



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS SOBRAL**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**YOLANDA LORENA MOREIRA GOMES**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA:  
ESTUDO DE CASO NA PREFEITURA DE SOBRAL-CE**

**SOBRAL**

**2019**

YOLANDA LORENA MOREIRA GOMES

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE  
CASO NA PREFEITURA DE SOBRAL-CE

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

Orientador: Prof. Dr. Adson Bezerra  
Moreira

SOBRAL

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G618e Gomes, Yolanda Lorena Moreira.  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE  
CASO NA PREFEITURA DE SOBRAL-CE / Yolanda Lorena Moreira Gomes. – 2019.  
119 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus  
de Sobral, Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Adson Bezerra Moreira.

1. Eficiência energética. 2. Qualidade de Energia. 3. Sistema fotovoltaico. 4. Edificações  
públicas. I. Título.

CDD 621.3

---

YOLANDA LORENA MOREIRA GOMES

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE  
CASO NA PREFEITURA DE SOBRAL-CE

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

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Adson Bezerra Moreira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Vanessa Siqueira de Castro Teixeira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Erasmo Saraiva de Castro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a Deus e à minha família, principalmente à minha mãe e às minhas irmãs, por todo o apoio, todo o amor e toda a força. E a todos os meus amigos, pelo incentivo, pela torcida e pelo companheirismo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos concedidas em todas as etapas da minha vida, e especialmente na acadêmica.

À minha mãe, Ediná Antônia, pelo apoio em todos os momentos e por me proporcionar todas as condições possíveis para possibilitar a minha formação e por ser a mulher mais incrível de toda a minha vida.

Às minhas irmãs, Ester Ágape e Maria Eduarda, que são minhas motivações e a causa de minha força.

Aos meus avós, Raimunda Moreira e Francisco Moreira, por todo o amor, que resultou nessa família maravilhosa.

Às minhas tias, Neide Moreira, Benedita Moreira, Elinete Moreira, Eliane Moreira e Claudina Moreira, que são minhas segundas mães, por estarem presentes em todos os momentos de minha vida, sempre me incentivando.

Aos meus primos, e em especial a Jayane Darla, que me encorajou e ajudou, principalmente nessa etapa final do curso.

Ao meu padrasto, Manoel Brito, por cuidar das mulheres da minha vida, e por toda a ajuda quando necessário.

À minha amiga, Lygia Matos, que foi fundamental na minha trajetória acadêmica, minha companheira de noites viradas, minha incentivadora e uma das pessoas mais iluminadas.

À minha amiga, Selmara Queiroz, por todos os momentos vividos, todos os conselhos dados e todo o companheirismo.

Às minhas amigas, Nicolly Tavares, Janayna Soeiro, Nayra Albuquerque, Larisse Ribeiro, Keite Stephany e Arinne Tavares, por todo o carinho, por torcerem sempre pelo meu sucesso e sempre estarem presentes, mesmo quando longe, sei que são pessoas que posso contar.

Aos amigos que a universidade me deu, Francinildo Costa, Iara Barbosa, Heitor Vasconcelos, Leonardo Pires, Gustavo Melo, Ítalo Vasconcelos, Erasmo Pacheco, Clévia Alves e Saulo Queiroz, por compartilharem essa caminhada comigo, por todo o incentivo e apoio durante esse percurso, por deixarem tudo mais leve e feliz e por todo "no final vai dar certo".

Ao meu supervisor de estágio, Airton Carneiro, por proporcionar todo o apoio quando necessitei, ajudando com o possível para a realização desse trabalho.

Ao meu professor, Adson Bezerra, por aceitar ser meu orientador nessa etapa final do curso, me direcionar e auxiliar da melhor maneira possível.

“Deleite-se no Senhor, e ele atenderá aos desejos  
do seu coração.”

(Salmos 37:4)

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo das medidas de eficiência energética que são aplicáveis na Prefeitura Municipal de Sobral. As ações foram propostas com base nos dados coletados na visita técnica, no levantamento de cargas e nas faturas de energia, em que estimou-se uma redução média mensal no consumo de 61,62%. Para isso, realizou-se a análise das contas de energia e dos sistemas atuais de iluminação e de climatização, buscando potenciais de melhorias que resultem na redução do consumo, a partir da implementação de novos sistemas com aparelhos mais eficientes. Também foi realizado o estudo da implementação de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica e através deste, é previsto uma energia gerada de 35%. Foi realizado o estudo da viabilidade econômica para os novos sistemas propostos, de iluminação, climatização e fotovoltaico, através dos índices financeiros *payback*, valor presente líquido e taxa interna de retorno, constatando que todos os projetos são economicamente viáveis. Verificou-se a qualidade de energia elétrica do sistema e de suas instalações, por meio dos estudos de parâmetros elétricos que podem ocasionar distúrbios que afetam o desempenho do sistema ou dos equipamentos, e por intermédio de uma inspeção termográfica para determinar os pontos que precisam de manutenção e classificá-los de acordo com sua prioridade.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Qualidade de energia. Sistema fotovoltaico. Edificações públicas.



## ABSTRACT

This work presents a study of the energy efficiency measures applicable in Sobral City Prefecture. The actions were proposed based on the data collected during the technical visit, the lifting of loads and the energy bills, where an average monthly consumption reduction of 61.62% was estimated. For this, an analysis was carried out of energy bills and current lighting and air conditioning systems, seeking to reduce energy consumption, from the implementation of new systems with more efficient appliances. The study of the implementation of a photovoltaic system for electricity generation was also carried out and, through this, 35 % of generated energy is expected. A study was carried out of the economic feasibility study for the proposed new systems of lighting, air conditioning and photovoltaic, through the index of financial results, payback, net present value and internal rate of return and, with this, it was verified that all projects are economically viable. The quality of system and facility energy was verified by the study of electrical parameters that can cause disturbances that affect the performance of the system or the equipment and by means of a thematic inspection to determine the points that need maintenance and to carry out their classification of according to its priority.

**Keywords:** Energy efficiency. Energy quality. Photovoltaic system. Public buildings.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de energia elétrica no Brasil por setor. . . . .	18
Figura 2 – Vertentes desenvolvidas no projeto. . . . .	21
Figura 3 – ENCE . . . . .	22
Figura 4 – Divisão do consumo em edificações públicas. . . . .	23
Figura 5 – Intensidade luminosa, fluxo luminoso e iluminância. . . . .	26
Figura 6 – Valor do IRC por lâmpada. . . . .	27
Figura 7 – Reprodução da cor da lâmpada por temperatura. . . . .	28
Figura 8 – Curva de distribuição luminosa. . . . .	29
Figura 9 – Diagrama do conforto térmico humano. . . . .	30
Figura 10 – Representação do desequilíbrio das tensões $V_{ab}$ , $V_{bc}$ e $V_{ca}$ . . . . .	34
Figura 11 – Composição de uma forma de onda quadrada a partir de suas harmônicas. . . . .	35
Figura 12 – Triângulo retângulo das potências. . . . .	36
Figura 13 – Tetraedro das potências. . . . .	37
Figura 14 – Módulo solar com orientação incorreta. . . . .	39
Figura 15 – Curva característica $V \times I$ do módulo solar. . . . .	40
Figura 16 – Curva $I \times V$ de duas células conectadas em série e em paralelo. . . . .	41
Figura 17 – Prefeitura Municipal de Sobral. . . . .	43
Figura 18 – Analisador de energia da Minipa ET 5060-C. . . . .	45
Figura 19 – Representação da instalação do analisador de energia. . . . .	46
Figura 20 – Instalação do analisador. . . . .	46
Figura 21 – Inspeção termográfica. . . . .	47
Figura 22 – Termovisor Flir i5. . . . .	48
Figura 23 – Luxímetro Minipa MLM-1011. . . . .	50
Figura 24 – Luminária Intral LSE - 100. . . . .	52
Figura 25 – Lâmpada <i>Philips</i> . . . . .	52
Figura 26 – Área de instalação dos painéis. . . . .	55
Figura 27 – Comparação das moralidades tarifárias horo sazonal verde e azul. . . . .	64
Figura 28 – Demanda faturada. . . . .	64
Figura 29 – Custo anual com energia elétrica x demanda contratada. . . . .	65
Figura 30 – Tensão nas fases A, B e C do quadro de iluminação e força. . . . .	66
Figura 31 – Tensão nas fases A, B e C do quadro de climatização. . . . .	67

Figura 32 – Variação da frequência no quadro de iluminação. . . . .	68
Figura 33 – Variação da frequência no quadro de climatização. . . . .	68
Figura 34 – Desequilíbrio de tensão no quadro de iluminação. . . . .	69
Figura 35 – Desequilíbrio de tensão no quadro de climatização. . . . .	69
Figura 36 – Distorção harmônica total de tensão no quadro de iluminação. . . . .	70
Figura 37 – Distorção harmônica total de tensão no quadro de climatização. . . . .	70
Figura 38 – Distorção harmônica total das correntes do quadro de iluminação. . . . .	71
Figura 39 – Correntes das fases A, B, C e do neutro do quadro de iluminação. . . . .	72
Figura 40 – Distorção harmônica total das correntes do quadro de climatização. . . . .	72
Figura 41 – Correntes das fases A, B, C e do neutro do quadro de climatização. . . . .	73
Figura 42 – Potência aparente, ativa e reativa do quadro de iluminação. . . . .	74
Figura 43 – Potência aparente, ativa e reativa do quadro de climatização. . . . .	75
Figura 44 – Potência ativa (PA), reativa (PR) e fator de potência (FP) do quadro de iluminação. . . . .	76
Figura 45 – Potência ativa (PA), reativa (PR) e fator de potência (FP) do quadro de climatização. . . . .	77
Figura 46 – Comparação do fator de potência no quadro de iluminação. . . . .	78
Figura 47 – Comparação do fator de potência no quadro de climatização. . . . .	78
Figura 48 – Inspeção termográfica no quadro de climatização. . . . .	79
Figura 49 – Inspeção termográfica no quadro de iluminação. . . . .	80
Figura 50 – Inspeção termográfica no quadro do segundo pavimento. . . . .	80
Figura 51 – Inspeção termográfica no quadro do terceiro pavimento. . . . .	81
Figura 52 – Disposição de luminárias no segundo pavimento. . . . .	82
Figura 53 – Simulação da edificação completa. . . . .	84
Figura 54 – Simulação do terceiro pavimento visto pela lateral. . . . .	84
Figura 55 – Redução média estimada de consumo. . . . .	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do IRC. . . . .	27
Tabela 2 – Temperatura de cor das lâmpadas e suas características. . . . .	28
Tabela 3 – Faixa de tensão para pontos de conexão em tensão nominal de 220V. . . . .	32
Tabela 4 – Limites de desequilíbrio de tensão. . . . .	34
Tabela 5 – Valores de referência da DHT de tensão. . . . .	35
Tabela 6 – DDT de corrente. . . . .	36
Tabela 7 – Características do termovisor. . . . .	48
Tabela 8 – Critérios para avaliação das anomalias térmicas. . . . .	49
Tabela 9 – Condições luminosas por ambiente. . . . .	49
Tabela 10 – Determinação do nível de eficiência energética. . . . .	51
Tabela 11 – Características das lâmpadas <i>Philips</i> . . . . .	53
Tabela 12 – Características técnicas de ar condicionados da Consul. . . . .	54
Tabela 13 – Áreas marcadas. . . . .	56
Tabela 14 – Irradiância solar diária média mensal do ano de 2018. . . . .	56
Tabela 15 – Temperatura média mensal da cidade de Sobral. . . . .	56
Tabela 16 – Escolha do ângulo de inclinação do módulo. . . . .	57
Tabela 17 – Características do painel fotovoltaico Canadian cs6k. . . . .	57
Tabela 18 – Quantidade de painéis. . . . .	57
Tabela 19 – Parâmetros dos inversores SUNNY. . . . .	58
Tabela 20 – Divisão dos inversores no sistema FV. . . . .	59
Tabela 21 – Distribuição dos módulos por inversor. . . . .	60
Tabela 22 – Consumo e demanda da prefeitura no ano de 2018. . . . .	63
Tabela 23 – Valor pago por reativos no ano de 2018. . . . .	65
Tabela 24 – Tensões máximas e mínimas registradas. . . . .	67
Tabela 25 – Distorção harmônica de tensão. . . . .	70
Tabela 26 – Distorção harmônica de corrente. . . . .	73
Tabela 27 – Levantamento de carga do sistema de iluminação. . . . .	81
Tabela 28 – Nível de eficiência energética do sistema atual de iluminação. . . . .	83
Tabela 29 – Cargas do novo sistema. . . . .	85
Tabela 30 – Comparação entre os sistemas atual e projetado. . . . .	85
Tabela 31 – Comparação entre os sistemas de climatização atual e projetado. . . . .	87

Tabela 32 – Taxas referentes a viabilidade econômica. . . . .	88
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating and Ventilating Engineers</i> (Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
COP	<i>Coefficient Of Performance</i> (Coeficiente de Desempenho)
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
DDT	Distorção de Demanda Total
DHT	Distorção Harmônica Total
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IRC	Índice de Reprodução de Cor
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i> (Rastreador de Ponto de Máxima Potência)
NBR	Norma Brasileira
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
TIR	Taxa Interna de Retorno
UGR	<i>Unified Glare Rating</i> (Índice de Ofuscamento Unificado)
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	18
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	19
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	19
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho</b>	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	21
<b>2.1</b>	<b>Eficiência energética</b>	21
<b>2.1.1</b>	<b>Análise tarifária</b>	23
2.1.1.1	<i>Grupos tarifários</i>	23
2.1.1.2	<i>Energia ativa e reativa</i>	24
2.1.1.3	<i>Demanda contratada, faturada e de ultrapassagem</i>	24
2.1.1.4	<i>Horários de ponta e fora de ponta</i>	25
<b>2.1.2</b>	<b>Iluminação</b>	25
2.1.2.1	<i>Lâmpada</i>	25
2.1.2.2	<i>Fluxo luminoso</i>	25
2.1.2.3	<i>Iluminância</i>	26
2.1.2.4	<i>Intensidade luminosa</i>	26
2.1.2.5	<i>Índice de reprodução de cor (IRC)</i>	26
2.1.2.6	<i>Temperatura de cor</i>	27
2.1.2.7	<i>Luminária</i>	28
2.1.2.8	<i>Curva de distribuição luminosa</i>	28
2.1.2.9	<i>Índice de ofuscamento</i>	29
<b>2.1.3</b>	<b>Climatização</b>	29
2.1.3.1	<i>Carga térmica</i>	30
2.1.3.2	<i>Conforto térmico</i>	30
2.1.3.3	<i>Coefficiente de desempenho (COP)</i>	31
<b>2.2</b>	<b>Qualidade de energia elétrica</b>	31
<b>2.2.1</b>	<b>Parâmetros que afetam a qualidade de energia elétrica</b>	32
2.2.1.1	<i>Tensão em regime permanente</i>	32
2.2.1.2	<i>Frequência</i>	33
2.2.1.3	<i>Desequilíbrio de tensão</i>	33

2.2.1.4	<i>Harmônicos</i>	34
2.2.1.5	<i>Fator de potência</i>	36
2.2.2	<b>Termografia</b>	37
2.2.2.1	<i>Emissividade</i>	38
2.3	<b>Sistema fotovoltaico</b>	38
2.3.1	<i>Energia solar</i>	38
2.3.2	<b>Componentes do sistema fotovoltaico</b>	39
2.3.2.1	<i>Painel fotovoltaico</i>	39
2.3.2.2	<i>Inversor</i>	41
3	<b>METODOLOGIA</b>	43
3.1	<b>Análise das faturas de energia</b>	44
3.1.1	<i>Enquadramento tarifário</i>	44
3.1.2	<i>Demanda contratada</i>	44
3.1.3	<i>Fator de potência</i>	44
3.2	<b>Qualidade de energia elétrica</b>	45
3.2.1	<i>Instrumentação de medição</i>	45
3.2.2	<i>Procedimentos da instalação</i>	45
3.3	<b>Termografia</b>	47
3.3.1	<i>Instrumentação de medição</i>	47
3.3.2	<i>Classificação das anomalias</i>	48
3.4	<b>Sistema de iluminação</b>	49
3.4.1	<i>Iluminância do ambiente</i>	49
3.4.2	<i>Nível de eficiência energética</i>	50
3.4.3	<i>Proposta de eficiência energética</i>	51
3.4.3.1	<i>Luminária</i>	51
3.4.3.2	<i>Lâmpada</i>	52
3.5	<b>Sistema de climatização</b>	53
3.5.1	<i>Nível de eficiência energética</i>	53
3.5.2	<i>Dimensionamento da carga térmica</i>	54
3.5.3	<i>Proposta de eficiência energética</i>	54
3.6	<b>Sistema fotovoltaico</b>	55
3.6.1	<i>Local de instalação</i>	55



3.6.2	<i>Dados meteorológicos</i>	56
3.6.3	<i>Inclinação e orientação</i>	56
3.6.4	<i>Painel fotovoltaico</i>	57
3.6.5	<i>Inversor</i>	58
3.6.6	<i>Layout do sistema</i>	59
3.6.7	<i>Energia produzida</i>	60
3.7	<b>Viabilidade econômica</b>	61
3.7.1	<i>Payback</i>	61
3.7.2	<i>Valor presente líquido</i>	61
3.7.3	<i>Taxa interna de retorno</i>	62
4	<b>RESULTADOS</b>	63
4.1	<b>Análise da fatura de energia elétrica</b>	63
4.2	<b>Qualidade de energia elétrica</b>	66
4.2.1	<i>Tensão em regime permanente</i>	66
4.2.2	<i>Frequência</i>	67
4.2.3	<i>Desequilíbrio de tensão</i>	68
4.2.4	<i>Distorção harmônica total de tensão</i>	69
4.2.5	<i>Distorção harmônica total de corrente</i>	71
4.2.6	<i>Potência ativa, reativa e fator de potência</i>	74
4.3	<b>Termografia</b>	79
4.4	<b>Sistema de iluminação</b>	81
4.4.1	<i>Condições atuais</i>	81
4.4.2	<i>Sistema proposto</i>	83
4.5	<b>Sistema da climatização</b>	86
4.5.1	<i>Condições atuais</i>	86
4.5.2	<i>Sistema proposto</i>	86
4.6	<b>Sistema fotovoltaico</b>	87
4.7	<b>Viabilidade econômica</b>	88
5	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	90
5.1	<b>Sugestão para trabalhos futuros</b>	91
	<b>REFERÊNCIAS</b>	92
	<b>APÊNDICES</b>	95

<b>APÊNDICE A</b> – Parâmetros medidos e calculados dos ambientes da Prefeitura. . . . .	95
<b>APÊNDICE B</b> – Parâmetros do novo projeto de iluminação. . . . .	99
<b>APÊNDICE C</b> – Aparelhos de ar condicionados atuais. . . . .	104
<b>APÊNDICE D</b> – Dimensionamento dos aparelhos de ar condicionados. . . . .	106
<b>APÊNDICE E</b> – Lista de materiais. . . . .	108
<b>ANEXOS</b> . . . . .	108
<b>ANEXO A</b> – Datasheet do Painel Solar Canadian cs6k. . . . .	109
<b>ANEXO B</b> – Datasheet do inversor sunny highpower. . . . .	112
<b>ANEXO C</b> – Datasheet do inversor sunny tripower. . . . .	116

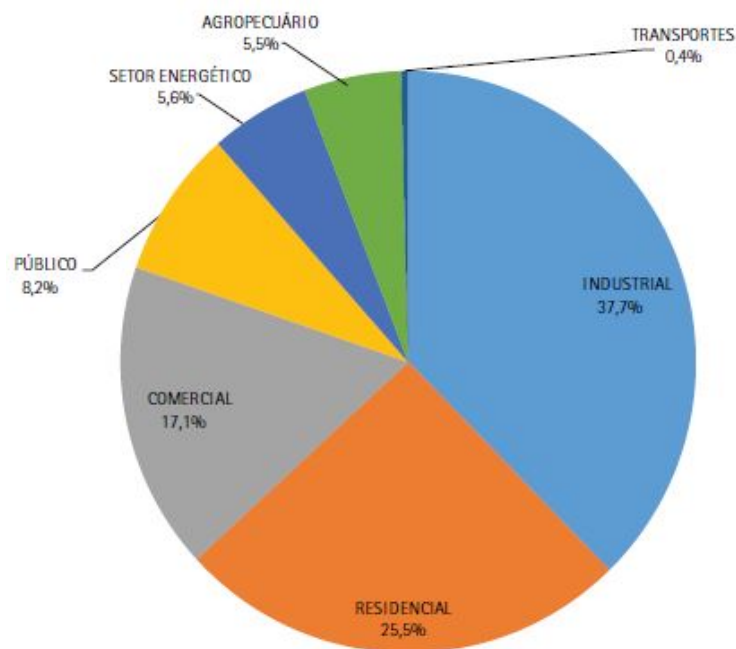
## 1 INTRODUÇÃO

A produção de energia elétrica cresceu continuamente ao longo dos anos, devido à necessidade de suprir o consumo proveniente do aumento da população e do desenvolvimento industrial e tecnológico. O que resultou em maiores impactos ambientais, visto que, a matriz elétrica mundial é formada, em sua maioria, por fontes energéticas não renováveis, que emitem gases poluentes no meio ambiente (EPE, 2019).

No Brasil, em 2016, apesar da predominância da fonte elétrica renovável hídrica, as atividades de geração de eletricidade causaram a emissão de 108 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $CO_2e$ ). Esse valor ainda aumenta quando o nível de água armazenada nos reservatórios hidrelétricos diminui, causado pelas condições climáticas e hidrológicas desfavoráveis, tornando necessário o acionamento das usinas termelétricas de combustíveis fósseis para suprir a demanda de energia, como auxílio às hidrelétricas (SEEG, 2018).

O gráfico da Figura 1 apresenta a divisão setorial do consumo de energia elétrica no Brasil. O setor industrial é responsável pela maior parcela de energia consumida do país, seguido do residencial, do comercial e do público. Logo, torna-se imprescindível a inserção de medidas que reduzam o consumo desses setores.

Figura 1 – Consumo de energia elétrica no Brasil por setor.



Fonte: EPE (2018).

A eficiência energética surge como uma alternativa para auxiliar na diminuição do consumo de energia elétrica. Essa atividade, juntamente com a geração de eletricidade por fontes limpas, por exemplo, como eólica, solar e outras, também ajudam a atender a crescente demanda de energia e combater os problemas ambientais a ela relacionados.

Entretanto, às medidas de eficientização geralmente são elaboradas desconsiderando os problemas de qualidade de energia que ocorrem no sistema elétrico, em decorrência ao uso de aparelhos mais eficientes (SANTOS *et al.*, 2006). Deste modo, a implementação da eficiência energética também deve garantir a qualidade do sistema para evitar problemas em seu desempenho, e assim, aos consumidores.

## **1.1 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivos gerais verificar o potencial de redução de consumo, analisar a qualidade das instalações elétricas e a possibilidade de inserção de um sistema de geração própria de energia na Prefeitura Municipal de Sobral.

Como objetivos específicos, propôs-se:

- Analisar os sistemas de iluminação e de climatização da Prefeitura Municipal de Sobral, apontando suas potencialidades de melhorias com o uso de aparelhos eficientes;
- Analisar a situação em que se encontra esses sistemas em relação a qualidade de energia, verificando a presença de distúrbios e suas possíveis causas;
- Exibir os pontos dos quadros elétricos gerais que necessitam de manutenção;
- Mostrar o estudo da implementação de um sistema fotovoltaico;
- Apresentar os resultados financeiros, mostrando o tempo de retorno e a redução estimada do consumo para todos os novos sistemas propostos.

## **1.2 Justificativa**

As medidas de eficiência energética são pouco aplicadas no setor público, em decorrência às barreiras burocráticas presentes para conseguir incentivo financeiro, pois possuem um custo inicial elevado.

Esses setores geralmente tendem a apresentar uma má gestão energética, devido a carência de conhecimento na área, resultado da falta de conscientização dos usuários sobre

o desperdício de energia. Pela ausência de manutenção nas instalações elétricas, resultado da falta de conscientização dos administradores sobre a importância desse serviço para prevenir problemas elétricos e evitar perdas.

A eficiência energética nas edificações públicas também apresenta uma importância social, visto que trabalha com o investimento do dinheiro público, ocasionando a redução dos gastos com insumos energéticos, uma economia que pode ser destinadas a outros setores econômicos.

### **1.3 Organização do trabalho**

Este trabalho está dividido em 5 capítulos:

O capítulo 1 apresenta a introdução, juntamente com os motivos e objetivos da realização desse estudo.

O capítulo 2 mostra uma visão geral dos sistemas estudados em relação a eficiência energética, a qualidade de energia e a implementação do sistema fotovoltaico, apresentando um breve contexto e a explicação teórica dos conceitos utilizados.

O capítulo 3 aborda os métodos que foram utilizados para realizar os estudos e como foram desenvolvidos.

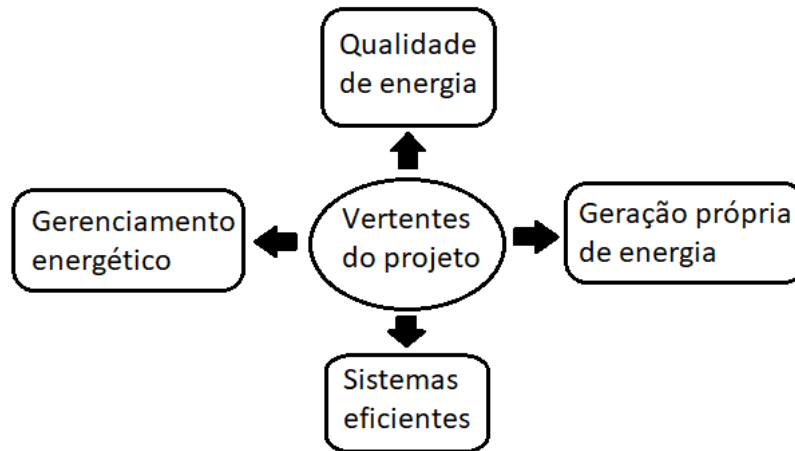
O capítulo 4 mostra os resultados das análises, exibindo a situação dos sistemas estudados e os pontos suscetíveis a manutenção, apresentando os novos sistemas propostos, com seu potencial de redução de consumo e seu estudo de viabilidade econômica.

Por fim, o capítulo 5 aborda as conclusões dos estudos realizados através desse trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, abordando a teoria referente às vertentes que o integram. Que são voltadas às atividades que abordam melhorias tanto para o meio ambiente, quanto para o consumidor, realizadas através da inserção de alternativas que visam a redução do consumo de energia elétrica, de uma forma que não afete o desempenho dos seus sistemas, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Vertentes desenvolvidas no projeto.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 2.1 Eficiência energética

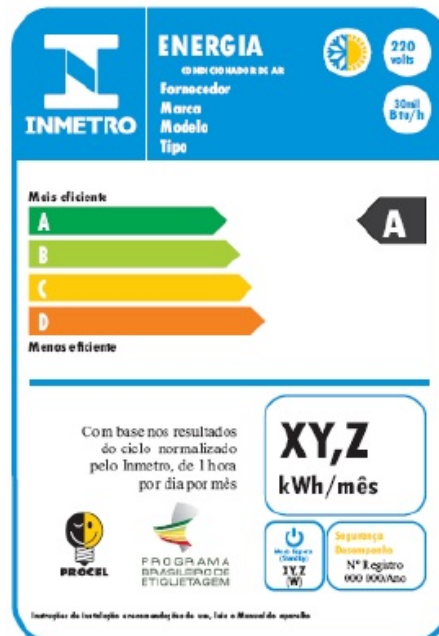
Segundo Jannuzzi (2014), a eficiência energética consiste em formas de reduzir o consumo de energia elétrica ao realizar a mesma quantidade de serviço, ou seja, diminuir a energia primária destinada a um uso final sem perder seu desempenho. Oliveira (2011) afirma que essa técnica também abrange a redução de perdas por danos e falhas de equipamentos, por desperdício e por má qualidade de energia.

Essas ações podem ocorrer na área de gestão de energia, com o gerenciamento e o direcionamento de medidas de conservação em uma instalação, na utilização de aparelhos mais eficientes e na conscientização das pessoas para evitar desperdícios com consumo (OLIVEIRA, 2011). Para desenvolver essas atividades, foram instituídos programas, que vão desde a conscientização da mudança de hábitos do consumidor, até a ajuda com incentivos financeiros.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que tem como objetivo promover o uso racional da energia, alcançou uma economia estimada em 21,2 bilhões de kWh em 2017, correspondendo a 4,57% do consumo nacional de eletricidade daquele ano (ELETROBRAS, 2018). Esse programa foi dividido em subprogramas para áreas específicas, o setor de edificações foi inserido no PROCEL Edifica que desenvolve atividades com vertentes em capacitação humana, tecnologia no desenvolvimento de aparelhos elétricos, disseminação da importância da eficiência, regulamentação de leis e regulamentos voltados para esse meio, habitação, introduzindo políticas de etiquetagem e *marketing* dos resultados obtidos com essas ações (MME, 2011).

Outra estratégia com grande repercussão é o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que informa aos consumidores o nível de eficiência energética de equipamentos eletrodomésticos. Dessa forma, o consumidor pode avaliar e selecionar os produtos de uma forma simples e de fácil entendimento, a classificação dos aparelhos é realizada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), mostrada na Figura 3.

Figura 3 – ENCE



Fonte: MME (2011).

A edificação também pode ser classificada com etiquetagem, quanto à sua eficiência energética, através dos Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), para isso são analisados os sistemas

de iluminação, climatização e envoltória (INMETRO, 2010). Esses sistemas podem receber selos com a letra A, que representam a classificação mais eficiente, até a letra E, menos eficiente.

A Figura 4 apresenta a divisão típica do consumo em repartições do setor público. Verifica-se que, os aparelhos eletrodomésticos são a maior fonte de energia consumida, desta forma, a utilização de equipamentos mais eficientes pode resultar em um grande impacto na redução do consumo.

Figura 4 – Divisão do consumo em edificações públicas.



Fonte: Magalhães (2001).

Os conceitos dos termos necessários utilizados para o desenvolvimento das técnicas de eficiência energética aplicadas em edificações públicas, que é o objeto deste estudo, são apresentados nos tópicos seguintes.

### **2.1.1 Análise tarifária**

A análise das contas de energia é inserida na eficiência energética como uma estratégia sem custos que resulta na otimização e na redução do consumo de energia elétrica, realizada através das características de consumo e demanda ativa e reativa referentes ao perfil da unidade consumidora.

#### **2.1.1.1 Grupos tarifários**

Os consumidores são classificados conforme sua tensão de fornecimento, podendo estar inserido no grupo A ou no B. O grupo B é formado por consumidores com fornecimento de tensão inferior a 2,3 kV, classificados como de baixa tensão (PROCEL, 2011). Este consumidor paga uma tarifa monômnia, referente ao seu consumo de energia elétrica.



Conforme PROCEL (2011), o grupo A é constituído por consumidores que são atendidos em média e alta tensão, ou seja, com tensão superior a 2,3 kV, e são divididos nos subgrupos:

- Subgrupo A1 para o nível de tensão igual ou superior a 230 kV;
- Subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS para sistema subterrâneo.

Esse grupo é caracterizado por possuir tarifa binômia, referente ao consumo e a demanda, além disso, pode ser enquadrado em três modalidades tarifárias, a convencional, a horo-sazonal verde e a horo-sazonal azul.

Na modalidade convencional binômia, o consumidor paga tarifas únicas ao longo de todo o dia, independente do horário, uma referente ao consumo e a outra, a demanda. Na modalidade horo sazonal verde, o consumidor paga tarifas diferentes de consumo no horário de ponta e no fora de ponta, e a mesma tarifa para a demanda ao longo de todo o dia. E na modalidade horo sazonal azul, o consumidor paga tarifas diferentes de consumo e demanda em horários de ponta e fora de ponta (PROCEL, 2011).

#### *2.1.1.2 Energia ativa e reativa*

A energia elétrica é composta por duas parcelas, a energia elétrica ativa e a energia elétrica reativa. O consumo da energia ativa é tarifado, já a energia reativa, quando utilizada, pode resultar em pagamento de multas, causando prejuízos ao consumidor.

A energia ativa é a potência ativa, que produz trabalho, consumida durante qualquer intervalo de tempo, enquanto a energia reativa circula entre os campos elétricos e magnéticos dos sistemas de corrente alternada. (SANTOS *et al.*, 2006).

#### *2.1.1.3 Demanda contratada, faturada e de ultrapassagem*

A demanda é o valor médio das potências ativas e reativas que são solicitadas pelo sistema através da carga instalada do consumidor em operação (SANTOS *et al.*, 2006). A demanda contratada é a potência ativa que obrigatoriamente deve ficar disponível ao consumidor de forma contínua durante o período de vigência determinado por contrato, que deverá ser

integralmente paga, independente da sua utilização. A demanda faturada é o valor máximo de potência ativa registrada a ser tarifado e a demanda de ultrapassagem, o valor excedente a demanda contratada, sujeito a pagamento de multa (PROCEL, 2011).

#### *2.1.1.4 Horários de ponta e fora de ponta*

São horários definidos pela concessionária de energia elétrica em virtude de sua capacidade, o horário de ponta compreende 3 horas do dia, excluindo os fins de semanas e feriados, o horário fora da ponta é referente às demais horas do dia (SANTOS *et al.*, 2006). A tarifa paga pelo consumo difere nesses horários, sendo maior no horário de ponta.

### **2.1.2 Iluminação**

Um projeto luminotécnico eficiente associa o baixo consumo do sistema de iluminação ao conforto visual adequado às características do ambiente e as tarefas as quais ele se destina, evitando desperdícios e considerando a qualidade da iluminação.

A eficiência do projeto depende dos componentes que o constitui, como lâmpadas e luminárias, e também, da forma como são distribuídas, em que se obtém uniformidade no clareamento. Para o dimensionamento correto de um sistema luminotécnico é necessário entender as características e conceitos dos elementos relativos ao sistema de iluminação.

#### *2.1.2.1 Lâmpada*

A lâmpada é um componente que converte a energia elétrica em luz visível (SANTOS *et al.*, 2006). O tipo de lâmpada utilizada em um ambiente depende de suas características. Os parâmetros mais importantes para a escolha das lâmpadas que compõem o sistema luminotécnico, com a finalidade de garantir sua eficiência são: a potência consumida, o fluxo luminoso e o tempo de vida útil. Outros fatores encontrados que dependem das atividades executadas do ambiente são: a temperatura e o Índice de Reprodução de Cor (IRC).

#### *2.1.2.2 Fluxo luminoso*

O fluxo luminoso representa a potência luminosa emitida em todas as direções por segundo, sua unidade de medida é o lúmen (*lm*) (CEPEL, 2015). Essa grandeza determina a quantidade de luz no ambiente, quanto maior o fluxo luminoso, melhor será a iluminação

do ambiente. A eficiência luminosa relaciona o fluxo luminoso com a potência consumida da lâmpada.

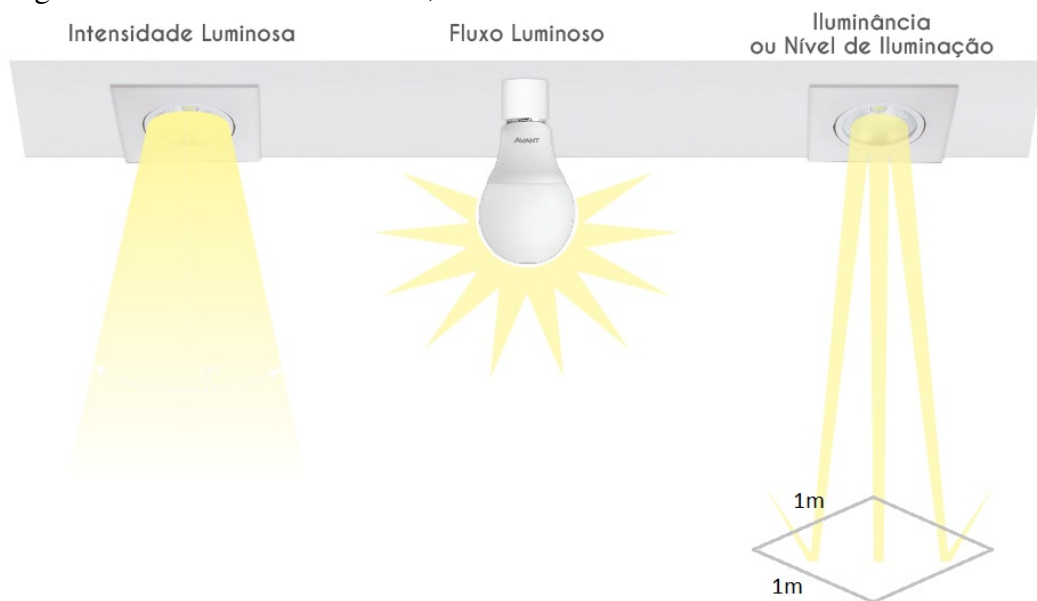
### 2.1.2.3 Iluminância

A iluminância relaciona o fluxo luminoso incidente em uma superfície por unidade de área, sendo medida em lux (CEPEL, 2015). A distribuição do sistema de iluminação é realizado, de acordo com os valores de iluminância necessários para a execução de determinadas tarefas, esse valores são definidos pela Norma Brasileira (NBR) ISO / CIE 8995-1.

### 2.1.2.4 Intensidade luminosa

Essa grandeza determina a intensidade do fluxo luminoso, proveniente de uma fonte, em uma dada direção, sua unidade de medida é a candela (*cd*) (SANTOS *et al.*, 2006). A Figura 5 mostra a representação da intensidade luminosa, do fluxo luminoso e da iluminância.

Figura 5 – Intensidade luminosa, fluxo luminoso e iluminância.



Fonte: AVANT (2019).

### 2.1.2.5 Índice de reprodução de cor (IRC)

O IRC é a medida entre a cor real do objeto e a sua sensação de aparência quando exposto a uma determinada fonte de luz (CEPEL, 2015), varia de 0 a 1 e é estabelecido pela NBR ISO / CIE 8995-1. Quanto maior esse índice, melhor será a reprodução da cor real do

objeto. A Tabela 1 apresenta o IRC classificado de acordo com o ambiente. A Figura 6 mostra a aparência dos objetos quando expostos a diferentes níveis de IRC de diversas lâmpadas.

Tabela 1 – Classificação do IRC.

Classificação	Nível	IRC	Aplicações
Excelente	1a	$0,9 < IRC < 1$	Testes de cor, floriculturas
Muito bom	1b	$0,8 < IRC < 0,89$	Escritório, residências, lojas
Bom	2a	$0,7 < IRC < 0,79$	Escadas, circulação
Razoável	2b	$0,6 < IRC < 0,69$	Oficinas, ginásios
Regular	3	$0,4 < IRC < 0,59$	Depósitos, postos de gasolina
Insuficiente	4	$0,2 < IRC < 0,39$	Vias de tráfego, estacionamentos

Fonte: Adaptado de CEPTEL (2015).

Figura 6 – Valor do IRC por lâmpada.



Fonte: VOITILLE (2018).

Observa-se que as cores dos objetos expostos às lâmpadas com baixo IRC, como de mercúrio e sódio, são mais difíceis de identificar, diferentemente do que ocorre com a exposição às lâmpadas incandescentes e halógenas, que possuem um IRC mais elevado. Apesar disso, essas lâmpadas estão em desuso, e foram substituídas por lâmpadas fluorescentes e de LED que, embora possuam um IRC mais baixo, em torno de 0,8, proporcionam mais economia ao consumidor.

#### 2.1.2.6 Temperatura de cor

A temperatura de cor expressa a aparência da cor da luz, sua medida é em Kelvin ( $K$ ) (CEPEL, 2015). A escolha dessa temperatura é de acordo com a atividade executada no ambiente. A Tabela 2 apresenta as faixas de temperatura encontradas relacionadas às suas tonalidades. A Figura 7 mostra a reprodução da cor da lâmpada por temperatura.

Tabela 2 – Temperatura de cor das lâmpadas e suas características.

Temperatura de cor ( $T$ )	Cor característica	Tonalidade de cor	Ambiente
$T > 5000\text{K}$	Branca Fria	Azul	Industriais
$3300\text{K} \leq T \leq 5000\text{K}$	Branca Neutra	Branca	Comerciais
$T < 3300\text{K}$	Branca Morna	Amarela	Domésticos

Fonte: Adaptado de CEPEL (2015).

Figura 7 – Reprodução da cor da lâmpada por temperatura.



Fonte: VOITILLE (2018).

Em ambientes em que se deseja a permanência de pessoas, utiliza-se lâmpadas com temperatura de cor mais quente, para locais como restaurantes, e mais neutras, para escritórios de trabalho, como mostrado a esquerda na Figura 7. Já em ambientes onde se necessita uma maior rotatividade das pessoas, como supermercados, utiliza-se lâmpadas com temperaturas de cor mais frias, como pode-se ver à direita na Figura 7.

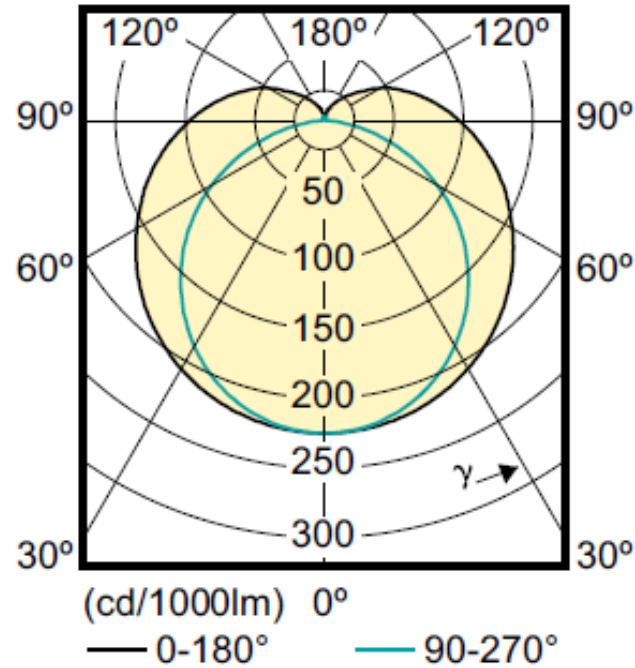
#### 2.1.2.7 Luminária

As luminárias direcionam o fluxo luminoso para uma determinada superfície. São escolhidas de acordo com as atividades executadas no ambiente a serem instaladas. A eficiência da luminária, que determina o aproveitamento do fluxo luminoso da lâmpada, e sua curva de distribuição são as principais características para e considerar na escolha desse componente.

#### 2.1.2.8 Curva de distribuição luminosa

Representa a intensidade luminosa de uma fonte de luz em todos os ângulos que ela é direcionada. Trata-se de um diagrama polar que indica a distribuição da luz e da luminária (CEPEL, 2015). A Figura 8 apresenta a representação polar de uma curva de distribuição luminosa.

Figura 8 – Curva de distribuição luminosa.



Fonte: Philips (2019).

A determinação dessa curva é realizada a partir da medição da luz em vários ângulos ao redor da fonte, em que é determinada a intensidade luminosa nos planos longitudinal e transversal, mostrados em azul e preto na Figura 8, respectivamente. Quando essas curvas são projetadas em um só plano, formam a curva fotométrica, que determina a iluminância do ambiente em determinadas distâncias e a uniformidade da luz.

#### 2.1.2.9 Índice de ofuscamento

É o efeito de uma luz intensa no campo de visão do olho humano CEPEL (2015). Esse índice possui limite estabelecido pela NBR ISO / CIE 8995-1, de acordo com o tipo de ambiente. Se esse valor for inferior ao determinado, pode provocar desconforto visual e interferir na execução da atividade de trabalho da pessoa, pode ser evitado através do uso de luminárias com proteção e do seu posicionamento correto.

#### 2.1.3 Climatização

O sistema de climatização tem como função manter o nível de temperatura e umidade de um ambiente, para garantir o conforto térmico aos usuários e suprir as necessidades do processo produtivo (MARQUES *et al.*, 2007). A implementação de técnicas de eficiência

energética, vão desde o dimensionamento correto da carga térmica necessária para o ambiente, evitando um sub ou superdimensionamento, até a escolha do tipo de aparelho utilizado, que deve ser conforme a classificação do PBE.

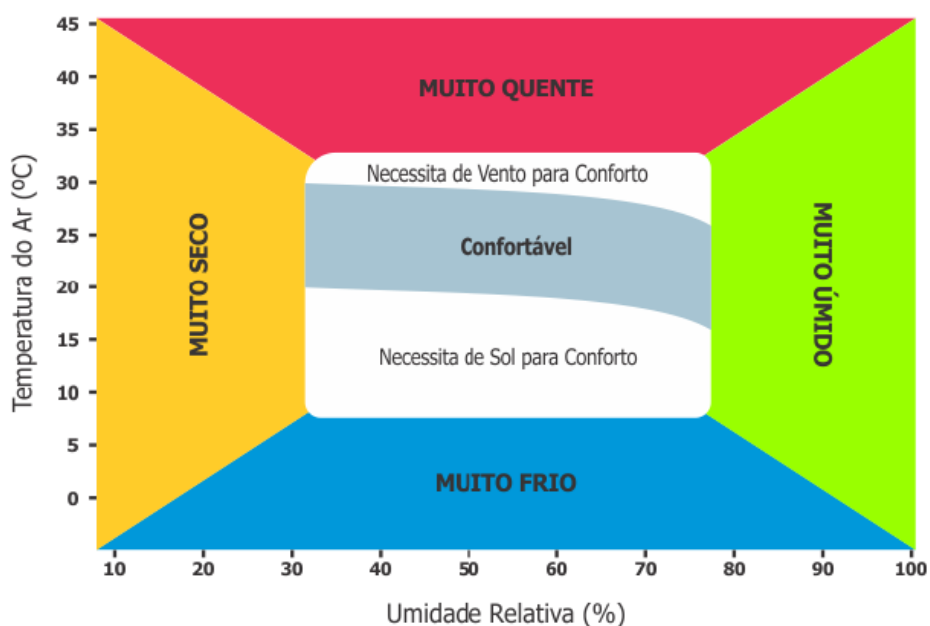
### 2.1.3.1 Carga térmica

Consiste na quantidade de calor latente ou sensível que deve ser retirada do ambiente para garantir condições de conforto térmico aos usuários (LOPES, 2013). É determinada de acordo com a NBR 16401-1: 2008. Esse parâmetro é fundamental para a escolha do aparelho condicionador de ar a ser utilizado no sistema de climatização. As características climáticas da região, os aspectos construtivos da edificação, a quantidade de pessoas, de aparelhos elétricos e de iluminação interferem diretamente no valor dessa grandeza.

### 2.1.3.2 Conforto térmico

Essa medida está relacionada com o estado em que o indivíduo expressa satisfação com a temperatura do ambiente que o rodeia, depende de vários fatores estruturais e climáticos e de cada pessoa. Um bom projeto de climatização deve garantir o conforto térmico dos usuários (ASHRAE, 2013). A Figura 9 apresenta um diagrama do conforto térmico humano, que relaciona a temperatura do ar do ambiente com sua escala de umidade relativa.

Figura 9 – Diagrama do conforto térmico humano.



Fonte: INMET (2017).

Verifica-se que uma temperatura abaixo de 8 °C, mostrada em azul, configura uma sensação de muito frio e acima de 33 °C, mostrado em rosa, uma sensação de muito calor. Em relação a umidade relativa, quando seu valor está abaixo de 30%, mostrado em laranja, configura uma sensação de ambiente muito seco, e acima de 80%, uma sensação de ambiente muito úmido, como mostrado em verde, essas situações normalmente causam desconforto térmico ao indivíduo.

A área de conforto térmico está compreendida entre as temperaturas de 8 °C e 30 °C, com umidade relativa entre 30% e 80%, como mostrado em branco. Porém, dentro desta área, há circunstâncias que precisam de determinadas condições para se obter a sensação de conforto térmico, como em temperaturas abaixo de 20 °C e com umidade de 30%, que resulta na necessidade de insolação para chegar ao conforto, outra situação ocorre quando a temperatura está acima de 26 °C e com umidade de 80%, em que há a necessidade de ventilação.

### 2.1.3.3 Coeficiente de desempenho (COP)

É um índice que avalia o nível de eficiência energética do aparelho de ar condicionado, relacionando a capacidade de remoção de calor desse equipamento ( $P_{util}$ ) com a potência requerida pelo seu compressor ( $P_{comp}$ ), como mostrado na equação (2.1). Quanto maior esse índice, melhor é o rendimento do aparelho. É utilizado pelo INMETRO para realizar a classificação por etiquetagem dos aparelhos condicionadores de ar.

$$COP = \frac{P_{util}}{P_{comp}} \quad (2.1)$$

## 2.2 Qualidade de energia elétrica

A qualidade de energia elétrica é caracterizada pela ausência relativa de distúrbios no sistema elétrico, como variações de tensão, provocadas pelo sistema da concessionária, flutuações de tensão, surtos e harmônicos, medidos no ponto de entrega de energia, que resulta, pelo lado do consumidor no funcionamento contínuo, seguro e adequado dos equipamentos elétricos e processos associados (BRONZEADO *et al.*, 1997).



Essa questão tem se tornado importante a todos os setores elétricos, visto que sua falta interfere nos modernos processos industriais produtivos, implicando em perdas econômicas e também, na perda de equipamentos sensíveis aos distúrbios originários no sistema elétrico (SANTOS *et al.*, 2006).

Os distúrbios podem ser causados por fenômenos como descargas atmosféricas, curtos-circuitos, entrada ou saída de operação de grandes blocos de cargas, chaveamento de bancos de capacitores, e até mesmo características das próprias cargas presentes na instalação, causando distorções na forma de onda de tensão e corrente elétrica.

### 2.2.1 Parâmetros que afetam a qualidade de energia elétrica

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através da Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST), estabelece métodos relativos à qualidade da energia elétrica, abordando a qualidade do produto, do serviço prestado e do tratamento de reclamações (ANEEL, 2018). As seções a seguir apresentam os parâmetros relacionados a qualidade do produto.

#### 2.2.1.1 Tensão em regime permanente

A regulação da tensão de atendimento realizada pela PRODIST está apresentada na Tabela 3, exibindo os níveis aceitáveis da variação da tensão adequada, precária e crítica. Os equipamentos que são expostos aos limites críticos e precários de tensão podem ter seu tempo de vida útil reduzido.

Tabela 3 – Faixa de tensão para pontos de conexão em tensão nominal de 220V.

Classificação	Faixa de variação da TL - tensão de leitura (V)
Adequada	$202 \leq TL \leq 231$
Precária	$191 \leq TL < 202$ ou $231 < TL \leq 233$
Crítica	$TL < 191$ ou $TL > 233$

Fonte: Adaptado de ANEEL (2018).

Caso as medições apresentem níveis de tensão considerados críticos ou precários, deve-se calcular o índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (*DRP*) e para tensão crítica (*DRC*), mostradas nas equações (2.2) e (2.3).

$$DRP\% = \frac{nlp}{1008} \cdot 100 \quad (2.2)$$

$$DRC\% = \frac{nlc}{1008} \cdot 100 \quad (2.3)$$

Onde  $nlp$  e  $nlc$  representam o maior valor entre as fases do número de leituras situadas nas faixas precária e crítica, respectivamente. O valor limite de  $CRP$  não pode ultrapassar 3%, e o de  $DRC$  0,5% (ANEEL, 2018). Caso isso aconteça, deve-se tomar as providências para a normatização da tensão para os níveis aceitáveis.

#### 2.2.1.2 Frequência

O sistema de distribuição e suas instalações de geração devem operar, em condições nominais, na faixa de frequência de 59,9 Hz a 60,1 Hz. Caso esses valores sejam ultrapassados, o sistema tem 30 segundos para retornar a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para assim garantir a continuidade do sistema elétrico e permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração (ANEEL, 2018).

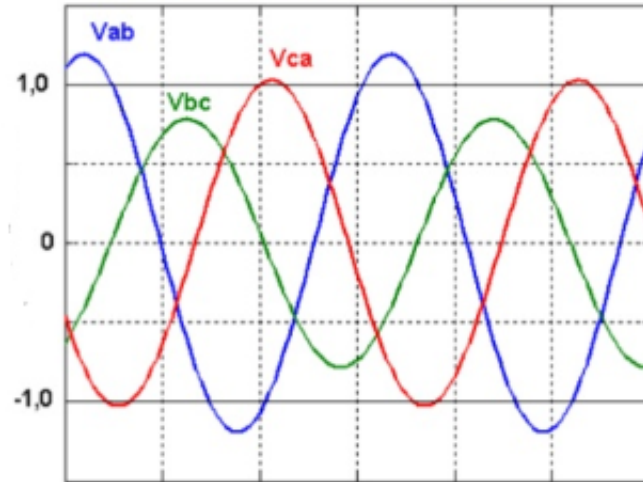
Em casos extremos, a variação na frequência pode ocasionar instabilidade no sistema elétrico como um todo. A atuação das proteções do sistema, sensibilizadas por frequências fora da faixa de operação, acarretam o corte de grandes blocos de cargas e conseqüentemente aumenta o desequilíbrio entre carga e geração, causando uma reação em cadeia de desligamentos, podendo chegar a um colapso total do sistema (BATISTA, 2018).

#### 2.2.1.3 Desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio de tensão é caracterizado por alterações no padrão trifásico do sistema, conseqüente da mudança da amplitude da tensão e da desigualdade das fases, causado pela conexão desigual de cargas monofásicas, bifásicas e trifásicas desbalanceadas (DECKEMANN; POMILIO, 2018). A Figura 10 exibe a representação gráfica de tensões desequilibradas.

O fator de desequilíbrio da tensão ( $FD$ ) é o parâmetro que mede o desequilíbrio através relação da tensão eficaz de sequência negativa ( $V_-$ ) e a tensão eficaz de sequência positiva ( $V_+$ ), como mostra a equação (2.4).

Figura 10 – Representação do desequilíbrio das tensões Vab, Vbc e Vca.



Fonte: Deckemann e Pomilio (2018).

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \times 100 \quad (2.4)$$

Os limites aceitáveis para o desequilíbrio de tensão são classificados de acordo com a tensão de alimentação do consumidor, como exposto na Tabela 4.

Tabela 4 – Limites de desequilíbrio de tensão.

Indicador	Tensão nominal ( $V_n$ )	
	$V_n < 1,0$ kV	$1$ kV $< V_n < 230$ kV
FD95%	3,0%	2,0%

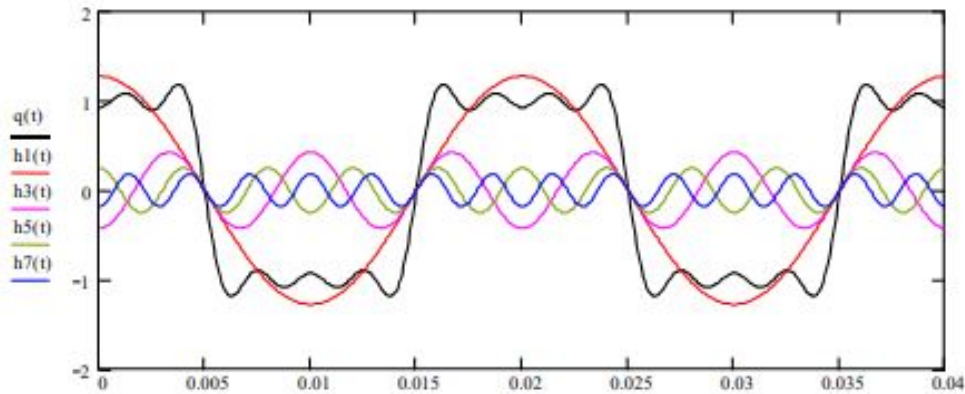
FD95% - Valor do indicador FD% que foi superado em apenas 5% das leituras válidas

Fonte: ANEEL (2018).

#### 2.2.1.4 Harmônicos

Os distúrbios que causam distorções nas formas de onda da tensão e da corrente fazendo com que apresentem frequências múltiplas a frequência fundamental de operação do sistema, são chamados de componentes harmônicos. São causadas por cargas com características não lineares conectadas ao sistema, presentes principalmente em dispositivos de eletrônica de potência (SANTOS *et al.*, 2006). A Figura 11 traz a representação de uma forma de onda quadrada composta por harmônicos de várias frequências.

Figura 11 – Composição de uma forma de onda quadrada a partir de suas harmônicas.



Fonte: Deckemann e Pomilio (2018).

Os harmônicos das formas de ondas da tensão e da corrente são quantificados através do indicador de Distorção Harmônica Total (DHT), que relaciona o valor eficaz dos harmônicos com o valor eficaz da componente fundamental, como mostrado nas equações (2.5) e (2.6).

$$DHT_v\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (2.5)$$

$$DHT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \quad (2.6)$$

Onde  $DHT_v$  e  $DHT_i$  equivalem as distorções harmônicas totais de tensão e corrente,  $V_h$  e  $I_h$  aos componentes harmônicos de ordem  $h$  da tensão e da corrente e  $V_1$  e  $I_1$  aos componentes fundamentais da tensão e da corrente.

O PRODIST determina os limites de variação da DHT de tensão, como mostrado na Tabela 5, admitindo que esses limites sejam ultrapassados em 5% das leituras realizadas.

Tabela 5 – Valores de referência da DHT de tensão.

Indicador	Tensão nominal ( $V_n$ )		
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
$DHT_v 95\%$	10,0%	8,0%	5,0%

FD95% - Valor do indicador FD% que foi superado em apenas 5% das leituras válidas

Fonte: ANEEL (2018).

Para a DHT de corrente não existe regulamentação nacional, por isso, utilizou-se como referência, a recomendação 519 - 2014 do *Institute of Electrical and Electronic Engineers*

(IEEE), que calcula o parâmetro de Distorção de Demanda Total (DDT) de corrente, que corresponde ao DHT quando a fundamental da corrente estiver em seus valores nominais de demanda, relacionando a corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ ) com a da carga ( $I_L$ ), conforme a tensão de fornecimento, nesse caso, para tensões entre 127 V e 69 kV como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – DDT de corrente.

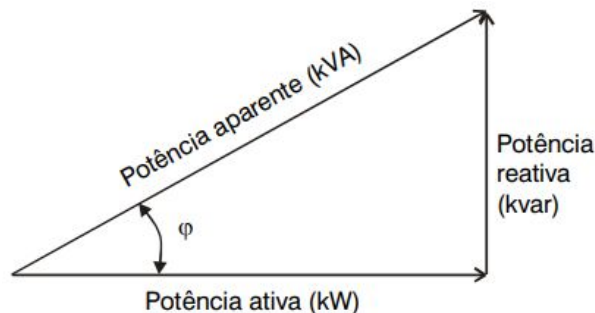
$I_{cc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	DDT
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5%
20 <50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8%
50 <100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12%
100 <1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15%
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20%

Fonte: IEEE (2014).

#### 2.2.1.5 Fator de potência

O fator de potência ( $fp$ ) é um indicativo de quanto de potência ativa ( $P$ ) e reativa ( $Q$ ) há em um sistema. O triângulo retângulo da Figura 12 mostra as relações dessas grandezas, através dele, pode-se chegar a equação (2.7), referente ao fator de potência, em que  $\varphi$  é o ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente do sistema.

Figura 12 – Triângulo retângulo das potências.



Fonte: WEG Automação S.A. (2009).

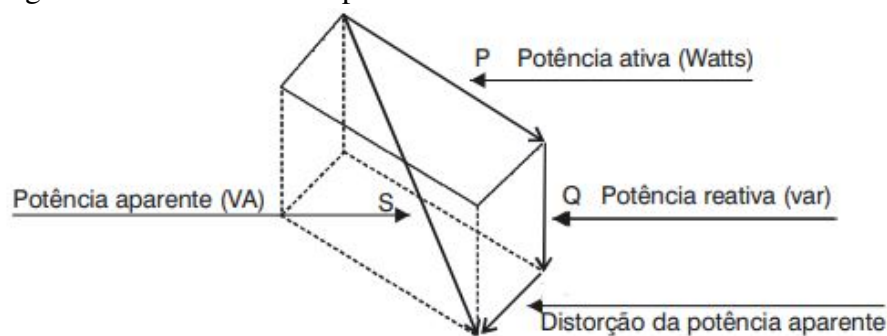
$$fp = \cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (2.7)$$

O fator de potência deve apresentar, de acordo com a ANEEL (2018), valores entre 0,92 e 1,00, apresentando características indutivas ou capacitivas conforme a regulação vigente.

Um valor fora do estabelecido resultará no pagamento de multas, além de limitar a capacidade do transformador e a disponibilidade de potência ativa.

A presença de harmônicas nas instalações elétricas pode afetar no valor do fator de potência desse sistema, pois são consideradas também, além das componentes fundamentais de tensão e corrente e seu ângulo de defasagem, as componentes harmônicas e suas defasagens (WEG AUTOMAÇÃO S.A., 2009). Então, quando há distorção harmônica no sistema, é adicionado uma terceira dimensão, referente a distorção da potência aparente, no triângulo das potências da Figura 12, resultando no tetraedro que pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 – Tetraedro das potências.



Fonte: WEG Automação S.A. (2009).

A DHT de corrente altera o valor final do fator de potência registrado pela concessionária, como mostrado na equação (2.8), onde  $f_{pr}$  é o fator de potência considerando a presença de DHT de corrente.

$$f_{pr} = \frac{fp}{\sqrt{1 + DHT_i^2}} \quad (2.8)$$

### 2.2.2 Termografia

Um dos objetivos do estudo da qualidade de energia elétrica é garantir ao consumidor a continuidade do serviço. Para isso, também é importante assegurar a qualidade da parte física das instalações elétricas, realizando ações de manutenção, que previnem o surgimento de problemas que possam ocorrer nas instalações e causar falhas no sistema de energia.

A inspeção termográfica é enquadrada como uma forma de manutenção preventiva dos sistemas de energia. É realizada através da detecção da temperatura por irradiação infravermelha para retratar o perfil térmico de um corpo, com o objetivo de localizar os pontos quentes

e os sobreaquecimentos do sistema que são suscetíveis a causar falhas e até interrupção na operação (OLIVEIRA, 2012). A temperatura de um corpo é determinada pela intensidade da radiação emitida por sua superfície, depende da excitação das moléculas, quanto maior esse fator, maior será a temperatura (SANTOS, 2012).

#### 2.2.2.1 *Emissividade*

Outro fator que influencia no valor da radiação infravermelha é a emissividade, que consiste na razão entre a radiação emitida por uma superfície e a emitida por um corpo negro, submetidos à mesma temperatura, pode-se dizer então que é capacidade que um corpo tem de emitir energia. Cada corpo, dependendo da sua composição, vai possuir uma emissividade diferente. Para realizar a inspeção termográfica, deve-se considerar o valor correto de emissividade de cada material, caso o contrário, os resultados serão incoerentes.

### 2.3 Sistema fotovoltaico

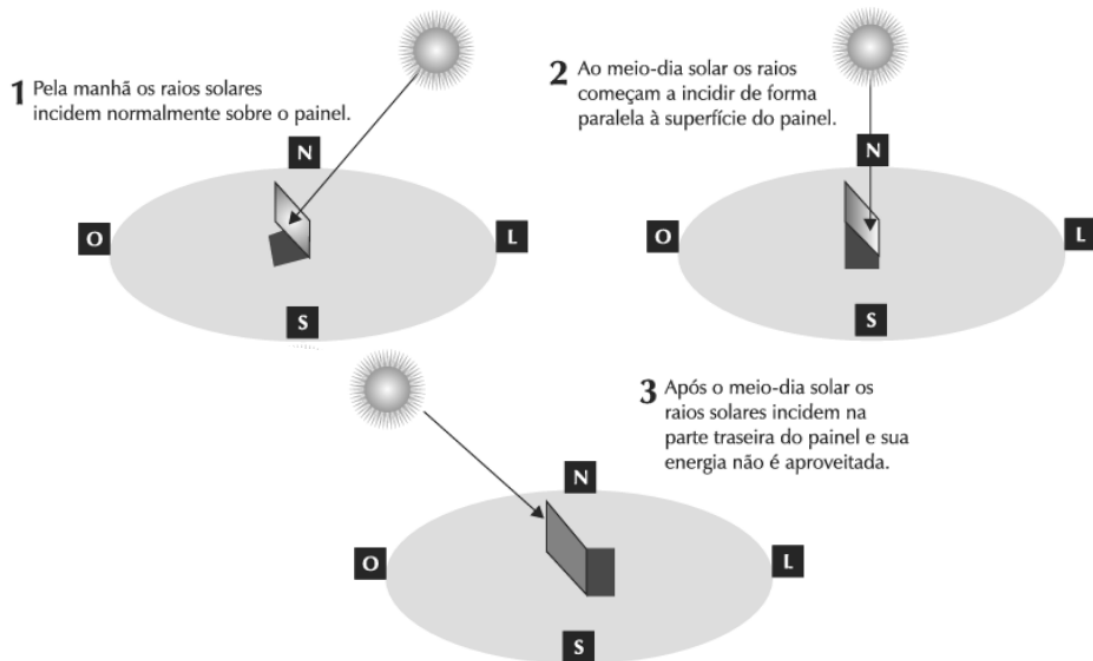
A necessidade pela busca de ações para mitigar os impactos ambientais causados por fontes poluentes de geração de energia elétrica, aumenta continuamente com a elevação do consumo. Para combater esses problemas, estão sendo utilizadas alternativas como a geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico, aliada à eficiência energética.

#### 2.3.1 *Energia solar*

O sol é uma fonte inesgotável de energia, que é transmitida através da radiação solar e pode ser aproveitada para gerar eletricidade de forma limpa e sustentável, essa radiação pode ser quantificada através da irradiação solar, medida em ( $W/m^2$ ) que representa a propagação da energia em um intervalo de tempo, por uma unidade de área.

O ângulo de orientação dos raios solares, em relação ao norte geográfico, chamado de azimutal, é fundamental na hora de posicionar os módulos fotovoltaicos para obter o melhor aproveitamento do sistema (VILLALVA; GAZOLI, 2012). A Figura 14 mostra um módulo solar instalado em uma orientação incorreta, verifica-se que, por isso, há uma elevada perda na geração de energia em um determinado período do dia.

Figura 14 – Módulo solar com orientação incorreta.



Fonte: Villalva e Gazoli (2012).

### 2.3.2 Componentes do sistema fotovoltaico

Os principais componentes do sistema fotovoltaico são: o módulo solar, que possui etiquetas de classificação da INMETRO quanto a seu nível de eficiência energética e o inversor. O dimensionamento desses elementos é realizado de acordo com seus parâmetros elétricos.

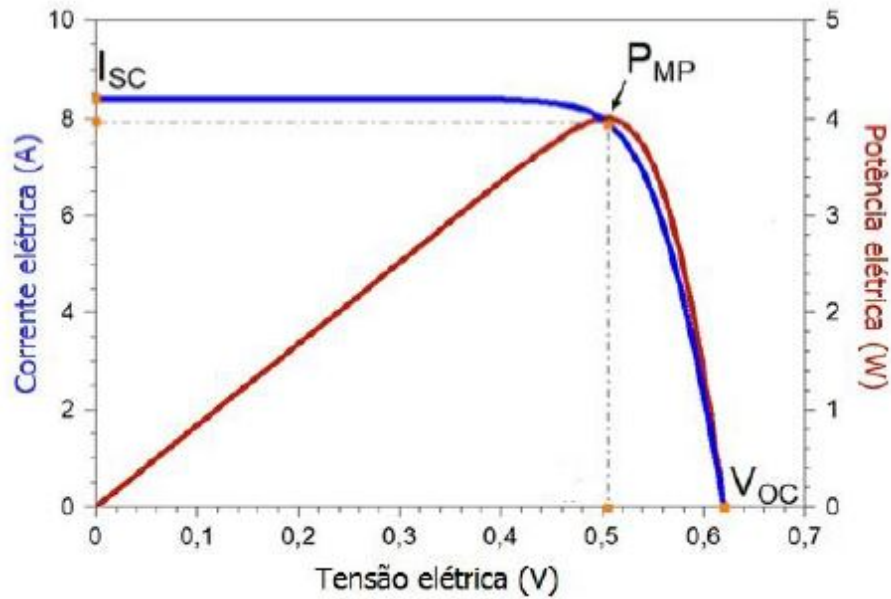
#### 2.3.2.1 Painel fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas que realizam a conversão de luz em eletricidade, geralmente compostas por silício mono ou policristalinos. Suas curvas características de tensão, corrente e potência, para quando o módulo está submetido a condições de ensaio padrão, com irradiação de  $1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$  e temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , estão mostradas na Figura 15.

Verifica-se que, para a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), o módulo apresenta seu valor de tensão máxima, que ocorre quando ele não está conectado ao sistema. À medida que a corrente se eleva, quando o sistema é conectado, sendo submetido a diferentes níveis de tensão, a corrente chega a seu ponto de curto-circuito ( $I_{cc}$ ). Entre esses intervalos, a curva apresenta seu ponto ótimo ( $P_{mp}$ ), o valor em que a máxima potência é gerada (PINHO; GALDINO, 2014).



Figura 15 – Curva característica VxI do módulo solar.

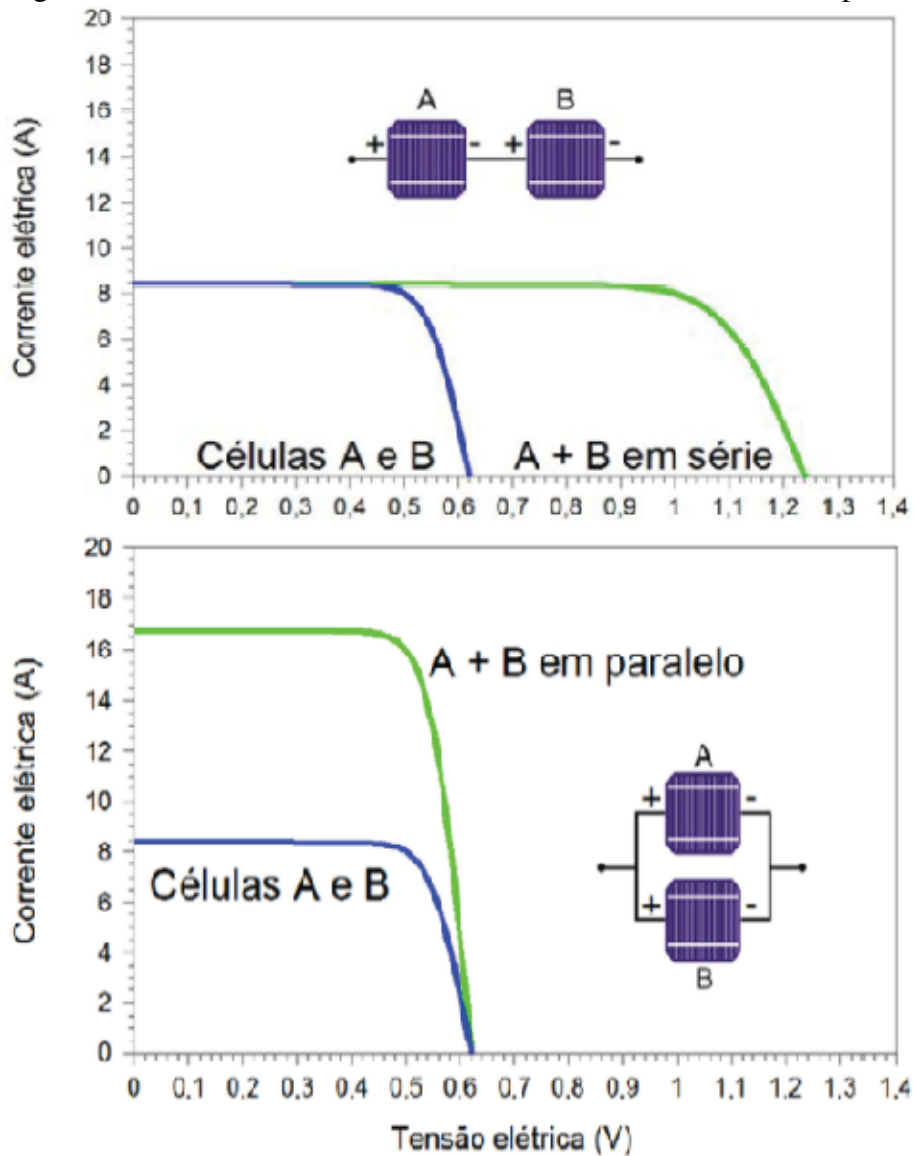


Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Os painéis podem ser associados em série e em paralelo conforme os parâmetros elétricos de corrente e tensão requeridos. Quando os módulos são conectados em série, as tensões individuais de todos eles se somam, mantendo a mesma corrente, já quando são ligados em paralelos, acontece o oposto, o valor da tensão permanece o mesmo para toda a ligação, enquanto as correntes de todos os painéis conectados se somam.

A Figura 16 mostra a curva IxV de duas células fotovoltaicas com os mesmos parâmetros elétricos, em que são representadas suas conexões em série e em paralelo, considerando que são submetidos as mesmas condições de irradiância e temperatura. Observa-se o comportamento relatado no parágrafo anterior. É importante ressaltar que essas conexões idealmente devem ser realizadas em módulos com as mesmas características elétricas.

Figura 16 – Curva IxV de duas células conectadas em série e em paralelo.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

### 2.3.2.2 Inversor

O inversor é um aparelho eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada através de uma fonte de corrente contínua, tendo como função realizar a sincronização da tensão e da frequência de operação em conformidade com à rede conectada (PINHO; GALDINO, 2014). Os painéis fotovoltaicos são conectados em série e em paralelo de acordo com os parâmetros elétricos de tensão e corrente do inversor, para que não haja nenhum problema no sistema, além disso, é interessante que esses parâmetros sejam dimensionados de forma que o sistema opere com sua máxima potência de geração.

O dimensionamento do inversor é realizado a partir da capacidade de potência instalada do sistema fotovoltaico, mas, além disso, outros parâmetros são essenciais para a determinação desse aparelho, como sua eficiência e seu impacto na qualidade de energia. Dessa forma, o inversor deve garantir uma boa eficiência, para que não ocorra perdas de energia e deve ter componentes que mitiguem seus harmônicos, para não causarem danos em nenhum equipamento elétrico.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é desenvolvida a análise dos sistemas elétricos pertencentes ao edifício da Prefeitura Municipal de Sobral, mostrada na Figura 17, que está localizada na Rua Viriato de Medeiros, 1250, Centro, Sobral/ CE, com latitude e longitude de  $3,68^{\circ}\text{S}$  e  $40,36^{\circ}\text{O}$ . São descritos os métodos empregados em estudos de qualidade da energia elétrica e utilização desses sistemas, assim como de fatores que podem influenciar no seu consumo, com a finalidade de identificar oportunidades para a implementação de técnicas de uso eficiente da energia, que podem reduzir o consumo e minimizar os custos com o faturamento de energia elétrica.

Figura 17 – Prefeitura Municipal de Sobral.



Fonte: Tribuna do Ceará (2018).

Este estudo foi dividido em três etapas: levantamento e análise dos dados, com o objetivo de mostrar a situação atual da instalação e do consumo elétrico, e apresentação de propostas que visam determinar o potencial de redução nesse consumo, juntamente com a viabilidade econômica para desenvolvimento desses projetos.

Os dados do estabelecimento foram coletados com o acesso a informações sobre seu consumo, a partir de contas de energia e através de visitas técnicas, com a realização de entrevistas com os funcionários para o conhecimento do horário e perfil do trabalho, e com a utilização de aparelhos para efetuar as medições necessárias para o estudo. Esses dados são apresentados nos tópicos seguintes de acordo com seu tipo de análise e sistema.

### **3.1 Análise das faturas de energia**

Segundo Batista (2012) existem ações de baixo custo que podem reduzir o gasto com a energia elétrica, que envolvem tanto a mudança de hábitos referentes ao consumo, quanto a análise de contas de energia. Logo, realizou-se um estudo das faturas de energia seguindo os critérios do Manual de Tarifação de Energia Elétrica do PROCEL.

#### **3.1.1 Enquadramento tarifário**

Como o estabelecimento pertence ao Grupo A, com modalidade tarifária horo sazonal verde, realizou-se uma simulação da categoria horo sazonal azul, com a finalidade de comparar as modalidades e verificar qual a melhor se enquadra ao perfil de consumo. Para isso foram analisadas as variáveis de consumo ativo, demanda contratada, demanda faturada e valor da tarifa de energia, tanto no horário da ponta, quanto no horário fora da ponta, referentes aos meses de Janeiro a Dezembro de 2018.

#### **3.1.2 Demanda contratada**

Também é importante observar outros fatores que podem elevar o valor das contas de energia. Verificou-se então se existem gastos com demanda de ultrapassagem e assim, realizou-se um estudo para identificar uma provável readequação da demanda contratada pois, de acordo com Marques *et al.* (2007), esse valor de demanda deve ser estipulado atendendo as reais necessidades da unidade consumidora, evitando gastos com seu sub ou superdimensionamento.

#### **3.1.3 Fator de potência**

Se o fator de potência estiver fora ao estabelecido pela ANEEL, o consumidor terá despesas com o pagamento de multa. Essa verificação é realizada, segundo PROCEL (2011), com a análise, nas faturas de energia, da existência de gastos com demanda e consumo de reativos excedentes. Se for constatado despesas com esse fator, necessita-se buscar alternativas para minimizar esses custos, localizando os pontos que causam esses reativos e tomando as medidas cabíveis para a correção do fator de potência, que podem ser desde a instalação de banco de capacitores até o dimensionamento correto de motores e outros equipamentos.

## 3.2 Qualidade de energia elétrica

A análise da qualidade de energia das instalações elétricas do prédio estudado foi realizada em conformidade ao Módulo 8 da PRODIST, que estabelecem a metodologia e a instrumentação do estudo a serem utilizados e definem os limites e os valores de referência dos parâmetros elétricos analisados (ANEEL, 2018).

### 3.2.1 Instrumentação de medição

As medições dos parâmetros elétricos foram feitas utilizando o analisador de energia elétrica da Minipa ET 5060-C, exibido na Figura 18. Conforme Minipa (2009), esse aparelho realiza a análise de parâmetros do sistema elétrico a que está conectado, como tensão, corrente, potência ativa e reativa, fator de potência, assimetria das fases, assim como suas formas de ondas, e também mostra, se houver, distúrbios como, flutuações, elevações, interrupções, tremulação na tensão e harmônicos.

Figura 18 – Analisador de energia da Minipa ET 5060-C.

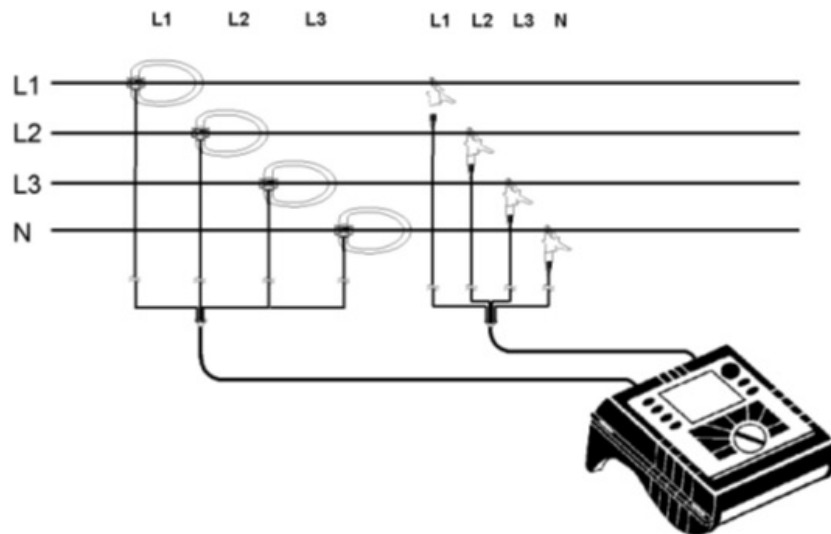


Fonte: (UNIR).

### 3.2.2 Procedimentos da instalação

A instalação do equipamento foi realizada conforme mostra o diagrama esquemático da Figura 19, alocando as garras, representadas em vermelho, e os cabos que formam anéis, representados em azul na Figura 18, aos condutores da rede elétrica, com a finalidade de executar as medições das tensões e correntes de cada fase e neutro, respectivamente. Deve-se considerar o sentido da corrente ao conectar os cabos.

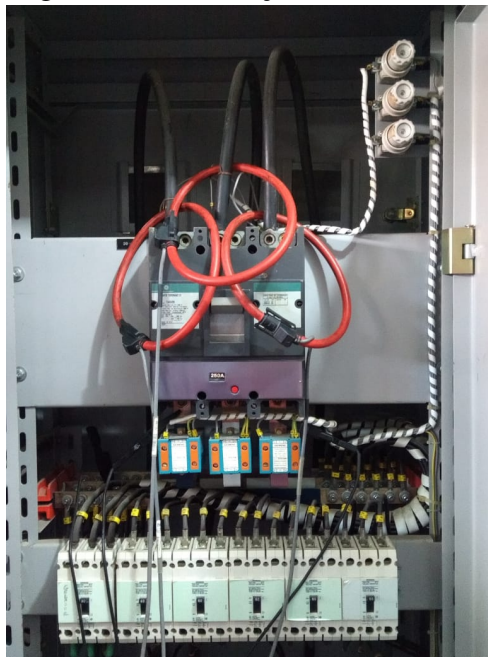
Figura 19 – Representação da instalação do analisador de energia.



Fonte: Minipa (2009).

O analisador de energia foi instalado nos dois quadros gerais de energia existentes. O primeiro foi referente ao sistema de iluminação e força, como está exposto na Figura 20, e o segundo, ao sistema de refrigeração. O período de análise para o primeiro quadro foi entre os dias 10 e 23 de abril de 2019, e para o segundo foi entre os dias 25 de abril e 03 de maio de 2019. As leituras foram programadas para ocorrerem a cada 7 minutos, totalizando 2674 registros para o primeiro caso e 1851 para o segundo.

Figura 20 – Instalação do analisador.



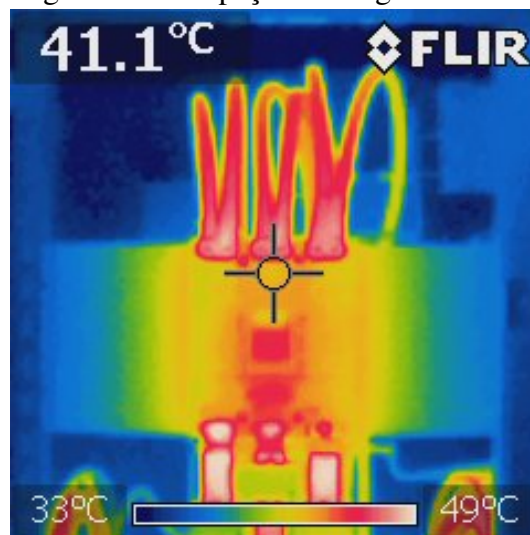
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir dos dados extraídos do analisador de energia, realizou-se uma análise das instalações elétricas, verificando o consumo de cada sistema e analisando os parâmetros elétricos e os distúrbios relacionados a eles, apresentando as possíveis causas e consequências.

### 3.3 Termografia

A inspeção termográfica foi realizada nos quadros de distribuição gerais do prédio e nos quadros de distribuição de todos os pavimentos. Essa medida tem como finalidade identificar e classificar pontos quentes na instalação elétrica, ou seja, pontos de sobreaquecimento que podem ocasionar falhas na operação desse sistema, através das imagens geradas pelo aparelho de medição, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Inspeção termográfica.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 3.3.1 Instrumentação de medição

O aparelho utilizado para essa medição foi o termovisor da marca Flir, modelo i5, mostrado na Figura 22. Segundo FLIR Systems (2010), esse equipamento detecta a radiação infravermelha emitida pelos objetos, calculando assim, sua temperatura, que são representadas nas imagens por meio das cores.



Figura 22 – Termovisor Flir i5.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A temperatura medida pelo equipamento depende de alguns fatores como foco, distância, faixa de temperatura, e principalmente de emissividade, que é um parâmetro que muda de acordo com o tipo de material estudado e as condições as quais ele está exposto. A Tabela 7 apresenta as características do termovisor utilizado.

Tabela 7 – Características do termovisor.

Faixa de temperatura	0°C a 250°C
Precisão	2°C
Distância de Focagem mínima	0,6 m
Campo de visão	17° x 17°
Focagem	Livre
Sensibilidade térmica	< 0,1°C
Emissividade	0,1 a 1,0

Fonte: FLIR Systems (2010).

### 3.3.2 Classificação das anomalias

A identificação das anomalias pode ocorrer, de acordo com NBR 15866:2010, através de três fatores: pelas especificações dos valores nas condições nominais de temperatura estabelecidos pelo fabricante do equipamento, pela similaridade dos elementos adjacentes, que se possuírem as mesmas características, devem operar nas mesmas faixas de temperaturas, e por um valor estabelecido pelo usuário final conforme o histórico operacional do equipamento. A Tabela 8 estabelece a classificação das anomalias de acordo com a similaridade dos elementos

adjacentes.

Tabela 8 – Critérios para avaliação das anomalias térmicas.

Prioridade	Variação de temperatura	Período das medidas corretivas
4	1 °C até 10 °C	Próxima manutenção periódica
3	>10 °C até 20 °C	Com agendamento
2	>20 °C até 40 °C	Assim que possível
1	>40 °C	Imediatamente

Fonte: Adaptado de Infrasppection Institute (2008).

### 3.4 Sistema de iluminação

Para realizar o estudo do sistema de iluminação foram coletados os dados listados abaixo e, a partir deles, foram estimados o consumo desse sistema, as condições luminosas do ambiente de trabalho e o nível de eficiência energética.

- Tipo de lâmpada;
- Potência das lâmpadas;
- Quantidade de lâmpadas por ambiente;
- Horário de funcionamento;
- Perfil de trabalho do ambiente;
- Área do ambiente;
- Iluminância do ambiente;
- Densidade de potência instalada.

#### 3.4.1 Iluminância do ambiente

As condições luminosas de um ambiente são estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR ISO/CIE 8995-1, que determina valores mínimos, de acordo com o perfil de trabalho executado no local, de iluminância média ( $E_m$ ), do *Unified Glare Rating* (Índice de Ofuscamento Unificado) ( $UGR$ ) e do Índice de Reprodução de Cor ( $R_a$ ), como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Condições luminosas por ambiente.

Tipo de Ambiente, tarefa ou atividade	$E_m$ (lux)	$UGR_L$	$R_a$
Escritórios			
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80

Fonte: Adaptado de ABNT (2013).

O método de verificação da iluminância é prescrito pela NBR 15215:2005, assim como o tipo de instrumento a ser utilizado, que deve calcular a luminosidade do ambiente através de um sensor fotométrico, composto por fotocélulas. Com isso, foi utilizado o Luxímetro Digital MLM-1011 da Minipa, exibido na Figura 23.

Figura 23 – Luxímetro Minipa MLM-1011.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

De acordo com a ABNT (2005) esse aparelho deve ser colocado na altura do plano de trabalho da atividade executada no ambiente, e em paralelo à superfície. A quantidade de pontos a serem medidos é determinada a partir das dimensões do local.

### **3.4.2 Nível de eficiência energética**

O nível de eficiência energética desse sistema é estimado de acordo com o RTQ-C, que faz essa classificação em três sistemas da edificação (iluminação, condicionadores de ar e envoltória), podendo ser catalogados do nível A (mais eficiente), até o nível D (menos eficiente).

Segundo INMETRO (2010), essa classificação pode ser feita a partir de dois métodos: o da área do edifício e o das atividades do edifício. Para a condição estudada foi aplicado o método da área do edifício pois a edificação possui apenas uma atividade principal. Essa técnica é definida a partir da Densidade de Potência de Iluminação (DPI) máxima que relaciona a potência total instalada ( $P_i$ ) de cargas referentes à iluminação com a área total da edificação ( $A$ ), conforme mostra a equação (3.1).

$$DPI = \frac{Pi}{A} \quad (3.1)$$

A partir dessa relação, foi determinado o nível de eficiência energética desse sistema, que é associado a um valor máximo de DPI, dependendo do tipo de trabalho executado no edifício, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Determinação do nível de eficiência energética.

Função do Edifício	Densidade de potência de iluminação limite ( $W/m^2$ )			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1

Fonte: Adaptado de INMETRO (2010).

### 3.4.3 Proposta de eficiência energética

Posteriormente ao levantamento, análise dos dados e da situação do sistema de iluminação do edifício, realizou-se a simulação de um novo sistema luminotécnico, que oferece uma maior economia no consumo de energia e melhores condições de trabalho aos funcionários em relação ao atual.

A simulação dessa alternativa foi feita no *software* DIALux que, segundo Souza (2012), desenvolve projetos luminotécnicos em qualquer tipo de cenário e sob qualquer fonte de luz, estando conforme as normas internacionais de iluminação, como a ISO 8995. Pode-se fazer alterações nos parâmetros de acordo com as necessidades do projeto.

Para a realização da simulação, é necessário inserir as dimensões e especificar o perfil de trabalho do ambiente estudado. Após isso, precisa-se escolher o tipo de luminária e lâmpada com a qual se deseja trabalhar, considerando seus parâmetros, tais como, potência, fluxo luminoso, índice de reprodução de cor, temperatura de cor e eficiência. Com essas informações, o programa faz o dimensionamento das luminárias, mostrando simulações em 3D da distribuição luminosa do local.

#### 3.4.3.1 Luminária

Para o novo sistema de iluminação foi proposta a troca das luminárias nos ambientes que funcionam como escritórios, para garantir que os índices de ofuscamento não provoquem

desconforto visual aos funcionários. A luminária escolhida foi a LSE-100, da Intral, mostrada na Figura 24, juntamente com sua curva de distribuição luminosa. Esse aparelho possui chapas de aço e aletas de alumínio adonizado, apresenta rendimento de 79% e comporta duas lâmpadas tubulares de LED.

Figura 24 – Luminária Intral LSE - 100.



Fonte: Intral.

### 3.4.3.2 Lâmpada

As lâmpadas propostas para substituir as existentes são as tubulares de LED, exibida na Figura 25, da marca *Philips*, modelo *Essential LEDtube* e *MasterLEDtube GA*. Esses modelos proporcionam uma redução considerável no consumo e tem maior tempo de vida útil, comparadas às atuais, que são tubulares fluorescentes. A Tabela 11 apresenta as características das lâmpadas escolhidas.

Figura 25 – Lâmpada *Philips*.



Fonte: Philips (2019)

Tabela 11 – Características das lâmpadas *Philips*.

Modelo	Potência (W)	Tamanho (m)	Temperatura de cor (K)	Fluxo luminoso (lm)	Tempo de vida (h)
Essential LEDtube	18	1,2	4000	1850	25000
Master LEDtube	18	1,2	4000	2100	25000
Master LEDtube	10	0,6	4000	1050	25000

Fonte: Philips.

### 3.5 Sistema de climatização

Para realizar a análise das características do sistema de climatização, foram coletados os seguintes dados:

- Quantidades de aparelhos de ar condicionados;
- Potência elétrica dos aparelhos;
- Marca;
- Tipo;
- Selo;
- Horário de funcionamento;
- Quantidade de pessoas por ambiente;
- Quantidade de equipamentos.

#### 3.5.1 Nível de eficiência energética

O nível de eficiência energética do sistema de climatização, conforme a INMETRO (2010), é realizado através do nível de eficiência apresentado na ENCE dos aparelhos de ar condicionados regulados pelo INMETRO, disponibilizadas no *site* do órgão, que apresenta os requisitos mínimos de eficiência energética para as categorias de ar condicionado de janela e split.

Para equipamentos não regulamentados, o INMETRO especifica os requisitos mínimos das características que esses aparelhos devem apresentar, para cada nível, de acordo com o tipo de equipamento, de capacidade de refrigeração e *Coefficient Of Performance* (Coeficiente de Desempenho) (COP), com isso, é determinado seu nível de eficiência energética.

### 3.5.2 Dimensionamento da carga térmica

O sistema de refrigeração é dimensionado através da carga térmica de cada ambiente do edifício, conforme a metodologia apresentada na NBR 16401:2008. Esta norma pondera que, para sistemas de climatização mais complexos, o cálculo da carga térmica deve ser realizado por intermédio da utilização de um *software* com métodos baseados na *American Society of Heating and Ventilating Engineers* (Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado) (ASHRAE).

Os programas utilizados foram: o *EnergyPlus* e o *DesignBuilder*. Segundo Inacio (2014), o *software EnergyPlus* é utilizado para simular o desempenho energético e o dimensionamento do sistema de climatização de um ambiente, mantendo suas condições dentro do padrão de conforto térmico. Já o *software DesignBuilder* realiza a modelagem do edifício inserindo suas características em forma de variáveis, tais como dimensões, localização, aspectos construtivos, ocupação, equipamentos utilizados, iluminação e outros, e a partir disso, juntamente com o *EnergyPlus* simula o comportamento energético da edificação, assim como sua carga térmica.

### 3.5.3 Proposta de eficiência energética

Através do dimensionamento descrito na Seção 3.5.2, foi proposto um sistema de climatização composto por aparelhos de ar condicionados *split inverter*. Esse tipo de equipamento contém um inversor de frequência que, através da velocidade do motor elétrico, possibilita a variação da rotação do compressor, permitindo que o ar condicionado permaneça ligado, mantendo a temperatura desejada, e assim, o conforto térmico. O aparelho *inverter* proporciona uma maior economia no consumo de energia elétrica, comparado aos aparelhos convencionais.

Os condicionadores de ar escolhidos foram da marca Consul, algumas de suas especificações técnicas são mostradas na Tabela 12. Verifica-se, através do valor do COP, que esses equipamentos são classificados pela INMETRO como de nível A.

Tabela 12 – Características técnicas de ar condicionados da Consul.

Modelo	Capacidade de refrigeração (BTU/h)	Potência elétrica (W)	Eficiência energética (COP) (W/W)
CBJ09DBBNA	9000	814	3,24
CBJ12DBBNA	12000	1085	3,24
CBJ18DBBNA	18000	1628	3,24
CBJ22DBBNA	22000	1989	3,24

Fonte: Adaptado de Consul.

### 3.6 Sistema fotovoltaico

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado a rede é realizado a partir de algumas condições meteorológicas, de parâmetros de consumo e do local da instalação dos painéis. Por intermédio desses dados, pode-se determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem instalados, assim como sua energia produzida estimada e outros componentes necessários para o sistema.

#### 3.6.1 Local de instalação

Um sistema fotovoltaico é dimensionado a partir da energia que ele irá produzir, para isso, segundo Villalva e Gazoli (2012), deve-se considerar três fatores, que são, a quantidade de energia consumida pelo estabelecimento, a área disponível para a instalação dos painéis solares e o investimento que o consumidor está disposto a realizar.

Neste estudo, o fator mais relevante é a área disponível para a instalação dos módulos. Analisando o local, foi verificada a existência de três pontos em que o sistema pode ser instalado: em cima da edificação, marcado com 1 na Figura 26, em cima do auditório, marcado com 2, e em cima do almoxarifado, marcado com 3. A Tabela 13 traz o valor correspondente das áreas desses locais destacados.

Figura 26 – Área de instalação dos painéis.



Fonte: Elaborado pelo Autor.



Tabela 13 – Áreas marcadas.

Local marcado	Área (m <sup>2</sup> )
1	393,25
2	263,03
3	235,41
Total	891,69

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.6.2 Dados meteorológicos

Através dos dados de latitude e longitude, foram obtidos os valores de irradiância solar diária média mensal, referente ao ano de 2018, mostrados na Tabela 14, para uma inclinação de 6°, no *site* do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB).

Tabela 14 – Irradiância solar diária média mensal do ano de 2018.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
I (kwh/m <sup>2</sup> .dia)	5,09	5,25	5,26	4,95	5,1	5,03	5,32	5,97	6,42	6,25	6	5,33

Fonte: CRESESB (2019).

A temperatura do local de instalação do sistema também é um fator importante para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado a rede. As temperaturas médias mensais da cidade de Sobral, necessárias para este estudo, referente a média dos anos de 2000 a 2009 estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Temperatura média mensal da cidade de Sobral.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T (°C)	27,7	27,5	27,2	27	27,3	26,8	26,9	27,1	27,5	27,9	28,1	28,2

Fonte: Meternorm.

### 3.6.3 Inclinação e orientação

Segundo Villalva e Gazoli (2012), os módulos fotovoltaicos devem ser inclinados na posição que tenha melhor captação dos raios solares em todo o ano, para assim, maximizar a produção de energia elétrica. A partir dessas informações, o ângulo de inclinação foi proposto de acordo com a Tabela 16.

Tabela 16 – Escolha do ângulo de inclinação do módulo.

Latitude Geográfica	Ângulo de Inclinação
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 21^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: Villalva e Gazoli (2012).

Portando, de acordo com a latitude do local, a inclinação proposta para o módulo fotovoltaico é de  $10^\circ$ , com sua face orientada para o norte geográfico.

### 3.6.4 Painel fotovoltaico

A determinação do painel solar foi realizada através da verificação das características das placas, como preço, eficiência, potência e certificado do INMETRO. O painel escolhido foi do tipo monocristalino, da marca Canadian Solar, modelo CS6K, que possui 10 anos de garantia. A Tabela 17, apresenta suas especificações, retiradas do Anexo A.

Tabela 17 – Características do painel fotovoltaico Canadian cs6k.

Dados elétricos, mecânicos e térmicos do painel solar			
Potência máx. nominal (Pmax)	300W	Eficiência do módulo	18,33%
Tensão de operação (Vop)	32,5V	Tolerância de potência	0 a 5 W
Corrente de operação (Iop)	9,24A	Ligação das células	6 x 10
Tensão de circuito aberto (Vca)	39,7V	Dimensões	1650 x 992 x 40 mm
Corrente de curto circuito (Icc)	9,83A	Temp. nominal da célula	45 +/- 2°C

Fonte: Canadian Solar

Através dessas informações, foi calculada a área do painel, que equivale a  $1,6368 m^2$ . Dividindo a área disponível para a instalação dos painéis pela área de um módulo, obteve-se a quantidade de placas a serem instaladas, como pode ser visto na Tabela 18.

Tabela 18 – Quantidade de painéis.

Local marcado	Quantidade de painéis
1	240
2	160
3	140
Total	540

Fonte: Elaborada pelo Autor.

### 3.6.5 Inversor

Foram escolhidos dois inversores para compor o sistema fotovoltaico, que pertencem a marca SMA. O primeiro do modelo *SUNNY HIGHPOWER* com 75 kVA de potência nominal e o segundo do modelo *SUNNY TRIPOWER*, com 60 kVA de potência nominal. A Tabela 19 apresenta as características desse equipamento.

Tabela 19 – Parâmetros dos inversores SUNNY.

Parâmetros do Inversor	STP-75	STP-60
Potência Atribuída (CC)	76500 W	61240 W
Tensão Máx. de Entrada	1000 V	1000 V
Intervalo de Tensão MPPT	570 a 800 V em 400 $V_{ac}$	570 a 800 V em 400 $V_{ac}$
Corrente Máx. de Entrada	140 A	110 A
Corrente Máx. de CC	210 A	150 A
Potência Nominal CA	75000 W	60000 W
Tensão Nominal CA	400 V	400 V
Eficiência	98,8%	98,8%

Fonte: SMA (2017).

A escolha desse inversor foi realizada considerando dois fatores: a potência total instalada do sistema fotovoltaico e o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI). A potência total instalada depende da quantidade de painéis instalados e da potência máxima gerada por painel ( $P_{fv,max}$ ), como pode ser visto na equação (3.2).

$$P_{ins} = qtd \text{ paineis} \times P_{fv,max} \quad (3.2)$$

O FDI, segundo PEREIRA e GONÇALVES (2008), relaciona a potência nominal do inversor ( $P_{in,nom}$ ) e a potência instalada dos painéis ( $P_{inst}$ ), como é mostrado na equação (3.3). Esse fator determina a capacidade de operação do inversor, que pode ser igual ou maior que 0,6, em que o subdimensionamento do aparelho não acarreta perdas consideráveis ao sistema.

$$FDI = \frac{P_{in,nom}}{P_{ins}} \quad (3.3)$$

O sistema possui uma capacidade de potência instalada total de 162 kW. A divisão dos inversores foi realizada de acordo com o local, um inversor ficou referente ao local 1 e o outro referente aos locais 2 e 3, como mostra a Tabela 20. Observa-se que o FDI possui valor de 0,83 para os dois casos, ou seja, os inversores operarão com 83% da sua capacidade nominal.

Tabela 20 – Divisão dos inversores no sistema FV.

Local	Qtd Painel FV	Pot. Instalada	Pot. Inversor	FDI
1	240	72 kW	60 kW	0,83
2 e 3	300	90 kW	75 kW	0,83

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.6.6 Layout do sistema

A disposição do sistema fotovoltaico depende das características de seus componentes. Para realizar a ligação das placas em série foi observado o valor da tensão de operação e da tensão de circuito aberto do painel solar, mostrado na Tabela 17 e a faixa de operação dos inversores, mostrado na Tabela 19. Através da quantidade de painéis solares determinada na Seção 3.6.4, calculou-se o quantitativo da conexão em série, conforme as relações mostradas nas equações (3.4) e (3.5).

$$\frac{V_{inv.min}}{V_{op}} \leq N_M \leq \frac{V_{inv.max}}{V_{op}} \quad (3.4)$$

$$\frac{V_{inv.min}}{V_{ca}} \leq N_M \leq \frac{V_{inv.max}}{V_{ca}} \quad (3.5)$$

Onde  $V_{inv.min}$  é o valor da tensão de entrada mínima do inversor,  $V_{inv.max}$ , o valor da tensão máxima,  $V_{op}$ , a tensão de operação do módulo solar,  $V_{ca}$ , a tensão de circuito aberto e  $N_M$  o número de placas ligadas em série.

A temperatura também influencia na tensão dos painéis, por isso é importante verificar o quanto essa tensão varia quando submetida aos valores mínimo e máximo de temperatura do local de instalação, que estão apresentados na Tabela 15. Essa averiguação é realizada através da equação (3.6).

$$V_{op}(T) = V_{op.std} - N_s \cdot \beta \cdot (T - 25) \quad (3.6)$$

Onde  $V_{op.std}$  é a tensão de operação do painel,  $N_s$  é o número de células conectadas em séries presentes na placa,  $T$  é a temperatura ambiente e  $\beta$  é o coeficiente de variação da tensão da placa solar.

A quantidade de *strings* ligadas em paralelo em cada inversor, é determinada pela corrente de operação ( $I_{op}$ ) e de curto circuito ( $I_{cc}$ ) do painel, e pela corrente máxima de entrada

( $I_{inv.max}$ ) e máxima de curto circuito ( $I_{inv.cc}$ ) do inversor, como é mostrado na relação das equações (3.7) e (3.8).

$$N_{arranjo.fv} \leq \frac{I_{inv.max}}{I_{op}} \quad (3.7)$$

$$N_{arranjo.fv} \leq \frac{I_{inv.cc}}{I_{cc}} \quad (3.8)$$

Logo, foi verificado que os inversores suportam uma quantidade de placas conectadas em série que varia entre 15 e 25. A maior temperatura ambiente registrada no local fornece uma variação de tensão de 0,2%, o que não interfere no número de módulos em série calculados. Também foi constatado que pode ser efetuada a ligação de até 15 desses arranjos em paralelo para o inversor de 75 kVA e e até 11 para o inversor de 60 kVA.

Com esses parâmetros definidos, foi escolhido a melhor distribuição dos painéis solares, considerando a faixa de operação em que o *Maximum Power Point Tracker* (Rastreador de Ponto de Máxima Potência) (MPPT) do inversor atua. A Tabela 21 mostra como o sistema fotovoltaico foi dividido.

Tabela 21 – Distribuição dos módulos por inversor.

Inversor	Ligação	Quantidade	Ligação	Quantidade
60 kVA	Painéis por <i>string</i>	24	<i>Strings</i> por inversor	10
75 kVA	Painéis por <i>string</i>	20	<i>Strings</i> por inversor	15

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.6.7 Energia produzida

Por fim, a energia gerada diariamente pelo sistema fotovoltaico foi calculada através da equação (3.9). Onde  $E_g$  é a energia gerada diária pelos painéis FV,  $A$  é a área do painel solar,  $\eta_{painel}$  é a eficiência do painel,  $\eta_{inv}$  é a eficiência do inversor e  $I$  é a irradiância global diária. E assim, foi estimado o quanto do consumo do estabelecimento será suprido pelo sistema fotovoltaico.

$$E_g = A \times \eta_{painel} \times \eta_{inv} \times I \times qnt.paineis \quad (3.9)$$

### 3.7 Viabilidade econômica

A viabilidade econômica é uma das partes mais importantes do projeto e que mais interessa ao consumidor, visto que, traz como informações, os custos iniciais e o tempo de retorno dos investimentos. Através disto, pode-se avaliar se é viável a execução do projeto. As ferramentas financeiras utilizadas nesse trabalho para a análise foram: o *payback*, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

#### 3.7.1 *Payback*

O *payback* indica o momento em que o dinheiro investido em determinado projeto se iguala ao lucro obtido por ele, ou seja, indica o tempo de retorno do investimento, a partir desse momento o investidor obterá os lucros com seu investimento. A equação (3.10) mostra como esse indicador é calculado.

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{Investimento.Inicial}}{\textit{Retorno.Anual}} \quad (3.10)$$

#### 3.7.2 *Valor presente líquido*

O VPL tem com função avaliar quanto um investimento vai oferecer de retorno baseado nos valores investidos no presente, através do fluxo de caixa e considerando uma taxa de desconto adequada (VIEIRA *et al.*, 2016). Os valores de VPL indicam a viabilidade do projeto, caso seja negativo, o projeto não é economicamente viável, se for igual a zero, é indiferente, pois não haverá lucros com o projeto e nem perdas, e caso seja positivo, o projeto é considerado viável economicamente. A equação (3.11) calcula o valor desse indicativo.

$$VPL = \sum_n^N \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (3.11)$$

Onde FC significa o fluxo de caixa, n é a quantidade de períodos considerados no cálculo e TMA é a taxa mínima de atratividade do projeto.

### 3.7.3 Taxa interna de retorno

Essa taxa relaciona o investimento realizado no projeto com seu valor final, fazendo com que o valor presente líquido seja igual a zero, igualando os fluxos de caixa de saída e entrada (VIEIRA *et al.*, 2016), é calculada a partir da equação (3.12).

$$VP = investimento + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (3.12)$$

Onde VP é o valor presente, N é a quantidade de períodos considerados para o cálculo,  $F_t$  é a entrada de capital no período t e i é a taxa interna de retorno. Essa taxa pode ser relacionada com a TMA para classificar o projeto quanto a sua viabilidade, se TIR for maior que TMA significa que o projeto é viável, se for igual, não haverá lucros ou perdas, e se for menor, o projeto é inviável.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises realizadas e dos projetos desenvolvidos, mostrando as condições atuais em que a edificação se encontra e o potencial de redução no consumo, através de formas de uso eficiente da energia e com recomendações de soluções para as inadequações encontradas na instalação elétrica. Também é exposta a viabilidade econômica dessas propostas.

### 4.1 Análise da fatura de energia elétrica

O histórico de consumo e demanda, no horário de ponta e fora de ponta, referentes ao ano de 2018, estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Consumo e demanda da prefeitura no ano de 2018.

Mês	Consumo Fora de Ponta ( <i>kWh</i> )	Consumo Hora Ponta ( <i>kWh</i> )	Demanda Fora de Ponta ( <i>kW</i> )	Demanda Hora Ponta ( <i>kW</i> )
Janeiro	61081	9137	288,73	238,32
Fevereiro	58842	8391	289,44	209,52
Março	59361	8665	280,00	216,00
Abril	53275	6577	291,60	218,88
Mai	59216	8546	280,00	224,64
Junho	63437	9041	280,00	218,88
Julho	52841	7375	285,84	264,96
Agosto	70416	10054	288,00	239,04
Setembro	66448	8268	281,52	221,04
Outubro	64787	4564	292,32	203,04
Novembro	62534	4102	298,08	128,88
Dezembro	53033	3125	293,76	102,24
Média	60439,25	7320,42	287,46	207,12

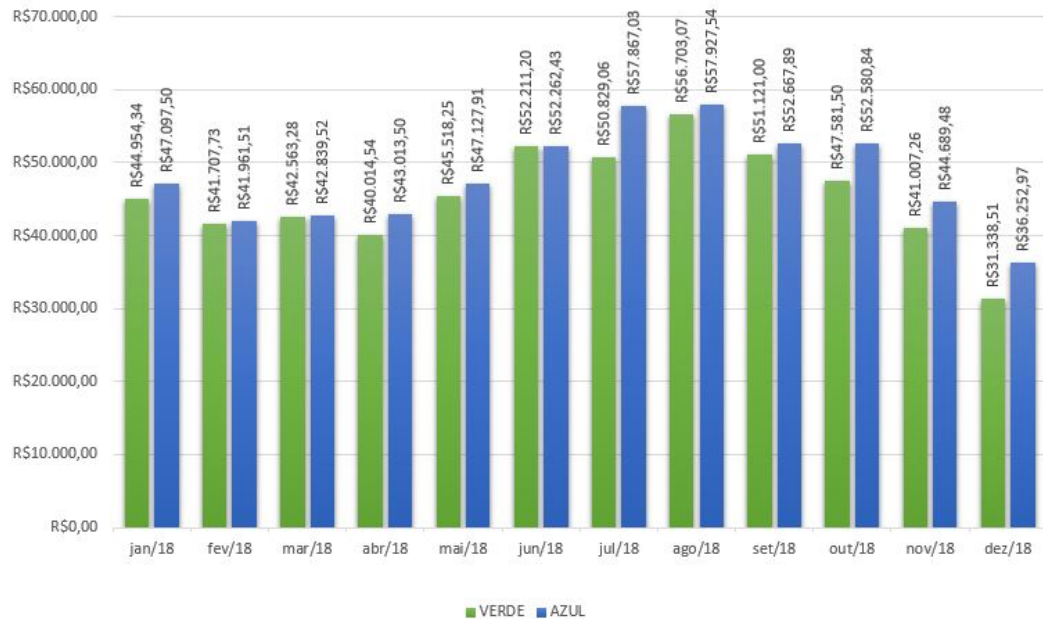
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Utilizando esses dados, foram simulados os gastos com energia elétrica para as modalidades tarifárias horo sazonal azul e verde, com um valor de demanda contratada de 280 *kW* no horário fora de ponta, e um valor de 250 *kW* na ponta, para o caso da modalidade horo sazonal azul. Os resultados foram comparados e estão exibidos na Figura 27.

Verificou-se que a modalidade tarifária horo sazonal verde, atualmente contratada para o estabelecimento, proporciona menor custo ao consumidor, pois para a azul o valor da fatura é maior em todos os meses, totalizando um gasto de cerca em R\$30.730,00 anualmente, sem considerar gastos com excedentes de reativos e com iluminação pública.



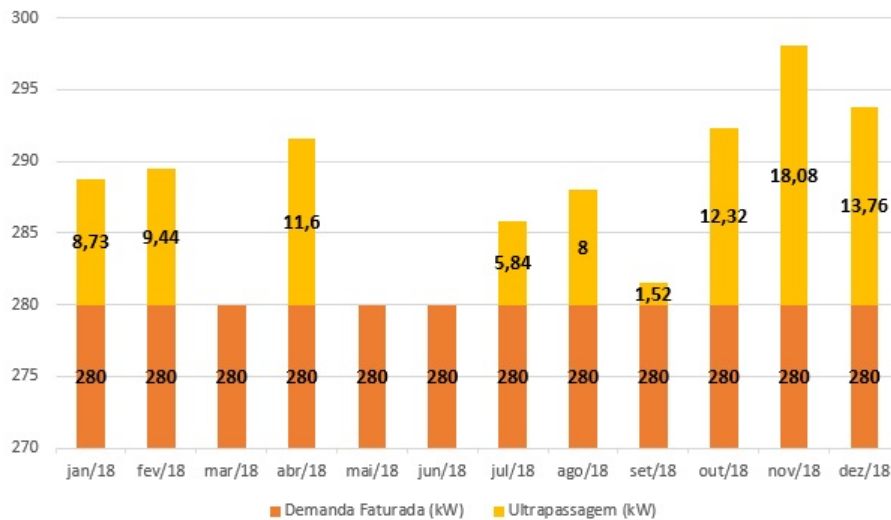
Figura 27 – Comparação das moralidades tarifárias horo sazonal verde e azul.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em relação a demanda faturada, constatou-se que, na maioria dos meses, há ultrapassagem do valor contratado de 280 kW, como pode ser visto na Figura 28.

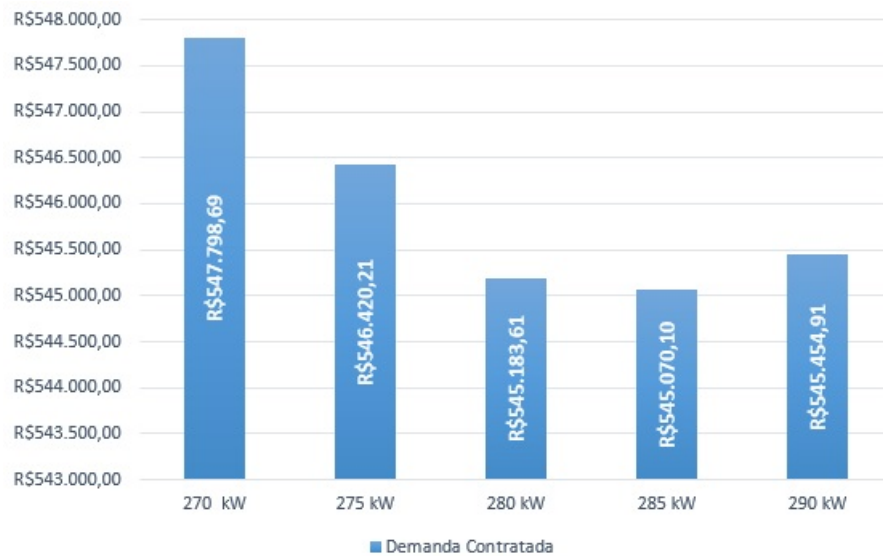
Figura 28 – Demanda faturada.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para saber qual o valor ideal a ser contratado, foram simulados os custos, referente ao ano de 2018, para diferentes valores de demanda, considerando 5% de tolerância da ultrapassagem aceito pela concessionária. O resultado é mostrado na Figura 29.

Figura 29 – Custo anual com energia elétrica x demanda contratada.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A simulação exibe que o valor de demanda contratada de 285 kW é o que resulta em um menor valor gasto, porém a diferença em relação ao custo com o valor contratado atualmente é inexpressiva, cerca de R\$113,00 por ano.

A fatura também mostra que há gastos com demanda e consumo de reativos excedentes, em que o fator de potência está fora do estabelecido pela ANEEL. Para a correção desse fator, necessita-se da instalação de um banco de capacitores, pois os existentes não são suficientes para realizar a correção completa. O custo das multas comparado ao valor total da tarifa, representa uma pequena parcela, em média 3% do total mensal, como mostrado na Tabela 23. A análise mais detalhada desse fator está apresentada na subseção 4.2.6.

Tabela 23 – Valor pago por reativos no ano de 2018.

Mês	Valor total da fatura	Valor pago por reativos	Percentual pago por multa
Janeiro	R\$ 47.267,93	R\$ 1.059,01	2%
Fevereiro	R\$ 43.188,78	R\$ 1.488,67	3%
Março	R\$ 44.198,48	R\$ 1.647,97	4%
Abril	R\$ 39.262,06	R\$ 1.514,35	4%
Maio	R\$ 46.219,80	R\$ 1.608,03	3%
Junho	R\$ 51.918,49	R\$ 1.657,09	3%
Julho	R\$ 47.005,44	R\$ 1.460,92	3%
Agosto	R\$ 58.328,14	R\$ 1.624,37	3%
Setembro	R\$ 52.638,31	R\$ 1.517,12	3%
Outubro	R\$ 48.886,86	R\$ 1.305,81	3%
Novembro	R\$ 43.993,33	R\$ 1.187,40	3%
Dezembro	R\$ 32.538,91	R\$ 866,51	3%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

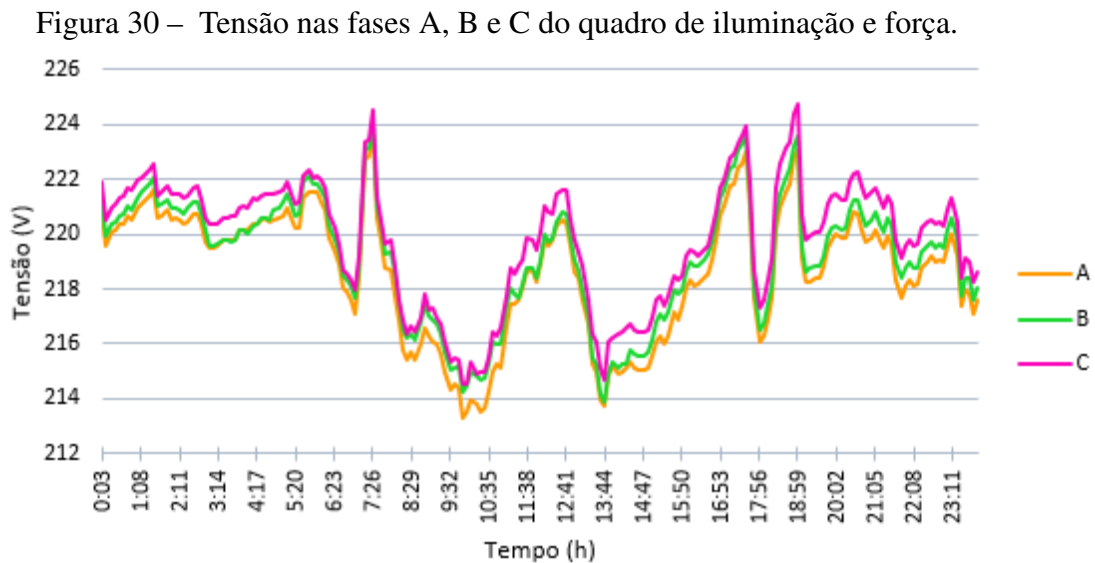
## 4.2 Qualidade de energia elétrica

Neste tópico são desenvolvidas as análises realizadas com o estudo dos parâmetros elétricos, obtidos através do analisador de energia elétrica, e que podem influenciar na qualidade de energia elétrica da edificação.

### 4.2.1 Tensão em regime permanente

As Figuras 30 e 31 apresentam o comportamento da tensão nas fases A, B e C, dos quadros de iluminação e climatização, respectivamente.

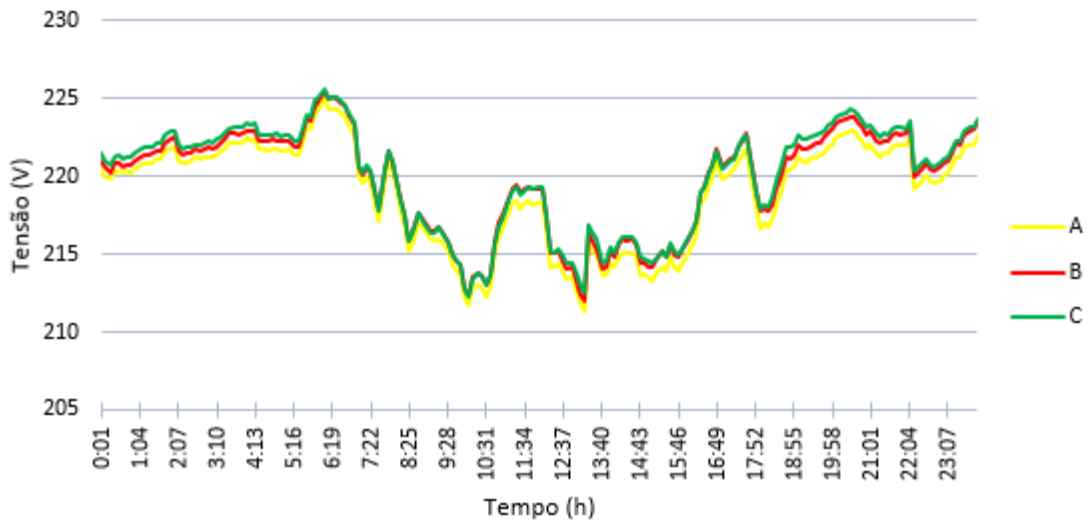
A Figura 30 exibe a medição realizada no dia 12 de abril de 2019, em que a tensão registrou sua maior variação, dentre os dias que o analisador ficou conectado, com valor de 213,32 V na fase A, que representa 3,04% de seu valor nominal. Essa medição está dentro do limite aceitável estabelecido pelo PRODIST, mostrado na Tabela 3.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A maior variação registrada para o quadro de climatização foi de 3,91%, em que a tensão alcançou um valor de 211,39V na fase A, estando dentro do estabelecido pelo PRODIST, como é mostrado na Figura 31. Essa medição é referente ao dia 2 de maio de 2019.

Figura 31 – Tensão nas fases A, B e C do quadro de climatização.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os valores máximos e mínimos das tensões, registrados durante o período em que o analisador esteve conectado ao sistema, estão expostos na Tabela 24. Observa-se que, em todas as fases, as tensões não ultrapassaram o limite aceitável.

Tabela 24 – Tensões máximas e mínimas registradas.

Quadro	Tensão medida (V)						Faixa de tensão adequada (V)	
	Fase A		Fase B		Fase C		mín.	máx.
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.		
Iluminação	213,32	231,9	225,65	226,27	214,57	226,55	202	231
Climatização	211,39	227,24	211,98	227,76	212,3	228,23		

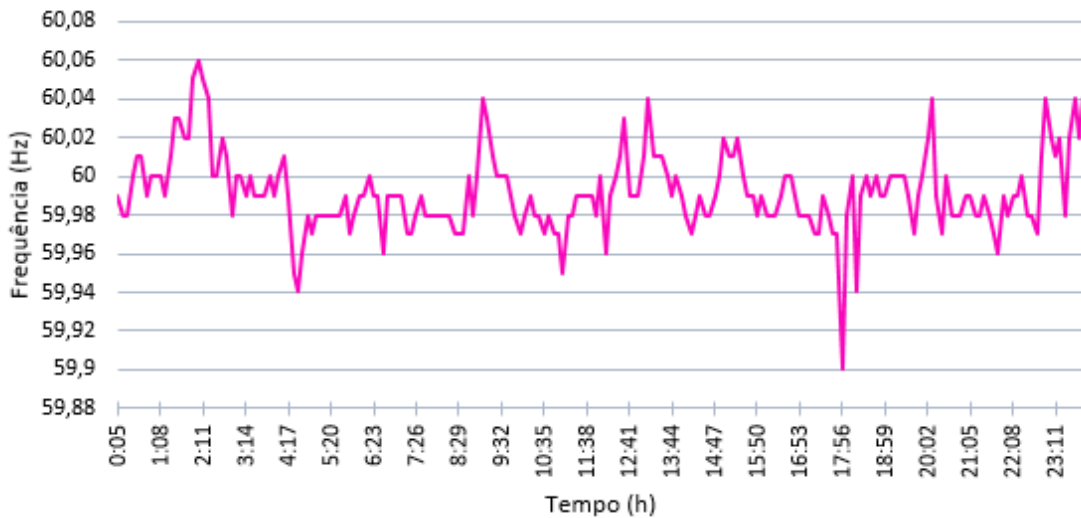
Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 4.2.2 Frequência

As variações apresentadas nos gráficos relacionados a frequência indicam que as variáveis estão em conformidade aos limites aceitáveis, como mostrado na Figura 32, relativa à medição feita no dia 19 de abril de 2019, no quadro de iluminação e força, em que os valores de frequência registrados alcançaram um valor máximo e mínimo de 60,06 Hz e 59,9 Hz.

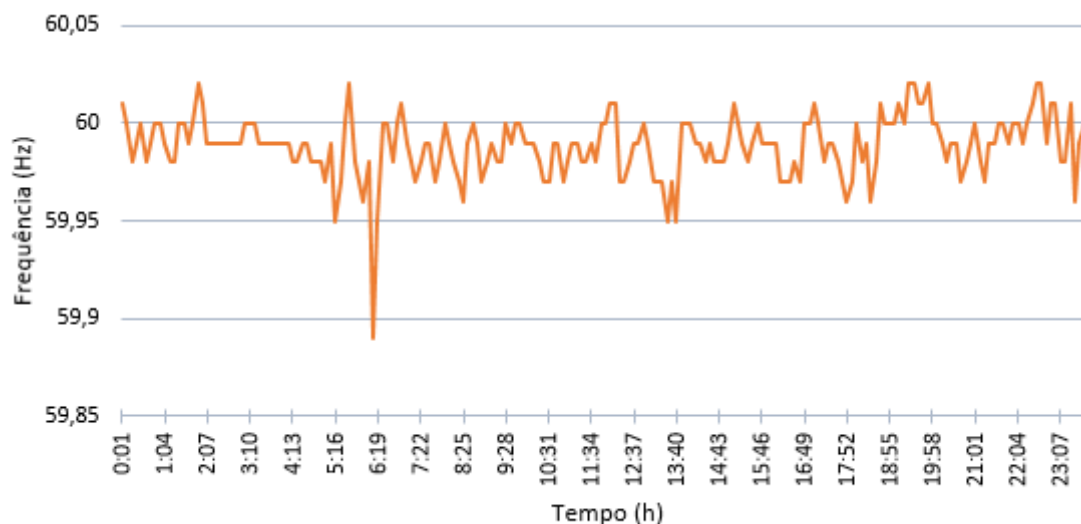
A medição realizada no quadro de climatização, referente ao dia 2 de maio de 2019, é exibida na Figura 33, em que os valores de frequência máxima e mínima foram de 60,06 Hz e 58,89 Hz, respectivamente. Verifica-se que a frequência registrou um valor mínimo abaixo do limite estabelecido pelo PRODIST, no horário de 06:12, porém, esse valor retornou ao limite aceitável em um curto intervalo de tempo, não causando assim, nenhuma perturbação no sistema.

Figura 32 – Variação da frequência no quadro de iluminação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 33 – Variação da frequência no quadro de climatização.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

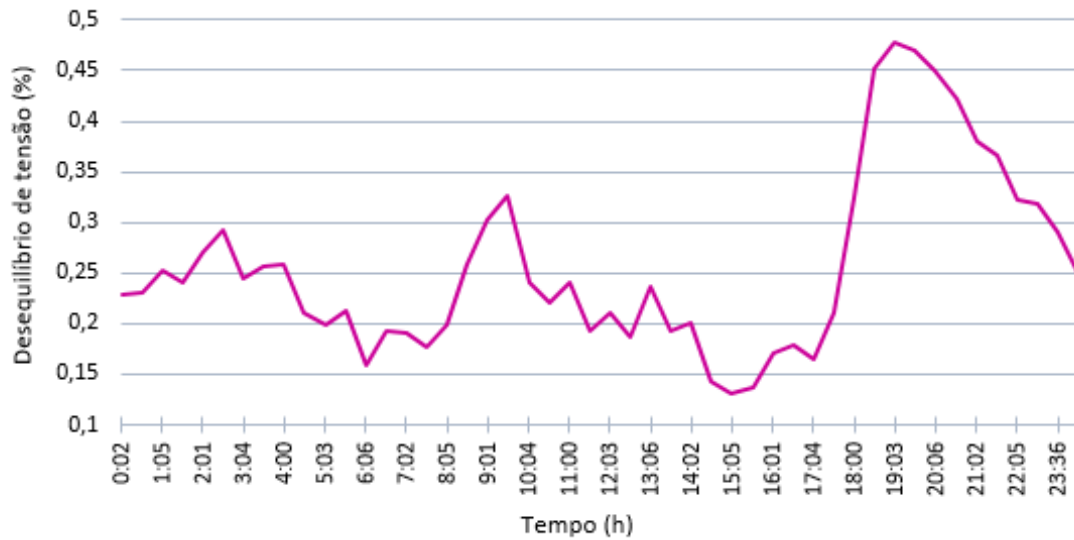
### 4.2.3 Desequilíbrio de tensão

A Tabela 4 mostra a variação aceitável de desequilíbrio de tensão nas fases para a tensão nominal com valor igual ou inferior a 1 kV. A Figura 34 apresenta o registro realizado no dia 14 de abril de 2019, referente ao quadro de iluminação e força, em que o valor máximo registrado de desequilíbrio de tensão foi de 0,48%.

A Figura 35 expõe o registro do dia 02 de maio de 2019, referente ao quadro de climatização, que também apresentou variação máxima de 0,48%. Os valores de desequilíbrio de tensão registrados estão dentro do limite de variação de 3% estabelecido pela PRODIST, logo,

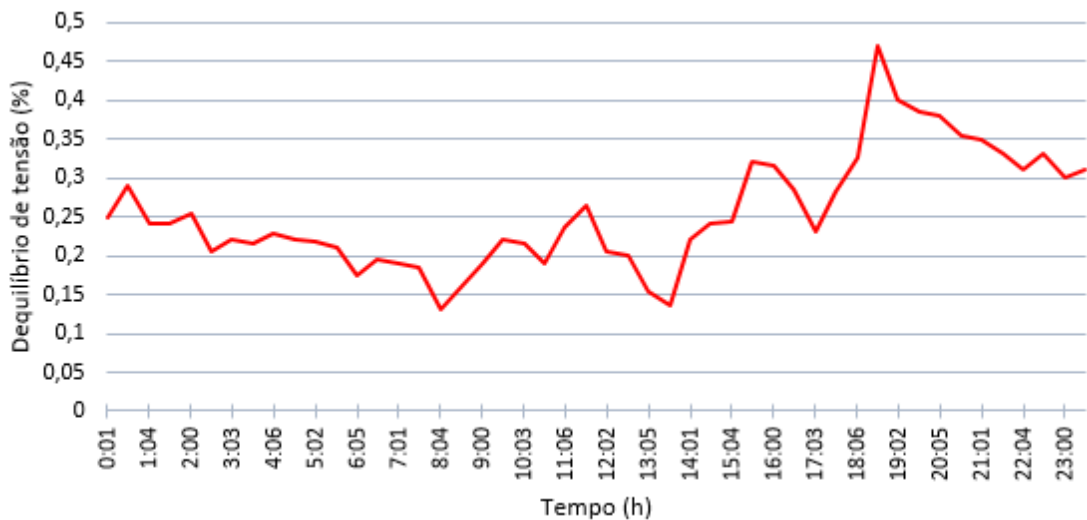
esse parâmetro não apresenta nenhum potencial para causar problemas no sistema .

Figura 34 – Desequilíbrio de tensão no quadro de iluminação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 35 – Desequilíbrio de tensão no quadro de climatização.



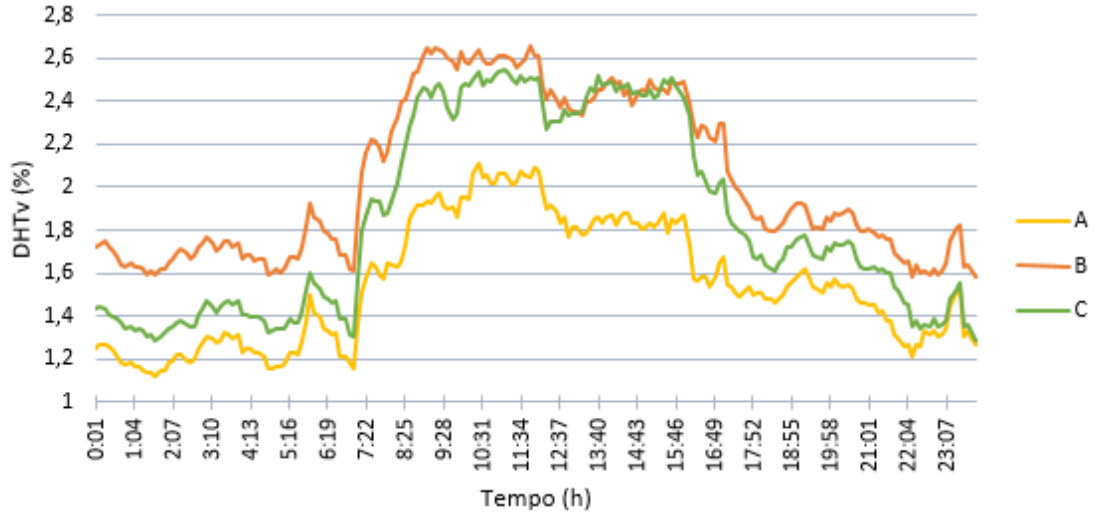
Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 4.2.4 Distorção harmônica total de tensão

Os gráficos das Figuras 36 e 37 apresentam a taxa de DHT de tensão nas fases A, B e C dos quadros gerais de iluminação e de climatização, respectivamente. As medidas registradas não ultrapassam o limite estabelecido pela PRODIST, como é exibido na Tabela 25,

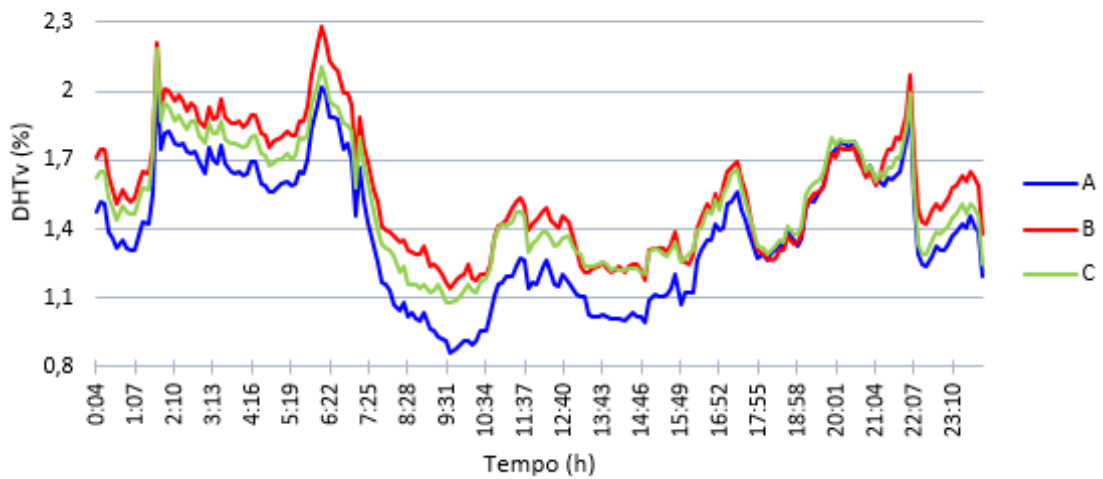
portanto esse valor não é considerado de risco, que possa trazer algum problema a instalação e aos equipamentos elétricos.

Figura 36 – Distorção harmônica total de tensão no quadro de iluminação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 37 – Distorção harmônica total de tensão no quadro de climatização.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 25 – Distorção harmônica de tensão.

Quadro	DHT de Tensão			Limite aceitável pela PRODIST
	Fase A	Fase B	Fase C	
Iluminação	2,33%	2,67%	2,55%	10%
Climatização	2,22%	2,32%	2,30%	

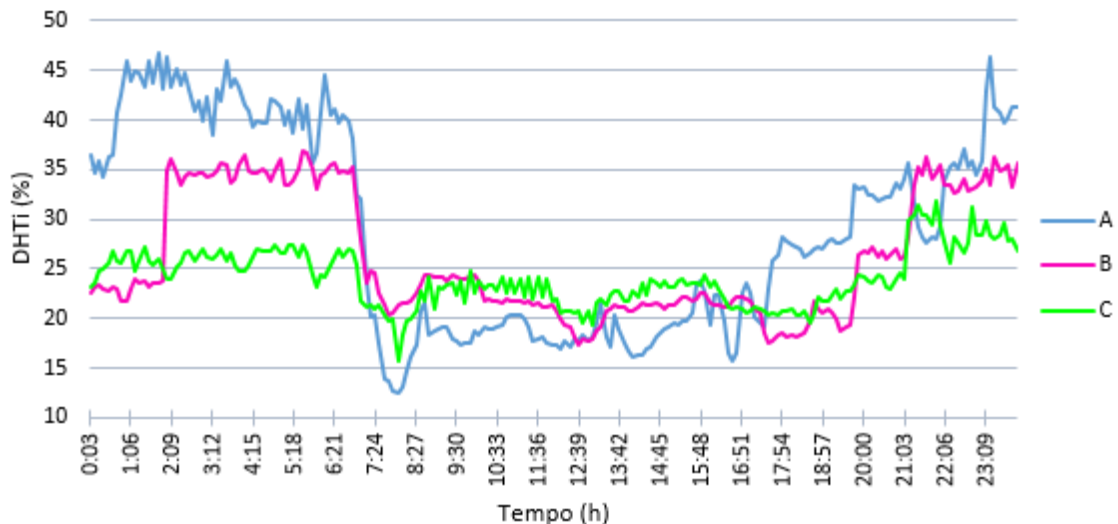
Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 4.2.5 Distorção harmônica total de corrente

Para a DHT de corrente, o PRODIST não especifica o valor limite aceitável, por isso foi utilizado o parâmetro definido pelo IEEE 519 - 2014, exibido na Tabela 6.

O valor máximo que a DHT de corrente atingiu no quadro de iluminação e força foi de 46,86% na fase A, no dia 11 de abril de 2019, como exposto na Figura 38. Essa taxa está acima do limite aceitável pela IEEE 519 - 2014, constatando que há "poluição harmônica" considerável no sistema. Esses harmônicos são causados pela presença de uma grande quantidade de cargas monofásicas não-lineares, como lâmpadas tubulares fluorescentes, reatores eletrônicos e aparelhos de computadores.

Figura 38 – Distorção harmônica total das correntes do quadro de iluminação.

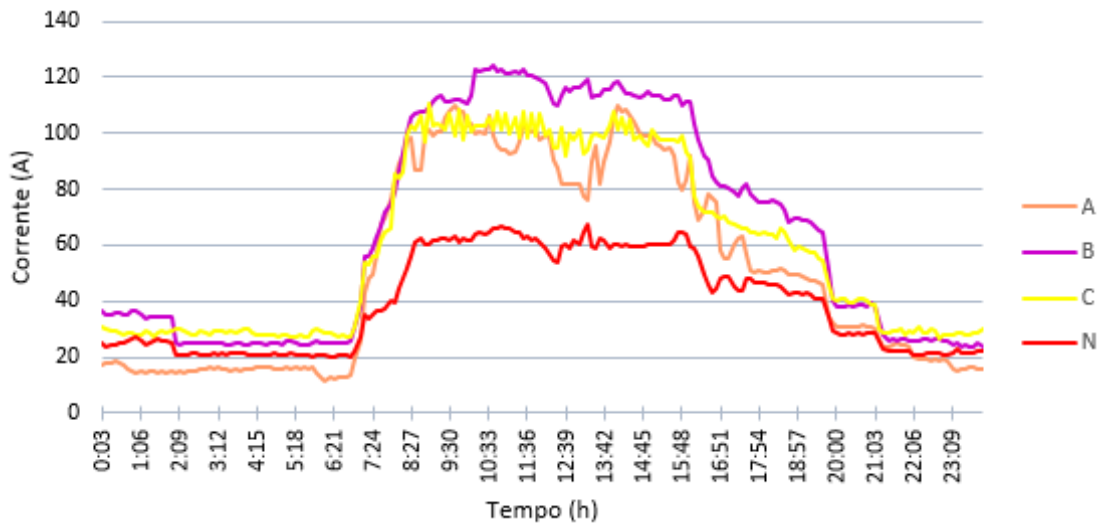


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os harmônicos, de acordo com Santos *et al.* (2006), podem gerar diminuição da vida útil de certos aparelhos, aquecimento em motores elétricos, capacitores e condutores, erro em dispositivos de proteção, erro em medições da energia elétrica e um aumento na corrente no neutro. Esse último fator é mostrado na Figura 39, que apresenta os valores registrados das correntes nas fases A, B, C e no neutro do quadro de iluminação e força, observa-se que o neutro apresenta um valor máximo de 67,55 A no período de operação da maior parte das cargas, que compreende os horários de 07:00 as 17:00, esse valor representa mais da metade dos valores das correntes nas fases.



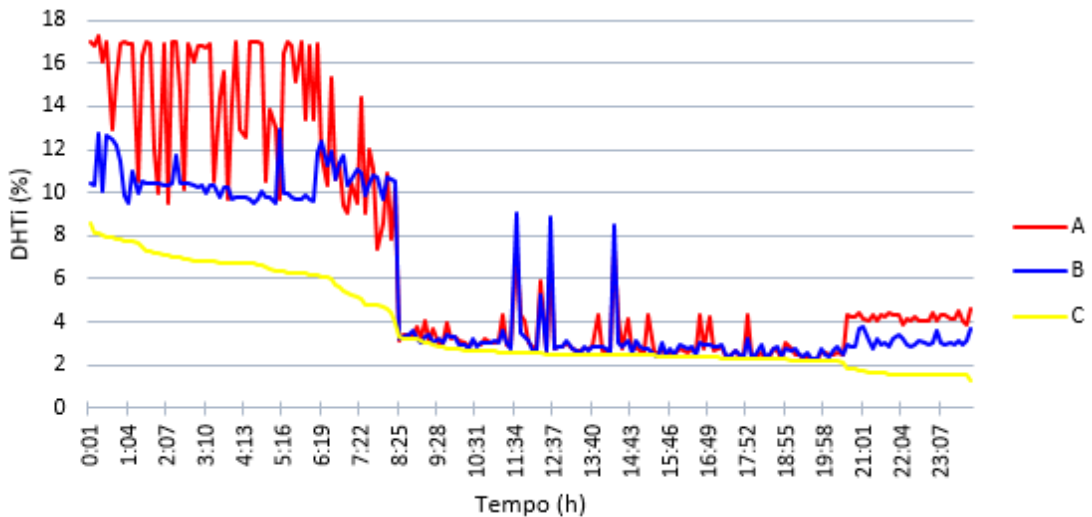
Figura 39 – Correntes das fases A, B, C e do neutro do quadro de iluminação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

As medidas de DHT de corrente do quadro de refrigeração podem ser vistas na Figura 40. O valor máximo registrado foi de 17,30% na fase A, referente ao dia 02 de maio de 2019, que também é acima do limite aceitável.

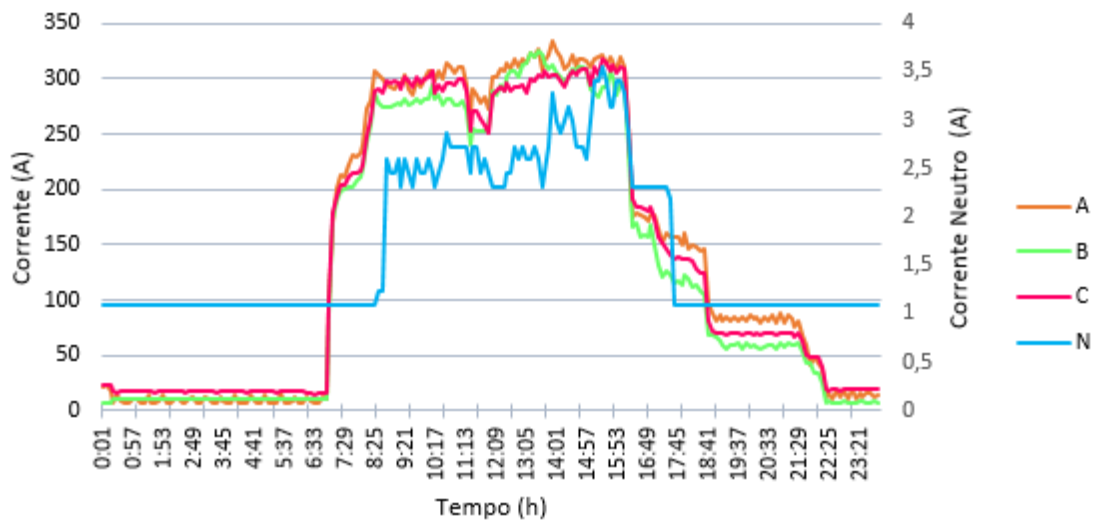
Figura 40 – Distorção harmônica total das correntes do quadro de climatização.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A taxa de DHT, por possuir valores bem menores comparados aos do quadro de iluminação, exibida na Figura 38, não gera uma corrente elevada no neutro, apresentado na Figura 41, mostrando que o valor máximo registrado por esse condutor é de 3,54 A, causado pelo pequeno desbalanceamento das fases.

Figura 41 – Correntes das fases A, B, C e do neutro do quadro de climatização.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 26 exibe os valores máximos e mínimos medidos de DHT nas três fases dos quadros de distribuição. Verifica-se que apenas as fases B e C, do quadro de climatização, não ultrapassam o limite máximo estabelecido pelo IEEE.

Tabela 26 – Distorção harmônica de corrente.

Quadro	Valores	DHT de corrente			Limite aceitável pelo IEEE
		Fase L1	Fase L2	Fase L3	
Iluminação	Máximo	46,86%	36,95%	31,78%	15%
	Mínimo	12,45%	17,36%	15,63%	
Climatização	Máximo	17,30%	12,93%	8,57%	
	Mínimo	2,67%	2,32%	1,25%	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Através desses resultados, constatou-se que no intervalo de tempo em que a maioria das cargas está desligada, das 00:01 às 07:30, a DHT de corrente apresenta seus valores máximos. O quadro de iluminação e força tem valores médios registrados de 33%, que é acima do limite estabelecido. Já o quadro de climatização, os valores médios alcançam 10% e estão dentro do limite aceitável. No período de funcionamento do estabelecimento, em que a maior parte das cargas está ligada, a DHT de corrente chega a seu valor mínimo. O quadro de iluminação e força atinge valor médio de cerca de 21%, que está fora do limite estabelecido e, no quadro de climatização, o valor médio chega a cerca de 3%, bem inferior ao limite mínimo aceitável.

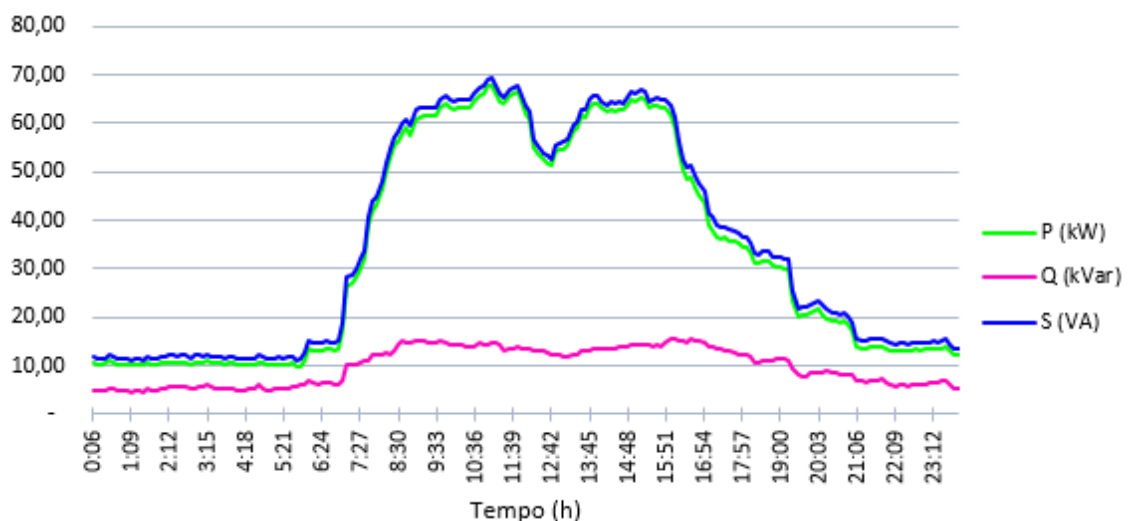
Quando comparadas as Figuras 38 e 40 com as Figuras 39 e 41, observa-se que suas formas de onda possuem uma relação inversamente proporcional, ou seja, à medida que as cargas

são acionadas, as correntes dos sistemas se elevam e as DHT sofrem reduções significativas em seu valores, já no período que as cargas estão desligadas, acontece o processo inverso. Isso ocorre porque, no horário de funcionamento, cada sistema opera com a maior parte das cargas acionadas, apresentando medidas de correntes fundamentais eficazes mais altas, logo, esses valores se sobressaem quando comparados às harmônicas presentes, resultando em medidas inferiores de DHT de corrente. Já quando as cargas vão sendo desligadas, os valores das correntes fundamentais diminuem, afetando menos as harmônicas presentes e assim, elevando a taxa de DHT de corrente. A equação (2.6) mostra essa relação, através dela, pode-se verificar que valores eficazes menores da corrente fundamental, resultarão em maiores taxas de DHT de corrente e, valores maiores, em menores taxas.

#### 4.2.6 Potência ativa, reativa e fator de potência

A Figura 42 expõe os gráficos das potências aparente ( $S$ ), ativa ( $P$ ) e reativa ( $Q$ ) do quadros de iluminação, realizada no dia 16 de abril de 2019. Esses gráficos possuem comportamento padrão nos dias de funcionamento da edificação. Nesse caso, a potência aparente apresentou valor máximo de 69,2 kVA às 11:04, sabendo que o transformador conectado a esse quadro possui valor nominal de 150 kVA, logo, ele está operando com 46,1% da sua capacidade nominal. Observa-se que a potência aparente sempre está com valores próximos a potência ativa, ou seja, há pouca potência reativa circulando pelo sistema, o que caracteriza um fator de potência próximo a um.

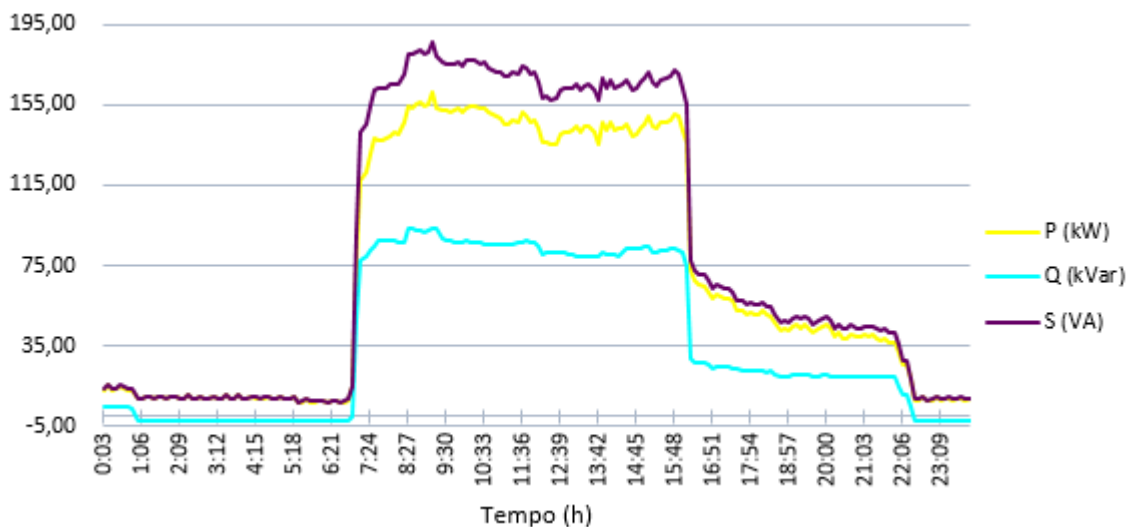
Figura 42 – Potência aparente, ativa e reativa do quadro de iluminação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

No quadro de climatização, mostrado na Figura 43, referente ao dia 26 de abril de 2019, há uma diferença significativa no valor da potência aparente e da potência ativa, e um valor de potência reativa acentuada, o que caracteriza um fator de potência mais baixo. A máxima potência aparente registrada, com valor 186,35 *kVA*, foi no horário de 09:09, como a potência do transformador referente a esse quadro possui valor de 300 *kVA*, constata-se que ele está operando com 62,1% da sua capacidade nominal.

Figura 43 – Potência aparente, ativa e reativa do quadro de climatização.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para uma melhor análise do fator de potência desses sistemas foram plotados os gráficos das potências ativa, reativa e do fator de potência das fases A, B e C dos quadros gerais de iluminação e climatização. Nos quadros já existem bancos de capacitores estáticos conectados com valor total de 60 *kVar*, porém algumas de suas células estão danificadas.

Na figura 44, referente ao quadro de iluminação e força, no período em que a maioria das cargas estão deligadas, a energia reativa que circula nesse sistema está causando um fator de potência abaixo dos 0,92 determinado pela ANEEL, com valor médio de 0,85, resultando em despesas com multas. Enquanto que no período em que a maior parte das cargas estão ligadas, de 08:00 às 18:00, que contempla o horário de funcionamento, o fator de potência possui valor médio de 0,94.

Figura 44 – Potência ativa (PA), reativa (PR) e fator de potência (FP) do quadro de iluminação.

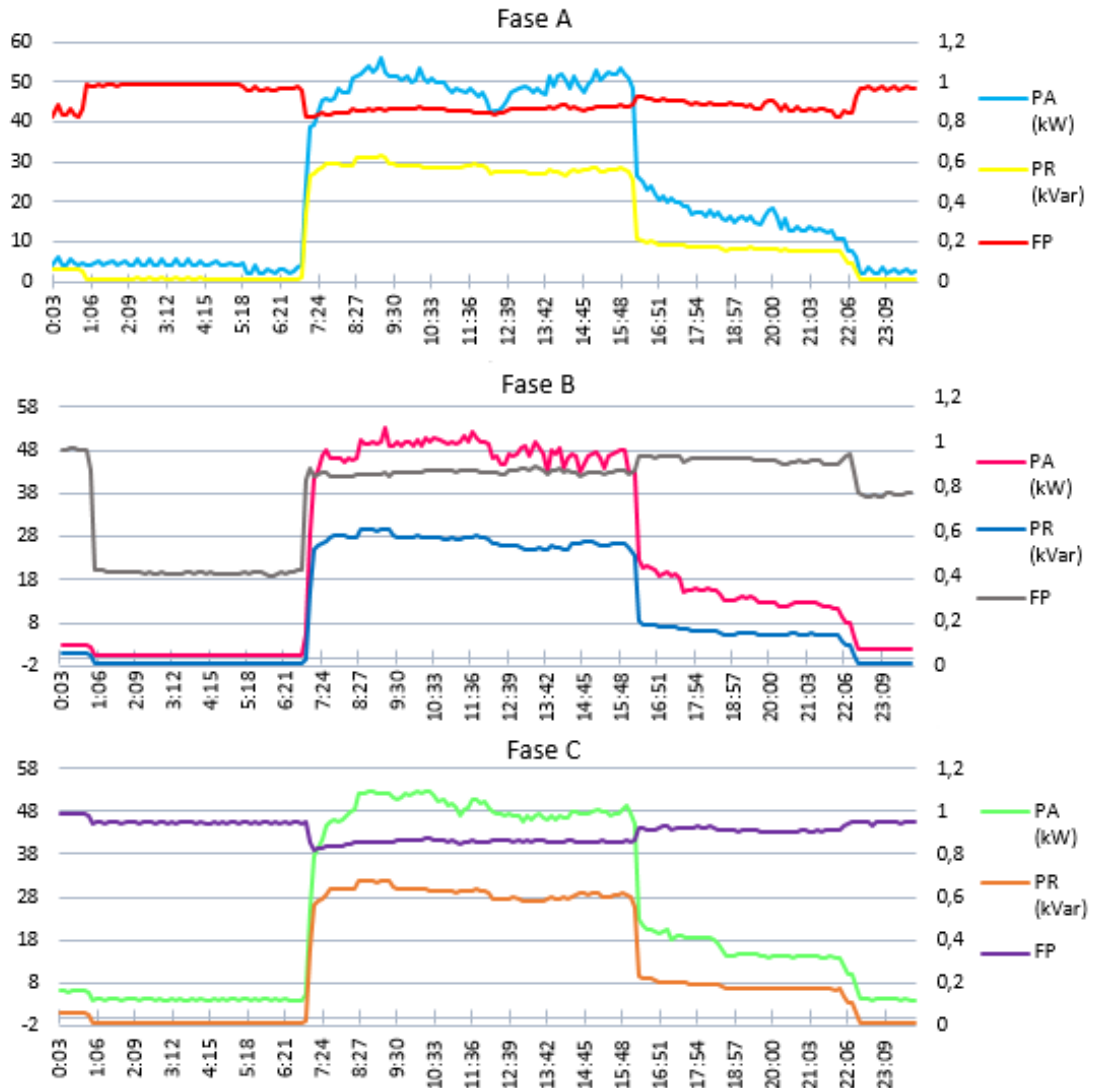


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 45, que apresenta as medições do quadro de climatização, o fator de potência médio registrado durante todo o dia foi 0,85. Verifica-se que, mesmo com as cargas sendo similares em todas as fases, possuindo valores parecidos de potência ativa e reativa, o fator de potência tem um comportamento diferente na fase B, quando comparado as outras fases, isso ocorre devido as células danificadas no banco de capacitores.

O período em que o fator de potência está de acordo com o padrão é das 22:00 às 7:00, para as fases A e C, enquanto na B esse valor está em torno de 0,42. Constata-se que é necessário realizar uma correção do fator de potência, pois o banco de capacitores existente não está realizando a correção completa.

Figura 45 – Potência ativa (PA), reativa (PR) e fator de potência (FP) do quadro de climatização.

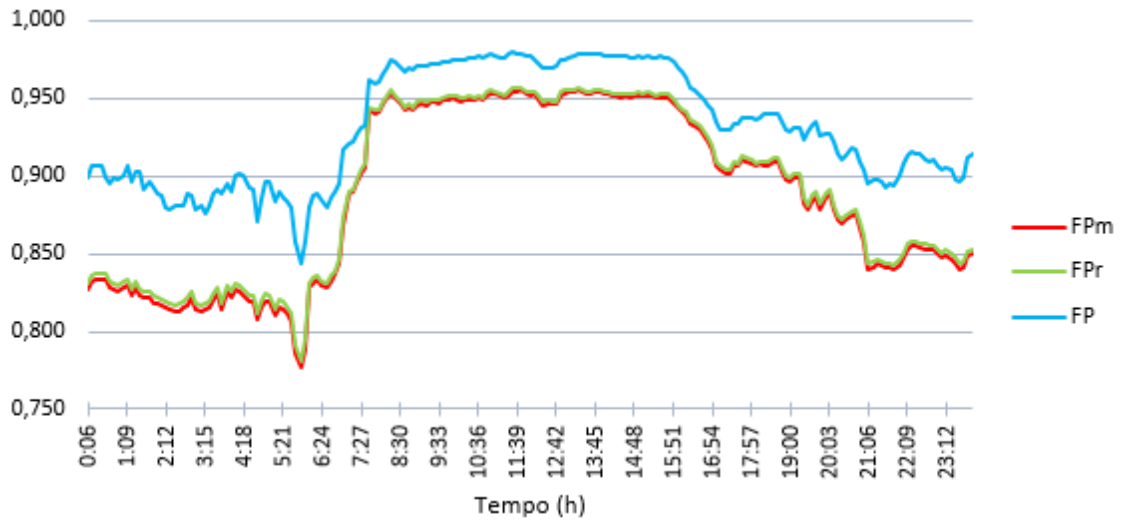


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao analisar o fator de potência, deve-se também levar em consideração a presença da DHT de corrente na instalação elétrica que, dependendo do seu valor, pode afetar o valor do fator de potência registrado pela concessionária.

As Figuras 46 e 47 exibem a média, nas fases A, B e C, do quadro de iluminação e climatização, do fator de potência medido pelo analisador de energia ( $FP_M$ ), do fator de potência ( $FP$ ) calculado através da equação (2.7) e do fator de potência de distorção ( $FP_r$ ), calculado pela equação (2.8), que considera a presença de DHT de corrente na instalação elétrica.

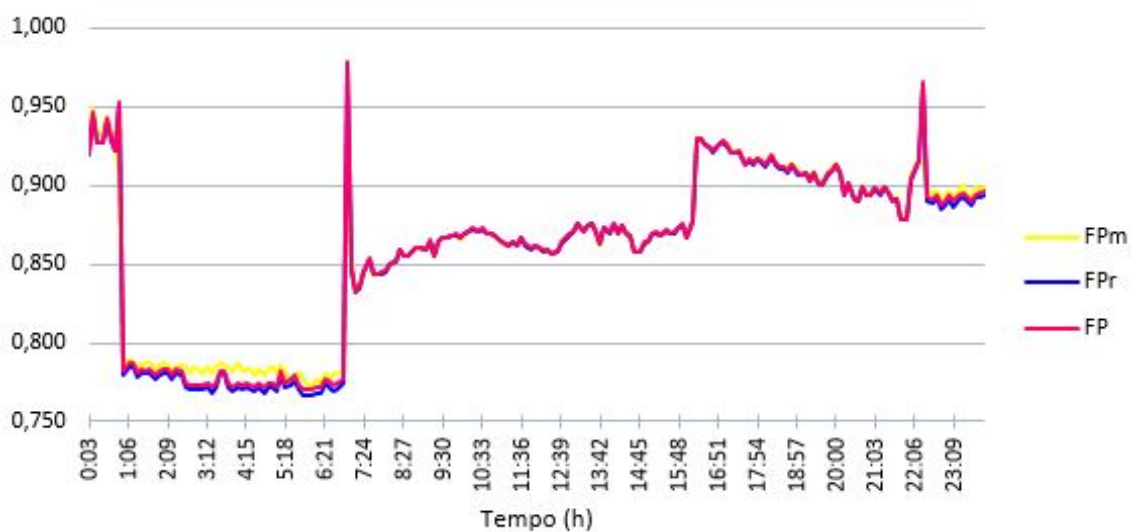
Figura 46 – Comparação do fator de potência no quadro de iluminação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 46, a taxa DHT de corrente presente no quadro de iluminação, mostrada na Figura 38, causa uma redução do fator de potência, visto que, o fator de potência medido ( $FP_m$ ), possui o mesmo valor do fator de distorção ( $FP_r$ ) e é menor do que o valor calculado real ( $FP$ ). Nesse caso, medidas de mitigação de harmônicos resultarão no aumento do fator de potência, apesar disso, ainda haverá a necessidade da instalação de um banco de capacitores para correção completa do fator de potência.

Figura 47 – Comparação do fator de potência no quadro de climatização.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir da comparação realizada para o quadro de climatização, exposto na Figura

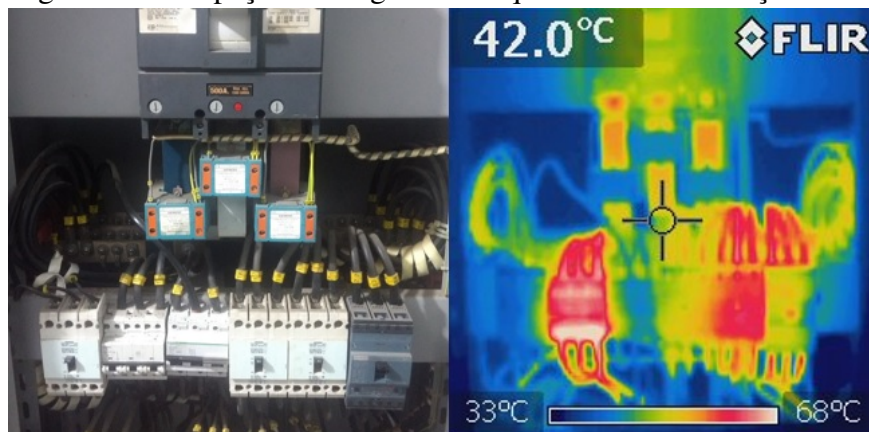
47, observa-se que os valores de fator de potência são praticamente iguais, ou seja, os harmônicos presentes nesse sistema, não afetaram no fator de potência registrado.

### 4.3 Termografia

Neste tópico são exibidos os resultados que apresentam características anormais do padrão da inspeção termográfica, com a finalidade de mostrar pontos quentes que podem ocasionar problemas na instalação elétrica. Realizou-se a medição da temperatura nos quadros elétricos com a maior parte das cargas ligadas, comparando os resultados com seus valores máximos de operação e verificando seu limite de elevação admissível, conforme a ABNT (1998), também foi considerado a similaridade dos elementos adjacentes, de acordo com a Tabela 8.

A Figura 48 ilustra o quadro de climatização e sua imagem termográfica, com seus disjuntores gerais de todos os pavimentos em evidência. Verificou-se uma variação de temperatura de  $41,5^{\circ}\text{C}$  entre esses equipamentos. O terceiro disjuntor, referente ao segundo pavimento, apresenta a situação mais crítica, com uma temperatura de  $76,5^{\circ}\text{C}$ , e o penúltimo disjuntor, do quarto pavimento, alcançou uma temperatura de  $62,7^{\circ}\text{C}$ .

Figura 48 – Inspeção termográfica no quadro de climatização.



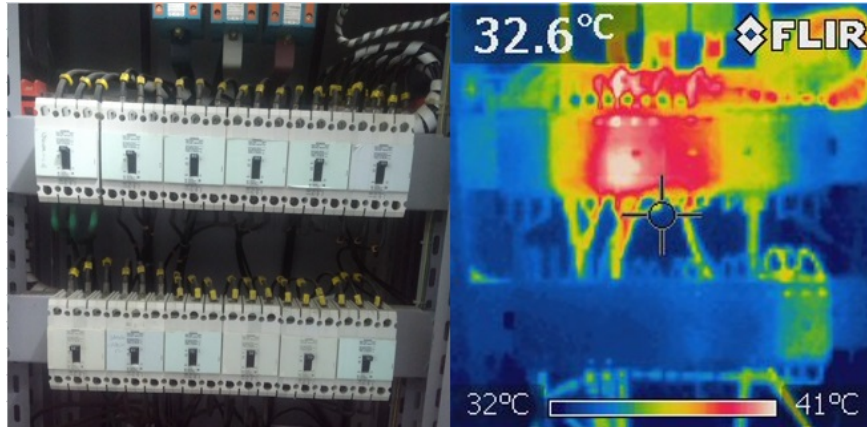
Fonte: Elaborado pelo Autor.

As anomalias encontradas foram classificadas, de acordo com a Tabela 8, como de grau 1, em que a manutenção dos equipamentos deve ser feita imediatamente, para a aplicação das medidas corretivas cabíveis, evitando algum incidente. Os demais disjuntores devem ser checados em período de manutenção. Como a edificação não possui nenhum sistema de manutenção, é importante realizar a conscientização sobre a implementação dessa ação preventiva periodicamente.



O quadro geral de iluminação também apresentou anomalias em alguns de seus disjuntores, como exibido na Figura 49. No terceiro aparelho, referente ao segundo pavimento, a temperatura atinge um valor de  $44,5^{\circ}\text{C}$ , esse valor foi classificado como de grau 2, em que é necessário realizar um agendamento para a checagem do equipamento, pois não há risco de falha eminente, mas requer atenção.

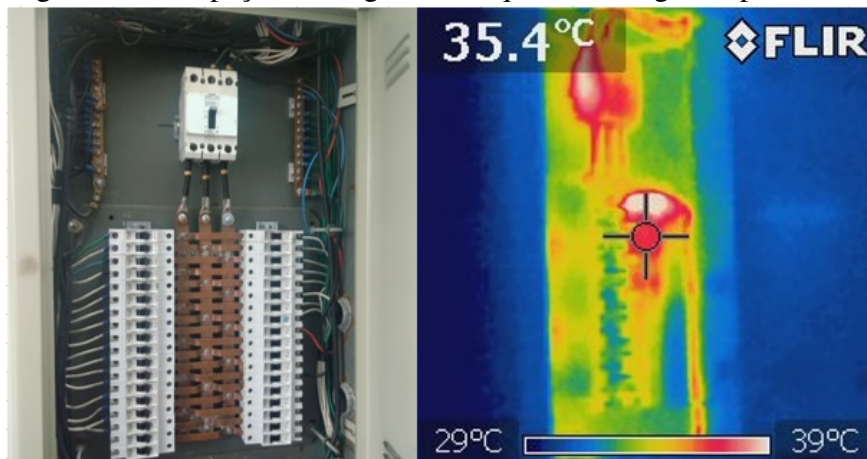
Figura 49 – Inspeção termográfica no quadro de iluminação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

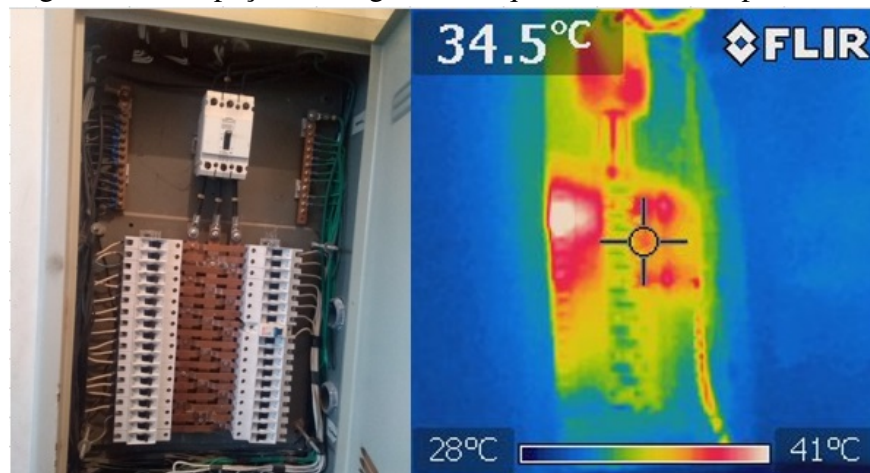
Outras anomalias também foram encontradas em alguns quadros de distribuição individuais dos pavimentos. No quadro do segundo pavimento, observou-se uma elevação na temperatura de alguns disjuntores, como é exibido na Figura 50, em que o valor alcança  $52,3^{\circ}\text{C}$ , essa anomalia foi classificada como de grau 3, em que a manutenção deve ser realizada assim que possível. Os disjuntores do terceiro pavimento, referente a Figura 51, chegaram a uma temperatura de  $49^{\circ}\text{C}$ , sendo classificada como de grau 2.

Figura 50 – Inspeção termográfica no quadro do segundo pavimento.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 51 – Inspeção termográfica no quadro do terceiro pavimento.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 4.4 Sistema de iluminação

Esse estudo foi realizado no subsolo e em quatro pavimentos da edificação, o quinto pavimento não fez parte do projeto por ter sido construído mais recentemente, por já apresentar iluminação com lâmpadas de LED e também por possuir difícil acesso.

##### 4.4.1 Condições atuais

O levantamento das cargas do sistema atual de iluminação é exibido na Tabela 27, dividido por pavimentos.

Tabela 27 – Levantamento de carga do sistema de iluminação.

Local	Tipos de Lâmpadas									
	Fluorescente + Reator					Incand. 150 W	LED			VP 150 W
	143 W	52 W	46,8 W	41,6 W	26 W		150 W	100 W	18 W	
Subsolo	0	42	0	2	58	3	0	1	6	0
1º Pavimento	57	121	8	2	24	4	2	2	82	10
2º Pavimento	72	24	0	0	21	2	0	3	0	0
3º Pavimento	72	20	0	0	25	2	0	0	0	0
4º Pavimento	72	20	0	0	25	2	0	0	0	2
Total	273	227	8	4	145	13	2	6	88	12

Fonte: Elaborado pelo Autor.

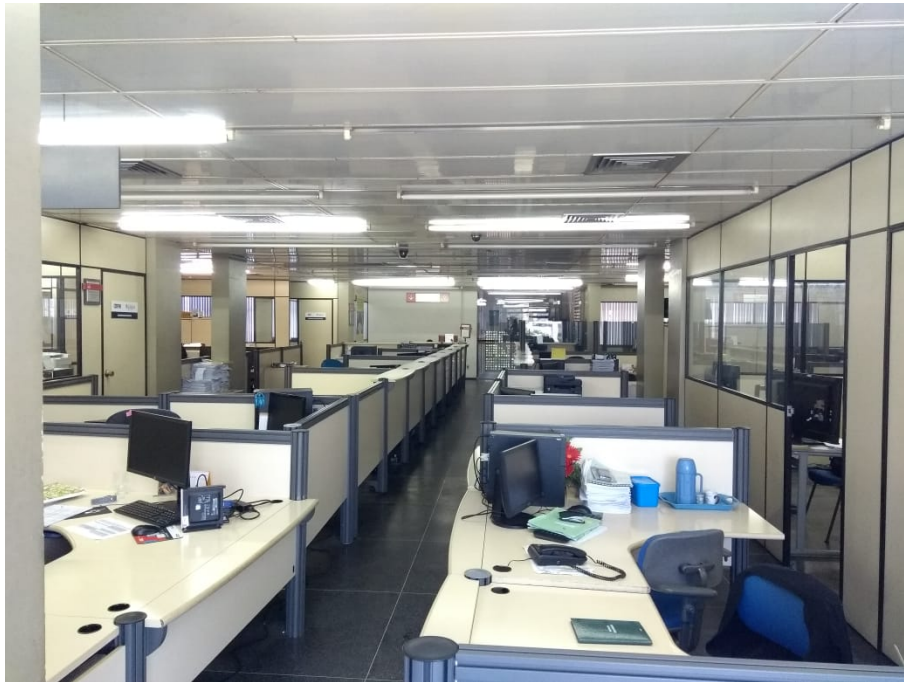
Por intermédio dos dados da Tabela 27, calculou-se a potência instalada, apresentada no Apêndice A, juntamente com o consumo mensal calculado e as iluminâncias dos ambientes medidas. Pode-se observar que existem lâmpadas instaladas que tem um consumo elevado, e que

também estão em desuso, como a incandescente.

A partir da visita técnica foi constatado que a edificação apresenta, em praticamente quase todos os ambientes que funcionam como escritório, uma iluminância inadequada para o desempenho das atividades dos funcionários. Esse problema pode ser causado pelo tempo de vida útil das lâmpadas e pela falta de manutenção, pois a eficiência vai reduzindo com esses fatores.

Outro fator relevante é a distribuição das luminárias. Como os pavimentos consistem em saguões que são repartidos por divisórias para formar as salas, em muitos casos, as luminárias ficam dispostas de forma inadequada para os ambientes, causando um mal aproveitamento do seu fluxo luminoso. A Figura 52 mostra a disposição de algumas luminárias no segundo pavimento. Todos os pavimentos, retirando o subsolo e o quinto, possuem a mesma distribuição de luminárias.

Figura 52 – Disposição de luminárias no segundo pavimento.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os únicos lugares que possuem interruptores são banheiros, salas de climatização, escadas, sala de cabos e copa, nos demais ambientes, a iluminação é acionada diretamente no disjuntor, sendo responsabilidade de um funcionário realizar o acionamento e o desligamento desse equipamento em horários estabelecidos. Isso resulta em desperdício no consumo, pois mesmo que não esteja sendo executado nenhum trabalho em algum ambiente, a iluminação

estará ligada desnecessariamente.

Observou-se também que as luminárias encontradas nos saguões principais não possuem uma boa eficiência, pois não direcionam o fluxo luminoso das lâmpadas, causando uma dispersão em sua volta e gerando perdas, como pode ser visto na Figura 52. Para suprir o fluxo perdido e a iluminância se tornar adequada, é necessário a instalação de mais lâmpadas.

O nível de eficiência energética da edificação foi calculado conforme a Tabela 10, através da área total iluminada, que é de  $3569,18 m^2$ . Por meio desses valores, chegou-se ao valor da potência máxima para cada nível de eficiência do sistema de iluminação, utilizando a equação (3.1). A Tabela 28 expõe o resultado.

Tabela 28 – Nível de eficiência energética do sistema atual de iluminação.

Função do Edifício	DPI - Densidade de potência de iluminação limite ( $W/m^2$ )			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Escritório	34621	39975	44972	50325

Fonte: Elaborado pelo Autor.

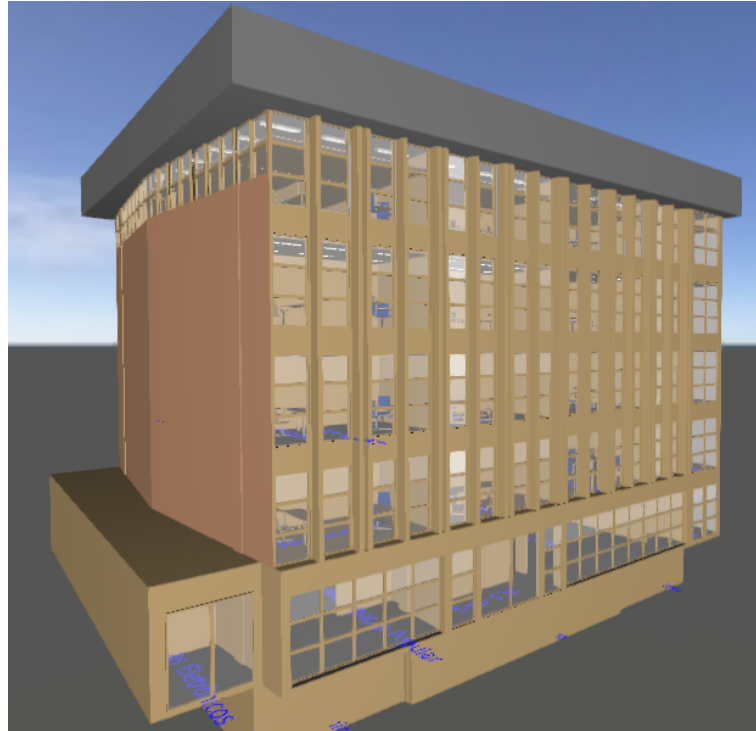
A DPI possui valor de  $58430 W/m^2$ , não atendendo a nenhum valor especificado na Tabela 28. Este resultado indica que o sistema de iluminação da edificação não se enquadra nos requisitos mínimos para obter uma etiqueta de determinação do nível de eficiência energética.

#### 4.4.2 Sistema proposto

O novo projeto para o sistema de iluminação foi realizado de acordo com o novo *layout* que será implementado na edificação. Foi proposta também a substituição de luminárias e feita uma nova distribuição, com um melhor aproveitamento do espaço, do fluxo luminoso e com a iluminância ideal para cada tipo de ambiente. O projeto foi realizado no *software* DIALux.

Além disso, também foi proposto instalar interruptores em todas as salas, para evitar desperdícios no consumo. As Figuras 53 e 54 exibem a simulação da parte exterior da edificação e do interior do terceiro pavimento, respectivamente.

Figura 53 – Simulação da edificação completa.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 54 – Simulação do terceiro pavimento visto pela lateral.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

As cargas referentes ao novo sistema projetado estão apresentadas, divididas resumidamente por pavimentos, na Tabela 29. A distribuição por ambiente, assim como valores de área, iluminância e características das lâmpadas são mostradas no Apêndice B.

Tabela 29 – Cargas do novo sistema.

Local	LED		
	10 W	18 W	60 W
Subsolo	20	122	0
1º Pavimento	30	488	10
2º Pavimento	38	176	3
3º Pavimento	36	204	0
4º Pavimento	38	202	0
Total	162	1192	10

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O consumo desse projeto foi estimado e comparado com o atual, como está apresentado na Tabela 30. O Apêndice B exibe detalhadamente o horário e os dias de funcionamento das cargas que foram utilizadas para calcular esse valor de consumo mensal.

Tabela 30 – Comparação entre os sistemas atual e projetado.

Local	Atual			Projetado			Economia
	Quantidade	Potência (kW)	Consumo Mensal (kWh)	Quantidade	Potência (kW)	Consumo Mensal (kWh)	
Subsolo	108	4,17	580,45	142	2,4	404,71	30%
1º Pavimento	312	17,02	2693,94	528	9,68	1633,88	39%
2º Pavimento	122	12,69	2598,79	217	3,85	740,70	71%
3º Pavimento	115	12,29	2473,77	240	4,03	805,86	67%
4º Pavimento	119	12,29	2455,40	240	4,02	803,53	67%
Total	776	58,46	10802,35	1363	23,98	4388,68	59%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que o consumo mensal atual estipulado representa 16% do consumo médio total, apresentado na Tabela 22. O quantitativo de lâmpadas propostas para o novo sistema praticamente dobra, porém o consumo apresenta uma redução de 59%. Esse valor representa aproximadamente 9% do consumo total da edificação.

As lâmpadas de LED propostas, além de possuírem melhor eficiência e maior tempo de vida útil, também apresentam valores bem inferiores de DHT de corrente, quando comparadas as lâmpadas tubulares fluorescentes, atualmente usadas, como relatado nos ensaios realizados por (MONTEIRO, 2015), ou seja, a implementação desse projeto resultará em uma redução da taxa DHT de corrente.

## 4.5 Sistema da climatização

Esta seção apresenta as características de consumo do sistema de climatização da prefeitura e exibe a proposta de um projeto mais eficiente, assim como o comparativo do sistema atual e projetado.

### 4.5.1 Condições atuais

O quantitativo, a potência consumida, a marca, o selo, que determina o nível de eficiência energética, e o tipo dos aparelhos condicionadores de ar presentes na prefeitura estão expostos no Apêndice C.

A maior parte das cargas instaladas nesse sistema são referentes aos sistemas centrais de ar. Cada pavimento, exceto o subsolo e o quinto, possuem essas centrais constituídas de aparelhos *self contained*, que apresentam uma eficiência bastante reduzida e acabam não suprimindo a carga térmica necessária para o ambiente, tanto por serem aparelhos bem antigos, com muito tempo de uso, quanto pela falta de manutenção. Esse fato causou a necessidade de instalar mais aparelhos de ar condicionado para fornecer conforto térmico adequado aos funcionários.

### 4.5.2 Sistema proposto

O novo sistema foi proposto de acordo com a carga térmica adequada para cada ambiente, levando em consideração a quantidade de pessoas, aparelhos e cargas de iluminação presentes em cada sala, e também as características construtivas e meteorológicas do local. A simulação foi realizada referente ao mês de dezembro, que apresentou temperaturas mais elevadas no local estudado.

Não foi contemplado no novo projeto o auditório, pois seus aparelhos não apresentam problemas e dificilmente são utilizados, então é mais viável realizar a substituição quando esses equipamentos não apresentarem condições de operação. Também não foi feito projeto para o quinto pavimento, que apresenta aparelhos de ar condicionados mais eficientes, do tipo *inverter*.

O Apêndice D mostra a carga térmica simulada para cada ambiente, a quantidade e potência elétrica dos aparelhos propostos para substituição. Com os resultados obtidos, foi realizada a comparação entre os sistemas, como exposto na Tabela 31.

Tabela 31 – Comparação entre os sistemas de climatização atual e projetado.

Local	Atual			Projetado			Economia
	Quantidade	Potência (kW)	Consumo Mensal (kW)	Quantidade	Potência (kW)	Consumo Mensal (kW)	
Subsolo	7	12,72	2797,52	7	7,05	1551,00	45%
1º Pavimento	18	51,79	11393,80	16	19,62	4316,40	62%
2º Pavimento	16	22,40	4927,78	14	18,54	4078,80	17%
3º Pavimento	7	27,96	6151,20	18	21,43	4714,60	23%
4º Pavimento	2	21,00	4619,34	14	16,36	3599,20	22%
Total	50	135,86	29889,64	69	83,00	18260,00	39%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O projeto estipula uma economia em 39% no sistema de climatização em relação ao atual. Com o valor do consumo mensal, observa-se que as cargas de refrigeração correspondem a mais de 44% do consumo total. Logo, a redução representa aproximadamente 17% do consumo médio mensal.

#### 4.6 Sistema fotovoltaico

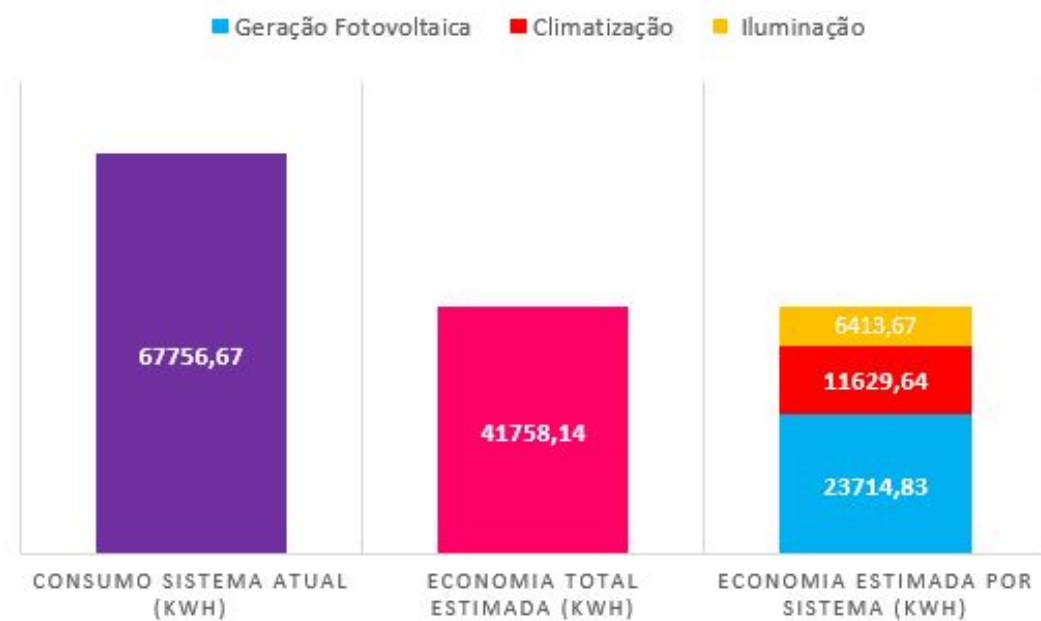
A energia gerada estipulada diariamente pelo sistema fotovoltaico foi calculada conforme a equação (3.9). Para o valor da irradiação global diária no ano de 2018, foi considerado o mês em que essa medida apresentou o seu menor valor médio registrado,  $4,95 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ , como apresentado na Tabela 14. O valor estimado calculado foi de 792,34kWh diários, mensalmente esse valor chega a 23770,33 kWh.

Comparando esse resultado com o valor médio do consumo mensal atual do estabelecimento, mostrado na Tabela 22, observa-se que a energia estipulada gerada pelo sistema fotovoltaico será capaz de suprir cerca de 35% da energia consumida mensalmente.

A Figura 55 exibe a redução do consumo mensal estimada com os sistemas projetados de climatização e iluminação, e da energia estimada gerada pelo sistema fotovoltaico, em comparação ao consumo médio mensal atual da edificação. Verifica-se que a implementação de todos os projetos propostos, implicariam em uma redução estimada de 61,62% do consumo médio atual mensal.



Figura 55 – Redução média estimada de consumo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 4.7 Viabilidade econômica

Os indicadores foram calculados para os sistemas de iluminação, de climatização e o fotovoltaico, individualmente, e por fim, também foi realizada a análise para a implementação de todos os projetos juntos. A Tabela 32 apresenta o resultado.

Tabela 32 – Taxas referentes a viabilidade econômica.

Sistema	Tempo (ano)	Taxa	Investimento Inicial	Retorno Anual	Payback (ano)	VPL	TIR
Climatização	10	6,26%	R\$155.363,69	R\$108.825,30	1,43	R\$635.825,30	70%
Iluminação	3	6,26%	R\$107.483,18	R\$49.110,91	2,19	R\$23.185,87	18%
Fotovoltaico	10	6,26%	R\$561.955,15	R\$195.327,47	2,88	R\$858.127,74	33%
Completo	10	6,26%	R\$858.127,74	R\$353.272,68	2,33	R\$1.743.584,74	42%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A taxa mínima de atratividade utilizada foi de 6,26% para todos os casos, que equivale a taxa base para os financiamentos concedidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Os valores de custo de investimento foram cotados e estão apresentados no Apêndice E, foi acrescentado 20% do valor total, levando em consideração outros gastos, como mão de obra.

Para o sistema de climatização foi estipulado um período de 10 anos, equivalente a um período médio de vida útil dos aparelhos condicionadores de ar. O investimento nesse sistema

implicará em um *payback* de 1 ano e 5 meses, apresentando valores de VPL de R\$635.825,32 e TIR de 70%, que o classificam como viável.

No sistema de iluminação foi realizada a análise para o período de 3 anos, constatou-se que, para o investimento cotado em R\$107.483,18, o tempo de retorno é de 2 anos e 2 meses. Levando em consideração que o novo sistema propõe além das trocas das lâmpadas, também as das luminárias, que tem um tempo maior de vida útil, ao passar do período estipulado, a substituição ocorreria somente nas lâmpadas, diminuindo os custos do projeto. O VPL maior que zero e a TIR maior que o valor da TMA mostram que o projeto para esse sistema é viável.

O sistema com custo inicial mais elevado foi o fotovoltaico, apesar das especificações técnicas do módulo apresentarem um tempo de vida útil de 25 anos, foi considerado um tempo de 10 anos para o projeto, equivalente ao tempo de vida do inversor. Vale salientar que, após esse período, estipula-se que será necessário apenas a troca desses aparelhos, com isso, o *payback* estimado é de 2 anos e 9 meses, o sistema também se classifica como viável, pois possui valores de VPL de R\$858.127,74 e TIR de 33%.

Implementando todas as melhorias propostas e levando em consideração um tempo de 10 anos, os índices financeiros comprovaram a viabilidade econômica dos projetos, apresentando o *payback*, com valor de, aproximadamente de 2 anos e 4 meses, o VPL, com valor de R\$1.743.584,74 e o TIR de 42%, trazendo um retorno anual de R\$353.272,68.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este estudo mostrou o potencial de aprimoramento do sistema elétrico da Prefeitura Municipal de Sobral, através da redução de seu consumo, da análise qualidade de energia e das instalações elétricas. Foram realizadas ações que envolvem a eficiência energética, a verificação de fatores que podem afetar o desempenho da instalação e um projeto de geração própria de energia para suprir uma parte da energia elétrica consumida.

Para as análises foram coletados dados, a partir das faturas de energia, do levantamento de cargas, do diálogo com funcionários, da utilização de aparelhos para a medição dos parâmetros elétricos e da inspeção da instalação elétrica. Como resultado, pode-se entender o perfil da unidade consumidora, estimar o consumo da edificação, identificar hábitos de desperdício de consumo e verificar a possibilidade da implementação de um sistema fotovoltaico e estimar sua energia gerada.

O estudo das contas de energia mostrou que a edificação está enquadrada na modalidade tarifária correta, com valor de demanda contratada praticamente ideal, porém apresenta consumo excedente de reativos, que resulta em gastos.

A inspeção dos sistemas de iluminação e climatização apresentou o mau estado de conservação dos equipamentos, devido a falta de manutenção e o tempo de vida útil, ponderando a importância da realização da manutenção preventiva nesses sistemas, e da conscientização dos funcionários para evitar desperdícios no consumo. Verificou-se que os níveis de iluminância dos ambientes que funcionam como escritórios, não alcançam o limite estabelecido pela norma NBR ISO/ CIE 8995-1. Foi desenvolvido um novo projeto luminotécnico, com níveis de iluminância adequados, constituído de lâmpadas tubulares de LED. Assim como na iluminação, um novo projeto de climatização foi realizado, empregando aparelhos de ar condicionado com tecnologia *inverter*.

Os sistemas propostos resultaram em um potencial de redução no consumo de 16% para o sistema de iluminação e 44% para o de climatização, em relação aos atuais. A viabilidade econômica para a implementação desses sistemas foi realizada através de índices financeiros, como *payback*, VPL e TIR, que comprovaram que ambos os sistemas são economicamente viáveis, com um *payback*, um VPL e um TIR, de 1 ano e 5 meses, de R\$635.825,30 e de 70% para o sistema de climatização, e de 2 anos e 2 meses, de R\$23.185,87 e de 18% para o de iluminação, respectivamente.

A implementação de um sistema fotovoltaico implicará em uma redução de 35% da energia consumida pela edificação, em relação ao consumo médio atual. Esse sistema também foi classificado como economicamente viável, apresentando um tempo de retorno de 2 anos e 9 meses, um VPL de R\$858.127,74 e um TIR de 33% . A execução dessas práticas juntas necessitaria de um investimento inicial de, aproximadamente, R\$824.800,00, com retorno anual em cerca de R\$353.270,00, resultando em um *payback* de 2 anos e 4 meses, um VPL de R\$1.743.584,74 e um TIR de 42%.

Através da análise da qualidade de energia, verificou-se os parâmetros elétricos que são sujeitos a prejudicar o desempenho da instalação. Constatou-se que a tensão, a frequência e a DHT de tensão estão em conformidade ao estabelecido pela PRODIST. Os distúrbios encontrados foram referentes a DHT de corrente e ao fator de potência. A DHT de corrente do quadro de iluminação apresentou um valor acima do limite aceitável, em consequência das cargas monofásicas não lineares que compõem esse sistema, o que causa um aumento do corrente do neutro, uma redução do fator de potência e compromete a vida útil de aparelhos elétricos mais sensíveis. O fator de potência registrado apresentou valores abaixo do 0,92 recomendado. Para a sua correção, no quadro de iluminação, é necessário implementar medidas de mitigação de harmônicos, pois a DHT é responsável por uma redução do fator de potência, para o quadro de climatização, que apresenta os valores mais baixos de fator de potência, a DHT de corrente não afeta esse valor e o fator de potência pode ser corrigido pela instalação de banco de capacitores.

A inspeção termográfica apresentou os pontos suscetíveis a causar problemas nos quadros gerais elétricos, identificando os que necessitam de manutenção imediata, pois são mais suscetíveis a causar algum problema na instalação elétrica.

## **5.1 Sugestão para trabalhos futuros**

Após conclusão deste trabalho, foram sugeridas melhorias que podem ser exploradas em trabalhos futuros.

- Implementação de um sistema de controle do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas;
- Realização a análise aprofundada de formas para a mitigação dos harmônicos de correntes presentes na instalação;
- Implementação de um sistema de gerenciamento de energia, que monitore o funcionamento das principais cargas e permita o controle de seu acionamento.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST: Módulo 8 - qualidade de energia elétrica.** [S.l.], 2018. 88 p.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 60947-2:** Disjuntores. Rio de Janeiro, 1998. 80 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215:** Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - método de medição. Rio de Janeiro, 2005. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1:** Iluminância de ambientes de trabalho. parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013. 46 p.
- AVANT. **Informações luminotécnicas.** 2019. Disponível em: <<http://avantlux.com.br/luminotecnica/>>. Acesso em: 14 jun.2019.
- BATISTA, H. S. **Análise de contingências em Sistemas elétricos de potência.** Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) — Faculdade de Tecnologia – UNB, Brasília, 2018.
- BATISTA, O. E. Medidas de gestão energética de baixo custo como estratégia para redução de custos com energia elétrica. **Revista GEPROS. Gestão de Produção, Operação e Sistemas,** v. 7, n. 4, p. 117–134, 2012.
- BRONZEADO, H. S.; RAMOS, A. J. P.; OLIVEIRA, J. C.; ABREU, J. P. G.; ARRUDA, A. A. C.; BRANDÃO, A. C. Uma proposta de nomenclatura nacional de termos e definições associados à qualidade da energia elétrica. **Seminário Brasileiro De Qualidade da Energia Elétrica (SBQEE),** 1997.
- CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Guia para Eficiência Energética nas Edificações Públicas.** Rio de Janeiro, 2015.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Potencial Solar.** 2019. Disponível em: <<http://http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 10 mar.2019.
- DECKEMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica.** Dissertação (Mestrado) — FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINAS, CAMPINAS, 2018.
- ELETROBRAS. **Resultados PROCEL 2018::** Ano base 2017. [S.l.], 2018. 62 p.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional:** Ano base 2017. Rio de Janeiro, 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica.** 2019. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 18 mar.2019.

INACIO, W. S. **Dimensionamento da carga térmica de resfriamento de ambientes: Estudo de caso no Instituto Federal Fluminense Campus Itaperuna**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Cândido Mendes - UCAM, Rio de Janeiro, 2014.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERSA. **IEE 519 - Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems**. [S.l.], 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Conforto térmico humano**. 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortoTermicoHumano>>. Acesso em: 13 jun.2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **RTQ-C: Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas**. Rio de Janeiro, 2010. 96 p.

JANNUZZI, G. D. M. Eficiência energética. **Caderno Adenauer**, p. 107–118, 2014.

LOPES, C. F. M. **Análise comparativa de carga térmica entre dois métodos de cálculo para um auditório**. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MAGALHÃES, L. C. **Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos**. Brasília: Procel, 2001. 53 p.

MANUAL do Utilizador: Flir i3, flir i5, flir i7, extech irc30. USA, 2010. 190 p.

MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S. **Eficiência Energética: Teoria e Prática**. [S.l.]: Itajubá: FUPAI, 2007.

MINIPA, I. e. C. L. **Manual de Operação para ET-5060C/ ET-5060 Power Quality Analyser**. [S.l.], 2009. 78 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas básicas e diretrizes**. [S.l.], 2011. 136 p.

MONTEIRO, R. V. A. **Lâmpadas Tubulares LED x Fluorescentes - Estudos de Viabilidade na Perspectiva da Qualidade da Energia e Eficiência Elétrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) — Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2015.

OLIVEIRA, A. A. N. **Qualidade da Energia em Projetos de Eficiência Energética**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

OLIVEIRA, T. D. **Análise de Sistemas de Energia e Máquinas Elétricas com Recurso a Termografia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, jan. 2012.

PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES, F. F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: Estudo de caso do sistema tubarão-sc. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 1, p. 25–45, 2008.

PHILIPS. **Master LEDTube GA**. [S.l.], 2019.

- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESEB, 2014. 530 p.
- PLANO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Manual de Tarifação de Energia Elétrica**. [S.l.], 2011. 56 p.
- SANTOS, A. H. M.; SIMÕES, A. A.; MARTINS, A. R. S.; C., V. A. N. **Conservação de Energia**: Eficiência energética de equipamentos e instalações. Itajubá: Eletrobrás/Procel, 2006.
- SANTOS, L. **Classificação e Modelagem de Fatores de Influência sobre inspeções Termográficas em Ambientes Desabrigados**. Dissertação (Doutor em Engenharia Elétricas) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, out. 2012.
- SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos**. [S.l.], 2018.
- SOUZA, D. F. Dialux: Uma ferramenta em constante evolução. **Rev. Lume Arquitetura**, p. 6, 2012.
- STANDARD for Infrared Inspection of Electrical Systems Rotating Equipment. [S.l.], 2008. 18 p.
- VIEIRA, S. A.; PIRES, A. D. S.; MACHADO, A. A.; LIMA, A. C.; BITELHO, J. C. Avaliação de retorno de investimento de uma empresa de materiais de construção por meio da análise de sensibilidade. **XIXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, João Pessoa, out. 2016.
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**: Sistemas isolados e conectados à rede. São Paulo: Érica, 2012.
- VOITILLE, N. **O que é Índice de Reprodução de Cores (IRC)?** 2018. Disponível em: <[https://www.cliquearquitetura.com.br/artigo/o-que-e-indice-de-reproducao-de-cores-\(irc\)?.html](https://www.cliquearquitetura.com.br/artigo/o-que-e-indice-de-reproducao-de-cores-(irc)?.html)>. Acesso em: 11 jun.2019.
- WEG AUTOMAÇÃO S.A. **Manual para Correção de Fator de Potência**. [S.l.], 2009. 40 p.

**APÊNDICE A – PARÂMETROS MEDIDOS E CALCULADOS DOS AMBIENTES DA  
PREFEITURA.**

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )	Ilumin. (lux)	Potência Inst. (kW)	Funcionamento		Consumo Mensal (kWh)
				Horas	Dias	
<b>Subsolo</b>						
Cabos	2,66	-	0,15	0,5	22	1,65
Entrada Gerador	5,18	-	0,30	1	22	6,64
Gerador	10,23	354	0,10	0,5	22	1,14
Subestação	45,32	438	0,10	1	22	2,29
Recepção	23,80	246	0,42	10	22	91,52
Reparos	12,40	287	0,21	10	22	45,76
Bancada	7,35	416	0,14	10	22	29,83
Comissão	27,14	467	0,42	10	22	91,52
Arquivo	8,77	204	0,05	1	22	1,14
Diário Oficial	41,37	431	0,42	10	22	91,52
WC Feminino	7,12	219	0,05	1	22	1,14
Corredor WC's	5,31	243	0,10	1	22	2,29
WC Masculino	13,73	321	0,10	1	22	2,29
Corregedoria	37,60	538	0,62	10	22	137,28
Garagem	103,12	378	0,59	3	22	39,07
Motor Bomba	5,26	-	0,15	0,5	22	1,65
Hall Elevador	6,86	212	0,05	6	22	6,86
Corredor Elevador	6,32	286	0,10	6	22	13,73
Escadas	24,57	427	0,09	5	22	9,68
<b>Potência Total (kW)</b>			<b>4,17</b>	<b>Cons. Total (kWh)</b>		<b>580,45</b>
<b>1° Pavimento</b>						
Cabos	-	1,69	0,15	0,5	22	1,65
Central de Ar 1	-	3,42	0,15	0,5	22	1,65
Controladoria	448	11,82	0,29	10	22	62,92
Reunião	469	12,25	0,29	1	22	6,29
Coordenação Jurídica	412	11,02	0,16	10	22	34,32
Hall de Entrada	231	33,92	0,10	10	22	22,88
Corredor 1	285	40,45	0,19	10	22	41,18
Caixa Eletrônico	237	22,53	0,21	5	22	22,88
Arquivo Jurídico	398	6,65	0,10	10	22	22,88
Coordenação	482	51,57	1,05	10	22	229,94



Hall Coordenação	213	18,42	0,16	10	22	34,32
Procuradoria Geral	327	81,23	3,29	10	22	725,58
Corredor 2	232	24,56	0,31	10	22	69,64
WC	236	11,46	0,10	1	22	2,29
Almoxarifado	22 1	13,7	0,10	10	22	22,88
Central de Ar 2	-	6,42	0,15	0,5	22	1,65
Corredor 3	276	11,55	0,34	10	22	74,36
Corredor Principal	296	43,72	1,57	10	22	346,06
Participação Popular	325	11,18	0,29	10	22	64,92
Ouvidoria Geral	359	35,88	0,47	10	22	104,10
Recepção ODP	344	15,11	0,43	10	22	94,38
Central Telefônica	196	7,29	0,14	10	22	31,46
No-Break	322	11,98	0,43	10	22	94,38
Copa	243	7,35	0,10	2	22	4,58
Wc Masculino	265	13,83	0,10	2	22	4,58
WC Feminino	267	13,06	0,10	2	22	4,58
Hall Privado	208	6,67	0,05	10	22	11,44
Cor. Privado	243	19,51	0,10	10	22	22,88
Central de Ar 3	-	3,42	0,10	0,5	22	1,10
Escadas	311	22,02	0,40	2	22	1,58
Cobertura Térreo	425	550,78	2,81	4	22	247,10
Almoxarifado Térreo	239	280,35	2,24	1	22	491,92
Escada Entrada	418	-	0,11	4	22	9,50
Central de Gás	454	-	0,15	0,5	22	1,65
Postes	-	-	1,50	4	22	132,00
Refletores	-	-	0,40	12	22	105,60
Auditório	-	178,22	1,21	1	3	26,53
WC Auditório	-	20,5	0,07	1	3	1,58
Som Auditório	-	17,32	0,05	1	3	1,19
<b>Potência Total (kW)</b>			<b>17,02</b>	<b>Cons. Total (kWh)</b>		<b>2693,94</b>
<b>2° Pavimento</b>						
Saguão	278	232,58	6,58	10	22	1447,16
Cofim	289	30,66	1,00	10	22	220,22
Secretário	301	23,82	0,72	10	22	157,30
Codepe	295	11,23	0,10	10	22	22,88
Lado Copede	289	9,48	0,1	10	22	22,88
Arquivo 1	103	3,72	0,05	10	22	11,44

Arquivo 2	74	4,54	0,10	10	22	22,88
Arquivo 3	89	4,67	0,10	10	22	22,88
Corredor WC's	90	8,22	0,13	10	22	28,60
Coveg	218	19,15	0,57	10	22	125,84
Cojur/ Coplan	199	24,99	0,72	10	22	157,30
Coati	219	5,11	0,43	10	22	94,38
Copa	245	6,1	0,10	10	22	22,88
WC Masculino	227	8,72	0,10	2	22	4,58
WC Feminino	231	8,03	0,10	2	22	4,58
Hall Entrada	267	21,09	0,05	10	22	11,44
Hall Privado	209	2,5	0,05	10	22	11,44
Cor. Privado	189	6,44	0,05	10	22	11,44
Central de Ar 2	-	2,8	0,05	0,5	22	0,57
Refletores	-	-	0,30	5	22	33,00
<b>Potência Total (kW)</b>			<b>12,69</b>	<b>Cons. Total (kWh)</b>		<b>2598,79</b>
<b>3° Pavimento</b>						
Cabos	-	1,25	0,15	10	22	33,00
Central de Ar 1	-	5,82	0,15	10	22	33,00
Recepção	240	18,47	0,29	10	22	62,92
Secomp Juríd.	468	25,11	0,57	10	22	125,84
Sec. De Obras	631	23,91	0,57	10	22	125,84
UPG	345	24,32	0,57	10	22	125,84
Sec. Seuma	478	24,84	0,57	10	22	125,84
Seuma Juríd.	221	20,88	0,05	10	22	11,44
Saguão	283	324,03	8,22	10	22	1807,52
Arquivo 1	-	3,09	0,10	10	22	22,88
Arquivo 2	-	3,32	0,10	10	22	22,88
Arquivo 3	-	4,01	0,21	10	22	45,76
Corredor WC's	187	12,32	0,13	10	22	28,60
Copa	267	6,10	0,10	10	22	22,88
WC Masculino	235	8,72	0,10	10	22	22,88
WC Feminino	243	8,03	0,10	10	22	22,88
Hall Privado	342	8,08	0,13	10	22	28,60
Central de Ar 2	-	2,99	0,05	10	22	11,44
Escadas	598	20,13	0,10	10	22	22,88
<b>Potência Total (kW)</b>			<b>12,29</b>	<b>Cons. Total (kWh)</b>		<b>2473,77</b>

4º Pavimento						
Cabos	-	1,25	0,15	0,5	22	1,65
Central de Ar 1	-	5,82	0,15	1	22	3,30
Tesouraria	547	23,27	0,57	10	22	125,84
Secretário	589	23,5	0,57	10	22	125,84
Controladoria	489	35,44	0,64	10	22	140,14
Safin	378	48,2	1,14	10	22	251,68
Arquivo 1	176	3,09	0,05	10	22	11,44
Arquivo 2	158	3,32	0,05	10	22	11,44
Arquivo 3	134	21,9	0,36	10	22	80,08
Saguão	309	202,34	5,58	10	22	1226,94
Arquivo 4	192	4,36	0,10	10	22	22,88
Copa	234	6,10	0,10	2	22	4,58
WC Masculino	256	8,72	0,10	2	22	4,58
WC Feminino	287	8,03	0,10	2	22	4,58
Licitação	328	83,25	2,29	10	22	503,36
Cor. Privado	293	21,97	0,16	10	22	34,32
Central de Ar 2	-	2,99	0,05	0,5	22	0,57
Escadas	478	19,13	0,10	2	22	4,58
<b>Potência Total (kW)</b>			<b>12,29</b>	<b>Cons. Total (kWh)</b>		<b>2455,40</b>

**APÊNDICE B – PARÂMETROS DO NOVO PROJETO DE ILUMINAÇÃO.**

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )	Ilumi. (lux)	Qtd	Pot. lâmp. (W)	Pot. tot. (kW)	Funcionamento		Cons. mensal (kWh)
						Horas	Dias	
<b>Subsolo</b>								
Garagem	57,96	140	8	18	0,144	3	22	9,50
WC Masculino	8,72	246	4	10	0,040	2	22	1,76
WC Feminino	8,03	264	4	10	0,040	2	22	1,76
WC Deficiente	2,64	285	2	10	0,020	1	22	0,44
Copa	6,30	235	2	18	0,036	1	22	0,79
Suporte Téc.	18,71	600	12	18	0,216	10	22	47,52
Set. Compras	20,76	566	12	18	0,216	10	22	47,52
Arquivo 1	56,50	234	12	18	0,216	1	22	4,75
Gab. Motorista	6,31	245	2	18	0,036	5	22	3,96
Arquivo 2	34,00	251	4	18	0,072	1	22	1,58
Circulação 1	16,63	224	10	18	0,180	10	22	39,6
Circulação 2	1,80	224	2	10	0,020	10	22	4,40
Eventos	13,35	538	8	18	0,144	10	22	31,68
Corregedoria	13,21	537	8	18	0,144	10	22	31,68
Ouvidoria	15,60	546	8	18	0,144	10	22	31,68
Diário Ofic.	27,98	501	12	18	0,216	10	22	47,52
TI	20,75	538	10	18	0,180	10	22	39,60
Circulação 3	31,43	235	10	18	0,180	10	22	39,60
Recepção	15,00	235	8	10	0,080	10	22	17,60
Subestação	45,32	418	4	20	0,080	1	22	1,76
<b>TOTAL</b>	<b>421,00</b>		<b>142</b>		<b>2,404</b>			<b>404,71</b>
<b>1° Pavimento</b>								
WC Masculino	8,72	261	4	10	0,040	2	22	1,76
WC Feminino	2,64	256	2	10	0,020	1	22	0,44
WC Deficiente	8,03	276	4	10	0,040	2	22	1,76
Copa	6,10	321	2	18	0,036	2	22	1,58
Refrig. 1	5,62	287	2	18	0,036	0,5	22	0,40
Caixas	8,72	208	2	18	0,036	10	22	7,92
Arquivo 1	7,15	237	2	18	0,036	1	22	0,79
Escadas	21,13	75,5	4	10	0,040	2	22	1,76
Celic	78,43	619	38	18	0,684	10	22	150,48
Licitação	21,70	537	12	18	0,216	10	22	47,52
Presidente	11,45	592	8	18	0,144	10	22	31,68

Gestão 1	70,11	581	32	18	0,576	10	22	126,72
Central Tel.	19,50	539	12	18	0,216	10	22	47,52
Secretário	20,35	563	12	18	0,216	10	22	47,52
Jurídico	19,65	570	12	18	0,216	10	22	47,52
Data Center	14,20	507	8	18	0,144	10	22	31,68
Recepção 1	18,01	328	6	18	0,108	10	22	23,76
Observatório	10,60	570	6	18	0,108	10	22	23,76
Part. Popular	8,36	566	6	18	0,108	10	22	23,76
Gestão 2	73,49	557	34	18	0,612	10	22	134,64
Recepção 2	51,25	346	16	18	0,288	10	22	63,36
Circulação 1	30,23	168	6	18	0,108	10	22	23,76
Circulação 2	14,95	154	4	18	0,072	10	22	15,84
Circulação 3	14,07	154	6	10	0,060	10	22	13,2
Circulação 4	6,93	176	2	18	0,036	10	22	7,92
Refrig. 2	2,99	365	4	10	0,040	0,5	22	0,44
Cobertura Térreo	-	-	108	18	1,944	6	22	256,61
Almoxarifado	-	-	84	18	1,512	10	22	332,64
Refrig. 3	-	289	2	10	0,020	0,5	22	0,22
Escadas Aces.	-	342	4	10	0,040	8	30	9,60
Postes	-	-	10	60	0,600	8	30	144
Auditório		-	74	18	1,330	1	10	13,32
TOTAL	554,38		528		9,684			1633,88
<b>2° Pavimento</b>								
WC Masculino	8,72	225	4	10	0,040	2	22	1,76
WC Feminino	2,64	264	2	10	0,020	1	22	0,44
WC Deficiente	8,03	200	4	10	0,040	2	22	1,76
Copa	6,10	313	2	18	0,036	2	22	1,58
Cabos	1,25	302	2	10	0,020	0,5	22	0,22
Refrig. 1	2,99	414	4	10	0,040	0,50	22	0,44
Refrig. 2	5,82	313	2	18	0,036	0,5	22	0,40
Escadas	21,13	96,9	4	10	0,040	2	22	1,76
Circulação 1	8,27	187	2	18	0,036	10	22	7,92
Gestão	92,75	524	44	18	0,792	10	22	174,24
Arquivo 1	7,59	212	2	18	0,036	1	22	0,79
Ed. Infantil	16,59	510	8	18	0,144	10	22	31,68
Ed. Fundamental	35,21	564	18	18	0,324	10	22	71,28
Arquivo 2	6,58	289	2	18	0,036	1	22	0,79

Arquivo 3	6,58	275	2	18	0,036	1	22	0,79
Coord. Financ.	27,06	542	12	18	0,216	10	22	47,52
Reunião 1	21,64	570	12	18	0,216	10	22	47,52
Circulação 2	13,90	195	8	10	0,080	10	22	17,60
Circulação 3	30,89	268	8	18	0,144	10	22	31,68
Circulação 4	15,90	268	10	10	0,100	10	22	22
Atendimento	10,70	574	6	18	0,108	10	22	23,76
Coord. Adm.	65,52	555	30	18	0,540	10	22	118,80
Recepção 1	16,77	417	8	18	0,144	10	22	31,68
Recepção 2	17,22	342	6	18	0,108	10	22	23,76
Reunião 2	22,06	613	12	18	0,216	10	22	47,52
Refletores	-	-	3	100	0,300	5	22	33
<b>TOTAL</b>	<b>471,91</b>		<b>217</b>		<b>3,848</b>			<b>740,70</b>
<b>3º Pavimento</b>								
WC Masculino	8,72	224	4	10	0,040	2	22	1,76
WC Deficiente	2,64	264	2	10	0,020	1	22	0,44
WC Feminino	8,03	237	4	10	0,04	2	22	1,76
Copa	6,10	314	2	18	0,036	0,5	22	0,40
Cabos	1,25	290	2	10	0,02	0,5	22	0,22
Refrig. 1	2,99	386	4	10	0,04	0,5	22	0,44
Refrig. 2	5,82	279	2	18	0,036	0,5	22	0,40
Escadas	21,13	78,5	4	10	0,040	2	22	1,76
Circulação 1	8,27	179	2	18	0,036	10	22	7,92
Desenvolvim.	91,46	557	44	18	0,792	10	22	174,24
Arquivo 1	7,59	198	2	18	0,036	1	22	0,80
Arquivo 2	6,58	253	2	18	0,036	1	22	0,80
Reunião	21,54	524	12	18	0,216	10	22	47,52
Procurador Adj.	20,71	512	12	18	0,216	10	22	47,52
Circulação 2	13,90	162	8	10	0,080	10	22	17,60
Atendimento	10,70	532	6	18	0,108	10	22	23,76
Arquivo 3	6,58	230	2	18	0,036	1	22	0,792
Coord. Financ.	11,35	573	8	18	0,144	10	22	31,68
Coord. Jurídica	10,92	595	8	18	0,144	10	22	31,68
Secretário	21,75	575	8	18	0,144	10	22	31,68
Contenc. Trabal.	10,91	619	8	18	0,144	10	22	31,68
Contenc. Cível	12,56	526	8	18	0,144	10	22	31,68
Contenc. Adm.	11,25	568	8	18	0,144	10	22	31,68

Arquivo 4	8,20	206	2	18	0,036	1	22	0,80
Prodesol	20,10	514	6	18	0,108	10	22	23,76
UGP	33,40	506	18	18	0,324	10	22	71,28
As. Técnica	35,68	518	18	18	0,324	10	22	71,28
Recepção 1	17,28	316	6	18	0,108	10	22	23,76
Recepção 2	18,72	280	6	18	0,108	10	22	23,76
Recepção 3	15,38	325	6	18	0,108	10	22	23,76
Circulação 3	13,90	202	8	10	0,080	10	22	17,6
Circulação 4	30,89	202	8	18	0,144	10	22	31,68
TOTAL	516,30		240		4,032			805,86
<b>4º Pavimento</b>								
WC Masculino	8,72	203	4	10	0,040	2	22	1,76
WC Deficiente	2,64	243	2	10	0,020	1	22	0,44
WC Feminino	8,03	208	4	10	0,040	2	22	1,76
Copa	6,10	289	2	18	0,036	2	22	1,584
Cabos	1,25	299	2	10	0,020	0,5	22	0,22
Refrig. 1	2,99	366	4	10	0,040	0,5	22	0,44
Refrig. 2	5,82	281	2	18	0,036	0,5	22	0,396
Escadas	21,13	78,4	4	10	0,04	2	22	1,76
Circulação 1	8,27	179	2	18	0,036	10	22	7,92
Mob./ Serv.	91,46	553	44	18	0,792	10	22	174,24
Arquivo 1	7,59	198	2	18	0,036	1	22	0,792
Arquivo 2	6,58	237	2	18	0,036	1	22	0,792
Arquivo 3	6,58	253	2	18	0,036	1	22	0,792
Reunião	21,54	603	12	18	0,216	10	22	47,52
Secretário	20,71	513	12	18	0,216	10	22	47,52
Coord. Financ.	11,35	573	8	18	0,144	10	22	31,68
Secretário	21,75	575	8	18	0,144	10	22	31,68
Coord. Juríd.	10,92	586	8	18	0,144	10	22	31,68
Recepção 1	18,77	288	6	18	0,108	10	22	23,76
Atendimento 1	10,70	532	6	18	0,108	10	22	23,76
Atendimento 2	10,39	539	6	18	0,108	10	22	23,76
Planej.	44,83	583	22	18	0,396	10	22	87,12
Hall	2,13	151	2	10	0,020	10	22	4,40
Arquivo 4	10,67	213	2	18	0,036	1	22	0,80
Tesouraria	18,65	576	10	18	0,180	10	22	39,60
Coord. Jur.	26,52	505	12	18	0,216	10	22	47,52

Tesoureiro	18,55	586	12	18	0,216	10	22	47,52
Recepção 2	15,74	309	6	18	0,108	10	22	23,76
Recepção 3	13,27	396	8	18	0,144	10	22	31,68
Circulação 2	11,11	325	8	10	0,080	10	22	17,60
Circulação 3	29,87	325	8	18	0,144	10	22	31,68
Circulação 4	14,07	162	8	10	0,080	10	22	17,60
TOTAL	508,70		240		4,016			803,53



**APÊNDICE C – APARELHOS DE AR CONDICIONADOS ATUAIS.**

Ambiente	Potência (BTU/h)	Potência (TR)	Marca	Classe	Qtd	Potência Elétrica(W)
Subsolo						
Controle de Mat.	7.000		CONSUL	A	1	817
TI - Sala de Repara	9.000		AGRATTO	A	1	1.050
Diário Ofic.	12.000		LG	A	1	1.400
Sala de Apoio	12.000		LG	A	1	1.400
Corregedoria	18.000		CONSUL	A	1	2.100
Informática	22.000		CONSUL	A	1	2.566
Diário Oficial	29.000		PHILCO	C	1	3.383
TOTAL					7	12.715
1º Pavimento						
Ouv. Geral	9.000		AGRATTO	A	1	1.050
Sec. Gestão	9.000		AGRATTO	A	1	1.050
Sec. Ouvid.	9.000		AGRATTO	A	1	1.050
P.G.M. Procurador	9.000		AGRATTO	A	1	1.050
O.D.P.1	12.000		ELETROLUX	A	1	1.400
O.D.P.2	12.000		SPRING-M	A	1	1.400
Part. Popular	12.000		CONSUL	A	1	1.400
PGM	12.000		CONSUL	A	1	1.400
Controladoria	18.000		LG	A	1	2.100
Terminais Bancários	18.000		CARRIER Xpower	B	1	2.100
Ouv. Control.	36.000		ELETROLUX	A / C	1	4.199
Procuradoria Geral	36.000		SPRING CAR.	D	1	4.199
O.D.P. 3	48.000		MIDEA	C	1	5.599
O.D.P. 4	48.000		HITACHI	C	1	5.599
Almoxarifado	18.000		CONS. JANELA	C	1	2.100
Rh Almoxarifado	18.000		CONSUL	B	1	2.100
TOTAL					18	51.79
2º Pavimento						
Coord. Desenv.	12.000		CONSUL	A	1	1.400
Coord. Gestão	12.000		CONSUL	A	1	1.400
Coord. Educação Infantil	12.000		CONSUL	A	1	1.400
Coord. Fundamental	12.000		CONSUL	A	1	1.400
Coord. Adm.	12.000		CONSUL	A	1	1.400
Sec. Educação	12.000		YANG	A	1	1.400

Educ. Infantil	12.000		YANG	A	1	1.400
Gestão Pedag.	12.000		ELETROLUX	A	1	1.400
Sec. Educação	12.000		PHILCO	A	1	1.400
Coord. Planejamento	18.000		LG	B	1	2.100
Coord. Financeira	18.000		ELGIN	B	1	2.100
Saguão	48.000		MIDEA	C	2	5.599
TOTAL					16	22.397
3° Pavimento						
Arquivo	9.000		LG	A	1	1.050
Sec. Urbanismo	10.500	12.000	MIDEA	A	1	1.225
Sec. Obras	10.500	12.000	MIDEA	A	1	1.225
Sala Jur. e Adm.	24.000		LG	B	1	2.800
Saguão	60.000	5	CARRIER		1	6.999
	120.000	10	CARRIER		2	13.998
TOTAL					7	27.962
4° Pavimento						
Saguão	120.000	10	CARRIER		1	13.998
	60000	5	CARRIER		1	6999
TOTAL					2	21.000

**APÊNDICE D – DIMENSIONAMENTO DOS A PARELHOS DE AR CONDICIONADOS.**

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )	Carga Térmica (Btu/h)	Potência (Btu/h)				Potência (W)
			9000	12000	18000	22000	
Subsolo							
Suporte Téc.	18,71	10441,15		1			1,085
Set. Compras	20,76	8905,69	1				0,814
Eventos	13,35	6960,77	1				0,814
Corregedoria	13,21	6107,73	1				0,814
Ouvidoria	15,60	6483,07	1				0,814
Diário Ofic.	27,98	14330,99			1		1,628
TI	20,75	9929,33		1			1,085
Total			4	2	1	0	7,054
1º Pavimento							
Celic	78,43	49544,30		1	1	1	4,702
Licitação	21,70	11771,89		1			1,085
Presidente	11,45	4094,57	1				0,814
Gestão 1	70,11	41696,37		2	1		3,798
Secretário	20,35	4128,69	1				0,814
Jurídico	19,65	8803,33	1				0,814
Observatório	10,60	6994,89	1				0,814
Part. Popular	8,36	4401,66	1				0,814
Gestão 2	73,49	65786,09		1	3		5,969
Total			5	5	5	1	19,624
2º Pavimento							
Coord. Jur.	23,53	11225,95		1			1,085
Secretário	20,71	11832,66		1			1,085
Gestão	92,75	27297,13		1	1		2,713
Ed. Infantil	16,59	9383,39		1			1,085
Ed. Fundamental	35,21	27877,20		1	1		2,713
Coord. Financ.	27,06	10918,85		1			1,085
Reunião 1	21,64	16992,47			1		1,628
Atendimento	10,70	4640,51	1				0,814
Coord. Adm.	65,52	44289,60		1	2		4,341
Reunião 2	22,06	20268,12				1	1,989
Total			1	7	5	1	18,538
3º Pavimento							
Desenvolvim.	91,46	59985,45		2	2		5,426

Reunião	21,54	11504,29		1			1,085
Procurador Adj.	20,71	11058,28		1			1,085
Atendimento	10,70	4845,24	1				0,814
Coord. Financ.	11,35	4538,15	1				0,814
Coord. Jurídica	10,92	5561,79	1				0,814
Secretário	21,75	10890,10		1			1,085
Contenc. Trabal.	10,91	6619,55	1				0,814
Contenc. Cível	12,56	6483,07	1				0,814
Contenc. Adm.	11,25	7472,59	1				0,814
Prodesol	20,10	9758,73		1		1	3,074
UGP	33,40	21871,83				1	1,989
Assist. Técnica	35,68	30470,42	1			1	2,803
Total			7	6	2	3	21,431
4º Pavimento							
Mob./ Serv. Inf.	91,46	59785,33		2	2		5,426
Secretário	20,71	11687,83		1			1,085
Coord. Financ.	11,35	4867,56	1				0,814
Secretário	21,75	11340,98		1			1,085
Coord. Jurídica	10,92	5876,79	1				0,814
Atendimento 1	10,70	4467,21	1				0,814
Atendimento 2	10,39	6619,55	1				0,814
Contab./ Planej.	44,83	21632,98				1	1,989
Tesouraria	18,65	15764,09			1		1,628
Coord. Jur./Fin.	26,52	9042,18		1			1,085
Tesoureiro	18,55	7574,95	1				0,814
Total			5	5	3	1	16,368

**APÊNDICE E – LISTA DE MATERIAIS.**

Item	Descrição	Qtd	Preço Unitário	Preço Total
Sistema de Climatização				
1	Ar Condicionado Consul CRB09DBBNA	22	R\$1.499,00	R\$32.978,00
2	Ar Condicionado Consul CRB12DBBNA	25	R\$1.649,00	R\$41.225,00
3	Ar Condicionado Consul CRB18DBBNA	16	R\$2.283,26	R\$36.532,16
4	Ar Condicionado Consul CRB22DBBNA	6	R\$3.122,43	R\$18.734,58
Total Climatização				R\$129.469,74
5	Lâmpada Philips Master LEDTube 18W	376	R\$54,50	R\$20.492,00
6	Lâmpada Philips Master LEDTube 10W	162	R\$37,50	R\$6.075,00
7	Lâmpada Philips Essential LEDTube 18W	742	R\$26,90	R\$19.959,80
8	Luminária Intral LS-100 1200mm	333	R\$106,32	R\$35.404,56
9	Luminária Lumepetro 600mm	81	R\$3,16	R\$255,96
10	Luminária Tubular Led Elgin Slin 120mm	126	R\$41,90	R\$5.279,40
11	Lâmpada Philips LED 20W	4	R\$18,90	R\$75,60
12	Luminária LED Smd 60W	10	R\$202,70	R\$2.027,00
Total Iluminação				R\$89.569,32
Sistema de Fotovoltaico				
13	Módulo Solar Canadian cs6k	540	R\$679,00	R\$366.660,00
14	Inversor Solar Sunny 60kW	1	R\$46.312,26	R\$46.312,26
15	Inversor Solar Sunny 75kW	1	R\$55.817,98	R\$55.817,98
Total Fotovoltaico				R\$468.790,24
Total				R\$687.829,30

**ANEXO A – DATASHEET DO PAINEL SOLAR CANADIAN CS6K.**



## SUPERPOWER CS6K-290 | 295 | 300MS

Canadian Solar's new SuperPower modules with Mono-PERC cells significantly improve efficiency and reliability. The innovative technology offers superior low irradiance performance in the morning, in the evening and on cloudy days, increasing the energy output of the module and the overall yield of the solar system.



### KEY FEATURES



11 % more power than conventional modules



Excellent performance at low irradiance: 97.5 %



High PTC rating of up to 91.87 %



Improved energy production due to low temperature coefficients



IP67 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa



**linear power output warranty**



**product warranty on materials and workmanship**

### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2008 / Quality management system  
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / CEC AU  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-e-way  
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1



\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

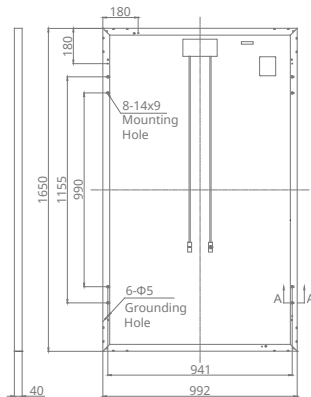
**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

### CANADIAN SOLAR INC.

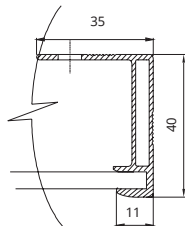
2430 Camino Ramon, Suite 240 San Ramon, CA, USA 94583-4385 | [www.canadiansolar.com/na](http://www.canadiansolar.com/na) | [sales.us@canadiansolar.com](mailto:sales.us@canadiansolar.com)

## ENGINEERING DRAWING (mm)

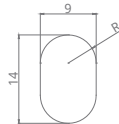
Rear View



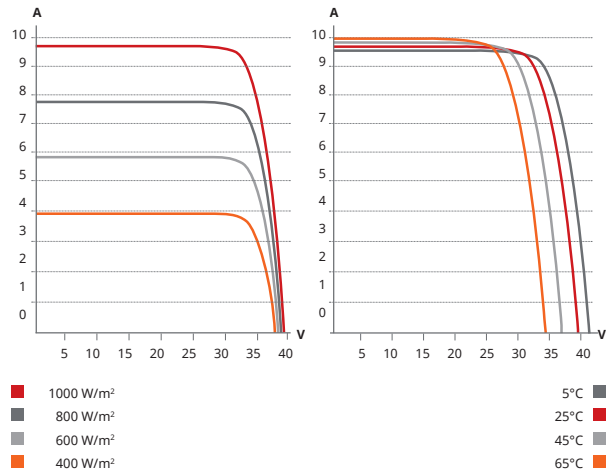
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



## CS6K-295MS / I-V CURVES



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS6K	290MS	295MS	300MS
Nominal Max. Power (Pmax)	290 W	295 W	300 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	32.1 V	32.3 V	32.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	9.05 A	9.14 A	9.24 A
Open Circuit Voltage (Voc)	39.3 V	39.5 V	39.7 V
Short Circuit Current (Isc)	9.67 A	9.75 A	9.83 A
Module Efficiency	17.72 %	18.02 %	18.33 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA | NOCT\*

CS6K	290MS	295MS	300MS
Nominal Max. Power (Pmax)	210 W	213 W	216 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	29.0 V	29.2 V	29.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.25 A	7.30 A	7.35 A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.2 V	36.4 V	36.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.74 A	7.83 A	7.92 A

\* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Excellent performance at low irradiance, average relative efficiency of 97.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1650 × 992 × 40 mm (65.0 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 (IEC/UL)
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per container (40' HQ)	728 pieces

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.39 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.30 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45 ± 2 °C

## PARTNER SECTION





**ANEXO B – DATASHEET DO INVERSOR SUNNY HIGHPOWER.**

# SUNNY HIGHPOWER PEAK1

SHP 75-10



## Económico

- Máxima densidade de potência com 75 kVA e apenas 77 kg
- Máx. rendimento através da possível relação CC/CA de até 150%

## Confiável

- Maior disponibilidade do sistema graças a unidades de 75 kW
- SMA Inverter Manager como unidade de controlo central

## Flexível

- Tensão de entrada CC até 1000 V
- Soluções CC flexíveis graças à caixa de ligação de gerador específica para o cliente

## Inovador

- Conceito de sistema orientado para o futuro
- Conceito de refrigeração ativo inovador

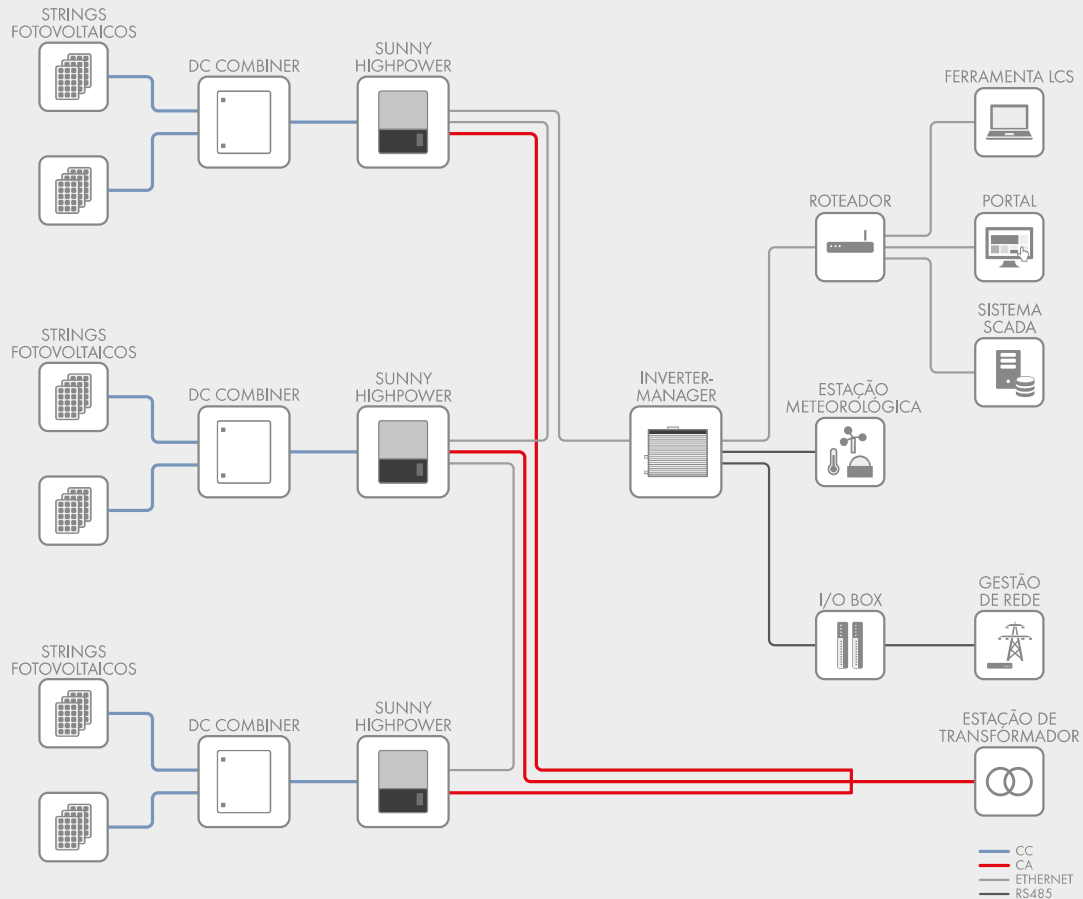
## SUNNY HIGHPOWER PEAK1

○ melhor de dois mundos

O novo Sunny Highpower PEAK1 é parte de uma inovadora e global solução para sistemas fotovoltaicos comerciais e industriais. Esta solução une as vantagens de um layout de sistema descentralizado e os benefícios do design de um inversor central, combinando o melhor de dois mundos. Eficiência elevado, dimensionamento flexível do sistema, fácil instalação e comissionamento assim como baixos custos de manutenção, contribuem decisivamente para reduzir os custos de operação de todo o sistema.

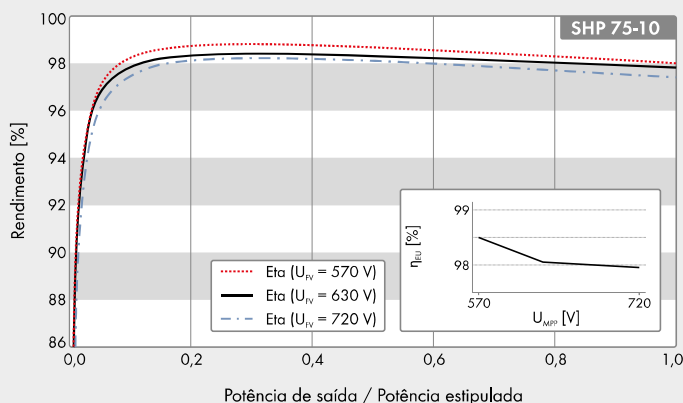
# SUNNY HIGHPOWER PEAK1

## ESQUEMA DO SISTEMA



Dados técnicos	SMA Inverter Manager
<b>Alimentação de tensão</b>	
Tensão de entrada	9 Vcc a 36 Vcc
Consumo de potência	< 20 W
<b>Dados gerais</b>	
Dimensões (L/A/P)	160 / 125 / 49 mm (6,3 / 4,9 / 1,9 inch)
Peso	940 g (2 lbs)
Número máximo de inversores que podem ser ligados	42
Grau de protecção	IP21
Montagem	Calha DIN ou montagem na parede
Gama de temperatura de serviço	-40 °C a +85 °C (-40 °F a +185 °F)
Humidade relativa do ar (sem condensação)	5% a 95%
<b>Interfaces</b>	
Interface de utilizador para PC	Ferramenta LCS
Interface para sensores / protocolo	RS485 / Modbus RTU para estações meteorológicas compatíveis com Sunspec Alliance
Interface para inversor	1 porta Ethernet (RJ45)
Interface para rede externa / protocolo	1 porta Ethernet (RJ45) / Modbus TCP, SunSpec Alliance
Interface para comando à distância	6 x DI via SMA Digital I/O Box externa
Certificados e homologações (mais a pedido)	UL 508, UL 60950-1, CSA C22.2 N.º 60950-1-07, EN 55022 Classe A, EN 60950-1, EN 61000-3-2 Classe D, EN 61000-3-3, EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EN 55024, FCC Parte 15, Subparte B Classe A
Designação do modelo SMA Inverter Manager	IM-20
Designação do modelo SMA Digital I/O Box	IM-DIO-10

## Curva de rendimento



● Equipamento de série ○ Opcional – Não disponível  
 Dados em condições nominais  
 Versão outubro 2017

### Dados técnicos

#### Entrada (CC)

Máx. potência do gerador fotovoltaico
Potência atribuída (CC)
Tensão máx. de entrada
Intervalo de tensão MPP (com 400 Vac / com 480 Vac)
Tensão mín. de entrada (com 400 Vac / com 480 Vac)
Tensão inicial de entrada (com 400 Vac / com 480 Vac)
Corrente máx. de entrada/corrente máx. de curto-circuito
Número de entradas MPP independentes/strings por entrada MPP
Tensão atribuída de entrada CC (com 400 Vac / com 480 Vac)

#### Saída (CA)

Potência atribuída com tensão nominal
Potência aparente máx. CA
Potência reactiva máx.
Tensão nominal CA
Intervalo de tensão CA
Frequência de rede CA/intervalo
Frequência de rede atribuída/tensão de rede atribuída
Corrente máx. de saída (com 400 Vca)
Factor de potência na potência atribuída / factor de desfasamento ajustável
THD
Fases de injeção/fases de ligação

#### Grau de rendimento

Grau de rendimento máx./Euro-eta
----------------------------------

#### Dispositivos de segurança

Ponto de seccionamento no lado de entrada
Monitorização da ligação à terra/monitorização da rede
Descarregador de sobretensões CC / descarregador de sobretensões CA, integrável
Resistência a curtos-circuitos CA / Galvanicamente separado
Unidade de monitorização de corrente residual sensível a todas as correntes
Classe de protecção (conforme a IEC 62109-1) / Categoria de sobretensão (conforme a IEC 62109-1)

#### Dados gerais

Dimensões (L/A/P)
Peso
Faixa de temperatura de operação
Emissões sonoras, típicas
Autoconsumo (noite)
Topologia/Princípio de refrigeração
Grau de protecção (conforme a IEC 60529 / UL 50E)
Classe de condições ambientais (conforme a IEC 60721-3-4)
Valor máximo admissível da humidade relativa (sem condensação)

#### Equipamento / Função / Acessórios

Ligação CC/ligação CA
Visor
Interface de dados
Capacidade off-grid / Capacidade fotovoltaico-diesel
Garantia: 5/10/15/20 anos
Certificados e homologações previstos

\* Não se aplica a todos os anexos nacionais da norma EN 50438  
 \*\* Condicionado (observar a declaração do fabricante)

Designação do modelo

### Sunny Highpower PEAK1

112500 W <sub>p</sub>
76500 W
1000 V
570 V α 800 V / 685 V α 800 V
565 V/680 V
600 V/720 V
140 A/210 A
1/1 (repartição através de caixas de ligação de gerador)
630 V/710 V

75000 W
75000 VA
75 000 var
3 / PE, 400 V α 480 V, ±10%
360 V α 530 V
50 Hz / 44 Hz α 55 Hz
60 Hz / 54 Hz α 65 Hz
50 Hz/400 V
109 A
1 / 0 sobreexcitado a 0 subexcitado
≤ 1 %
3 / 3

98,8% / 98,2%
---------------

●
● / ●
Tipo II / tipo II + III (combinados)
● / –
●
I / CA: III; CC: II

570 / 740 / 306 mm (22,4 / 29,1 / 12,0 inch)
77 kg (170 lb)
–25 °C α +60 °C (–13 °F α +140 °F)
58 dB(A)
<3 W
Sem transformador / Activo
IP65/NEMA 3R
4K4H/4Z4/4B2/4S3/4M2/4C2
95%

Terminal roscado / Terminal roscado
Gráfico
SunSpec Modbus TCP (via SMA Inverter Manager externo)
– / ●
● / ○ / ○ / ○

AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012\*\*, CEI 0-16, DEWA 2015, EN 50438\*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, LEY N° 20751, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2015, R.D.661/2007, Res. n°7:2013, SI4777, TOR D4, UTE C15-71 2-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105\*\*, VFR 2014

SHP 75-10

**ANEXO C – DATASHEET DO INVERSOR SUNNY TRIPOWER.**

# SUNNY TRIPOWER 60

STP 60-10



## Efficient

- Maximum efficiency of 98.8%
- Superior power density: 60 kW with only 75 kg of weight

## Reliable

- Superior PV system availability with 60-kW units
- SMA Inverter Manager as central control unit

## Flexible

- DC input voltage of up to 1000 V
- Flexible DC solutions with customer-specific PV array combiner boxes

## Innovative

- Cutting-edge system design

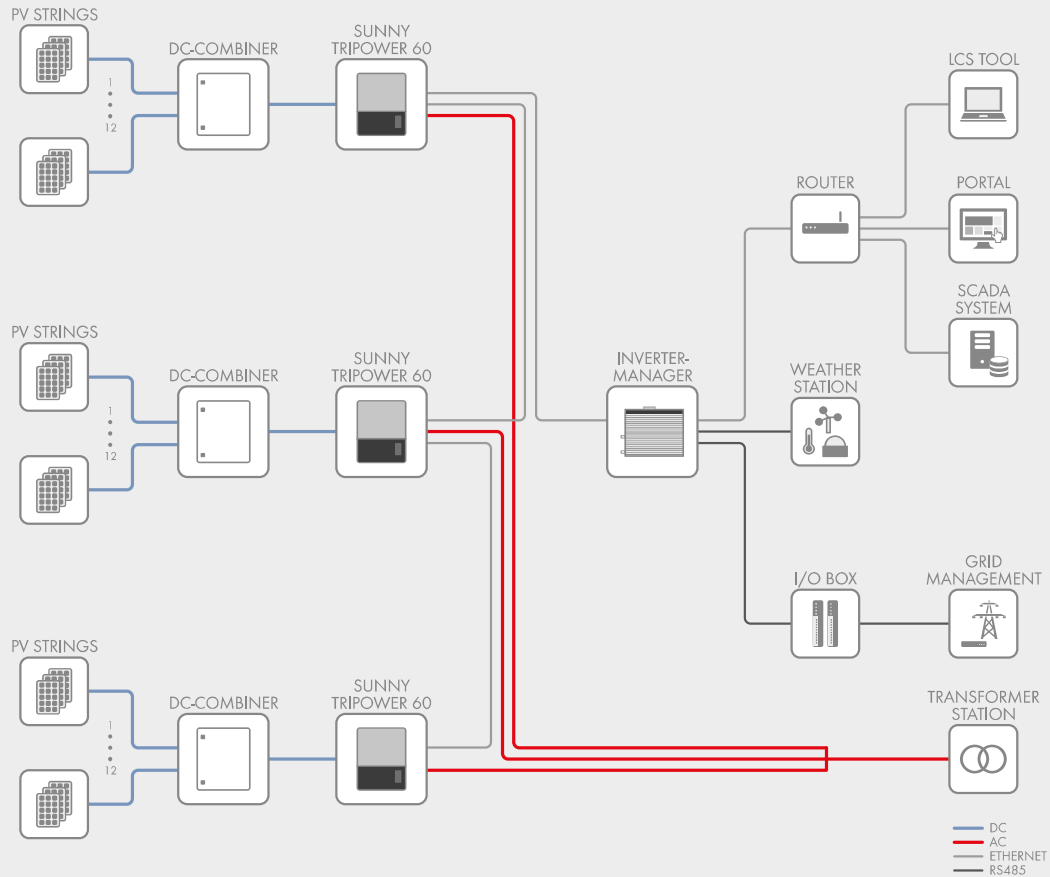
## SUNNY TRIPOWER 60

The Best of Two Worlds

The new Sunny Tripower 60 is part of an innovative global system solution for commercial and industrial PV systems. This solution combines the advantages of a decentralized system layout with the benefits of centralized inverter designs in order to get the best of two worlds. High efficiency, flexible system design, easy installation, simple commissioning and low maintenance requirements contribute decisively to reducing the operating costs for the entire system.

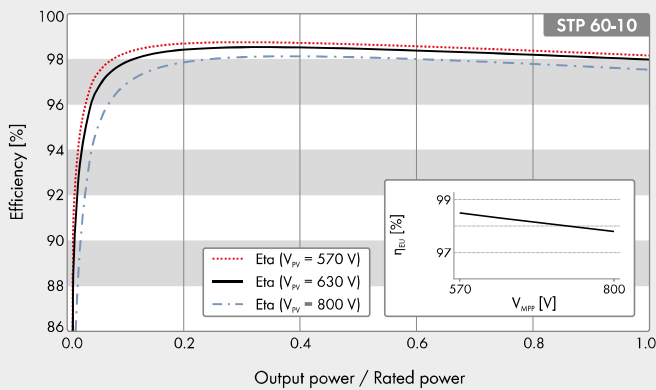
# SUNNY TRIPOWER 60

## SYSTEM DIAGRAM



Technical Data	SMA Inverter Manager
<b>Voltage supply</b>	
Input voltage	9 to 36 Vdc
Power consumption	< 20 W
<b>General data</b>	
Dimensions (W/H/D)	160 / 125 / 49 mm (6.3 / 4.9 / 1.9 inches)
Weight	940 g (2 lbs)
Maximum allowed number of inverters	42
Degree of protection	IP21
Mounting	DIN top-hat rails or wall mounting
Operating temperature range	-40 °C to +85 °C (-40° F to +185° F)
Relative humidity (non-condensing)	5 % to 95 %
<b>Interfaces</b>	
PC user interface	LCS tool
Sensor interface / protocol	RS485 / Modbus RTU for Sunspec Alliance compatible weather station
Interface to inverter	1 Ethernet port (RJ45)
Interface for external network / protocol	1 Ethernet port (RJ45) / Modbus TCP, SunSpec Alliance
Interface to remote control	6 x DI via external SMA Digital I/O Box
Certificates and approvals (more available upon request)	UL 508, UL 60950-1, CSA C22.2 No. 60950-1-07, EN 60950-1, EN 55022 Class A, EN 61000-3-2 Class D, EN 61000-3-3, EN 61000-6-4, EN 55024, FCC Part 15, Sub-part B Class A
SMA Inverter Manager type designation	IM-20
SMA Digital I/O Box type designation	IM-DIO-10

## Efficiency Curve



● Standard features ○ Optional – Not available  
Data at nominal conditions  
Last revision: May 2018

## Technical Data

### Input (DC)

Max. generator power
Rated power (DC)
Max. input voltage
MPP voltage range (at 400 Vac / 480 Vac)
Min. input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)
Start input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)
Max. input current / max. short-circuit current
Number of independent MPP inputs/strings per MPP input
Rated DC input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)

### Output (AC)

Rated power at nominal voltage
Max. apparent AC power
Max. reactive power
Nominal AC voltage
AC voltage range
AC power frequency/range
Rated power frequency/rated grid voltage
Max. output current (at 400 Vac / 480 Vac) / rated output current
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable
THD
Feed-in phases/connection phases

### Efficiency

Max. efficiency / Euro-eta / CEC at 400 Vac / CEC at 480 Vac
--

### Protective devices

Input-side disconnection point
Ground fault monitoring/grid monitoring
Integrated DC surge arrester / AC surge arrester
AC short-circuit current capability / galvanically isolated
All-pole sensitive residual-current monitoring unit
Protection class (as per IEC 62109-1) / overvoltage category (as per IEC 62109-1)

### General data

Dimensions (W/H/D)
Weight
Operating temperature range
Noise emission, typical
Self-consumption (at night)
Topology / cooling concept
Degree of protection (according to IEC 60529 / UL 50E)
Climatic category (as per IEC 60721-3-4)
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)

### Features / function / accessories

DC connection / AC connection
Display
Data interface
Off-grid capable / PV-diesel capable
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 years
Certificates and approvals (more available upon request)

\* Does not apply to all national annexes of EN 50438  
\*\* Restricted (Note Manufacturer's Declaration)

Type designation

## Sunny Tripower 60

90000 W <sub>p</sub>
61240 W
1000 V
570 V to 800 V / 685 V to 800 V
565 V / 680 V
600 V / 720 V
110 A / 150 A
1/1 (split up in external combiner box)
630 V / 710 V

60000 W
60000 VA
60000 Var
3 / PE, 400 V to 480 V, ±10 %
360 V to 530 V
50 Hz / 44 Hz to 55 Hz
60 Hz / 54 Hz to 65 Hz
50 Hz / 400 V
87 A / 72 A / 87 A
1 / 0 overexcited to 0 underexcited
≤ 1 %
3 / 3

98.8 % / 98.3 % / 98.0 % / 98.5 %
-----------------------------------

●
● / ●
Type II / type II + III (combined)
● / –
●
I / AC: III; DC: II

570 / 740 / 306 mm (22.4 / 29.1 / 12.0 inches)
75 kg (165.3 lb)
–25 °C to +60 °C (–13 °F to +140 °F)
58 dB(A)
< 3 W
Transformerless / active
IP65 / NEMA 3R
4K4H/4Z4/4B2/4S3/4M2/4C2
95 %

Screw terminal / screw terminal
Graphical
SunSpec Modbus TCP (via external SMA Inverter Manager)
– / ●
● / ○ / ○ / ○

ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012\*\*, CEI 0-16, DEWA 2015, EN 50438\*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, LEY N° 20751, NBR16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2015, R.D.661/2007, Res. n°7:2013, SI4777, TORD4\*\*, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105\*\*, VFR 2014

STP 60-10