, A. Pro-environmental Households and Energy Efficiency in Spain. **Environmental and Resource Economics**, v. 63, p. 367-393, 2016.

RÊGO, V. R. **100 Fatos de uma escola centenária**, 1. ed., Teresina: IFPI, 2015.

RINGEL, M. *et al.* Towards a green economy in Germany? The role of energy efficiency Policies. **Applied energy**, v. 197, p. 1293-1303, 2016.

ROE, B. E.; TEISL, M. F.; DEANS, C. R. The economics of voluntary versus mandatory labels. **Annual Review of Resource Economics**, v. 61, n. 1, p. 407-427, 2014.

ROSINKE, J. G. *et al.* A participação dos Institutos Federais na interiorização da Educação Superior Presencial no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, 2020.

ROUSSEAU, P. *et al.* “Eco-tool-seeker”: a new and unique business guide for choosing ecodesign tools. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 546-577, 2017.

RUIZA, P. A. *et al.* Applying the HVAC systems in an integrated optimization method for residential building's design: a case study in Spain. **Energy and buildings**, v. 119, p. 74-84, 2016.

SÁ, F. N. **Análise interdisciplinar do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica do Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano**. 2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

SÁ, F. N. *et al.* Análise ambiental e econômica do primeiro ano de operação do sistema fotovoltaico de uma instituição federal de ensino no Brasil. *In: REUNIÓN ASADES - ASOCIACIÓN ARGENTINA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y AMBIENTE*, 10. **Anais [...]**. San Juan, 2017.

SANTOS, A. S.; OLIVEIRA, J. Trigonometria Triangular Esférica. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 6, 2018.

SANTOS, C. M.; SANTOS, A. O. A implantação do Programa REUNI na UFVJM sob a ótica dos Bacharelados Interdisciplinares e Engenharias. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 11. 2019.

SCHIBUOLA, L.; SCARPA, M.; TAMBANI, C. CO2 based ventilation control in energy retrofit: an experimental assessment. **Energy**, v. 143, p. 606-614, 2018.

SEKKIA, T. *et al.* Consideration of energy consumption, energy costs, and space occupancy in Finnish daycare centres and school buildings. **Energy and buildings**, v. 129, p. 199-206, 2016.

SENNA, A. J. T. *et al.* Determinação do índice de risco ambiental das instalações de uma unidade de uma instituição federal multicampi de ensino superior. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital**, v. 18, n. 1, p. 555-565, Santa Maria-RS, 2014.

SHIMODA, Y.; CHOONCHUACHAN, N.; MIZUNO, M. New procedure for estimating seasonal energy efficiency ratio of chillers. **ASHRAE Transactions**, v. 113, p. 578-585, 2007.

SILVA FILHO, G. M. *et al.* Análise da eficiência nos gastos públicos com Educação Fundamental nos colégios militares do Exército em 2014. **Revista Evidenciação Contábil & Finanças**, v. 4, n. 1, p. 50-64, 2016.

SILVA, O. A. V. O. L. Diagnóstico Energético em organizações *multisites*. In: V ENCONTRO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA – EITEC. **Palestra ministrada**. Picos: IFPI, 2018.

SILVA, O. A. V. O. L.; BARBOSA, F. R.; SANTOS, F. F. P. **Viabilidade técnico-econômica da eficiência energética em edificações**, 1. ed. Curitiba: Prismas, 2017.

SILVA, O. A. V. O. L. *et al.* Análise Envoltória de Dados para a Gestão Energética em Instituições de Ensino Superior *Multicampi*. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 50, 2018.

SILVA, O. A. V. O. L.; LIRA, M. A. T.; MOITA NETO, J. M. Eficiência Energética em Instituições de Ensino Superior *Multicampi* e proposta de nova Rotulagem Ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 2020a. (Artigo aceito para publicação).

SILVA, O. A. V. O. L.; LIRA, M. A. T.; MOITA NETO, J. M. **Etiquetagem Eficiência Energética** – IFPI 2019. Teresina, 2020b. Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/view?mid=1b8DN9sdFzPGQ2kfy8uFMcwIFFeRu0aeQ&ll=-5.405820969532649%2C-45.29968054726222&z=6>. Acesso em: 20 jul. 2020.

SILVA, O. A. V. O. L.; MORAIS, F. H. M.; MOURA, G. L. R. **Diagnóstico energético para a conformidade da gestão energética em Instituições de Ensino Superior *multicampi***. Projeto de Pesquisa. Teresina: IFPI, 2019.

SILVA, O. A. V. O. L. *et al.* Electricity use management based on International Protocol: a proposal for UFPI, Brazil. **Revista Espacios**, v. 37, n. 11, p. 26, Caracas, 2016.

SILVA, O. A. V. O. L. *et al.* Etiquetagem de edificações comerciais, públicas e de serviços: um retrato da (in)eficácia do programa no Piauí. **Carta CEPRO**, v. 27, p. 43-54, Teresina, 2015.

SILVA, P. F.; MELO, S. D. G. O trabalho docente nos Institutos Federais no contexto de expansão da educação superior. **Educação e Pesquisa**, v. 44, 2018.

SINGH, G. K. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review. **Energy**, v. 53, p. 1-13, 2013.

SOUZA, M. S. P. S. Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia como vetores de desenvolvimento no estado do Rio de Janeiro: a perspectiva de gestores de unidades. **Espaço e Economia**, v. 7, n. 14, 2019.

SPENGLER, L.; JEPSEN, D.; ZIMMERMANN, T.; WICHMANN, P. Product sustainability criteria in ecolabels: a complete analysis of the Blue Angel with focus on longevity and social criteria. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-11, 2019.

SUDIN, E.; NASSLANDER, E.; LELAR, A. Sustainability Indicators for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) in the transition to provide Product-Service Systems (PSS). **Procedia CIRP**, v. 30, p. 149-154, 2015.

TEIXEIRA, A. Plano nacional de educação. Referente aos fundos nacionais de ensino primário, médio e superior. **Documenta**, Rio de Janeiro, n. 8, out. 1962, p. 24-31. Disponível em: <http://www.bvanisioteixeira.ufba.br/artigos/plano1.html>. Acesso em: 21 jul. 2020.

TELES, M. B. *et al.* Avaliação operacional de um sistema fotovoltaico conectado à rede com conversores C.C.-C.C. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 9, n. 2, p. 133-140, 2018.

TREVISOL, J. V. Poor youth at public universities: access and permanence. **Revista Katálisis**, v. 19, n. 1, p. 22-32, 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI). **PDI – Plano de Desenvolvimento Institucional 2015-2019**. Teresina: UFPI, 2015.

URBANETZ JUNIOR, J.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F.; TIEPOLO, G. M. Acompanhamento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do Escritório Verde da UTFPR. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 9. **Anais [...]**. Florianópolis, 2014.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

WANG, W.; CHEN, J.; HONG, T. Occupancy prediction through machine learning and data fusion of environmental sensing and Wi-Fi sensing in buildings. **Automation in Construction**, v. 94, p. 233-243, 2018.

WANG, Z. *et al.* Learning urban resilience from a social-economic-ecological system perspective: a case study of Beijing from 1978 to 2015. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 343-357, 2018b.

WANGA, X. *et al.* Identification of key energy efficiency drivers through global city benchmarking: A data driven approach. **Applied Energy**, v. 190, p. 18-28, 2017.

WANGA, Y. *et al.* Evaluation on energy performance in a low-energy building using new energy conservation index based on monitoring measurement system with sensor network. **Energy and buildings**, v. 123, p. 79-91, 2016.

WONG, I. L.; KRÜGER, E. Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities. **Energy Policy**, v. 109, p. 310-323, 2017.

YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. New analysis of efficiency based on DEA. **Journal of the Operations Research Society of Japan**, v. 37, n. 2, p. 158-167, 1994.

ZHAOA, D. *et al.* Interaction effects of building technology and resident behavior on energy consumption in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 134, p. 223-233, 2017.

[?]. Energy, Water Efficiency ISH Focus. *In: ASHRAE Journal*, v. 55, n. 7, p. 6-9, 2013.

[?]. Energy, Water Efficiency ISH Focus. *In: ASHRAE Journal*, v. 53 n. 5, p. 6-8, 2011.