

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO SANTANA DE ALBUQUERQUE

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ATIVOS NA TRANSFORMAÇÃO DE UM PRÉDIO
EM UM EDIFÍCIO DE ENERGIA ZERO: ESTUDO DE CASO DA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

DM: 18/2020

BELÉM-PA

2020

BRUNO SANTANA DE ALBUQUERQUE

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ATIVOS NA TRANSFORMAÇÃO DE UM PRÉDIO
UNIVERSITÁRIO EM UM EDIFÍCIO DE ENERGIA ZERO: ESTUDO DE CASO DA
BIBLIOTECA CENTRAL**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica, sob orientação do Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra

BELÉM-PA

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**“UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ATIVOS NA TRANSFORMAÇÃO DE UM
PRÉDIO UNIVERSITÁRIO EM UM EDIFÍCIO DE ENERGIA ZERO:
ESTUDO DE CASO DA BIBLIOTECA CENTRAL”**

AUTOR: BRUNO SANTANA DE ALBUQUERQUE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO
JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

APROVADA EM: 06/05/2020

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra
(Orientador - PPGEE/UFPA)

Prof.ª Dr.ª Maria Emília de Lima Tostes
(Coorientadora - PPGEE/UFPA)

Prof.ª Dr.ª Carolina de Mattos Affonso
(Avaliadora Interna - PPGEE/UFPA)

Prof. Dr. Rogério Diagne de Souza e Silva
(Avaliador Externo à Instituição - UNICEUB)

VISTO:

Prof.ª Dr.ª Maria Emília de Lima Tostes
(Coordenadora do PPGEE/ITEC/UFPA)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S231u Santana de Albuquerque, Bruno
UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ATIVOS NA
TRANSFORMAÇÃO DE UM PRÉDIO EM UM EDIFÍCIO DE
ENERGIA ZERO : ESTUDO DE CASO DA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ / Bruno
Santana de Albuquerque. — 2020.
126 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra
Coorientação: Prof^a. Dra. Maria Emília de Lima Tostes
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal
do Pará, Belém, 2020.

1. Geração Distribuída. 2. Sistema Fotovoltaico. 3.
Autoconsumo. 4. EEZ. 5. Edifícios Públicos. I. Título.

CDD 621.3

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais Djalma e Elen, e aos meus irmãos Breno e Bianca por todo seu apoio, ajuda e incentivo nos momentos difíceis.

A Lorena pela sua companhia e compreensão, que sempre me trazem motivos de felicidade.

Aos irmãos dos “Brothers” que compartilharam comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra e minha coorientadora Prof.^a. Dr^a M^a Emília de Lima Tostes pela colaboração, paciência e seus conhecimentos repassados durante todo o desenvolvimento do trabalho, além da grande amizade formada.

Aos membros da banca por terem aceitado o convite e por suas contribuições a este trabalho e por todos os conselhos e pela ajuda com a qual guiou o meu aprendizado.

E por fim, a todos os amigos, professores, pesquisadores e colaboradores do CEAMAZON, em especial a Ana Carolina Souza e ao Ulisses Paixão, pelo ambiente amistoso no qual convivemos o que foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa e a realização deste trabalho.

Os agradecimentos são uma pequena forma de retribuí-los e reconhecer tudo o que fizeram por mim. Muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho propõe uma avaliação energética da aplicação do conceito de Edifício de Energia Zero (EEZ) em um edifício universitário, por meio da utilização de métodos ativos, como os Sistema de Iluminação (SI), Sistemas de Geração Fotovoltaico (SF) e Sistema de Armazenamento (SA), e apresenta sua aplicação na forma de um estudo de caso. O objetivo deste estudo é analisar o balanço energético entre a carga da Biblioteca Central da UFPA, a implementação do SI, o SF, o sistema de distribuição e o SA, visando a autonomia energética da carga. Os resultados se apresentaram satisfatórios para os diferentes cenários criados pela variação da carga, de acordo com o calendário da universidade, e pela intermitência da geração fotovoltaica, devido à variação da fonte solar. A implantação do SI proposto reduziu em 44% o consumo da edificação. O uso do sistema fotovoltaico permitiu gerar o suficiente para suprir maior parte da carga do edifício, porém apenas 53% dessa energia seria capaz de beneficiar o edifício, pois o excedente gerado foi utilizado para o atendimento de outras cargas da universidade. Entretanto, a integração do SA permitiu que a edificação se beneficiasse de 77% da energia gerada. Dessa forma, os sistemas propostos proporcionam o conceito de EEZ para a edificação em estudo.

PALAVRAS-CHAVES: Geração Distribuída. Sistema Fotovoltaico. Flexibilidade de Geração. Autoconsumo. EEZ. Edifícios Públicos.

ABSTRACT

This dissertation proposes an energetic evaluation of a University Building transformation into a Zero Energy Building (ZEB), by using active methods such as Lighting System (LS), Photovoltaic System (PV) and Storage System (SS), and presents its application in the form of a case study. The purpose of this study is to analyze the energy balance between the UFPA Central Library, the implementation of the LS, the PV, the distribution system and the SS, aiming at the load autonomy. Satisfactory results were obtained for different scenarios created by the load variability, according to the university calendar, and the photovoltaic generation intermittency. The proposed LS reduced the building consumption by 44%. Using the PV system generates enough energy to supply most of the building load, however only 53% of this energy benefits the building, the energy surplus supplies other university loads. However, the SS integration allows the building to benefit 77% of the generated energy. Therefore, the proposed systems provide the ZEB concept to the study case building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Frequência de uso de recursos e tecnologias aplicadas em 34 casos de EEZ.	19
Figura 2 – Quatro tipos de EEZ, conforme utilização da geração renovável.	22
Figura 3 – Tela Inicial do SISGEE.	24
Figura 4 – Tensão em regime permanente do edifício da Biblioteca Central.	25
Figura 5 – Tela de configuração de orientação e estrutura do gerador fotovoltaico.	31
Figura 6 - Tela de dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede.	32
Figura 7 - Resposta espectral relativa (SR) de diferentes tecnologias fotovoltaicas, em função do comprimento de onda da luz incidente (λ).	34
Figura 8 - Característica da curva I-V do módulo fotovoltaico CS6U-320P para diferentes níveis de irradiância e temperatura.	35
Figura 9 - Curva de eficiência do inversor Bosch BPT-S3.	37
Figura 10 – Projeção da potência acumulada de sistemas de armazenamento no mundo até 2040.	39
Figura 11 - Aplicações para sistema de armazenamento de energia.	40
Figura 12 – Projeção do crescimento mundial de SA integrados a edificações.	41
Figura 13 – Bateria da fabricante BYD modelo B-Box 13,8 de tecnologia ion lítio.	43
Figura 15 – Histórico do consumo anual do prédio da Biblioteca Central.	50
Figura 16 - Curvas de carga diárias típicas do prédio da Biblioteca Central, com destaque para o período letivo e de férias.	51
Figura 17 - Lâmpada fluorescente tubular de 110 W.	54
Figura 18 - Lâmpada fluorescente tubular de 32 W.	55
Figura 19 – Lâmpada fluorescente compacta de 45 W.	55
Figura 20 – Horário de funcionamento do sistema de iluminação por ambientes do pavimento superior, caso existente.	56
Figura 21 – Horário de funcionamento do sistema de iluminação por ambientes do pavimento térreo, caso existente.	57
Figura 22 - Setorização por ambiente dos horários propostos de funcionamento do pavimento térreo da BC.	62
Figura 23 - Setorização por ambiente dos horários propostos de funcionamento do pavimento superior da BC.	63
Figura 24 - Vista superior do prédio da Biblioteca Central, com destaque para as áreas disponíveis para instalação de SFV.	64

Figura 25 - Configuração utilizada na integração do SA.	66
Figura 26 - Fluxo de caixa acumulado	73
Figura 27 - Balanço energético do sistema com o SFV.	74
Figura 28 - Curva de potência dos sistemas para um dia letivo e de alta DRS.	75
Figura 29 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de alta DRS.	76
Figura 30 - Curvas horárias de potência do sistema de um domingo de férias e de alta disponibilidade do recurso solar.	77
Figura 31 Curva de potência dos sistemas para um dia letivo e de média DRS.	78
Figura 32 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de média DRS.....	78
Figura 33 - Curva de potência dos sistemas para um dia letivo e de baixa DRS.	79
Figura 34 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de baixa DRS.....	80
Figura 35 - Balanço energético anual do sistema.	81
Figura 36 - Curvas anuais de consumo de energia da edificação, proveniente das diferentes fontes.	81
Figura 37 - Curva de potência dos sistemas para um dia letivo e de alta DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.	82
Figura 38 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e alta DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.	83
Figura 39 - Curva de potência dos sistemas para um dia de aula e de média DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.....	84
Figura 40 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de média DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.....	84
Figura 41 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de baixa DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.....	85
Figura 42 - Curva de potência dos sistemas para um dia de aula e de baixa DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.	86
Figura 43 - Curva de potência dos sistemas para um dia de aula e de baixa DRS, em que o SA não foi capaz de atender a carga.	87
Figura 44 - Curva de potência dos sistemas para um fim de semana composto por um dia de baixa DRS seguido de um dia de alta DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.	88
Figura 45 - Curva de potência dos sistemas para um fim de semana composto por um dia de alta DRS seguido de um dia de baixa DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga..	89
Figura 46 - Curva de potência dos sistemas para um fim de semana composto por dois dias consecutivos de alta DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.....	89

Figura 47 - Balanço energético diário para a utilização dos SFV e do SFV+SA.....	91
Figura 48 - Balanço energético diário para a utilização dos SFV+SI e do SFV+SA+SI.	91
Figura 49. Setorização por ambiente dos horários atuais de funcionamento do pavimento térreo da BC.....	100
Figura 50. Setorização por ambiente dos horários atuais de funcionamento do pavimento superior da BC.....	101
Figura 51. Setorização por ambiente dos horários propostos de funcionamento do pavimento térreo da BC.....	102
Figura 52. Setorização por ambiente dos horários propostos de funcionamento do pavimento superior da BC.....	103
Figura 53. Aba inicial da planilha do PROPEE, com informações do estudo de caso.....	118
Figura 54 - Valores cadastrados na planilha do PROPEE, referentes ao sistema atual e existente.....	119
Figura 55 - Valores cadastrados na planilha do PROPEE, referentes ao sistema atual e existente.....	120
Figura 56 - Resultado de economia mensal para o consumidor.....	121
Figura 57 - Resultado de economia mensal para o consumidor.....	121
Figura 57 - Resultado de economia mensal para o consumidor.....	122
Figura 58 - Fluxo de caixa anula.	123
Figura 59 – Impacto do retorno do capital próprio.....	123
Figura 60 - Distribuição do capital próprio.	124
Figura 61 – Equivalencia de GEE.	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Dados meteorológicos da cidade de Belém.....	33
Tabela 2 – Dados técnicos de baterias disponíveis comercialmente.	41
Tabela 3 – Sistema de iluminação da Biblioteca Central da UFPA.	52
Tabela 4 – Modelos de lâmpada propostos.	59
Tabela 5 - Característica do Sistema de Iluminação proposto.....	60
Tabela 6 – Tabela de Potência dos equipamentos utilizados.....	65
Tabela 7- Resumo da análise do sistema de iluminação pelo RTQ-C.....	68
Tabela 8 - Níveis de classificação final com respectivos equivalentes numéricos	68
Tabela 9- Resumo da análise do sistema de iluminação proposto pelo RTQ-C.....	69
Tabela 10 – Resposta energética obtida com a metodologia PROPEE.....	70
Tabela 11 - Resultados do diagnóstico energético do PROPEE.	71
Tabela 12 - Dados referentes ao consumo, custo e economia de energia obtidos no Retscreen.	72
Tabela 13 - Dados referentes a análise financeira do Retscreen.	72
Tabela 14 - Característica do Sistema de Iluminação atual e proposto.	104
Tabela 15. Luminotécnico do sistema de iluminação da Biblioteca Central.....	107
Tabela 16. Características técnicas do sistema de iluminação existente.	110
Tabela 17. densidade de potência limite de iluminação (DPIL).....	112
Tabela 18. Avaliação dos pré-requisitos de iluminação, por ambiente.	115
Tabela 19. Ponderação da avaliação dos pré-requisitos.	116
Tabela 20. Classificação Geral	117

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Enquadramento do Estudo e Motivação	14
1.2	Objetivos do Estudo	15
1.3	Estrutura da dissertação.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Conceito de edifícios EEZ.....	17
2.2	Técnicas e tecnologias do conceito EEZ	18
2.2.1	Métodos Passivos	19
2.2.2	Métodos Ativos	19
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	Sistema de Gestão em Eficiência Energética	23
3.2	Sistema de Iluminação	25
3.2.1	PROPEE	25
3.2.2	RETScreen Expert.....	27
3.2.3	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C	29
3.3	PVsys	31
3.4	Sistemas fotovoltaicos.....	33
3.4.1	Módulos fotovoltaicos	33
3.4.2	Inversor.....	36
3.5	Sistema de armazenamento	39
3.5.1	Armazenamento de energia em edifícios	40
3.5.2	Tecnologias de armazenamento	41
3.5.3	Cenário Brasileiro.....	44
4	ESTUDO DE CASO DA BIBLIOTECA CENTRAL	46
4.1	Introdução e História	46

4.2	Características Gerais	47
4.3	Características Técnicas	49
4.3.1	Horário de Funcionamento da Biblioteca Central.....	49
4.3.2	Consumo Energético	50
4.3.3	Sistema de Iluminação.....	51
4.4	Análise do Caso de Estudo	57
4.5	Propostas para o Caso de Estudo	58
4.5.1	Proposta para o Sistema de Iluminação.....	58
4.5.2	Proposta do Sistema Fotovoltaico	63
4.5.3	Proposta Sistema de Armazenamento	65
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	68
5.1	Sistema de iluminação	68
5.1.1	Análise do sistema proposto.....	69
5.2	Sistema Fotovoltaico	73
5.2.1	Características do sistema para variações de carga e DRS	75
5.3	Sistema de armazenamento	80
5.3.1	Características do sistema para variações de carga e DRS	82
5.4	Análise crítica em relação a EEZ	90
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE A- Setorização por horários funcionamento dos ambientes da Biblioteca Central.....	100
	APÊNDICE B - Descrição do sistema de iluminação artificial	104
	APÊNDICE C – Avaliação do Sistema de Iluminação pelo Método das Áreas do RTQ-C.....	107
	APÊNDICE D – Dados do PROPEE	118
	APÊNDICE E- Dados Do <i>RETSscreen</i>	123

1 INTRODUÇÃO

Primeiramente, é importante destacar que os debates relacionados com os impactos do consumo de energia elétrica no mundo representam atualmente uma preocupação de nível planetário.

Nesse sentido, as economias emergentes têm se mostrado como ponto chave para a realização de um cenário mundial eficiente, pois, segundo a *International Energy Agency* (2018), os seus ganhos com ações de eficiência energética podem reduzir pela metade a demanda de energia, sendo 60% deste resultado proveniente dos setores transporte e edificações.

Até 2050 é esperado no mundo que o consumo elétrico do setor de transporte cresça em 43% e o consumo de edificações atinja 68% da energia gerada, sendo 86% dessa energia proveniente de fontes renováveis. Ao final deste período, estima-se que 82% das edificações possuam medidores inteligentes, capazes de dar maior independência energética ao consumidor (IRENA, 2019).

Em termos globais, as edificações apresentam importante parcela no impacto ao meio ambiente, pois estas são as principais usufruidoras de recursos naturais e energia elétrica, além de serem uma das maiores geradoras de resíduos e de emissões de gases do efeito estufa (FERRADOR FILHO, 2018).

Sendo assim, reduzir o consumo de energia elétrica nas edificações representa um papel fundamental no processo de transição energética, mitigando a necessidade da construção de grandes usinas geradoras, redução de emissão de gases nocivos e outros fatores que serão apresentados ao longo deste trabalho. Cabe destacar também que a geração proveniente do recurso solar desempenha um papel notável nessa transição, dada a uniformidade de sua distribuição em escala global (VILLA-ARRIETA, 2019).

Ao se verificar especificamente o consumo energético em edificações brasileiras, o cenário apresenta informações relevantes ao indicar que elas consomem aproximadamente 53% de toda a energia elétrica produzida no país (EPE, 2019). A maior parcela desse consumo, cerca de 70%, é proveniente dos equipamentos de iluminação e condicionamento de ar, direcionando as ações de eficiência energética para a melhoria da operação e manutenção dos sistemas prediais, bem como da estrutura das edificações em si (PROCEL, s.d.).

Com o objetivo de redução de consumo das edificações, diversos conceitos e ações vem se consolidando pelo mundo. O mais importante deles é o conceito de edifício de energia zero (EEZ), do inglês *Zero Energy Building* (ZEB), uma vez que este tem se tornado cada vez mais forte e alterando a forma como se vê um edifício.

Existem duas grandes áreas no conceito EEZ, a primeira área utiliza os métodos passivos, onde a arquitetura e disposição do edifício, juntamente com o aproveitamento das características locais onde ele está inserido, proporcionam uma redução do consumo. A segunda área utiliza os métodos ativos, que emprega sistemas e tecnologias que complementam os métodos anteriores (PLESS & Torcellini, 2010).

Nos últimos anos o conceito EEZ tem se tornado tendência em projetos de futuros prédios. Em países da União Europeia (EU) o conceito vem se concretizando de modo que a partir de 2021 será obrigatório para todas as novas edificações (EPBD, 2015).

Entretanto, dentro do contexto brasileiro, esse conceito ainda está muito restrito a academia. Embora existam políticas de incentivo a eficiência energética, na maioria dos casos, tais iniciativas visam apenas os equipamentos de uso final, desconsiderando as características do ambiente em que esses equipamentos são utilizados.

No Brasil, foram criadas, dentre outras ferramentas, legislações específicas como a lei nº 9.991 de 2000 que estabelece a obrigatoriedade das distribuidoras de energia elétrica investirem ao todo 1% da Receita Operacional Líquida (ROL) em eficiência energética, gerando uma maior aplicação prática das medidas voltadas à redução do consumo de energia.

A lei também estabeleceu previsão de que o percentual de recurso para programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia deve ser de no mínimo 0,25% do ROL, e para Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) do setor elétrico, no mínimo 0,75%.

Atualmente, as chamadas públicas de projetos (CPP) atendem essa obrigatoriedade e permitem que a população possa pleitear esse recurso como forma de financiamento das ações de eficiência energética. As CPP's seguem os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE), que aplica uma metodologia padrão de pré-diagnóstico e diagnóstico energético (PROCEL, s.d.).

A Universidade Federal do Pará (UFPA) se enquadra nesse contexto de alto consumo energético de edificações; da crescente conscientização por parte dos agentes governamentais e da comunidade em geral, à aplicação de ações que melhorem esse cenário; e do aumento da

busca por uso de energias renováveis. Atualmente, tem sido realizados esforços em parceria com o Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia - CEAMAZON na busca da redução de consumo de energia elétrica no Campus Guamá, por meio de ações de eficiência energética.

As principais ações adotadas tem sido:

- a) Estudos e diagnósticos energéticos das edificações do campus, buscando o desenvolvimento de projetos de iluminação, climatização e envoltória, a fim de torná-los mais eficientes. Esta ação também busca participação da universidade em Chamadas Públicas para projetos de eficiência energética;
- b) projeto e implantação de sistemas fotovoltaicos no campus, visando a redução da demanda de energia;
- c) expansão do sistema de monitoramento da rede elétrica do campus, buscando identificar características potenciais de ações de eficiência energética;
- d) e outros.

1.1 Enquadramento do Estudo e Motivação

O presente estudo se enquadra ao novo panorama energético mundial, o qual a Universidade Federal do Pará busca atender por meio da aplicação das mais avançadas técnicas de eficiência energética. Entre diversas técnicas, este estudo aplica o conceito do EEZ dentro da cidade universitária, em particular na edificação da Biblioteca Central da UFPA.

Com isso, impactando internamente na redução do consumo de energia elétrica, na capacitação de profissionais, na formação de alunos e promoção do aumento do conforto e qualidade no meio ambiente de trabalho para os funcionários.

Ademais, possui um impacto externo também, principalmente em relação à questão socioambiental e na sustentabilidade que pode servir de um excelente exemplo para toda a sociedade.

Dessa forma espera-se que este estudo beneficie desde a instituição até as pessoas relacionadas, sirva de referência a novos estudos de caso de EEZ no hemisfério sul, no Brasil ou próximo ao equador, e por fim a sociedade de modo geral, sendo esta a principal motivação deste trabalho.

1.2 Objetivos do Estudo

Este trabalho tem como objetivo principal criar um efeito de demonstração de edificações EEZ na UFPA, com o estudo de caso na da Biblioteca Central, possibilitando que este tipo de edificação possa ser adotado na prática e assim contribuir para o aumento da eficiência energética em edificações.

Busca-se alcançar o objetivo geral por meio de objetivos específicos com a simulação de propostas de métodos ativos, sendo estes: o *retrofit* do sistema de iluminação, a instalação de sistemas fotovoltaicos e por fim a instalação de um sistema de armazenamento.

É esperado que os sistemas propostos permitam que a edificação da Biblioteca Central (BC) atinja o conceito de EEZ, de forma que o sistema de iluminação proposto reduzirá grande parte do consumo de energia elétrica da edificação, o sistema fotovoltaico atenderá a nova demanda por energia e o sistema de armazenamento permitirá um melhor proveito dessa energia gerada, reduzindo a dependência da edificação em relação a rede de distribuição.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta pesquisa está estruturada em seis capítulos, compreendidos da seguinte forma:

Capítulo 1. INTRODUÇÃO, inicia com uma breve apresentação da temática escolhida na pesquisa, a fim de contextualizar o tema da dissertação. Nesse capítulo constam as motivações do estudo e sua problematização que culminaram na formulação dos objetivos do estudo. Finaliza-se com a distribuição dos tópicos abordados durante o decorrer da pesquisa como embasamento teórico e técnico para desenvolvê-la.

Capítulo 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, que apresenta os principais conceitos obtidos por meio de pesquisas sobre a eficiência energética voltada para edificações de energia zero, que norteiam este estudo como, as principais técnicas e tecnologias utilizadas em EEZ, características de EEZ em locais de clima úmido e quente, a sustentabilidade e as particularidades do uso da geração de energia renovável

Capítulo 3. METODOLOGIA, expõe todas as etapas que conduzem a elaboração e aplicação da metodologia proposta para uma análise mais completa a respeito da *performance* energética da edificação da BC. Foram apresentadas as principais características das tecnologias empregadas neste estudo, sendo o Sistema de Gestão do Consumo da Energia Elétrica, Sistema Fotovoltaico e o Sistema de Armazenamento. A apresentação da edificação

que servirá como estudo de caso também ocorre nesse capítulo, possibilitando a continuidade da dissertação com a utilização da edificação e da metodologia no capítulo 4.

Capítulo 4. ESTUDO DE CASO DA BIBLIOTECA CENTRAL, apresenta um panorama geral do objeto de estudo ao apresentar desde seu contexto histórico às principais características de uso da edificação. São identificadas características de consumo como as tecnologias das lâmpadas, a forma como o sistema de iluminação está sendo utilizado, particularidades por se tratar de uma edificação universitária, entre outros. Ainda neste capítulo são apresentados os sistemas propostos de iluminação, sistema fotovoltaico e Armazenamento.

Capítulo 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS, são apresentados os principais resultados obtidos na simulação do sistema de iluminação, fotovoltaico e armazenamento. Primeiramente é verificado o nível de economia de energia obtido com a aplicação do sistema de iluminação. Em seguida, por meio de diferentes cenários, é verificado o impacto da variação do recurso solar no balanço energético diário da edificação, assim como seu nível de dependência da rede de distribuição, com a presença apenas do SFV e com o SA. Ao final do capítulo é realizada uma análise considerando a implementação de todos os sistemas propostos.

Capítulo 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS, são documentadas as conclusões observadas de acordo com os objetivos do trabalho, apresentam-se as considerações finais acerca da eficiência energética na edificação da BC.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceito de edifícios EEZ

Embora muitos esforços tenham sido feitos para estabelecer um entendimento internacionalmente aceito dos EEZs e para avaliar os EEZs com base em uma metodologia comum (AYOUB, 2013), ainda não existe uma definição unificada de EEZs (Wei FENG, 2019).

Como exemplo dessas divergências, enquanto para Torcellini et al. (2006) qualquer edifício pode ser transformado em um edifício de energia zero, por mais ineficiente que este edifício seja. É suficiente a simples integração de um sistema de geração renovável com capacidade de suprir sua demanda. Os autores Laustsen (2009) e Marszal et al (2011) opõem-se a esta atitude. Eles apontam que prioritariamente o edifício seja extremamente eficiente, para a posterior dimensionar a capacidade do sistema de geração renovável. Portanto, a eficiência energética é o marco zero da aplicação de fontes de energia renovável, sendo o ponto de partida para qualquer edifício de energia zero (LAUSTSEN, 2009; MARSZAL, A. J.; HEISELBERG, P.; BOURRELLE, J. S., 2011; TORCELLINI, 2006).

A definição de EEZ está gerando vários debates devido as diversas interpretações de diferentes autores. Por consequência, vários estudos buscam a melhor definição de “edifícios de energia zero”.

Dessa forma, Zhang (2014) analisou e comparou as várias definições de EEZ em diversas regiões do mundo e apontou duas diferenças principais nas definições. A primeira refere-se às cargas da edificação que são consideradas no balanço e a segunda é se a Geração Distribuída (GD) pode ser instalada fora do local da edificação. Em caso onde o regulamento e a política visarem apenas a própria construção do edifício, a geração de energia renovável fora do local não deve ser considerada.

Incentivar demais à geração de energia renovável fora do local pode diminuir os esforços de um edifício para incluir eficiência energética e geração de energia renovável no local. Visto a possibilidade de compensação da energia gerada remotamente.

Devido a essa dificuldade em unificar padrões mundiais, o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), sugere um conjunto de definições para “redes de energia zero”, para que os profissionais possam adotar indicadores que melhor se adequem aos seus projetos (TORCELLINI, 2006).

A definição dada pelo *Department of Energy* (DOE) dos Estados Unidos para EEZ é de “um edifício eficiente onde a energia consumida anualmente é menor ou igual à energia gerada pela fonte renovável no local” (USA, 2015).

Dessa forma, o balanço líquido entre a geração de energia renovável e o consumo de carga da edificação é o principal parâmetro considerado nesta análise de EEZ, a fim que este balanço seja igual a zero. Por sua vez esta será a definição adotada neste trabalho, sendo também realizada uma análise diária de acordo com as condições de carga e geração do sistema.

2.2 Técnicas e tecnologias do conceito EEZ

Esta seção resume os recursos comuns de projeto e as opções de tecnologia adotadas pelos EEZs. A identificação dos recursos e tecnologias do projeto é essencial para determinar o desempenho energético do EEZ em zonas de clima quente e úmido.

Em Wei Feng (2019) é identificado que as principais técnicas aplicadas a EEZs em regiões de clima quente e úmido tem sido a adoção de uma envoltória adequada, a utilização de ventilação natural, tecnologias de iluminação eficiente e a integração de SFV.

A Figura 1 apresenta o resultado de um estudo o qual analisava os recursos e tecnologias aplicadas em 34 EEZs, divididos em 5 grupos: projeto arquitetônico e envoltória; aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC); iluminação; eficiência em equipamento; e tecnologias de energia renovável. No eixo horizontal encontra-se os principais recursos e tecnologias utilizadas nas edificações analisadas enquanto o eixo vertical apresenta a quantidade de edificações em o recurso foi empregado. Esses casos de EEZ estão localizados em diferentes partes do mundo, porém todas com características de clima quente e úmido, semelhante a Região Norte do Brasil, em particular Belém.

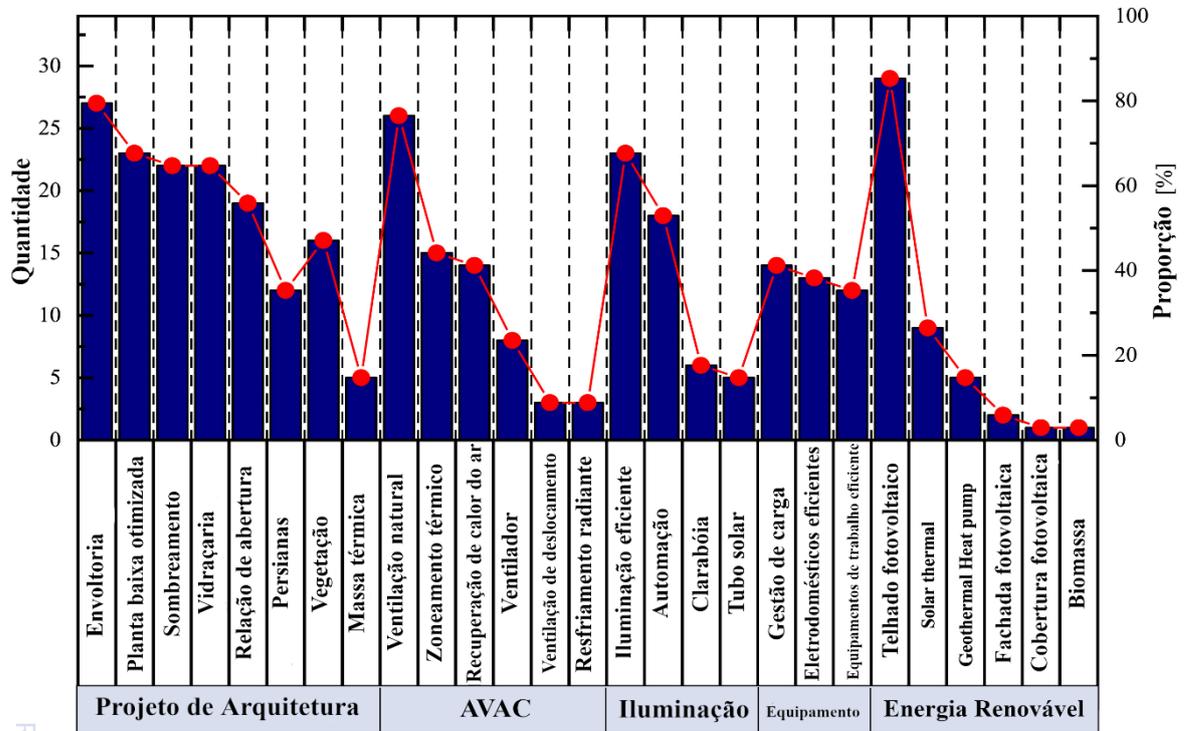
Ainda sobre a Figura 1, é possível verificar que a aplicação de técnicas de eficiência energética na envoltória, ventilação natural, lâmpadas eficiente e sistemas fotovoltaicos no telhado foram as técnicas de cada um dos 5 grupos mais empregadas nas EEZ.

As técnicas existentes no conceito EEZ podem abranger um grande leque de alternativas, desde áreas envidraçadas a grandes instalações de geração de energia renovável.

Existem duas grandes áreas na característica EEZ. Os métodos passivos, onde a arquitetura e disposição do edifício juntamente com o aproveitamento das condições locais proporcionam um baixo consumo. Os métodos ativos, sistemas e tecnologias que estão intimamente ligados

ao consumo ou geração de energia elétrica da edificação, de forma a complementar os anteriores métodos.

Figura 1 – Frequência de uso de recursos e tecnologias aplicadas em 34 casos de EEZ.



Fonte: (Wei FENG, 2019).

2.2.1 Métodos Passivos

Os métodos passivos correspondem a um conjunto de técnicas onde a edificação utiliza de forma otimizada os recursos meteorológicos característicos do local onde se encontra. Dessa forma, os impactos na redução do consumo de energia elétrica com a implantação dessas medidas de eficiência energética são indiretos, conseqüentemente mais difíceis de serem identificados. Esta economia costuma ser conseqüência de uma menor necessidade de atuação dos elementos ativos

As principais técnicas de métodos passivos utilizadas são voltadas para estratégias bioclimáticas como o uso de ventilação e iluminação natural, resfriamento evaporativo, inércia térmica entre outras.

2.2.2 Métodos Ativos

Os métodos ativos correspondem a técnicas e tecnologias que visam reduzir o consumo de energia elétrica de uma edificação. Essa redução ocorre por meio de mudanças direcionadas à equipamentos elétricos, seja acrescentando ou substituindo por tecnologias mais eficientes.

2.2.2.1 Aquecimento, Ventilação, e Ar Condicionado

Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, AVAC, são um dos mecanismos mais utilizados em qualquer edifício de grandes ou pequenas dimensões. Em edificações públicas e comerciais, o ar condicionado é o sistema mais empregado para climatização. Sistemas de condicionamento de ar podem controlar, simultaneamente, a temperatura, umidade, pureza e distribuição do ar para atender às necessidades em um ambiente.

Existem dois tipos de sistemas AVAC:

- a) Centralizado: Sistema central de refrigeração ou aquecimento de água, chillers ou caldeiras, para aquecimento ou arrefecimento atmosférico e água;
- b) Distribuído (Sistemas de expansão direta): VRF ou fluxo de gás refrigerante, sistemas individuais de ar condicionado, aquecimento e/ou ventilação.

O Sistema Distribuído tende a ter um baixo custo de aquisição e instalação em comparação com o Sistema Centralizado, entretanto tem um consumo operacional muito maior.

É importante que a escolha do sistema esteja vinculada a um estudo de acordo com as características da edificação e suas atividades.

Em P. Vangtook (2007) foi mostrado que a combinação de tecnologias de resfriamento passivo e ativo tem um alto potencial para economizar energia e reduzir o pico de demanda de energia em climas quentes e úmidos. Também foi comprovado que proporciona melhor conforto térmico, economizando energia ao mesmo tempo.

2.2.2.2 *Light Emitting Diodes* – LEDs

As estratégias de eficiência energética da iluminação nos EEZs são frequentemente observadas para maximizar o uso da luz do dia por meio de tecnologias de iluminação diurna passiva e para melhorar os dispositivos de iluminação artificial e a eficiência do sistema de controle (Wei FENG, 2019).

No entanto, a introdução da luz do dia também pode correr o risco de aumentar o ganho de calor solar. Assim, a escolha do tipo e da camada de vidro é fundamental para alcançar o equilíbrio entre a luz natural do dia e reduzir o ganho de calor da radiação solar no projeto do EEZ.

A iluminação tem como objetivo a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança, orientação e conforto dentro de um determinado ambiente, tais como: escritórios, escolas, bibliotecas, bancos, indústrias etc.

Atualmente, a tecnologia mais eficiente de iluminação encontrado no mercado é a led, sendo a principal adotada em EEZ (Wei FENG, 2019).

Os avanços na tecnologia de iluminação, como controle de iluminação centrado no ocupante, LEDs, e diodos orgânicos emissores de luz (OLEDs) levaram a projetos de iluminação com uso eficiente de energia e estão indo além da economia de energia, melhorando ao mesmo tempo o bem-estar e a saúde mental dos ocupantes (Montoya, Peña-García, Juaidi, & Manzano-Agugliaro, 2017; Wang, Xu, Zhang, & Wang, 2017).

Fazem parte também de sistemas de iluminação eficiente os sensores de presença, sistema de gerenciamento do consumo de energia por controle digital, dimerizadores e as luminárias.

2.2.2.3 Geração de Energia Renovável

A integração da geração de energia renovável é indispensável para que edificações atinjam o status de EEZ. Os SFVs são a tecnologia de geração de energia renovável mais praticada em EEZ (Wei FENG, 2019). Estes são utilizados na compensação da energia consumida pela edificação, visando um balanço energético líquido igual a zero.

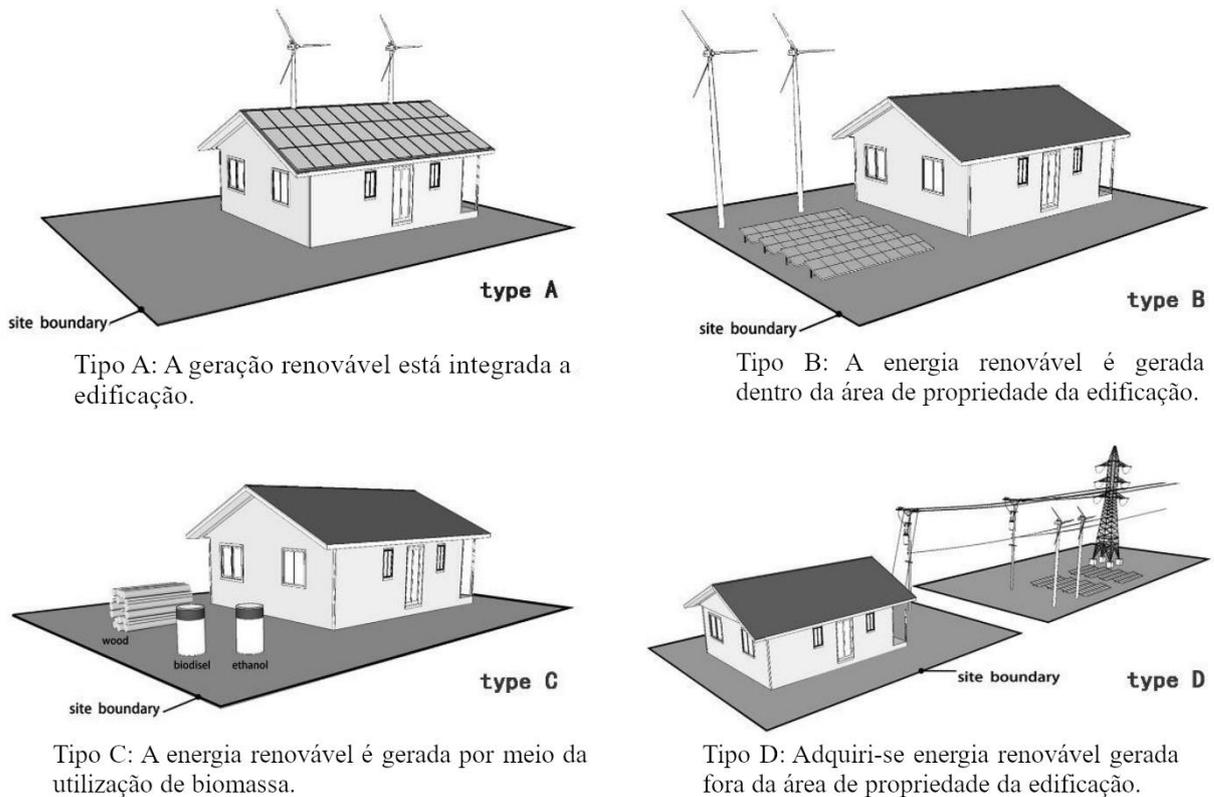
Dentro dos diversos conceito de EEZ são identificadas algumas variações referentes a geração de energia renovável e seu local de instalação. Em Pless & Torcellini, 2010 são identificados 4 tipos de EEZ, os tipos A e B, onde toda a energia renovável está disponível no local da edificação; enquanto os tipos C e D se referem a edifícios que usam principalmente fontes renováveis remotas. A definição restringe ainda mais um EEZ do tipo A como aquele em que a geração renovável está instalada na área construída de um edifício, enquanto o tipo B usa a geração de energia renovável na área de propriedade da edificação. A Figura 2 apresenta os quatro tipos EEZ, de acordo com o local de instalação da geração renovável.

A possibilidade de injeção e consumo de energia elétrica na rede, tem sido um dos principais desafios do conceito EEZ quanto a qualidade de energia elétrica. Diversos estudos vêm sendo realizados a fim de melhorar a interação entre a geração renovável e a rede de distribuição.

As edificações inteligentes possuem uma flexibilidade por meio da gestão de energia, armazenamento e resposta a demanda para atingir o objetivo de energia zero (BPIE, 2017).

Prevê-se que em 2040, controles inteligentes reduzam o consumo em edifícios em 10% (IEA, 2017).

Figura 2 – Quatro tipos de EEZ, conforme utilização da geração renovável.



Fonte.: (Wei FENG, 2019).

No contexto brasileiro, a forte expansão dos SFVs tem sido verificada para instalações dentro da área das propriedades das edificações, principalmente em seus telhados.

Portanto, a integração da geração renovável nas edificações é um passo fundamental na disseminação do EEZ. Nesse mesmo processo de expansão outras tecnologias também vêm ganhando espaço e favorecendo a eficiência energética em edificações. Dessa forma, é esperado que os sistemas de gestão e armazenamento de energia estejam cada vez mais presentes em instalações com SFV, potencializando o conceito EEZ.

3 METODOLOGIA

O presente tópico discorre sobre a metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho, abordando as principais técnicas e recursos utilizados. O Sistema de Gestão em Eficiência Energética foi utilizado como fonte de dados das características energéticas da edificação da BC. O retrofit do sistema de iluminação buscará reduzir o consumo de energia elétrica, enquanto a integração do Sistema Fotovoltaico será responsável por atender ao consumo da edificação. A adoção do Sistema de Armazenamento busca melhorar a gestão da energia gerada de forma a reduzir a dependência da edificação em relação a rede elétrica da distribuidora.

3.1 Sistema de Gestão em Eficiência Energética

Neste trabalho, o SISGEE é utilizado como fonte de dados do consumo de energia elétrica da edificação da BC. Por meio dos dados armazenados da potência demanda pela edificação no intervalo de 10 em 10 minutos, durante o período de um ano, se torna possível verificar as características de consumo diárias e mensais, de acordo com as variações do calendário acadêmico.

A rede elétrica do Campus Guamá da UFPA possui um sistema de supervisão que permite visualizar parâmetros elétricos de eficiência e qualidade da energia elétrica em diferentes pontos da rede. Este sistema é denominado Sistema de Gestão em Eficiência Energética (SISGEE).

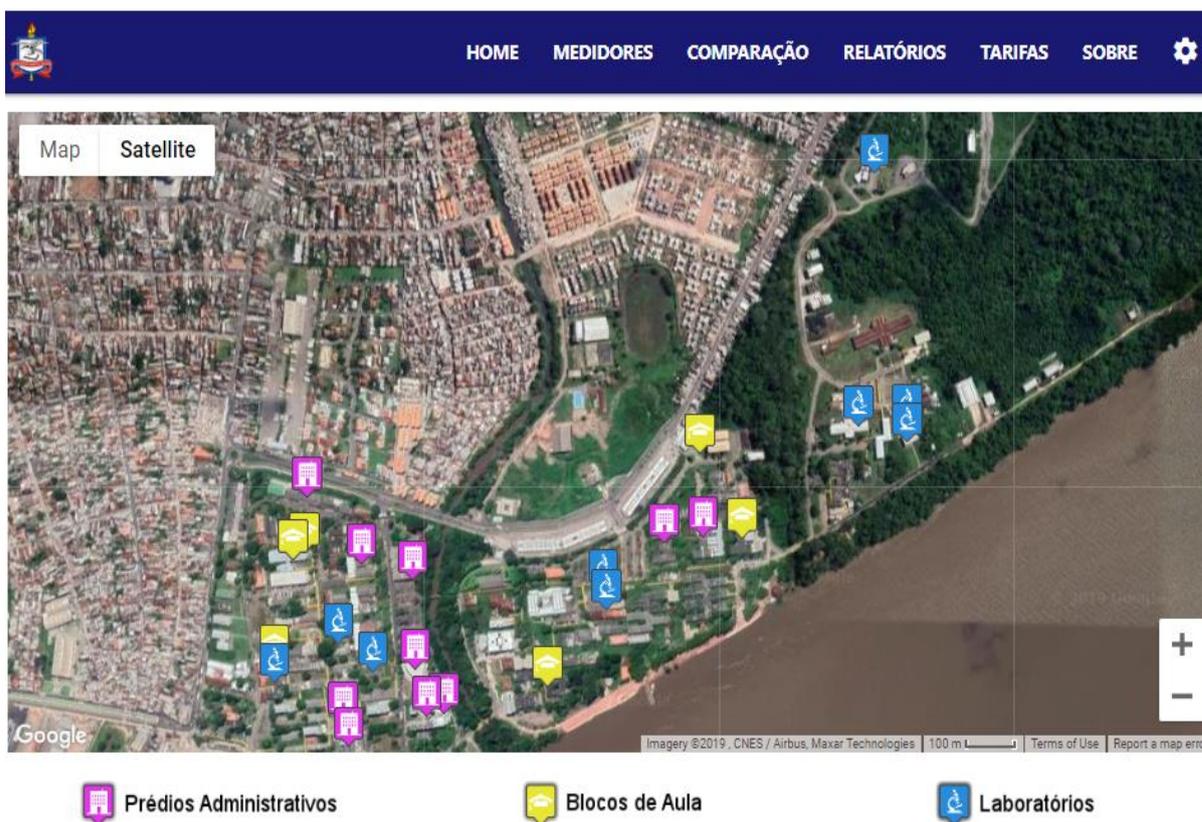
O SISGEE foi desenvolvido no Centro de Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON-UFPA), onde são desenvolvidas atividades de projeto, pesquisa, desenvolvimento, inovação e outros, em eficiência energética o desenvolvimento regional.

O sistema consiste em um conjunto de instrumentos medidores de energia elétrica instalados nos principais pontos de consumo da Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto, de modo a se obter com precisão os hábitos de consumo das instalações consumidoras. Os instrumentos medidores de energia elétrica possuem recurso de comunicação, e esse recurso se dá preferencialmente via fibra ótica, fazendo com que os dados adquiridos sejam transmitidos em tempo real para a central de processamento que está instalada fisicamente no Centro de Excelência em Eficiência Energética da UFPA – CEAMAZON (BARBOSA et al, 2013).

Por meio do SISGEE é possível que o usuário verifique o consumo momentâneo de prédios da universidade, por meio da curva de carga, assim como baixar ou visualizar o histórico de consumo de períodos curtos ou longos. A medição ocorre em consecutivos intervalos de integralização de 10 minutos, conforme recomendado pelo PRODIST – Módulo 8.

O consumo pode ainda ser detalhado em período de ponta e período fora ponta que permitem uma fácil compreensão do custo da energia consumida. Dessa forma, é possível que ações de eficiência energética dentro do campus universitário sejam tomadas de forma mais assertiva. A Figura 3 apresenta a tela inicial do SISGEE, onde o usuário tem acesso a um vista superior do campus universitário e nela é possível identificar os medidores que estão espalhados na rede elétrica da universidade.

Figura 3 – Tela Inicial do SISGEE.



Fonte: (CARVALHO et al., 2019)

A Figura 4 apresenta o gráfico de tensão da Biblioteca Central da UFPA, uma das edificações que o SISGEE monitora, sendo possível também ter acesso às informações de corrente, distorção harmônica total de tensão, distorção harmônica total de corrente e os indicadores DRP, DRC e outros (CARVALHO et al., 2019) (MANITO et al., 2015).

Figura 4 – Tensão em regime permanente do edifício da Biblioteca Central.



Fonte: (CARVALHO et al., 2019)

3.2 Sistema de Iluminação

3.2.1 PROPEE

A metodologia do PROPEE possui as avaliações *ex ante* e *ex post*, que têm a finalidade de mostrar, na prática, a real situação da edificação através do cálculo da relação custo benefício (RCB), os níveis de eficiência energética existente e o que se deseja obter, após as ações de melhoria a serem aplicadas.

Por fim, é apresentada a estrutura das etapas que fomentam o diagnóstico energético como os cálculos realizados, as variáveis que devem ser calculadas e os dados mais pertinentes da edificação, como a localização, consumo no horário de ponta, etc.

A avaliação *ex ante* é composta por valores estimados, na fase de definição, quando se avaliam o custo e benefício baseado em análises de campo, experiências anteriores, cálculos de engenharia e avaliações de preços no mercado. Já avaliação *ex post*, é composta por valores mensurados, considerando a economia de energia e a redução de demanda na ponta, avaliadas por ações de Medição e Verificação, e os custos realmente despendidos.

3.2.1.1 Avaliação ex ante para Sistemas de Iluminação

As medidas de eficiência energética para os sistemas de iluminação utilizadas na avaliação *ex ante*, envolvem várias estratégias com diferentes graus de complexidade de elaboração e implementação. Elas podem envolver uma intervenção arquitetônica na edificação, onde pode-se propor mudanças na envoltória, que permitam o fornecimento ou aumento da incidência da luz natural nos ambientes internos. Porém essas medidas requerem uma análise mais criteriosa de viabilidade técnica e financeira.

Outra medida, na maioria das vezes mais viável, é a substituição de equipamentos ineficientes por equipamentos de alto desempenho, como a troca de lâmpadas e luminárias, sempre com o cuidado do atendimento às normas e regulamentos que garantam os níveis adequados de iluminação artificial. O uso de tecnologias e da automação, tais como sensores de presença e dimmers, e fibra ótica também são estratégias que podem ser utilizadas para redução de consumo energético.

As medidas também podem ser aplicadas nas instalações elétricas, como a instalação de interruptores, a divisão ou redistribuição dos circuitos, troca de cabos de alimentação, evitando a perda de energia devido à instalação desgastada ou mau dimensionamento, garantindo assim o melhor funcionamento dos equipamentos do sistema.

O presente trabalho utiliza apenas a avaliação *ex ante* para verificação da viabilidade do *retrofit* proposto para o sistema de iluminação do prédio da BC. Como trata-se de um prédio educacional, de instituição federal, a análise desta edificação segue aos critérios específicos de prédios públicos definidos pelo PROPEE.

As equações presentes no módulo 4 de (BRASIL, 2018) foram utilizadas na realização da estimativa *ex ante* da eficiência energética do projeto. Esses cálculos mostram as variáveis que serão usadas nas equações para cálculo da RCB para o sistema de iluminação. Ao todo são levados em consideração o sistema atual, o proposto e o resultado esperado após a implantação das medidas de eficiência.

Após a determinação dos valores acima expostos, é quantificada a Redução de Demanda na Ponta (RDP), Equação 1, e Energia Economizada (EE), Equação 2, para ambos os sistemas. Esses valores são utilizados para o cálculo da RCB (BRASIL, 2018).

$$RDP = \sum Da_t - \sum Dp_t \quad (1)$$

$$EE = \sum Ea_t - \sum Ep_t \quad (2)$$

Onde: RDP: Redução de Demanda na Ponta; Da: Demanda caso atual; Dp: Demanda caso proposto; EE: Energia Economizada; Ea: Energia caso atual; Ep: Energia caso proposto.

É importante ressaltar que a metodologia leva em consideração, tanto no sistema atual quanto no sistema proposto, a demanda média na ponta, que corresponde ao período mais crítico do sistema elétrico. Consequentemente, nos resultados esperados é obtida a redução da respectiva demanda causada pelas ações de eficiência energética.

3.2.1.2 A Relação Custo Benefício (RCB)¹

As variáveis EE e RDP são os principais indicadores quantitativos para os projetos de eficiência energética, pois, por meio destes, é calculado o valor da RCB, conforme a Equação 3. Este cálculo para a fase *ex ante* mostra, antes da implementação das medidas propostas no projeto, a projeção dos impactos que as MEEs irão causar. A apresentação da RCB para cada sistema (iluminação; climatização, condicionamento ambiental etc.) torna-se obrigatória, porém, deve ser determinada de maneira viável, ou seja, que sirva para estimar um resultado plausível e possível de ser atingido na fase *ex post*.

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (3)$$

Onde: RCB: Relação Custo Benefício; CA_t: Custo anualizado total; BA_t: Benefício anualizado.

3.2.2 RETScreen Expert

O *RETScreen Expert* é um programa Canadense que contribui para simular a viabilidade econômica e ambiental das estratégias de eficiência energética para projetos novos ou de *retrofits* dos sistemas das construções (envoltória, sistema de iluminação e de condicionamento de ar). O programa leva em consideração o preço médio unitário da energia elétrica (R\$/KWh), do horário de ponta e fora de ponta, além da quantidade de horas dos respectivos períodos, ver Equação 4. Além disto, o *software* possibilita o usuário escolher o tipo de instalação a ser analisada, no caso desse artigo será iluminação.

¹ Relação entre os custos e benefícios totais de um projeto, em geral expressos em uma base anual, considerando-se uma determinada vida útil e taxa de desconto.

$$Tf = \frac{(Tp \times Hp) + (Tfd \times Hfp)}{Ht} \quad (4)$$

Onde: Tf: Tarifa final; Tp: Tarifa no horário de ponta; Hp: Horas de consumo na ponta; Tfp: Tarifa no horário fora de ponta; Hfp: Horas de consumo fora de ponta; Ht: Total de horas de consumo (ponta e fora de ponta);

Assim sendo, deve-se preencher os dados no software de acordo com as características do sistema de iluminação do caso de referência (existente) e do caso proposto; a tipologia e as propriedades técnicas da lâmpada e/ou luminárias; e equipamentos (potência, lumens, eficiência e outros). Além disso, o número de dispositivos e as horas de operação do ambiente são dados necessários para quantificar o consumo energético. O caso proposto deve ser dimensionado com cálculo luminotécnico, ver Apêndice, atendendo a norma NBR ISO CIE 8995-1 de 2013 - Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interior.

No programa, quantifica-se o custo inicial empregado para implementar a nova proposta, a economia de combustível (energia) gerada, a economia de O&M (O=operação e M=manutenção), e o retorno financeiro do investimento efetuado.

Inseridos os dados técnicos referentes as características da instalação (lâmpadas, ou lâmpadas e reatores) o programa gera um resumo da análise do consumo de eletricidade no caso de referência e no caso proposto, com os custos referentes a cada caso. A partir disso, é possível estimar a economia do consumo de eletricidade e dos gastos financeiros e fazer a quantificação das emissões de gases do efeito estufa (GEE).

3.2.2.1 Avaliação financeira

A aprovação e implementação das medidas depende, em grande parte, de sua viabilidade financeira. A avaliação financeira deve levar em conta o custo inicial de investimento bem como as economias esperadas, considerando o tempo de vida útil da medida. Há algumas formas de avaliação que são mais usadas, entretanto a escolha de uma delas depende dos critérios do cliente e do projeto. Sendo elas:

Payback simples. Esta é a análise mais comum e mais fácil de calcular, pois leva em consideração apenas os valores brutos do custo inicial e a economia após a implementação do sistema.

$$Payback\ simples[meses] = \frac{Custo\ inicial\ [R\$]}{Economia\ mensal\ \left[\frac{R\$}{mês}\right]} \quad (5)$$

VPL. O valor presente líquido (VPL) é um cálculo que considera o custo inicial e o ganho anual de uma medida, durante um período determinado (vida útil), aplicando-se uma determinada taxa de desconto. É utilizado para avaliar a viabilidade levando em conta o valor do dinheiro no tempo, com a taxa mínima de atratividade (TMA) do cliente. Se o VPL for positivo, o projeto é considerado viável.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - CF_0 \quad (6)$$

Onde: CF_t : Alteração em fluxo de caixa anual; CF_0 : Alteração em fluxo de caixa no primeiro ano (investimento); k: Taxa de desconto; n: Número de anos de vida útil; t= tempo.

TIR. A taxa interna de retorno (TIR) é utilizada para comparar o retorno financeiro de uma MEE de um projeto com outro investimento atrativo para o cliente (TMA). Matematicamente, a TIR é a taxa de desconto para a qual o VPL é zero. A TIR é muito utilizada nas empresas para tomar decisões de investimentos. Sendo assim, o investimento é considerado viável se sua TIR for maior do que a TMA.

3.2.3 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C

Para avaliar o nível de desempenho energético da edificação em estudo, optou-se pela metodologia proposta pela Certificação PBE Edifica, em que foram utilizados como diretrizes o RTQ-C. Este regulamento serve de direcionamento das propostas mais eficiente que compõem o *retrofit* do sistema analisado.

A classificação de edificações, pelo RTQ-C, pode ser obtida através da avaliação de três sistemas individuais: a envoltória, o sistema de iluminação e o de ar condicionado. Os sistemas são analisados no método prescritivo, por equações, tabelas e parâmetros limites, sendo obtida uma pontuação que indica o nível de eficiência parcial dos sistemas e geral do edifício. Podendo ainda somar à pontuação final, bonificações que podem ser adquiridas, por exemplo, com uso de fontes de energias renováveis.

É necessário ainda se atentar aos pré-requisitos gerais, pois estes podem interferir na classificação final da edificação de modo a rebaixar o nível de eficiência alcançado, caso os pré-requisitos a seguir não sejam cumpridos: Possuir circuito elétrico separado por uso final e, para edificações com alta demanda de água quente, ter um ou mais sistemas eficientes de aquecimento. Além dos pré-requisitos gerais, há pré-requisitos específicos que devem ser atendidos para os três sistemas.

3.2.3.1 Sistema de Iluminação

A classificação para o Sistema de Iluminação visa avaliar a potência elétrica de iluminação instalada na edificação e as opções de acionamento e aproveitamento de luz natural, através de pré-requisitos e cálculos envolvendo a eficiência e o projeto luminotécnico. O procedimento de determinação da eficiência para iluminação considera a densidade de potência instalada limite (DPIL) para cada nível de classificação pretendido, além de verificar o atendimento aos três pré-requisitos específicos: divisão dos circuitos; contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação.

3.2.3.2 Método da Área do Edifício

Através do método da área do edifício todos os ambientes são avaliados de forma conjunta, aplicando-se um único valor limite para o sistema de iluminação. A aplicação deste método é recomendada para edifícios que possuam até três atividades principais ou para atividades que ocupem mais de 30% da área da edificação.

Para a avaliação, deve-se seguir as seguintes etapas, segundo o RTQ-C:

- a) Identificar a atividade principal do edifício, de acordo com a tabela 4.1 do regulamento técnico, e a densidade de potência de iluminação limite (DPIL – W/m^2) para cada nível de eficiência. Sendo que, para edifícios com atividades não listadas, deve-se escolher uma atividade equivalente;
- b) determinar a área iluminada do edifício;
- c) coletar os dados técnicos referentes ao sistema de iluminação de cada ambiente analisado (luminária, tipo e quantidade de lâmpada por luminária, potência das lâmpadas e reatores), para calcular a densidade de potência de iluminação (DPI);
- d) multiplicar a área iluminada pela DPIL para encontrar a potência-limite do edifício;
- e) fazer a verificação do nível de eficiência, calculada através da potência total instalada no edifício, e não por atividade, comparando a potência total instalada no edifício e a potência-limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação e;
- f) verificar o atendimento dos pré-requisitos em todos os ambientes.

Se existirem ambientes que não atendem aos pré-requisitos, o EqNum deverá ser corrigido através da ponderação entre os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que não

atenderam aos pré-requisitos e a potência instalada e o nível de eficiência encontrado para o sistema de iluminação.

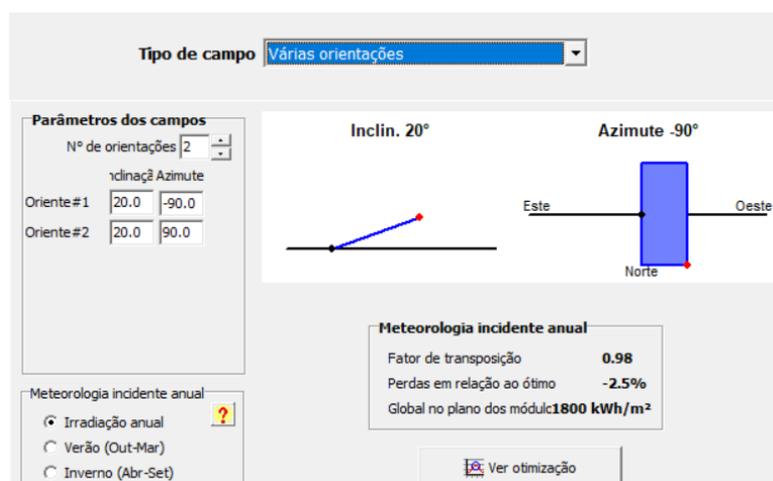
3.3 PVsyst

O PVsyst é um programa desenvolvido para o dimensionamento e simulação de diferentes topologias de sistemas fotovoltaicos. O programa auxilia o usuário com análises do funcionamento do sistema a medida que as configurações são cadastradas. Além, disso o programa conta com uma base de dados com as principais características dos equipamentos presentes no mercado. Com isso, o usuário tem a opção de adotar as recomendações automáticas do sistema ou escolher sua própria configuração, tendo acesso a dados de impactos que determinada escolha pode gerar no sistema.

Neste trabalho, o PVsyst atua como ferramenta principal no bom dimensionamento do SFV e do SA para a edificação da BC. Além da sua utilização na simulação e análise do fluxo de energia entre a carga da edificação, o SFV proposto, o SA proposto e a rede elétrica local.

Dentre as configurações do sistema, o usuário deve escolher a orientação e disposição do gerador fotovoltaico de acordo com o ângulo de inclinação e a estrutura que suportará esse gerador. A Figura 5 apresenta a tela onde pode ser feita a escolha da orientação e tipo de estrutura que melhor se adequa ao sistema dimensionado.

Figura 5 – Tela de configuração de orientação e estrutura do gerador fotovoltaico.



Fonte: PVsyst, adaptado pelo autor.

Outros parâmetros definidos pelo são a escolha e dimensionamento de módulos fotovoltaicos e inversores de acordo com a potência do SFV desejado ou a área útil disponível. Caso alguma configuração ultrapasse valores de risco ou que impactem no bom funcionamento do sistema, o programa gera alertas e apresenta parâmetros para auxiliar o

usuário na correção do impacto. A Figura 6 apresenta a tela de dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede, onde é possível escolher os equipamentos a serem utilizados e obter uma pré-análise de compatibilidade da configuração adotada.

Figura 6 - Tela de dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede.

Configuração global do sistema
 2 Número de tipo de sub-grupos
 Esquema simplificado

Sumário do sistema global
 Número de módulos 800 Potência FV nominal 272 kWp
 Superfície módulos 1555 m² Potência máxima FV 263 kWdc
 N.º de inversores 10 Potência AC nominal 220 kWac

Sub-grupo #1 | Sub-grupo #2

Nome e orientação do sub-grupo
 Nome Sub-grupo #1 Ordem 1
 Oriente. Orientation #1 Inclinação 20° Azimute -90°

Ajuda para o dimensionamento
 Sem pré dim. Introduza Pnom desejado 136.0 kWp
 ? Resize superfície disponível(módulos) 778 m²

Seleção do módulo FV
 Disponíveis Filter All PV modules Número aproximado de módulos necessários 400
 Canadian Solar Inc. 340 Wp 32V Si-poly CS6U - 340P P4 Since 2018 Manufacturer 2018 Abrir
 Dimens. das tensões :p (60°C) 32.3 V
 Voc (15°C) 47.4 V
 Use Optimizer

Seleção do inversor
 Disponíveis Output voltage 480 V Tri 60Hz 50 Hz 60 Hz
 ABB 22 kW 200 - 950 V 60 Hz TRIO-20 0-TL-OUTD-S1-US Since 2010 Abrir
 N.º de entradas MPPT 10 Tensão de funcionamento: 200-950 V Inverter power used 110 kWac Partilha Pnom
 Utilize multi-MPPT Tensão máxima entrada: 1000 V **inversor com 2 MPPT**

Dimensionamento do grupo
Número de módulos e strings
 Mod. em série 20 entre 7 et 21
 Nr. strings 20 entre 16 et 20
 Perdas sobre-pot. 0.2 %
 Rácio Pnom 1.24 Ver dimension. ?
 Nr. módulos 400 Superfície 778 m²

Condições de funcionamento
 Vmpp (60°C) 646 V
 Vmpp (20°C) 766 V
 Voc (15°C) 947 V
 Irradiância no plano 1000 W/m²
 Impp (STC) 182 A
 Isc (STC) 192 A
 Isc (em STC) 192 A
 Max. dados STC
 Potênc. Máx. em funcionamento 123 kW em 1000 W/m² e 50°C
Potência nominal do grupo (5136 kWp)

Totalidade do sistema Anular OK

Fonte: PVsyst, adaptado pelo autor.

O PVsyst apresenta a possibilidade de utilizar diferentes fontes de dados meteorológicos, como o Meteonorm 7.2, onde são obtidos dados de incidência solarimétrica e temperatura local. Há ainda a opção de utilizar um banco de dados meteorológico externo do usuário. A Tabela 1 apresenta os dados meteorológicos do Meteonorm para cidade de Belém, obtidos por meio do PVsyst.

Além dos parâmetros apresentados, o usuário precisa ainda definir diferentes valores de perdas típicas de um SFV e características da carga que será beneficiada pela energia gerada. Neste último, o usuário pode cadastrar valores diários, mensais, anuais ou importar um banco de dados externo. Com isso, o sistema se torna apto a simulação.

Tabela 1 -Dados meteorológicos da cidade de Belém.

Mês	Irradiância global horizontal (kWh/m².mês)	Irradiância difusa horizontal (kWh/m².mês)	Temperatura ambiente (°C)
Janeiro	133,9	71,5	26,6
Fevereiro	116,8	75,03	26,1
Março	129,4	83,42	26,3
Abril	123,1	74,1	26,1
Mai	151,7	66,12	26,9
Junho	151,8	62,94	26,6
Julho	175,5	63,31	27
Agosto	186,7	67,02	27,4
Setembro	167,6	73,6	26,9
Outubro	182,0	82,24	27,5
Novembro	168,3	76,82	27,4
Dezembro	158,4	72,3	27,3
Ano	1845,2	868,41	26,9

Fonte: PVsyst, adaptado pelo autor.

No entanto, existe a possibilidade de o usuário aumentar a complexidade da análise sistema, cadastrando mais parâmetros como as características econômicas do projeto, criar uma maquete em 3D ou até mesmo considerar integração de um sistema de armazenamento.

Para configuração do Sistema de Armazenamento, o usuário deve primeiramente definir o modo de operação desse sistema entre autoconsumo, corte de pico e independente da rede. Posteriormente, é escolhido o modelo e fabricante da bateria, e em seguida são feitas as configurações de dimensionamento e funcionamento do sistema de armazenamento.

Ao final do cadastro dos parâmetros do sistema fotovoltaico, a simulação gera um relatório contendo os principais dados de desempenho e característica energética do sistema simulado. É possível ainda ter acesso aos resultados telhados de diferentes parâmetros, como as curvas diárias do fluxo de energia nos elementos que compõem o sistema fotovoltaico, a carga, o sistema de armazenamento e a rede elétrica.

3.4 Sistemas fotovoltaicos

3.4.1 Módulos fotovoltaicos

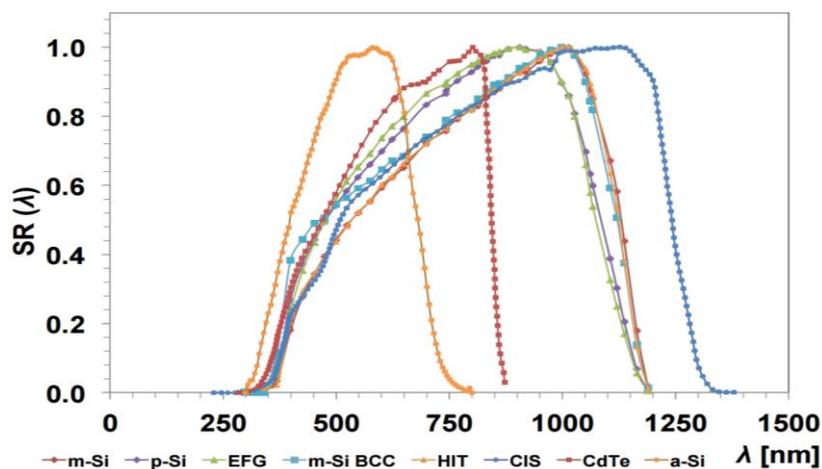
O módulo fotovoltaico é um dispositivo que converte a radiação proveniente do sol diretamente em energia elétrica. Sua unidade básica é a célula fotovoltaica onde, através do

efeito fotovoltaico, surge uma diferença de potencial elétrico nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzindo então eletricidade. O conjunto de células conectadas eletricamente entre si formam o módulo fotovoltaico, onde de acordo com o número e a forma como estas se conectam, série e/ou paralelo, determinam a tensão e corrente do módulo.

De acordo com Pinho & Galdino (2014), em 2011, as células provenientes do silício cristalino corresponderam a 87,9% do mercado mundial. A partir dela são originados módulos monocristalinos e módulos policristalinos com eficiência média de 16,5% e de 14,5% a 16,2%, respectivamente. Outros 12,1% do mercado mundial correspondem aos dispositivos fotovoltaicos de filmes finos.

Tecnologias diferentes de células fotovoltaicas têm respostas também diferentes para a radiação solar. Isso se deve ao fato de cada tecnologia ter uma resposta específica para cada comprimento de onda da radiação solar. A Figura 7 mostra essa relação entre o aproveitamento de energia e os comprimentos de onda da luz, para as diferentes tecnologias de células como: silício monocristalino (m-Si), silício policristalino (p-Si), silício policristalino *Edge-defined Film-Fed Growth* (EFG), monocristalino *back-contact-cell* (m-Si BCC), heterojunção (HIT) disseleneto de cobre e índio (CIS), telureto de cádmio (CdTe) e silício amorfo (a-Si).

Figura 7 - Resposta espectral relativa (SR) de diferentes tecnologias fotovoltaicas, em função do comprimento de onda da luz incidente (λ).



Fonte: (ABELLA, 2014).

As diferentes tecnologias e os diversos materiais empregados na fabricação de células fotovoltaicas levam a obtenção de células e módulos com eficiências maiores ou menores. Algumas tecnologias têm custos mais reduzidos, porém os módulos e as células apresentam uma menor eficiência de conversão da energia solar em eletricidade, consequentemente

exigindo mais área instalada para produção de energia elétrica (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

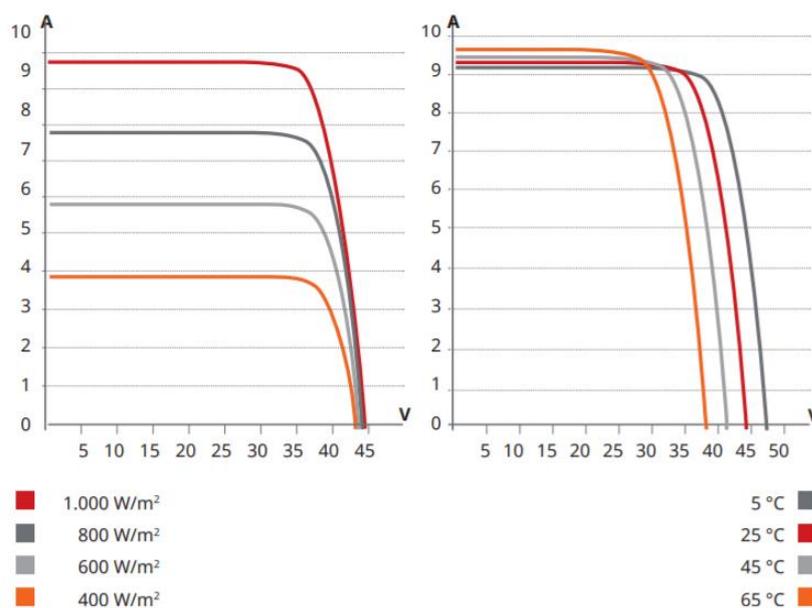
O objetivo deste tópico é apresentar alguns parâmetros empregados na análise de módulos fotovoltaicos, assim como, as características e tecnologias presentes nos módulos utilizados neste estudo.

3.4.1.1 Ponto de máxima potência (PMP)

A potência gerada pelo módulo ou gerador fotovoltaico depende de vários fatores. Entretanto, a radiação solar incidente no plano do gerador fotovoltaico e a temperatura de operação das células que constituem os módulos são os fatores mais importantes. A característica corrente-tensão (I-V) retrata o comportamento nos terminais do gerador segundo a variação desses fatores.

Contudo, a potência c.c. de entrada do inversor utilizado em um dado sistema fotovoltaico depende ainda do ponto da curva I-V no qual o gerador está operando. Do ponto de vista ideal, o inversor deve sempre estar operando no ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico, possibilitando a extração da máxima potência desenvolvida pelo gerador naquele instante. A Figura 8 mostra as curvas I-V do módulo fotovoltaico CS6U-320P para diferentes níveis de irradiância e temperatura.

Figura 8 - Característica da curva I-V do módulo fotovoltaico CS6U-320P para diferentes níveis de irradiância e temperatura.



Fonte: (Aldo, 2020).

Uma maneira de avaliar a qualidade das células que compõem o módulo fotovoltaico é através da análise do seu fator de forma (FF). Quando mais a curva característica se aproxima da forma retangular, mais o fator de forma se aproxima da unidade e menores são as perdas resistivas (série e paralelo), caracterizando uma melhor qualidade das células.

3.4.2 Inversor

O inversor é um dispositivo eletrônico responsável por transformar tensão e corrente contínua em tensão e corrente alternada. No caso de inversores utilizados em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCCR), eles absorvem a energia em corrente contínua proveniente do gerador fotovoltaico e injetam na rede elétrica tensão e corrente alternadas, na mesma amplitude e frequência da rede elétrica. É necessário que haja um sincronismo entre a tensão de saída do inversor e a tensão que já está presente na rede.

Os inversores atuais para conexão à rede devem possuir sistemas de proteção contra condições anormais na rede elétrica, quando em situações de falta ou ausência do fornecimento de eletricidade pelas distribuidoras de energia. Nesses casos, o inversor deve parar de injetar energia na rede para que sejam protegidos os equipamentos ligados a ela ou pessoas que estejam executando qualquer tipo de manutenção. Esse mecanismo é conhecido como anti-ilhamento.

Seus principais componentes semicondutores são os tiristores e transistores que, através de processos de chaveamento, permitem a conversão c.c.-c.a. Entretanto, esse processo gera uma grande quantidade de componentes harmônicas, tornando substancial um processo de filtragem, que necessita de grandes capacitores e indutores o que reduz a eficiência do inversor. Segundo Almeida (2012), o aumento da frequência de comutação e um adequado processo de filtragem mantém um baixo conteúdo harmônico no sinal de saída e um alto fator de potência.

3.4.2.1 Eficiência de conversão

A eficiência de conversão c.c.-c.a. do inversor pode ser definida em termos de potência ou energia. Em termos de potência, corresponde à razão entre a potência na saída do inversor ($P_{saída\ c.a.}$) e a potência de entrada ($P_{entrada\ c.c.}$), de acordo com a Equação 1.

$$\eta = \frac{P_{saída\ c.a.}}{P_{entrada\ c.c.}} \quad (1)$$

Para se estimar a potência de saída de um inversor existem alguns modelos, entre eles (SCHMIDT, JANTSCH, & Schmidt, 1992) que calculam os parâmetros k_0 , k_1 e k_2 obtidos por meio das Equações 2, 3 e 4. O parâmetro k_0 está relacionado ao autoconsumo do inversor, como as quedas de tensão nos diodos e dispositivo de chaveamento que variam linearmente com a potência. Enquanto os parâmetros k_1 e k_2 são referentes às perdas por carregamento, que variam com o quadrado da potência, relacionados às perdas ôhmicas.

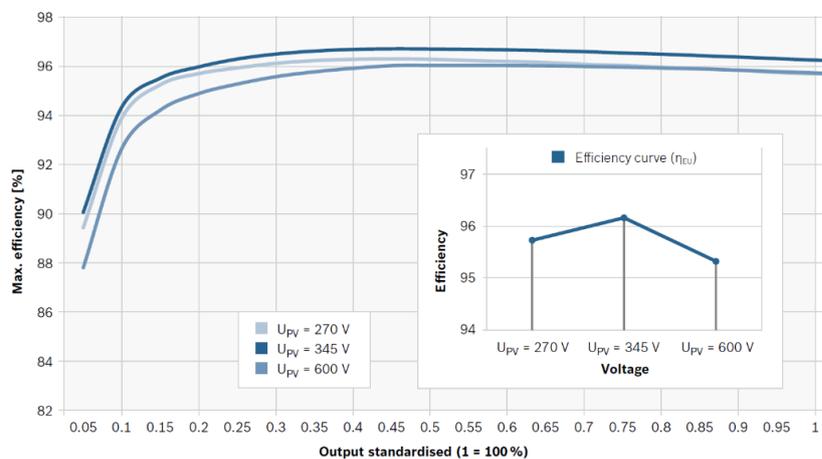
$$k_0 = \frac{1}{9} \frac{1}{n_1} - \frac{1}{4} \frac{1}{n_{0,5}} + \frac{5}{36} \frac{1}{n_{0,1}} \quad (2)$$

$$k_1 = \frac{4}{3} \frac{1}{n_1} - \frac{33}{12} \frac{1}{n_{0,5}} + \frac{5}{12} \frac{1}{n_{0,1}} - 1 \quad (3)$$

$$k_2 = \frac{20}{9} \frac{1}{n_1} - \frac{5}{2} \frac{1}{n_{0,5}} + \frac{5}{18} \frac{1}{n_{0,1}} \quad (4)$$

Onde n_1 , $n_{0,5}$ e $n_{0,1}$ são os valores da eficiência instantânea correspondentes à operação do inversor a 100, 50 e 10% da potência nominal, respectivamente. Esses valores são extraídos da curva de eficiência dos inversores que podem ser obtidos pelo catálogo do fabricante ou experimentalmente. A Figura 9 apresenta como exemplo, a curva de eficiência do inversor Bosch BPT-S3.

Figura 9 - Curva de eficiência do inversor Bosch BPT-S3.



Fonte: (Bosch, 2014).

3.4.2.2 Seguimento de Ponto de Máxima Potência (SPMP)

Para cada condição de irradiância e temperatura existe um único ponto na curva IxV onde o inversor pode obter a máxima potência disponível naquele instante. Portanto, para que o inversor mantenha uma alta eficiência de conversão é necessário que ele possua algoritmos que encontrem na curva do gerador o PMP. Segundo Figuredo (2012), os principais estudos presentes na literatura de algoritmos de SPMP apontam para a utilização de redes neurais, lógica difusa e algoritmos genéticos, onde os inversores mais modernos atingem valores de eficiência do SPMP próximos a 100% para carregamentos acima de 40%.

A eficiência do seguidor de máxima potência n_{SPMP} é definida como a razão entre a energia elétrica na entrada do inversor pela energia que o inversor deveria converter se o mesmo operasse idealmente no ponto de máxima potência, Equação 5.

$$n_{SPMP} = \frac{E_{CC}}{E_{PMP}} \quad (5)$$

Onde, n_{SPMP} é a eficiência do seguidor do ponto de máxima potência do inversor, E_{CC} é a energia elétrica obtida no arranjo com SPMP real e E_{PMP} é a energia elétrica obtida caso o SPMP fosse ideal.

3.4.2.3 Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI)

A potência do inversor e a potência do gerador fotovoltaico devem ser devidamente estimadas, a fim de evitar o sobredimensionamento ou subdimensionamento do sistema que implica em perdas energéticas. Em geral, o inversor quando atuando em baixos níveis de potência injeta na rede uma energia de menor qualidade, portanto é preciso buscar a melhor forma de evitar essa condição de operação.

O dimensionamento da potência do inversor inferior a potência do gerador fotovoltaico usualmente conduz a um melhor funcionamento do sistema, principalmente nas instalações em localidades com climas com pouca irradiação, onde valores de pico apresentam curta duração, e dessa forma, o limite máximo do inversor é pouco utilizado. Essa técnica também apresenta ganhos para as situações de dias nublados, nascer e pôr do sol.

A razão entre a potência do inversor (P_{Inv}^0) pela potência do gerador fotovoltaico (P_{FV}^0) é conhecida como Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI), conforme mostra a Equação 6.

$$FDI = \frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0} \quad (6)$$

A localização do SFCR determina o FDI mais adequado para a instalação, visto que a potência injetada no inversor pelo gerador está diretamente relacionada às características de temperatura e irradiância de cada local ao qual se pretende instalar o sistema.

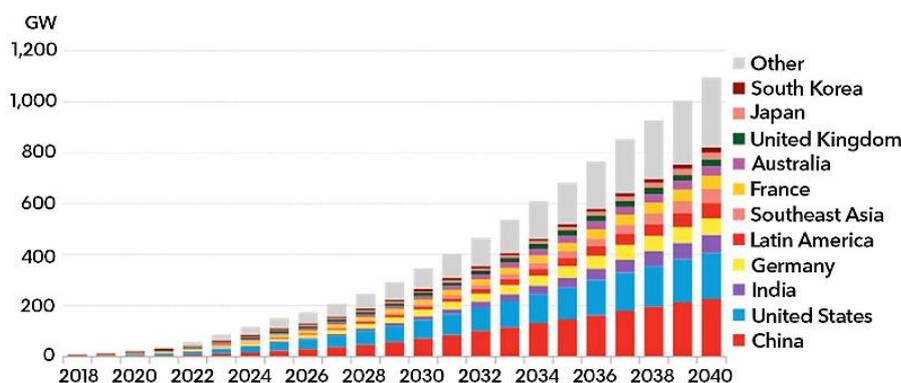
3.5 Sistema de armazenamento

A rápida expansão dos sistemas fotovoltaicos tem sido motivo de impactos no sistema elétrico de países com tradição no incentivo a essa tecnologia. Dessa forma, o sistema de armazenamento de energia é então tido como uma das principais soluções para conseguir fazer frente à elevada intermitência da energia fotovoltaica gerada em excesso, e que posteriormente será utilizada nas horas de maior necessidade.

Outro fator de impulso ao desenvolvimento dos sistemas de armazenamento vem sendo os incentivos mundiais pela substituição do veículo a combustão pelos veículos elétricos. Estes últimos, obrigatoriamente associados a um sistema de armazenamento de energia elétrica, encaram o desafio da busca por autonomia seja por meio de medidas de eficiência energética ou por avanço e aprimoramento do sistema de armazenamento.

A Figura 10 apresenta uma projeção da potência instalada de sistemas de armazenamento no mundo, sendo esperado um crescimento até 2040. Esse crescimento também está associado a uma projeção futura de forte redução dos custos das baterias que utilizam a tecnologia íon lítio (LUZ, 2018).

Figura 10 – Projeção da potência acumulada de sistemas de armazenamento no mundo até 2040.

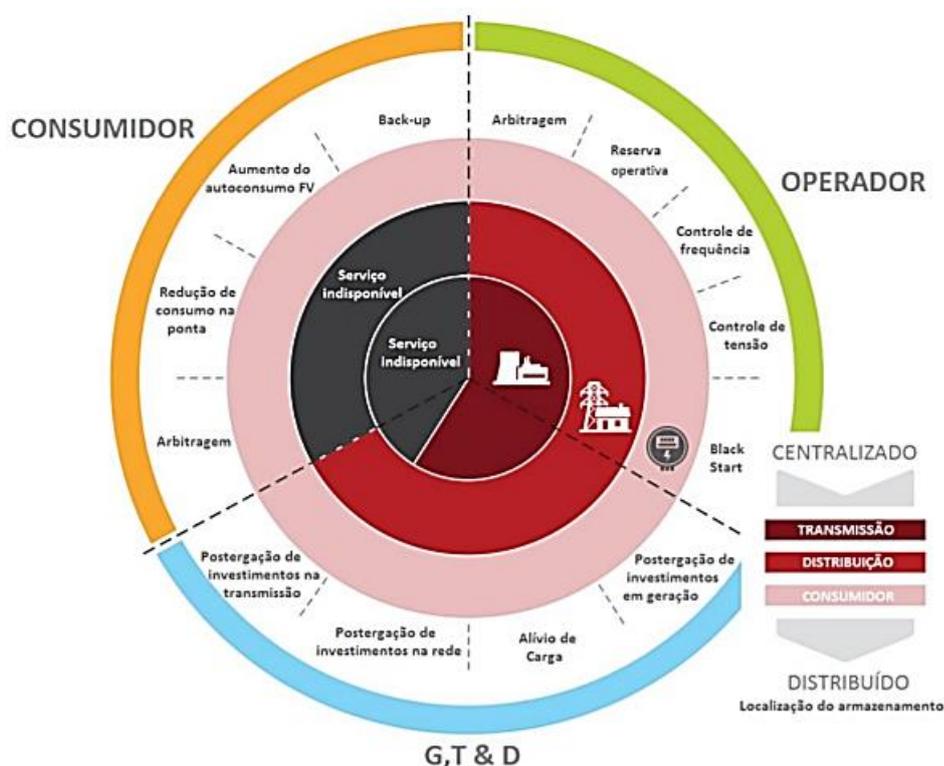


Fonte: (BNEF, 2019)

Os SA apresentam uma versatilidade no seu uso, podendo ser dispostos como um recurso central, controlado pelo operador do sistema elétrico, pela transmissora ou distribuidora;

podem ser integradas a um gerador, fazendo com que as características de geração de determinada usina sejam aprimoradas; ou podem ser instaladas por um consumidor atrás do medidor (EPE, 2019). Cada configuração permite acessar diferentes serviços, trazendo distintas possibilidades de uso das baterias. A Figura 11 apresenta diversas possibilidades de serviços aplicados a sistemas de armazenamento, entre eles as associadas ao consumidor como o *back-up*, autoconsumo com SFV, redução de consumo na ponta e arbitrária.

Figura 11 - Aplicações para sistema de armazenamento de energia.



Fonte: (EPE, 2019).

3.5.1 Armazenamento de energia em edifícios

A utilização de sistemas de armazenamento em edificações ainda é uma realidade muito restrita a países desenvolvidos e com alta penetração de SFV. No entanto, conforme já explicitado, é esperado que estes sistemas sofram uma intensa expansão, que no caso das edificações, está associada a expansão dos SFV.

A Figura 12 apresenta uma projeção do crescimento da capacidade instalada dos SA em edificações no mundo. É esperado que essa potência atinja o valor de 12 GW em 2024, sendo os principais tipos de edificação a se beneficiarem desta tecnologia: as edificações residenciais, edificações comerciais e as edificações comunitárias, sendo esta última referente as edificações com múltiplas unidades consumidoras.

Certamente, as edificações residenciais e comerciais ganham destaque neste cenário de crescimento dos SA, sendo as residenciais de forma mais expressiva.

Figura 12 – Projeção do crescimento mundial de SA integrados a edificações.



Fonte: (Navigant Research, 2015), adaptado pelo autor.

3.5.2 Tecnologias de armazenamento

Os sistemas de armazenamento de energia elétrica a baterias apresentam diversas tecnologias, as quais a escolha da mais adequada está intimamente ligada as características da aplicação a ser dada a ela. A Tabela 2 apresenta as principais características de alguns tipos de baterias disponíveis no mercado.

Tabela 2 – Dados técnicos de baterias disponíveis comercialmente.

Tecnologia	Eletrólito	Densidade Energética (Wh/kg)	Densidade Energética (Wh/L)	Eficiência Energética (%)	Vida útil (anos)	Vida cíclica (cíclicos)	Aplicações típicas
Chumbo-ácido (Pbácido)	H ₂ SO ₄	20-40	50-120	80-90	3-20	250-500	Uso estacionário, tração, automotiva
Níquel-Cádmio (NiCd)	KOH	30-50	100-150	60-70	3-25	300-700	Mesmo tipo de aplicações das baterias chumbo-ácido, ferramentas, veículos elétricos
Níquel-Hidreto metálico (NiMH)	KOH	40-90	150-320	80-90	2-5	300-600	Notebook, celulares, câmeras fotográficas, veículos elétricos e híbridos, brinquedos
Íon de Lítio (Li-ion, Li-polímero)	Polímeros orgânico	90-150	230-330	90-95	-	500-1000	Notebook, celulares, filmadoras, smart cards, veículos elétricos e híbridos
Bateria alcalina recarregável de manganês	KOH	70-100	200-300	75-90	-	20-50	Produtos de Consumo, brinquedos
Cloreto de Níquel e Sódio (NaNiCl)	β"-Al ₂ O ₃	~100	~150	80-90	-	~1000	Veículos elétricos e híbridos (possíveis aplicações estacionárias)

Fonte: (Pinho & Galdino, 2014), adaptado pelo autor.

3.5.2.1 Principais Características

No processo de escolha da melhor tecnologia de armazenamento, é necessário considerar diversas características para assim conseguir estabelecer um critério que permita comparar qual a melhor, para cada caso específico. As principais características consideradas são (Pinho & Galdino, 2014) (MONTEIRO, 2017):

- a) **Capacidade de armazenamento** – referente ao total de energia que é possível ser retirada da bateria quando está carregada, sendo dada em Watts-hora (Wh).
- b) **Potência disponível** – está associada à constituição e dimensão do sistema de conversão da energia armazenada, estando geralmente relacionado com a potência máxima de carga ou descarga.
- c) **Tempo de descarga** – O tempo de descarga depende da profundidade de descarga e das condições de operação do sistema, sendo este caracterizado pelo tempo necessário para esvaziar a energia armazenada num sistema de armazenamento totalmente carregado, sendo libertada à potência máxima.
- d) **Rendimento** – É dado pela relação entre a energia libertada e a energia armazenada. O rendimento deve ser definido na análise de vários ciclos de operação, sendo este tanto maior quanto menores as perdas na transferência de energia e auto descarga;
- e) **Durabilidade** – Número de vezes que é possível libertar o nível de energia para o qual foi projetado a unidade de armazenamento, sendo expresso em número de ciclos.
- f) **Autonomia** – Esta está relacionada com o tipo de armazenamento, assim como do tipo de aplicação. Esta é definida pela razão entre a capacidade de armazenamento de energia e a potência máxima de descarga.
- g) **Fiabilidade e adaptabilidade à fonte de geração** - O sistema de armazenamento necessita de estar adaptado ao tipo de aplicação (áreas isoladas de pequena ou média escala, ligação de rede, etc.) e ao tipo de produção (permanente, móvel, renovável, etc.).
- h) **Auto descarga** – É um processo espontâneo no qual as baterias descarregam-se paulatinamente, quando não está em uso.
- i) **Estado de carga (SOC)** - é a razão entre a capacidade de energia disponível num sistema de armazenamento de energia e capacidade nominal de energia. É apresentado sob a forma de percentagem, sendo que 0% significa que o sistema não

tem energia disponível e 100% significa que o sistema está completamente carregado.

- j) **A profundidade de descarga (DOD)** - é a razão entre a energia descarregada desde a última carga e a capacidade energética nominal do sistema de armazenamento de energia. É apresentado em porcentagem, em que 0% significa que não houve descarga e 100% significa uma descarga total do sistema. Este conceito é complementar do estado de carga quando o sistema de armazenamento de energia é totalmente carregado.

Em termos de sistemas de armazenamento em edificações as tecnologias de íon lítio vem despontando nesse nicho. Diversas novas fabricantes surgem a cada momento, além de outras empresas, tradicionais em outros nichos, de tecnologia que migram para o mercado de sistemas de armazenamento. Essas empresas trazem ao mercado novas soluções de armazenamento com tecnologia íon lítio visando a modularidade do sistema, compactação, versatilidade, eficiência energética e outros.

A Figura 13 apresenta um modelo de sistema de armazenamento de 13,8 kWh encontrada no mercado nacional da fabricante BYD, voltada ao consumidor final, como o residencial e pequenas aplicações, embora sua modularidade permita a conexão de até 32 sistemas desses, ou seja 441,6 kWh.

Figura 13 – Bateria da fabricante BYD modelo B-Box 13,8 de tecnologia ion lítio.



Fonte: (BYD, 2020) adaptado pelo autor.

Os SFV's, assim como o SA são o rumo a seguir, sendo que a integração entre esses dois sistemas torna possível fazer face a várias situações problemáticas (BARATA, 2017):

- a) Dar resposta rápida às flutuações na demanda, reforçando assim a regulação de frequência, reduzindo as distorções harmônicas e evitando quedas de tensão;
- b) Ser usada como fonte de emergência no caso de avaria de sistemas de geração ou nas linhas de transmissão;
- c) Mitigar o congestionamento das redes;
- d) Contrariar a intermitência no que à geração diz respeito, evitando a venda da energia com elevadas penalizações econômicas, armazenando assim os excessos de produção para uma utilização posterior, contribuindo para um corte de pontas de consumo, estabilização da carga e redução da fatura elétrica mensal.

Dessa forma, espera-se que nos próximos anos a integração entre SFV e SA se torne uma realidade corriqueira nas diversas edificações que integram as cidades, permitindo uma melhor gestão da energia gerada e conseqüentemente uma maior independência da carga em relação à rede elétrica da distribuidora local.

3.5.3 Cenário Brasileiro

A possibilidade de gerenciar a demanda de energia utilizando sistema de armazenamento tem fatores que entram e estimulam sua utilização (SOUZA, 2018). No atual cenário brasileiro, a GD é regulamentada pela Resolução Normativa 482, onde é prevista a interligação de SFV a rede. Entretanto, o conceito de GD com armazenamento é apenas uma alternativa futura, pois ainda não existe regulamentação nacional que possibilite este tipo de conexão à rede elétrica.

O questionamento sobre o modo de cobrança, e a possibilidade de “comprar” energia no momento em que ela está com menor preço e “vender” quando ela estiver com maior valor, pode ser um importante fator de estimular o uso mais racional da eletricidade e a sua produção por meio de fontes diversificadas e descentralizadas. Portanto a criação e desenvolvimento de aspectos regulatórios deve vislumbrar a garantia de um relacionamento justo entre prosumidor, (consumidor/produtor) e concessionária.

Países que apresentam um amadurecimento maior na utilização dessa tecnologia, já apresentam regulamentação para conexão desses sistemas a rede. É o caso de países como Portugal, que desde 2014, veio permitir a existência de Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC), que nada mais são que SA associados a SFV ligados à rede, numa perspectiva de autoconsumo, fornecimento de energia a terceiros e entrega do excesso de

energia à rede, originando assim novas possibilidades para o consumidor (MONTEIRO, 2017). As UPAC apresentam as seguintes características:

- Geram para atender de preferência o próprio consumo;
- Potência do SFV limitada ao valor da potência contratada;
- Potência da instalação limitada a duas vezes a potência da ligação;
- Potência máxima instalada de 1 MVA;
- A energia produzida é instantaneamente injetada na instalação de consumo, podendo armazenar a energia produzida em excesso;
- Os excedentes de produção podem ser injetados na rede elétrica, sendo estes remunerados.

É importante que regulamentações internacionais existentes sejam verificadas e analisadas a fim de nortear o desenvolvimento da regulamentação brasileira.

4 ESTUDO DE CASO DA BIBLIOTECA CENTRAL

Este Tópico faz uma apresentação da Biblioteca Central da UFPA, objeto de estudo deste trabalho. São destacados os aspectos institucionais, além de características técnicas da estrutura da edificação, do sistema de iluminação e de uso da energia elétrica consumida.

4.1 Introdução e História

Fundada no dia 19 de dezembro de 1962, a Biblioteca Central da UFPA possui 57 anos de funcionamento e possui o nome do seu primeiro diretor Prof. Dr. Clodoaldo Beckmann. A Biblioteca Central está localizada no Campus Universitário de Belém “Prof. Dr. José da Silveira Netto”, no endereço Rua Augusto Corrêa nº 1, ocupando uma área total de 6.117,81 m² (UFPA, 2017).

O órgão pertence a categoria de órgão suplementar subordinado à Reitoria, de acordo com o disposto no Art. 51 do Estatuto da UFPA e ainda no Art. 100, Seção IV, Cap. II do Regimento Geral da UFPA.

Conforme estes dispositivos, trata-se de um órgão de natureza técnica voltada para o desenvolvimento de atividades a fim de colaborar com programas de ensino, pesquisa, extensão e qualificação profissional das unidades acadêmicas.

Atualmente, a biblioteca central integra e coordena tecnicamente um conjunto de 36 bibliotecas em Belém e nos campi dos interiores, sendo 1 Biblioteca Central, 11 dos Institutos, 5 dos Núcleos, 3 dos Programas de Pós-graduação e 6 das Unidades Acadêmicas Especiais.

Acrescenta-se que nos 10 campi dos municípios encontram-se as bibliotecas de: Abaetetuba, Altamira, Ananindeua, Bragança, Breves, Cametá, Castanhal, Salinópolis, Soure e Tucuruí, que juntas compõem o Sistema de Bibliotecas (SIBI/UFPA), estabelecido com um modelo de funcionamento sistêmico em rede (UFPA, 2017).

Em razão de ser uma biblioteca universitária, a biblioteca encontra-se estrategicamente alinhada aos objetivos da instituição de ensino superior. Para isso, a biblioteca atua como mediadora no processo de ensino e aprendizagem, com a finalidade de prover serviços de informação presenciais e virtuais e produtos impressos, eletrônicos e em outras mídias, contribuindo para o desenvolvimento dos programas de ensino, pesquisa e extensão, que atendam à comunidade universitária e à sociedade em geral.

Desse modo, a BC é estimuladora e facilitadora do acesso ao conhecimento, e pode ser entendida como a instância que possibilita à universidade atender às necessidades da comunidade acadêmica, através da administração do seu patrimônio informacional e do exercício de uma função educativa, ao orientar os usuários na utilização da informação.

4.2 Características Gerais

A BC disponibiliza serviços de informação à comunidade universitária e sociedade em geral, permitindo o acesso ao catálogo *on-line* do acervo das bibliotecas da UFPA, Portal de Periódicos da Capes, Repositório Institucional (RIUFPA), bases de dados do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), Bibliotecas Virtuais em Saúde (BVS), bases de dados diversas e a outros serviços e produtos disponíveis na internet.

Além disso, a Biblioteca organiza treinamentos, cursos, palestras, oficinas, orientações dentro de seu espaço físico e também é sede do Plantão Psicológico da UFPA, serviço destinado ao atendimento psicológico dos usuários.

Consoante os dados abertos publicados no site da Biblioteca Central, no ano de 2019 o acervo geral da Biblioteca Central contava com 102.424 títulos, totalizando 438.601 exemplares.

Diante do grande acervo e das atividades realizadas na Biblioteca, a circulação de pessoas é alta, segundo dados de 2019, a frequência média diária de circulação de pessoas é de 1.722 pessoas e a frequência média anual é de 423.600 pessoas.

Portanto, observa-se a importância do estudo de eficiência energética em relação a Biblioteca Central, uma vez que esta possui uma circulação significativa de pessoas, possui uma relevância dentro da instituição e pode servir de modelo e exemplo para as outras bibliotecas existentes dentro da UFPA que poderiam adotar projetos similares. Sem dúvida, isso geraria um grande impacto em relação ao orçamento e a economia de recursos a longo prazo.

Por outro lado, é importante destacar também que o projeto proposto para a Biblioteca Central auxilia o alcance dos objetivos estratégicos propostos pelo Plano de Desenvolvimento do órgão. Esse documento que propugna os objetivos e ações para os anos de 2017-2020 retrata como um dos princípios da Biblioteca a responsabilidade social. Ademais, um dos objetivos estratégicos do Plano é promover a responsabilidade socioambiental e como ações táticas estão previstas a promoção de ações socioambientais.

Nesse sentido, o projeto de eficiência energética, redução do consumo de energia e utilização eficiente de recursos naturais e renováveis como a energia solar está totalmente de acordo com o pretendido pela BC e auxiliaria no seu desenvolvimento, bem como demonstraria um investimento e atuação de acordo com o princípio de promover responsabilidade social, pois esse desenvolvimento se daria de maneira sustentável, o que traria benefícios para a sociedade e para o meio ambiente.

Outra questão que é importante abordar é que a Biblioteca já possui uma preocupação com os riscos passíveis de atrapalhar o seu desenvolvimento. O órgão elaborou o Plano de Contingência da BC em 2019 com a finalidade de garantia do acesso e do serviço da Biblioteca Central da UFPA (UFPA, 2019).

Neste Plano, constou como risco de infraestrutura a queda da energia elétrica. Foi classificado tal risco como de baixa probabilidade de ocorrer e de alto impacto se ocorresse.

O dano foi caracterizado como a impossibilidade de acesso aos recursos informacionais que dependam da energia elétrica, bem como a circulação de materiais e a utilização dos espaços das bibliotecas. Ademais, foi citada a vulnerabilidade física e patrimonial dos acervos e das pessoas, pois os equipamentos de segurança dependem de energia elétrica.

Foram definidas ações preventivas e ações de contingência no caso da ocorrência do risco citado. A ação preventiva previu a aquisição e o uso de geradores e instalação de luzes de emergência e sinalizadores de emergência, bem como a instalação e firmação de contratos de manutenção para gerador diesel e os *nobreaks*, para os equipamentos e para o sistema antifurto.

A ação de contingência ressalta a necessidade de evacuar os espaços ocupados pelos usuários enquanto o *nobreak* ainda mantém o sistema *on-line*. Mesmo após o retorno da energia elétrica, aguardar por um determinado período para constatar que a rede elétrica está estável para liberar a entrada dos usuários (UFPA, 2019).

Nesse sentido, o projeto proposto por esse trabalho pode auxiliar a viabilizar as ações preventivas e de contingência, isto porque a utilização do sistema fotovoltaico combinado ao sistema de armazenamento daria a estabilidade elétrica necessária no caso da interrupção da energia.

Deste modo, as medidas de contingenciamento poderiam ser tomadas apenas quando o nível de carga do sistema de armazenamento estivesse abaixo do desejado. De forma

cautelosa, as pessoas poderiam se retirar da biblioteca ainda com as luzes ligadas e com os sistemas funcionando, sem que haja um prejuízo a biblioteca ou aos usuários.

Acrescente-se que o projeto proposto também poderia auxiliar em relação a outro risco que é o da má-conservação dos livros. Atualmente, é de conhecimento comum que um dos fatores que deve ser evitado para que os livros sejam bem conservados é a iluminação inadequada e em excesso.

A iluminação atual existente na Biblioteca é pouco eficiente, o que acaba gerando a utilização de mais lâmpadas do que o necessário e também utiliza em sua maior parte lâmpadas fluorescentes, o que será abordado de maneira aprofundada posteriormente

4.3 Características Técnicas

A escolha da avaliação do edifício da Biblioteca Central (BC) do campus universitário da UFPA é justificada em razão do prédio da biblioteca ser uma das edificações monitoradas pela plataforma do Sistema de Gestão do Consumo de Energia Elétrica (SISGEE), elaborado pela equipe do CEAMAZON-UFPA que supervisiona características elétricas da universidade tanto no caráter diário; semanal; e mensal, períodos letivos e de férias.

Além disso, foram identificados alguns desacertos na estrutura e no funcionamento da edificação que potencializam os efeitos da aplicação de medidas de eficiência energética. Estes focos de ação serão detalhados no decorrer deste capítulo.

4.3.1 Horário de Funcionamento da Biblioteca Central

Por fazer parte da Universidade Federal do Pará, a Biblioteca Central apresenta seu funcionamento intimamente ligado às variações do calendário universitário, assim como outras atividades que impactam na dinâmica da universidade.

Por buscar atender a todos os estudantes de diversos cursos e diferentes turnos, é uma das edificações dentro da universidade com maior período de funcionamento ao longo do dia e ao longo do ano.

Segundo levantamento realizado em 2019, a Biblioteca teve funcionamento em 246 dias do ano. O horário de funcionamento durante o período letivo é de segunda a sexta das 08 h às 22 h e aos sábados das 08 h às 14 h. Durante o período de férias no calendário universitário, ocorre uma redução do período de funcionamento, sendo que de segunda a quinta das 08 h às 22 h, na sexta das 08 h às 20 h e aos sábados das 08 h às 12 h.

4.3.2 Consumo Energético

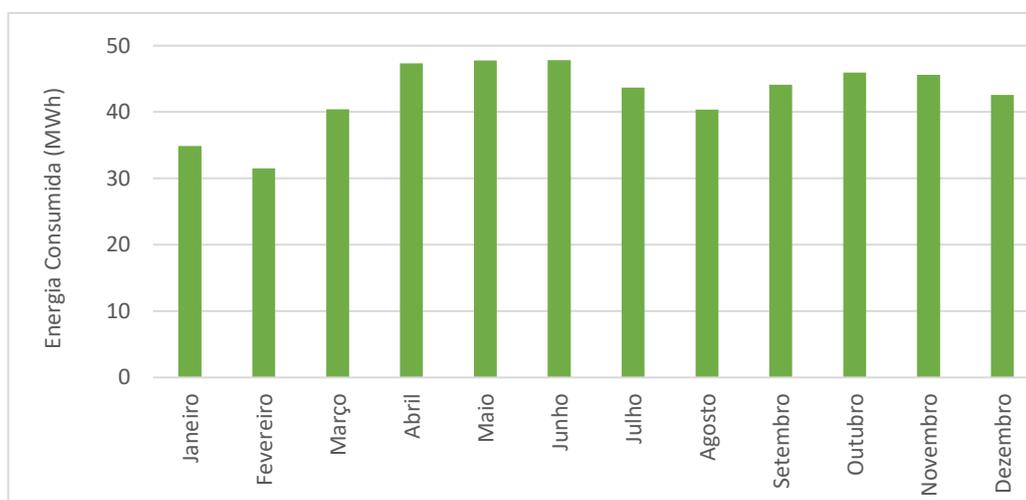
Para realização deste estudo foi preciso realizar uma análise primária das características particulares de consumo do edifício, haja vista que o mesmo não é destinado apenas a uma única atividade, tornando mais complexa a padronização do seu perfil de carga. Outro ponto que influencia diretamente na demanda energética dos edifícios de universidades é o calendário acadêmico, pois meses letivos apresentam maior fluxo de pessoas e atividades do que no período de férias escolares.

A diversidade das atividades do edifício permite que a curva de carga do prédio não esteja vinculada as características de um único serviço específico, pois cada um apresenta um tempo de atuação muito variado.

É necessário ainda que seja levada em conta a variação da carga referente ao período de férias, composto em sua maior parte pelos meses de janeiro, fevereiro, julho e agosto, e pelo período letivo da universidade, que integram os meses de março, abril, maio, junho, setembro, outubro, novembro e dezembro.

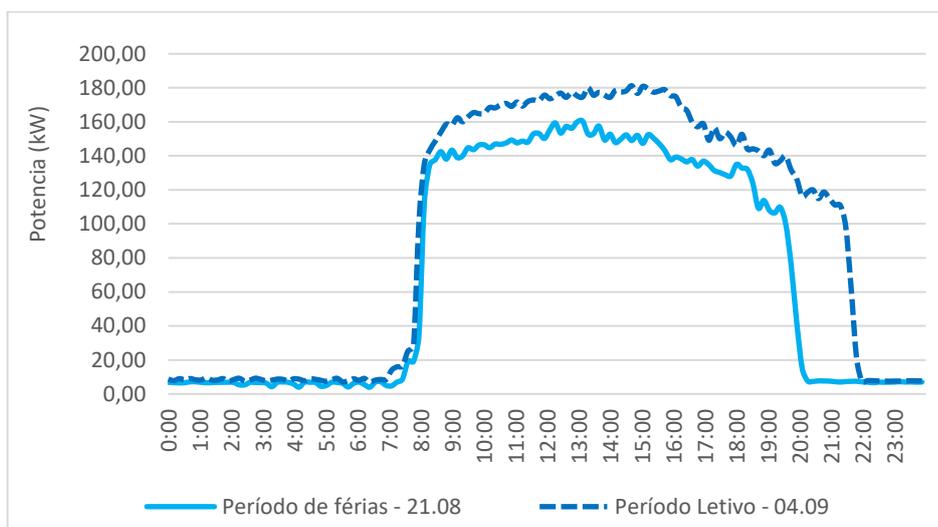
Por meio do histórico de medições de energia do edifício da BC realizadas pelo software SISGEE no ano de 2018, como mostra a Figura 14, foi possível criar padrões de consumo de energia do prédio. Neste período foram considerados a rotina normal de funcionamento da BC envolvendo os períodos de férias e letivo. A Figura 15 apresenta as curvas de cargas diárias típicas de um dia do edifício da BC no período letivo e de férias, ficando evidente a diferença entre o consumo nos dois períodos.

Figura 14 – Histórico do consumo anual do prédio da Biblioteca Central.



Fonte: Autor.

Figura 15 - Curvas de carga diárias típicas do prédio da Biblioteca Central, com destaque para o período letivo e de férias.



Fonte: Autor.

4.3.3 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação do prédio da BC é bastante heterogêneo, podendo ser encontradas lâmpadas de diversos fabricantes, potências, tecnologias e tamanhos, decorrente de diversos fatores como a mudança de fornecedores desses equipamentos ou as alterações estruturais que a edificação sofreu ao longo de seus 48 anos de operação.

O sistema de iluminação da BC não apresenta um nível satisfatório de padronização de seus equipamentos, embora haja uma predominância de lâmpadas do tipo fluorescentes tubulares. Essa característica dificulta a manutenção do sistema de iluminação da edificação e cria em um mesmo ambiente diferentes valores de fluxo luminoso, que impactam diretamente no conforto visual dos usuários.

É essencial compreender que o excesso de iluminação e o tipo de lâmpada atualmente mais utilizado auxilia no processo de fotodegradação, que nada mais é do que a degradação da celulose, rompendo a fibra do papel.

A fotodegradação é causada principalmente pela exposição à radiação ultravioleta emitida pela luz solar e as luzes artificiais. As lâmpadas fluorescentes emitem muita radiação o que acelera esse processo, enquanto a utilização da tecnologia led é menos agressiva ao papel.

A radiação luminosa comporta-se de maneira “cumulativa” e com maior intensidade em materiais orgânicos, logo, entende-se que, na verdade, a redução de luz irá retardar os efeitos do processo degenerativo, ou seja, submeter um objeto a uma radiação luminosa muito forte

em um curto espaço de tempo será equivalente a uma exposição em um tempo maior, porém, com uma iluminação mais fraca (CHENIAUX, 1996). Portanto, um projeto luminotécnico eficiente permite que a quantidade de lumens não ultrapasse o necessário ao conforto visual.

A Tabela 3 apresenta a distribuição quantitativa das lâmpadas por ambiente e suas respectivas potências, tamanho e tipo, sendo este último diferenciado em Fluorescente Tubular (FT) e Fluorescente Compacta (FC).

Tabela 3 – Sistema de iluminação da Biblioteca Central da UFPA.

Item	Local	Qtd Lâmp. Existente	Pot. Lâmp. Existente (W)	Tipo de Lâmp. Existente
1	Hall de entrada	18	32	FT 1,2 m
2	Guarda volume 1	1	32	FT 1,2 m
3	Hall de entrada 2.1	82	32	FT 1,2 m
4	Acervo	173	110	FT 2,4 m
5	Salão de leitura	10	45	FC
6	Salão amazônico	62	32/110	FT 1,2 m/FT 2,4 m
7	Estação de pesquisa acadêmica	12	110	FT 2,4 m
8	Espaço braile	16	32/110	FT 1,2 m/FT 2,4 m
9	Fichário	24	32	FT 1,2 m
10	Divisão de referência e informação	12	32	FT 1,2 m
11	Serviços de referência e circulação	12	32	FT 1,2 m
12	WC masculino 1º piso	10	18	FT 1,2 m
13	WC feminino 1º piso	10	18	FT 1,2 m
14	Corredor 1	12	32	FT 1,2 m
15	Coord. de processos de informação	72	32	FT 1,2 m
16	Coord. de desenv. de coleções	68	32	FT 1,2 m
17	Coord. de desenv. de coleções - sala int.	28	32	FT 1,2 m
18	Intercâmbio	60	32	FT 1,2 m
19	Sala s/n 1	24	32	FT 1,2 m
20	Corredor 2	12	32	FT 1,2 m
21	Hall entrada funcionários	24	32	FT 1,2 m
22	Refeitório sala 1	2	32	FT 1,2 m
23	Refeitório sala 2	2	0	FT 1,2 m
24	Copa	6	32	FT 1,2 m
25	Div. De preservação e restauração	18	32	FT 1,2 m
26	Coleção roberto santos 0.1	48	32	FT 1,2 m
27	Vão escada	2	45	FC
28	Escada	4	32	FT 1,2 m
29	Hall superior 1	24	32	FT 1,2 m
30	Hall superior 2	80	32	FT 1,2 m
31	Corredor 3	8	32	FT 1,2 m

32	Corredor 4	2	20	FT 1,2 m
33	Suporte ti	24	32	FT 1,2 m
34	Xerox	6	32	FT 1,2 m
35	Salão de leitura superior	62	110	FT 2,4 m
36	Varanda interna	5	45	FC
37	Cabines individuais	7	25	FC
38	Corredor anexo saest	2	110	FT 2,4 m
39	Arquivo	6	32	FT 1,2 m
40	Corredor campus flutuante	6	110	FT 2,4 m
41	Campus flutuante/saest 1	8	110	FT 2,4 m
42	Anexo sala 1	4	32	FT 1,2 m
43	Anexo sala 2	4	32	FT 1,2 m
44	WC feminino 2º piso	6	10	FT 1,2 m
45	WC masculino 2º piso	6	10	FT 1,2 m
46	Acervo superior 1	36	110	FT 2,4 m
47	Acervo superior 2	18	110	FT 2,4 m
48	Corredor secretaria	10	32	FT 1,2 m
49	Escada interna	4	32	FT 1,2 m
50	Vão escada interna	1	32	FT 1,2 m
51	Secretaria executiva	8	32	FT 1,2 m
52	Apoio diretoria	32	32	FT 1,2 m
53	Apoio sala interna	4	32	FT 1,2 m
54	Diretoria	24	32	FT 1,2 m
55	Coord. Serv. Usuários	24	32	FT 1,2 m
56	Periódicos	221	110	FT 2,4 m
57	Periódicos - sala int.	10	110	FT 2,4 m
58	Coord. Gestão de produtos e inf.	16	32	FT 1,2 m
59	Divisão edição 1	16	32	FT 1,2 m
60	Divisão edição 2	16	32	FT 1,2 m
61	Auditório	32	32	FT 1,2 m
62	Obras raras	24	32	FT 1,2 m
63	Acervo obras raras	16	110	FT 2,4 m
64	Coleção jayme cardoso	8	32	FT 1,2 m
65	Coleção eneida	16	32	FT 1,2 m
66	Sala s/n 2 (em obras)	16	32	FT 1,2 m
67	Servidor	32	32	0
68	Atend. Mult. Saest	4	32	FT 1,2 m
69	Wc funcionarios serviço fem.	6	32	FT 1,2 m
70	Wc funcionarios masc.	4	32	FT 1,2 m
71	Wc funcionarios fem.	4	32	FT 1,2 m
72	Wc funcionarios serviço masc. 1	4	32	FT 1,2 m
73	Dml	3	32	FT 1,2 m
74	Depósito servidor	2	32	FT 1,2 m
75	Depósito	2	32	FT 1,2 m

A avaliação do sistema de iluminação foi realizada com o auxílio de plantas baixas e levantamentos *in loco* das características das lâmpadas e luminárias de cada ambiente. A seguir serão apresentados os principais modelos de lâmpadas encontradas na edificação.

As lâmpadas fluorescentes tubulares de 110 W são facilmente encontradas na edificação, principalmente nos ambientes de acervo bibliográfico e estudo.

Entretanto, este modelo de lâmpada é dificilmente encontrado no mercado, além de apresentar um baixo nível de eficiência devido ao seu consumo ser muito alto em relação ao fluxo luminoso.

Na edificação, este modelo de lâmpada é encontrado em luminárias individuais, alinhadas em uma fila reta ao longo dos ambientes. Estas muitas vezes dispostas em cima das prateleiras, sem que haja uma iluminação eficiente dos corredores. A Figura 16 apresenta a disposição e o modelo da lâmpada tubular de 110 W encontrada na BC.

Figura 16 - Lâmpada fluorescente tubular de 110 W.



Fonte: Autor.

As lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W são as principais encontradas na edificação. Por serem as mais numerosas, elas são encontradas nos diversos ambientes da edificação dispostas em luminárias de duas e quatro lâmpadas. A Figura 17 apresenta o modelo de lâmpadas fluorescente de 32 W e a luminária em que são encontradas na edificação da BC.

As lâmpadas fluorescentes compactas de 45 W podem ser encontradas principalmente no salão de estudos, alocadas em luminárias pendentes de uma lâmpada em um pé direito duplo.

Elas também são utilizadas em grandes quantidades na entrada principal do prédio da biblioteca. A Figura 18 apresenta a luminária e o modelo de lâmpada fluorescente compacta de 45 W encontrada na BC.

Figura 17 - Lâmpada fluorescente tubular de 32 W.



Fonte: Autor.

Figura 18 – Lâmpada fluorescente compacta de 45 W.



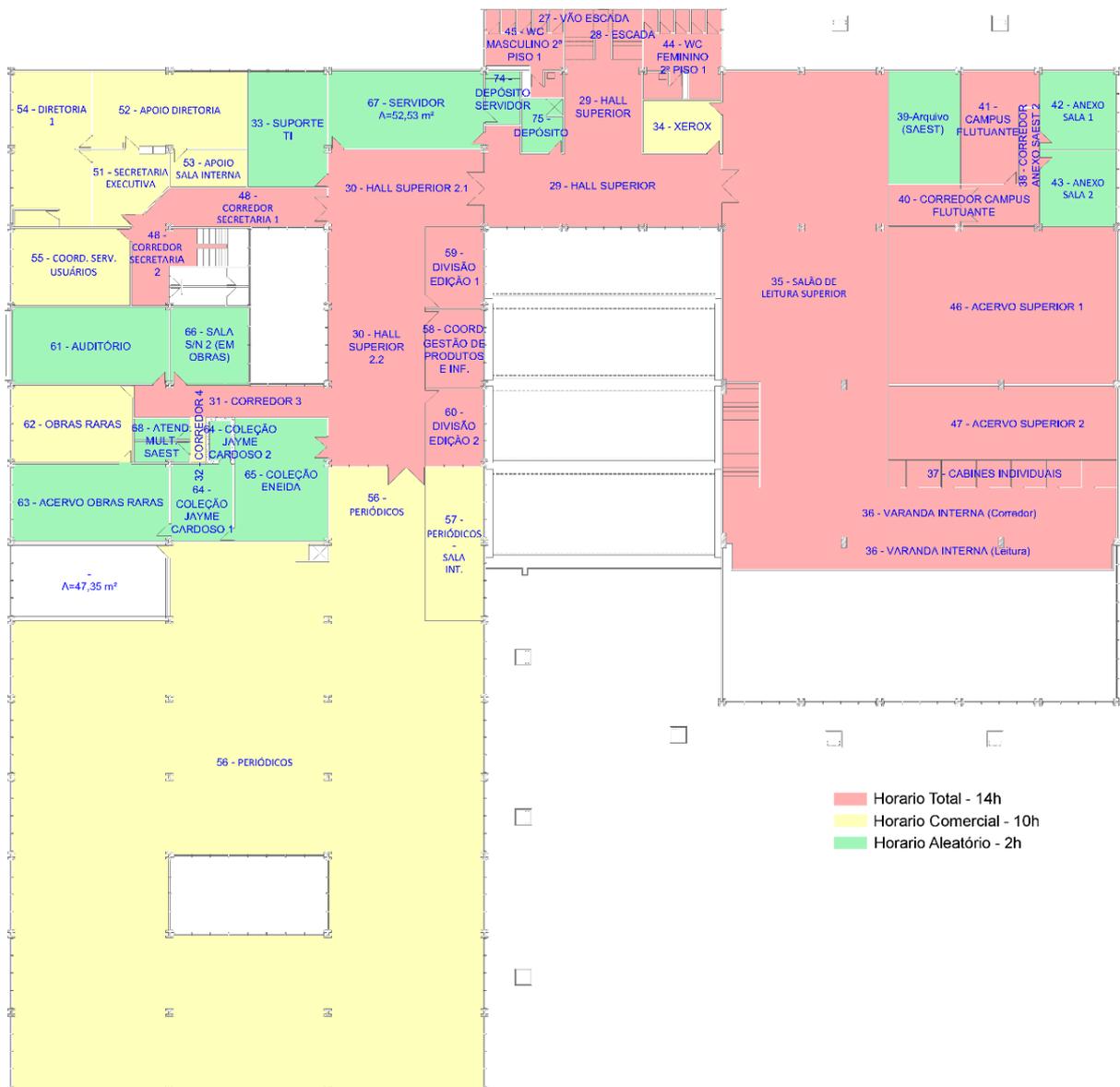
Fonte: Autor.

Outra característica identificada no sistema de iluminação é a ausência de divisão de circuitos de iluminação por ambientes em grande parte do prédio. Existem salas administrativas, salas de acervo bibliográfico, e outros, em que os seus acionamentos de

iluminação ocorrem no mesmo dispositivo que aciona a iluminação de outros ambientes, devido estarem associadas ao mesmo circuito.

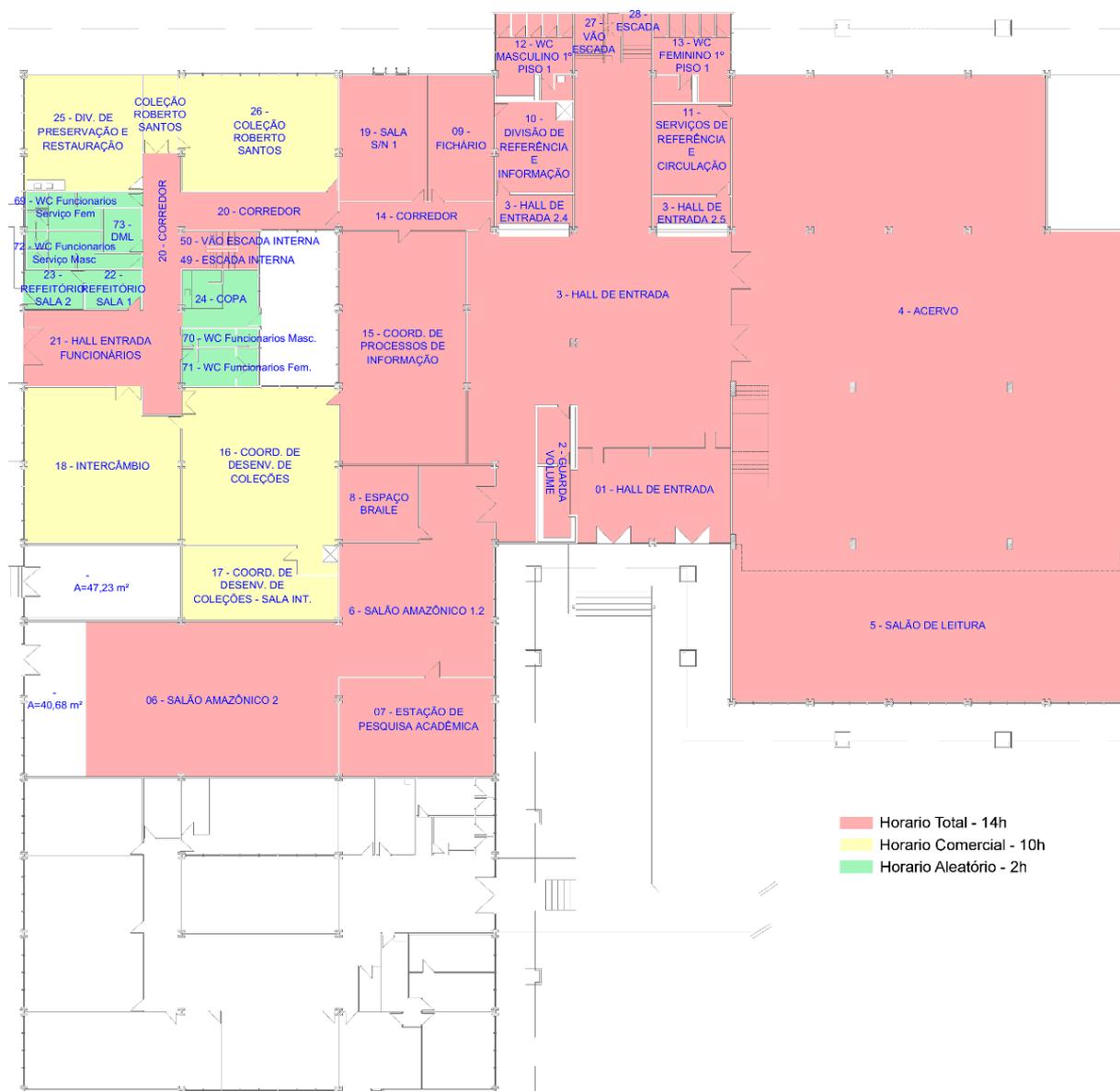
Isso faz com que ambientes que apresentam um curto horário de funcionamento, permaneçam com as luzes ligadas até que o último ambiente que está associado ao mesmo circuito finalize as suas atividades. As Figura 19 e Figura 20 apresentam os horários de funcionamento do sistema de iluminação por ambientes do pavimento térreo e superior, sendo em vermelho os ambientes que funcionam e durante 14 h por dia, em amarelo 10 h por dia e em verde 2 h pro dia.

Figura 19 – Horário de funcionamento do sistema de iluminação por ambientes do pavimento superior, caso existente.



Fonte: Autor.

Figura 20 – Horário de funcionamento do sistema de iluminação por ambientes do pavimento térreo, caso existente.



Fonte: Autor.

4.4 Análise do Caso de Estudo

A edificação da Biblioteca Central foi identificada, por meio do programa SISGEE, como um dos prédios com maior consumo dentro do campus universitário. Esta característica está diretamente ligada ao fato de este ser um grande bloco de carga que opera durante a maior parte do funcionamento da universidade.

Entretanto, em uma análise mais profunda é possível identificar que grande parte desse consumo é devido à ausência de práticas de eficiência energética como um todo na edificação.

A análise do caso de estudo identificou potenciais necessidades para ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação e climatização, conscientização de usuários e funcionários, gestão de energia, implantação de SFV e outros.

4.5 Propostas para o Caso de Estudo

Como proposta de tornar mais eficiente o consumo energético da edificação, este trabalho propõe a realização de ações de eficiência energética no sistema de iluminação, geração de energia por meio de sistema fotovoltaico e uma melhor gestão da energia gerada com a instalação de um sistema de armazenamento.

4.5.1 Proposta para o Sistema de Iluminação

A proposta de iluminação que será apresentada neste trabalho é resultado dos estudos publicados em Albuquerque, Souza, Paixão Jr., Tostes, & Bezerra (2019) de título Retrofit Energy Diagnosis in Lighting Systems of a Public Building, according to ANEEL methodology and Retscreen Software.

O sistema de iluminação da BC apresenta vários pontos cruciais em que a eficiência energética é desatendida. Pode-se citar como principal exemplo, a ausência de uma divisão adequada do circuito de iluminação, o que impede que funcionários conscientes pratiquem o uso eficiente dos sistemas de iluminação. É importante citar também que a utilização de lâmpadas de difícil aquisição no mercado permite que muitos ambientes sofram com a não reposição de lâmpadas queimadas.

A fim de atender diversos potenciais de melhoria identificados na instalação da BC, a proposta de retrofit do sistema de iluminação visa entre eles:

- a) Substituir diversidade de lâmpadas existentes na edificação por lâmpadas de uma mesma tecnologia, a fim de padronizar o sistema, facilitando questões de manutenção e operação;
- b) Utilização de tecnologia mais eficiente, led, visando melhorar o desempenho luminoso dos ambientes com a redução do consumo;
- c) Realização da divisão de circuitos, para a melhor gestão da iluminação nos diferentes ambientes.

Inicialmente, com o intuito de identificar o nível de eficiência que o sistema de iluminação da BC se encontra serão utilizados os critérios do RTQ-C.

Com os dados apresentados na Tabela 3 é possível aplicar a metodologia prescritiva do RTQ-C para obter-se a densidade de potência instalada (DPI) para ser comparada com os níveis de densidade de potência limite (DPIL) estipuladas na tabela 4.2 em PROCEL(2016), que define a classificação do nível de eficiência do sistema.

Posteriormente, são avaliadas as possibilidades do retrofit do sistema de iluminação existente. O projeto propôs a substituição dos equipamentos de iluminação artificial, sendo 1.643 lâmpadas fluorescentes por 1.902 lâmpadas de LED, de modelo Led Tubular (LT) e Led Compacta (LC), além da troca e/ou instalação de 711 novas luminárias).

Nele foi proposto também o redimensionamento do sistema atendendo os parâmetros normatizados na NBR ISO/CIE 8995-1; ver memorial de cálculo nos apêndices, e a divisão dos circuitos por ambiente.

A Tabela 4 apresenta os modelos de lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação proposto e a Tabela 5 apresenta as características do sistema de iluminação proposto.

Tabela 4 – Modelos de lâmpada propostos.

Modelo	Tipo de Lâmpada	Fabricante Intral	Fabricante Philips
A	Lâmpada Tubular LED G2 8,5W 1000lm 600mm BRC 117,65lm/W	Lâmpada Tubular LED G2 8,5W 1000lm 600mm BRC	Lâmpada: Código 09888 - Modelo LAMP. LED TUBO G3 600mm BRC FRIO - 8,5W - 1000lm - Lâmapda: Código 929001131110 - Modelo MASTER LEDtube 1200mm 13W840 G5 I - 13W - 1600 lm
B	Lâmpada Tubular LED G5 T5 13W 1600lm 1200mm - 13W840 123,07lm/W		Lâmapada: Código 06660 - Modelo LÂMP. TUBO LED G3 18W - 185lm
C	Lâmpada Tubular LED T8 18W 1850lm 1200mm 102,77lm/W	Lâmpada Tubular LED T8 18W 1850lm 1200mm	Lâmpada: Código 09891 - Modelo LAMP. LED TUBO G3 1200mm BRC FRIO - 17W - 2000lm
D	Lâmpada Tubular LED G3 17W 2000lm 1200mm - BRC FRIO - 117,65lm/W	Lâmpada Tubular LED G3 17W 2000lm 6000K 1200mm - BRC FRIO	Lâmpada: Código 09891 - Modelo LAMP. LED TUBO G3 1200mm BRC FRIO - 17W - 2000lm
E	Lâmpada Tubular LED 18W 2300lm 1200mm - ALP-LT8- 18W-V-145-023LM-840 - 127,77lm/W		Lâmpada: Código 929001863392 - Standard LEDBulb LEDBulb E27 W A115 1PF/6 BR - 23W - 3000lm
F	Lâmpada Bulbo LED Standard 23W 3000lm E27 - W A115 1PF/6 BR 130,43lm/W		Master LEDTube 8ft 4000lm 865 T8 BR
G	Lâmpada Tubular LED 40W 4000lm 100lm/W		

Fonte: Autor

Tabela 5 - Característica do Sistema de Iluminação proposto.

Item	Local	Qtd Lâmp. Propost.	Pot. Lamp. Propost. (W)	Tipo de Lâmp. (propôsto)	Modelo
1	Hall de entrada	18	18	LT 1,2 m	E
2	Guarda volume 1	2	18	LT 1,2 m	C
3	Hall de entrada 2.1	82	17	LT 1,2 m	D
4	Acervo	174	17	LT 1,2 m	D
5	Salão de leitura	104	18	LT 1,2 m	E
6	Salão amazônico	4 / 96	13 / 17	LT 1,2 m	B / D
7	Estação de pesquisa acadêmica	42	13	LT 1,2 m	B
8	Espaço braile	16	17	LT 1,2 m	D
9	Fichário	25	9	LT 0,6 m	A
10	Divisão de referência e informação	12	18	LT 1,2 m	E
11	Serviços de referência e circulação	12	18	LT 1,2 m	E
12	WC MASCULINO 1º PISO	9	13	LT 1,2 m	B
13	WC FEMININO 1º PISO	9	13	LT 1,2 m	B
14	Corredor 1	8	8,5	LT 0,6 m	A
15	Coord. de processos de informação	72	13	LT 1,2 m	B
16	Coord. de desenv. de coleções	68	13	LT 1,2 m	B
17	Coord. de desenv. de coleções - sala int.	28	13	LT 1,2 m	B
18	Intercâmbio	56	13	LT 1,2 m	B
19	Sala s/n 1	24	17	LT 1,2 m	D
20	Corredor 2	12	17	LT 1,2 m	D
21	Hall entrada funcionários	24	9	LT 0,6 m	A
22	Refeitório sala 1	2	18	LT 1,2 m	E
23	Refeitório sala 2	2	18	LT 1,2 m	E
24	Copa	6	17	LT 1,2 m	D
25	Div. De preservação e restauração	24	18	LT 1,2 m	E
26	Coleção roberto santos 0.1	48	17	LT 1,2 m	D
27	Vão escada	2	23	LC	F
28	Escada	4	13	LT 1,2 m	B
29	Hall superior 1	24	17	LT 1,2 m	D
30	Hall superior 2	60	8,5	LT 0,6 m	A
31	Corredor 3	8	8,5	LT 0,6 m	A
32	Corredor 4	1	8,5	LT 0,6 m	A
33	Suporte ti	24	18	LT 1,2 m	C
34	Xerox	8	18	LT 1,2 m	E
35	Salão de leitura superior	62	40	LT 2,4 m	G
36	Varanda interna	60	18	LT 1,2 m	E

37	Cabines individuais	14	18	LT 1,2 m	C
38	Corredor anexo saest	3	13	LT 1,2 m	B
39	Arquivo	6	18	LT 1,2 m	C
40	Corredor campus flutuante	3	13	LT 1,2 m	B
41	Campus flutuante/saest 1	24	17	LT 1,2 m	D
42	Anexo sala 1	12	17	LT 1,2 m	D
43	Anexo sala 2	12	17	LT 1,2 m	D
44	WC FEMININO 2º PISO	6	17	LT 1,2 m	D
45	WC MASCULINO 2º PISO	6	17	LT 1,2 m	D
46	Acervo superior 1	32	13	LT 1,2 m	B
47	Acervo superior 2	15	13	LT 1,2 m	B
48	Corredor secretaria	8	13	LT 1,2 m	B
49	Escada interna	4	8,5	LT 0,6 m	A
50	Vão escada interna	2	18,0	LT 1,2 m	C
51	Secretaria executiva	9	18	LT 1,2 m	E
52	Apoio diretoria	32	17	LT 1,2 m	D
53	Apoio sala interna	4	8,5	LT 0,6 m	A
54	Diretoria	24	18	LT 1,2 m	E
55	Coord. Serv. Usuários	24	13	LT 1,2 m	B
56	Periódicos	228	17	LT 1,2 m	D
57	Periódicos - sala int.	10	40	LT 2,4 m	G
58	Coord. Gestão de produtos e inf.	12	13	LT 1,2 m	B
59	Divisão edição 1	12	13	LT 1,2 m	B
60	Divisão edição 2	12	13	LT 1,2 m	B
61	Auditório	32	17	LT 1,2 m	D
62	Obras raras	24	18	LT 1,2 m	E
63	Acervo obras raras	16	13	LT 1,2 m	B
64	Coleção jayme cardoso	8	13	LT 1,2 m	B
65	Coleção Eneida	16	13	LT 1,2 m	B
66	Sala s/n 2 (em obras)	12	17	LT 1,2 m	D
67	Servidor	20	18	LT 1,2 m	E
68	Atend. Mult. Saest	6	17	LT 1,2 m	D
69	Wc funcionarios serviço fem.	6	13	LT 1,2 m	B
70	Wc funcionarios masc.	2	18	LT 1,2 m	C
71	Wc funcionarios fem.	4	17	LT 1,2 m	D
72	Wc funcionarios serviço masc. 1	4	18	LT 1,2 m	E
73	Dml	2	18	LT 1,2 m	E
74	Depósito servidor	2	13	LT 1,2 m	B
75	Depósito	2	17	LT 1,2 m	D

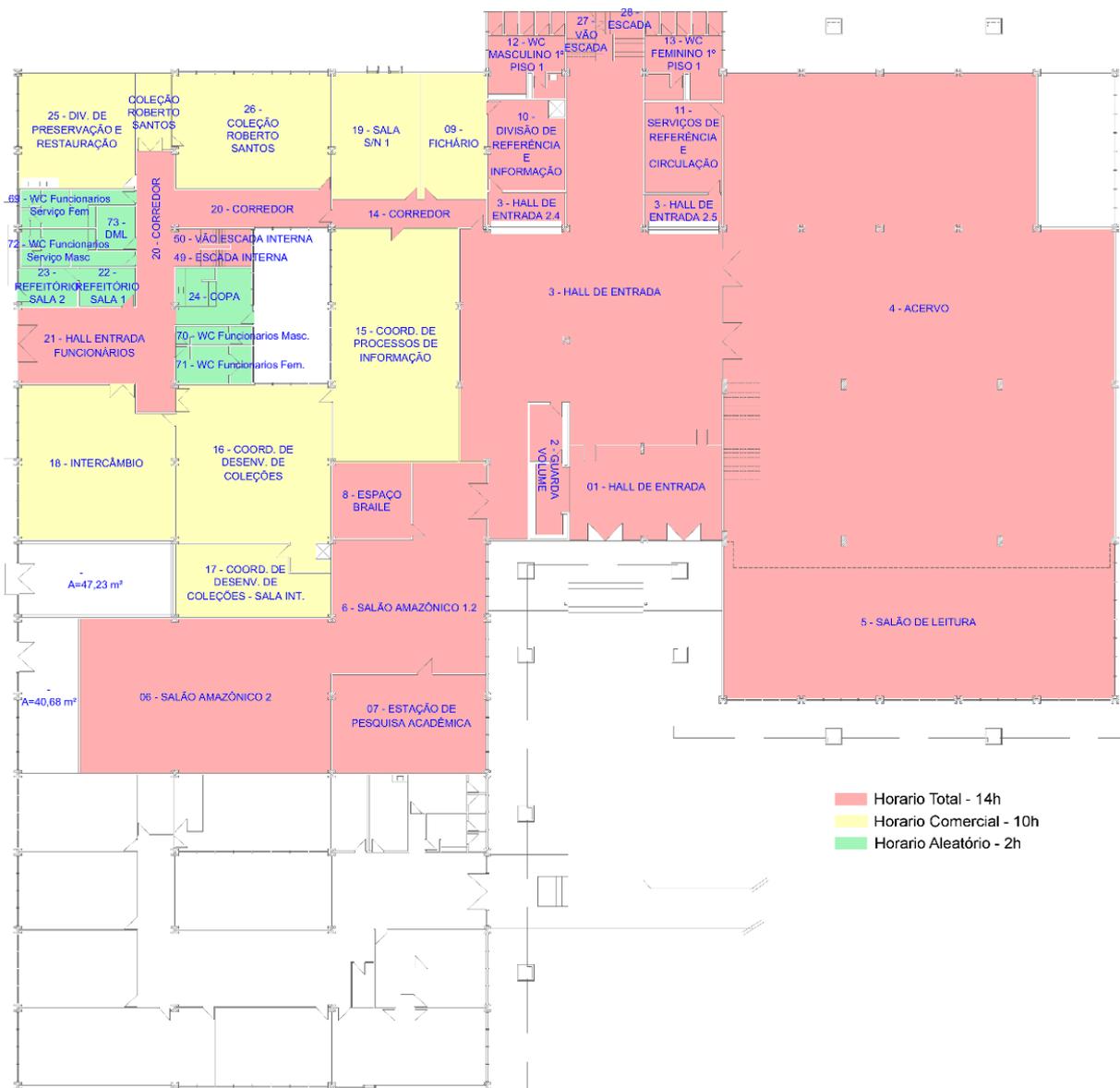
Fonte: Autor

Outra ação de eficiência energética adotada na iluminação está relacionada a gestão energética na unidade consumidora, com as mudanças no período de acionamento de alguns ambientes.

A partir do sistema apresentado na Tabela 5, foi proposta uma divisão dos circuitos do sistema de iluminação da BC de acordo com a distribuição dos ambientes. Essa medida busca reduzir o tempo de operação do sistema de iluminação de alguns ambientes que muitas vezes estão desocupados e com suas luzes acesas. Essa medida permitirá que grandes blocos de desperdício de energia na edificação passem a operar em períodos reduzidos, apenas quando realmente necessários.

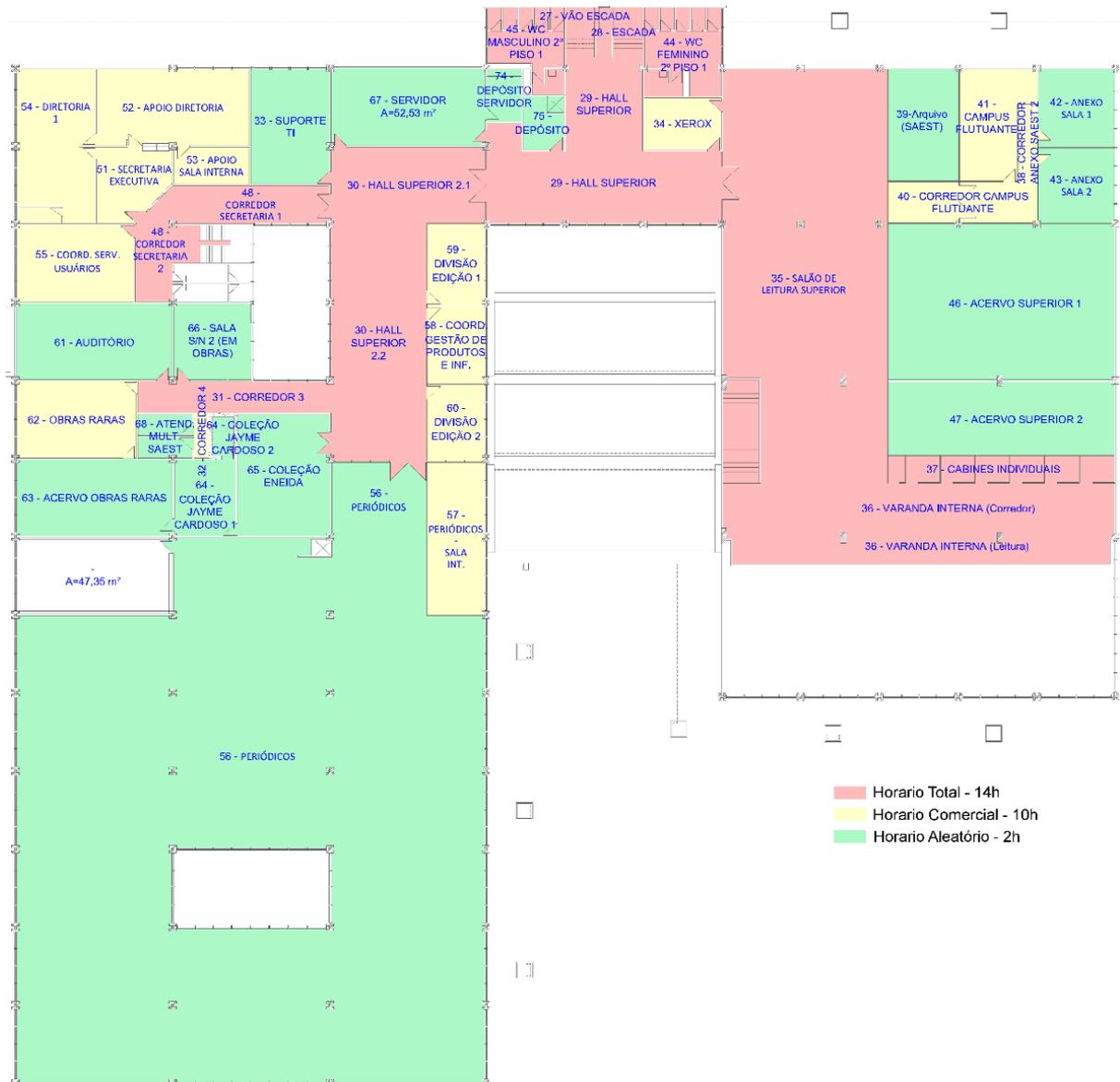
As Figura 21 e Figura 22 apresentam as propostas de setorização do sistema de iluminação da BC e seus respectivos períodos de funcionamento por ambiente.

Figura 21 - Setorização por ambiente dos horários propostos de funcionamento do pavimento térreo da BC.



Fonte: Autor.

Figura 22 - Setorização por ambiente dos horários propostos de funcionamento do pavimento superior da BC.



Fonte: Autor.

4.5.2 Proposta do Sistema Fotovoltaico

A proposta de Sistema Fotovoltaico que será apresentada neste trabalho é resultado dos estudos publicados em Albuquerque, Souza, Paixão Jr., Tostes, & Bezerra (2019) de título Use of PV in the Transformation of a University Building into a NZEB: Case Study of the UFPA Central Library.

Para uma proposta adequada de um sistema fotovoltaico, característica de potência elétrica e consumo de energia tornam-se importante para o dimensionamento do sistema, pois o sobredimensionamento pode inviabilizar o projeto financeiramente, além de possibilitar impactos na rede interna do campus devido à sobre tensão em dias de baixo carregamento

(BARATA, 2017). Já o subdimensionamento, pode não atender satisfatoriamente a demanda necessária e, conseqüentemente, não atingir o objetivo do projeto.

O telhado da edificação apresenta uma área útil total de 4.242 m² e está dividida em duas áreas principais, designadas de Telhados 1 e 2, na Figura 23.

Para este estudo foi utilizada a região denominada Telhado 1, pois, embora apenas metade das águas estão viradas para o Norte, posição ideal para direcionar o módulo (Pinho & Galdino, 2014), em nenhum momento do dia há sombreamento no telhado. No caso do Telhado 2 há sombreamento em parte dele no período da manhã e na outra parte ao fim da tarde.

Figura 23 - Vista superior do prédio da Biblioteca Central, com destaque para as áreas disponíveis para instalação de SFV.



Fonte: (GOOGLE EARTH, 2020), adaptado pelo autor.

A superfície útil do Telhado 1 possui uma área em torno de 1700 m², com três águas voltadas ao norte e outras três águas voltadas para o sul. Tendo em vista a área mencionada, foi possível efetuar o seguinte arranjo do SFV: 400 módulos fotovoltaicos do fabricante Canadian Solar, modelo CS6U - 340P de 340 Wp, nas águas voltadas para o Norte Verdadeiro, e outros 400 módulos fotovoltaicos, de mesmo fabricante e modelo, que foram posicionados nas águas voltadas para o Sul Verdadeiro, devido a inclinação natural do telhado.

Para cada orientação de água, o SFV contém 20 fileiras de 20 módulos fotovoltaicos conectados a 10 inversores, da fabricante ABB e modelo TRIO-20_0-TL. O SFV dimensionado apresenta uma potência máxima de 220 kWp. A Tabela 6 apresenta as principais características dos modelos de equipamentos utilizados.

Tabela 6 – Tabela de Potência dos equipamentos utilizados.

Equipamento	Potência (W)	Quantidade	Total (kW)
Módulo Canadian CS6U - 340P	340	800	272
Inversor ABB TRIO-20_0-TL	22.000	10	220

Fonte: Autor.

Conforme a Tabela 6 apresenta, a potência do gerador fotovoltaico é ligeiramente superior a potência do inversor fotovoltaico. Essa técnica visa melhorar o perfil de uso dos inversores nas condições de baixa disponibilidade do recurso solar, seja durante o período do início da manhã, final da tarde ou períodos nublados.

O SFV proposto não visa suprir o total da energia consumida pela edificação atualmente, mas sim o suficiente para atender o consumo da edificação após a implementação de ações de eficiência energética. Dessa forma, o SFV proposto atende a aproximadamente 70% da demanda energética atual da BC.

4.5.3 Proposta Sistema de Armazenamento

A proposta de Sistema de Armazenamento que será apresentada neste trabalho é resultado dos estudos publicados em Albuquerque, Souza, Paixão Jr., Tostes, & Bezerra (2019) de título Analysis of Storage System and PV System Integrated with University Building.

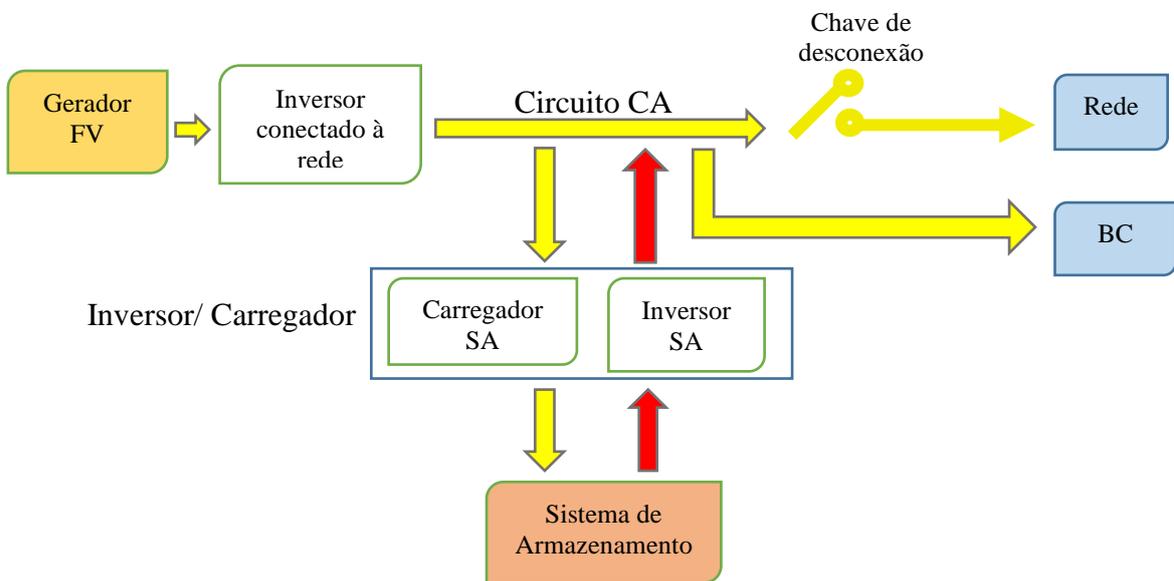
O consumo de energia da BC ocorre ao longo do dia nos diferentes períodos de tarifação, tarifa no horário de ponta e fora ponta. Entretanto, a geração do sistema fotovoltaico ocorre exclusivamente no horário de tarifa fora ponta, a menor custo, que por sua vez ocasiona, durante o horário de ponta, o fornecimento de energia a cargo único da distribuidora.

O Sistema de Armazenamento proposto visa reduzir o nível de dependência energética da edificação, da rede da distribuidora local. Assim como utilizar os excedentes de energia do sistema fotovoltaico para o abastecimento de energia no horário de ponta.

A configuração utilizada para o SA permite a conexão da rede elétrica externa ao circuito CA interno, assim como utilizar um inversor fotovoltaico padrão de rede associado ao gerador fotovoltaico. Entretanto essa configuração demanda um inversor híbrido conectado ao banco de baterias com uma tecnologia avançada, capaz de "simular" a rede da concessionária, a fim de ocultar a queda da rede para o inversor fotovoltaico e permitir que este continue injetando potência no sistema.

Dessa forma, durante o período de abastecimento do prédio pelo SA, deve haver um interruptor automático para desconectar fisicamente à rede da distribuidora; nesta situação, o sistema funcionará no modo ilha, o inversor híbrido da bateria fornecerá a potência total exigida pelo consumo do usuário. Caso a interrupção de energia ocorra no período de produção do SFV, esta potência é utilizada para abastecer a carga e complementada pelo inversor híbrido com a energia das baterias. Quando conectado a rede, o circuito CA do usuário é conectado diretamente à rede, o que permite injetar o excedente de energia solar na rede. A Figura 24 apresenta a configuração da conexão entre SFV, SA, BC e a rede elétrica.

Figura 24 - Configuração utilizada na integração do SA.



Fonte: Autor.

O SA é composto por 32 baterias de ion-lítio de modelo B-Box Pro 13,8, da fabricante BYD, com capacidade de armazenamento de 13,8 kWh cada, potência máxima de saída de 12,8 kW e uma tensão de saída de 51,2 V.

Os módulos das baterias que compõem o SA, quando conectados em paralelo, apresentam uma capacidade máxima de armazenamento de 441,6 kWh, entretanto apenas 405 kWh estão disponíveis para serem geridos.

Essa diferença ocorre principalmente devido a utilização de valores de profundidade de descarga máxima de 95% e estado de carga máximo de também de 95%, pois a utilização da máxima profundidade de descarga e estado carga reduz a vida útil das baterias.

Ainda não há na literatura uma fórmula universal para o dimensionamento de sistemas de armazenamento integrados a sistemas fotovoltaicos conectados à rede em edificações. Isso

ocorre devido à dificuldade de se estabelecer uma relação de compromisso entre a grande quantidade de variáveis controladas e não controladas, como a variação da carga, da geração fotovoltaica, a disponibilidade de energia da rede. Há ainda as características locais que devem ser consideradas, como as políticas de uso e tarifação para SA. Além disso, existem as incertezas relacionadas ao modo de operação que o SA adotará. que

Com base na curva de carga da edificação, no pior caso, a edificação consome aproximadamente 418 kWh durante as 3 h do horário de ponta, sendo que a carga mais alta ocorre na primeira hora consumindo cerca de 153,28 kWh. Em busca de atender a carga do prédio em pelo menos 1 hora por dia durante o horário de ponta, foi utilizada a equação para calcular a quantidade de energia necessária (L) da bateria, apresentada em Pinho & Galdino (2014).

$$L = \frac{Lca}{\eta_{Bat}\eta_{Inv}} \quad (7)$$

Onde, Lca é a quantidade de energia em corrente alternada a ser suprida (Lca=153,28 kWh), η_{Bat} é a eficiência global da bateria ($\eta_{Bat}= 0,86$) e η_{Inv} a eficiência do inversor ($\eta_{Inv}= 0,85$). Sendo obtido um L no valor de 209,68 kWh.

No entanto, visando aumentar o perfil de uso da energia armazenada no período de ponta, criou-se uma regra em que 75% da capacidade de armazenamento, ou seja deve ser utilizada para atender exclusivamente o período de ponta, caso o estado de carga da bateria esteja superior aos 75%, esta energia restante pode ser disponibilizada em outros períodos do dia.

Dessa forma, o excedente de energia gerado pelo SFV no período fora ponta, de menor valor, será armazenada para que ao final da tarde, durante o período de ponta, essa energia possa ser consumida pela edificação.

Essa é uma técnica encontrada na literatura, que busca melhorar fatores econômicos devido ao custo da energia no horário de ponta ser bastante superior ao fora ponta. Pois a utilização de baterias ainda é uma estratégia bastante onerosa devendo ser economicamente favorável a sua utilização.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Sistema de iluminação

Apesar de possuir ambientes com atividades distintas, como já mencionado anteriormente, o prédio da biblioteca apresenta uma atividade principal predominante, a de biblioteca, abrangendo mais de 30% da área de todos os ambientes da edificação.

Isso configura o método das áreas, que será empregado utilizando a Densidade de Potência de Iluminação Limite (DPIL) máxima aceitável para cada nível referente a atividade predominante, ver Tabela 7.

Essas DPIL's são multiplicadas pela área total iluminada da edificação, computada em 5.620,78 m², a fim de encontrar os valores DPIL limite de cada nível de eficiência energética da edificação analisada.

Comparando a Densidade de Potência Instalada (DPI) de iluminação artificial no prédio que é de 107.669 W/m² (potência de lâmpadas e perdas de reatores) com as DPIL, verifica-se que a potência instalada ultrapassa o limite do nível D, classificando-se o sistema como nível E de desempenho energético. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos na análise de densidade de potência do sistema de iluminação atual.

Tabela 7- Resumo da análise do sistema de iluminação pelo RTQ-C.

Função da Edificação	DPIL Nível A (W/m ²)	DPIL Nível B (W/m ²)	DPIL Nível C (W/m ²)	DPIL Nível D (W/m ²)
Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
DPIL x área total iluminada (5.620,78m ²)				
Potências Limites	71.383,89	82.063,36	93.304,92	103.422,32
DPI Instalada	99.502	99.502	99.502	107.669

Fonte: Autor.

A Tabela 8 mostra os equivalentes numéricos de cada nível, onde identifica o valor 1 que corresponde a classificação E do sistema.

Tabela 8 - Níveis de classificação final com respectivos equivalentes numéricos

Classificação Final					
Níveis	A	B	C	D	E
EqNum	5	4	3	2	1

Fonte: Autor.

Após determinação do nível de eficiência, verificou-se o cumprimento dos pré-requisitos por ambiente, conforme Tabela 18 do Apêndices B. Através da análise por ambiente, notou-se que alguns não cumpriam parte desses pré-requisitos específicos, tendo diferentes classificações de desempenho.

Portanto, para achar um valor de classificação final para o sistema, ponderou-se os resultados individuais dando 2,27 pontos, que resulta no nível D de eficiência, conforme a tabela no Apêndice C de intervalos do regulamento.

A avaliação dos pré-requisitos não melhora a classificação do sistema, só penaliza caso apresente resultado inferior ao já encontrado. Portanto, o nível E, já estipulado pela análise principal, é a classificação que prevalece como resultado definitivo por ter mais peso.

A análise apontou um baixo nível de desempenho energético da edificação, indicando a necessidade do retrofit do sistema de iluminação e a realização de uma avaliação de viabilidade técnica e econômica através de métodos de diagnóstico energético.

Nesse sentido, a auditoria foi feita visando a melhoria desse desempenho e consequentemente a redução do consumo de energia elétrica nas instalações da Biblioteca Central.

5.1.1 Análise do sistema proposto

Inicialmente, foi verificada a classificação no RTQ-C do sistema de iluminação proposto, apresentado no Tópico 4.5.1. Semelhante a análise do caso existente adotou-se o método das áreas.

O sistema de iluminação proposto obteve uma DPI de 31.419 W/m², estando abaixo da potência limite de classificação do nível A. A Tabela 9 apresenta os resultados da análise de densidade de potência do sistema de iluminação proposto.

Tabela 9- Resumo da análise do sistema de iluminação proposto pelo RTQ-C.

Função da Edificação	DPIL Nível A (W/m ²)	DPIL Nível B (W/m ²)	DPIL Nível C (W/m ²)	DPIL Nível D (W/m ²)
Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
DPIL x área total iluminada (5.620,78m ²)				
Potências Limites	71.383,89	82.063,36	93.304,92	103.422,32
DPI Instalada	31.419	31.419	31.419	31.419

Fonte: Autor.

Para este sistema foi considerado o cumprimento dos pré-requisitos para sistemas de iluminação. Com isso, a edificação obteve um equivalente numérico de 5 pontos tanto para a análise da densidade de potência instalada quanto para a análise dos pré-requisitos.

Sendo assim, a edificação obteve uma classificação **nível A** para o sistema de iluminação proposto, revelando um alto potencial de eficiência energética para esse sistema.

Em Albuquerque, Souza, Paixão Jr., Tostes, & Bezerra, (2019), o sistema de iluminação proposto foi analisado pela metodologia empregada pelo PROPEE/ANEEL e posteriormente pela metodologia utilizada no programa Retscreen.

Para a utilização da metodologia do PROPEE, primeiramente utilizou-se a planilha para o cálculo de RCB disponibilizada no site da distribuidora de energia local do ano de 2017. Até momento da realização do estudo, a distribuidora local não havia feito uma chamada pública para edificações de mesma modalidade tarifária exercida pela universidade, por isso a utilização da planilha de 2017. No entanto, não é esperado que este fato venha causar um impacto significativo nos resultados deste trabalho.

Foram cadastradas algumas informações essenciais, que serviram como diretrizes para a caracterização do objeto estudado, como: o tipo do subgrupo de Tensão A4, taxa de desconto (i) de 8%, fator de carga (0,75) e tarifa hora sazonal azul (ano base 2017). Além dos dados: de funcionamento da edificação, do sistema de iluminação do caso atual e proposto, e dos orçamentos de três fornecedores de equipamentos. O Apêndice D apresenta mais informações de dados utilizados na aplicação do PROPEE.

Essa metodologia mostrou que o sistema atual estaria consumindo um montante de 303,07 MWh/ano. Enquanto com o sistema proposto esse consumo seria de apenas 75,77 MWh/ano. Correspondendo a uma economia de energia de 227,30 MWh/ano e uma redução de demanda no horário de ponta de 59,82 kW. Os impactos energéticos verificados por meio da metodologia PROPEE estão expostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Resposta energética obtida com a metodologia PROPEE.

	Sistema Atual	Sistema Proposto	Economia
Energia consumida (MWh/ano)	303,07	75,77	227,30
Demanda média na ponta (kW)	79,01	19,19	59,82

Fonte: Autor.

Através do pré-diagnóstico energético, verificou-se que a implementação do *retrofit* gera uma redução de 75,71% de carga elétrica incidente no horário mais crítico de consumo (ponta) e um total de 75% de energia consumida. Isso ocorreu por conta da redução tanto da carga, com a troca de equipamentos, quanto do período de consumo em alguns ambientes.

Ressalta-se que foi analisada a viabilidade desta ação, de modo que as alterações não comprometessem o bom funcionamento da biblioteca.

Esses dados indicam a grande contribuição das ações propostas, que resultaram na redução de 227,30 MWh energia elétrica por ano. O diagnóstico das medidas quantificou uma economia financeira mensal de R\$ 12.794,94, em um projeto com vida estimada em 8 anos, considerando a vida útil média dos equipamentos. Entretanto esse valor deve ser consideravelmente superior devido as atualizações ocorridas no custo da energia. A Tabela 11 apresenta um resumo dos resultados esperados.

Tabela 11 - Resultados do diagnóstico energético do PROPEE.

Dados esperados	Resultados
Custo unitário de energia evitada (CEE)	R\$323,22/MWh
Custo unitário de demanda evitada (CED)	R\$1.131,58/kW.Ano
Vida Útil Média (anos)	8,12
Economia mensal aproximada (reais)	R\$ 12.794,94
Relação Custo Benefício (RCB)	0,08
Benefício anualizado iluminação	R\$141.149,15

Fonte: Autor.

Através dos dois principais indicadores: custos unitários de energia e demanda evitada (CEE e CDE), obteve-se a Relação Custo Benefício (RCB) de 0,08, muito abaixo do limite de 0,8 estabelecido pelos procedimentos da ANEEL, sendo então viável a execução do projeto.

Embora o investimento inicial das alterações do sistema de iluminação tenha sido de R\$ 125.134,34 reais, apenas R\$ 122.005,98 são referentes à equipamentos, o restante, definido pela concessionária, para mão de obra própria dela e transporte. Foi obtido um *payback* de 9,54 meses, logo, o tempo de retorno é inferior a menor vida útil dos equipamentos (3 anos), reforçando a viabilidade do investimento.

Outra metodologia em que se analisou o sistema proposto foi a do software Retscreen. Nela foram obtidos resultados semelhantes aos verificados anteriormente. A

Tabela 12 apresenta os resultados obtidos no Retscreen na simulação do sistema de iluminação atua e proposto.

Tabela 12 - Dados referentes ao consumo, custo e economia de energia obtidos no Retscreen.

	Sistema Atual	Sistema Proposto	Economia
Energia consumida (MWh/ano)	352,00	84,90	267,10
Custo de energia (R\$)	148.802,00	35.889,00	112.913,00

Fonte: Autor.

A simulação realizada no Retscreen apresentou um consumo energético do sistema atual de 352,00 MWh/ano, enquanto no caso proposto esse consumo foi de apenas 84,89 MWh/ano. Conseqüentemente, essa redução de consumo de energia elétrica, cerca de 75,9%, se refletiu na redução do custo de energia, levando a uma economia de R\$ 112.913,00 no primeiro ano.

Para a análise financeira foi considerada uma taxa de inflação de 8% e a vida do projeto de 8 anos, semelhante ao utilizado no PROPEE. Para implantação do sistema proposto foi calculado um total de investimento de R\$ 123.119,00, sendo este composto pela compra de equipamentos.

Após a implantação do sistema, este demandaria um custo anual no valor de R\$ 43.783,00, sendo R\$ 35.889,00, referente ao consumo de energia, e mais R\$ 7.894,00, referente ao custo de operação e manutenção. A Tabela 13 apresenta os dados referentes a análise financeira.

Tabela 13 - Dados referentes a análise financeira do Retscreen.

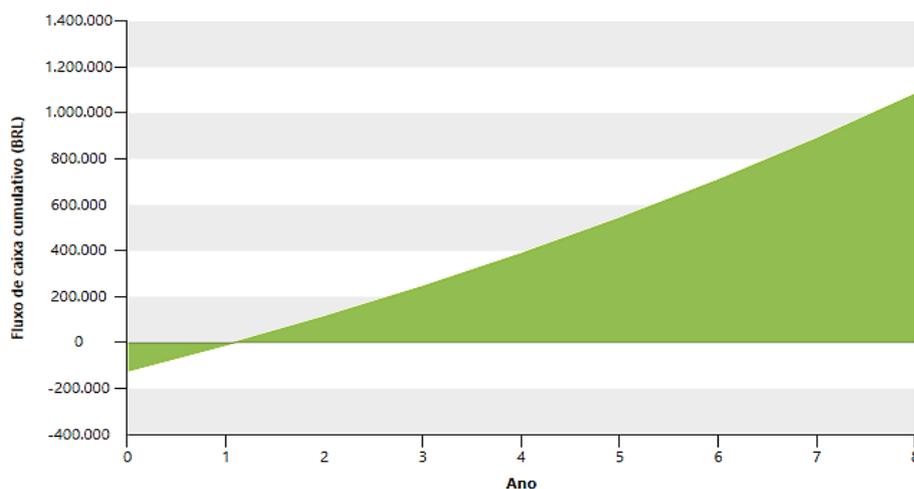
Dados financeiros	Valores
Taxa de inflação (%)	8
Vida do Projeto (anos)	8
Total de custos de investimento (R\$)	123.119,00
Total de custos anuais (R\$)	43.783

Fonte: Autor.

O retorno do investimento apontado pelo Retscreen é de 1,1 anos. A Figura 25 apresenta o fluxo de caixa acumulado, sendo possível verificar que este se torna ligeiramente positivo após completar o primeiro ano, além de possuir um fluxo de caixa acima de R\$ 1.000.000,00

ao final da vida do projeto. Outras informações dessa simulação estão apresentadas no Apendice E.

Figura 25 - Fluxo de caixa acumulado



Fonte: Autor.

O PROPEE leva em consideração informações como a redução da energia consumida no período de ponta e fora ponta, assim como a redução da demanda de potência nesses mesmos períodos. Informações essas que são de fundamental importância para a integração de uma geração distribuída como o SFV, visto que sua produção de energia ocorre apenas no período fora de ponta, quando há luz solar.

Enquanto o RETScreen considera uma tarifa única, sem a distinção de postos tarifários, desprezando a informação do período de redução de potência, e mensurando o consumo de energia elétrica sem distinção de período. No entanto são obtidas informações como a redução de CO₂ para uma determinada ação de eficiência energética, além de informações financeiras mais detalhadas.

5.2 Sistema Fotovoltaico

O prédio da BC apresentou um consumo de energia anual de 512,66 MWh, enquanto o SFV projetado gerou 399,89 MWh ao longo de um ano, correspondendo a cerca de 78% da demanda do prédio.

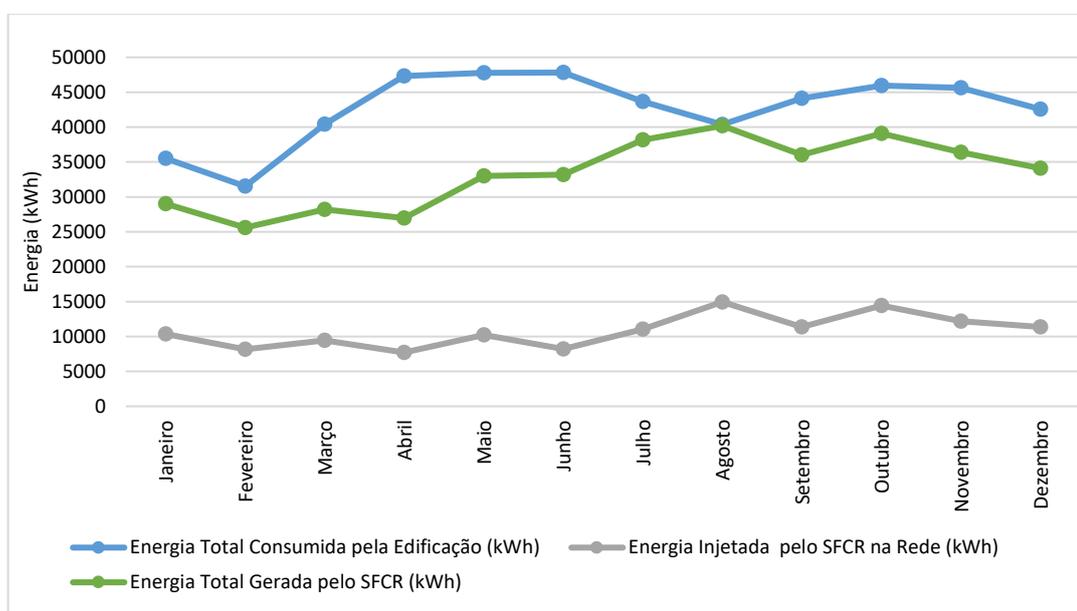
Entretanto, do ponto de vista da energia produzida pelo SFV, apenas parte dessa energia é utilizada na edificação, cerca 68%, sendo que 129,43 MWh são disponibilizados na rede para beneficiamento de outras cargas da universidade.

Do ponto de vista da carga da BC, o SFV atende a maior parte da energia consumida pelo prédio, correspondendo ao fornecimento de 53% da energia anual consumida.

A Figura 26 apresenta o balanço energético mensal da edificação com o SFV, estando este dividido entre a energia injetada pelo SFV na edificação, a energia da rede utilizada pela edificação e a energia gerada excedente que é disponibilizada na rede interna da universidade.

Analisando o período mensal, é possível observar que todos os índices sofrem variações ao longo do ano, oscilando conforme variáveis como a sazonalidade solarimétrica, responsável pela maior ou menor geração de energia do SFV, e o período letivo, de maior ou menor consumo de energia.

Figura 26 - Balanço energético do sistema com o SFV.



Fonte: Autor.

Apesar das variações de ambos fatores, é interessante notar que tanto a carga da BC quanto a energia gerada pelo SFV apresentam seus menores patamares no início do ano. No mês de agosto há uma paridade entre a energia gerada e a consumida, isto ocorre devido ser um período de alto índice solarimétrico (verão amazônico) e baixo consumo (retorno de férias).

Entretanto, agosto é o mês em que a maior quantidade de energia gerada é injetada na rede, devido à combinação de aumento da geração e redução da carga ocorrendo no mesmo período do dia, acarretando neste grande excedente de energia.

Quando se trata apenas da análise diária, é interessante verificar que os maiores valores de energia injetada na rede pelo SFV correspondem ao período de férias, enquanto os menores

valores injetados na rede correspondem ao período letivo. Esse fato ocorre devido a curva de carga diária da BC apresentar um topo menor durante a geração de energia pelo SFV no período de férias.

Paro o caso em estudo, a energia disponibilizada na rede não é convertida em crédito para posterior utilização, pois as demais cargas conectadas à rede elétrica da universidade consomem a mesma.

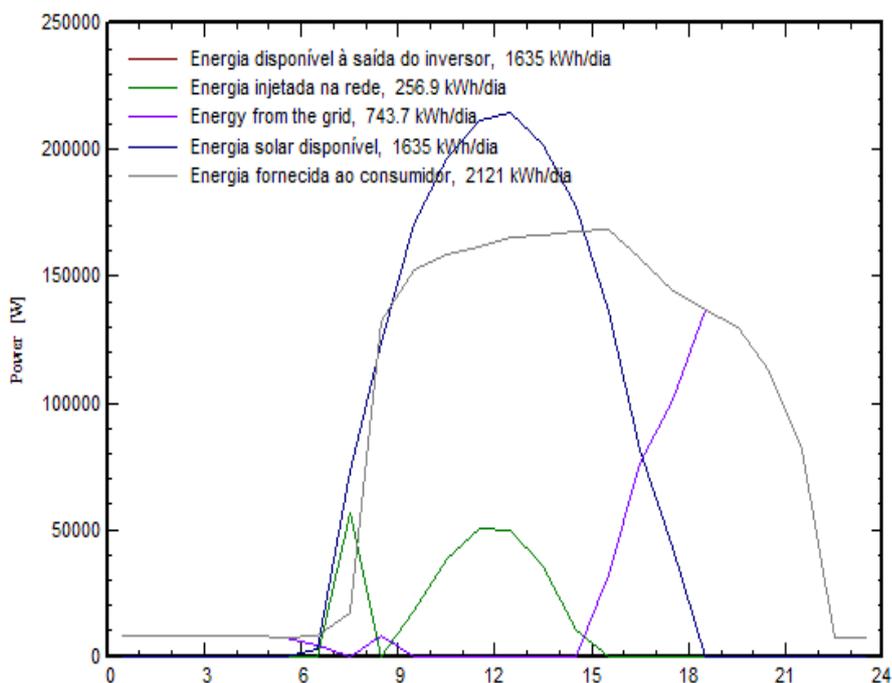
5.2.1 Características do sistema para variações de carga e DRS

5.2.1.1 Alta disponibilidade do recurso solar

Em um dia letivo de alta Disponibilidade do Recurso Solar (DRS) o SFV pôde atender quase que a totalidade da carga, pois gerou aproximadamente 77% da energia total demandada pela carga. Entretanto, apenas 65% é realmente utilizada no prédio, pois parte dessa energia gerada é disponibilizada na rede.

A Figura 27 apresenta o comportamento habitual de consumo de período letivo da universidade e um dia de geração completa, de modo que o SFV gera 1635 kWh de 6 h às 9 h; sendo que de 9 h às 15 h a geração de energia é superior ao consumo da edificação, disponibilizando 256,9 kWh na rede. A partir das 15 h a demanda passa a ser maior do que a geração, consumindo o total de 743,7 kWh da rede.

Figura 27 - Curva de potência dos sistemas para um dia letivo e de alta DRS.

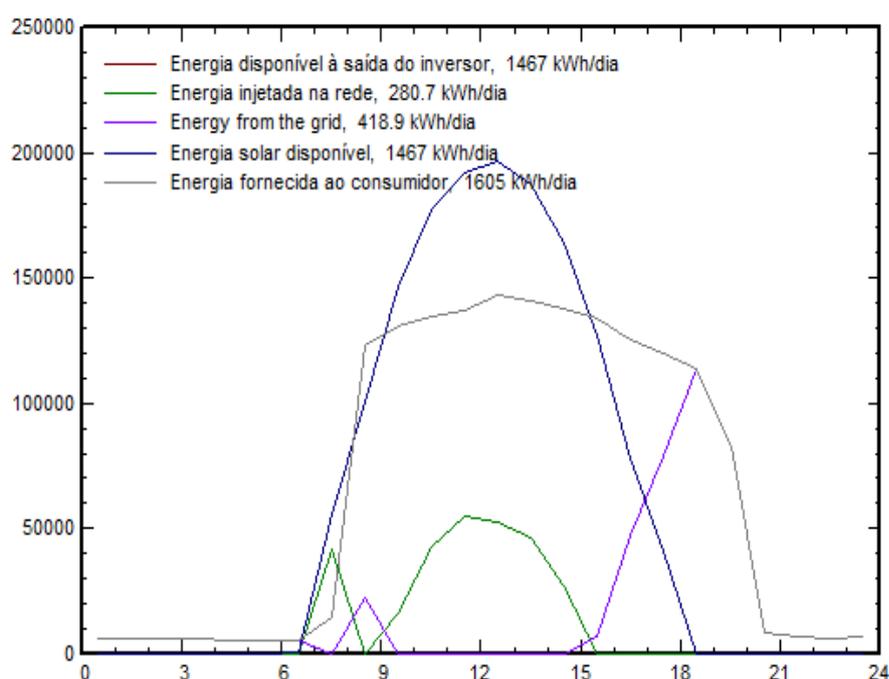


Fonte: Autor.

No caso do um dia no período de férias, apresentado na Figura 28, o SFV gera um pouco menos de energia que o caso anterior, porém apresenta uma maior eficiência em termos de suprimento da demanda da carga da BC, atendendo a aproximadamente 74% da carga total, ou seja, dos 1605 kWh demandados pela carga o SFV forneceu 1186,3 kWh.

Esse melhor aproveitamento da energia gerada ocorre devido a redução do período de funcionamento da biblioteca, passando a fechar 2 h mais cedo do que no período letivo e, conseqüentemente, a maior parte do consumo de energia coincide com o período de geração de energia do SFV.

Figura 28 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de alta DRS.



Fonte: Autor.

Outra característica interessante deste período é uma maior disponibilidade de energia para a rede, de 280,7 kWh, pois além da redução do tempo de funcionamento da edificação, há uma redução de pico, no intervalo entre 9 h e 15 h.

Já a Figura 29 apresenta um comportamento típico de finais de semana e feriados, onde a maior parte da energia produzida é injetada diretamente na rede durante todo o período de geração do SFV.

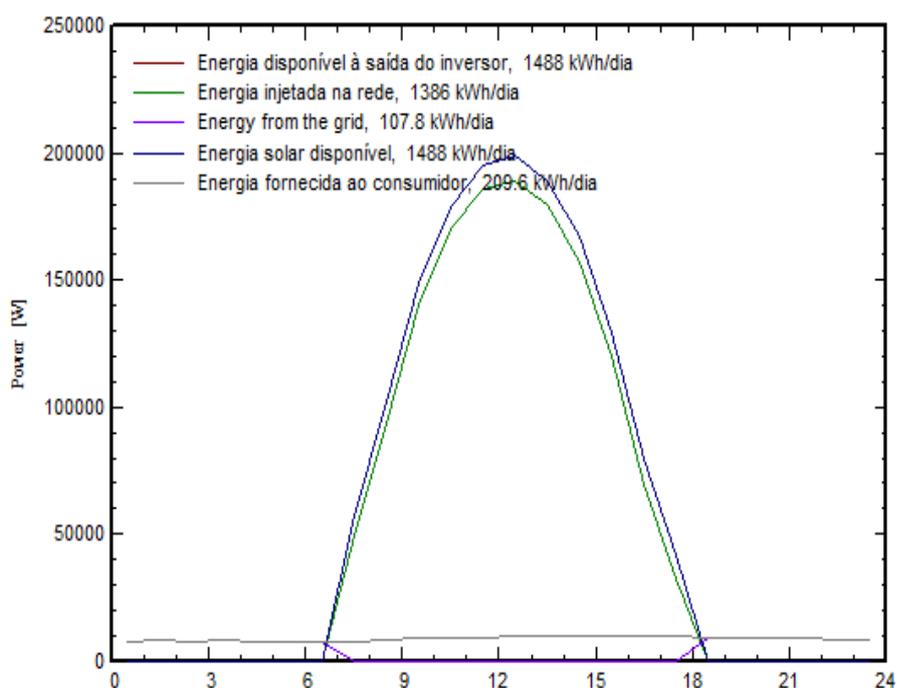
É possível verificar uma diferença entre a curva da energia gerada e da disponibilizada na rede, pois parte da energia produzida não é disponibilizada na rede. Isso ocorre devido ao

abastecimento da carga residual do sistema da BC, essa carga refere-se a demanda de energia mínima quando não há qualquer expediente no prédio.

Esse cenário, em que há uma alta produção de energia local pelo SFV e uma carga mínima, é propício ao surgimento de sobretensões na rede, podendo impactar na rede de distribuição interna do campus e danificar equipamentos e dispositivos que estejam ligados a ela.

A verificação desse impacto depende de uma análise criteriosa envolvendo as características da rede de distribuição local.

Figura 29 - Curvas horárias de potência do sistema de um domingo de férias e de alta disponibilidade do recurso solar.



Fonte: Autor.

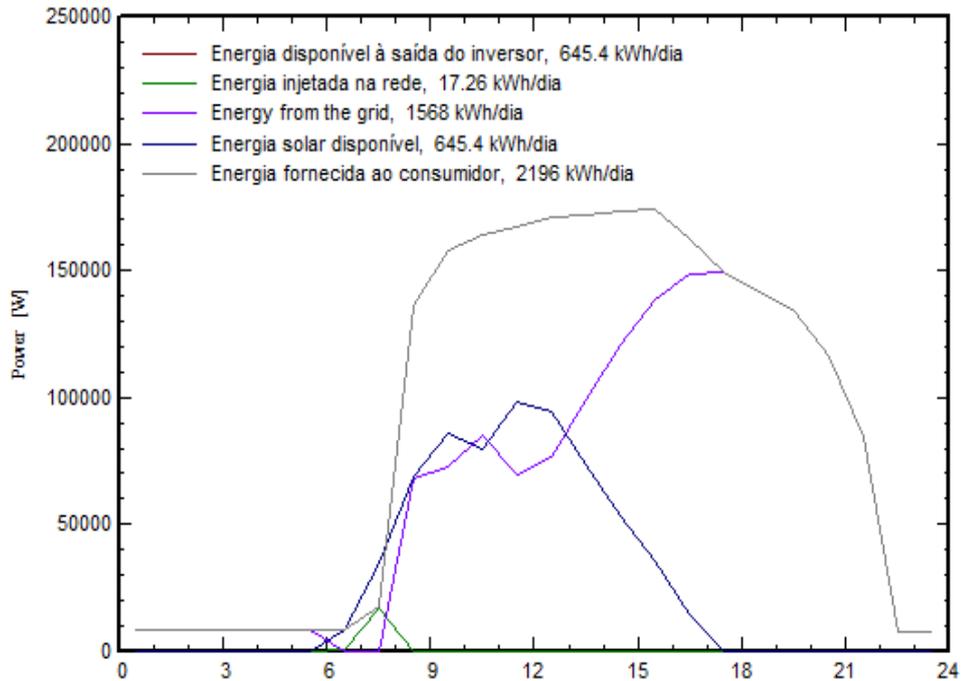
5.2.1.2 Média disponibilidade do recurso solar

Para dias de média DRS foram identificadas as mais variadas curvas de potência dos sistemas. Essa variação está relacionada a variação de diferentes parâmetros ao longo do dia, como a variabilidade do recurso solar e a variação da carga.

A Figura 30 e a Figura 31 apresentam o comportamento do sistema em condições de média disponibilidade do recurso solar. É possível observar que no dia letivo, Figura 30, o SFV gerou 645,5 kWh atendendo apenas 29% dos 2196 kWh demandados pela carga da BC, de modo que a maior parte da carga do edifício foi suprida pela energia da concessionária, ou seja, os outros 71%. Enquanto o dia no período de férias, caracterizado na Figura 31, a

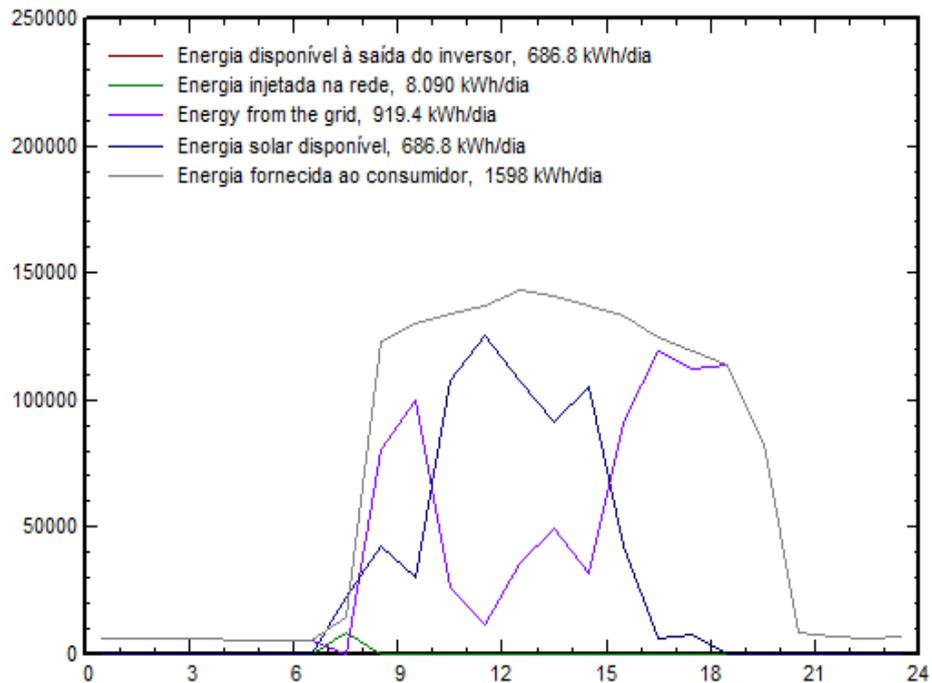
geração de 686,8 kWh pelo SFV pode atender a 40% dos 1598 kWh demandados pela edificação.

Figura 30 Curva de potência dos sistemas para um dia letivo e de média DRS.



Fonte: Autor.

Figura 31 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de média DRS.

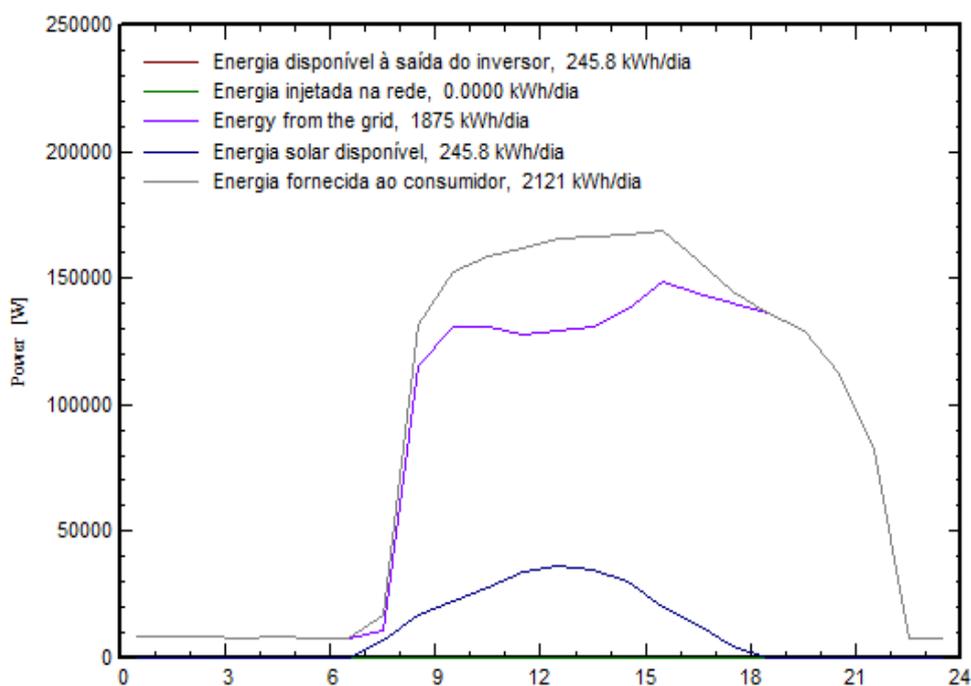


Fonte: Autor.

5.2.1.3 Baixa disponibilidade do recurso solar

Semelhante ao período de média DRS, os períodos de baixa DRS também apresentam características bastante variadas para cada dia. Nestes casos, grande parte da carga é abastecida pela energia da rede, tendo o SFV uma parcela restrita de atuação, no entanto de muita importância na redução da demanda no período de pico de carga, ver Figura 32 e Figura 33.

Figura 32 - Curva de potência dos sistemas para um dia letivo e de baixa DRS.



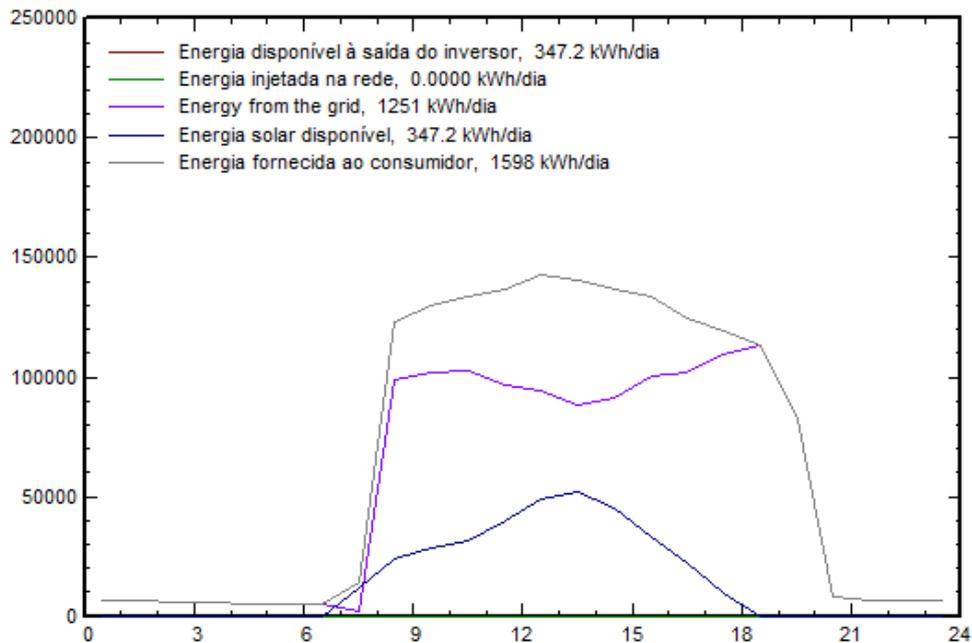
Fonte: Autor.

A Figura 32 apresenta o desempenho do SFV em um dia de baixa DRS durante o período letivo. Nessas condições o SFV atende apenas a 22% dos 2121 kWh demandados pela carga da edificação, sendo os outros 78% da carga, ou seja, 1875 kWh, atendidos pela energia da distribuidora. Para período de férias, apresentado na Figura 33, o SFV gera 347,2 kWh dos 1598 kWh consumidos pela carga, sendo 1251 kWh fornecidos pela rede.

Embora em dias de baixa DRS o desempenho do SFV não seja dos melhores, é importante verificar que a baixa quantidade de energia gerada é suficiente para reduzir o pico de carga. A redução do pico da carga presente nas várias condições de disponibilidade do recurso solar, é uma medida de eficiência energética que permite uma redução da fatura de energia através da redução do contrato de demanda.

Essa medida, entretanto, não cabe a esse estudo, tendo em vista que o consumo de energia da BC não é faturado individualmente, representando apenas uma pequena parte da energia total do campus que é faturada.

Figura 33 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de baixa DRS.



Fonte: Autor.

5.3 Sistema de armazenamento

Como já apresentado no Tópico 5.2, embora o SFV seja capaz de produzir energia suficiente para atender 78% da energia demandada pela BC, a quantidade de energia realmente utilizada é inferior a esse valor, pois parte da energia gerada é injetada na rede.

A utilização do SA permitiu que parte do excedente da energia gerada pelo SFV, que seria injetada na rede, pudesse ser aproveitada pela edificação, aumentando seu nível de independência da energia da distribuidora.

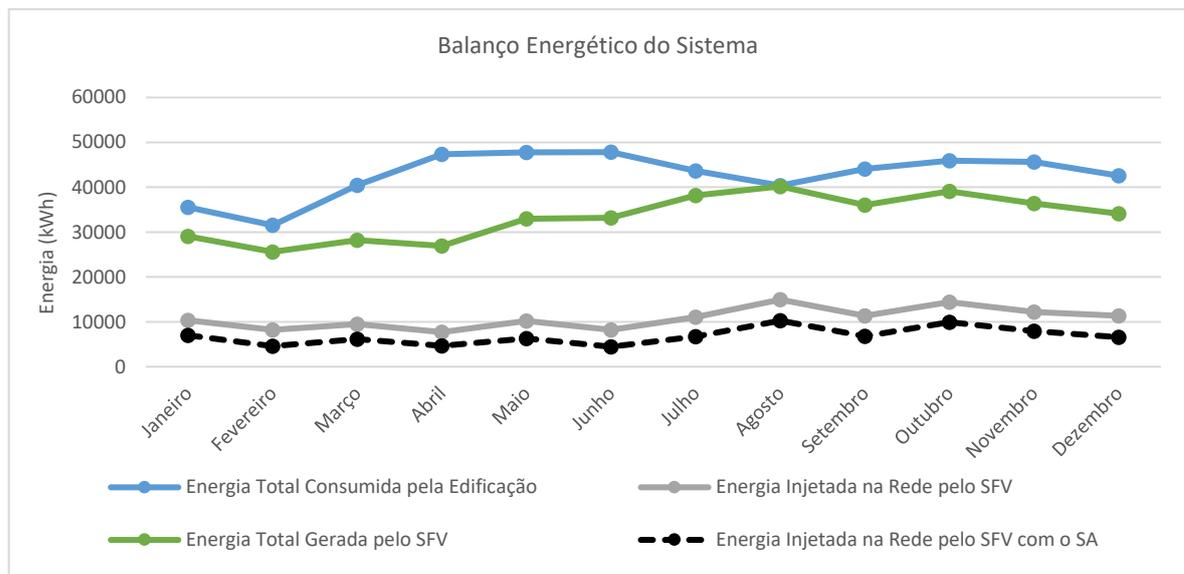
Dessa forma, a quantidade de energia, gerada pelo SFV, que beneficia a carga da edificação aumentou de 68% para 77%, ou seja, passa a serem disponibilizados na rede para outras cargas apenas 81,41 MWh.

A Figura 34 apresenta essa redução a energia disponibilizada na rede, onde a curva em cinza ilustra a utilização apenas do SFV e a curva, a baixo, tracejada em preto apresenta valores inferiores para a integração do SFV e SA.

Essa redução da energia injetada na rede reflete no aumento da independência elétrica da carga em relação a rede. Esta característica se torna mais evidente quando se verifica na Figura 35 a redução da energia proveniente da rede elétrica, para todos os meses, com a utilização do SA, em comparação a utilização exclusiva do SFV.

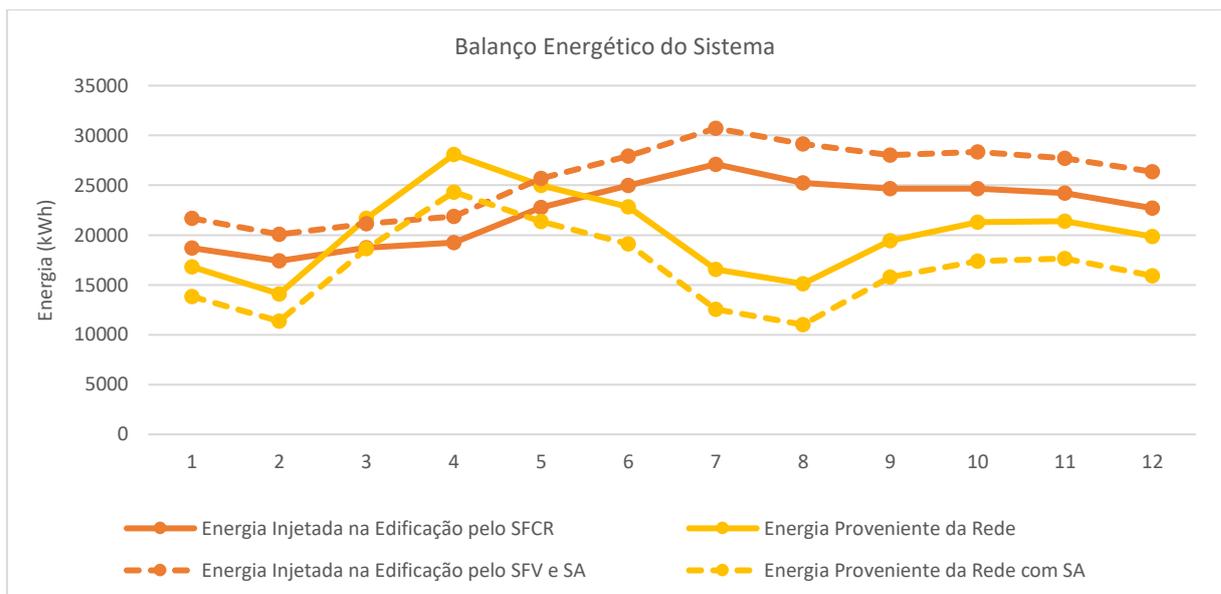
De maneira contrária, com a utilização do SA é verificado nas curvas laranja um aumento da energia gerada pelo SFV que beneficia a edificação.

Figura 34 - Balanço energético anual do sistema.



Fonte: Autor.

Figura 35 - Curvas anuais de consumo de energia da edificação, proveniente das diferentes fontes.



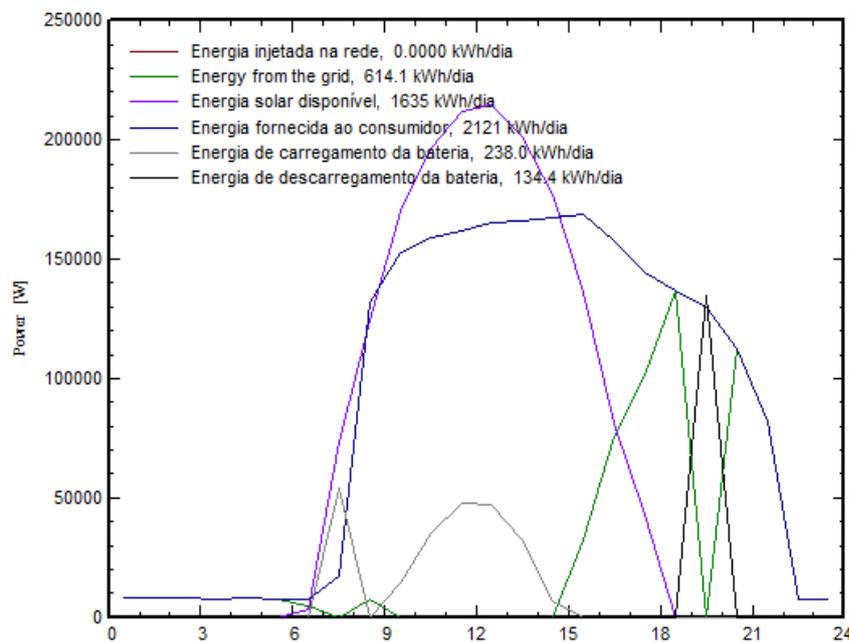
Fonte: Autor.

5.3.1 Características do sistema para variações de carga e DRS

5.3.1.1 Alta disponibilidade do recurso solar

Com a integração do SFV e do SA à carga é possível verificar que o excedente de energia, que antes era injetado na rede, passa a ser utilizado para o carregamento do SA, ver Figura 36. É possível verificar que o SA injeta energia na edificação próximo das 18:30 h até as 20:30 h, passando o sistema a atender a 71% da carga.

Figura 36 - Curva de potência dos sistemas para um dia letivo e de alta DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.



Fonte: Autor.

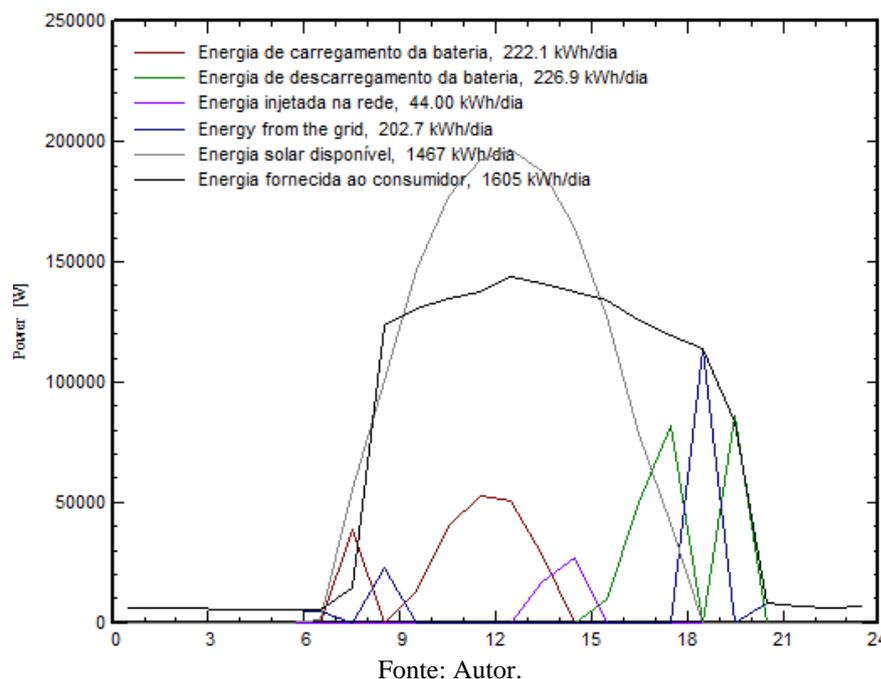
Esse período está dentro do horário crítico de demanda da distribuidora local, horário de ponta, contribuindo, além da redução da carga neste período, para uma importante redução de custo com energia elétrica da universidade, visto o alto preço da energia neste horário. A utilização do SA permitiu uma redução de 18% no consumo de energia da distribuidora, ou seja, 614,1 kWh.

A utilização do SA para um dia de alta DRS e no período de férias, permitiu que o sistema integrado passasse a atender cerca de, 87% da edificação, cerca 1.402 kWh, ver Figura 37.

Neste cenário houve uma redução de 52% no consumo de energia da distribuidora, pois 226,9 kWh de excedente do SFV, armazenados no SA, puderam atender grande parte desse consumo no período de ponta.

Os níveis de independência da energia da rede atingidos são bastante satisfatórios, visto que ainda eles não consideram intervenções que podem ser realizadas na carga por meio de medidas de eficiência energética, visando reduzir o pico de consumo da edificação, estreitamento da curva de carga nos períodos sem geração pelo SFV e assim, aproximar mais dos 100% de independência da carga em relação a energia da rede. É interessante verificar que para ambos os cenários de variação da carga, todo o excedente de energia gerado pelo SFV pôde ser absorvido pelo SA, não havendo excedente injetado na rede.

Figura 37 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e alta DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.



5.3.1.2 Média disponibilidade do recurso solar

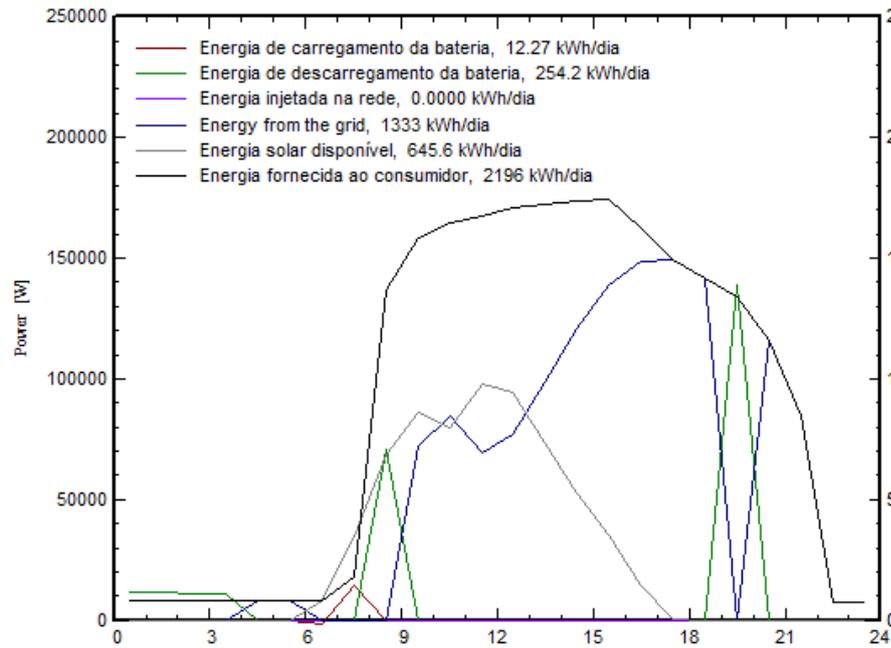
Para dias de aula e média DRS, quando introduzido o SA, houve uma redução de 15% no consumo de energia da rede devido aos 254,2 kWh que o mesmo disponibiliza para a carga, em dois períodos do dia, ver Figura 38.

Embora neste dia o SFV tenha gerado um excedente de energia ínfimo de 12,27 kWh para abastecer o SA, este já apresentava anteriormente um nível de carga alto, proveniente dos excedentes de energia dos dias anteriores. Dessa forma; neste dia a integração SFV+ SA foi capaz de atender cerca de 40% da carga, enquanto apenas com o SFV esse valor foi de 29%.

No caso do dia de férias e média DRS apresentado na Figura 39, a integração do SFV+SA pôde atender a 892,8 kWh, aproximadamente 56% da energia total consumida na edificação.

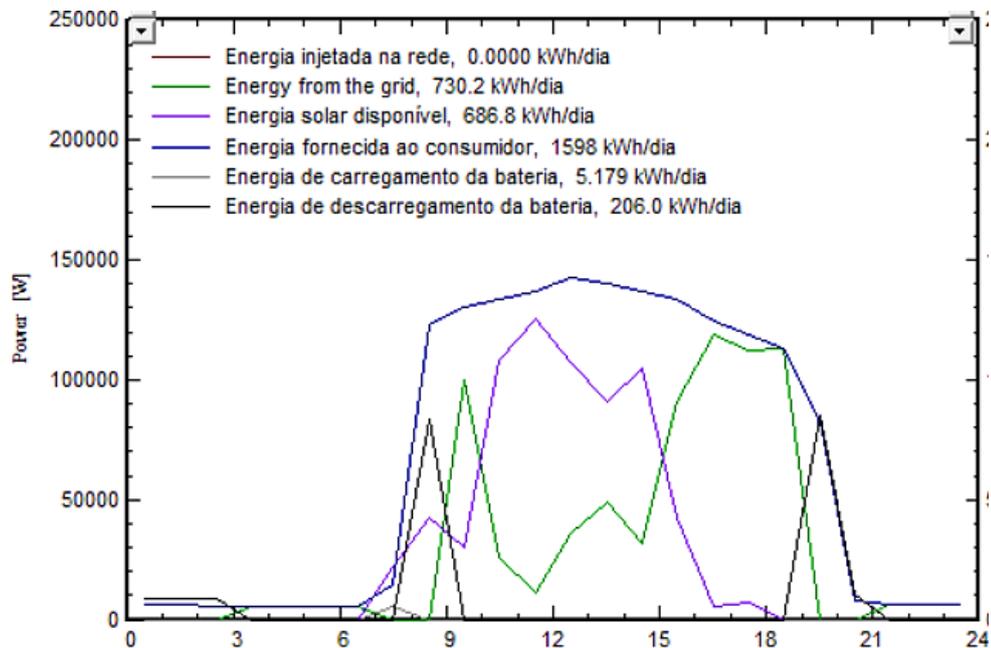
Isso corresponde a um aumento de aproximadamente 13% em relação a integração apenas do SFV.

Figura 38 - Curva de potência dos sistemas para um dia de aula e de média DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.



Fonte: Autor.

Figura 39 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de média DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.



Fonte: Autor.

Apesar desse expressivo aumento da porcentagem de energia atendida pela SFV+SA, o SFV gerou um excedente de energia de apenas 5,1 kWh, enquanto o SA foi capaz de injetar 206 kWh na edificação.

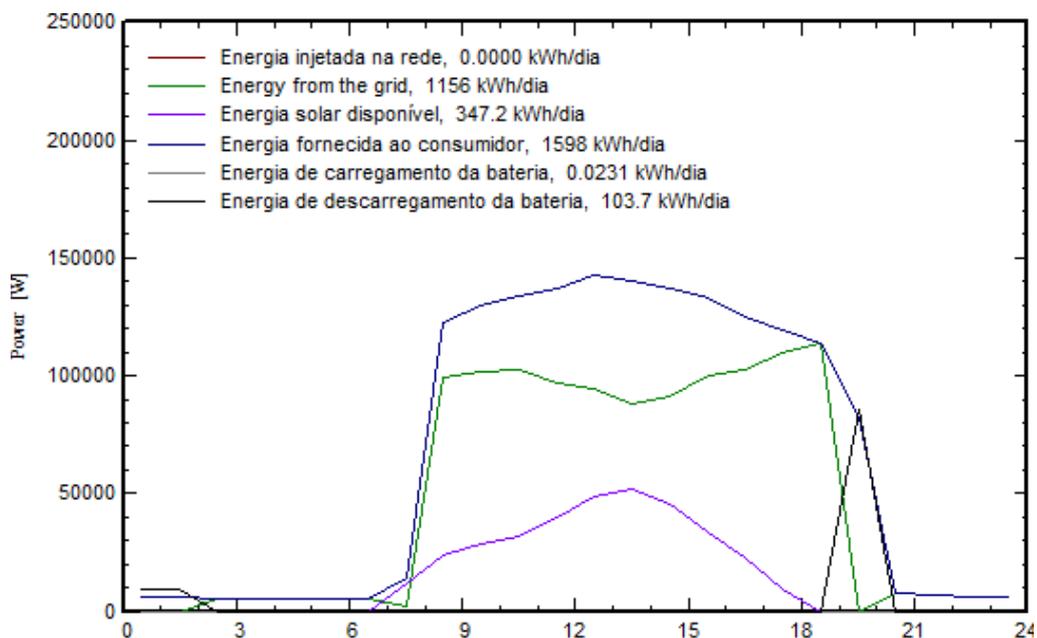
Conforme citado no Tópico 5.2, são encontradas em dias de média DRS uma grande diversidade de curvas de geração de energia fotovoltaica e de consumo. Sendo que estas curvas influenciam diretamente na forma de operação do SA.

Nessa condição, a capacidade de operação do SA para um determinado dia, depende diretamente das curvas de geração e consumo dos dias anteriores, tornando cada dia particular. Essa dependência diária torna-se mais evidentes quanto menor for a geração de energia em relação ao consumo.

5.3.1.3 Baixa disponibilidade do recurso solar

Para esta condição de DRS em um dia de férias, a utilização do SA permitiu que os excedentes de energia gerada em dias anteriores pudessem ser injetados na edificação, causando a redução de 85,78 kWh, ou seja 8%, na energia consumida pela edificação. Portanto, tal medida aumentou o nível de independência da edificação em relação a rede passando a suprir 30% da carga, anteriormente de 22% com apenas o SFV. A Figura 40 apresenta as curvas de potência dos sistemas analisados, com a presença do SA, para um dia de baixa DRS.

Figura 40 - Curva de potência dos sistemas para um dia de férias e de baixa DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.



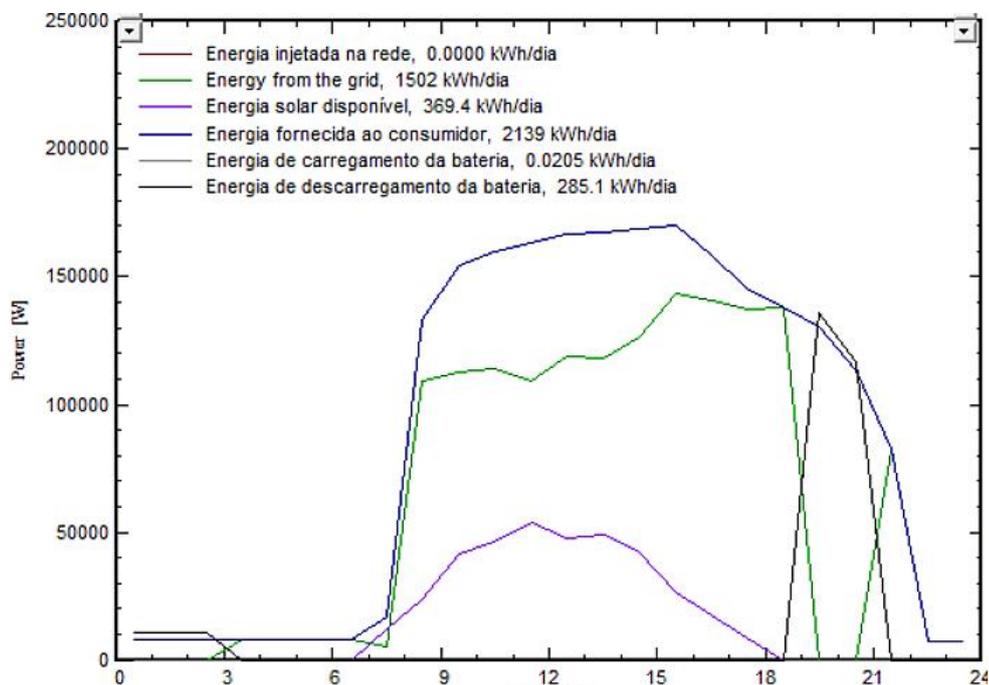
Fonte: Autor.

No caso do dia letivo, o SA supriu 285,1 kWh, aproximadamente 13%, da energia consumida pela edificação, entretanto a combinação SFV + SA foi responsável por beneficiar 30% do consumo total da carga nesse dia. A Figura 41 apresenta as respostas das curvas de potência dos sistemas analisados para um dia de aula e de baixa DRS.

Na Figura 41 é possível observar que devido ao período letivo apresentar uma curva de carga com consumo prolongado durante o horário de ponta, o SA injetou uma quantidade de energia maior em relação ao dia de férias, para este mesmo período.

Tanto para o dia letivo quanto para o dia de férias apresentados pela Figura 40 e Figura 41, o SA não apresentou um período de carregamento ao longo dia, embora este tenha sido capaz de injetar energia suficiente para abastecer a rede no período final da curva de consumo. Essa redução no consumo de energia da rede ocorre exclusivamente no horário de ponta, característica que a torna ainda mais importante por garantir uma maior economia no custo da energia para o consumidor e ameniza a demanda da rede para concessionária.

Figura 41 - Curva de potência dos sistemas para um dia de aula e de baixa DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.

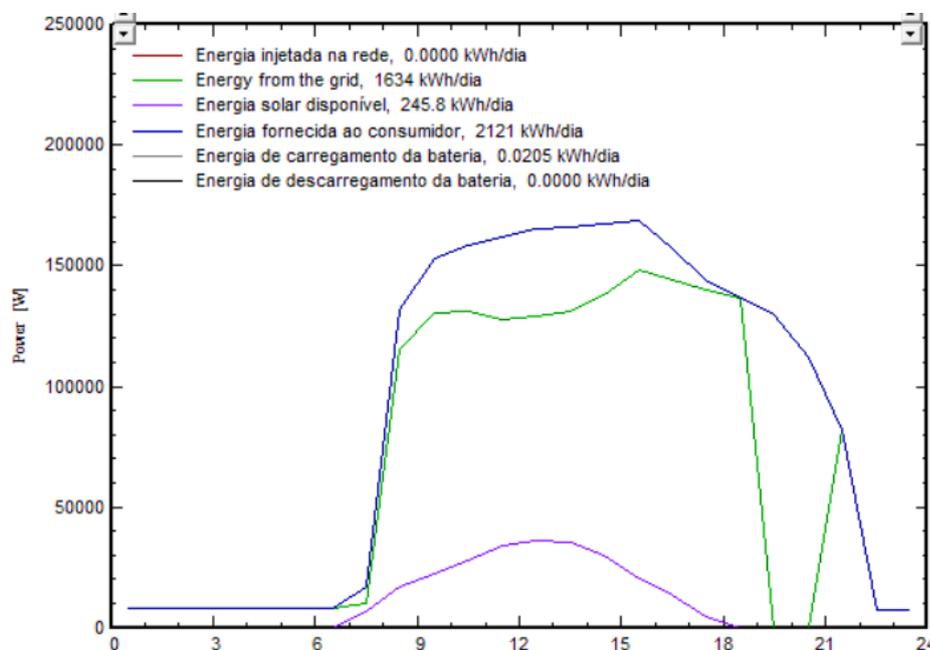


Fonte: Autor.

Entretanto, é importante salientar que a utilização do sistema de armazenamento deve estar associada a uma estratégia de gestão da energia que preveja certas condições meteorológicas desfavoráveis ao sistema. Houve dia em que o SA apresentou baixos níveis de carga provenientes de consecutivos dias de baixa DRS, consequentemente essa condição ocasionou

em dias sem injeção de potência na carga. A Figura 42 apresenta um dia de baixa DRS, em que o SA não foi capaz de atender a demanda energética da edificação.

Figura 42 - Curva de potência dos sistemas para um dia de aula e de baixa DRS, em que o SA não foi capaz de atender a carga.



Fonte: Autor.

5.3.1.4 Fim de semana e feriados

Durante os sábados, em regra, a biblioteca funciona de 8h às 12h, enquanto no restante do final de semana ela permanece fechada sem que nenhum tipo de serviço seja realizado em suas dependências. Essa característica permite que a carga demanda pela edificação seja mínima, após o encerramento das atividades.

No entanto, como verificado anteriormente, a disponibilidade de energia pelo SFV está intimamente ligada a variabilidade do recurso solar, o qual pode criar diferentes cenários de oferta de energia aos finais de semana.

É importante destacar que condições de injeção de altos valores de potência durante o período de baixa carga podem gerar impactos na rede elétrica.

A Figura 43 apresenta um cenário de baixa DRS no sábado e alta DRS no domingo. Nela é possível verificar que no sábado, a energia gerada foi suficiente para atender a carga e abastecer o SA, sem demandar grandes esforços a rede. Entretanto, no domingo o SA não foi capaz de reduzir de forma significativa o pico de potência gerada pelo SFV, criando um cenário de possível impactos a rede de distribuição.

Para o caso de um sábado com alta DRS seguido de um domingo de baixa DRS, como mostra a Figura 44. O SA foi capaz de reduzir o pico da potência disponibilizada pelo SFV no sábado, evitando um cenário de possíveis impactos na rede. Durante o domingo parte da energia gerada pode ser usada para abastecer o SA e o restante foi injetado na rede sem ultrapassar os valores de demanda máxima da edificação.

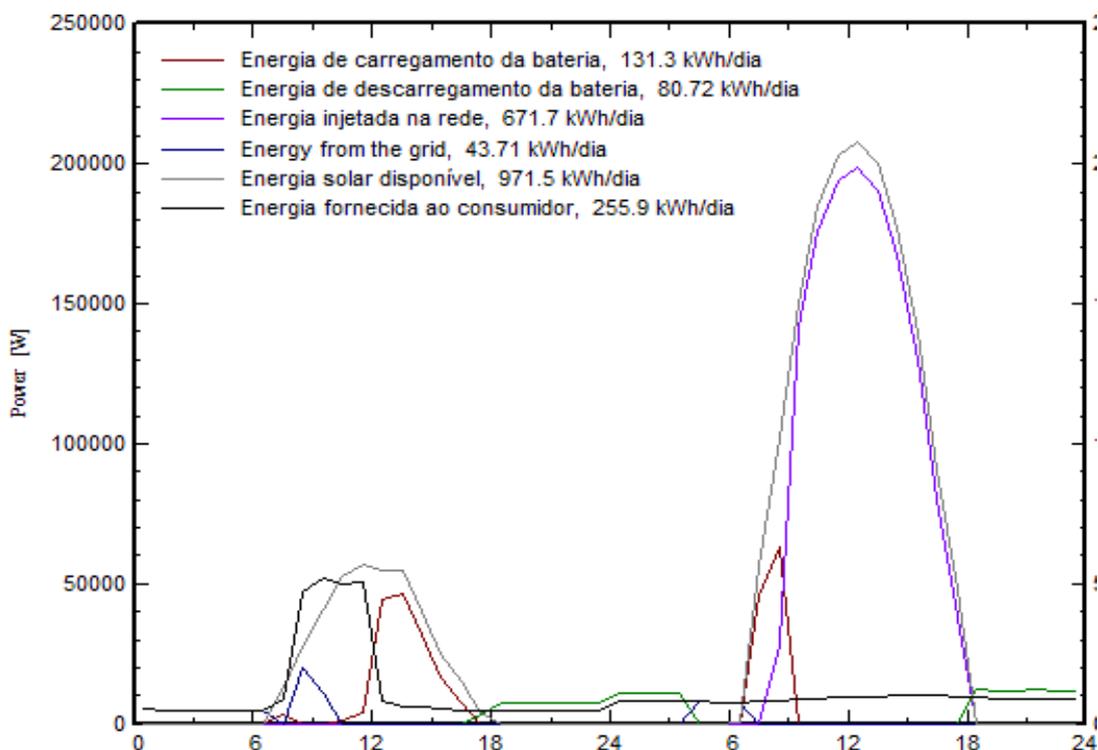
No caso de dois dias sucessivos de alta DRS, ver Figura 45, o SA apresentou no primeiro dia um bom desempenho na redução do pico da potência que seria injetada na rede.

No segundo dia, devido ao estado de carga do SA estar quase que completo, ele não pôde absorver uma quantidade de energia suficiente, a fim de evitar o pico de potência injetada na rede. Esse cenário é propício a impactos na rede como, sobretenção, sobrecarregamento de transformadores e outros.

É interessante verificar que para todos os cenários apresentados anteriormente, durante o período entre o fim da geração de energia no sábado para aproximadamente o início da geração no domingo, o SA injeta energia na edificação abastecendo toda a carga.

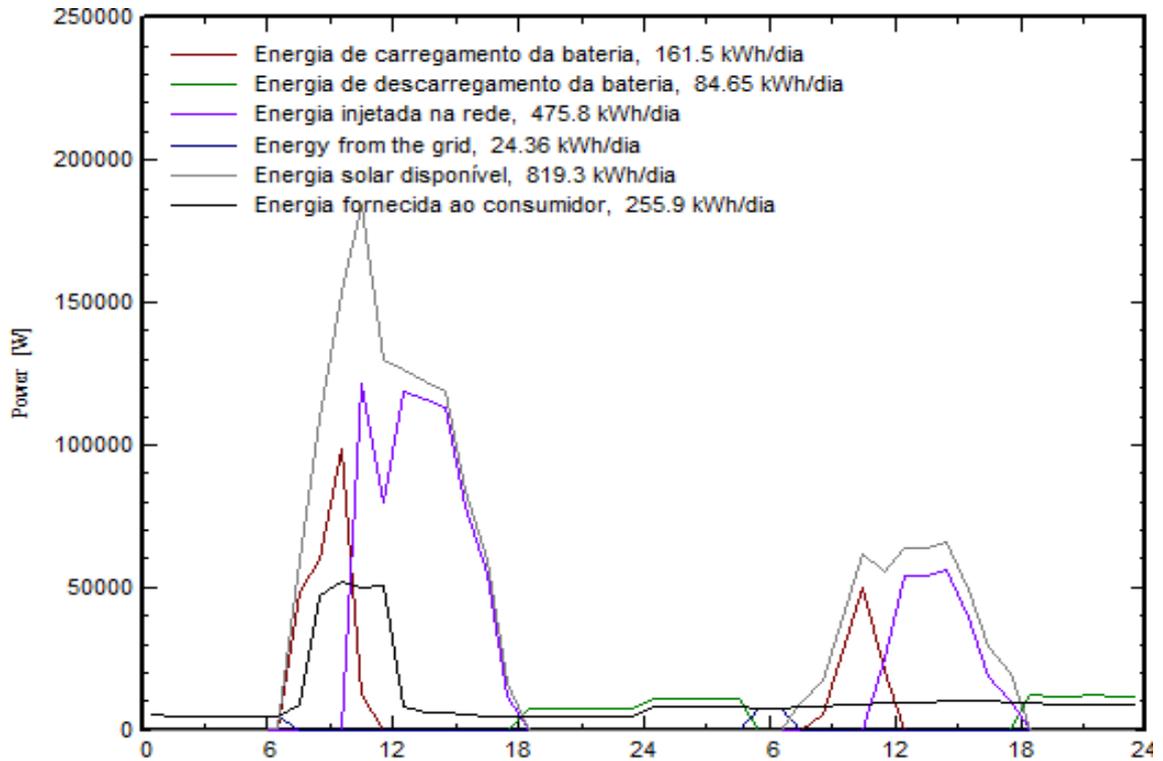
Todavia, essa descarga do SA não é suficiente para mitigar o pico de geração de dois dias consecutivos de baixa carga e alta DRS.

Figura 43 - Curva de potência dos sistemas para um fim de semana composto por um dia de baixa DRS seguido de um dia de alta DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.



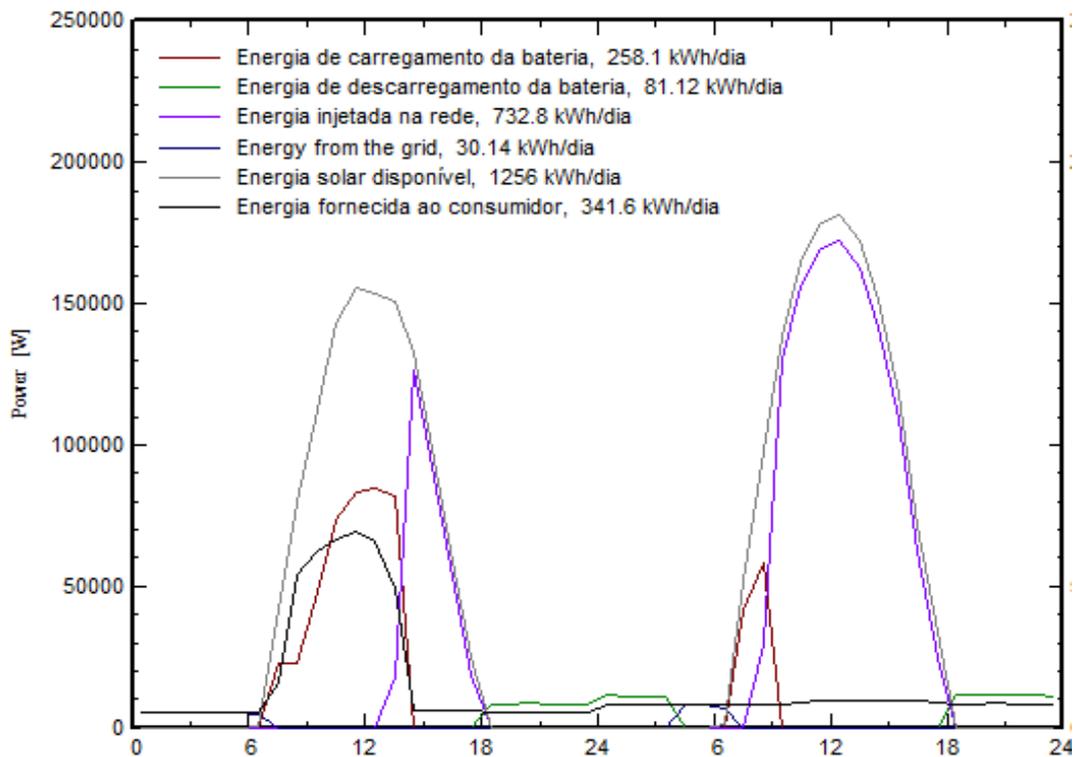
Fonte: Autor.

Figura 44 - Curva de potência dos sistemas para um fim de semana composto por um dia de alta DRS seguido de um dia de baixa DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.



Fonte: Autor.

Figura 45 - Curva de potência dos sistemas para um fim de semana composto por dois dias consecutivos de alta DRS, considerando o SFV e o SA integrados a carga.



Fonte: Autor.

5.4 Análise crítica em relação a EEZ

Por meio dos 3 sistemas propostos foram obtidos diferentes resultados, com características particulares e complementares que promovem a eficiência energética do edifício da Biblioteca.

Em se tratando de Edifícios de Energia Zero, as propostas de Sistema de Iluminação (SI) e a implantação do sistema fotovoltaico se mostram eficazes na redução do consumo energético da BC, sendo esta a principal característica vislumbrada por projetos que buscam atender a este conceito.

Com a proposição da introdução do Sistema de Armazenamento, o conceito de EEZ extrapola da simples busca por um balanço energético líquido igual a zero e passa a considerar a busca pela independência zero da carga em relação a rede elétrica tradicional.

O SA proposto, por sua vez, se mostrou bastante interessante e hábil em atender essa característica, melhorando o perfil de consumo diário da edificação por meio da gestão do excedente de energia do SFV.

As Figura 46 e Figura 47 apresentam o balanço energético de cada dia analisado, com a utilização do SFV, do SFV+SA, do SFV+SI e do SFV+SA+SI, sendo respectivamente dois em cada. No eixo vertical é representada a energia consumida pela edificação para cada dia, enquanto o eixo horizontal representa a energia injetada na edificação e na rede elétrica. A reta em laranja determina a faixa de Energia Zero (EZ), onde o balanço energético diário se torna zero.

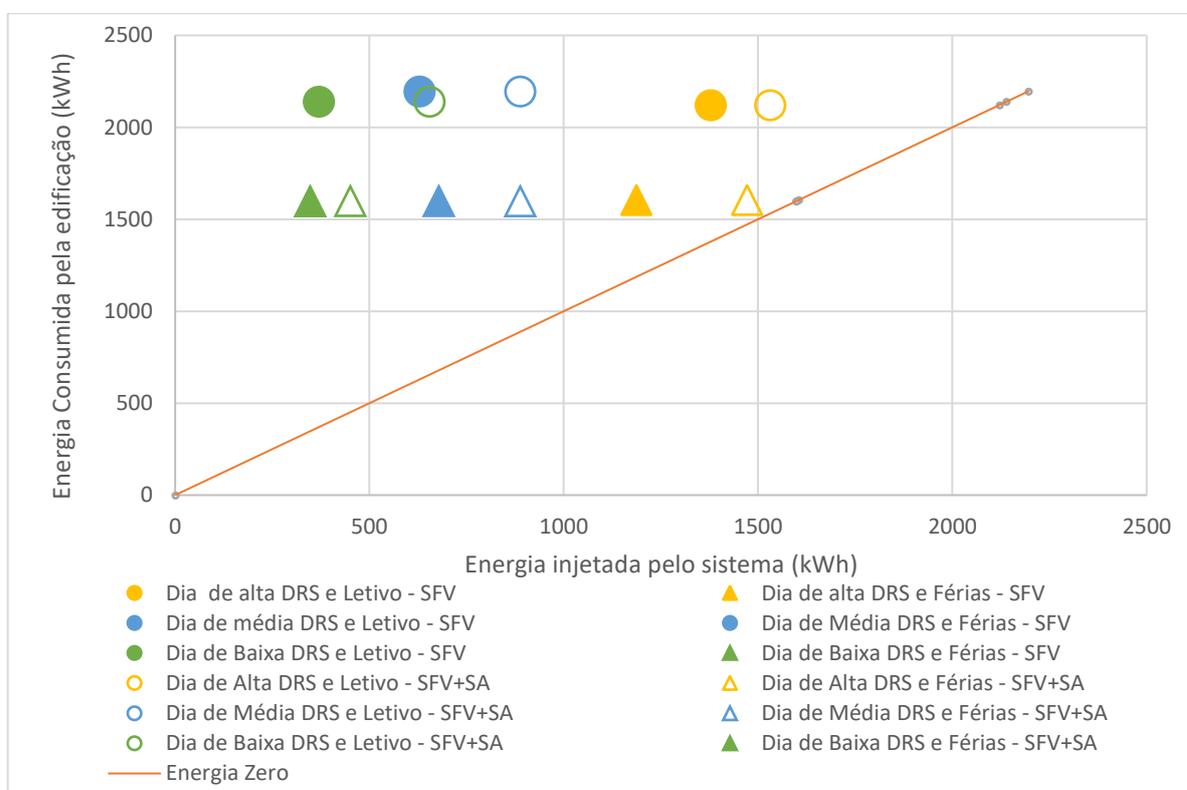
Dessa forma, a região a esquerda da reta caracteriza que o consumo diário da edificação está acima da energia disponível pelo SFV e SA, havendo duas formas de atingir a reta de Energia Zero. A primeira seria realizando um deslocamento vertical por meio de ações de eficiência energética que visam a redução do consumo. Enquanto a segunda seria realizando um deslocamento horizontal com o aumento da energia disponível naquele dia, por meio do aumento do SFV e/ou SA. Vale destacar que ambas as formas são complementares no processo de tornar a edificação eficiente.

É possível verificar que todos os dias analisados na Figura 46 encontram-se no lado esquerdo da reta EZ. Isso mostra que a intervenção energética isolada da proposta de SFV e SA não é suficiente para atingir a reta EZ. No entanto, pode-se verificar que a utilização do SFV+SA aproximou os marcadores diários da curva EZ, quando comparados com os

marcadores com a utilização apenas do SFV. Vale ainda destacar que os dias de alta DRS ficaram mais próximos da curva EZ, com destaque para o dia de férias com SFV+SA que ficou bem próximo de atingir o conceito de energia zero.

Quando considerada a implantação das medidas de eficiência energética do SI, a BC teve uma redução de 44% no consumo energético total. Essa redução permitiu que o montante de energia gerada pelo SFV seja equivalente a 140% do consumo total anual da edificação. Portanto, o SFV é capaz de atender a demanda energética anual líquida da BC e beneficiar outras cargas da universidade com os 40% de energia líquida excedente.

Figura 46 - Balanço energético diário para a utilização dos SFV e do SFV+SA.



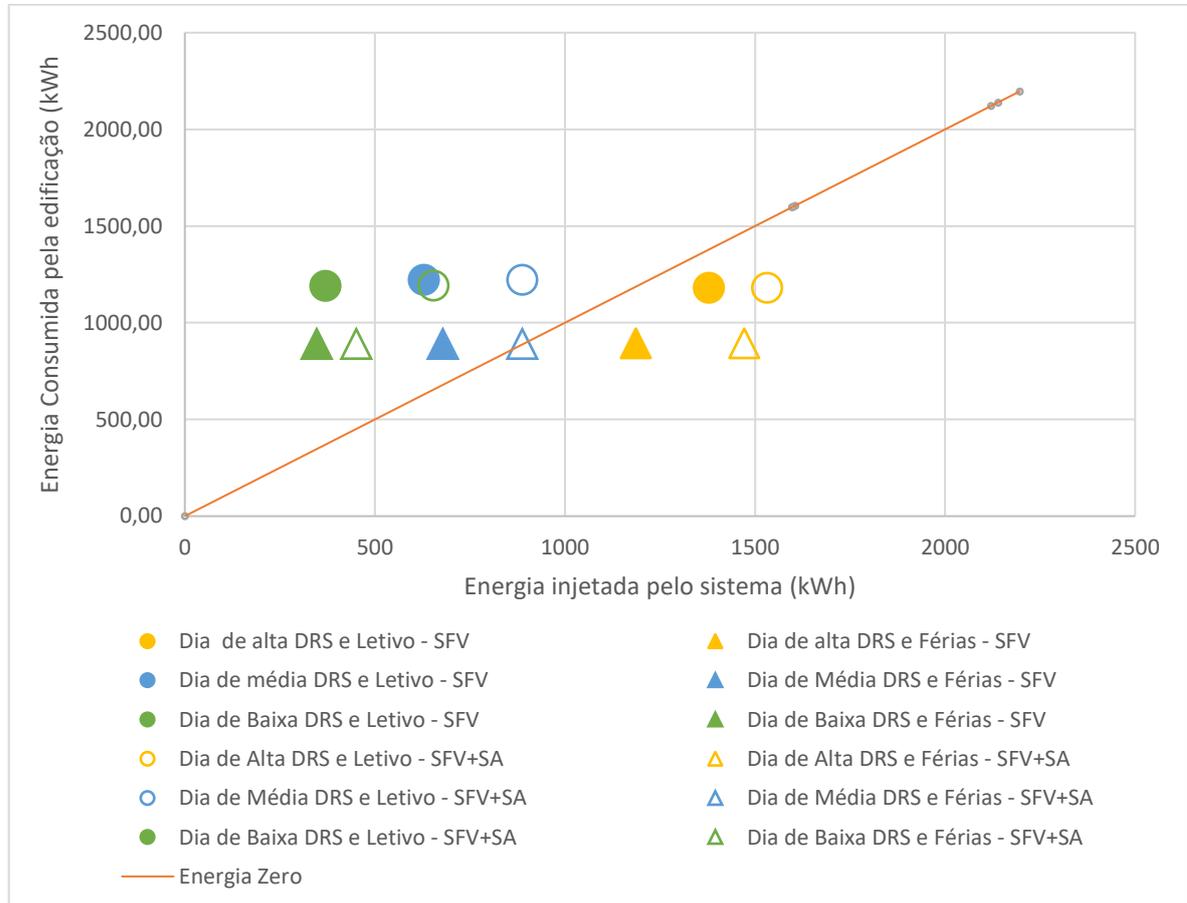
Fonte: Autor.

Esta proporção verificada garante o atendimento do conceito de Edifício de Energia Zero pela edificação da BC e vai além. A edificação deixa de ser apenas um prosumidor e passa a ser um gerador, pois em termos de balanço líquido de energia ele passa ser visto como uma fonte de energia na rede.

Na análise diária, apresentada na Figura 47, é possível verificar que a aplicação do SI permitiu que os marcadores diários sofressem um deslocamento horizontal, característico da redução de consumo da edificação. Com isso os marcadores ficaram distribuídos em torno da

reta EZ, caracterizado uma equivalência entre a energia gerada e a consumida, assim como um melhor aproveitamento da energia gerada.

Figura 47 - Balanço energético diário para a utilização dos SFV+SI e do SFV+SA+SI.



Fonte: Autor.

Vale destacar que metade dos marcadores diários que contemplam os 3 sistemas estão posicionados a direita da reta EZ. Esta região representa que o sistema possui uma capacidade de atendimento de energia superior à que está sendo utilizada para abastecer a edificação, que, dentro do contexto da BC, pode ser utilizada no atendimento dos outros prédios no período de ponta e/ou fora-ponta.

Dessa forma, a equiparidade de marcadores dos dois lados da reta é um indicativo do bom dimensionamento do SFV e SA para o novo consumo da edificação, confirmando a efetividade da combinação dos métodos ativos propostos neste trabalho.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Edificação de Energia Zero é um conceito complexo com várias interpretações já existentes que ressaltam diferentes aspectos do EEZ. Além do que, o cálculo do balanço energético de um edifício equipado com sistemas de geração de energia renovável no local e/ou fora do local e/ou interagindo com a rede de concessionárias e se esforçando para cumprir a meta 'zero' não é uma tarefa fácil. Além disso, sem um suporte padronizado claro para a metodologia de cálculo "zero".

O trabalho evidenciou alguns dos conceitos de EEZ, destacando as principais técnicas e tecnologias utilizadas. Dentre os métodos ativos foram destacados os sistemas de iluminação, sistemas fotovoltaicos e sistema de armazenamento. Além disso, demonstrou as particularidades das variações de carga típica de uma edificação universitária, devido as variações do período letivo no calendário acadêmico.

O objeto do estudo de caso, a Biblioteca Central da UFPA, foi identificado um grande (Bloco de carga dentro da rede da universidade carente de medidas de eficiência energética) potencial para a aplicação de medidas de eficiência energética. Em particular, o sistema de iluminação foi um dos sistemas identificados, onde foi detectada a necessidade da divisão de circuito, a troca e a padronização dos equipamentos.

A ineficiência do sistema de iluminação da BC se tornou mais evidente com a aplicação do RTQ-C, que identificou um nível de eficiência “E” para as condições atuais em que ele se encontra. Quando comparado com o sistema proposto por meio das metodologias do PROPEE e Retscreen, foi identificada uma redução de aproximadamente 75% no consumo de energia elétrica do sistema de iluminação.

Além das vantagens já apresentadas, o sistema proposto apresentou uma considerável redução da demanda no horário de ponta e um retorno de investimento de apenas 9 meses.

Dessa forma, se faz altamente recomendado a aplicação das medidas de eficiência energética no sistema de iluminação da Biblioteca Central.

Quanto ao emprego do SFV, foi possível verificar uma compatibilidade entre a curva de carga da edificação e o horário de geração do sistema. Com isso o aproveitamento da energia gerada foi bastante satisfatório, não necessitando da injeção de grandes quantidades de energia para a rede.

Essa característica se tornou evidente com a análise diária, sendo nos dias com alta DRS o melhor aproveitamento verificado. No entanto, mesmo em dias de baixa DRS o sistema foi capaz de reduzir o pico de demanda de energia trazendo benefícios a edificação.

Com a integração do Sistema de Armazenamento, o perfil de uso da energia gerada pelo SFV se tornou muito mais proveitoso. A possibilidade de injetar energia no período em que não há mais geração fotovoltaica permitiu que os sistemas atendessem até 87% do consumo diário da carga. Essa porcentagem reflete ainda a redução da dependência da rede da concessionária.

O SFV projetado gera cerca de 78% da energia consumida pela edificação nas condições atuais, enquanto com a implantação do sistema de iluminação proposto o sistema chega a gerar 140% dessa energia.

Considerando a implantação do Sistema de Iluminação e do Sistema Fotovoltaico proposto, a edificação da Biblioteca Central da UFPA atinge o conceito de Edifício de energia Zero, sendo este o proposto deste trabalho.

A implantação do Sistema de Armazenamento vem a ser um elemento a mais, contribuindo para o conceito de zero dependência da rede elétrica. Além de atender a demandas de risco de instabilidade da energia apresentado no Plano de Contingência da BC de 2019, como uma preocupação passíveis de atrapalhar o seu desenvolvimento.

No mais, embora as medidas de eficiência energética proposta neste trabalho tenham atingido o objetivo de EEZ, existem outras medidas que podem ser aplicadas a esta edificação. A análise do sistema de climatização e envoltória são exemplos, e que podem ser estudados em trabalhos futuros voltados a eficiência energética da Biblioteca Central da UFPA.

REFERÊNCIAS

- Abella, M. A. (2014). Analysis of spectral effects on the energy yield of different PV (photovoltaic) technologies: The case of four specific sites. . *Energy*, v.67, p. 435-443.
- Albuquerque, B. d., Souza, A. C., Paixão Jr., U. C., Tostes, M. E., & Bezerra, U. H. (2019). *Retrofit Energy Diagnosis in Lighting Systems of a Public Building, according to ANEEL methodology and Retscreen Software*. Chile: THE 13th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION.
- Albuquerque, B., Tostes, M. E., Bezerra, U. H., Júnior, U. C., & Souza, A. C. (2019). Analysis of Storage System and PV System Integrated with University Building. *THE 13th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION*.
- Albuquerque, B., Tostes, M. E., Bezerra, U. H., Júnior, U. C., & Souza, A. C. (2019). Use of PV in the Transformation of a University Building into a NZEB: Case Study of the UFPA Central Library. *THE 13th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE*.
- Aldo. (2020, 02). Aldo. Récupéré sur <https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto34226IdArquivo4451.pdf>
- Almeida, M. P. (2012). *Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- Amoras, S. M. (2018). *Rotina para elaboração de diagnóstico energético aplicado a chamada pública do PEE*. Belém: Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Pará.
- Ayoub, J. (2013). Towards net zero energy solar buildings. *International Energy Agency (IEA)*.
- Barata, A. H. (2017). *Impacto de Redes de Distribuição com Massiva Conexão de Geradores Fotovoltaicos na Estabilidade de Tensão de Longo-Prazo em Sistemas de Potência*. Belém: Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA na área de Sistemas de Energia.
- Barbosa et al, R. O. (2013). Proposta de Sistema de Gestão do Consumo de Energia na Universidade Federal do Pará. *The 10° Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission – CLAGTEE*.

BNEF. (2019, abril 04). *Bloomberg NEF*. Consulté le 04 2020, 03, sur <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-investments-boom-battery-costs-halve-next-decade/>

BRASIL. (2018, maio 05). Agência Nacional de Energia Elétrica. *Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE*.

Buildings Performance Institute Europe. (2017). *Opening the door to smart buildings*. Récupéré sur Bruxelles: <http://bpie.eu/publication/opening-the-door-to-smart-buildings/>

BYD. (2020, janeiro). *BYD*. Récupéré sur <http://www.byd.ind.br/>

Carvalho et al., I. S. (2019). Sistema de gestão de energia e a validação de seus dados. *Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*.

CHENIAUX, V. (1996). Subsídios técnicos para a conservação preventiva. *Anais do Museu Histórico Nacional*, vol.28, p.120.

Energy, U. D. (2015, Setembro). *A common definition for zero Energy buildings*. Récupéré sur http://energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/bto_common_definition_zero_energy_buildings

EPBD. (2015, Agosto). *Towards 2020 NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS*. Récupéré sur Energy Performance of Buildings Directive: <https://www.epbd-ca.eu/outcomes/2011-2015/CA3-CT-2015-5-Towards-2020-NZEB-web.pdf>

EPE. (2019). *BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – ANO BASE 2018*. Récupéré sur <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relatório%20Síntese%202018-ab%202017vff.pdf>

EPE. (2019). Sistemas de Armazenamento em Baterias. *Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento*.

Ferrador Filho, A. L. (2018). Eficiência energética com base nos critérios do PROCEL: estudo de caso em difícil público. *HOLOS*, vol. 07, nº 34.

Figueiredo, D. F. (2018). O Novo Desafio dos NZEBs. *Dissertação de mestrado integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.*

Figuredo, G. (2012). *Ferramenta computacional para dimensionamento e avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará.

Google Earth. (2020). *Google Earth.* Récupéré sur https://earth.google.com/static/wasm_threaded/

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2017). *Global status report For the global Alliance for buildings and construction (GABC).*

International Energy Agency. (2018). Market Report Series. *Energy Efficiency.*

IRENA. (2019). GLOBAL ENERGY TRANSFORMATION. *Roadmap to 2050.*

Jão tavares Pinho; Marco Antonio Galdino. (2014). *Manual de Engenharia Fotovoltaica.* CEPTEL-CRESESB.

LAUSTSEN, J. (2009). *Definition of Zero Energy Buildings.* (N. Z. Workshop, Éd.) Consulté le 09 2016, 22, sur <http://www.scribd.com/doc/31739775/Definitions-Zero-EnergyBuildings>

Luz, T. J. (2018). METODOLOGIAS E TECNOLOGIAS PARA A INTEGRAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO. Dans T. n. Computadores, *Universidade de Coimbra.*

Manito et al., A. R. (2015). Sistema de monitoramento on-line de qualidade de Energia na Universidade Federal do Pará. *THE 11th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE 2015.*

MARSZAL, A. J.; HEISELBERG, P.; BOURRELLE, J. S. (2011). Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, pp. 971–979.

Monteiro, D. F. (2017). Dimensionamento de um Sistema de Armazenamento de Energia para Edifícios Residenciais Utilizando Energia Solar Fotovolta. Dans D. d. Computadores, *Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Universidade de Coimbra.*

- Montoya, F., Peña-García, A., Juaidi, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2017). Indoor lighting Techniques: an overview of Evolution and new Trends for Energy saving. *Energy Build*, 50-60.
- Navigant Research. (2015). *Solar PV plus Energy Storage Nanogrids*. Récupéré sur <https://www.navigantresearch.com/research/solar-pv-plus-energy-storage-nanogrids>
- P. Vangtook, S. C. (2007). Application of radiant cooling as a passive cooling option in hot humid climate. *Build Environ*, 543-556.
- Panasonic. (2020, abril 07). *Modules with powerful HIT solar cells*. Récupéré sur www.panasonic.com
- Pinho, J. T., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. CRESESB.
- Pless, S., & Torcellini, P. (2010). Net Zero energy building: a classification system based on renewable energy supply options. *National Renewable Energy Laboratory*.
- PROCEL. (2016). *Manual para Aplicação do RTQ-C*.
- PROCEL. (s.d.). *PROCEL Info*. Consulté le 04 07, 2020, sur <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7b82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04%7d>
- Schmidt, H., Jantsch, M., & Schmidt, J. (1992). *Results of the Concerted Actions on Power Conditioning and Control*. Montreux, Suíça: 11° European Photovoltaic Solar Energy Conference.
- Silva, C. F. (2017). Energia solar como solução energética sustentável em cidade compactas. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 68-77.
- Souza, K. J. (2018). *Geração distribuída com armazenamento conectada a rede elétrica*. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- Sunpower. (2020, abril 07). *Catálogo E-SERIES SOLAR PANEL com especificações técnicas do painel E19-320*. Récupéré sur www.sunpower.com
- T. Zhang, X. L. (2014). Development of temperature and humidity independent control (THIC) airconditioning systems in China—a review. *Renew Sustain Energy Rev*, 29, pp. 793-803.

TORCELLINI, P. e. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. *National Renewable Energy Laboratory*.

UFPA. (2017). *Plano de desenvolvimento da Biblioteca Central 2017-2020*. BIBLIOTECA CENTRAL PROF. DR. CLODOALDO BECKMANN. Récupéré sur <http://bc.ufpa.br/>

UFPA. (2019). *PLANO DE CONTINGÊNCIA PARA A GARANTIA DO ACESSO E DO SERVIÇO DA BIBLIOTECA CENTRAL UFPA*. BIBLIOTECA CENTRAL PROF. DR. CLODOALDO BECKMANN.

Villa-Arrietaa, M. (2019). Economic evaluation of Nearly Zero Energy Cities. *Applied Energy, ScienceDirect*, 237, 404–416.

Villalva, M. G., & Gazoli, J. R. (2012). *Energia solar fotovoltaica*. Erica.

Wang, Q., Xu, H., Zhang, F., & Wang, Z. (2017). Influence of color Temperature on comfort and preference for LED indoor lighting. *Optik*, 21-29.

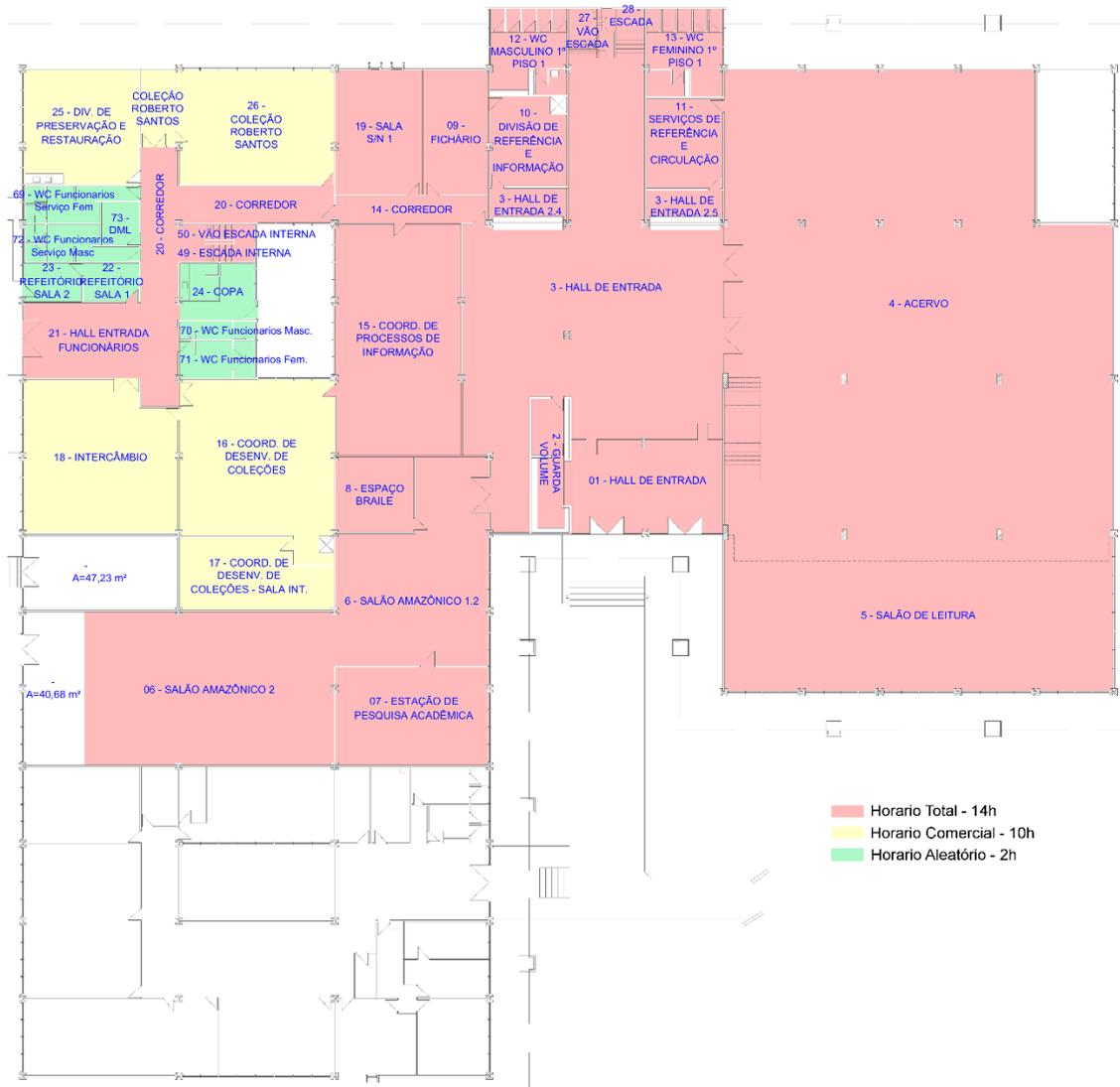
WEI FENG. (2019). A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Science Direct*.

Yingli. (2020, Abril 7). *Catalogo de especificações técnicas dos painéis modelo YLxxxP-35b*. Récupéré sur Yingli: www.yingli.com

APÊNDICE A- Setorização por horários funcionamento dos ambientes da Biblioteca Central.

- Pavimento Térreo (Caso Existente)

Figura 48. Setorização por ambiente dos horários atuais de funcionamento do pavimento térreo da BC.

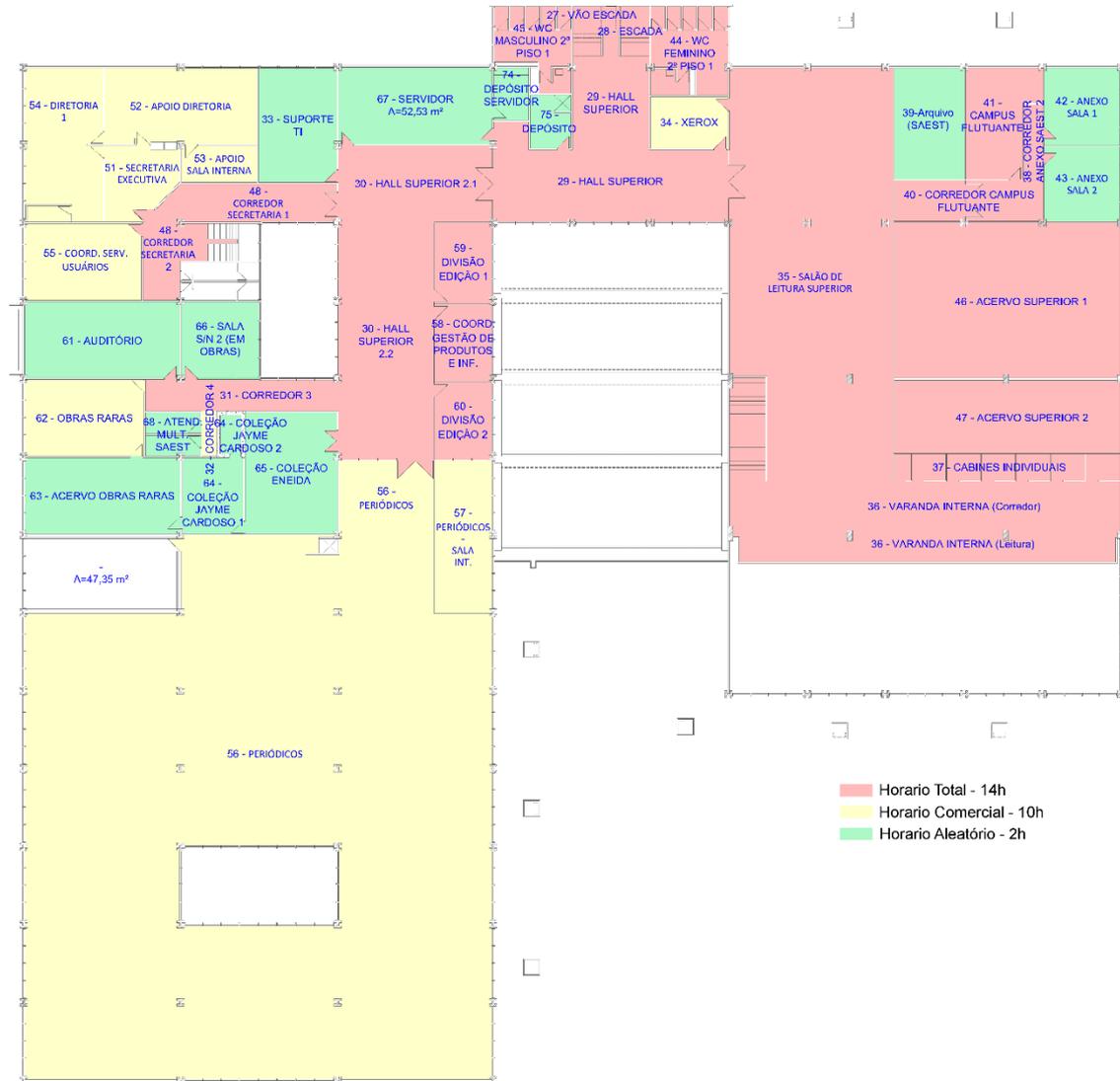


Fonte: Autor

APÊNDICE A- Setorização por horários funcionamento dos ambientes da Biblioteca Central.

- Pavimento Superior (Caso Existente)

Figura 49. Setorização por ambiente dos horários atuais de funcionamento do pavimento superior da BC.

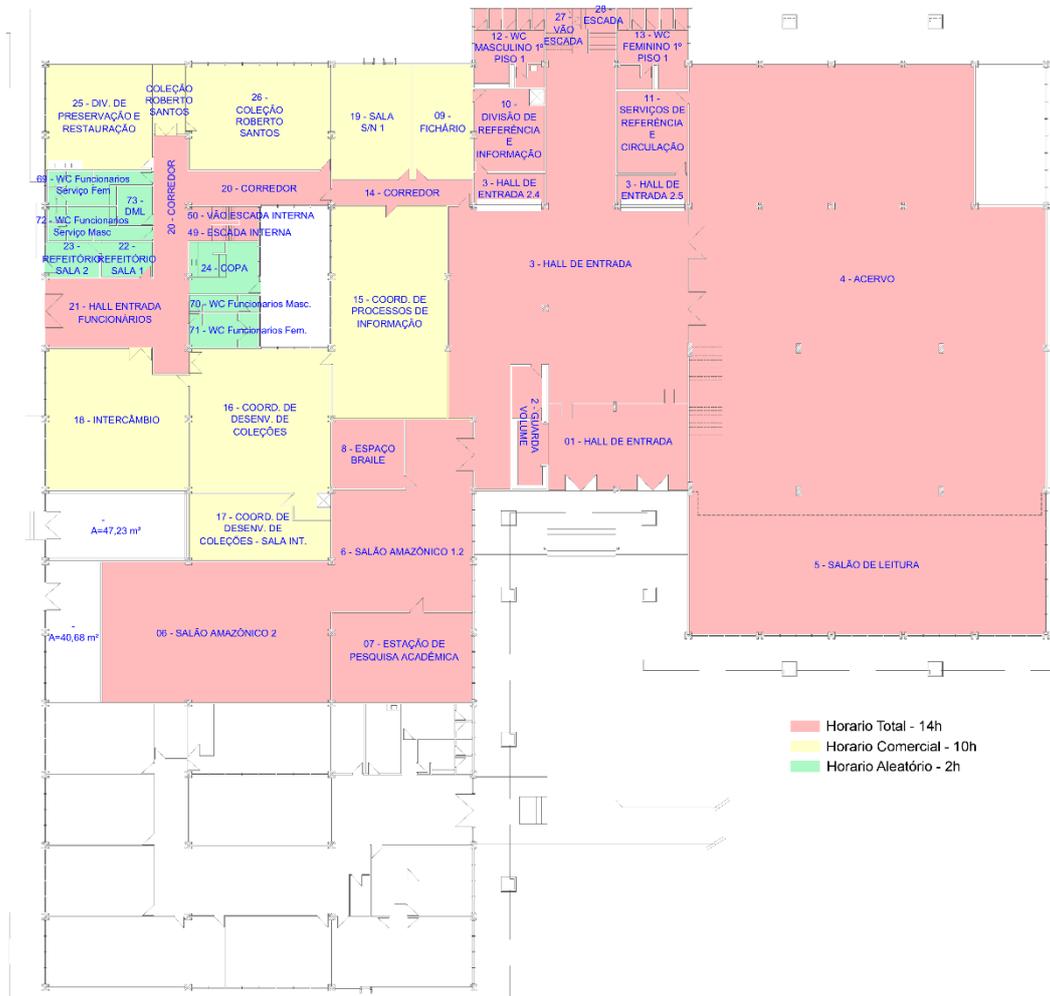


Fonte: Autor

APÊNDICE A- Setorização por horários funcionamento dos ambientes da Biblioteca Central.

- Pavimento Térreo (Caso Proposto)

Figura 50. Setorização por ambiente dos horários propostos de funcionamento do pavimento térreo da BC.

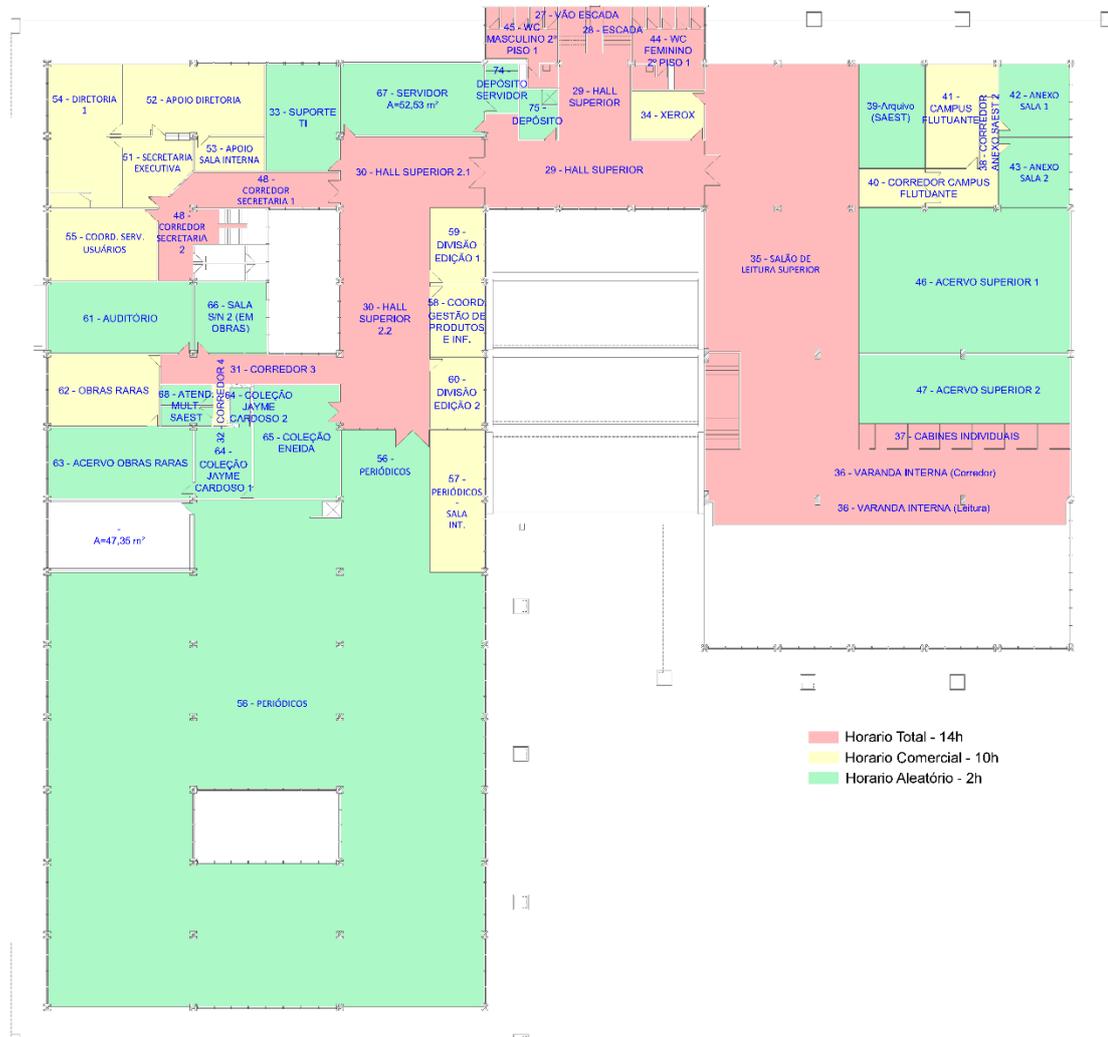


Fonte: Autor

APÊNDICE A- Setorização por horários funcionamento dos ambientes da Biblioteca Central.

- Pavimento Superior (Caso Proposto)

Figura 51. Setorização por ambiente dos horários propostos de funcionamento do pavimento superior da BC.



Fonte: Autor

APÊNDICE B - Descrição do sistema de iluminação artificial

As características do sistema existente foram apuradas em visita técnica in loco, e as novas tipologias foram estipuladas pelos cálculos luminotécnicos com base na norma NBR ISO/CIE 8995-1.

Tabela 14 - Característica do Sistema de Iluminação atual e proposto.

Item	Local	Qtd Lâmp. Existente	Pot. Lâmp. Existente (W)	Tipo de Lâmp. Existente	Qtd Lâmp. Propost.	Pot. Lamp. Propost. (W)	Tipo de Lâmp. (proposto)
1	Hall de entrada	18	32	FT 1,2m	18	18	FT 1,2m
2	Guarda volume 1	1	32	FT 1,2m	2	18	FT 1,2m
3	Hall de entrada 2.1	82	32	FT 1,2m	82	17	FT 1,2m
4	Acervo	173	110	FT 2,4m	174	17	FT 1,2m
5	Salão de leitura	10	45	FC	104	18	FT 1,2m
6	Salão amazônico	62	32/110	FT 1,2m/FT 2,4m	100	13 / 17	FT 1,2m
7	Estação de pesquisa acadêmica	12	110	FT 2,4m	42	13	FT 1,2m
8	Espaço braile	16	32/110	FT 1,2m/FT 2,4m	16	17	FT 1,2m
9	Fichário	24	32	FT 1,2m	25	9	FT 0,6m
10	Divisão de referência e informação	12	32	FT 1,2m	12	18	FT 1,2m
11	Serviços de referência e circulação	12	32	FT 1,2m	12	18	FT 1,2m
12	WC MASCULINO 1º PISO	10	18	FT 1,2m	9	13	FT 1,2m
13	WC FEMININO 1º PISO	10	18	FT 1,2m	9	13	FT 1,2m
14	Corredor 1	12	32	FT 1,2m	8	8,5	FT 0,6m
15	Coord. De processos de informação	72	32	FT 1,2m	72	13	FT 1,2m
16	Coord. De desenv. De coleções	68	32	FT 1,2m	68	13	FT 1,2m
17	Coord. De desenv. De coleções - sala int.	28	32	FT 1,2m	28	13	FT 1,2m
18	Intercâmbio	60	32	FT 1,2m	56	13	FT 1,2m
19	Sala s/n 1	24	32	FT 1,2m	24	17	FT 1,2m
20	Corredor 2	12	32	FT 1,2m	12	17	FT 1,2m
21	Hall entrada funcionários	24	32	FT 1,2m	24	9	FT 0,6m
22	Refeitório sala 1	2	32	FT 1,2m	2	18	FT 1,2m
23	Refeitório sala 2	2	0	FT 1,2m	2	18	FT 1,2m
24	Copa	6	32	FT 1,2m	6	17	FT 1,2m
25	Div. De preservação e restauração	18	32	FT 1,2m	24	18	FT 1,2m
26	Coleção roberto santos 0.1	48	32	FT 1,2m	48	17	FT 1,2m

27	Vão escada	2	45	FC	2	23	FC
28	Escada	4	32	FT 1,2m	4	13	FT 1,2m
29	Hall superior 1	24	32	FT 1,2m	24	17	FT 1,2m
30	Hall superior 2	80	32	FT 1,2m	60	8,5	FT 0,6m
31	Corredor 3	8	32	FT 1,2m	8	8,5	FT 0,6m
32	Corredor 4	2	20	FT 1,2m	1	8,5	FT 0,6m
33	Suporte ti	24	32	FT 1,2m	24	18	FT 1,2m
34	Xerox	6	32	FT 1,2m	8	18	FT 1,2m
35	Salão de leitura superior	62	110	FT 2,4m	62	40	FT 2,4m
36	Varanda interna	5	45	FC	60	18	FT 1,2m
37	Cabines individuais	7	25	FC	14	18	FT 1,2m
38	Corredor anexo saest	2	110	FT 2,4m	3	13	FT 1,2m
39	Arquivo	6	32	FT 1,2m	6	18	FT 1,2m
40	Corredor campus flutuante	6	110	FT 2,4m	3	13	FT 1,2m
41	Campus flutuante/saest 1	8	110	FT 2,4m	24	17	FT 1,2m
42	Anexo sala 1	4	32	FT 1,2m	12	17	FT 1,2m
43	Anexo sala 2	4	32	FT 1,2m	12	17	FT 1,2m
44	WC FEMININO 2º PISO	6	10	FT 1,2m	6	17	FT 1,2m
45	WC MASCULINO 2º PISO	6	10	FT 1,2m	6	17	FT 1,2m
46	Acervo superior 1	36	110	FT 2,4m	32	13	FT 1,2m
47	Acervo superior 2	18	110	FT 2,4m	15	13	FT 1,2m
48	Corredor secretaria	10	32	FT 1,2m	8	13	FT 1,2m
49	Escada interna	4	32	FT 1,2m	4	8,5	FT 0,6m
50	Vão escada interna	1	32	FT 1,2m	2	18,0	FT 1,2m
51	Secretaria executiva	8	32	FT 1,2m	9	18	FT 1,2m
52	Apoio diretoria	32	32	FT 1,2m	32	17	FT 1,2m
53	Apoio sala interna	4	32	FT 1,2m	4	8,5	FT 0,6m
54	Diretoria	24	32	FT 1,2m	24	18	FT 1,2m
55	Coord. Serv. Usuários	24	32	FT 1,2m	24	13	FT 1,2m
56	Periódicos	221	110	FT 2,4m	228	17	FT 1,2m
57	Periódicos - sala int.	10	110	FT 2,4m	10	40	FT 2,4m
58	Coord. Gestão de produtos e inf.	16	32	FT 1,2m	12	13	FT 1,2m
59	Divisão edição 1	16	32	FT 1,2m	12	13	FT 1,2m
60	Divisão edição 2	16	32	FT 1,2m	12	13	FT 1,2m
61	Auditório	32	32	FT 1,2m	32	17	FT 1,2m
62	Obras raras	24	32	FT 1,2m	24	18	FT 1,2m
63	Acervo obras raras	16	110	FT 2,4m	16	13	FT 1,2m
64	Coleção jayme cardoso	8	32	FT 1,2m	8	13	FT 1,2m
65	Coleção eneida	16	32	FT 1,2m	16	13	FT 1,2m
66	Sala s/n 2 (em obras)	16	32	FT 1,2m	12	17	FT 1,2m
67	Servidor	32	32	0	20	18	FT 1,2m
68	Atend. Mult. Saest	4	32	FT 1,2m	6	17	FT 1,2m

69	Wc funcionarios serviço fem.	6	32	FT 1,2m	6	13	FT 1,2m
70	Wc funcionarios masc.	4	32	FT 1,2m	2	18	FT 1,2m
71	Wc funcionarios fem.	4	32	FT 1,2m	4	17	FT 1,2m
72	Wc funcionarios serviço masc. 1	4	32	FT 1,2m	4	18	FT 1,2m
73	Dml	3	32	FT 1,2m	2	18	FT 1,2m
74	Depósito servidor	2	32	FT 1,2m	2	13	FT 1,2m
75	Depósito	2	32	FT 1,2m	2	17	FT 1,2m

Fonte: Autor

APÊNDICE C – Avaliação do Sistema de Iluminação pelo Método das Áreas do RTQ-C

Memorial de cálculo do projeto luminotécnico

O memorial de cálculo segue o método dos lumens, segundo a Equação 1. A partir do levantamento físico da edificação foram coletados os dados dos ambientes para a aplicação do método. Já os valores relativos a iluminância foram escolhidos por atividade, seguindo a norma de Iluminação de Ambientes de Trabalho: Parte I: Interior, NBR ISO/CIE 8995-1 de 2013.

$$K = \frac{C \times L}{H \times (C+L)} \quad (1)$$

Onde: C é o comprimento do recinto, L é a largura do recinto, H o pé direito útil. Lembrando que o Pé-direito útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de trabalho (hpt), menos a altura do pendente da luminária (hpend). Isto é, a distância real entre a luminária e o plano de trabalho. Obs: quando a luminária for embutida, $h = h'$.

Tabela 15. Luminotécnico do sistema de iluminação da Biblioteca Central.

Item	Local	E	S	FU	FM	φ Total Calculado
1	Hall de entrada	200	71,71	0,82	0,60	41.145
2	Guarda volume 1	100	12,60	0,46	0,80	3.424
3	Hall de entrada 2.1	200	317,62	0,584	0,60	163.333
4	Acervo	200	812,32	0,78	0,60	347.144
5	Salão de leitura	500	267,24	0,70	0,80	238.605
6.1	Salão amazônico 1.1	100	24,93	0,62	0,60	6.701
6.2	Salão amazônico 2.2	500	90,39	0,73	0,60	103.180
6.3	Salão amazônico 2	200	171,19	0,68	0,60	83.915
7	Estação de pesquisa acadêmica	500	66,98	0,71	0,70	67.389
8	Espaço braile	500	26,41	0,62	0,70	30.428
9	Fichário	300	36,45	0,62	0,70	25.198
10	Divisão de referência e informação	500	30,60	0,67	0,80	28.545
11	Serviços de referência e circulação	500	30,60	0,67	0,80	28.545
12	WC MASCULINO 1º PISO	200	28,39	0,46	0,80	13.992
13	WC FEMININO 1º PISO	200	29,04	0,46	0,80	14.329
14	Corredor 1	100	18,87	0,39	0,60	8.064
15	Coord. De processos de informação	500	129,21	0,70	0,80	115.366
16	Coord. De desenv. De coleções	500	108,05	0,73	0,70	105.719
17	Coord. De desenv. De coleções - sala int.	500	50,42	0,67	0,80	47.035
18	Intercâmbio	500	105,88	0,73	0,80	90.654
19	Sala s/n 1	500	48,66	0,67	0,80	45.394
20	Corredor 2	100	64,51	0,46	0,60	23.372
21	Hall entrada funcionários	200	39,64	0,52	0,60	25.412

22	Refeitório sala 1	200	9,44	0,52	0,80	4.536
23	Refeitório sala 2	200	10,01	0,52	0,80	4.813
24	Copa	200	19,38	0,58	0,60	11.138
25	Div. De preservação e restauração	500	59,21	0,67	0,80	55.236
26	Coleção roberto santos 0.1	500	81,02	0,68	0,60	99.294
27	Vão escada	150	8,25	0,39	0,60	5.288
28	Escada	150	8,25	0,39	0,60	5.288
29	Hall superior 1	200	111,18	0,55	0,80	47.924
30	Hall superior 2	200	152,00	0,645	0,80	58.265
31	Corredor 3	100	26,97	0,46	0,70	8.374
32	Corredor 4	100	1,99	0,39	0,70	729
33	Suporte ti	500	39,68	0,67	0,70	42.299
34	Xerox	500	17,70	0,62	0,80	17.840
35	Salão de leitura superior	500	245,07	0,82	0,60	249.060
36	Varanda interna	500	139,86	0,43	0,80	139.541
37	Cabines individuais	500	28,09	0,71	0,80	24.725
38	Corredor anexo saest	100	14,27	0,46	0,60	5.169
39	Arquivo	100	34,79	0,52	0,60	11.151
40	Corredor campus flutuante	100	14,27	0,46	0,60	5.169
41	Campus flutuante/saest 1	500	31,58	1,14	0,60	45.581
42	Anexo sala 1	500	26,16	0,67	0,80	24.399
43	Anexo sala 2	500	25,15	0,67	0,80	23.461
44	WC FEMININO 2º PISO	200	24,50	0,49	0,80	11.572
45	WC MASCULINO 2º PISO	200	23,97	0,49	0,80	11.284
46	Acervo superior 1	200	108,45	0,71	0,60	50.913
47	Acervo superior 2	200	49,10	0,68	0,60	24.067
48	Corredor secretaria	100	39,23	0,49	0,60	13.115
49	Escada interna	150	6,78	0,39	0,60	4.348
50	Vão escada interna	150	6,02	0,39	0,60	3.858
51	Secretaria executiva	500	25,45	0,67	0,80	23.741
52	Apoio diretoria	500	51,51	0,71	0,60	60.458
53	Apoio sala interna	100	12,25	0,52	0,60	3.926
54	Diretoria	500	47,14	0,71	0,60	55.326
55	Coord. Serv. Usuários	500	39,42	0,67	0,80	36.775
56	Periódicos	200	1024,09	0,73	0,60	456.351
57	Periódicos - sala int.	500	38,58	0,67	0,70	41.132
58	Coord. Gestão de produtos e inf.	500	19,67	0,62	0,80	19.832
59	Divisão edição 1	500	20,82	0,62	0,80	20.987
60	Divisão edição 2	500	19,67	0,62	0,80	19.832
61	Auditório	500	52,53	0,71	0,60	61.655
62	Obras raras	500	40,29	0,64	0,60	52.461
63	Acervo obras raras	200	52,43	0,68	0,60	25.700

64	Coleção jayme cardoso	200	20,55	0,57	0,60	12.019
65	Coleção eneida	200	49,59	0,68	0,60	24.310
66	Sala s/n 2 (em obras)	500	26,16	0,67	0,80	24.406
67	Servidor	500	52,53	0,71	0,80	46.241
68	Atend. Mult. Saest	500	10,40	0,52	0,80	12.505
69	Wc funcionarios serviço fem.	200	15,03	0,41	0,80	9.162
70	Wc funcionarios masc.	200	6,04	0,41	0,80	3.680
71	Wc funcionarios fem.	200	12,58	0,41	0,80	7.668
72	Wc funcionarios serviço masc. 1	200	15,03	0,41	0,80	9.162
73	Dml	200	7,25	0,41	0,80	4.421
74	Depósito servidor	100	8,05	0,39	0,60	3.440
75	Depósito	100	9,67	0,39	0,60	4.131

Fonte: Autor

APÊNDICE C – Avaliação do Sistema de Iluminação pelo Método das Áreas do RTQ-C

Tabela 16. Características técnicas do sistema de iluminação existente.

Item	Local	Área (S)	Qtde Lâmpada	Potência Unit. (W)	Pun. Reat. (W)	Potência Total (W)	W/m ²
1	Hall de entrada 1.0	76,14	18	32	3	630	8,3
2	Guarda volume 1	8,17	1	32	3	35	4,3
3	Hall de entrada 2.1	317,62	82	32	3	2870	9,0
4	Acervo	812,32	173	110	3	19549	24,1
5	Salão de leitura	267,24	10	45	0	450	1,7
6.1	Salão amazônico 1.1	24,93	8	32	3	280	11,2
6.2	Salão amazônico 2.2	90,39	18	110	3	2034	22,5
6.3	Salão amazônico 2	171,19	36	110	3	4068	23,8
7	Estação de pesquisa acadêmica	66,98	12	110	3	1356	20,2
8	Espaço braile	26,41	16	32	3	560	21,2
9	Fichário	36,45	24	32	3	840	23,0
10	Divisão de referência e informação	30,60	12	32	3	420	13,7
11	Serviços de referência e circulação	30,60	12	32	3	420	13,7
12	Wc masculino 1º piso 1	28,39	10	32	3	350	12,3
13	Wc feminino 1º piso 1	29,04	10	32	3	350	12,1
14	Corredor 1	18,87	12	32	3	420	22,3
15	Coord. de processos de informação	129,21	72	32	3	2520	19,5
16	Coord. de desenv. de coleções	108,05	68	32	3	2380	22,0
17	Coord. de desenv. de coleções - sala int.	50,42	28	32	3	980	19,4
18	Intercâmbio	105,88	60	32	3	2100	19,8
19	Sala s/n 1	48,66	24	32	3	840	17,3
20	Corredor 2.1	64,51	12	32	3	420	6,5
21	Hall entrada funcionários	39,64	24	32	3	840	21,2
22	Refeitório sala 1	9,44	2	32	3	70	7,4
23	Refeitório sala 2	10,01	2	32	3	70	7,0
24	Copa	19,38	6	32	3	210	10,8
25	Div. De preservação e restauração	59,21	18	32	3	630	10,6
26	Coleção roberto santos 0.1	81,02	48	32	3	1680	20,7
27	Vão escada	8,25	2	45	0	90	10,9
28	Escada	8,25	4	32	3	140	17,0
29	Hall superior 1.1	111,18	24	32	3	840	7,6
30	Hall superior 2.1	152,00	80	32	3	2800	18,4
31	Corredor 3	26,97	8	32	3	280	10,4
32	Corredor 4	1,99	2	20	0	40	20,1

33	Suporte ti	39,68	24	32	3	840	21,2
34	Xerox	17,70	6	32	3	210	11,9
35	Salão de leitura superior	245,07	62	110	3	7006	28,6
36	Varanda interna 1 (leitura)	139,86	5	45	0	225	1,6
37	Cabines individuais	28,09	7	25	0	175	6,2
38	Corredor anexo saest	14,27	2	110	3	226	15,8
39	Arquivo	34,79	6	32	3	210	6,0
40	Corredor campus flutuante	14,27	6	110	3	678	47,5
41	Campus flutuante/saest 1	31,58	8	110	3	904	28,6
42	Anexo sala 1	26,16	4	32	3	140	5,4
43	Anexo sala 2	25,15	4	32	3	140	5,6
44	Wc feminino 2º piso 1	24,50	6	32	3	210	8,6
45	Wc masculino 2º piso 1	23,97	6	32	3	210	8,8
46	Acervo superior 1	108,45	36	110	3	4068	37,5
47	Acervo superior 2	49,10	18	110	3	2034	41,4
48	Corredor secretaria 1	39,23	10	32	3	350	8,9
49	Escada interna	6,78	4	32	3	140	20,6
50	Vão escada interna	6,02	1	32	3	35	5,8
51	Secretaria executiva	25,45	8	32	3	280	11,0
52	Apoio diretoria	51,51	32	32	3	1120	21,7
53	Apoio sala interna	12,25	4	32	3	140	11,4
54	Diretoria	47,14	24	32	3	840	17,8
55	Coord. Serv. Usuários	39,42	24	32	3	840	21,3
56	Periódicos 1	1.024,09	221	110	3	24973	24,4
57	Periódicos - sala int.	38,58	10	110	3	1130	29,3
58	Coord. Gestão de produtos e inf.	19,67	16	32	3	560	28,5
59	Divisão edição 1	20,82	16	32	3	560	26,9
60	Divisão edição 2	19,67	16	32	3	560	28,5
61	Auditório	52,53	32	32	3	1120	21,3
62	Obras raras	40,29	24	32	3	840	20,8
63	Acervo obras raras	52,43	16	110	3	1808	34,5
64	Coleção jayme cardoso	20,55	8	32	3	280	13,6
65	Coleção eneida	49,59	16	32	3	560	11,3
66	Sala s/n 2 (em obras)	26,16	16	32	3	560	21,4
67	Servidor	52,53	32	32	3	1120	21,3
68	Atend. Mult. Saest	10,40	4	32	3	140	13,5
69	Wc funcionarios serviço fem. 1	15,03	6	32	3	210	14,0
70	Wc funcionarios masc.	6,04	4	32	3	140	23,2
71	Wc funcionarios fem.	12,58	4	32	3	140	11,1
72	Wc funcionarios serviço masc. 1	15,03	4	32	3	140	9,3
73	Dml	7,25	3	32	3	105	14,5

74	Depósito servidor	8,05	2	32	3	70	8,7
75	Depósito	9,67	2	32	3	70	7,2
	Total	5.620,78	1.084			107.669	706

Fonte: Autor

Análise do Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL)

Tabela 17. Densidade de potência limite de iluminação (DPIL).

Item	Local	Função (Tabela 4.1)	DPIL Nível A (W/m ²)	DPIL Nível B (W/m ²)	DPIL Nível C (W/m ²)	DPIL Nível D (W/m ²)
1	Hall de entrada 1.0	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
2	Guarda volume 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
3	Hall de entrada 2.1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
4	Acervo	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
5	Salão de leitura	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
6.1	Salão amazônico 1.1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
6.2	Salão amazônico 2.2	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
6.3	Salão amazônico 2	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
7	Estação de pesquisa acadêmica	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
8	Espaço braile	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
9	Fichário	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
10	Divisão de referência e informação	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
11	Serviços de referência e circulação	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
12	WC MASCULINO 1º PISO 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
13	WC FEMININO 1º PISO 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
14	Corredor 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
15	Coord. De processos de informação	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
16	Coord. De desenv. De coleções	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
17	Coord. De desenv. De coleções - sala int.	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
18	Intercâmbio	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
19	Sala s/n 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
20	Corredor 2.1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
21	Hall entrada funcionários	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
22	Refeitório sala 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
23	Refeitório sala 2	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
24	Copa	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
25	Div. De preservação e restauração	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
26	Coleção roberto santos 0.1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40

27	Vão escada	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
28	Escada	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
29	Hall superior 1.1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
30	Hall superior 2.1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
31	Corredor 3	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
32	Corredor 4	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
33	Suporte ti	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
34	Xerox	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
35	Salão de leitura superior	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
36	Varanda interna 1 (leitura)	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
37	Cabines individuais	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
38	Corredor anexo saest	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
39	Arquivo	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
40	Corredor campus flutuante	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
41	Campus flutuante/saest 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
42	Anexo sala 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
43	Anexo sala 2	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
44	WC FEMININO 2º PISO 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
45	WC MASCULINO 2º PISO 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
46	Acervo superior 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
47	Acervo superior 2	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
48	Corredor secretaria 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
49	Escada interna	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
50	Vão escada interna	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
51	Secretaria executiva	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
52	Apoio diretoria	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
53	Apoio sala interna	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
54	Diretoria	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
55	Coord. Serv. Usuários	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
56	Periódicos 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
57	Periódicos - sala int.	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
58	Coord. Gestão de produtos e inf.	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
59	Divisão edição 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
60	Divisão edição 2	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
61	Auditório	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
62	Obras raras	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
63	Acervo obras raras	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
64	Coleção jayme cardoso	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
65	Coleção eneida	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
66	Sala s/n 2 (em obras)	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
67	Servidor	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
68	Atend. Mult. Saest	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40

69	Wc funcionarios serviço fem. 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
70	Wc funcionarios masc.	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
71	Wc funcionarios fem.	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
72	Wc funcionarios serviço masc. 1	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
73	Dml	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
74	Depósito servidor	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
75	Depósito	Biblioteca	12,70	14,60	16,60	18,40
Total			71.383,89	82.063,36	93.304,92	103.422,32

Fonte: Autor

APÊNDICE C – Avaliação do Sistema de Iluminação pelo Método das Áreas do RTQ-C

Tabela 18. Avaliação dos pré-requisitos de iluminação, por ambiente.

Classificação dos Pré-requisitos					
Nível A					
Nível B					
Nível C					
Div. Circuito (Item 4.1.1)	Luz Natural (Item 4.1.2)	Desl. Autom (Item 4.1.3)	Classificação		Ponderação x EqNum
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0117
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0007
Não	Não Aplica	Não	D	2	0,0533
Não	Não Aplica	Não	D	2	0,3631
Não	Não	Não	D	2	0,0084
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0052
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0378
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0756
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0252
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0104
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0156
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0078
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0078
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0098
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0098
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0078
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0468
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0663
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0455
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0585
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0156
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0078
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0156
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0013
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0020
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0039
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0176
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0468
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0017
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0026
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0156
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0520
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0052
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0007
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0234
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0039
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,1301
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0042
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0033
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0042

Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0039
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0126
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0168
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0026
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0026
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0059
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0059
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0756
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0378
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0065
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0026
Não	Não Aplica	Não Aplica	D	2	0,0007
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0052
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0312
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0039
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0234
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0234
Não	Não	Não	D	2	0,4639
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0210
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0104
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0104
Não	Não	Não Aplica	D	2	0,0104
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0520
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0234
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0504
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0130
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0260
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0156
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0520
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0065
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0059
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0039
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0039
Sim	Não	Não Aplica	C	3	0,0039
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0049
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0033
Sim	Não Aplica	Não Aplica	A	5	0,0033
Total					2,27

Fonte: Autor

Resultado da ponderação da avaliação dos pré-requisitos

Tabela 19. Ponderação da avaliação dos pré-requisitos.

Resultado - EqNum DPI	
2,27	D

Fonte: Autor

Tabela 20. Classificação Geral

PT	Classificação Final
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

Fonte: (PROCEL, 2016)

APÊNDICE D – Dados do PROPEE

Figura 52. Aba inicial da planilha do PROPEE, com informações do estudo de caso.

VERSÃO 2.0 - 15/02/18

1. Identificação do Projeto

Concessionária: Centrais Elétricas do Pará S.A. - CNPJ: 04.895.728/0001-80 Tipo do projeto: Poder Público

Nome do Projeto: Diagnóstico do Retrofit Energético da Biblioteca Central da UFPA

Cidade do Projeto: Belém Taxa de Desconto i: 8%

Ano de Tarifa: 2017 Fator de Carga: 0,75

2. Identificação do Consumidor

Nome: Universidade Federal do Pará

Endereço: [Redacted]

CNPJ: [Redacted]

Responsável: [Redacted]

Telefone: (00) 0000-0000 E-mail: responsavel@consumidor.com.br

Atividade: Sem Fins Lucrativos

Tipo de empresa: Outras Empresas

Modalidade Tarifária: Tarifa Azul

Subgrupo Tarifário: A4 - 2,3 kV a 25 kV

Valores de CEE e CED: CEE = 323,22 R\$/MWh CED = 1131,58 R\$/kW.ano

Valores definidos pela Resolução ANEEL Nº 2.284 de 31 de julho de 2017, para FC = 75%

Informações

- 1) Deverão ser preenchidas apenas as células com fundo branco
- 2) O horário de ponta da Concessionária é das 18:30 às 21:30.
- 3) Serão considerados 22 dias úteis por mês e 4 semanas por mês.
- 4) Para 12 meses/ano de funcionamento serão consideradas 52 semanas/ano

RESUMO:

O presente projeto prevê ações no(s) seguinte(s) uso(s) final(is):

Iluminação Motores Aquecimento Solar de Água Outros

Cond. Ambiental Sistema de Refrigeração Equip. Hospitalares Fonte Incentivada

Custo Total do Projeto	R\$ 125.134,34	Valor Total Solicitado ao PEE	R\$ 125.134,34
Contrapartida Consumidor	R\$ -	Contrapartida Terceiros	R\$ -
Energia Economizada (MWh/ano)	227,30	Vida Útil Média (anos)	8,12
Redução de Demanda na Ponta (kW)	59,81	Economia mensal aproximada	R\$ 12.794,94
RCB_{PEE}	SISTEMA ELÉTRICO 0,08	RCB_{total}	SISTEMA ELÉTRICO 0,08
	CONSUMIDOR 0,15		CONSUMIDOR 0,15
R\$/MWh	RECURSO PEE 51,40	R\$/kW	RECURSO PEE 195,33
	COM CONTRAPARTIDA 51,40		COM CONTRAPARTIDA 195,33

PLANILHA DE CÁLCULO DESENVOLVIDA PELA CELESC E CEDIDA AO NEPEN PARA USO EXCLUSIVO EM PROCESSOS DE CHAMADA PÚBLICA.

Fonte: PROPEE, modificada pelo autor

Figura 53 - Valores cadastrados na planilha do PROPEE, referentes ao sistema atual e existente.

VOLTAZ			BENEFÍCIOS - ILUMINAÇÃO											
ILUMINAÇÃO SISTEMA ATUAL			TOTAL	ilumin 1	ilumin 2	ilumin 3	ilumin 4	ilumin 5	ilumin 6	ilumin 7	ilumin 8	ilumin 9	ilumin 10	
1 Tipo de equipamento / tecnologia				1000= 14, 21, 49, 30, 31	1600= 07	1600= 6.1, 12, 13, 48, 28	1850=50	2000= 04, 6.3, 08	2000= 6.2	2000= 03, 20, 29, 44, 45	2300= 02, 01, 10, 11	2300= 05	4000=35	
2 Lâmpadas	Potência	W	1.650,00	32	110	32	32	110	110	32	32	45	110	
	Quantidade	qtz	1.643	128	12	42	1	225	18	130	43	10	62	
3 Reatores	Potência	W	148,00	3	10	3	3	10	10	3	3	0	10	
	Quantidade	qtz	1.643	128	12	42	1	225	18	130	43	10	62	
4 Potência instalada		kw	111,47	4,48	1,44	1,47	0,04	27,00	2,16	4,55	1,51	0,45	7,44	
Tempo de utilização do sistema, em um dia				11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	
5 Dias de utilização do sistema, em um ano				297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	
Funcionamento				3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	
Meses no ano, de utilização do Sistema no horário de Pont			meses	NA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Dias úteis no mês, de utilização do Sistema no horário de F			dias	ND	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
6 Horas por dia, de utilização do Sistema no horário de Pont			horas	MLP	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Potência média na ponta			kw	79,01	4,48	1,44	1,47	0,04	27,00	2,16	4,55	1,51	0,45	7,44
Fator de coincidência na ponta				FCP	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
7 Energia consumida			MWhano	303,07	15,37	4,94	5,04	0,12	92,62	7,41	15,61	5,16	1,54	25,52
8 Demanda média na ponta			kw	79,01	4,48	1,44	1,47	0,04	27,00	2,16	4,55	1,51	0,45	7,44
SISTEMA PROPOSTO			TOTAL	ilumin 1	ilumin 2	ilumin 3	ilumin 4	ilumin 5	ilumin 6	ilumin 7	ilumin 8	ilumin 9	ilumin 10	
9 Tipo de equipamento / tecnologia				1000= 14, 21, 49, 30, 31	1600= 07	1600= 6.1, 12, 13, 48, 28	1850=50	2000= 04, 6.3, 08	2000= 6.2	2000= 03, 20, 29, 44, 45	2300= 02, 01, 10, 11	2300= 05	4000=35	
10 Lâmpadas	Potência	W	521,00	8,5	13	13	18	17	17	17	18	18	40	
	Quantidade	qtz	1.902	104	42	34	2	232	54	130	44	104	62	
11 Reatores	Potência	W	0,00											
	Quantidade	qtz	0											
12 Potência instalada		kw	31,41	0,88	0,55	0,44	0,04	3,94	0,92	2,21	0,79	1,87	2,48	
Tempo de utilização do sistema, em um dia				11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	
13 Dias de utilização do sistema, em um ano				297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00	
Funcionamento				3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	3.430,35	
Meses no ano, de utilização do Sistema no horário de Pont			meses	NA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Dias úteis no mês, de utilização do Sistema no horário de F			dias	ND	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
14 Horas por dia, de utilização do Sistema no horário de Pont			horas	MLP	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Potência média na ponta			kw	19,16	0,88	0,55	0,44	0,04	3,94	0,92	2,21	0,79	1,87	2,48
Fator de coincidência na ponta				FCP	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
15 Energia consumida			MWhano	75,77	3,03	1,89	1,51	0,14	13,52	3,16	7,58	2,71	6,41	8,51
16 Demanda média na ponta			kw	19,19	0,88	0,55	0,44	0,04	3,94	0,92	2,21	0,79	1,87	2,48
RESULTADOS ESPERADOS			TOTAL	ilumin 1	ilumin 2	ilumin 3	ilumin 4	ilumin 5	ilumin 6	ilumin 7	ilumin 8	ilumin 9	ilumin 10	
17 Redução de demanda na ponta			kw	RDP	3,60	0,89	1,03	-0,01	23,06	1,24	2,34	0,72	-1,42	4,96
18 Custo evitado de demanda (CED) =			1.131,58	%DP	80,27%	61,81%	70,07%	-14,29%	85,41%	57,41%	51,43%	47,51%	-315,56%	66,67%
19 Energia economizada			MWhano	EE	12,34	3,05	3,53	-0,02	79,10	4,25	8,03	2,45	-4,87	17,01
20 Custo da energia evitada (CEE) =			323,22	%EE	80,27%	61,74%	70,06%	-16,61%	85,40%	57,35%	51,44%	47,51%	-315,25%	66,66%
Benefício anualizado iluminação			R\$ B ilum	141.149,15	8.056,29	1.992,84	2.307,35	-12,10	51.661,00	2.776,71	5.242,76	1.601,84	-3.179,76	11.111,24
RCB_ILUMINAÇÃO_PEE			0,08											
RCB_ILUMINAÇÃO_TOTAL			0,08											

Fonte: PROPEE, modificada pelo autor

Figura 54 - Valores cadastrados na planilha do PROPEE, referentes ao sistema atual e existente.

ilumin 11	ilumin 12	ilumin 13	ilumin 14	ilumin 15	ilumin 16	ilumin 17	ilumin 18	ilumin 19	ilumin 20	ilumin 21	ilumin 22	ilumin 23	ilumin 24	ilumin 25	ilumin 26	ilumin 27	ilumin 28	ilumin 29	ilumin 30	ilumin 31
3000= 27	1000= 09	1000=32	1000=56	1000=53	1600=38, 40	1600=15, 58, 59, 60	1600=16, 17, 18, 55	2000=41	2000=19	2000=26, 52	2300=36	2300=25, 34, 51, 54, 62	4000=57	1600=46, 47	1600=63	1600= 64, 69, 74, 65	1850=37	1850=39, 70, 33	2000=24, 42, 43, 61, 66, 68, 71, 75	2300= 22, 23, 67, 72, 73
45	32	20	110	32	110	32	32	110	32	32	45	32	110	110	110	32	25	32	32	32
2	24	2	221	4	8	120	180	8	24	32	5	80	10	54	16	32	7	34	66	43
0	3	0	10	3	10	3	3	10	3	3	0	3	10	10	10	3	0	3	3	3
2	24	2	221	4	8	120	180	8	24	32	5	80	10	54	16	32	7	34	66	43
0,09	0,84	0,04	26,52	0,14	0,96	4,20	6,30	0,96	0,84	1,12	0,23	2,80	1,20	6,48	1,92	1,12	0,18	1,19	2,31	1,51
11,55	11,55	10,00	10,00	11,55	11,55	11,55	10,00	11,55	10,00	10,00	11,55	10,00	11,55	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
297,00	297,00	247,00	247,00	297,00	297,00	297,00	247,00	297,00	247,00	247,00	297,00	247,00	297,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00
3.430,35	3.430,35	2.470,00	2.470,00	3.430,35	3.430,35	3.430,35	2.470,00	3.430,35	2.470,00	2.470,00	3.430,35	2.470,00	3.430,35	494,00	494,00	494,00	494,00	494,00	494,00	494,00
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
3	3	2	2	3	3	2	3	3	2	2	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0
0,09	0,84	0,02	13,26	0,14	0,96	2,10	6,30	0,96	0,42	0,56	0,23	1,40	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,31	2,88	0,10	65,50	0,48	3,29	14,41	15,56	3,29	2,07	2,77	0,77	6,92	4,12	3,20	0,95	0,55	0,09	0,59	1,14	0,74
0,09	0,84	0,02	13,26	0,14	0,96	2,10	6,30	0,96	0,42	0,56	0,23	1,40	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ilumin 11	ilumin 12	ilumin 13	ilumin 14	ilumin 15	ilumin 16	ilumin 17	ilumin 18	ilumin 19	ilumin 20	ilumin 21	ilumin 22	ilumin 23	ilumin 24	ilumin 25	ilumin 26	ilumin 27	ilumin 28	ilumin 29	ilumin 30	ilumin 31
3000= 27	1000= 09	1000=32	2000=56	1000=53	1600= 38, 40	1600=15, 58, 59, 60	1600=16, 17, 18, 55	2000= 41	2000= 19	2000= 26, 52	2300= 36	2300= 25, 34, 51, 54, 62	4000= 57	1600= 46, 47	1600= 63	1600= 64, 69, 74, 65	1850= 37	1850= 39, 70, 33	2000= 24, 42, 43, 61, 66, 68, 71, 75	2300= 22, 23, 67, 72, 73
23	8,5	8,5	17	8,5	13	13	13	17	17	17	18	18	40	13	13	13	18	18	17	18
2	25	1	228	4	6	109	176	24	24	80	60	89	10	47	16	32	14	32	85	30
0,05	0,21	0,01	3,88	0,03	0,08	1,42	2,29	0,41	0,41	1,36	1,08	1,60	0,40	0,61	0,21	0,42	0,25	0,58	1,45	0,54
11,55	10,00	10,00	2,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	11,55	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
297,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	297,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00	247,00
3.430,35	2.470,00	2.470,00	494,00	2.470,00	2.470,00	2.470,00	2.470,00	2.470,00	2.470,00	2.470,00	3.430,35	2.470,00	494,00	494,00	494,00	494,00	494,00	494,00	494,00	494,00
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
3	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0,05	0,11	0,01	0,00	0,02	0,04	0,71	1,15	0,21	0,21	0,68	1,08	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,17	0,52	0,02	1,92	0,07	0,20	3,51	5,66	1,01	1,01	3,36	3,70	3,95	0,20	0,30	0,10	0,21	0,12	0,29	0,72	0,27
0,05	0,11	0,01	0,00	0,02	0,04	0,71	1,15	0,21	0,21	0,68	1,08	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ilumin 11	ilumin 12	ilumin 13	ilumin 14	ilumin 15	ilumin 16	ilumin 17	ilumin 18	ilumin 19	ilumin 20	ilumin 21	ilumin 22	ilumin 23	ilumin 24	ilumin 25	ilumin 26	ilumin 27	ilumin 28	ilumin 29	ilumin 30	ilumin 31
0,04	0,73	0,01	13,26	0,12	0,92	1,39	5,15	0,75	0,21	-0,12	-0,86	0,60	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,44%	86,90%	50,00%	100,00%	85,71%	95,83%	66,19%	81,75%	78,13%	50,00%	-21,43%	-380,00%	42,86%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,14	2,36	0,08	63,58	0,41	3,09	10,90	9,90	2,28	1,06	-0,59	-2,93	2,97	3,92	2,90	0,85	0,34	-0,03	0,30	0,42	0,47
44,94%	81,95%	79,76%	97,07%	85,42%	93,93%	75,64%	63,63%	69,33%	51,32%	-21,46%	-379,38%	42,89%	95,14%	90,63%	89,46%	62,04%	-38,81%	50,67%	36,91%	63,68%
90,10	1.589,34	36,79	35.556,69	268,39	2.040,83	5.095,21	9.027,87	1.586,65	581,80	-327,65	-1.913,95	1.637,63	2.623,77	937,71	274,25	110,96	-10,84	96,28	136,12	153,04

Fonte: PROPEE, modificada pelo autor

Figura 55 - Resultado de economia mensal para o consumidor.

ECONOMIA MENSAL PARA O CONSUMIDOR (SIMULAÇÃO)		TOTAL	ilumin 1	ilumin 2	ilumin 3	ilumin 4	ilumin 5	ilumin 6	ilumin 7	ilumin 8	ilumin 9	ilumin 10
21	Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55
22	Dias úteis por mês de utilização do sistema na ponta	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	Horas por dia de utilização do sistema na ponta	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	Dias com funcionamento na ponta em um mês	%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%
25	Horas com funcionamento na ponta em um dia	%	25,97%	25,97%	25,97%	25,97%	25,97%	25,97%	25,97%	25,97%	25,97%	25,97%
26	Funcionamento mensal em horário de ponta	%	19,05%	19,05%	19,05%	19,05%	19,05%	19,05%	19,05%	19,05%	19,05%	19,05%
27	Energia economizada mensal	MWh/mês	18,94	1,03	0,25	0,29	-0,00	6,59	0,35	0,67	0,20	-0,41
28	Energia economizada em horário de ponta	MWh/mês	2,24	0,20	0,05	0,06	-0,00	1,26	0,07	0,13	0,04	-0,08
29	Energia economizada em horário fora de ponta	MWh/mês	16,71	0,83	0,21	0,24	-0,00	5,34	0,29	0,54	0,17	-0,33
30	Redução de Demanda mensal	kWh/mês	80,05	3,60	0,89	1,03	-0,01	23,06	1,24	2,34	0,72	-1,42
31	Redução de Demanda em horário de ponta	kWh/mês	59,81	3,60	0,89	1,03	-0,01	23,06	1,24	2,34	0,72	-1,42
32	Redução de Demanda em horário fora de ponta	kWh/mês	80,05	3,60	0,89	1,03	-0,01	23,06	1,24	2,34	0,72	-1,42

Fonte: PROPEE, modificada pelo autor

Figura 56 - Resultado de economia mensal para o consumidor.

ilumin 11	ilumin 12	ilumin 13	ilumin 14	ilumin 15	ilumin 16	ilumin 17	ilumin 18	ilumin 19	ilumin 20	ilumin 21	ilumin 22	ilumin 23	ilumin 24	ilumin 25	ilumin 26	ilumin 27	ilumin 28	ilumin 29	ilumin 30	ilumin 31
11,55	10,00	10,00	2,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	11,55	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
3	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%	73,33%
25,97%	15,00%	15,00%	0,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	25,97%	15,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
19,05%	11,00%	11,00%	0,00%	11,00%	11,00%	11,00%	11,00%	11,00%	11,00%	11,00%	19,05%	11,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,01	0,20	0,01	5,30	0,03	0,26	0,91	0,83	0,19	0,09	-0,05	-0,24	0,25	0,33	0,24	0,07	0,03	-0,00	0,02	0,04	0,04
0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,10	0,09	0,02	0,01	-0,01	-0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,18	0,01	5,30	0,03	0,23	0,81	0,73	0,17	0,08	-0,04	-0,20	0,22	0,33	0,24	0,07	0,03	-0,00	0,02	0,04	0,04
0,04	0,63	0,03	22,64	0,11	0,88	2,78	4,01	0,55	0,43	-0,24	-0,86	1,20	0,80	5,87	1,71	0,70	-0,08	0,61	0,86	0,97
0,04	0,73	0,01	13,26	0,12	0,92	1,39	5,15	0,75	0,21	-0,12	-0,86	0,60	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,04	0,63	0,03	22,64	0,11	0,88	2,78	4,01	0,55	0,43	-0,24	-0,86	1,20	0,80	5,87	1,71	0,70	-0,08	0,61	0,86	0,97

Fonte: PROPEE, modificada pelo autor

Figura 57 - Resultado de economia mensal para o consumidor.

CUSTOS DIRETOS						
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS						
Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Preço unitário	Custo total	PEE	
1 Intral/ Aledis- TUBOLED G2 600mm BRC FRIO 1000lm 8,5W	7,29	135,00	R\$ 15,51	R\$ 2.093,85	R\$ 2.093,85	
2 Intral/ Aledis- TUBOLED G2 1200mm BRC FRIO 2000lm 17W	7,29	824,00	R\$ 34,50	R\$ 28.428,00	R\$ 28.428,00	
3 ALPER- ALP-LT8-18W-V-145-023LM-840 2300lm 18W	7,29	321,00	R\$ 34,50	R\$ 11.074,50	R\$ 11.074,50	
4 Phillips- Standard LEDBulb LEDBulb 23W E27 6500K W A115 1PF/6 BR 3000lm	7,29	2,00	R\$ 55,90	R\$ 111,80	R\$ 111,80	
5 Empalux- TL40616 4000lm	7,29	73,00	R\$ 90,14	R\$ 6.580,22	R\$ 6.580,22	
6 Osram LED T8 18W 1850 lm	7,29	50,00	R\$ 25,44	R\$ 1.272,00	R\$ 1.272,00	
7 MASTER LEDtube T5 13W840 G5 13W 1600lm	11,66	463,00	R\$ 34,50	R\$ 15.973,50	R\$ 15.973,50	
8 Luminária de embutir para 1 Lâmp. 0,6m	-	34,20	R\$ 47,30	R\$ 1.617,72	R\$ 1.617,72	
9 Luminária de embutir para 2 Lâmp. 0,6m	-	6,20	R\$ 47,30	R\$ 293,41	R\$ 293,41	
10 Luminária de embutir para 3 Lâmp. 0,6m	-	20,00	R\$ 50,57	R\$ 1.011,40	R\$ 1.011,40	
11 Luminária de embutir para 4 Lâmp. 0,6m	-	6,00	R\$ 87,96	R\$ 527,76	R\$ 527,76	
12 Luminária de embutir para 1 Lâmp. 1,2m	-	274,75	R\$ 77,97	R\$ 21.422,53	R\$ 21.422,53	
13 Luminária de embutir para 2 Lâmp. 1,2m	-	250,18	R\$ 77,97	R\$ 19.506,43	R\$ 19.506,43	
14 Luminária de embutir para 3 Lâmp. 1,2m	-	75,62	R\$ 81,22	R\$ 6.141,68	R\$ 6.141,68	
15 Luminária de embutir para 4 Lâmp. 1,2m	-	33,83	R\$ 175,91	R\$ 5.951,18	R\$ 5.951,18	
MÃO DE OBRA						
Tipo de custo				Custo total	PEE	
Mão de obra própria				R\$ 2.502,69	R\$ 2.502,69	
Elaboração do Projeto (pré-diagnóstico e diagnóstico)				R\$ -	R\$ -	
TRANSPORTE E OUTROS CUSTOS DIRETOS						
Tipo de custo				Custo total	PEE	
Transporte				R\$ 625,67	R\$ 625,67	
Sub total - Custos iluminação				R\$ 125.134,34	R\$ 125.134,34	

Fonte: PROPEE, modificada pelo autor

APÊNDICE E- Dados Do RETScreen

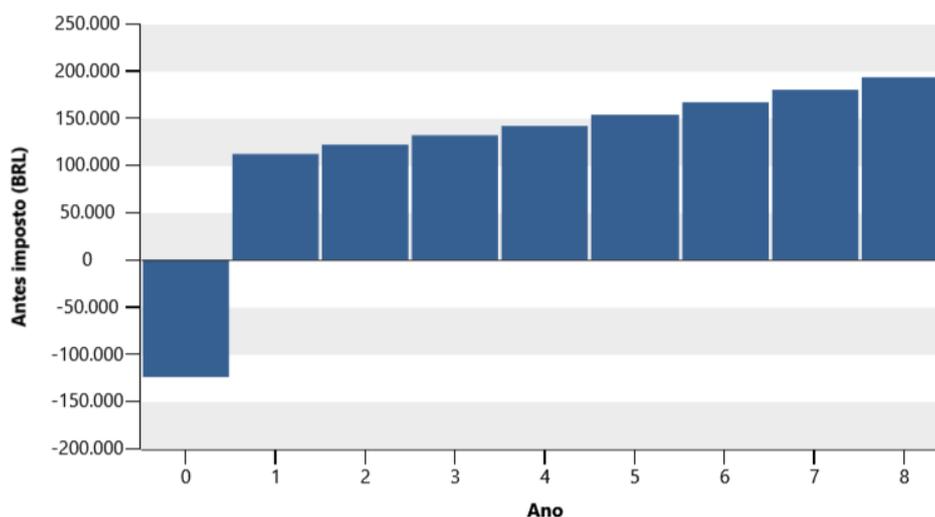
Cálculo da tarifa de energia elétrica, levando em consideração as informações do período de ponta e fora de ponta, do ano de 2017.

$$Tf = \frac{(Tp \times Hp) + (Tfd \times Hfp)}{Ht} = \frac{(439,48 \times 3) + (305,55 \times 21)}{24} = 422,7388$$

Onde:

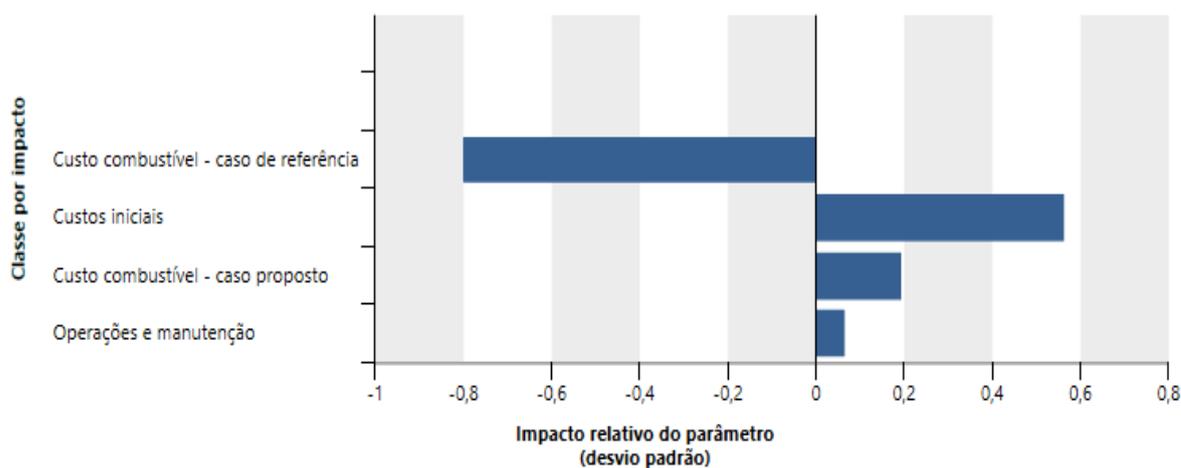
Tf: Tarifa final; Tp: Tarifa na ponta; Hp: Horas de consumo na ponta; Tfp: Tarifa fora de ponta; Hfp: Horas de consumo fora de ponta; Ht: Total de horas de consumo (ponta e fora de ponta);

Figura 58 - Fluxo de caixa anula.



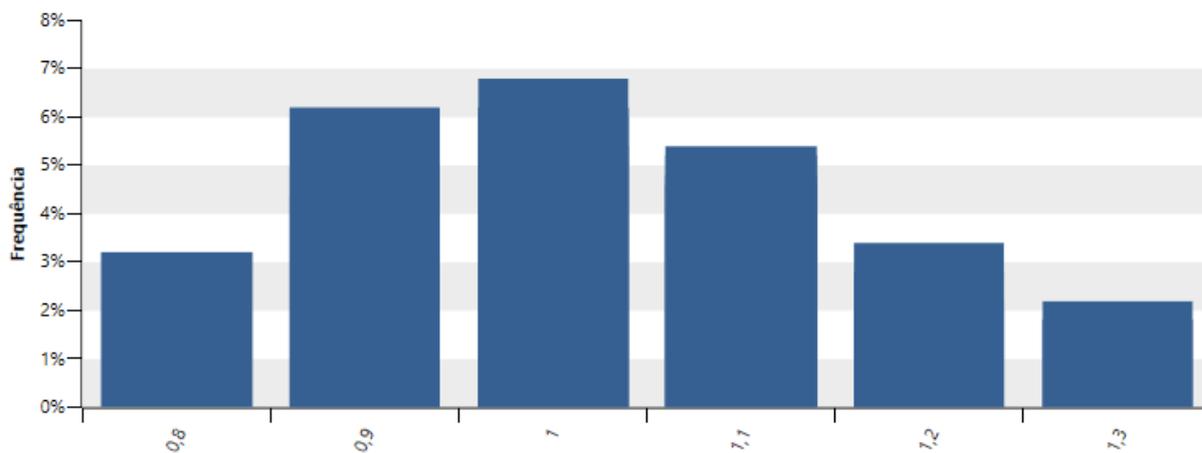
Fonte: Retcreen, modificada pelo autor

Figura 59 – Impacto do retorno do capital próprio.



Fonte: Retcreen, modificada pelo autor

Figura 60 - Distribuição do capital próprio.



Fonte: Retscreen, modificada pelo autor

Figura 61 – Equivalência de GEE.



Fonte: Retscreen, modificada pelo autor