

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE PINHEIRO
LAÍS WALCZUK NOVINSKI
TAÍS OLIVEIRA PALUDO

**ESTUDO ASSOCIADO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À
REDE DE UMA EDIFICAÇÃO TOMBADA PELO PATRIMÔNIO
HISTÓRICO EM ANTONINA**

CURITIBA

2017

FELIPE PINHEIRO
LAÍS WALCZUK NOVINSKI
TAÍS OLIVEIRA PALUDO

**ESTUDO ASSOCIADO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À
REDE DE UMA EDIFICAÇÃO TOMBADA PELO PATRIMÔNIO
HISTÓRICO EM ANTONINA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina de TCC-2, do Curso Superior de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo

CURITIBA

2017

**Felipe Pinheiro
Laís Walczuk Novinski
Taís Oliveira Paludo**

Estudo associado à eficiência energética para implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de uma edificação tombada pelo patrimônio histórico em Antonina

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 21 de novembro de 2017.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jair Urbanetz Junior, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jorge Assade Leludak, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

RESUMO

PINHEIRO, Felipe, NOVINSKI, Laís W., PALUDO, Taís O. **Estudo associado à eficiência energética para implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de uma edificação tombada pelo patrimônio histórico em Antonina.** 2017.124f. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Engenharia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

O ser humano é responsável por constantes mudanças no espaço onde vive. Com o passar do tempo as construções brasileiras antigas se fundem com as contemporâneas e, com o constante avanço da tecnologia, se faz necessária a adequação do patrimônio histórico às necessidades das pessoas, buscando minimizar os efeitos negativos ao meio ambiente. Desta forma, este trabalho tem o objetivo de desenvolver um estudo de eficiência energética e de um projeto de sistema fotovoltaico conectado à rede em um prédio tombado. No desenvolvimento do trabalho, é realizada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de promoção da eficiência energética associada à geração de energia solar, características e elementos do sistema fotovoltaico, energia solar aplicada a edifícios tombados e atuação do IPHAN em patrimônios históricos, e retorno do investimento no projeto, que indica sua viabilidade. A partir dos conhecimentos adquiridos por meio da revisão bibliográfica, tornou-se possível a realização do diagnóstico energético, cuja primeira etapa foi o levantamento em campo para identificar as áreas passíveis de substituições dos equipamentos utilizados e a confirmação de que a energia fotovoltaica é o tipo de fonte energética que melhor se adapta a estrutura da edificação. Em seguida, foi realizada a pesquisa de mercado e o projeto do painel solar, que geram respectivamente os custos e a produção por mês. Esses dados são fundamentais para os cálculos que provem a viabilidade do projeto, o que torna a instituição hábil a buscar recursos e possibilitar sua execução.

Palavras-chave: Eficiência energética. ADEMADAN. Fotovoltaico. Diagnóstico energético. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

PINHEIRO, Felipe, NOVINSKI, Laís W., PALUDO, Taís O. **Study associated with energy efficiency for the implementation of a photovoltaic system connected to the network of a building listed by historical heritage in Antonina.** 2017.124f. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Engenharia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

The human being is responsible for constant changes in the space where he lives. Over time the antique Brazilian building merges with the contemporary ones and, with the steady advance, it's necessary to adapt the historical patrimony to the people needs, seeking to minimize negative effects on the environment. This way, this work has the purpose to develop an energy efficiency study and a project of grid-connected photovoltaic system in a historic building. In the development of the work, a literature review is carried out on the concepts of promoting energy efficiency associated with the generation of solar energy, characteristics and elements of the photovoltaic system, solar energy applied to heritage building and IPHAN performance in historical heritage, return on investment in the project, which indicates its feasibility. Based on the knowledge acquired through the literature review, it is possible to carry out the energy diagnosis, whose first step is the field survey to identify the substitutable areas of the equipment used and the confirmation that the photovoltaic energy is the type of energy source that best adapts to the structure of the building. Next, the market research and the solar panel project are carried out, which respectively generate costs and production per month. These data are fundamental to the calculations that prove the viability of the project, which makes the institution able to seek resources and enable its execution.

Keywords: Energy efficiency. ADEMADAN. Photovoltaic. Energy diagnosis. Economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demanda urbana da energia primária conforme os cenários do ETP (2016).....	22
Figura 2 – Célula de silício monocristalino	24
Figura 3 – Célula de silício policristalino	25
Figura 4 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica.....	32
Figura 5 – Esquema mínimo de um sistema isolado para a agricultura familiar.....	34
Figura 6 – Esquema mínimo de um sistema fotovoltaico conectado à rede	34
Figura 7 – Módulos afetados pela descoloração	39
Figura 8 – Módulos afetados pela delaminação	39
Figura 9 – Módulos afetados pela corrosão	40
Figura 10 – Mapas fotovoltaicos sazonais do estado do Paraná	43
Figura 11 – Visão lateral da ADEMADAN	51
Figura 12 – Visão frontal da ADEMADAN	52
Figura 13 – Face norte da ADEMADAN.....	53
Figura 14 - GPS utilizado para o georreferenciamento do edifício	56
Figura 15 – Tela inicial do software ArcMap 10.2.2.....	57
Figura 16 – Data base file da região de interesse das informações sobre a irradiação média no plano horizontal	58
Figura 17 – Tela de entrada dos dados corrigidos no Radasol	59
Figura 18 - Datasheet do módulo Canadian CS6K-270	62
Figura 19 - Datasheet do inversor SMA Sunny Boy 2.5	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Perfil do consumo médio mensal de energia elétrica do edifício	54
Gráfico 2 – Comparação entre a energia elétrica gerada estimada e o consumo médio do edifício	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos sistemas fotovoltaicos segundo a ABNT NBR 11704:2008	35
Tabela 2 – Perfil do consumo médio mensal de energia elétrica do edifício	55
Tabela 3 – Irradiação média anual e mensal no plano horizontal no local de instalações dos módulos fotovoltaicos no edifício em kWh/m ² .dia.....	58
Tabela 4 – Irradiação média anual e mensal no plano da cobertura da edificação em kWh/m ² .dia	59
Tabela 6 – Energia elétrica gerada estimada pelo conjunto fotovoltaico do edifício em kWh/mês	66
Tabela 7 – Substituições propostas para o sistema de iluminação	70
Tabela 8 - Substituições propostas para o sistema de condicionamento ambiental .	71
Tabela 9 – Substituições propostas para o sistema de refrigeração	71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Conservação de Energia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADEMADAN	Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento Antonina
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEFET-PR	Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
C.A.	Corrente Alternada
C.C.	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
ETP	Energy Technology Perspectives
GEE	Gás do Efeito Estufa
GPS	Global Positioning System
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	International Energy Agency
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LED	Light Emitting Diode
MDL	Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
PEE	Programa de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
RCB	Relação Custo Benefício
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 TEMA.....	15
1.1.1 Delimitação do tema.....	15
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo Geral.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 JUSTIFICATIVA.....	17
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 PROMOÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ASSOCIADA À ENERGIA SOLAR	26
2.1.1 Eficiência Energética.....	27
2.1.2 Sustentabilidade.....	29
2.1.3 Sustentabilidade, Eficiência Energética e Fontes de Energia Renovável.....	30
2.2 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E CLASSIFICAÇÃO.....	32
2.3 ELEMENTOS DE PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE.....	35
2.4 A ENERGIA SOLAR APLICADA A EDIFÍCIOS TOMBADOS.....	37
2.5 O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE NO ESTADO DO PARANÁ.....	41
2.6 A ATUAÇÃO DO INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL NAS INTERVENÇÕES EM EDIFÍCIOS TOMBADOS.....	43
2.7 RETORNO DO INVESTIMENTO E ASPECTOS ECONÔMICOS.....	44
2.7.1 Cálculo da Viabilidade Segundo o PROPEE.....	45
2.7.2 Cálculo da Viabilidade Considerando o PAYBACK....	48
2.7.3 Cálculo da Viabilidade Considerando o VPL.....	48
2.7.4 Cálculo da Viabilidade Considerando o TIR.....	49
3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	51
3.1 INDICADORES DE CONSUMO DA FATURA.....	54
3.2 IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA ANUAL.....	55
3.3 POTÊNCIA NOMINAL DO CONJUNTO.....	59
3.4 ÁREA PARA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS.....	60
3.5 NÚMERO DE MÓDULO A SEREM INSTALADOS.....	61

3.6	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA	61
3.7	DIMENSIONAMENTO DO CONDUTOR	64
3.8	DISJUNTOR	66
3.9	ENERGIA ELÉTRICA GERADA ESTIMADA ANUAL E MENSALMENTE	66
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE EFICIENTIZAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	68
4.1	LEVANTAMENTO EM CAMPO	68
4.2	SUBSTITUIÇÕES PROPOSTAS.....	69
4.3	PESQUISA DE MERCADO.....	71
4.4	RESULTADOS.....	72
4.4.1	Cálculo da Viabilidade Segundo o PROPEE	72
4.4.2	Cálculo da Viabilidade Considerando o PAYBACK	73
4.4.3	Cálculo da Viabilidade Considerando o VPL	73
4.4.4	Cálculo da Viabilidade Considerando o TIR	74
5	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS.....	78
	APÊNDICE A - CARTA DE IRRADIÂNCIA SOLAR MÉDIA ANUAL NO ESTADO DO PARANÁ.....	83
	APÊNDICE B - DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.....	86
	ANEXO A - PROJETO PREDIAL ADEMADAN.....	118

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia evoluiu rapidamente a partir do final do século XVIII, com início na Revolução Industrial Inglesa, e marcada por períodos de guerra (1914 e 1945). Esses períodos possibilitaram a criação de instrumentos de reprodução e circulação em massa de produtos e serviços, que produzem tensões na capacidade de sobrevivência humana (COSTA e SCHWARCZ, 2000).

O paradigma, portanto, inerente aos usos da tecnologia produzida em menos de dois séculos (XIX e XX) e que deveriam colaborar para a melhoria da qualidade da vida humana no espaço e no tempo, colocou o ser humano na condição de avaliar suas ações, medidas por seus efeitos, uma vez que a atual situação coloca em risco a própria vida biológica, e como consequência suas relações e feitos históricos (PINHEIRO e SILVA, 2016).

Tais efeitos descritos como, por exemplo, as mudanças climáticas, as tensões políticas, as crises econômicas e, no mais recente, a própria segurança da vida biológica tornam imperativo discutir os níveis e a necessidade da tecnologia produzida no contexto do desenvolvimento regional, até então negligenciado pelo modo de operação da globalização (PINHEIRO e SILVA, 2016).

Na atualidade, a busca por mecanismos capazes de reduzir as emissões de carbono na atmosfera em equidade com a segurança patrimonial e ética produziu desde a primeira metade do século XX documentos, acordos e termos de cooperação internacionais pela recuperação de valores que antecederam a existência do *homo faber*¹ (PINHEIRO e SILVA, 2016).

A Declaração Universal dos Direitos Humanos, de 10 de dezembro de 1948, assinala no artigo 17 o direito à propriedade, sendo vedada a privação arbitrária dela, qualquer que seja, ainda que pela indisponibilidade dos níveis mínimos da qualidade ambiental (PINHEIRO e SILVA, 2016). Em consequente, o artigo 25, trata sobre o direito a um nível de vida suficiente para assegurar a saúde, a alimentação, a vestimenta e a habitação, diretamente associados ao ambiente seguro (NATIONS UNIES, 2016). As mudanças climáticas e o predatismo industrial, responsáveis pelo

¹ Identidade natural do homem capaz de produzir instrumentos e artefatos manuais, sem dispor de autômatos.

empobrecimento do campo e a indisponibilidade de recursos nas cidades, afetam diretamente esses direitos (PINHEIRO e SILVA, 2016).

A partir da Declaração Universal dos Direitos Humanos e do contexto dos níveis de qualidade ambiental como pré-requisito para assegurar os direitos humanos inalienáveis, ratificou-se o Protocolo de Kyoto (1994), que prevê no artigo 12 o uso de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) para a redução da emissão de gases do efeito estufa, uso eficaz dos recursos energéticos e a conservação dos patrimônios ambientais e culturais da humanidade (UNITED NATIONS, 2016).

Com as metas do Protocolo de Kyoto e sua expiração em 2012, ratificou-se um novo documento em 2016, o Acordo de Paris, com os objetivos de adotar medidas a fim de manter a elevação da temperatura global abaixo de 2º C até 2100 em relação aos níveis que precedem a revolução industrial inglesa (NATIONS UNIES, 2015, p.2).

As proposições do Acordo reconhecem os benefícios ambiciosos e precoces para a atenuação e a adaptação às mudanças climáticas. Ainda, considera a necessidade de promover o acesso universal à energia sustentável na medida em que promove a cooperação entre instituições financeiras, setor privado, cidades, autoridades internacionais, comunidades locais e populações nativas, como condição *sinequa non* para identificar uma solução para esta demanda (NATIONS UNIES, 2015, p.2).

Considerando a necessidade de promover o acesso universal à energia sustentável nos países em desenvolvimento, em particular na África, reforçando o emprego das energias renováveis, convém sustentar e promover a cooperação regional e internacional a fim de mobilizar uma ação climática mais forte e mais ambiciosa de todas as partes signatárias e de outros atores, compreendendo os da sociedade civil, do setor privado, das instituições financeiras, das cidades e outras autoridades internacionais, das comunidades locais e das populações nativas (NATIONS UNIES, 2015, p.2, tradução dos autores).

As tensões provocadas pelo “gigantismo” do setor energético brasileiro incluem não somente o aspecto de redução dos estoques fixadores de carbono, e, portanto, agentes reguladores do clima, mas também revelam a profundidade das alterações climáticas. Os largos conflitos territoriais, a gestão dos recursos públicos na perspectiva dos jogos políticos, a reforma agrária e a degradação de áreas produtivas pelo assoreamento à jusante das barragens, são tensões que podem ser

avaliadas no contexto da geração de energia elétrica associada aos efeitos globais do clima na atualidade (PINHEIRO e SILVA, 2016, p.84).

Busca-se, diante desse quadro, repensar as grandes obras de engenharia e adotar medidas e tecnologias que reduzam custos com transmissão e distribuição, por meio da aproximação da fonte geradora do consumidor final. Essa seria uma das medidas para conservar estoques fixadores de carbono e nitrogênio, à medida que adapta o patrimônio cultural às novas tecnologias (PINHEIRO e SILVA, 2016).

Na Matriz Elétrica Brasileira, verifica-se a grande participação da energia hidráulica com 66,5% de participação. Já a participação das energias solar e eólica, juntas, é ainda de apenas 5,2% (MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA, 2016). Busca-se, diante desse quadro, repensar as grandes obras de engenharia e adotar medidas e tecnologias que reduzam custos com transmissão e distribuição. Nesse contexto, os Recursos Distribuídos de Energia surgem como um vetor tecnológico de desenvolvimento do setor de energia elétrica que tem sido implantado e estimulado em todo o mundo (ABESCO, 2015).

A vantagem da Geração Distribuída é que graças à disposição da unidade de geração próxima a carga, as perdas associadas ao transporte de energia elétrica diminuem, além de aumentar a diversificação das tecnologias empregadas para produção de energia elétrica. O consumidor pode ainda ter a opção de trocar energia com a concessionária de distribuição, se houver um excedente de energia gerada, prática exercida por alguns países. No Brasil a prática adotada é o de Compensação de Energia, onde a energia elétrica gerada e não consumida é injetada na rede elétrica de distribuição, sendo compensada no final do mês ou nos meses subsequentes (PINHEIRO e SILVA, 2016).

Em relação ao estado do Paraná, estudos recentes mostram um elevado potencial de geração fotovoltaica, superior a maior parte dos países Europeus onde, atualmente, se concentra a maior parte da capacidade instalada global (TIEPOLO, 2015).

Nesse contexto, a Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina (ADEMADAN) atua localmente no desenvolvimento e na replicabilidade social de tecnologias de ecossistemas semelhantes para a redução dos impactos nas quatro dimensões (social, institucional, econômica e

ambiental) para gestionar um conhecimento próprio que contribua para a adaptação aos efeitos climáticos (PINHEIRO e SILVA, 2016).

O município de Antonina está localizado no litoral norte do Estado do Paraná e remonta o período de colonização do século XVII. Em 1550, Hans Staden já encontrara na baía de “Paranagoá”, ou “Para nãguá” (do carijó “baía parecida com o mar”), conforme reconstrução de Reinhard Maack do itinerário de Ulrici Schmidl, portugueses vindos da Capitania de São Vicente vivendo harmoniosamente com índios carijós nativos na ilha da Cotinga (MAACK, 2012, p.90).

Em 1640, Gabriel de Lara, então povoador e capitão-mor de Paranaguá, além de incentivar habitações nas margens dos rios que drenam a Serra do Mar, ou a Floresta Atlântica, identificou o potencial de exploração das jazidas auríferas nas planícies aluviais (“ouro de aluvião”) no entorno do rio Nhundiaquara (MAACK, 2012, p.91).

O sargento-mor Manoel do Valle Porto se estabeleceu no morro da Graciosa em 1712, localizado na sesmaria de Guarapiracaba (em tupi “caminho da ave guará”). Valle Porto mudou o nome da cidade para Antonina em 1797, na data em que o povoado foi elevado à Vila (FERREIRA, 2006, p.34).

A sede da ADEMADAN foi construída com trabalho escravo no século XIX, adquirida pela família Loyola e mais tarde cedeu lugar à “Casa de Renda” ou “Coletoria” do município. A estrutura era dotada do térreo e de um pavimento superior, que sob a administração do Estado e a crise do setor portuário (principal atividade econômica do município) na década de 1970, entrou em processo de abandono (HÜTNER JÚNIOR et al., 2016).

A Associação foi fundada por meio do trabalho voluntário em 1999, e realizou seus primeiros projetos em parceria com o antigo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR), atual Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), para a geração de emprego e renda, por meio do Fundo de Amparo ao Trabalhador.

Reconhecida a importância social e tecnológica dos projetos desenvolvidos pela ADEMADAN, o Governo do Estado do Paraná decidiu doar em definitivo o prédio histórico para a Associação em 2007. As reformas e os projetos são conduzidos por meio de doações, parcerias e editais públicos de captação de recursos (ASSOCIAÇÃO..., 2016).

Com o tombamento do centro histórico municipal pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 2012, a sede da Associação passou por uma série de adaptações e busca junto à comunidade desenvolver valores e princípios associados à conservação do patrimônio, sobretudo, na redução da emissão de gases do efeito estufa (agentes nocivos ao patrimônio) e na gestão de um 'prédio ecológico'.

É de interesse de a comunidade realizar no espaço um estudo de eficiência energética e a proposta de uma fonte microgeradora de energia alternativa. Atualmente a ADEMADAN é signatária do Pacto Global, que prevê dez princípios para a boa gestão sobre os direitos humanos, trabalho, meio ambiente e combate à corrupção (ASSOCIAÇÃO..., 2016).

1.1 TEMA

Desenvolvimento de um estudo de eficiência energética e de um estudo de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) em um prédio tombado.

1.1.1 Delimitação do Tema

Análise e encaminhamento de medidas para a efficientização do uso da energia elétrica e a instalação de uma fonte de energia alternativa, neste caso de um sistema fotovoltaico conectado à rede - SFVCR, em uma edificação tombada pelo patrimônio histórico no município de Antonina, Estado do Paraná.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Considerando o aspecto inovador da eficiência energética em prédios tombados e de valor cultural agregado, discute-se a necessidade de adotar medidas para a redução da emissão de gases que contribuem para as alterações climáticas. Como consequência dessas alterações, o próprio patrimônio é lesado.

Desta forma, quais medidas de eficiência e quais conhecimentos podem ser adotados e aplicados para a adaptação ao clima, na medida em que o prédio tombado contribui para o controle dos efeitos climáticos? É possível que instalações antigas possam fazer parte do contexto político de medidas de eficiência energética e micro geração, e qual seu retorno nas dimensões social, institucional, econômica e ambiental?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo de eficiência energética associado a um estudo de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede na sede tombada da Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) efetuar a revisão bibliográfica sobre os temas desenvolvidos na pesquisa;
- b) realizar o inventário documental de planta baixa e dados das instalações elétricas do prédio, e diagnosticar possíveis adaptações segundo as condições estabelecidas pelo IPHAN;
- c) desenvolver o estudo de eficiência energética e propor um projeto de modificações condizentes com os resultados do estudo;
- d) desenvolver o projeto preliminar do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR).
- e) apresentar o estudo de *payback*, ou seja, de retorno do investimento para o projeto de eficiência energética e de instalação do SFVCR;
- f) realizar o encaminhamento para a Associação, do projeto SFVCR e as recomendações para a futura execução, por meio de dados e apêndices descritos no trabalho de conclusão.

1.4 JUSTIFICATIVA

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 prevê como ações universitárias indissociáveis o ensino, a pesquisa e a extensão. A extensão deve atuar na interferência e na transformação da realidade social, sobretudo, naquelas demandas da sociedade civil identificadas como inalienáveis da práxis acadêmica para o desenvolvimento da ciência, da tecnologia e da inovação.

A práxis acadêmica associada à existência de políticas de governo e de estado oriundas de acordos internacionais, como o mais recente Acordo de Paris (2016), corroboram o compromisso do Estado com o uso de tecnologias, na intervenção das demandas sociais, que zelem pela redução da emissão de gases do efeito estufa na atmosfera e pela redução de perdas no consumo de energia. Esse aspecto decorre do agravante internacional da demanda crescente de energia para processos urbanos e industriais, além das tensões no setor rural para a geração, cada vez mais complexos.

Nos extratos históricos da composição do espaço, o Brasil incorporou na sua paisagem elementos de movimentos culturais distintos ao longo da formação do povo brasileiro. Desta forma, o patrimônio de outras épocas se funde com o patrimônio contemporâneo e procura se adaptar à realidade social sem perder sua identidade intrínseca.

A inovação do estudo, portanto, consiste na adaptação do patrimônio histórico a tecnologias e políticas atuais sem, contudo, descaracterizá-lo.

Neste contexto, o estudo atua nas vertentes, a saber: i) a utilização de tecnologias com baixa emissão de gases do efeito estufa na geração de energia; ii) a composição universidade e sociedade civil na gestão do conhecimento e na transformação social; e iii) a replicação regional de tecnologias para a adaptação de edificações tombadas no espaço urbano.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A primeira fase de execução do projeto consiste na pesquisa documental, retrospectiva primária de plantas e memórias do prédio original e suas posteriores

modificações, bem como dos níveis de conservação solicitados no processo de tombamento em 2012 pelo IPHAN.

Durante essa etapa, foram analisadas fotografias da paisagem original e sua composição a fim de que o projeto do SFVCR não altere as características primeiras do patrimônio. Foi realizada pesquisa bibliográfica para identificar os métodos e procedimentos de instalação do painel solar e a alocação dos elementos resultantes do estudo de eficiência energética.

Ainda na primeira fase se realizou uma pesquisa de campo para identificar a fidelidade dos documentos e das informações prestadas na pesquisa documental e adicionados elementos pertinentes ao projeto proposto, como as instalações elétricas, estrutura civil e possíveis modificações futuras.

A elaboração do diagnóstico energético obedeceu às disposições constantes no documento Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE, elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Como se trata de uma relação dialética do conhecimento, durante todas as fases, foi observada a expertise da comunidade local, por meio de reuniões nas quais as ações foram levadas para a consideração da Associação no desenvolvimento dos estudos propostos.

Na segunda fase foi realizado o desenvolvimento do projeto preliminar do SFVCR. Onde é apresentada a compilação estatística do consumo, bem como sua classificação quanto ao período e potência ativa.

Na terceira fase realizou-se a compilação dos dados das pesquisas da primeira fase e sua organização em relação à ordem dos eventos. Ainda foi desenvolvido o estudo de eficiência energética que inclui: o estudo de *payback*, pontos de perdas e a compilação das recomendações para o projeto de modificação das instalações e dos equipamentos elétricos.

Na quarta fase será realizada a apresentação para a comunidade local dos resultados do projeto.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho, para melhor entendimento, é composto pelos seguintes capítulos:

Capítulo 1: Introdução

Neste capítulo é feita uma introdução sobre o tema, a justificativa, objetivo geral e objetivos específicos que foram desenvolvidos durante a pesquisa.

Capítulo 2: Fundamentação Teórica

Neste capítulo é desenvolvida a revisão bibliográfica sobre os principais temas abordados nessa pesquisa, como energia solar, SFVCR, eficiência energética, edificações tombadas pelo patrimônio histórico, possibilidades de efficientização de energia, e o processo de tombamento feito pelo IPHAN na edificação histórica.

Capítulo 3: Determinação dos Parâmetros do Sistema Fotovoltaico

Está apresentado o modelo para o levantamento do consumo na unidade proposta, determinação dos níveis de irradiação do local, e desenvolvimento do projeto preliminar de SFVCR na edificação tombada. Bem como a previsão de energia total que será gerada a partir dos painéis fotovoltaicos

Capítulo 4: Desenvolvimento do Projeto de Efficientização e Análise dos Resultados

Nessa etapa foram apresentados e analisados os dados coletados por meio de tabelas, mostrado as substituições propostas e desenvolvido o projeto de efficientização. Assim, tornou-se possível a avaliação da viabilidade do projeto SFVCR associado ao projeto de eficiência energética, e também o retorno do investimento.

Capítulo 5: Conclusão

Por fim, são apresentadas as análises finais das pesquisas, com as ressalvas e recomendações de adequações para viabilizar o projeto e a instalação do SFVCR.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As demandas atuais de aproximação da fonte geradora do consumidor final e a redução das emissões dos gases do efeito estufa (GEEs) apresentam dois marcos temporais. O primeiro em 1994, o Protocolo de Kyoto, e o segundo em 2016, o Acordo de Paris. Este último considerou as fontes renováveis como tecnologias a serem replicadas a fim de reduzir as emissões dos GEEs e, por conseguinte, controlar o aumento da temperatura global. A tendência de crescimento de participação das fontes renováveis no contexto global assimila condições políticas para redução das barreiras e entraves governamentais do setor elétrico mundial (IEA, 2015).

Do ponto de vista dos recursos ambientais, IEA (2015, p.5) aponta que as energias eólicas e solares fotovoltaicas juntas podem garantir 22% da redução anual das emissões de dióxido de carbono na atmosfera do setor elétrico em 2050. Tais emissões, para Zanirato e Ribeiro (2014), contribuem para as mudanças climáticas que provocam a degradação do patrimônio histórico e cultural construído, além do que espessam a poluição aérea responsável pela formação de substâncias corrosivas de resinas como o esmalte alquídico.

O *Energy Technology Perspectives 2015*, relatório que decodifica os modelos de previsão internacionais de tecnologia energética, destaca que em economias emergentes, como o caso do Brasil, a demanda crescente da infra-estrutura necessária para o fornecimento de energia perfaz uma ocasião propícia para reduzir a emissão de GEEs por meio de tecnologias com baixa emissão na geração e no seu aspecto construtivo. A grande barreira seriam os custos totais para a comercialização de usuários domésticos, administrativos e condomínios.

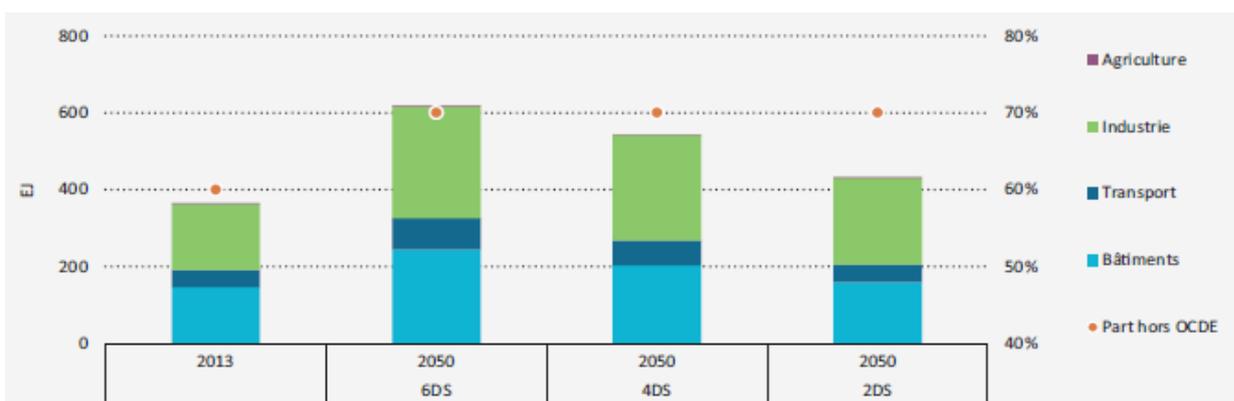
Sobre os custos totais Pinheiro e Silva (2016, p.91) assinalam que a desconfiança sobre a viabilidade econômica no Brasil das fontes renováveis é resultado do cenário político de incerteza dos investidores a partir de 2013 com a Lei n.º 12.783 (renovação das concessões de geração, transmissão e distribuição, redução dos encargos setoriais e modicidade tarifária).

No entanto, os autores, sustentam que com o amadurecimento das tecnologias renováveis, estas tendem a encarar o mercado de energia com a mesma força das

fontes convencionais. Isto se dá pela competitividade da tarifa e conseqüente redução do custo tecnológico.

O *Energy Technology Perspectives* (ETP, 2016), por sua vez, prevê que a demanda energética dos edifícios urbanos para o conforto térmico artificial até 2050 será multiplicado por cinco (cenário 6DS²). Mudanças climáticas com verões mais intensos e invernos mais rigorosos requerem o desenvolvimento de boas práticas setoriais para a redução do consumo associado ao aumento da geração eólica, fotovoltaica, e outras fontes de energia elétrica. O cenário 6DS prevê um aumento de 70% no consumo de energia nos edifícios urbanos no ano de 2050 em relação ao ano de 2013, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Demanda urbana da energia primária conforme os cenários do ETP (2016). Em azul o crescimento da energia consumida por edifícios urbanos nos cenários 6DS, 4DS E 2DS, a fim de limitar o aumento da temperatura global em 6°C, 4°C e 2°C respectivamente



Fonte - *International Energy Agency* (2016a, p.6).

Segundo IEA (2016a, p.10) características específicas das cidades ofertam opções suplementares para o desenvolvimento das tecnologias com baixa emissão de carbono, ou seja, segundo a agência, “as cidades permitem igualmente o desenvolvimento de um *savoir-fair*³ local em termos do fornecimento de tecnologias eficazes para os edifícios”.

A agência (IEA, 2016a, p.10) conclui que as comunidades urbanas podem difundir as melhores práticas e informações para a sua demanda, o que propicia a criação de um desenvolvimento econômico baseado na produção de energia renovável nos níveis regionais e locais.

² O cenário 6DS apresenta dados de consumo considerando a limitação do aumento da temperatura global em 6°C.

³ *Savoir-faire*: Expressão em francês com significado de “saber fazer”.

A tendência, portanto, é que os estudos e as novas fontes de conhecimento sobre a melhor forma de produzir energia em conjunto com as construções urbanas possui forte potencial nos próprios centros urbanos em que surge a demanda de consumo. Diante da necessidade de produzir um conhecimento inovador sobre o uso da energia solar em edifícios tombados, as cidades oferecem opções suplementares, o que instiga a busca, no contexto regional, de soluções criativas para a adaptação das fontes renováveis de microgeração.

O IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) divide a energia solar direta em cinco grandes blocos (PINHO e GALDINO, 2014, p.47), a saber:

- i. Energia Solar Passiva – a aplicação decorre da inserção de técnicas prediais e arquitetônicas bioclimáticas para o aproveitamento da irradiação solar;
- ii. Energia Solar Ativa – refere-se à aplicação da energia solar no aquecimento e na refrigeração;
- iii. Energia Solar fotovoltaica – àquela decorrente do aproveitamento para a produção de energia elétrica com e sem concentradores;
- iv. Energia Solar por meio de Concentradores – refere-se à utilização de concentradores solares térmicos para altas temperaturas;
- v. Energia Solar como combustível – é o aproveitamento da energia solar para a síntese do hidrogênio a partir da exposição de dióxido de carbono à irradiação solar.

Entre os grandes grupos identificados por Pinho e Galdino (2014, p.50) a partir da análise do IPCC, os estudos aqui relacionados referem-se à concentração tecnológica de aproveitamento da energia solar fotovoltaica. Desta forma, os autores definem a energia solar fotovoltaica como “a energia elétrica obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, sendo a célula fotovoltaica um dispositivo fabricado com material semicondutor”.

Bem verdade, que o processo de aproveitamento da energia solar fotovoltaica perpassa um sistema fotovoltaico. A Norma NBR 10899 (2013, p.7) define o sistema fotovoltaico como o “conjunto de elementos que geram e fornecem eletricidade pela conversão de energia solar”.

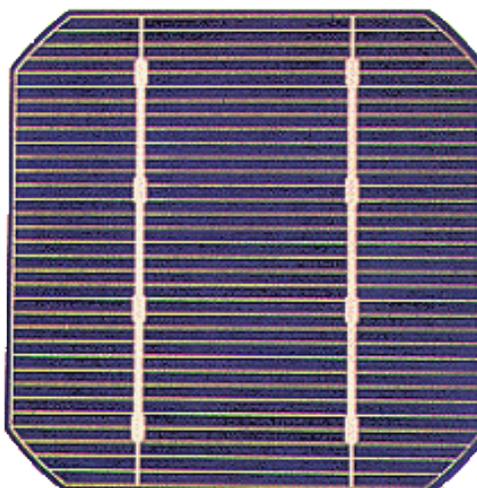
Os sistemas fotovoltaicos se mostram vantajosos pela sua aplicabilidade nos meios urbanos em edifícios, condomínios residenciais, casas isoladas e indústrias (URBANETZ JR, 2010, p.29).

URBANETZ JR (2010) considera um diferencial dos sistemas fotovoltaicos o baixo impacto ambiental, seu aproveitamento como fonte renovável e sua geração de energia elétrica de maneira silenciosa. O autor enfatiza que países desenvolvidos já utilizam esta tecnologia desde 1980, e pode ser replicada no território brasileiro, característico pela alta incidência solar e pela extensão territorial.

Pinho e Galdino (2014, p.50), por sua vez, dividem a produção de células e módulos fotovoltaicos em três gerações. A primeira geração inclui as cadeias produtivas do silício monocristalino (m-Si) e do silício policristalino (p-Si). Os dois juntos representam a melhor eficiência comercialmente disponível e são tecnologias presentes em 85% do mercado.

As células de silício monocristalino são fabricadas a partir da extração do dióxido de silício. O material é desoxidado, purificado e solidificado para, assim, atingir um grau de pureza de 99,9999% e se tornar eficiente do ponto de vista energético. As qualificações desejadas para a estrutura monocristalina são obtidas por meio do processo “Czochralski”, onde o silício é fundido com dopante do tipo p, o Boro (CRESESB, 2006, p.14).

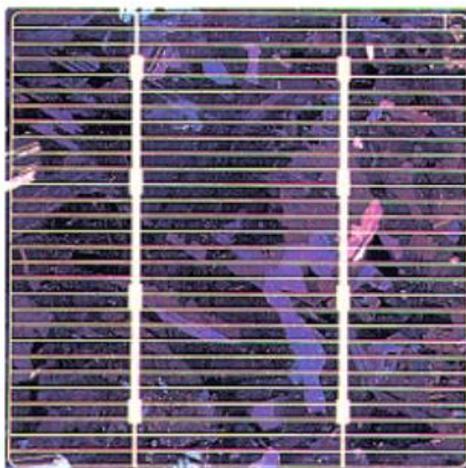
Figura 2 – Célula de silício monocristalino



Fonte – CRESESB (2006)

As células de silício policristalino são obtidas por processo similar ao monocristalino, a diferença aparece no rigor do controle do processo de fabricação (CRESESB, 2006, p.15).

Figura 3 – Célula de silício policristalino



Fonte – CRESESB (2006)

A segunda geração caracteriza-se pelas cadeias produtivas dos filmes finos, com menor rendimento das células, disponibilidade do material e vida útil. Aplicada a tecnologias de vida curta e com a necessidade de menor eficiência energética. Nesta geração encontram-se o silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre e índio (CIS), o disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe) (CRESESB, 2006, p.15).

A terceira geração ainda está em fase de Pesquisa e Desenvolvimento e é produzida em pequena escala. Esta geração compreende as cadeias produtivas da célula fotovoltaica multijunção, da célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*).

2.1 PROMOÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ASSOCIADA À ENERGIA SOLAR

A preocupação com a questão energética surgiu precisamente em 17 de outubro de 1973, devido ao primeiro choque do petróleo (ROMÉRO, REIS, 2012). Em cerca de 90 dias os produtores majoritários da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) aumentaram o preço do barril em quatro vezes, devido à redução da extração.

A elevação do preço, em um curto espaço de tempo, causou uma crise imediata. Conforme (JANUZZI, 2000), grande parte da eletricidade provinha de usinas termoelétricas, que utilizavam gás natural e derivados do petróleo para geração de energia elétrica, e segundo (ROMÉRO e REIS, 2012), até aquela data não havia preocupação mundial com essa questão, tampouco nos EUA, que consumiam de oito a dez vezes mais energia nos grandes edifícios comerciais do que consomem nos dias atuais.

De acordo com Januzzi (2000), medidas foram tomadas para aumentar a independência do setor energético nos EUA. Devido ao impacto causado pela alteração do preço do petróleo, associado à pressão dos ambientalistas preocupados com a proliferação da energia nuclear e com a poluição emitida das termoelétricas, houve o interesse em promover a substituição do óleo natural importado e incentivar a conservação de energia por meio de programas de eficiência energética.

A proposta de ampliar o rendimento da energia e causar queda no consumo foi estimulada por meio do financiamento para a pesquisa e do desenvolvimento de equipamentos mais eficientes, campanhas de informação financiadas pelo poder público, e regulação de energia (JANUZZI, 2000).

Surgiu a necessidade da aplicação de regulamentos energéticos. As políticas de incentivo, e os regulamentos com força de lei foram criados com o objetivo de redução do consumo de energia em edifícios (ROMÉRO e REIS, 2012). Na França, houve por três vezes, redução de 25% do consumo em um período de vinte anos (DEHAUSSE, 1988 apud ROMÉRO e REIS, 2012). Já nos Estados Unidos, as novas normas energéticas estavam atreladas ao aumento das tarifas, resultando até 1985 na estabilidade do consumo, ou seja, não houve crescimento, apesar da

elevação do PIB e da melhoria na qualidade de vida (GADGIL e ROSENFELD, 1991 apud ROMÉRO e REIS, 2012). A União Européia pôde observar resultados semelhantes aos dos EUA com a adoção das políticas energéticas para edifícios, pois houve redução do consumo e elevação da qualidade de vida dos habitantes de edifícios (ROMÉRO e REIS, 2012).

2.1.1 Eficiência Energética

“Eficiência energética é a habilidade de consumir menos energia para produzir a mesma quantidade de trabalho e serviços úteis” (National Energy Policy Development Group, 2001, p.3).

Panesi (2006) ressalta a importância de não confundir eficiência energética com racionamento de energia. Racionar significa reduzir o consumo por meio da redução dos serviços utilizados, enquanto eficiência é correspondente ao decréscimo da demanda sem a necessidade de evitar ou reduzir o tempo de uso dos serviços e aparelhos elétricos. Deste modo, o *National Energy Policy Development Group* (2001) afirma que o aumento da eficiência energética reduz o consumo de energia e os gastos com ela, enquanto mantém a entrega equivalente de serviços para seus consumidores.

As melhorias na eficiência dependem de variáveis como: políticas energéticas, recursos e desenvolvimento tecnológico, preços, e regulação de mercado. Esses incentivos encorajam o aperfeiçoamento de novos produtos que se tornam mais eficientes, e impulsionam o investimento do consumidor nos mesmos (National Energy Policy Development Group, 2001).

Por meio do incentivo promovido pelo governo à utilização de produtos e equipamentos mais eficientes, e ao não desperdício da energia elétrica, é possível o melhor aproveitamento dos recursos energéticos disponíveis no país, além de reduzir a necessidade em importação de energia (National Energy Policy Development Group, 2001).

Através do desenvolvimento e expansão do uso de tecnologias mais eficientes, o consumidor pode desfrutar de mais serviços energéticos sem observar aumentos significativos na sua demanda energética, e conseqüentemente na sua fatura de energia elétrica (National Energy Policy Development Group, 2001).

Para aumentar a eficiência energética dos equipamentos, é essencial o desenvolvimento de novas tecnologias para que o mesmo despenda o menor percentual de perdas possível durante seu funcionamento (ROMÉRO e REIS, 2012).

Segundo Ferrer e Garrido (2013), promover a eficiência energética em edifícios é adequá-los para que demandem menos energia. Através da iluminação, sistemas de aquecimento, e sistemas de refrigeração mais eficientes, associados à geração através de painéis solares, há diminuição do consumo de energia convencional, e conseqüentemente, se reduz a emissão de gases poluentes.

Ferrer e Garrido (2013) apresentam os objetivos que devem ser atingidos com a eficiência energética em edificações. Tanto em novas obras, quanto nas já existentes, se deve propiciar condições adequadas para tornar a construção mais eficiente do ponto de vista energético. Desta forma, é necessário considerar o clima e a arquitetura, e assim favorecer a utilização dos recursos naturais renováveis para o condicionamento da edificação, considerando os componentes, as técnicas construtivas e a localização do edifício; e integrar os sistemas solares de aquecimento térmico ou de produção de eletricidade.

As tecnologias passivas utilizam as condições climáticas do local para atingir o nível desejado de conforto e eficiência energética. Para ser implementada necessita apenas da energia eletromagnética do sol, direção e velocidade dos ventos, quadrantes de maior radiação (ROMÉRO e REIS, 2012). É aconselhável adotar alguns critérios no projeto ou *retrofit* de edifícios antigos, como o uso de cores claras no exterior para reduzir ganhos por radiação, com o objetivo de reduzir a demanda de climatização artificial (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014 apud COELHO e CRUZ, 2017).

De acordo com Roméro e Reis (2012) as tecnologias ativas completam as passivas, e consomem energia elétrica da rede. Para tornar a edificação mais eficiente quanto aos produtos ativos, deve ser feita a escolha adequada de lâmpadas para cada ambiente, o estudo da viabilidade da implantação de sensores de presença em áreas de circulação ou permanência transitória, instalação de equipamentos de refrigeração de baixa potência e alta eficiência. Ferrer e Garrido (2013) explicam que o alto consumo de ar-condicionado pode ocorrer pela falta de manutenção, equipamentos de baixa eficiência, superdimensionamento que pode ser evitado ao se estimar a carga térmica dos ambientes.

As tecnologias proativas não geram consumo energético, mas oferta de energia (ROMÉRO e REIS, 2012). A utilização do sol e dos ventos para fornecer eletricidade, é elemento fundamental para um edifício ser considerado sustentável. A radiação, na sua forma ativa, é proporcionada com a integração dos sistemas de energia solar tanto para aplicações térmicas quanto para produção de energia elétrica, por meio de módulos fotovoltaicos como elementos que compõem a edificação (Ferrer e Garrido, 2013).

Ferrer e Garrido (2013) ressaltam a crescente preocupação social com a economia energética e com o meio ambiente, e como isso reflete o crescimento do setor de energia solar nas edificações e no urbanismo. Os autores lembram que um projeto energeticamente consciente passa pelo aproveitamento dos recursos naturais do lugar, e dessa forma é necessário desenvolver e fortalecer as condições adequadas para o aproveitamento destes.

2.1.2 Sustentabilidade

“Promover o desenvolvimento sustentável é a capacidade do ser humano contemporâneo satisfazer suas necessidades, sem comprometer o atendimento às necessidades das gerações futuras.” (Our Common Future, 1987).

O surgimento do conceito de sustentabilidade é um dos frutos das políticas de eficiência energética. Segundo Romero e Reis (2012), a terminologia “desenvolvimento sustentável” foi criada treze anos após a primeira crise do petróleo. Durante esse período, a questão energética era a principal preocupação dos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, e associado a ela, criou-se uma consciência quanto ao ambiente: poluição do solo, ar e água.

A discussão global do modelo sustentável de desenvolvimento iniciou-se na Conferência de Estocolmo, realizada em 1972 (ROMÉRO e REIS, 2012). A partir desta primeira, nas décadas de 1970 e 1980, várias reuniões internacionais ocorreram com intuito de firmar um acordo de implantação de medidas para reduzir os impactos ambientais. O encontro mais significativo ocorreu em 1992, no Rio de Janeiro, e ficou conhecido como Rio’92. Nesta conferência foram acordadas as políticas públicas ambientais que seriam desenvolvidas.

Na década de 1990 surgiram os primeiros selos verdes para edifícios. Essa ferramenta de certificação ambiental classifica a construção quanto ao seu nível de sustentabilidade, e não é aplicada por leis, mas sim por opção do cliente ou exigência do mercado, visto que gera um custo adicional no valor do edifício (ROMÉRO e REIS, 2012).

Apesar dos incentivos ao desenvolvimento sustentável, a busca pela construção do modelo que assim possa ser conceituado, ainda é um desafio. Não se deve apenas contribuir para superar os atuais problemas, mas também garantir vida por meio de proteção e manutenção dos sistemas naturais. Roméro e Reis (2012), afirmam que a problemática tem caráter ambiental e social, e conforme (*Our Common Future*, 1987) depende das limitações do avanço tecnológico, e da capacidade da biosfera absorver os efeitos das atividades humanas.

Os problemas ambientais estão diretamente conectados com a pobreza e com o atendimento as necessidades básicas do ser humano (alimentação, moradia, saúde) (ROMÉRO e REIS, 2012). *Our Common Future* (1987) garante que a sociedade e o avanço tecnológico podem ser gerenciados a fim de possibilitar o crescimento econômico de forma sustentável, reduzindo a emissão de poluentes, e atenuando os impactos ambientais, como o efeito estufa.

O conceito de sustentabilidade está também relacionado ao socialmente justo, que no cenário da energia é a universalização do atendimento energético (ROMÉRO e REIS, 2012). Assim, para que toda a população tenha acesso a uma quantidade mínima de energia, é imprescindível o uso racional e consciente dos recursos renováveis para que as próximas gerações possuam as mesmas oportunidades de satisfazer suas pretensões.

2.1.3 Sustentabilidade, Eficiência Energética e Fontes de Energia Renovável

As soluções energéticas são fundamentais para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável. Tanto a eficiência energética quanto a energia renovável são parte integrante das ações que devem ser tomadas para a promoção da sustentabilidade (ROMÉRO e REIS, 2012).

Segundo Roméro e Reis (2012) o setor da eletricidade produz impactos ambientais em toda sua cadeia de desenvolvimento, desde a captura ou preparo dos

recursos naturais (desvio do curso de rios, extração de petróleo e carvão mineral, desmatamento de florestas) para o processo de geração, até o seu consumo. Desta forma, a energia tem participação significativa nos principais problemas do meio-ambiente na atualidade: chuva ácida, e efeito estufa (consequências das usinas térmicas), contaminação radioativa (através de usinas nucleares), entre outros. Logo, devem ser definidas práticas sustentáveis nesse setor, pela grande importância de ser um recurso essencial para qualquer modelo de desenvolvimento da humanidade.

As ações energéticas visualizadas globalmente para a elaboração de um modelo de desenvolvimento sustentável requerem o aumento da eficiência do setor energético tanto do lado da oferta, quanto da demanda. Deve haver redução no uso de combustíveis fósseis (carvão, óleo, gás) e maior uso de combustíveis renováveis e menos poluentes (biocombustíveis: etanol, biogás, biodiesel), incentivados por políticas energéticas que favoreçam a eficiência dos produtos e materiais do próprio setor, e também, o desenvolvimento tecnológico para que existam mais alternativas ambientalmente benéficas e melhorias nas atividades de produção dos equipamentos (ROMÉRO e REIS, 2012).

As fontes renováveis de energia eólica, solar e geotérmica contribuem para minimizar os efeitos ambientais. Sua maior implantação e operação substituem o carvão ou óleo mineral utilizados nas usinas termoelétricas, por exemplo, reduzindo drasticamente a emissão de poluentes nocivos à atmosfera e à vida no planeta (JANUZZI, 2000).

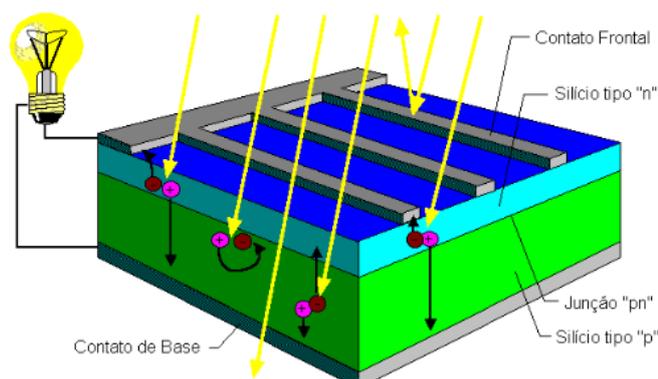
Essas intervenções relacionadas ao aumento da eficiência energética, e à conservação de energia, resultam na diminuição da necessidade da geração; e o aumento na participação de fontes renováveis na matriz elétrica, diminui o impacto atmosférico ambiental negativo causado por usinas baseadas em combustíveis fósseis (ROMÉRO e REIS, 2012). Desta forma o caminho da sustentabilidade é percorrido por meio de eficiência energética associada à implantação de fontes renováveis de energia.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E CLASSIFICAÇÃO

O painel fotovoltaico possui duas diferentes formas de identificação, na primeira quanto à tecnologia empregada e os materiais que a compõem, e na segunda quanto a sua modelagem e características de funcionamento.

Do ponto de vista da sua modelagem pode-se tomar como ponto de partida seu funcionamento como um semicondutor. Neste caso, ocorre o efeito fotovoltaico em materiais com bandas de energia. O material semicondutor é composto por duas bandas: a banda de condução parcialmente preenchida por elétrons e a banda de valência ocupada por elétrons semilivres (CRESESB, 2006).

Figura 4 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica



Fonte – CRESESB (2006)

Pinho e Galdino (2014, p.116) definem a corrente elétrica em uma célula fotovoltaica como a soma da corrente de uma junção *pn* no escuro (diodo semicondutor) com a corrente pelos fótons absorvidos da irradiação solar. Aplicando-se o operador diferencial na Equação de Shockley (para um diodo ideal) e subtraindo as perdas pela resistência em série e em paralelo, obtém-se o modelo da corrente na Equação 1. Este modelo matemático define o circuito equivalente do painel fotovoltaico.

$$I = I_l - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{nkT} - 1\right) \right] - \frac{(V+IR_s)}{R_p} \quad (1)$$

Onde:

I_l Corrente fotogerada (A);

I_0 Corrente de saturação reversa do diodo (A);

q Carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19} \text{C}$);

V Tensão (V);

R_s Resistência em série (Ω);

R_p Resistência em paralelo (Ω);

n Fator de idealidade do diodo, número adimensional geralmente entre 1 e 2, obtido por ajuste de dados experimentais medidos;

k Constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$);

T Temperatura absoluta (K).

Lorenzo (2002 apud TIEPOLO, 2015, p.113) apresenta a equação da energia elétrica gerada estimada por um sistema fotovoltaico, descrito na Equação 2, o que pode definir o painel quanto a sua produtividade em condições de diferentes potências nominais e irradiância.

$$E_{CA} = P_N \cdot \frac{H_t}{G} \cdot P_R \cdot F_S \quad (2)$$

Onde:

E_{CA} Energia elétrica gerada estimada diária, mensal ou anual em kWh;

P_N Potência nominal do conjunto de módulos em kWp;

H_t Irradiância global efetiva diária, mensal ou anual incidente numa superfície de inclinação ótima em kWh/m²;

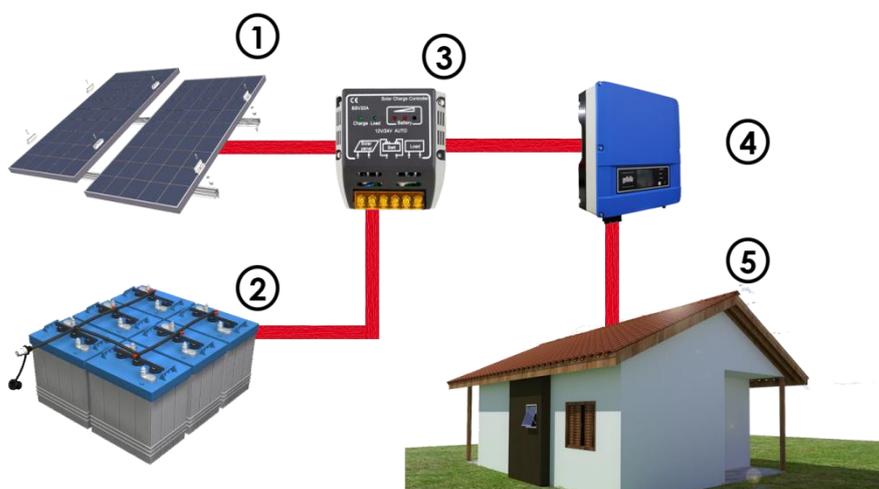
G Irradiância que determina a potência nominal dos módulos em condições padrão de teste, normalmente 1.000 W/m²;

P_R Desempenho global do sistema;

F_S Fator de perdas por sombreamento.

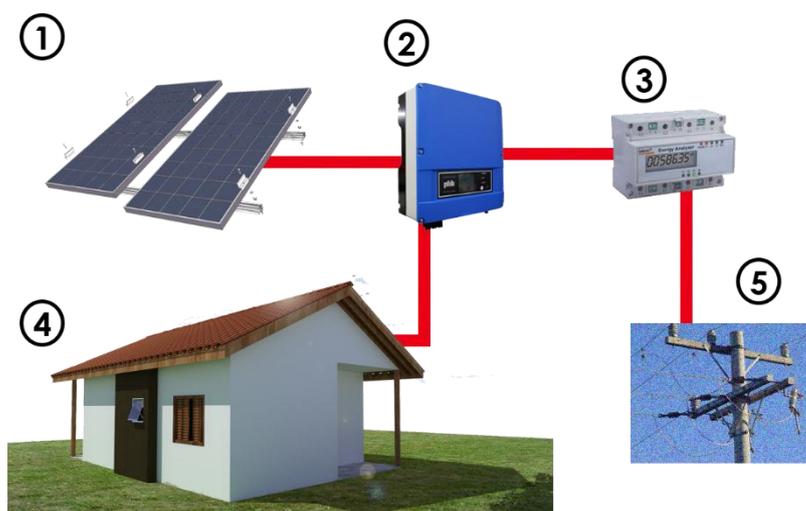
Quanto à conectividade, os geradores fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas isolados e conectados à rede. Os sistemas isolados são aplicados a pequenas cargas e não dependem de conectividade com a rede de distribuição. Os sistemas conectados à rede possuem maior complexidade na instalação, uma vez que são associados à distribuidora de energia elétrica (PINHEIRO e SILVA, 2016, p.89). Os esquemas de conexão para ambos os casos estão representados nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Esquema mínimo de um sistema isolado para a agricultura familiar. (1) painel fotovoltaico, (2) banco de baterias, (3) controlador de carga, (4) inversor e (5) carga



Fonte – Pinheiro e Silva (2016, p.89).

Figura 6 – Esquema mínimo de um sistema fotovoltaico conectado à rede. (1) painel fotovoltaico, (2) inversor, (3) medidor bidirecional, (4) circuito residencial e (5) rede de distribuição secundária



Fonte – Pinheiro e Silva (2016, p.89).

A tabela 1 relaciona as classificações dos sistemas fotovoltaicos segundo a ABNT NBR 11704 por tipo de sistema, alimentação dos consumidores, acumulação de energia elétrica e componentes básicos.

Tabela 1 – Classificação dos sistemas fotovoltaicos segundo a ABNT NBR 11704:2008

Tipo de Sistema		Alimentação dos Consumidores	Acumulação de Energia Elétrica	Componentes Básicos
Sistemas Isolados	Puros	Tensão Contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)
			Sim	Controlador de carga e acumulador
		Tensão Alternada	Não	Inversor
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor
	Híbridos	Tensão Contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar
		Tensão Alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar
Sistemas Conectados à Rede	Puros	Tensão Alternada	Não	Inversor
	Híbridos	Tensão Alternada	Não	Inversor e gerador complementar
		Tensão Alternada	Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador

Fonte – ABNT NBR 11704:2008.

2.3 ELEMENTOS DE PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

Para a finalidade do desenvolvimento de projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede objeto deste estudo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dispõe das referências normativas, a saber:

- i. ABNT NBR 10899:2013 – Energia solar fotovoltaica – Terminologia;
- ii. ABNT NBR 16149:2013 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- iii. ABNT NBR 16274:2014 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;

É importante definir os conceitos de arranjo fotovoltaico e séries fotovoltaicas a fim de esclarecer os elementos e documentos necessários à composição do projeto do sistema fotovoltaico conectado à rede. Um arranjo fotovoltaico pode ser descrito como o conjunto de módulos, subarranjos mecânicos e elétricos integrados que dão suporte à geração fotovoltaica. O arranjo não inclui fundação, rastreador solar, controle térmico e elementos similares (NORMA, 2013a, p.2).

As séries fotovoltaicas, por sua vez, referem-se ao “circuito no qual módulos fotovoltaicos são conectados em série, com o intuito de gerar a tensão de saída desejada de um arranjo fotovoltaico” (NORMA, 2013a, p.2).

A ABNT NBR 16274: 2014 prevê os seguintes detalhamentos no projeto do sistema fotovoltaico:

- i. Especificações gerais do arranjo fotovoltaico – diagrama de projeto do arranjo fotovoltaico, incluindo:
 - a) tipos de módulos, com suas características (correntes, tensões, potência, tecnologia, dimensões e peso);
 - b) número total de módulos;
 - c) número de séries fotovoltaicas;
 - d) quantidade de módulos por série fotovoltaica.

- ii. Informações da série fotovoltaica – o diagrama deve incluir as seguintes informações das séries fotovoltaicas:
 - a) especificação do condutor – diâmetro e tipo;
 - b) especificações do dispositivo de proteção contra sobrecorrente (se houver) – tipo e características de tensão e de corrente;
 - c) especificações do diodo de bloqueio (se houver) – tipo e características de tensão e de corrente.

- iii. Detalhes elétricos do arranjo fotovoltaico – o diagrama deve incluir as seguintes informações do arranjo fotovoltaico:
 - a) especificação do condutor – diâmetro e tipo;
 - b) localização das caixas de junção (quando aplicável);
 - c) localização, tipo e características de tensão e de corrente das chaves C.C.;
 - d) especificações dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente (Se houver) – tipo e características de tensão e de corrente.

- iv. Aterramento e proteção contra sobretensão – o diagrama deve incluir as seguintes informações do sistema de aterramento e da proteção contra sobretensão:
 - a) detalhes de todos os condutores de aterramento/equipotencialização – diâmetro e pontos de conexão. Incluir detalhes da equipotencialização da armação do arranjo fotovoltaico;
 - b) pormenores de quaisquer conexões a um sistema existente de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA);
 - c) detalhes dos dispositivos de proteção contra surtos de tensão (tanto no lado C.A. quanto no lado C.C.), incluindo tipo, localização e características de tensão e de corrente.

2.4 A ENERGIA SOLAR APLICADA A EDIFÍCIOS TOMBADOS

O uso de energias renováveis no contexto dos edifícios históricos tombados alia dois importantes aspectos. O primeiro aspecto trata-se da atualização dessas estruturas às novas tecnologias, seja para o uso sustentado dos recursos naturais, ou para a redução de custos com consumo de energia, sem, contudo, perder a identidade do patrimônio que agrega informações culturais e relações sociais no seu entorno.

Nesse contexto, Rüter (2004, p.12) salienta que o uso de painéis fotovoltaicos pode compor funções do ponto de vista da eficiência energética e do projeto estrutural. Para o autor, do ponto de vista da eficiência energética a geração e consumo da energia fotovoltaica coincidem espacialmente e temporalmente, e do projeto estrutural pode ser facilmente incorporada ao arquitetônico, adicionado como adorno da estrutura. Especialmente, pois reduz custos de transmissão e distribuição por estar próximo à fonte consumidora. Temporalmente, pois a sua curva de geração ao longo do ano coincide com o crescimento da demanda sazonal. Como exemplo da temporalidade Rüter (2004, p.12) cita que no período de maior geração de energia solar, o verão, consome-se, também, maior quantidade de energia pelo uso de sistemas de refrigeração.

Rüter (2004) analisa características importantes dos painéis fotovoltaicos em relação a outros tipos de projetos, como os de coletores solares. A primeira

característica é a versatilidade para a montagem, ou seja, sua capacidade de ser facilmente transportado e montado, associado ao curto tempo entre a inicialização do projeto, o seu comissionamento e as primeiras horas de uso pelo consumidor.

O autor diferencia os projetos de implantação dos geradores fotovoltaicos quanto ao tipo de montagem. Neste caso os sistemas podem ser integrados ou aplicados à edificação. No caso da aplicação o sistema pode ser montado sobre o telhado existente, já o sistema integrado é fruto da adaptação da construção para sua implantação ainda na fase de projeto da edificação (RÜTHER, 2004, p.14).

Algumas vantagens podem ser observadas nos centros urbanos históricos do litoral do Paraná, que garantem a instalação e a manutenibilidade de fontes solares de energia. Cidades com construções que revisitam o início do século XVIII, e em particular no estudo um edifício do início do século XIX, possuem edificações baixas de um ou dois pavimentos, com vãos entre as construções e telhados com cumieira alta, com duas ou quatro águas (ARAGÃO, 2008, p.151-152).

Tais características facilitam a instalação, a manutenção, e a incidência solar durante o ano inteiro. A quase inexistência de edifícios com mais de dois pavimentos no centro histórico faz com que praticamente não haja sombreamento na face norte das construções, área onde se pretende instalar os painéis para a geração solar no hemisfério sul. A desvantagem do litoral do Paraná é o baixo índice de irradiação na superfície em virtude da nebulosidade mais alta na região da Serra do Mar (TIEPOLO, 2015).

Além da instalação e da irradiação do local, deve-se levar em consideração aspectos da manutenção dos módulos fotovoltaicos. Em áreas portuárias a possível degradação dos componentes do módulo interfere diretamente no desempenho das células fotovoltaicas, além do que a presença de agentes corrosivos, intempéries e outros processos físico-químicos podem afetar a estrutura de suporte dos painéis.

Urbanetz Jr (2010, p.82) assinala a temperatura como um fator capaz de reduzir a potência fotogerada pelos painéis. Com a variação da temperatura o valor do MPP (ponto de máxima potência) também varia continuamente. O aumento da irradiância e conseqüente aumento da temperatura tendem a reduzir a eficiência do módulo, uma vez que a corrente gerada varia linearmente e a tensão logaritmicamente com a irradiância. Estes valores afetam diretamente a potência transferida (PALZ, 2002).

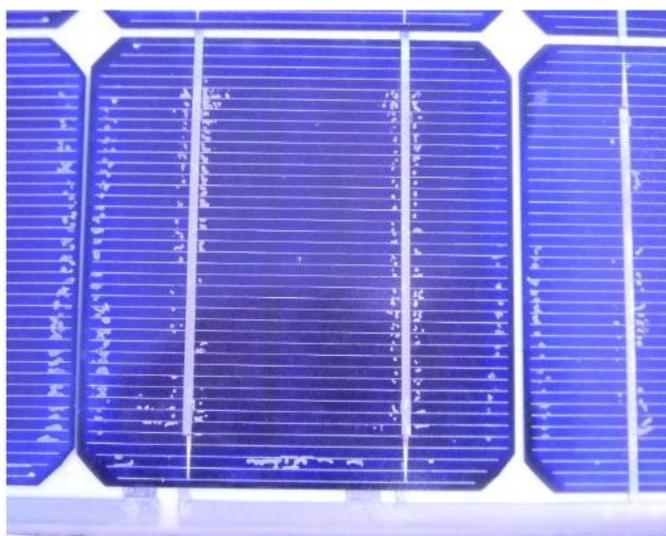
Assunção (2014, p.27) assinala que dentre os processos físico-químicos de degradação a que estão expostos os módulos, destacam-se a corrosão, a delaminação, a descoloração, quebras e rachaduras. O autor identificou em sua pesquisa uma degradação aproximada em módulos mono e policristalinos de aproximadamente 0,7% ao ano (OSTERWALD et al., 2002 apud ASSUNÇÃO, 2014).

Figura 7– Módulos afetados pela descoloração



Fonte - ASSUNÇÃO (2014, p.39).

Figura 8 – Módulos afetados pela delaminação



Fonte - ASSUNÇÃO (2014, p.40).

Figura 9 – Módulos afetados pela corrosão



Fonte - ASSUNÇÃO (2014, p.42).

Esse efeito pode variar em condições ambientais mais agressivas, como no Litoral do Paraná o qual apresenta alta umidade do ar, maresia, erosão eólica e chuvas intensas entre os meses de dezembro e março.

Em condições de temperatura e umidade controladas a exposição dos módulos a delaminação e à corrosão corresponde a 42% e 19% das degradações identificadas respectivamente, fatores observados com maior intensidade em zonas de marés (CHANGWOON et al., 2012).

ASSUNÇÃO (2014, p.28) descreve o fenômeno da corrosão em painéis mono e policristalinos como decorrente da penetração da umidade na borda do material laminado o que aumenta a condutividade elétrica e acarreta no aparecimento de correntes de fuga. A corrosão degrada a célula e a armação metálica da estrutura dos módulos.

O autor apresenta duas soluções capazes de reduzir o processo de corrosão, a saber: i) a utilização de material encapsulante que reduza a condutividade com a penetração da umidade na borda do material; e ii) incorporar barreiras contra a umidade.

Barreiras protetoras contra a corrosão em superfícies metálicas também podem ser aplicadas a fim de reduzir os danos pela degradação como o tratamento de superfícies por galvanoplastia e pintura com esmalte alquídico. Oliveira (2012, p.59) divide os processos de tratamento contra a corrosão em revestimento metálico e revestimento não metálico inorgânico.

O revestimento metálico consiste no processo eletrolítico de banho ou deposição catódica de material com potencial menor que o material revestido,

imprimindo endurecimento superficial e resistência ao processo corrosivo (OLIVEIRA, 2012, p.59). O processo de revestimento metálico mais aplicado a estruturas é a zincagem eletrolítica ou por imersão a quente.

Os revestimentos não metálicos inorgânicos consistem na deposição direta na superfície metálica de esmaltes vitrosos, vidros, porcelanas, cimentos, óxidos, carbetos, nitretos, boretos e silicetos. Os processos mais conhecidos de revestimento não metálico são a anodização, a cromatização e a fosfatização (OLIVEIRA, 2012, p.63).

ASSUNÇÃO (2014, p.30) define a delaminação como a “perda de aderência ou separação entre as diferentes camadas do módulo fotovoltaico”. O fenômeno decorre da interação entre a umidade e a salinidade, e ocorre entre o polímero encapsulante (ou vidro frontal) e a célula. Os principais fenômenos associados a essa degradação são o aumento da reflexão, maior penetração da água, e conseqüente perda de potência de saída.

Os projetos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica devem, ainda, levar em consideração o alto fator de utilização, ou seja, gerar energia elétrica sempre que houver irradiância solar, e deve-se conhecer a qualidade de energia no ponto de conexão do sistema (URBANETZ JR, 2010, p.29).

Uma das limitações presentes no levantamento bibliográfico e de referências encontra-se na indisponibilidade ou inexistência de documentos e estudos que destaquem a eficiência energética e a aplicação de painéis solares em edifícios tombados pelo patrimônio histórico. Neste sentido o marco referencial desenvolvido neste capítulo reflete um conjunto de estudos capazes de nortear a execução do objeto proposto sem, contudo, dispor de um estudo aplicado.

2.5 O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE NO ESTADO DO PARANÁ

Segundo ITAIPU BINACIONAL, o Paraná tem um grande potencial energético solar a ser explorado. O levantamento realizado em 2006 mostrou que o Estado possui média de irradiação 59% maior do que a da Alemanha (país que possui a

maior capacidade de energia solar instalada no mundo), e também maior do que 29 países da Europa.

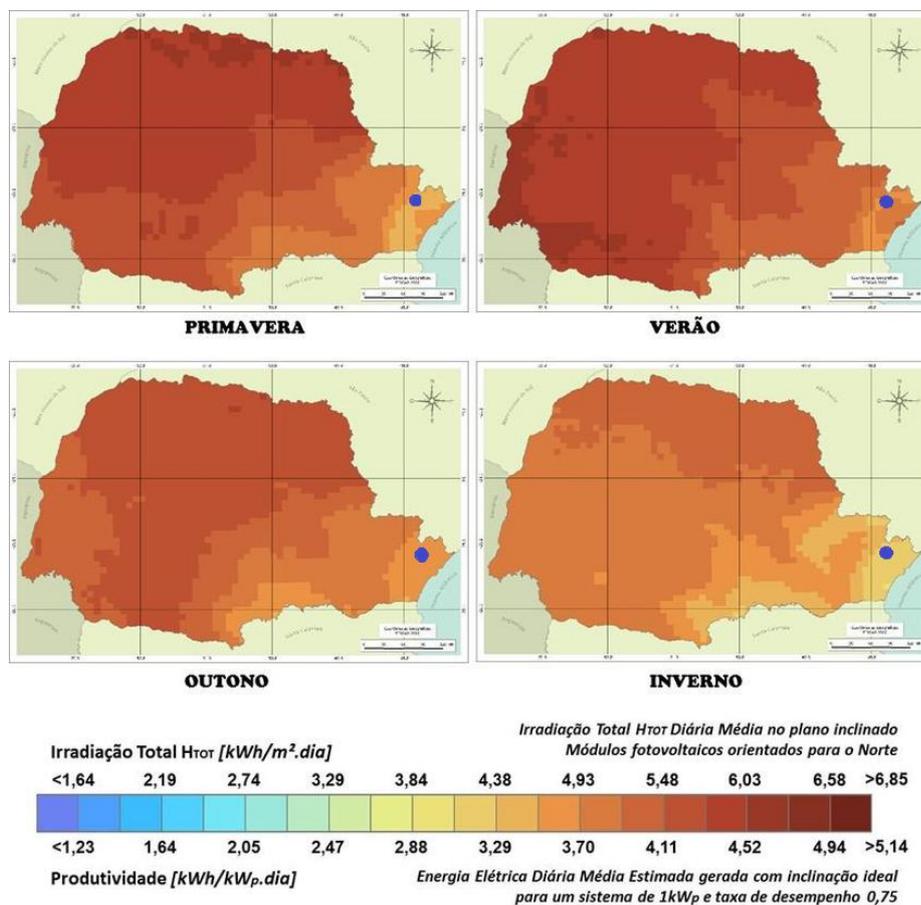
TIEPOLO (2015) ao analisar o potencial de geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná, concluiu que 12 dos 27 Estados da Federação apresentam média total anual de irradiação solar inferior à do Paraná. No entanto ainda parece haver um entrave ao aproveitamento da energia solar por meio de sistemas fotovoltaicos em virtude do uso extensivo das fontes de geração hidráulicas. Em relação aos três Estados com maior média o Paraná apresentou uma produtividade 7,5% inferior apenas.

Caso os SFVCRs no Paraná apresentassem uma Taxa de Desempenho de 82%, a média total anual de produtividade no estado seria superior à média em todos os estados do Brasil (TIEPOLO, 2015, p.177).

O autor apresenta, ainda, dados referentes ao município de Antonina localidade de desenvolvimento do objeto de estudo. A irradiação média diária do total anual no plano inclinado obtida foi de $4,66 \text{ kW/m}^2$, caso no qual, sustenta que em média, durante um ano, um sistema de 1 kWp (kilowatt-pico) é capaz de gerar em média diariamente 3,5 kWh (quilowatt-hora), mensalmente 106 kWh e anualmente 1.276 kWh.

A Figura 10 apresenta mapas sazonais de irradiação no Plano Inclinado do estado do Paraná, e que contém também a produtividade estimada (em kWh/kWp.dia) considerando um sistema de 1 kWp e taxa de desempenho 0,75. A região de Antonina está destacada em azul, ratificando as informações dadas a seu respeito.

Figura 10 – Mapas fotovoltaicos sazonais do estado do Paraná



Fonte – Adaptado de TIEPOLO (2015).

2.6 A ATUAÇÃO DO INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL NAS INTERVENÇÕES EM EDIFÍCIOS TOMBADOS

Segundo BRASIL (2005, p.19) a intervenção no patrimônio edificado é um conjunto de elementos necessários para a execução de ações destinadas a prolongar o tempo de vida de uma edificação. Toda intervenção deve englobar conceitos de restauração, manutenção, estabilização e reabilitação.

A Portaria nº 420, de 22 de dezembro de 2010, do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional dispõe sobre princípios a serem observados para a concessão de autorização para a realização de intervenções em bens edificados tombados e seu entorno. O Artigo 2º estabelece os princípios para os estudos, projetos, obras ou intervenções em bens culturais tombados, a saber:

- i. Princípio da prevenção – diz respeito à garantia prévia e sistemática da apreciação, acompanhamento e ponderação das obras ou intervenções, bem como atos suscetíveis que possam alterar a integridade de bens culturais, com o objetivo de impedir a fragmentação, desfiguração, degradação, e perda física ou de autenticidade do patrimônio.
- ii. Princípio do planejamento – assegura prévia, adequada e rigorosa programação, por técnicos qualificados, dos trabalhos a serem desenvolvidos no patrimônio, incluindo descrição das técnicas, metodologias e recursos a empregar na execução.
- iii. Princípio da proporcionalidade – faz corresponder, o projeto, ao nível de exigências e requisitos, a complexidade das intervenções.
- iv. Princípio da fiscalização – promove o controle das obras ou intervenções em bens culturais de acordo com os estudos e projetos aprovados.
- v. Princípio da informação – visa à divulgação sistemática e padronizada de dados sobre as obras ou intervenções realizadas em bens culturais para fins histórico-documentais, de investigação e estatísticos.

2.7 RETORNO DO INVESTIMENTO E ASPECTOS ECONÔMICOS

A energia solar fotovoltaica é uma das formas de utilização da energia gerada pelo sol, que é inesgotável e atualmente uma das alternativas energéticas mais promissoras (CRESESB, 2006).

Os autores Izidoro, Silva e Soares (2010) sustentam que o uso de painéis solares para obtenção de energia já é bastante utilizado no âmbito mundial, apesar do alto custo de implementação, e que há a necessidade de difundir a tecnologia. Nesse sentido, acredita-se que ao propor o sistema solar fotovoltaico em um prédio histórico, se está promovendo o uso de fontes renováveis de energia entre outros prédios similares.

Ribeiro (2012) analisa que o principal gargalo para o desenvolvimento do mercado de sistemas fotovoltaicos no Brasil é o alto investimento inicial. Por isso a importância de se realizar cálculos para analisar a viabilidade do projeto em longo prazo, antes de iniciar a instalação dos painéis solares, e também outros aspectos do edifício que podem ser eficientizados com investimentos inclusive menores.

Já existem, porém, incentivos que estão sendo criados para a geração distribuída no Brasil, aquela que ocorre próxima dos consumidores. O Convênio ICMS 16/2015 do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), já tem 21 estados brasileiros aderidos, e a tendência é que o Paraná também adira nos próximos anos. O convênio faz com que o consumidor seja tributado apenas pelo excedente de energia consumido, ou seja, apenas sobre a energia que o consumidor receber da rede elétrica, e não sobre aquilo que está produzindo (Ministério de Minas e Energia, 2016).

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) tem um Programa de Eficiência Energética que busca promover o uso eficiente de energia elétrica em todos os setores da economia através de projetos que demonstrem a viabilidade econômica de suas ações de melhoria da eficiência energética (PROPEE, 2013, módulo 1). Uma das medidas tomadas em prol de seu PEE foi aprovar em 2012 uma resolução normativa que obriga a aplicação de recursos, pelas concessionárias ou permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, em Programas de Eficiência Energética (Resolução Normativa Aneel nº556, de 18 de junho de 2013).

E para regulamentar esse processo foi estabelecida uma metodologia descrita através do PROPEE - Procedimentos do Programa de Eficiência Energética, que define a estrutura e a forma de apresentação dos projetos energética (PROPEE, 2013, módulo 1). O PROPEE é composto por 10 módulos, sendo um deles inteiramente dedicado a estabelecer diretrizes para projetos que incluem a geração de energia elétrica a partir de fonte incentivada de energia.

2.7.1 Cálculo da Viabilidade Segundo o PROPEE

O Módulo 7 – Cálculo da Viabilidade do PROPEE estabelece a forma de cálculo que determina se um projeto é viável e pode ser executado no âmbito do PEE (PROPEE, 2013, módulo 1). Utiliza-se essa formatação apenas como um instrumento adicional para provar a viabilidade do projeto de eficiência energética, procedendo pelas adaptações necessárias para a adequação das necessidades de projeto, visto que o objeto de estudo não se propõe à submissão para a ANEEL.

A relação custo benefício (RCB) de um projeto do PEE é o principal critério para a avaliação de sua viabilidade econômica. A RCB é a avaliação *ex ante*⁴, ou seja, avaliação feita com valores estimados, quando o cálculo é feito com base na análise de campo realizada, cálculos de engenharia e avaliações de preços no mercado (PROPEE, 2013).

Para a avaliação *ex ante*, todos os valores devem ser justificados por meio de um diagnóstico energético. O diagnóstico é um relatório composto de partes mais ou menos fixas e que deve ser elaborado de maneira clara e objetiva. O relatório descreve procedimentos relativos à otimização dos usos finais de energia elétrica, bem como de possibilidades de redução de custos associados ao consumo de energia (PROCEL Indústrias, 2009). O roteiro a seguir estabelece dados básicos que devem ser informados para o projeto:

- a) identificação: título do projeto, responsável, telefone, e-mail;
- b) objetivos: principais objetivos do projeto, ressaltando aqueles vinculados a eficiência energética;
- c) descrição e detalhamento: descrição do projeto e detalhamento de suas etapas, principalmente no que se refere às ações de efficientização ou que promovam economia de energia;
- d) abrangência: mencionar todas as áreas que serão beneficiadas pelo projeto e o público-alvo que será atingido;
- e) metas e benefícios: metas de economia de energia com base nos valores verificados no diagnóstico energético e outros benefícios do projeto;
- f) prazos e custos: apresentação dos cronogramas físico e financeiros, demonstrando mês a mês quais serão as etapas e os gastos do projeto;
- g) acompanhamento: marcos que devem orientar o acompanhamento da execução do projeto (PROPEE, 2013, módulo 4).

Na sede da ADEMADAN verifica-se que quatro usos finais da edificação podem ser alvo de efficientização: iluminação, condicionamento ambiental,

⁴ *Ex ante* é uma expressão em latim que significa algo baseado em prognóstico e em suposição, sendo fundamentalmente subjetivo e estimativo.

refrigeração e fonte incentivada. Como o projeto apresenta mais de um uso final, cada um dos usos finais deve ter a sua RCB calculada. Ao final, deve ser apresentada também a RCB global do projeto.

Com o cálculo da RCB de cada uso final que se pretende efficientizar, será possível fazer uma análise em relação a cada um dos usos. Se for constatado que algum dos usos finais apresenta RCB alta de forma que poderá inviabilizar o projeto, esse uso final específico será desconsiderado do projeto, que irá seguir seu percurso normal considerando os demais.

O estudo da viabilidade pode ser feito considerando a ótica do sistema elétrico, ou seja, as economias serão valoradas pela tarifa do sistema de bandeiras tarifárias de energia. A RCB específica da fonte incentivada, porém, pode ter como referência o preço efetivamente pago pelo consumidor.

O PROPEE estabelece que os projetos devem ter relação custo benefício inferior ou igual a 0,8 se não preverem a inclusão de fonte incentivada, e inferior ou igual a 1 se preverem a inclusão de fonte incentivada.

A relação para a valoração da RCB está descrita abaixo pela Equação 3:

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

Onde:

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

BA_T é o Benefício anualizado (R\$/ano).

O cálculo da RCB deve considerar custos com equipamentos e, além disso, devem ser estimados os custos com o descarte dos equipamentos existentes e com a instalação dos equipamentos propostos. O modelo do equipamento deve ser levado em conta, já que as perdas são consideradas nos cálculos de estimativa de economia e na avaliação dos resultados do projeto. Esses são dados essenciais para o cálculo da RCB, e que permitem uma análise do projeto em todos os seus aspectos.

Para chegar ao valor da RCB, um dos cálculos que deve ser feito é o custo anualizado, que considera o valor gasto por ano com o equipamento, para cada ano que ele estiver em funcionamento após a sua instalação. Sendo assim, todos os

equipamentos orçados devem apresentar certificado de vida útil, a fim de que se possa estimar o seu tempo total de uso (ANEEL, 2008).

2.7.2 Cálculo da Viabilidade Considerando o PAYBACK

Na prática, a metodologia mais utilizada para avaliar investimentos em eficiência energética é o *payback* simples. Entretanto, o *payback* simples apresenta uma falha: não considera a taxa de juros (GEDRA, 2009). Por isso o Valor Presente Líquido – VLP, e a Taxa Interna de Retorno – TIR são os métodos mais efetivos para avaliar os investimentos (BRIEZMA e SAN CRISTOBAL, 2006).

Segundo Mesquita (2016), o *payback* é o tempo de retorno desde o investimento inicial até aquele momento em que os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor desse investimento, e oferece uma ideia do nível de liquidez do negócio e do nível de risco que ele envolve.

O cálculo relaciona o investimento inicial do projeto, envolvendo todos os seus custos relacionados, e o resultado mensal de economia que o projeto irá proporcionar. No caso do projeto proposto como conclusão do objeto do presente estudo, esse resultado mensal será a redução mensal da conta de luz do prédio da ADEMADAN.

O cálculo do *payback* é mostrado na Equação 4:

$$PB (\textit{payback}) = \frac{\textit{investimento inicial}}{\textit{resultado médio do fluxo de caixa}} \quad (4)$$

2.7.3 Cálculo da Viabilidade Considerando o VPL

Sobre o valor presente líquido, Gedra (2009) define que é calculado para se determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros pré-definida, menos os custos do investimento inicial. Resumidamente, é o cálculo que define quanto às receitas e pagamentos futuros, somados ao custo inicial, estariam valendo atualmente.

Gedra (2009) ainda destaca que é possível fazer relação entre aplicar o dinheiro (considerando o conceito de valor do dinheiro no tempo) na realização do projeto ou em uma aplicação financeira, por exemplo. A Equação 5 apresenta o cálculo do VPL:

$$VPL = -Civ + \sum_{t=1}^T \frac{FCt}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Onde:

Civ é o custo de investimento;

FC é o fluxo de caixa do período t ;

t é o número de períodos em que foi determinado o fluxo de caixa;

i é a taxa de juros;

T é o período total do fluxo de caixa.

Segundo Lapponi (1996), o critério para análise do VPL estabelece que, enquanto o valor presente das entradas for maior que o valor presente das saídas, o qual foi calculado considerando uma taxa de juros k , o projeto pode ser aceito. Ou seja, se $VPL > 0$, o projeto deve ser aceito; se $VPL = 0$ é indiferente realizar o investimento ou não; e se $VPL < 0$ o projeto não deve ser aceito.

2.7.4 Cálculo da Viabilidade Considerando o TIR

Ainda, segundo Gedra (2009), a taxa interna de retorno é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa. O autor ainda destaca que em uma análise de investimentos, a TIR significa a taxa de retorno de um projeto, ou seja, é a taxa que anula o VPL.

A Equação 6 mostra o cálculo do TIR:

$$0 = -Civ + \sum_{t=1}^T \frac{FCt}{(1+i)^t} \quad (6)$$

Onde:

Civ é o custo de investimento;

FC é o fluxo de caixa do período t ;

t é o número de períodos em que foi determinado o fluxo de caixa;

i é a taxa de juros;

T é o período total do fluxo de caixa.

Segundo Lapponi (1996), o critério para análise do TIR estabelece que, enquanto o valor da TIR for maior que o valor do custo de capital k , o projeto pode ser aceito. Ou seja, se $TIR > k$, o projeto pode ser aceito; se $TIR = 0$, é indiferente realizar o investimento ou não; e se $TIR < k$, o projeto não deve ser aceito.

Para todas as formas de cálculo de viabilidade do projeto, consideram-se valores de custo de equipamentos e serviços encontrados com base em uma pesquisa de mercado. A pesquisa de mercado permite chegar a uma estimativa de preços de todos os equipamentos e serviços necessários para a execução do projeto.

3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A partir da abordagem em campo dos espaços disponíveis para a alocação do sistema fotovoltaico na Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina verificou-se duas posições. A primeira localizada em ponto privilegiado quando se analisa a irradiação solar média anual ou a disponibilidade de espaço sem, contudo, descaracterizar elementos históricos preservados (como a fachada ou suas laterais), conforme as Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Visão lateral da Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina



Fonte – OS AUTORES (2016).

Figura 12 – Visão frontal da Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina



Fonte – ADEMADAN (2016).

É importante salientar que durante a pesquisa informal com o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), na superintendência do Paraná, não foram identificadas objeções ao projeto e sua instalação, desde que em acordo com a harmonia da fachada e das projeções laterais. A manifestação formal do IPHAN somente poderá ocorrer em decorrência da execução efetiva do projeto, o que não se verifica na fase de estudo ou projeto.

Os dois espaços possíveis para a instalações dos painéis fotovoltaicos são, em primeiro, o telhado de zinco na parte superior da construção com face leste e oeste, e o segundo, a face norte localizada na retaguarda do edifício conforme a Figura 13.

Figura13 – Face norte da Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina



Fonte – ADEMADAN (2016).

A face norte ou retaguarda do edifício já dispõe de um arranjo mais baixo da cobertura para a possível alocação dos painéis fotovoltaicos. Neste caso a estrutura possui uma largura de 2,12 m por um comprimento de 12,72 m. Os reforços laterais das estruturas foram realizados em tijolo maciço em três paredes que podem servir de sustentação para o telhado.

Na execução do projeto uma base metálica em aço galvanizado deverá ser adicionada a fim de evitar flexões no madeirame. O telhado rebaixado está posicionado como meia água a 22° de inclinação em relação à incidência solar.

Nesse contexto optou-se por desenvolver toda a técnica com base no rebaixamento do telhado verificado na retaguarda do prédio, uma vez que duas características privilegiam o local em relação à cobertura de zinco.

A primeira característica diz respeito ao uso do telhado verde localizado na lateral em com vista para os painéis e que pode ser utilizado como meio didático para a comunidade realizar projetos de educação ambiental. Em segundo o telhado está inclinado em relação ao norte, face com os melhores índices de irradiação solar média ao longo do ano, ponto que garante melhor aproveitamento e desempenho dos painéis solares.

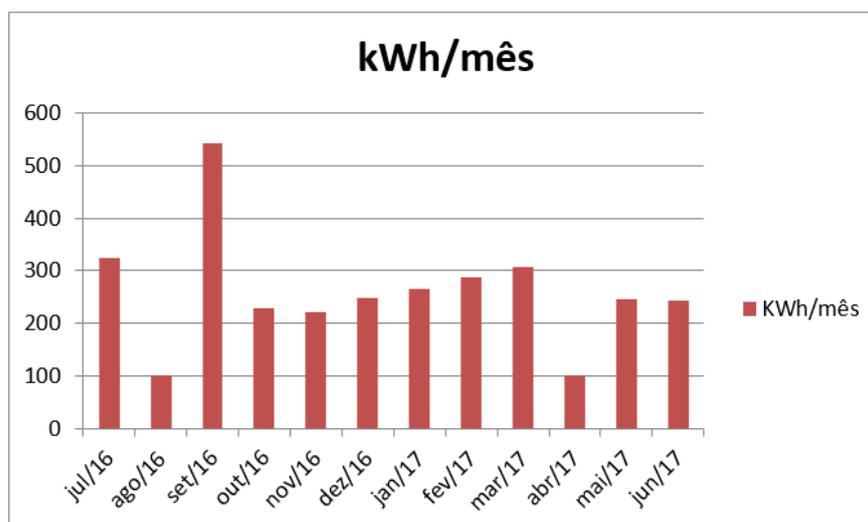
3.1 INDICADORES DE CONSUMO DA FATURA

Para a determinação da potência nominal do conjunto de módulos (P_N), conforme a equação 2, é preciso relacionar o consumo médio mensal do edifício. Desta forma, foram levantados, por meio da fatura de energia elétrica, os valores de consumo mensal em kWh. A fatura de energia elétrica disponibiliza a energia elétrica mensal consumida no último ano pelo edifício, relacionado como o parâmetro E_{CA} da equação 2.

Como o projeto não se baseia no histórico de consumo superior a um ano, a análise se dará pelo consumo médio mensal dos últimos 12 meses observado na fatura de energia. Nesse contexto adiante, no estudo, será realizado um comparativo entre o pico de consumo e a geração média anual prevista e de projeto. Os parâmetros de entrada para a determinação da geração média anual prevista do conjunto módulos estão relacionados no Gráfico 1 e na Tabela 2.

Adianta-se que ao longo do tempo o perfil do consumidor pode mudar em decorrência do aumento do consumo médio mensal, seja pela instalação de novos equipamentos ou reformas. Neste caso deverá ser revisto o projeto do conjunto de módulos à luz dos novos dados de entrada, e, se necessário, realizar uma repotencialização do sistema.

Gráfico1 – Perfil do consumo médio mensal de energia elétrica do edifício



Fonte – OS AUTORES (2017).

Tabela 2 – Perfil do consumo médio mensal de energia elétrica do edifício

Mês	Jan/17	Fev/17	Mar/17	Abr/17	Mai/17	Jun/17	Jul/16	Ago/16	Set/16	Out/16	Nov/16	Dez/16
Consumo (kWh)	266	286	308	100	245	242	325	100	542	228	222	247
Consumo médio (kWh/mês)	259,25		Consumo médio (kWh/dia)			8,52		Consumo médio (kWh/hora)			0,355	

Fonte – OS AUTORES (2017).

3.2 IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA ANUAL

A irradiação total incidente sobre a superfície dos painéis é informação necessária para poder determinar o número de módulos do conjunto fotovoltaico e sua potência nominal. Na equação 2 a irradiação solar média anual ou global efetiva incidente em uma superfície é dada pelo parâmetro H_t em kWh/m^2 .

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Atlas Brasileiro de Energia Solar, disponibiliza dados sobre a irradiação solar coletados por meio de histogramas de frequência em imagens de satélite e a Rede Sonda com equipamentos que registram a incidência horizontal e no plano inclinado dos raios solares (PEREIRA et al., 2017) em diversos pontos no território nacional.

Os dados de irradiação solar média estão disponíveis em formato *Data Base File* (.dbf) vinculado a um arquivo vetor em *Shapefile* (.shp) para todo o Brasil no sítio do INPE. Para o tratamento dos dados e a identificação do ponto geográfico de coleta dos dados para o estudo utilizou-se um GPS modelo GPSmap 78s GARMIN, conforme a figura 14.

O datum horizontal e o sistema de projeção aplicados no georreferenciamento estão de acordo com a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, denominado SIRGAS 2000 e Universal Transversa de Mercator (UTM) respectivamente. As coordenadas coletadas e campo são 730.187,25 Me e 7.185.408,89 mS, Zona 22J.

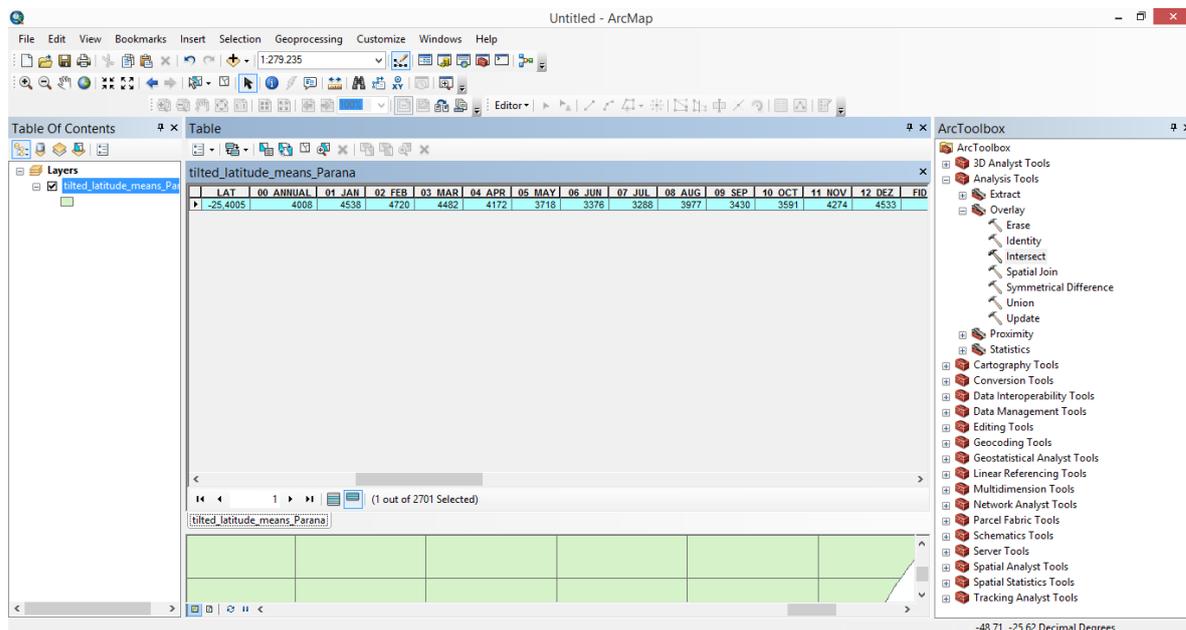
Figura14 - GPS utilizado para o georreferenciamento do edifício



Fonte – GARMIN (2017).

Para o posicionamento das coordenadas geográficas e a precisa determinação da irradiação média anual confeccionou-se a Carta de Irradiação Solar Média Anual no Estado do Paraná a partir dos dados disponibilizados em extensão *Shapefile* e por meio do *software* ArcMap 10.2.2 do pacote ArcGIS 10.2.2 licenciado pela Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina em parceria com o Laboratório de Solos (LABS) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A Carta está disponível no Apêndice A.

Figura 15 – Tela inicial do software ArcMap 10.2.2 durante a confecção da carta de irradiação solar média anual



Fonte – OS AUTORES (2017).

As coordenadas foram posicionadas na Carta de Irradiação Solar Média Anual do Estado do Paraná e por meio de um *Buffer* e da ferramenta *Intersect* da extensão ArcToolbox foi possível determinar no *Data Base File* (Figura 16), qual a irradiação solar média mensal e anual no edifício da Associação. Os dados coletados pertencem ao *overlay* no plano horizontal, o que requer correções caso exista inclinação ou desvio do norte geográfico do telhado escolhido para a instalação dos módulos.

Segundo Pereira et al. (2017) a irradiação direta horizontal incidente na superfície é componente da irradiação solar difusa somada à irradiação direta e é estimada considerando que a absorção de radiação e o espalhamento solar pelas nuvens é mínimo. Neste caso considera-se que o espalhamento é causado pela transmitância atmosférica em céu claro.

Figura 16 – Data base file da região de interesse das informações sobre a irradiação média no plano horizontal

FID	global	ID	COUNTRY	LOU	LAT	09 ANNUAL	01 JAN	02 FEB	03 MAR	04 APR	05 MAY	06 JUN	07 JUL	08 AUG	09 SEP	10 OCT	11 NOV	12 DEZ	FID	Unidad	OBJECTID	AREA	KM2
4173	4173	Brasil	-50,549	-25,4005	4333	5518	5253	4634	3676	3093	2700	2969	3965	4099	4655	5561	4703	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4174	4174	Brasil	-50,549	-25,4005	4353	5569	5255	4674	3929	3121	2716	2977	3976	4054	4674	5574	5710	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4175	4175	Brasil	-50,549	-25,4005	4363	5548	5306	4677	3938	3121	2742	2993	3996	4066	4680	5585	5717	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4176	4176	Brasil	-50,549	-25,4005	4356	5525	5302	4680	3930	3112	2750	2962	3991	4090	4699	5556	5711	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4177	4177	Brasil	-50,149	-25,4005	4382	5572	5360	4706	3942	3108	2778	3014	4066	4075	4692	5566	5743	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4178	4178	Brasil	-50,049	-25,4005	4372	5573	5330	4688	3922	3119	2793	2998	4062	4075	4670	5523	5774	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4179	4179	Brasil	-49,949	-25,4005	4360	5527	5291	4681	3924	3126	2908	3005	4007	4067	4647	5469	5763	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4180	4180	Brasil	-49,949	-25,4005	4343	5453	5258	4673	3914	3102	2905	3013	3998	4063	4628	5461	5748	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4180	4180	Brasil	-49,949	-25,4005	4343	5453	5258	4673	3914	3102	2905	3013	3998	4063	4628	5461	5748	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4181	4181	Brasil	-49,749	-25,4005	4264	5388	5158	4629	3848	3062	2726	2925	3919	3985	4527	5383	5620	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4181	4181	Brasil	-49,749	-25,4005	4264	5388	5158	4629	3848	3062	2726	2925	3919	3985	4527	5383	5620	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4181	4181	Brasil	-49,749	-25,4005	4264	5388	5158	4629	3848	3062	2726	2925	3919	3985	4527	5383	5620	20	21	18100,470158	ALTO TBA		
4182	4182	Brasil	-49,649	-25,4005	4184	5316	5132	4592	3793	3003	2636	2843	3839	3869	4392	5269	5529	14	15	9736,17329	ALTO IGUA		
4182	4182	Brasil	-49,649	-25,4005	4184	5316	5132	4592	3793	3003	2636	2843	3839	3869	4392	5269	5529	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4183	4183	Brasil	-49,549	-25,4005	4190	5288	5181	4570	3779	3004	2641	2858	3845	3874	4416	5267	5561	1	2	2329,660804	Corpos d'A		
4183	4183	Brasil	-49,549	-25,4005	4190	5288	5181	4570	3779	3004	2641	2858	3845	3874	4416	5267	5561	14	15	9736,17329	ALTO IGUA		
4183	4183	Brasil	-49,549	-25,4005	4190	5288	5181	4570	3779	3004	2641	2858	3845	3874	4416	5267	5561	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4184	4184	Brasil	-49,449	-25,4005	4211	5300	5193	4581	3793	3021	2691	2883	3862	3876	4418	5306	5594	14	15	9736,17329	ALTO IGUA		
4184	4184	Brasil	-49,449	-25,4005	4211	5300	5193	4581	3793	3021	2691	2883	3862	3876	4418	5306	5594	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4185	4185	Brasil	-49,349	-25,4005	4214	5313	5175	4567	3790	3046	2735	2901	3893	3864	4409	5286	5593	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4186	4186	Brasil	-49,249	-25,4005	4194	5318	5150	4536	3782	3047	2758	2892	3864	3930	4359	5239	5557	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4187	4187	Brasil	-49,149	-25,4005	4176	5309	5149	4499	3771	3039	2738	2890	3830	3794	4341	5205	5559	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4188	4188	Brasil	-49,049	-25,4005	4165	5319	5141	4487	3734	3038	2711	2877	3798	3785	4358	5188	5547	4	5	5634,95952	LITORANEZ		
4188	4188	Brasil	-49,049	-25,4005	4165	5319	5141	4487	3734	3038	2711	2877	3798	3785	4358	5188	5547	14	15	9736,17329	ALTO IGUA		
4189	4189	Brasil	-49,049	-25,4005	4165	5319	5141	4487	3734	3038	2711	2877	3798	3785	4358	5188	5547	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4189	4189	Brasil	-48,949	-25,4005	4024	5158	4982	4358	3649	2999	2676	2805	3654	3613	4132	4935	5332	4	5	5634,95952	LITORANEZ		
4189	4189	Brasil	-48,949	-25,4005	4024	5158	4982	4358	3649	2999	2676	2805	3654	3613	4132	4935	5332	14	15	9736,17329	ALTO IGUA		
4189	4189	Brasil	-48,949	-25,4005	4024	5158	4982	4358	3649	2999	2676	2805	3654	3613	4132	4935	5332	15	16	10289,972198	ALTO IGUA		
4190	4190	Brasil	-48,849	-25,4005	3985	4980	4828	4209	3550	2920	2500	2638	3380	3233	3697	4585	5057	4	5	5634,95952	LITORANEZ		
4191	4191	Brasil	-48,749	-25,4005	3825	5038	4924	4288	3609	2956	2571	2570	3318	3209	3671	4641	5106	1	2	2329,660804	Corpos d'A		
4191	4191	Brasil	-48,749	-25,4005	3825	5038	4924	4288	3609	2956	2571	2570	3318	3209	3671	4641	5106	2	3	1064,041356	Ibaes		
4191	4191	Brasil	-48,749	-25,4005	3825	5038	4924	4288	3609	2956	2571	2570	3318	3209	3671	4641	5106	4	5	5634,95952	LITORANEZ		
4192	4192	Brasil	-48,649	-25,4005	3889	5177	5131	4372	3658	2986	2592	2567	3287	3236	3694	4735	5238	1	2	2329,660804	Corpos d'A		
4192	4192	Brasil	-48,649	-25,4005	3889	5177	5131	4372	3658	2986	2592	2567	3287	3236	3694	4735	5238	2	3	1064,041356	Ibaes		
4192	4192	Brasil	-48,649	-25,4005	3889	5177	5131	4372	3658	2986	2592	2567	3287	3236	3694	4735	5238	4	5	5634,95952	LITORANEZ		
4193	4193	Brasil	-48,549	-25,4005	3832	5193	5086	4270	3582	2941	2546	2546	3259	3235	3175	3601	4645	1	2	2329,660804	Corpos d'A		
4194	4194	Brasil	-48,449	-25,4005	3928	5344	5245	4376	3646	2984	2554	2542	3259	3267	3747	4798	5379	1	2	2329,660804	Corpos d'A		
4194	4194	Brasil	-48,449	-25,4005	3928	5344	5245	4376	3646	2984	2554	2542	3259	3267	3747	4798	5379	2	3	1064,041356	Ibaes		
4194	4194	Brasil	-48,449	-25,4005	3928	5344	5245	4376	3646	2984	2554	2542	3259	3267	3747	4798	5379	4	5	5634,95952	LITORANEZ		
4195	4195	Brasil	-48,349	-25,4005	3985	5450	5327	4472	3714	3021	2564	2539	3243	3332	3815	4885	5456	1	2	2329,660804	Corpos d'A		
4195	4195	Brasil	-48,349	-25,4005	3985	5450	5327	4472	3714	3021	2564	2539	3243	3332	3815	4885	5456	2	3	1064,041356	Ibaes		
4195	4195	Brasil	-48,349	-25,4005	3985	5450	5327	4472	3714	3021	2564	2539	3243	3332	3815	4885	5456	4	5	5634,95952	LITORANEZ		
4196	4196	Brasil	-48,249	-25,4005	3918	5410	5249	4363	3638	2981	2504	2500	3169	3266	3724	4828	5404	1	2	2329,660804	Corpos d'A		

Fonte – Pereira et al, 2017.

Tabela 3 – Irradiação média anual e mensal no plano horizontal no local de instalações dos módulos fotovoltaicos no edifício em kWh/m².dia

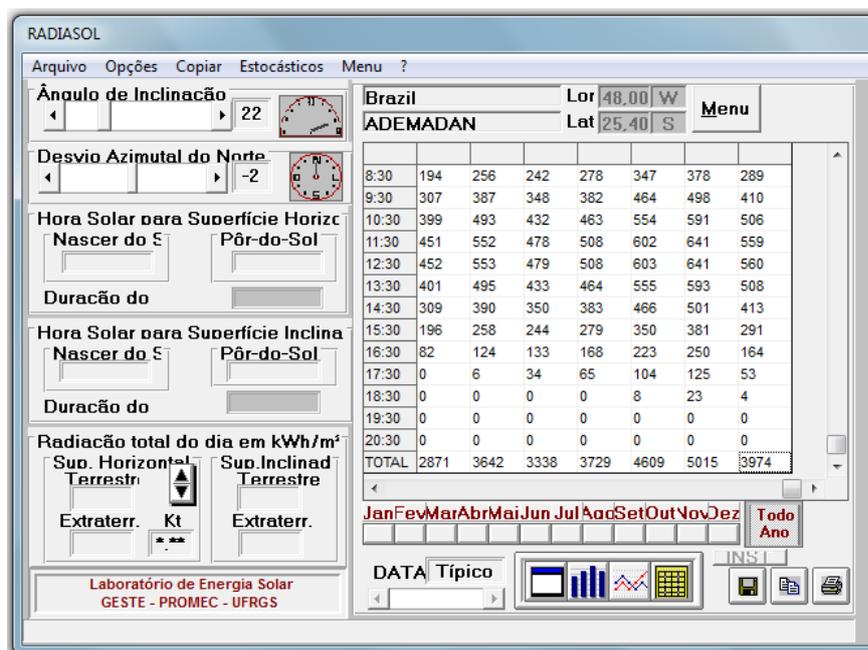
Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3,8250	5,038	4,924	4,288	3,609	2,956	2,571	2,570	3,318	3,209	3,671	4,641	5,106

Fonte – Pereira et al, 2017.

Os dados no plano horizontal devem ser corrigidos para a instalação dos módulos no telhado com inclinação de 22° em relação ao plano e um desvio em relação ao norte geográfico de -2,08°. O desvio foi calculado por meio da extensão Sextante 0.6 disponibilizado gratuitamente pelo Grupo OADE para o software ArcMap 10.2.2, com base na camada topográfica em extensão *Shapefile* da construção da Associação e disponível no Anexo A.

A correção dos dados para a inclinação dos módulos em relação ao plano horizontal e o desvio do norte geográfico foi realizada no software RadiSol disponível gratuitamente pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para tal criou-se a estação ADEMADAN, conforme a Figura 17. Os dados de irradiação corrigidos estão relacionados na tabela 4.

Figura 17 – Tela de entrada dos dados corrigidos no Radiasol



Fonte – OS AUTORES (2017).

Tabela 4 – Irradiação média anual e mensal no plano da cobertura da edificação em kWh/m².dia

Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3,974	4,968	4,937	4,453	3,894	3,307	2,925	2,871	3,642	3,338	3,729	4,609	5,015

Fonte – OS AUTORES (2017).

3.3 POTÊNCIA NOMINAL DO CONJUNTO

Para determinação da potência nominal do sistema fotovoltaico foi considerado o consumo médio mensal, que determina a quantidade de energia que se deseja gerar. Segundo ANEEL (2008) o consumo apresentado na tarifa de energia elétrica integra o consumo mínimo de 50 kWh (unidades bifásicas), assim, deve-se desconsiderar esse valor para determinação da potência nominal. Desta forma, o consumo médio mensal é de 209,25 kWh, e a energia elétrica diária gerada estimada foi calculada por meio da equação 7.

$$E_{diária} = \frac{P_{média} \cdot 12}{365} \quad (7)$$

Onde:

- $E_{diária}$ é a energia elétrica diária gerada estimada;
- $P_{média}$ é o consumo médio descontado o custo de disponibilidade;
- 12 é a quantidade de meses em um ano;
- 365 é o total de dias em um ano.

$$E_{diária} = \frac{209,25 \cdot 12}{365} = 6,879 \text{ kWh}$$

A potência nominal do conjunto pode ser determinada por meio do parâmetro P_N da equação 2 em quilowatt-pico (kWp), unidade padrão para a escolha do módulo fotovoltaico a ser utilizado no projeto. Para tanto se arbitrou o desempenho global do sistema de 75% da energia anual gerada pelo conjunto, foi considerado que os módulos operam com irradiação suficiente para que ele gere em sua potência nominal ($G=1\text{kW}/\text{m}^2$), e para o fator de perdas por sombreamento foi utilizado fator 1, ou seja, essas perdas foram desconsideradas para a realização do cálculo.

$$P_{SFV} = \frac{E_{diária} \cdot G}{H_t \cdot P_R \cdot F_S} = \frac{6,879 \cdot 1}{3,974 \cdot 0,75 \cdot 1}$$

$$P_{SFV} = 2,308 \text{ kWp}$$

Desta forma obteve-se a potência nominal do conjunto a ser gerada diariamente para o perfil de consumo verificado nos indicadores de desempenho da fatura do edifício.

3.4 ÁREA PARA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS

A área necessária para instalação é calculada a partir da potência fotovoltaica obtida em 3.3, e foi determinada conforme a equação 8 (Marinosk, Salamoni e Rüter, 2004).

$$A = \frac{P_{SFV}}{E_{FF}} \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:

- A é a área;
- P_{SFV} é a potência nominal do conjunto;
- E_{FF} é a eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica adotada.

O módulo escolhido é modelo Canadian CS6K-270p, cuja eficiência de conversão é de 16,5%. Assim, a área de instalação mínima é de 14 m² e a instalação no telhado proposto é viável, pois a área disponível no mesmo é de 16m².

3.5 NÚMERO DE MÓDULO A SEREM INSTALADOS

O número de módulos é dado pelo quociente entre a potência nominal média do conjunto fotovoltaico e a potência nominal de cada módulo. Para o módulo de 0,270 kWp adotado no dimensionamento tem-se um número de módulos igual a 9, com uma potência nominal do conjunto de 2,430 kWp.

$$N_{Módulos} = \frac{P_{SFV}}{P_{Módulo}} \quad (9)$$

$$N_{Módulos} = \frac{2,308 \text{ k}}{270} = 8,54 \rightarrow 9 \text{ módulos}$$

3.6 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inversor escolhido para este projeto é o SMA Sunny Boy 2.5. A conexão dos módulos deve ser em série, sendo assim, será uma série de nove módulos. O número de módulos ligados em série é determinado de acordo com a tensão máxima admissível na entrada do inversor, e Villalva e Gazolli (2013) recomendam que a tensão calculada esteja 10% abaixo das tensões especificadas do inversor, pois variações de temperatura alteram a tensão de saída dos módulos.

Figura 18 - Datasheet do módulo Canadian CS6K-270

ELECTRICAL DATA STC*				
CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W	275 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V	31.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A	9.45 A
Module Efficiency	15.88%	16.19%	16.50%	16.80%
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.

Fonte: <http://www.nanosun.cz>

Figura 19 - Datasheet do inversor SMA Sunny Boy 2.5

Technical Data	Sunny Boy 1.5	Sunny Boy 2.5
Input (DC)		
Max. DC power (at $\cos \phi = 1$)	1600 W	2650 W
Max. input voltage	600 V	600 V
MPP voltage range	160 V to 500 V	260 V to 500 V
Rated input voltage	360 V	360 V
Min. input voltage / initial input voltage	50 V / 80 V	50 V / 80 V
Max. input current	10 A	10 A
Max. input current per string	10 A	10 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	1 / 1	1 / 1
Output (AC)		
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	1500 W	2500 W
Max. apparent AC power	1500 VA	2500 VA
Nominal AC voltage	220 V / 230 V / 240 V	220 V / 230 V / 240 V
Nominal AC voltage range	180 V to 280 V	180 V to 280 V
AC power frequency/range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz to +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz to +5 Hz
Rated power frequency/rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	7 A	11 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited to 0.8 underexcited	
Feed-in phases/connection phases	1 / 1	1 / 1
Efficiency		
Max. efficiency / European weighted efficiency	97.2 % / 96.1 %	97.2 % / 96.7 %

Fonte: <http://napelem.net>

Após a escolha do modelo dos módulos e do inversor, foi possível verificar se o inversor atendia os requisitos solicitados pelo painel para que não houvesse dano ao inversor.

Inicialmente foi feita a verificação da tensão contínua máxima na entrada que o inversor deve suportar. Villalva e Gazoli (2013) ressaltam que a entrada do inversor é considerada o ponto de conexão deste com o conjunto de módulos fotovoltaicos.

A tensão máxima está relacionada com a tensão de circuito aberto dos módulos, presente em seus terminais quando não há circulação de corrente elétrica. Desta maneira, o limite máximo de tensão deve ser respeitado, devido ao risco de

danos aos componentes do equipamento, tem seu cálculo apresentado na equação 10.

$$V_{m\acute{a}x} = N_{m\acute{o}dulos} \cdot V_{oc} \quad (10)$$

Onde:

- $V_{m\acute{a}x}$ é a tensão máxima que o inversor deve suportar;
- $N_{m\acute{o}dulos}$ é o número de módulos definido;
- V_{oc} é a tensão de circuito aberto de cada módulo.

Assim:

$$V_{m\acute{a}x} = 9.37,9 = 341,1 \text{ V} < 600 \text{ V}$$

Como a tensão máxima do painel é menor do que a tensão máxima de entrada do inversor, o modelo escolhido atende ao requisito de tensão máxima.

Em seguida, por meio da equação 11, foi verificada a máxima tensão de operação dos módulos. A faixa de tensão de MPP indica que o ponto de máxima potência está contido nesse *range*. Esta é a importância em ser verificado se esse parâmetro é atendido, pois o inversor poderá maximizar a produção de energia dos módulos (Villalva e Gazoli, 2013).

$$V_{MPP} = N_{m\acute{o}dulos} \cdot V_{MPP/M\acute{o}dulo} \quad (11)$$

$$V_{MPP} = 9.30,8 = 277,2 \text{ V} \rightarrow 260 \text{ V} < 277,2 \text{ V} < 500 \text{ V}$$

Segundo Villalva e Gazoli (2013) a tensão máxima de operação dos módulos deve estar entre a faixa útil de tensão indicada pelo fabricante (valores de tensão de entrada no qual o inversor consegue operar), assim o inversor também atende a este requisito.

O próximo parâmetro verificado foi a corrente máxima do circuito (equação 12):

$$I_{m\acute{a}x} = N_{fileiras} \cdot I_{cc} \quad (12)$$

Onde:

- $I_{m\acute{a}x}$ é a corrente máxima do circuito que o inversor deve suportar;
- $N_{fileiras}$ é o número de fileiras série;
- I_{cc} é a corrente de curto circuito.

$$I_{m\acute{a}x} = 1.9,32 = 9,32 A < 10 A$$

A corrente máxima permitida para o inversor é maior do que a corrente máxima da junção dos módulos, desta forma, o inversor se apresenta adequado, também neste parâmetro.

Por fim, foi feita a verificação da máxima potência a qual o inversor resiste sem que haja dano. O inversor deve ser especificado para uma potência igual ou superior à potência de pico do conjunto de módulos (Villalva e Gazoli, 2013).

$$P_{SFV} = N_{Módulos} \cdot P_{Módulo} \quad (13)$$

Onde:

- P_{SFV} é a potência do SFVCR;
- $N_{módulos}$ é o número de módulos definido;
- $P_{módulo}$ é a potência de cada módulo.

$$P_{SFV} = 9.270 = 2,43 kWp < 2,65 kWp$$

Verifica-se que a potência máxima do inversor é maior do que a potência máxima do sistema de módulos, sendo assim, o inversor se mostra adequado para esse painel.

3.7 DIMENSIONAMENTO DO CONDUTOR

A dimensão da seção transversal dos cabos considerando um sistema bifásico requer conhecer conceitos relacionados ao conjunto fotovoltaico. A equação 14 é a

relação capaz de determinar a seção mínima dos condutores a serem utilizados no projeto.

$$S_{cond} = \frac{2.l.P.0,0178}{\Delta V.V^2} . 100 \quad (14)$$

Onde:

- S_{cond} é a seção transversal dos cabos em mm^2 ;
- l é o comprimento do condutor em m ;
- P é a potência nominal do conjunto em W ;
- ΔV é a queda de tensão considerada;
- V é a máxima tensão de operação;
- 0.0178 é a resistividade do cobre.

Admitindo-se uma queda de tensão máxima de 4%, tanto no lado CC quanto no lado CA, e comprimento de 15 m de condutores no lado CC e 20 m no lado CA, tem-se:

$$S_{cond_CC} = \frac{2.15.2430.0,0178}{4.277,2^2} . 100 = 0,4221 \text{ mm}^2$$

$$S_{cond_CA} = \frac{2.20.2430.0,0178}{4.220^2} . 100 = 0,8937 \text{ mm}^2$$

Por mais que os cálculos tenham determinado seções menores de 1 mm^2 a ABNT (2004) determina que a seção dos condutores de fase, em circuitos de corrente alternada, e dos condutores vivos, em circuitos de corrente contínua, não deve ser inferior $2,5 \text{ mm}^2$ para condutores de cobre. Desta forma, a seção mínima dos condutores, tanto para corrente contínua, quanto para corrente alternada será de $2,5 \text{ mm}^2$.

3.8 DISJUNTOR

O disjuntor recomendado para o sistema proposto é o de 10 A, visto que a corrente máxima do inversor é de 10 A e a corrente máxima do conjunto de módulos é de 9,32 A.

3.9 ENERGIA ELÉTRICA GERADA ESTIMADA ANUAL E MENSALMENTE

Considerando um conjunto de nove módulos fotovoltaicos para atender o perfil de consumo do edifício e cada um com máxima potência de 0,27 kWp, totalizando uma potência nominal do conjunto (P_{SFV}) de 2,43 kWp, pode-se estimar a energia elétrica gerada diária, mensal e anual (E_{CA}). Os dados de entrada para a equação 2 para estimar a energia gerada encontram-se na tabela 3, ou seja, a irradiação média anual corrigida em kWh/m² (H_t), e para um fator de perdas por sombreamento unitário (F_s) arbitrou-se um fator de desempenho global do sistema de 75% (P_R). Esse parâmetro é utilizado posteriormente nos cálculos de viabilidade econômica, disponíveis no Apêndice B deste trabalho.

$$E_{diária} = 2,43 \text{ k} \cdot \frac{3,974}{1} \cdot 0,75 \cdot 1 = 7,2426 \text{ kWh/dia}$$

$$E_{mensal} = \frac{E_{diária} \cdot 365}{12} = 220,30 \text{ kWh/mês}$$

$$E_{anual} = E_{diária} \cdot 365 = 2643,55 \text{ kWh/ano}$$

A Tabela 6 relaciona a energia elétrica gerada estimada anual e estratificada mensalmente de acordo com a irradiação de cada mês do conjunto definido para atender o consumo do edifício.

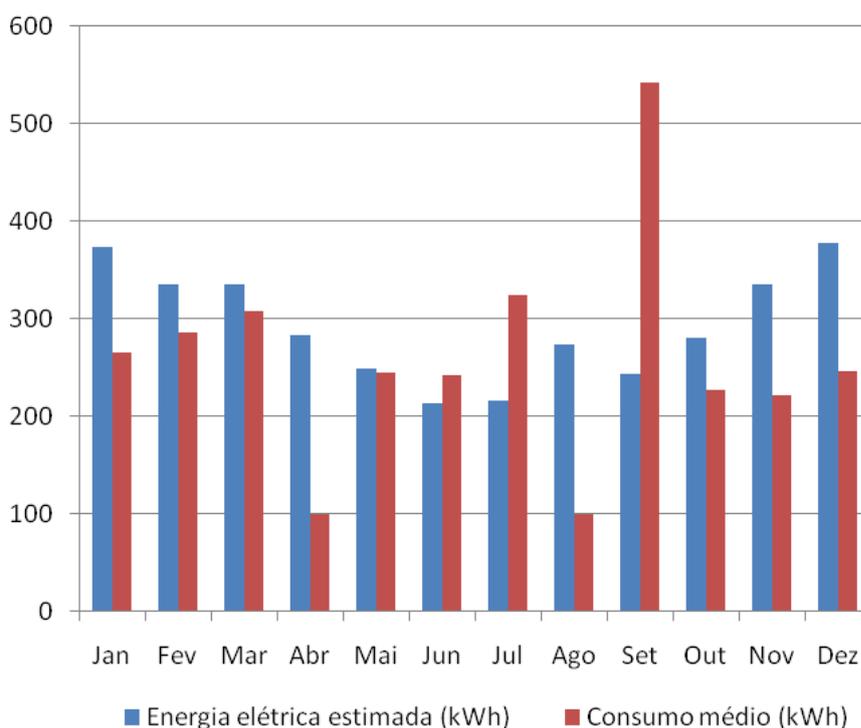
Tabela 5 – Energia elétrica gerada estimada pelo conjunto fotovoltaico do edifício em kWh/mês

Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3520,24	374,24	335,91	335,44	283,87	249,12	213,23	216,27	274,25	243,24	280,90	335,99	377,78

Fonte: OS AUTORES (2017)

Relacionando os dados da tabela 6 com o consumo identificado na fatura de energia elétrica do edifício representado na Tabela 2 e no Gráfico 2, conclui-se que nos meses de junho, julho e setembro o sistema fotovoltaico não supre integralmente o perfil de consumo, e o sistema de compensação do SFVCR será utilizado.

Gráfico 2 – Comparação entre a energia elétrica gerada estimada e o consumo médio do edifício



Fonte – OS AUTORES (2017).

A partir do Gráfico 2, pode-se perceber que a energia elétrica gerada é, em média, maior do que a consumida durante o ano. Isso se deve a quantidade de módulos obtida a partir da equação 9, que resultou em oito ou nove módulos. Como foi definido para este projeto a utilização de nove módulos, o painel irá gerar mais do que a demanda do consumidor, o que permite futuras expansões na Associação.

É possível que em alguns meses o resultado da geração estimada esteja abaixo da energia necessária para suprir integralmente o edifício. Isto decorre do método utilizado para o dimensionamento, ou seja, o valor da potência nominal do conjunto foi determinado com base na média da potência nominal mensal disponível na Tabela 4, mas para esses meses o sistema de compensação irá suprir as necessidades deste consumidor.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE EFICIENTIZAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No item 2.7 foram mostrados os diferentes procedimentos que serão adotados para provar, matematicamente, a viabilidade econômica do projeto proposto. Neste capítulo serão apresentados os resultados finais encontrados, assim como o descritivo de todos os cálculos realizados.

Resumidamente, através de dados obtidos com as análises de campo, cálculos de engenharia e avaliação de preços no mercado, foi possível estimar a economia de energia e o valor do investimento (através de orçamentos). Com os valores aproximados de economia de energia e investimento, foi possível obter os resultados finais relacionados à viabilidade do projeto.

4.1 LEVANTAMENTO EM CAMPO

Na primeira visita à sede da ADEMADAN em Antonina, foi realizado o levantamento de campo de toda a edificação. Através dessa análise feita em campo, foi possível avaliar o sistema existente, os equipamentos de uso final de energia elétrica e as características técnicas que o compõe.

A seguir o levantamento realizado, organizado de acordo com os tipos de equipamentos:

- i. Sistema de Iluminação 1: 4 lâmpadas tubulares fluorescentes de 32W;
- ii. Sistema de Iluminação 2: 14 lâmpadas compactas fluorescentes de 20W;
- iii. Sistema de Iluminação 3: 4 lâmpadas compactas fluorescentes de 59W;
- iv. Sistema de Iluminação 4: 1 lâmpada compacta fluorescente de 85W;
- v. Sistema de Iluminação 8: 7 refletores alógenos de 75W;
- vi. Sistema de Iluminação 5: 4 lâmpadas de LED bulbo de 8W;
- vii. Sistema de Iluminação 6: 2 lâmpadas de LED ovóides de 15W;
- viii. Sistema de Iluminação 7: 4 lâmpadas de LED tubulares de 18W;
- ix. Condicionamento Ambiental: 1 ar condicionado *Split* Consul CBY12BBBNA, série ME1400838, 12.000 BTU/h e coeficiente de eficiência igual a 3,07;

- x. Refrigeração 1: Freezer Consul modelo CHB42DBANA com consumo de 93,6 kWh/mês e volume 404L.
- xi. Refrigeração 2: Geladeira Gelopar modelo GTPC-575 com consumo de 205,92 kWh/mês e volume 577L.
- xii. Refrigeração 3: Geladeira Electrolux modelo DC34A com consumo de 76,80 kWh/mês e volume 207L.

4.2 SUBSTITUIÇÕES PROPOSTAS

A eficiência energética de um aparelho, em especial aqueles que utilizam energia elétrica, é medida pela parcela de perdas para o meio ambiente que ele apresenta durante algum processo de transformação de energia (INEE, 2017). Nesse sentido, e falando em termos de iluminação, o LED é a alternativa mais eficiente (Bonde, 2015).

Entre as vantagens do LED, se destacam a durabilidade, pois uma lâmpada de LED pode alcançar uma vida útil de até 50.000 horas, e a eficiência, pois com menos energia, uma lâmpada de LED emite muito mais luz. Merece destaque também o fato de ser a única lâmpada atualmente no mercado que não emitem radiação, evitando danos à pele, roupas, calçados, objetos de arte e decoração (Dica da Arquiteta, 2015).

Considerando os benefícios comprovados da tecnologia LED, e a importância de se ter equipamentos eficientes, foi incluído no projeto a substituição do atual sistema de iluminação da ADEMADAN por lâmpadas de LED para se atingir a eficiência energética do edifício como um todo. O critério utilizado para a substituição das lâmpadas foi escolher aquelas que possuem o mesmo fluxo luminoso (medido em lumens), porém utilizando uma potência menor (Bonde, 2015).

Como mostrado no levantamento de campo da ADEMADAN, algumas lâmpadas que compõe o atual sistema de iluminação já são de LED. Nesses casos, optou-se por mantê-las, considerando que não é possível melhorar a eficiência.

A Tabela 7 mostra as substituições propostas para o atual sistema de iluminação da ONG:

Tabela 6 – Substituições propostas para o sistema de iluminação

Convencional	Equivalente LED
Tubular T8 32W	LED Tubular T8 18W (PROCEL)
Fluorescente compacta 59W	LED Refletor 30W
Fluorescente compacta 85W	LED Refletor 50W
Fluorescente compacta 20W	LED Bulbo 8W (PROCEL)
Refletor Alógeno 75W	LED Refletor 10W

Fonte – OS AUTORES (2017).

O Selo Procel de Economia de Energia, ou simplesmente Selo Procel, é apresentado em eletrodomésticos que são comprovadamente, eficientes. Sua função é auxiliar o consumidor, que pode assim facilmente identificar entre os equipamentos à disposição no mercado, aqueles que consomem menos energia.

Atualmente, entre as lâmpadas de LED que possuem Selo Procel estão apenas tubulares e bulbo. Sendo assim, para o projeto da ADEMADAN, optou-se por lâmpadas com o Selo Procel, nos casos em que foi possível, como uma forma adicional de provar se estão sendo utilizados equipamentos energeticamente eficientes. Para lâmpadas LED, foi utilizada a versão do PROCEL com atualização em 06/09/2017.

O Selo Procel também abrange equipamentos de ar condicionado. Para a substituição do ar condicionado existente no atual sistema de condicionamento ambiental do prédio histórico, buscamos entre aqueles com selo Procel, um equipamento que tivesse a mesma capacidade de refrigeração (dada em Btu/h), e um coeficiente de eficiência maior. Para condicionadores de ar, foi utilizada a versão do PROCEL com atualização em 05/09/2017.

A capacidade de refrigeração deve ser mantida a mesma, pois depende de fatores como a área do ambiente, a quantidade de pessoas e de equipamentos eletrônicos que irradiam calor, e da posição geográfica do ambiente em relação à radiação solar. Logo, são fatores que independem da eficiência energética do ar condicionado (Arsinco, 2017).

A Tabela 8 mostra as substituições propostas para o atual sistema de condicionamento ambiental da ONG:

Tabela 7 - Substituições propostas para o sistema de condicionamento ambiental

Convencional	Equivalente
Ar condicionado Split Consul CBY12BBBNA, 12.000 BTU/h e coeficiente de eficiência igual a 3,07	Ar condicionado <i>Split</i> Consul CBF12DBBCJ, 12.000 BTU/h e coeficiente de eficiência igual a 3,24 (PROCEL)

Fonte – OS AUTORES (2017).

Para a substituição de refrigeradores e congeladores do atual sistema de refrigeração do prédio histórico, buscou-se equipamentos que tivessem volume interno total parecido (dado em litros), e um consumo de energia menor. A comparação do consumo de energia entre os equipamentos foi feita considerando o gasto em kWh/mês.

O Selo Procel também abrange equipamentos de refrigeração. Porém, não foram encontrados entre os refrigeradores e congeladores com selo Procel equipamentos com volume interno total similar ao freezer e as geladeiras existentes na ADEMADAN. Desta forma, os equipamentos que se pretendem instalar no sistema proposto não possuem o selo.

A tabela 9 mostra as substituições propostas para o atual sistema de refrigeração da ONG:

Tabela 8 – Substituições propostas para o sistema de refrigeração

Convencional	Equivalente
Freezer Consul modelo CHB42DBANA com consumo de 93,6 kWh/mês e volume 404L.	Freezer Horizontal Consul modelo CHB42C com consumo de 87,8 kWh/mês e volume 404L.
Geladeira Gelopar modelo GTPC-575 com consumo de 205,92 kWh/mês e volume 577L.	Refrigerador Electrolux modelo DM83X com consumo de 75 kWh/mês e volume 579L.
Geladeira Electrolux modelo DC34A com consumo de 76,80 kWh/mês e volume 207L.	Refrigerador Electrolux modelo RE31 com consumo de 23,7 kWh/mês e volume 214L.

Fonte – OS AUTORES (2017).

4.3 PESQUISA DE MERCADO

Para obtenção de uma referência dos preços de mercado dos equipamentos que se pretende instalar na ADEMADAN, a fim de se obter a eficiência energética do edifício, foi feita uma pesquisa de mercado. Essa pesquisa foi realizada através da busca de anúncios na internet dos equipamentos escolhidos para substituir o sistema atual da ONG.

Também foi necessária a pesquisa de referências dos preços de mercado para o descarte dos equipamentos de refrigeração e condicionamento ambiental, pois esses custos também devem ser considerados no projeto. Esses dados foram obtidos através da busca de anúncios na internet.

Os custos com o descarte das lâmpadas e luminárias não foram considerados, pois a quantidade desses materiais é pequena, e há locais que coletam gratuitamente para descartar esse tipo de equipamento.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Cálculo da Viabilidade Segundo o PROPEE

Conforme cálculos apresentados no Diagnóstico Energético do projeto, disponível no Apêndice B, apenas foi verificada a viabilidade do projeto se retirado o uso final sistemas de refrigeração. A justificativa para este fato é que, como esses equipamentos passam a maior parte do tempo desligados (estimado que são utilizados por 3 meses ao ano), o investimento alto não retorna uma economia significativa, ou seja, a troca acaba não compensando.

Todo o memorial de cálculo está apresentado no Diagnóstico Energético, mas resumidamente, o CA_T ou custo anualizado total, é calculado considerando o custo de cada equipamento ao longo da sua vida útil, e o BA_T é o benefício anual em reais que será obtido com a economia em energia elétrica. Foram obtidos os seguintes valores:

$$CA_T = R\$ 1.848,86$$

$$BA_T = R\$ R\$ 1.922,61$$

Assim, por meio da equação 3, é possível calcular a RCB do projeto:

$$RCB = \frac{1.848,86}{1.922,61}$$

$$RCB = 0,96$$

4.4.2 Cálculo da Viabilidade Considerando o PAYBACK

Para o cálculo do *payback* (equação 4), foi considerado como investimento inicial o valor total do projeto encontrado no diagnóstico energético, e o resultado médio do fluxo de caixa como a economia anual.

Foi calculado o *payback* considerando todos os usos finais envolvidos, e sem os sistemas de refrigeração.

Payback com todos os usos finais:

$$PB (\textit{payback}) = \frac{R\$ 24.882,62}{R\$ 2.099,62}$$

$$PB (\textit{payback}) = 11,85 \textit{ anos}$$

Payback sem o uso final sistemas de refrigeração:

$$PB (\textit{payback}) = \frac{R\$ 17.037,83}{R\$ 1.922,61}$$

$$PB (\textit{payback}) = 8,86 \textit{ anos}$$

4.4.3 Cálculo da Viabilidade Considerando o VPL

Para o cálculo do VPL foi considerada a taxa mínima de atratividade igual à inflação, que é atualmente 3,92% (dado do dia 05 de novembro de 2017). Não foram incluídos nos cálculos os sistemas de refrigeração. Como não é possível fazer uma média entre as vidas úteis, o número de períodos considerados foi igual a 10 anos, pois é a menor vida útil encontrada entre os equipamentos propostos para o projeto.

Considerando essas condições e a equação 5, o VPL encontrado foi:

$$VPL = -R\$ 1.381,42$$

O valor negativo encontrado significa que, caso o investimento total realizado fosse corrigido apenas com o valor da inflação, daqui a 10 anos teria-se um valor maior do que a economia vai proporcionar.

Porém, sabe-se que em 10 anos a maior parte dos equipamentos ainda estará em funcionamento. Mesmo aqueles que apresentam vida útil de 10 anos, esse é o valor mínimo garantido pelo fabricante, mas provavelmente o equipamento terá vida útil maior. Considerando um número de períodos igual a 11 anos, já há viabilidade do projeto considerando o cálculo do VPL.

$$VPL = R\$ 1.090,09$$

4.4.4 Cálculo da Viabilidade Considerando o TIR

Para o cálculo do TIR, foram consideradas as mesmas condições utilizadas para o cálculo do VLP e a equação 6.

TIR encontrado para número de períodos igual a 10:

$$TIR = 2,26\%$$

Como o TIR encontrado é menor do que a taxa mínima de atratividade, o investimento não é economicamente viável.

TIR encontrado para número de períodos igual a 11:

$$TIR = 5\%$$

Como o TIR encontrado é maior do que a taxa mínima de atratividade, o investimento é economicamente viável.

5 CONCLUSÃO

A partir da metodologia proposta foi possível atingir o objetivo geral e os objetivos específicos.

A pesquisa realizada como referencial teórico possibilitou o aprendizado de conceitos que embasaram o estudo de eficiência e o projeto do painel solar.

Quanto à modernização das novas edificações contrastando com as antigas, que se tornam patrimônio histórico, mostrou-se que é possível ajustá-las para que atendam o nível de conforto e tecnologia requisitado pela atual sociedade, ao mesmo tempo que se tornam mais sustentáveis sem, contudo, perder suas características originais.

A partir da determinação dos parâmetros do sistema fotovoltaico é possível verificar que o procedimento para a determinação da energia elétrica gerada prevista para o edifício supre as necessidades da ADEMADAN. Apesar do dimensionamento da potência nominal do conjunto ser resultado da média do consumo mensal e necessitar de um comportamento médio ao longo de todo o ano para ser projetado, e desta maneira, não gerar o suficiente para suprir integralmente a carga em todos os meses do ano, o objetivo de SFVCR pode ser reafirmado, visto que será necessário esse contato com a rede.

De acordo com a quantidade de módulos projetados, o sistema irá gerar em média mais energia do que o necessário anualmente. Assim, se não houver aumento de carga na Associação, o sistema sempre utilizará a compensação, pois será injetada mais energia na rede do que consumida a partir dela. Porém, se houver modificação na curva de carga, no sentido em que o consumo aumente, há margem para que o SFVCR contribua para um valor reduzido na fatura de energia.

São recomendados estudos futuros (após a instalação do painel) comparativos entre o desempenho dos sistemas fotovoltaicos estimados e o desempenho real, pode-se verificar também o retorno na fatura de energia, e se houve mudança na curva de carga.

Em relação aos aspectos econômicos, foi comprovada a viabilidade do projeto com algumas ressalvas. O consumo de energia elétrica da ADEMADAN é relativamente baixo, o que foi comprovado através da fatura de energia elétrica, que mostrou que o consumo anual da unidade consumidora foi de 3,111 MWh/ano, e da

estimativa de tempo de utilização dos equipamentos informada pelos funcionários da ADEMADAN, que afirmaram que apenas há atividades de segunda a sexta feira no período do dia. Dessa forma, até mesmo o consumo com a iluminação acaba sendo extremamente baixo, além de os refrigeradores e ar condicionados serem utilizados esporadicamente.

Como o consumo de energia elétrica é baixo, a troca dos equipamentos resulta em uma economia também baixa. Assim, o investimento que deve ser feito para a substituição nesses casos pode não acarretar compensação em termos econômicos. Os cálculos de retorno comprovaram que a substituição das lâmpadas é um bom investimento, pois é consequência do baixo valor que precisa ser empregado para adquirir os equipamentos. A troca do ar condicionado, apesar de quando analisada individualmente não mostrar um bom retorno, pode ser incluída sem afetar significativamente os resultados finais por apresentar um baixo custo quando comparada ao custo total do projeto.

A instalação dos painéis solares também se mostrou uma ótima fonte de geração de energia fotovoltaica, devido ao bom posicionamento geográfico da sede da ADEMADAN, e da área do telhado disponível para a instalação. Assim, o investimento será compensado, também, pela produção de energia gerada, e que será suficiente para suprir a média energética mensal da edificação.

O diagnóstico energético foi elaborado para ser efetivamente o projeto de eficiência energética que será entregue à entidade, e contém todo o memorial de cálculo necessário para a determinação da viabilidade econômica por meio de quatro formas escolhidas para este fim: o cálculo da RCB, o cálculo do *payback*, o cálculo do VPL e o cálculo da TIR. A viabilidade econômica do projeto foi comprovada nos quatro métodos de cálculo.

Com o diagnóstico energético, a ADEMADAN se torna hábil a participar de chamadas públicas para obter recursos para a execução do projeto, ou mesmo buscar um fundo de financiamento bancário. Já existem instituições Estaduais que compulsoriamente, por lei, devem destinar 0,5% da sua receita anual em projetos de eficiência energética, e para isso promovem chamadas públicas, por meio das quais todo e qualquer consumidor que esteja em sua área de concessão pode concorrer a receber uma parte desse fundo justamente da submissão de seu diagnóstico energético.

Reitera-se que o objetivo inicial com o projeto era principalmente servir como um exemplo a ser seguido por outros edifícios tombados pelo patrimônio histórico a se tornarem energeticamente eficientes. O prédio da ADEMADAN está sendo projetado para apresentar determinados parâmetros de sustentabilidade ou parâmetros experimentais, e já detém tecnologias e recursos como o telhado verde, e a bacia de evapotranspiração. A parte energética irá somar a esses avanços já conquistados.

REFERÊNCIAS

ABESCO. **Fórum sobre Eficiência Energética e Geração Distribuída**. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/forum-sobre-eficiencia-energetica-e-geracao-distribuida-promovido-pela-agencia-nacional-de-energia-eletrica-aneel/>>. Acesso em: 13 out. 2016.

ABNT. “NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão”, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, 2004.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “**Por dentro da conta de luz**”. 2008, Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B9uCAMDD9bvbY2IGdUdZMmxoSEU/view>>. Acesso em: 03 dez. 2017

ARAGÃO. Solange de. **A casa, o jardim e a ruano Brasil do século XIX. Em tempos de História**: Publicação do Programa de Pós-Graduação em História PPG-HIS/UnB, n. 12, Brasília, 2008.

ARSINCO (2017). **Ar condicionado... o que é Btu?**. Disponível em: <<http://www.fazfacil.com.br/>>. Acessado em 11 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE E DO DESENVOLVIMENTO DE ANTONINA. **Nossa Sede**. Disponível em: <<http://www.ademadan.org.br/>>. Acesso em: 14 out. 2016.

ASSUNÇÃO, Hélio Delgado. **Degradação de módulos fotovoltaicos de silício cristalino instalado no DEE-UFC**. 2014. Monografia (graduação). Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica. Graduação em Engenharia Elétrica, 2012. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2014.1/H%C3%89LIO%20DELGADO%20ASSUN%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

BONDE (2015). **LED é a mais econômica das lâmpadas; saiba como substituir as mais tradicionais com eficiência**. Disponível em: <<http://www.bonde.com.br/>>. Acessado em: 03 set. 2017.

BRASIL. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural**. Brasília: Ministério da Cultura, Instituto do Programa Monumenta, 2005.

CARNEIRO, Joaquim. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. Braga: Universidade do Minho, 2009.

CHANGWOON, H.; NOCHANG, P.; JAESEONG, J. **Life time prediction of silicon PV module ribbon wire in three local weathers**. Photovoltaic Module Reliability Workshop, 2012.

COELHO, D.F.B.; CRUZ, V.H.N. **EDIFÍCIOS INTELIGENTES: uma visão das tecnologias aplicadas**. São Paulo: Blucher, 2017.

COSTA, Angela Marques da; SCHWARCZ, Lilia Moritz. **1890 - 1914: no tempo das certezas**. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

CRESESB. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. 2006.

DICA DA ARQUITETA (2015). **LED – Vantagens e Desvantagens**. Disponível em: <<http://www.dicadaarquitectura.com.br/>>. Acessado em: 03 set. 2017.

FERREIRA, J. C. V. **Municípios paranaenses: origens e significados de seus nomes**. Curitiba: Secretaria de Estado de Cultura, 2006.

FERRER, J.A.; GARRIDO, A. **Eficiência Energética em Edifícios**. Madrid: ONUDI Observatório e Energias Renováveis para a América Latina e Caribe, 2013.

FILHO, B. P. W. **Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens**. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2014/artigo_gd.pdf>. Acesso em: 13 out. 2016.

GEDRA, R. L. **Análise de viabilidade financeira para obtenção de créditos de carbono em projetos de eficiência energética**. 2009.

HÜTNER JÚNIOR, O. L. et al. Revitalização da Praça Romildo Gonçalves em Antonina: Concurso de Ideias de Arquitetura. In: BOLDRINI, E. B.; PAES, L. S. O. P.; PINHEIRO, F. **Clima: Boas Práticas de Adaptação**. Antonina: ADEMADAN, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (2017). **O que é eficiência energética?**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia>. Acessado em: 03 set. 2017.

INPE. **Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais**. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html>. Acesso em: ago 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Energy Systems**. Paris: IEA, 2016a.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2016**. Paris: IEA, 2016b.

IPHAN. **Portaria nº 420, de 22 de dezembro de 2010**. Dispõe sobre os procedimentos a serem observados para a concessão de autorização para realização de intervenções em bens edificados tombados e nas respectivas áreas de entorno. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_n_420_de_22_de_dezembro_de_2010.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2017.

ITAIPU BINACIONAL. **Atlas inédito mostra potencial energético do Paraná**. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/atlas-inedito-mostra-potencial-energetico-do-parana>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

IZIDORO, E. S.; SILVA, H. N. S.; SOARES, R. **Painel Solar: uma alternativa para a geração de energia**. 2010.

JANUZZI, G.D.M. **Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no contexto de mercado**. Campinas: Autores Associados, 2000.

LAPPONI, J.L. **Avaliação de projetos e investimentos: modelos em Excel**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 1996. 264 p.

MAACK, Reinhard. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 4. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2012.

MARINOSK, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. **Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC**. 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/pre_dimensionamento.pdf>. Acesso em: 06/12/2017.

MESQUITA, R. **Payback: O que é e como calcular o da sua empresa**. 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia**. 2013. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acessado em 28 set. 2017.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira**. 2016.

NATIONAL ENERGY POLICY DEVELOPMENT GROUP (2001). **Reliable, Affordable, and Environmentally Sound Energy for America's Future**. Disponível em: <<https://www.wtrg.com/EnergyReport/National-Energy-Policy.pdf>>. Acessado em: 25 mai. 2017.

NATIONS UNIES. Adoption de l'Accord de Paris. **Convention-cadresur les Changements Climatiques**, L.9, Rev. 1, 2015.

NATIONS UNIES. **La Déclaration Universelle dès Droits de L'Homme**. Disponível em: <<http://www.un.org/fr/universal-declaration-human-rights/>>. Acesso em: 14 out. 2016.

NORMA, A.B.N.T. **NBR 10899 – Energia solar fotovoltaica – Terminologia**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2013a.

NORMA, A.B.N.T. **NBR 16149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2013b.

NORMA, A.B.N.T. **NBR 16274 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, Antônio Roberto de. **Corrosão e Tratamento de Superfície**. Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, 2012.

PALZ, Wolfgang. **Energia solar e fontes alternativas**. Hemus, 2002.

PANESI, A.R.Q. **Fundamentos de eficiência energética**. São Paulo: Ensino Profissional, 2006.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; Rütther, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L. de; Rütther, R.; ABREU, S. L. de; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. de. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2017.

PHILIPPI JR, A.; REIS, L.B. **Energia e sustentabilidade**. Barueri: Manoele, 2016.

PINHEIRO, F.; SILVA, M. C. da. Caminhos Históricos: Contribuições para a Geração de Energia Renovável no Contexto do Desenvolvimento Regional. In: BOLDRINI, E. B.; PAES, L. S. O. P.; PINHEIRO, F. **Clima: Boas Práticas de Adaptação**. Antonina: ADEMADAN, 2016.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 2014.

RECICLOTECA (2015). **Walmart.com oferece serviço de descarte ecológico**. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/>>. Acessado em 05 nov. 2017.

RIBEIRO, U. G. V. **Estudo de Viabilidade Econômica de Instalação de Fontes de Energia Renováveis Baseadas em Células Fotovoltaicas para o uso residencial**. 2012.

ROMÈRO, M.A.; REIS, L.B. **Eficiência energética em edifícios**. Barueri: Manoele, 2012.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

TIEPOLO, M. G. **Comparação Entre o Potencial de Geração Fotovoltaica no Estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha, 2014**. Disponível em: <<http://www.escriorioverdeonline.com.br/wp-content/uploads/2012/08/R0204-1.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2016.

TIEPOLO, Gerson Máximo. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS, Curitiba, 2015.

UNITED NATIONS. **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.** Disponível em: <http://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/items/1678.php>. Acesso em: 14 out. 2016.

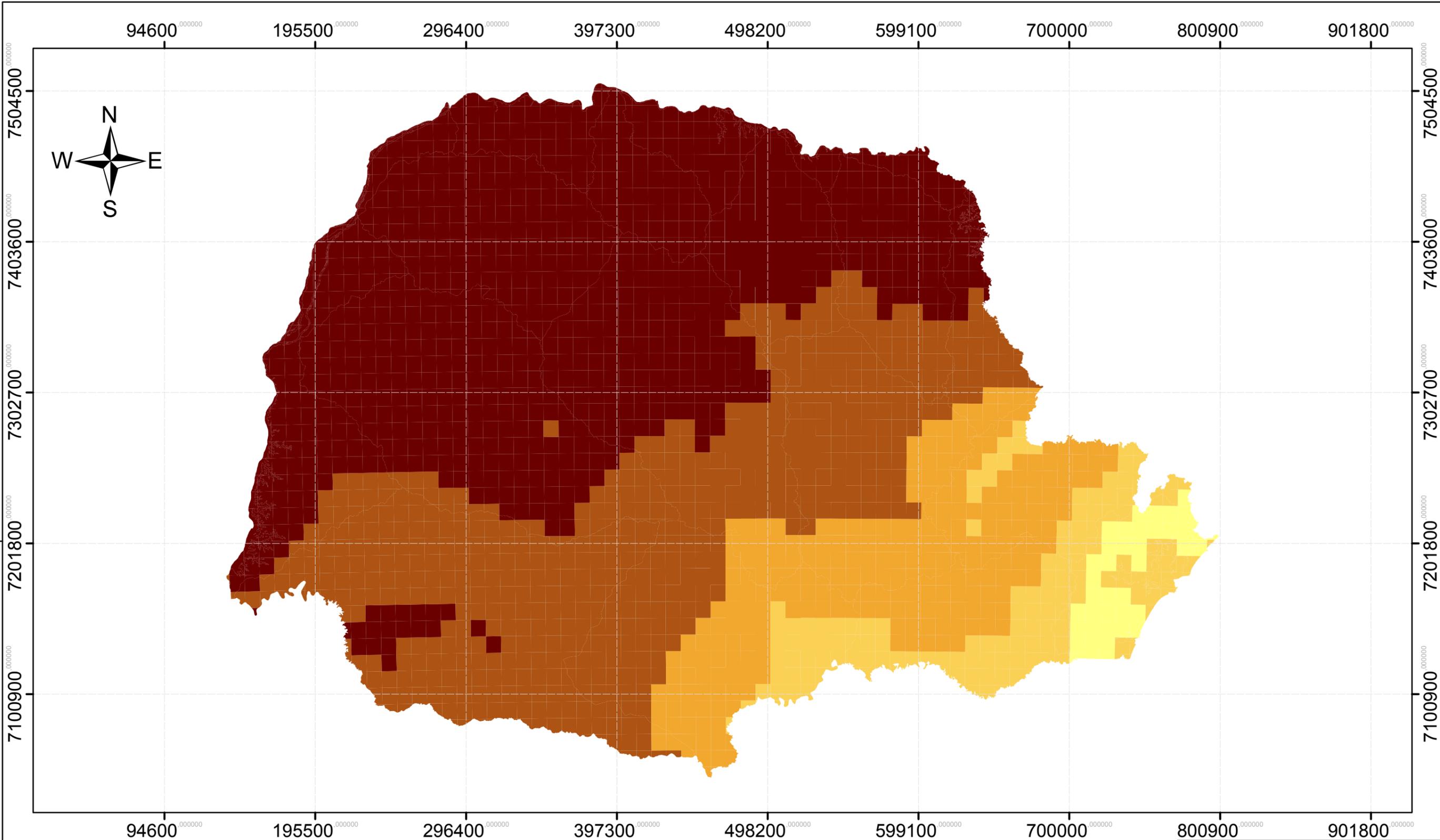
URBANETZ JR, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade.** Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, 2010.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987). **Our Common Future.** Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acessado em: 24 mai. 2017.

ZANIRATO, S. H.; RIBEIRO, W. C. Mudanças Climáticas e risco ao patrimônio cultural em Ouro Preto – MG – Brasil. **Revue franco-brésilienne de géographie**, v. 21, n. 21, 2014.

**APÊNDICE A – CARTA DE IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA ANUAL NO ESTADO
DO PARANÁ**

001/002



UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

IRRADIAÇÃO SOLAR ANUAL NO PLANO HORIZONTAL NO ESTADO DO PARANÁ

Unidade da Federação: **PR** Folha: **001/002**

Convenções Cartográficas

- 3,594 - 3,888 kWh/m²
- 3889 - 4181 kWh/m²
- 4182 - 4475 kWh/m²
- 4476 - 4768 kWh/m²
- 4769 - 5062 kWh/m²

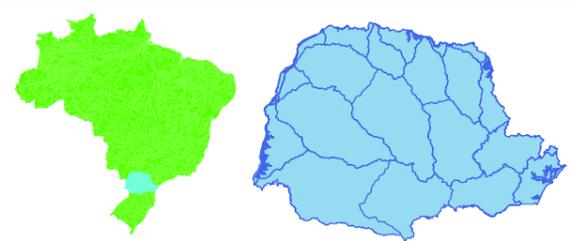
Informações Técnicas

Sistema de Projeção - UTM
Amplitude de Fuse: 6°
Datum Vertical - Imbituba/SC
Datum Horizontal - SIRGAS 2000
Meridiano Central - 51° WGR
Zona - 22 Sul
Origem da Quilometragem UTM

Sistema de Projeção - UTM
Amplitude de Fuse: 6°
Datum Vertical - Imbituba/SC
Data de Execução: 02/11/2017

Base de Dados:
INPE - out/2017

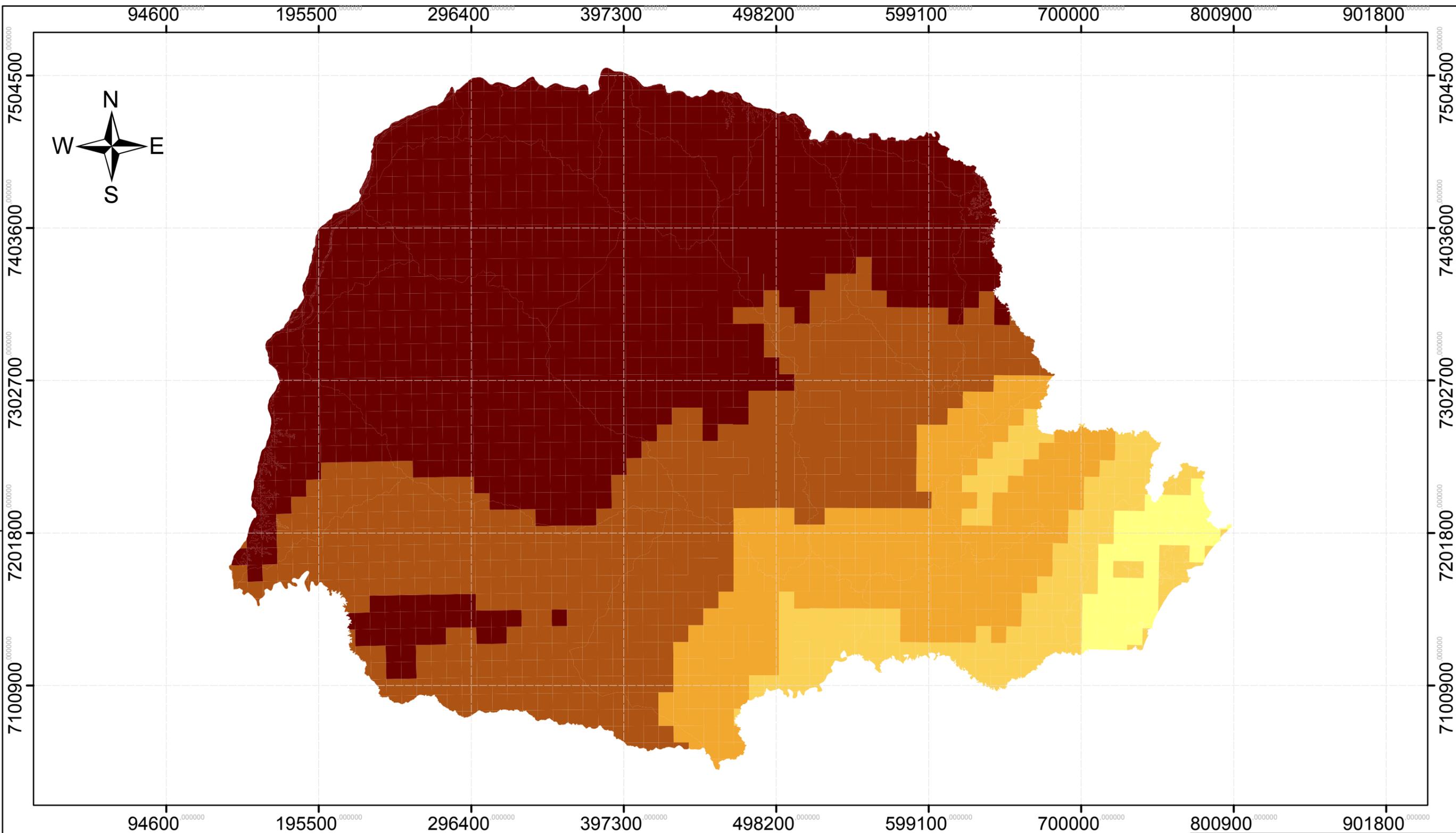
Localização



Paraná - Brasil



002/002



UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

IRRADIAÇÃO SOLAR ANUAL NO PLANO INCLINADO NO ESTADO DO PARANÁ

Unidade da Federação

PR

Folha

002/002

Convenções Cartográficas

- 3,782 - 4,085 kWh/m²
- 4,086 - 4,388 kWh/m²
- 4,389 - 4,692 kWh/m²
- 4,693 - 4,995 kWh/m²
- 4,996 - 5,298 kWh/m²

Informações Técnicas

Sistema de Projeção - UTM
Amplitude de Fuse: 6°
Datum Vertical - Imbituba/SC
Datum Horizontal - SIRGAS 2000
Meridiano Central - 51° WGR
Zona - 22 Sul
Origem da Quilometragem UTM

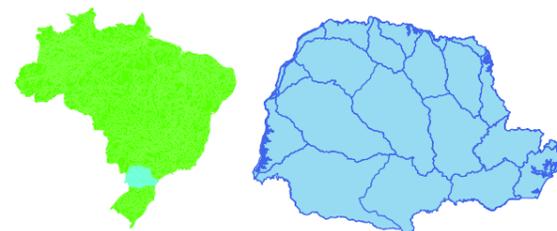
Sistema de Projeção - UTM
Amplitude de Fuse: 6°
Datum Vertical - Imbituba/SC

Data de Execução: 02/11/2017

Base de Dados:

INPE - out/2017

Localização



Paraná - Brasil



APÊNDICE B – DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO



DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

ASSOCIAÇÃO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE E DO DESENVOLVIMENTO DE
ANTONINA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ



SUMÁRIO

1. Identificação.....	2
1.1. Apresentação do consumidor.....	2
2. Abrangência.....	2
3. Objetivos.....	3
4. Descrição e detalhamento	3
4.1. Insumos energéticos	4
4.2. Estimativa da participação dos usos finais da energia elétrica	4
4.3. Avaliação do histórico de consumo	5
5. Metas e benefícios.....	6
5.1. Iluminação.....	6
5.2. Condicionamento ambiental.....	9
5.3. Sistemas de refrigeração	12
5.4. Fontes Incentivadas	16
5.5. Cálculo da relação custo-benefício	17
6. Prazos e custos	23
6.1. Cronograma físico.....	24
6.2. Custos por categoria contábil.....	24
7. Treinamento e capacitação.....	26
7.1. Conteúdo Programático	26
7.2. Instrutor	26
7.3. Carga horária	26
7.4. Cronograma	26
7.5. Local.....	26
Anexo A. Características técnicas - Equipamentos existentes	27
Anexo B. Orçamentos.....	30



1. Identificação

Diagnóstico energético apresentado por ocasião do Projeto de Eficiência Energética, desenvolvido durante o Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, realizado pelos alunos Felipe Pinheiro, Laís Novinski e Taís Paludo.

1.1 Apresentação do consumidor

A Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina (Figura 1) é uma ONG que atua no bioma da Floresta Atlântica e que pensa o Homem e a Natureza num processo constante de transformação e integração. Tem como missão promover ações que fortaleçam e estimulem políticas públicas e a capacitação local para que, diante das mudanças climáticas, seja garantida sua qualidade de vida social e ambiental. Seu lema é: Agir local, pensar global!

O horário de funcionamento é de segunda a sexta, das 9 às 17 horas.

Figura 1 - Fachada da ADEMADAN



Fonte – ADEMADAN (2017)

2. Abrangência

Será beneficiado com o projeto o município de Antonina, em especial a região central e histórica da cidade. O público-alvo é a população que frequenta a ONG, e seus colaboradores.

Nas Tabelas 1 e 2 estão ilustrados os dados e características do consumidor.



Tabela 1 – Dados do Consumidor

Nome do consumidor: Associação Defesa Meio Ambiente e Desenvolvimento de Antonina	
CNPJ: 01.911.025/0001-00	Unidade consumidora: 41815246
Endereço: Praça Coronel Macedo, 316	
Município: Antonina	Estado: PR
Responsável: Eliane Beê Boldrini	
Telefone: 55 41 3076-8715	
E-mail: eliane@ademadan.org.br	

Fonte – OS AUTORES (2017).

Tabela 2 – Características do Consumidor

Tipologia do projeto: Comércio e serviços
Atividade da empresa: Sem fins lucrativos
Tipo de empresa: Micro ou pequena empresa / Demais empresas
Modalidade tarifária: Convencional
Subgrupo tarifário: B3 - Baixa tensão (demais classes)

Fonte – OS AUTORES (2017).

3. Objetivos

O objetivo deste projeto é propor a implantação de um projeto de eficiência energética, que inclui a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, na sede tombada da Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina.

Além disso, também se pretende servir de exemplo para outras construções tombadas pelo patrimônio histórico, e mostrar que é possível desenvolver um projeto de eficiência energética em edifícios com essa característica.

4. Descrição e detalhamento

O primeiro passo foi realizar um inventário documental dos dados do atual sistema do prédio, e diagnosticar possíveis adaptações segundo as condições estabelecidas pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional).

Com isso, foi possível desenvolver o estudo de eficiência energética e propor o projeto, aqui apresentado, de modificações condizentes com os resultados do



estudo. Também foi possível desenvolver o projeto do sistema fotovoltaico conectado à rede.

Por fim, foi analisado o retorno do investimento e seus aspectos econômicos, para então encaminhar para a Associação o projeto e orientações para a futura execução.

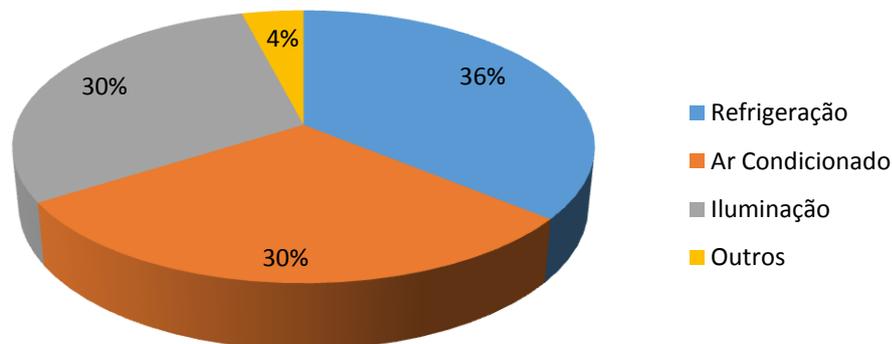
4.1 Insumos energéticos

A ADEMADAN utiliza 100% de seus insumos energéticos energia elétrica fornecida pela Copel Distribuição S.A.

4.2 Estimativa da participação dos usos finais da energia elétrica

Na Figura 2, apresentamos a estimativa da participação de cada uso final de energia elétrica existente no consumo mensal de energia elétrica da unidade consumidora.

Figura 2 - Participação dos usos finais da energia elétrica



Fonte – OS AUTORES (2017).

Para se chegar a essa estimativa foram considerados os valores de energia consumida que foram encontrados para cada um dos usos finais. Os cálculos serão mostrados no item 5 – Metas e Benefícios deste diagnóstico.

Os valores encontrados para a energia consumida de cada uso final, conforme cálculos apresentados no capítulo 5.1 desse diagnóstico foram:



- Iluminação: 0,9 MWh/ano;
- Ar condicionado: 0,92 MWh/ano;
- Refrigeração: 1,13 MWh/ano.

Esses valores que totalizaram 2,95 MWh/ano foram relacionados ao histórico de consumo dos últimos 12 meses da unidade consumidora, que mostrou que em 1 ano, o consumo de energia foi de 3,111 MWh, e juntos totalizaram 96% do consumo total. Os 4% restantes são justificados pelo uso de aparelhos que não constam no nosso levantamento, como ventiladores, amplificador de som, filtro de água, e outros aparelhos que são encontrados no local, mas individualmente, não apresentam um consumo considerável e por isso foram excluídos desse estudo.

4.3 Avaliação do histórico de consumo

Na Tabela 3, apresentamos o histórico de consumo dos últimos 12 meses da unidade consumidora a ser beneficiada. As informações são coerentes com o nível de tensão a qual a unidade consumidora pertence, que é o B3 - Baixa tensão, sendo apresentados os valores de consumo em kWh/mês.

Confrontando o consumo total anual baseado nesse histórico de consumo, que é de 3,111 MWh/ano, com a energia consumida total calculada com base na estimativa dos horários de funcionamento, que foi de 2,95 MWh/ano (cálculo que será mostrado no próximo item 5 – Metas e Benefícios), concluímos que a estimativa dos horários de funcionamento foi coerente com a realidade.

Tabela 3 – Consumo mensal

Mês	Consumo (kWh/mês)
Mês 01 – 07/16	242
Mês 02 – 08/16	245
Mês 03 – 09/16	100
Mês 04 – 10/16	308
Mês 05 – 11/16	286
Mês 06 – 12/16	266
Mês 07 – 01/17	247
Mês 08 – 02/17	222
Mês 09 – 03/17	228
Mês 10 – 04/17	542
Mês 11 – 05/17	100
Mês 12 – 06/17	325
Total	3111

Fonte – OS AUTORES (2017).



Observando essa tabela, notamos que não é possível estabelecer um padrão de consumo para a ONG. A justificativa é que o consumo de energia da ADEMADAN é diretamente relacionado aos eventos que são realizados em cada mês, e que não são realizados de forma homogênea ao longo do ano.

5. Metas e benefícios

A meta de economia de energia é de **0,65 MWh/ano**, além da produção a partir de fonte incentivada de 3,39 MWh/ano, com base nos valores verificados neste diagnóstico. A definição dessa meta de energia economizada [MWh/ano] foi feita com base na metodologia de cálculo proposto para cada uso final, conforme seção 4.2 do PROPEE. A valoração das metas foi feita de acordo com o módulo 7 do PROPEE.

Não foi definido um valor para redução de demanda na ponta, pois a ADEMADAN não possui atividade durante o horário de ponta, logo não há consumo e não será feita nenhuma redução nesse sentido.

Além da economia de energia, outro benefício do projeto para a ADEMADAN é a visibilidade que a ONG irá adquirir, sendo um edifício eficientizado. Será também um alívio de carga para o sistema elétrico, prevenindo assim novos investimentos e poupando recursos.

5.1 Iluminação

i. Abrangência

As ações de eficiência energética em sistemas de iluminação artificial cobertas por este item referem-se à substituição de lâmpadas e luminárias, cujos dados estão representados na tabela 4.



ii. Projeto

Tabela 4 - Benefício Iluminação

SISTEMA ATUAL						
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	TOTAL
Tipo de lâmpada	Tubular T8 32W	Fluorescente compacta 59W	Fluorescente compacta 85W	Fluorescente compacta 20W	Refletor Alógeno 75W	
Potência (lâmpada + reator) W	pa _i 32	59	85	20	75	
Quantidade	qa _i 4	4	1	14	7	30
Potência instalada kW	Pa _i 0,13	0,24	0,09	0,28	0,53	1,25
Funcionamento h/ano	ha _i 720	720	720	720	720	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCPa _i 0	0	0	0	0	
Energia consumida MWh/ano	Ea _i 0,09	0,17	0,06	0,20	0,38	0,9
Demanda média na ponta kW	Da _i 0	0	0	0	0	0
SISTEMA PROPOSTO						
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	TOTAL
Tipo de lâmpada	LED Tubular T8 18W (PROCEL)	LED Refletor 30W	LED Refletor 50W	LED Bulbo 8W (PROCEL)	LED Refletor 10W	
Potência (lâmpada + reator) W	pp _i 18	30	50	8	10	
Quantidade	qp _i 4	4	1	14	7	30
Potência instalada kW	Pp _i 0,07	0,12	0,05	0,11	0,07	0,438
Funcionamento h/ano	hp _i 720	720	720	720	720	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCPp _i 0	0	0	0	0	
Energia consumida MWh/ano	Ep _i 0,05	0,09	0,04	0,08	0,05	0,3154
Demanda média na ponta kW	Dp _i 0	0	0	0	0	0
RESULTADOS ESPERADOS						
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	TOTAL
Redução de demanda na ponta kW	RDP _i 0	0	0	0	0	0
Redução de demanda na ponta %	RDP _i % 0	0	0	0	0	0
Energia economizada MWh/ano	EE _i 0,04	0,08	0,03	0,12	0,33	0,5875
Energia economizada %	EE _i % 43,75%	49,15%	41,18%	60,00%	86,67%	66,19%

Fonte – OS AUTORES (2017).

Observações:

- 0) Para os cálculos relacionados com o uso final Iluminação, consideramos, conforme informações passadas pela ADEMADAN, que as lâmpadas são utilizadas por cerca de 3 horas por dia, e nenhuma delas em horário de ponta, visto que o horário de ponta definido pela Copel é de 2^a a 6^a feira das 18h às 21h, e a ONG funciona de segunda a sexta das 9h às 17h.
- 1) As lâmpadas foram agrupadas em sistemas considerando para um mesmo sistema, o mesmo tipo e a mesma substituição.
- 2) Não foram considerados os reatores das lâmpadas, pois durante o nosso levantamento na sede, não tivemos recursos para fazer essa verificação. Porém, não considerar as perdas dos reatores caracteriza um cálculo conservador, visto que poderíamos obter resultados ainda mais significativos se tivéssemos esses valores.



- 3) A quantidade de lâmpadas em cada sistema considerado pode ser validada pelo levantamento de campo que está apresentado no Anexo A deste diagnóstico.
- 4) Para encontrar a potência instalada, foi utilizada a equação 1:

$$P_{instalada} = \frac{Potência (lâmpada + reator) * Quantidade}{1000} \quad (1)$$

- 5) Conforme informações da ONG, para o cálculo do funcionamento (equação 2) foi considerado que as lâmpadas ficam acessas durante 3 horas por dia, 20 dias por mês, 12 meses por ano:

$$Funcionamento = 3 * 20 * 12 = 720 h/ano \quad (2)$$

- 6) O fator de coincidência na ponta é igual a zero, pois as lâmpadas não ficam acessas durante o horário de ponta.
- 7) Para encontrar a energia consumida (em MWh/ano), foi feito o seguinte cálculo (equação 3):

$$E_{consumida} = \frac{P_{instalada} * Funcionamento}{1000} \quad (3)$$

- 8) A demanda média na ponta é igual a zero, pois as lâmpadas não ficam acessas durante o horário de ponta.
- 9) Foram consideradas as mesmas condições para o sistema proposto.
- 10) A redução de demanda na ponta (RDP) e a RDP em termos percentuais são iguais a zero, pois as lâmpadas não ficam acessas durante o horário de ponta.
- 11) A Energia Economizada foi calculada por meio da equação 4:

$$E_{economizada} = E_{consumida 1} - E_{consumida 2} \quad (4)$$

Onde:

$E_{consumida 1}$ Energia Consumida no sistema atual (MWh/ano)

$E_{consumida 2}$ Energia Consumida no sistema proposto (MWh/ano)



12) A Energia Economizada em termos percentuais foi calculada com utilizando a equação 5:

$$E_{economizada} (\%) = \frac{E_{economizada}}{E_{consumida}} \quad (5)$$

iii. Vida Útil

Cálculo da vida útil de lâmpadas do sistema proposto, é realizado por meio da equação 6:

$$Vida \text{ útil das lâmpadas} = \frac{Vida \text{ útil da lâmpada (em horas)}}{Tempo \text{ de utilização (em horas /ano)}} \quad (6)$$

Tabela 5 - Vida Útil

Lâmpada Equivalente LED	Vida Útil (em horas)	Tempo de Utilização (em horas/ano)	Vida Útil (em anos)
LED Tubular T8 18W (PROCEL)	25.000	720	34,72
LED Refletor 30W	60.000	720	83,33
LED Refletor 50W	60.000	720	83,33
LED Bulbo 8W (PROCEL)	25.000	720	34,72
LED Refletor 10W	50.000	720	69,44

Fonte – OS AUTORES (2017).

Os dados da vida útil em horas (Tabela 5) foram obtidos por meio do manual do fabricante, ou do próprio PROCEL, no caso dos equipamentos que tem o selo.

5.2 Condicionamento ambiental

i. Abrangência

As ações de eficiência energética em sistemas de condicionamento ambiental cobertas por este item referem-se à substituição de equipamentos individuais de janela ou equivalentes (Tabela 6).



ii. Projeto

Tabela 6 - Benefício Condicionamento Ambiental

SISTEMA ATUAL				
			Sistema 1	TOTAL
Tipo de equipamento/tecnologia			Split Consul CBY12BBBNA	
Potência refrigeração	btu/h	pa _i	12.000	
Coeficiente de eficiência energética	W/W	ca _i	3,07	3,07
Quantidade		qa _i	1	1
Potência instalada	kW	Pa _i	1,15	1,15
Potência média utilizada	kW	Pua _i	1,15	1,15
Funcionamento	h/ano	ha _i	800	
FCP (fator de coincidência na ponta)		FCPa _i	0	
Energia consumida		Ea _i	0,92	0,92
Demanda média na ponta		Da _i	0	0
SISTEMA PROPOSTO				
			Sistema 1	TOTAL
Tipo de equipamento/tecnologia			Split Consul CBF12DBBCJ	
Potência refrigeração	btu/h	pp _i	12.000	
Coeficiente de eficiência energética	W/W	cp _i	3,24	3,24
Quantidade		qp _i	1	1
Potência instalada	kW	Pp _i	1,09	1,09
Potência média utilizada	kW	Pup _i	1,09	1,09
Funcionamento	h/ano	hp _i	800	
FCP (fator de coincidência na ponta)		FCPp _i	0	
Energia consumida		Ep _i	0,87	0,87
Demanda média na ponta		Dp _i	0	0
RESULTADOS ESPERADOS				
			Sistema 1	TOTAL
Redução de demanda na ponta	kW	RDP _i	0	0
Redução de demanda na ponta	%	RDP _i %	0	0
Energia economizada	MWh/ano	EE _i	0,05	0,05
Energia economizada	%	EE _i %	5,25%	5,25%

Fonte – OS AUTORES (2017).

Observações:

- 0) Foi utilizada a potência nominal de refrigeração.
- 1) Para encontrar a potência instalada, foi feito o cálculo através da equação 7:

$$P_{instalada} = \frac{P_{nominal} * Quantidade * 0,293}{Coeficiente\ eficiência} \quad (7)$$



A multiplicação por 0,293 é devido a conversão de BTU em kW.

- 2) Para encontrar a potência média utilizada, foi utilizada a equação 8:

$$P_{media_{utilizada}} = P_{instala da} * Fator_{utiliza ção} \quad (8)$$

O fator de utilização indica qual a capacidade exigida do equipamento durante o seu uso. No caso do ar condicionado, indica qual o nível de exigência está sendo feito desse ar condicionado, se está sendo utilizado no máximo da sua capacidade ou não, o que depende principalmente da temperatura ambiente do local onde ele está sendo utilizado. De forma conservadora, o fator de utilização usado para o cálculo foi igual a 1.

- 3) Conforme informações da ONG, para o cálculo do funcionamento foi considerado que o ar condicionado é utilizado por 100 dias durante o ano, ou seja, pelos 5 meses mais quentes do ano (considerando 20 dias úteis por mês), por cerca de 8 horas por dia (equação 9):

$$Funcionamento = 8 * 100 = 800 \text{ h/ano} \quad (9)$$

- 4) O fator de coincidência na ponta é igual a zero, pois o ar condicionado não é ligado durante o horário de ponta.
5) A energia consumida anualmente (em MWh/ano), foi calculada por meio da equação 10:

$$E_{consumida} = \frac{P_{media_{utilizada}} * Funcionamento}{1000} \quad (10)$$

- 6) A demanda média na ponta é igual a zero, pois o ar condicionado não é ligado durante o horário de ponta.
7) Foram consideradas as mesmas condições para o sistema proposto.
8) A redução de demanda na ponta (RDP) e a RDP em termos percentuais são iguais a zero, pois o ar condicionado não é ligado durante o horário de ponta.
9) A Energia Economizada foi calculada através da equação 11:

$$E_{economizada} = E_{consumida 1} - E_{consumida 2} \quad (11)$$

Onde:

$E_{consumida 1}$ Energia Consumida no sistema atual (MWh/ano)

$E_{consumida 2}$ Energia Consumida no sistema proposto (MWh/ano)



10) A Energia Economizada em termos percentuais está representada abaixo (equação 12):

$$E_{economizada} (\%) = \frac{E_{economizada}}{E_{consumida}} \quad (12)$$

iii. Vida Útil

Como o fabricante não forneceu a vida útil do equipamento de ar condicionado tipo *Split* do sistema proposto, foi considerada a vida útil mínima exigida pela Copel na “Tabela de vidas úteis mínimas admitidas”, que é igual a 10 anos para aparelhos de ar-condicionado tipo *Split*.

5.3 Sistemas de refrigeração

i. Abrangência

As ações de eficiência energética em sistemas de refrigeração cobertas por esta seção referem-se à substituição de equipamentos individuais de refrigeração (geladeiras e freezers) de pequeno porte (Figura 7).



ii. Projeto

Tabela 7 - Benefício Refrigeração

SISTEMA ATUAL					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	TOTAL
Tipo de equipamento/tecnologia		Freezer Consul modelo CHB42DBANA	Geladeira Gelopar modelo GTPC-575	Geladeira Electrolux modelo DC34A	
Potência nominal	kW pa_i	0,13	0,286	0,106	
Potência média utilizada	kW Pua_i	0,13	0,286	0,106	0,52
Quantidade	qa_i	1	1	1	3
Funcionamento	h/ano ha_i	2160	2160	2160	
Potência média na ponta	kW dai	0,03	0,07	0,02	0,12
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPa_i$	0,23	0,23	0,23	
Energia consumida	Ea_i	0,28	0,62	0,23	1,13
Demanda média na ponta	Da_i	0,03	0,07	0,02	0,12
SISTEMA PROPOSTO					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	TOTAL
Tipo de equipamento/tecnologia		Freezer Consul modelo CHB42C	Refrigerador Electrolux DM83X	Refrigerador Electrolux RE31	
Potência nominal	kW pp_i	0,12194	0,104	0,0329	
Potência média utilizada	kW Pup_i	0,12194	0,104	0,0329	0,26
Quantidade	qp_i	1	1	1	3
Funcionamento	h/ano hp_i	2160	2160	2160	
Potência média na ponta	kW dai	0,03	0,02	0,01	0,06
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPp_i$	0,23	0,23	0,23	
Energia consumida	Ep_i	0,26	0,22	0,07	0,56
Demanda média na ponta	Dp_i	0,03	0,02	0,01	0,06
RESULTADOS ESPERADOS					
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	TOTAL
Redução de demanda na ponta	kW RDP_i	0,00	0,04	0,02	0,06
Redução de demanda na ponta	% $RDP_i\%$	6,20%	63,64%	68,96%	50,41%
Energia economizada	MWh/ano EE_i	0,02	0,39	0,16	0,57
Energia economizada	% $EE_i\%$	6,20%	63,64%	68,96%	50,41%

Fonte – OS AUTORES (2017).

Observações:

- 0) Foi utilizada a potência nominal dos equipamentos.
- 1) A potência média utilizada foi obtida pela equação 13:

$$P_{media\ utilizada} = P_{instalada} * Fator\ utiliza\ ç\ ao \quad (13)$$

O fator de utilização indica qual a capacidade exigida do equipamento durante o seu uso. No caso dos refrigeradores, indica qual o nível de exigência está sendo



feito dessas geladeiras e freezer, se estão sendo utilizados no máximo de suas capacidades ou não, o que depende principalmente da temperatura ambiente do local onde estão sendo utilizados, e do volume de alimentos que estão sendo refrigerados. De forma conservadora, o fator de utilização usado para o cálculo foi igual a 1.

- 2) Conforme informações da ONG, para o cálculo do funcionamento (equação 14) foi considerado que os refrigeradores são utilizados por 90 dias durante o ano, ou seja, por 3 meses do ano (considerando 30 dias por mês), por 24 horas por dia:

$$\text{Funcionamento} = 90 * 24 = 2.160 \text{ h/ano} \quad (14)$$

- 3) Potência média na ponta (equação 15):

$$P_{\text{media}_{\text{ponta}}} = \frac{P_{\text{media}_{\text{utilizada}}} * nm * nd * nup}{792} \quad (15)$$

Onde:

nm Número de meses, ao longo do ano, de utilização em horário de ponta (≤ 12 meses)

nd Número de dias, ao longo do mês, de utilização em horário de ponta (≤ 22 meses)

nup Número de horas de utilização em horário de ponta (≤ 3 meses)

792 Número de horas de ponta disponíveis ao longo de 1 ano

- 4) Fator de coincidência na ponta (equação 16):

$$FCP = \frac{P_{\text{media}_{\text{ponta}}}}{P_{\text{media}_{\text{utilizada}}}} \quad (16)$$

- 5) Para encontrar a energia consumida anualmente (em MWh/ano), foi feito o seguinte cálculo por meio da equação 17:

$$E_{\text{consumida}} = \frac{P_{\text{media}_{\text{utilizada}}} * \text{Quantidade} * \text{Funcionamento}}{1000} \quad (17)$$

- 6) Para calcular a demanda média na ponta (em kW), utilizou-se a equação 18:



$$Dmedia_{ponta} = Pmedia_{utilizada} * Quantidade * FCP \quad (18)$$

- 7) Foram consideradas as mesmas condições para o sistema proposto.
8) A redução de demanda na ponta (RDP) foi calculada com o seguinte cálculo (equação 19):

$$Rdemanda_{ponta} = Dmedia_{ponta 1} - Dmedia_{ponta 2} \quad (19)$$

Onde:

$Dmedia_{ponta 1}$ Demanda média na ponta no sistema atual (kW)
 $Dmedia_{ponta 2}$ Demanda média na ponta no sistema proposto (kW)

- 9) A RDP em termos percentuais foi calculada rearranjando a equação 19:

$$Rdemanda_{ponta} (\%) = \frac{Rdemanda_{ponta}}{Dmedia_{ponta 1}}$$

- 10) Energia Economizada (equação 20):

$$E_{economizada} = E_{consumida 1} - E_{consumida 2} \quad (20)$$

Onde:

$E_{consumida 1}$ Energia Consumida no sistema atual (MWh/ano)
 $E_{consumida 2}$ Energia Consumida no sistema proposto (MWh/ano)

- 11) A Energia Economizada em termos percentuais foi calculada através da equação 21:

$$E_{economizada} (\%) = \frac{E_{economizada}}{E_{consumida 1}} \quad (21)$$

iii. Vida Útil

Como o fabricante não forneceu a vida útil das geladeiras e do freezer do sistema proposto, foi considerada a vida útil mínima exigida pela Copel na “Tabela de vidas úteis mínimas admitidas”, que é igual a 10 anos para aparelhos de refrigeração.



5.4 Fontes Incentivadas

i. Abrangência

As ações de eficiência energética em fontes incentivadas cobertas por esta seção referem-se à instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (Tabela 8).

ii. Projeto

Tabela 8 - Benefício Fonte Incentivada

FONTES INCENTIVADAS - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE					
				Sistema 1	TOTAL
Tipo de equipamento / tecnologia				Painel Solar Canadian CSI CS6k-270P	
Potência nominal da central geradora	Wp	ppi		270	
Quantidade de centrais geradoras		qpi		12	12
Potência instalada de geração	kWp	Ppi		3,24	3,24
Potência nominal do inversor	W	pii		2,5	
Quantidade de inversores		qii		1	1
Potência instalada de inversores	kW	Pii		0,0025	0,0025
FONTES INCENTIVADAS - RESULTADOS ESPERADOS - EX ANTE					
				Sistema 1	TOTAL
Demanda atendida pela fonte incentivada na ponta				0	0
Tarifa de demanda na ponta (R\$/kW)	0	R\$	DAPI	0	0
Demanda atendida pela fonte incentivada fora da ponta				0	0
Energia gerada pela fonte incentivada na ponta				0	0
Tarifa de energia na ponta (R\$/MWh)	0	R\$	DAFPi	0	0
Energia gerada pela fonte incentivada fora da ponta				2,64	2,64
Tarifa de energia fora de ponta (R\$/MWh)	669,032	R\$	EGFPi	1768,65	1768,65
Energia gerada				2,64	2,64
				EGi	

Fonte – OS AUTORES (2017).

iii. Vida Útil

A vida útil do Painel Solar Canadian CSI CS6k-270P foi fornecida pelo fabricante em seu catálogo e é de 25 anos para perda de eficiência maior que 20%.

A vida útil do Inversor SMA Sunny Boy 2.5 também foi garantida pelo fabricante e é de 15 anos.



5.5 Cálculo da relação custo-benefício

a. Cálculo dos custos

O cálculo dos custos anualizados segue a metodologia descrita no módulo 7 do PROPEE, conforme é demonstrado a seguir. Serão demonstrados todos os cálculos necessários até se chegar ao custo anualizado.

1) Fator de recuperação de capital para u anos (1/ano)

Para o cálculo do fator de recuperação de capital será utilizada a taxa de desconto especificada no Plano Nacional de Energia, que é de 8% ao ano (Ministério de Minas e Energia, 2007).

Esse fator será o responsável por corrigir o valor anualizado de cada equipamento ao longo de toda a sua vida útil (equação 22).

$$FRC_u = \frac{i \times (1+i)^u}{(1+i)^u - 1} \quad (22)$$

Onde:

i Taxa de desconto considerada (1/ano)

u Vida útil dos equipamentos (ano)

Os valores encontrados estão representados nas Tabelas 9, 10, 11 e 12:

Tabela 9 - FRC Iluminação

Materiais e equipamentos	FRC
LED Tubular T8 18W (PROCEL)	0,085939061
LED Refletor 30W	0,080131402
LED Refletor 50W	0,080131402
LED Bulbo 8W (PROCEL)	0,085939061
LED Refletor 10W	0,080383905

Fonte – OS AUTORES (2017).



Tabela 10 - FRC Condicionamento Ambiental

Materiais e equipamentos	FRC
Split Consul CBF12DBBCJ	0,149029489

Fonte – OS AUTORES (2017).

Tabela 11 - FRC Sistemas de Refrigeração

Materiais e equipamentos	FRC
Freezer Consul modelo CHB42C	0,149029489
Refrigerador Electrolux DM83X	0,149029489
Refrigerador Electrolux RE31	0,149029489

Fonte – OS AUTORES (2017).

Tabela 12 - FRC Fontes Incentivadas

Materiais e equipamentos	FRC
Painel Solar Canadian CSI CS6k-270P	0,093678779
Inversor Galvo 3.0-1	0,116829545

Fonte – OS AUTORES (2017).

- 2) Custo total em equipamentos (R\$) (equação 23) estão representados na Tabela 13:

$$CE_T = \sum_n CE_n \quad (23)$$

Onde:

CE_n Custo de cada equipamento (R\$)



Tabela 13 - Custos Totais

CUSTOS DIRETOS - EX ANTE	
Materiais e equipamentos	Total
Iluminação	R\$ 717,03
Condicionamento Ambiental	R\$ 1.499,90
Sistemas de Refrigeração	R\$ 7.395,09
Fontes Incentivadas	R\$ 14.671,00

Fonte – OS AUTORES (2017).

- 3) Custo anualizado de cada equipamento incluindo custos relacionados (R\$/ano) (equação 24) e representação nas Tabelas 14, 15, 16 e 17.

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u \quad (24)$$

Onde:

CE_n Custo de cada equipamento (R\$)

CT Custo total do projeto (R\$)

CE_T Custo total em equipamentos (R\$)

FRC_u Fator de recuperação do capital para u anos (1/ano)

Seguem valores encontrados:

Tabela 14 – CA_n Iluminação

Materiais e equipamentos	CA _n	CA _n (projeto sem refrigeração)
LED Tubular T8 18W (PROCEL)	R\$ 16,62	R\$ 18,33
LED Refletor 30W	R\$ 16,32	R\$ 18,00
LED Refletor 50W	R\$ 5,82	R\$ 6,41
LED Bulbo 8W (PROCEL)	R\$ 27,48	R\$ 30,31
LED Refletor 10W	R\$ 10,09	R\$ 11,12

Fonte – OS AUTORES (2017).



Tabela 15 – CA_n Condicionamento Ambiental

Materiais e equipamentos	CAn	CAn (projeto sem refrigeração)
Split Consul CBF12DBBCJ	R\$ 276,78	R\$ 285,19

Fonte – OS AUTORES (2017).

Tabela 16 – CA_n Sistemas de Refrigeração

Materiais e equipamentos	CAn
Freezer Consul modelo CHB42C	R\$ 351,91
Refrigerador Electrolux DM83X	R\$ 864,06
Refrigerador Electrolux RE31	R\$ 190,12

Fonte – OS AUTORES (2017).

Tabela 17 – CA_n Fontes Incentivadas

Materiais e equipamentos	CAn	CAn (projeto sem refrigeração)
Painel Solar Canadian CSI CS6k-270P	R\$ 645,40	R\$ 711,84
Inversor Galvo 3.0-1	R\$ 669,41	R\$ 738,31

Fonte – OS AUTORES (2017).

Houve uma modificação nos valores dos custos anualizados de cada equipamento, pois sem o uso final sistemas de refrigeração no projeto, o custo total do projeto e o custo total em equipamentos, valores considerados para esse cálculo, são alterados.

- 4) Custo anualizado total (R\$/ano) foi calculado por meio da equação 25 e está ilustrado na Tabela 18 e separado por uso final.

$$CA_T = \sum_n CA_n \quad (25)$$

Onde:

CT Custo anualizado de cada equipamento incluindo custos relacionados (R\$/ano)



Tabela 18 - Custos Anualizados por Uso Final

CUSTOS ANUALIZADOS		
Uso final	CAT (R\$/ano)	CAT (R\$/ano) (projeto sem refrigeração)
Iluminação	R\$ 76,32	R\$ 84,17
Condicionamento Ambiental	R\$ 285,19	R\$ 314,54
Sistemas de Refrigeração	R\$ 1.406,08	-
Fontes Incentivadas	R\$ 1.314,81	R\$ 1.450,15

Fonte – OS AUTORES (2017).

Seguem valores totais encontrados:

$$CA_T = R\$ 3.082,39$$

$$CA_T \text{ (projeto sem refrigeração)} = R\$ 1.848,86$$

b. Cálculo dos benefícios

Os benefícios (equação 26) são avaliados sobre a ótica do sistema elétrico (sociedade), ou seja, as economias de energia e redução de demanda são valoradas pela tarifa do sistema de bandeiras tarifárias de energia, indicado na conta de luz.

$$BA_T = EE \times CEE + RDP \times CED \quad (26)$$

Onde:

BA_T Benefício anualizado (R\$/ano)

EE Energia anual economizada (MWh/ano)

CEE Custo unitário da energia economizada (R\$/MWh)

RDP Redução de demanda em horário de ponta (kW)

CED Custo unitário evitado de demanda (R\$/kW ano)



Os valores dos custos unitários evitados foram calculados conforme metodologia definida no módulo 7 do PROPEE. Foram utilizados os valores de tarifa vigentes na data de elaboração deste projeto, conforme:

- **CEE = 238,45 R\$/MWh.**
- **CED = 693,31 R\$/kW ano.**
- Subgrupo tarifário B3 (nível de tensão).
- Resolução Homologatória Aneel n° 2.096, de 21 de junho de 2016.

Segue valores encontrados por uso final, representados na Tabela 19:

Tabela 19 - Benefícios Anualizados por Uso Final

BENEFÍCIOS ANUALIZADOS	
Uso final	BAT (R\$/ano)
Iluminação	R\$ 142,50
Condicionamento Ambiental	R\$ 11,46
Sistemas de Refrigeração	R\$ 177,01
Fontes Incentivadas	R\$ 1.768,65

Fonte – OS AUTORES (2017).

Segue valor total de benefício anualizado encontrado:

$$BA_T = R\$ 2.099,62$$

$$BA_T(\text{projeto sem refrigeração}) = R\$ 1.922,61$$

c. Relação custo-benefício

Como o projeto possui mais de um uso final (iluminação, refrigeração, condicionamento ambiental e fonte incentivada) cada um desses usos finais teve a sua RCB calculada. Também será apresentada a RCV global do projeto, que considera as somas dos custos e benefícios.

O cálculo da relação custo-benefício seguiu a metodologia descrita no módulo 7 do PROPEE, conforme equação :

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (27)$$

Onde:

RCB Relação custo benefício



CA_T Custo anualizado total (R\$/ano)

BA_T Benefício anualizado (R\$/ano)

Seguem valores encontrados por uso final para relação custo benefício (Tabela 20):

Tabela 20 - Relação Custo Benefício por Uso Final

RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO		
Uso final	RCB	RCB (projeto sem refrigeração)
Iluminação	0,54	0,59
Condicionamento Ambiental	24,88	27,44
Sistemas de Refrigeração	7,94	-
Fontes Incentivadas	0,74	0,82

Fonte – OS AUTORES (2017).

Segue valor global encontrado:

$$RCB = 1,47$$

A RCB encontrada não está dentro do valor máximo estabelecido pelo PROPEE, que deve ser igual ou inferior a 1 para projetos com fonte incentivada. Neste caso, como os sistemas de refrigeração apresentaram uma RCB alta e este uso final representa uma porcentagem considerável do projeto, vamos retirá-la para torná-lo viável.

O novo valor encontrado para a RCB após refeitos todos os cálculos sem o uso final sistemas de refrigeração é:

$$RCB (\text{projeto sem refrigeração}) = 0,96$$

6. Prazos e custos

O cronograma físico apresentado a seguir (Tabela 21) destaca as ações a serem implementadas. Já a Tabela 22, apresenta o custo por categoria contábil.



6.1 Cronograma físico

Tabela 21 - Cronograma Físico

Etapas	Meses							
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8
Diagnóstico energético	xxx	xxx						
Aquisição de materiais e equipamentos			xxx					
Contratação dos serviços				xxx				
Execução das ações de eficiência energética					xxx	xxx		
Descarte de materiais e equipamentos substituídos							xxx	
Ações de treinamento e capacitação								xxx

Fonte – OS AUTORES (2017).

6.2 Custos por categoria contábil

Tabela 22 - Custo por Categoria Contábil

Tipo de custo		Custos totais	
		R\$	%
Custos diretos			
Materiais e equipamentos	Previsto	R\$ 12.107,93	71,06%
Mão de obra de terceiros	Previsto	R\$ 4.780,00	28,06%
Custos indiretos			
Descarte de materiais	Previsto	R\$ 149,90	0,88%
Total	Previsto	R\$ 17.037,83	100%

Fonte – OS AUTORES (2017).



Para que o projeto proposto seja enviado a uma Chamada Pública, os seguintes custos também teriam que ser considerados: mão de obra própria, transporte e administração própria (da concessionária de energia elétrica), marketing (opcional), medição e verificação e treinamento e capacitação (que será feito de forma voluntária pelos alunos que estão desenvolvendo este diagnóstico energético).

A seguir, nas Tabelas 23 e 24, está apresentada a “memória de cálculo” da composição dos custos totais da tabela de custos por categoria contábil, a partir dos custos unitários de materiais e equipamentos envolvidos e de mão de obra.

i. Custo dos materiais e equipamentos

Tabela 23 - Custo dos Materiais e Equipamentos

CUSTO DOS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS					
Nome do material	Tipo	Unidade	Quantidade	Preço por unidade	Preço total
LED Tubular T8 18W (PROCEL)	Iluminação	Lâmpada	4	R\$ 37,90	R\$ 151,60
LED Refletor 30W	Iluminação	Lâmpada	4	R\$ 39,90	R\$ 159,60
LED Refletor 50W	Iluminação	Lâmpada	1	R\$ 56,88	R\$ 56,88
LED Bulbo 8W (PROCEL)	Iluminação	Lâmpada	14	R\$ 17,90	R\$ 250,60
LED Refletor 10W	Iluminação	Lâmpada	7	R\$ 14,05	R\$ 98,35
Split Consul CBF12DBBCJ	Condicionamento Ambiental	Ar Condicionado	1	R\$ 1.499,90	R\$ 1.499,90
Freezer Consul modelo CHB42C	Sistemas de Refrigeração	Freezer	1	R\$ 1.850,80	R\$ 1.850,80
Refrigerador Electrolux DM83X	Sistemas de Refrigeração	Geladeira	1	R\$ 4.544,39	R\$ 4.544,39
Refrigerador Electrolux RE31	Sistemas de Refrigeração	Geladeira	1	R\$ 999,90	R\$ 999,90
Painel Solar Canadian CSI CS6k-270P	Fonte Incentivada	Painel	9	R\$ 600,00	R\$ 5.400,00
SMA Sunny Boy 2.5	Fonte Incentivada	Inversor	1	R\$ 4.491,00	R\$ 4.491,00

Fonte – OS AUTORES (2017).

ii. Custo da mão de obra ou serviços

Tabela 24 - Custo da Mão de Obra e Serviços

CUSTO DA MÃO DE OBRA E SERVIÇOS			
Tipo	Quantidade	Preço por unidade	Preço total
Descarte	4	R\$ 149,90	R\$ 599,60
Instalação de Fonte Incentivada	1	R\$ 4.780,00	R\$ 4.780,00

Fonte – OS AUTORES (2017).



7. Treinamento e capacitação

Estão previstas ações de treinamento e capacitação visando a correta operação e manutenção equipamentos e a disseminação de conceitos de eficiência energética. As ações serão realizadas no formato de palestras.

7.1 Conteúdo Programático

Conteúdo Programático irá abranger os seguintes pontos:

- Objetivos do Projeto de Eficiência Energética;
- Como funciona um painel solar;
- Dicas de economia no ambiente de trabalho;
- Dicas de economia na residência.

7.2 Instrutor

Engenheiro eletricitista voluntário com conhecimentos na área de eficiência energética.

7.3 Carga horária

4 horas.

7.4 Público Alvo

Todos os moradores da cidade de Antonina.

7.5 Cronograma

Tabela 25 - Cronograma

Horário	Tema da palestra
9h – 9h30min	Abertura
9h30min – 10h30min	Objetivos do Programa de Eficiência Energética
10h30min – 10h45min	Intervalo
10h45min – 11h45min	Como funciona um painel solar
11h45min – 13h	Almoço
13h – 14h	Dicas de economia no ambiente de trabalho
14h – 14h15min	Intervalo
14h15min – 15h15min	Dicas de economia na residência
15h15min – 15h30min	Encerramento

Fonte – OS AUTORES (2017).

7.6 Local

Sede da ADEMADAN.



Anexo A. Características técnicas - Equipamentos existentes

Neste campo estão todas as informações para comprovação das características técnicas do sistema existente.

Tabela 26 – Informações para comprovação das características técnicas do sistema existente

Equipamento	Local	Qtd lum	Potência	Qtd	Foto
LED Bulbo	Telhado Verde	2	8 W	2	
LED Bulbo	Banheiros	2	8 W	2	
LED Ovoide	Churrasqueira	2	15W	2	
LED Tubular	Cozinha	2	18W	4	
Tubular T8	Escritório	2	32W	4	
Fluorescente compacta	Piso superior	3	59W	3	
Fluorescente compacta	Parte externa	1	59W	1	



Fluorescente compacta	Parte externa	4	20W	4	
Fluorescente compacta	Despensa	1	85W	1	
Fluorescente compacta	Corredor	1	20W	2	
Fluorescente compacta	Auditório	8	20W	8	
Refletor Alógeno	Auditório	7	75 W	7	
Ar condicionado Split Consul CBY12BBNA	Varanda	-	12.000 BTU/h	1	



Freezer Consul modelo CHB42DBANA	Auditório	-	93,6 kWh/mês	1	
Geladeira Gelpar modelo GTPC	Auditório	-	205,92 kWh/mês	1	
Geladeira Electrolux modelo DC34A	Cozinha	-	76,80 kWh/mês	1	

Fonte – OS AUTORES (2017).



Anexo B. Orçamentos

- LED Tubular T8 18W

Modelo escolhido do PROCEL: Philips Master LED Tube 1200mm 18W T8.

Figura 31 - Pesquisa de Mercado para LED Tubular T8 18W

Produto(s)	Quantidade	Valor Total
 <p>Lâmpada de Led Tubular 18W 6500K T8 120cm Bivolt Cor: Branca - Philips</p> <p>Prazo de entrega: 3 dias úteis</p>	<p>- 1 +</p> <p>✗ Remover do Carrinho</p>	<p>R\$ 37,90</p>

Fonte – efácil (2017)

- LED Refletor 30W

Figura 42 - Pesquisa de Mercado para LED Refletor 30W

Produto(s)	Quantidade	Valor Total
 <p>Refletor Holofote Led Branco Frio 30w Bivolt 6000k Ip</p> <p>Vendido e entregue por: Magazine.JG</p>	<p>1</p> <p>Retirar da Cesta</p>	<p>R\$ 39,90</p>

Fonte – Lojas Americanas (2017)

- LED Refletor 50W

Figura 5 - Pesquisa de Mercado para LED Refletor 50W

Produto(s)	Quantidade	Valor Total
 <p>Holofote Refletor Super Led 50W Bivolt Branco Frio</p> <p>Vendido por LOJAS FASCINA e entregue por americanas.com</p>	<p>1</p> <p>Retirar da Cesta</p>	<p>R\$ 56,88</p>

Fonte – Lojas Americanas (2017)



- LED Bulbo 8W

Modelo escolhido do PROCEL: Osram Classic A60/850 100-240V 8W E27.

Figura 6 - Pesquisa de Mercado para LED Bulbo 8W

Resumo do pedido	
 1	Lâmpada Led Bulbo 8W Bivolt 5000K - ...
	R\$ 17,90
Voltar para o carrinho	
Subtotal	R\$ 17,90
Total	R\$ 17,90

Fonte – FERRAMENTAS GERAIS (2017)

- LED Refletor 10W

Figura 7 - Pesquisa de Mercado para LED refletor 10W

Produto(s)	Quantidade	Valor Total
 Refletor LED Slim Branco Frio IP66 10 W Casa Escritório Estacionamentos Bivolt Vendido e entregue por: 3BSHOP	1 Retirar da Cesta	R\$ 14,05

Fonte – Lojas Americanas (2017)

- Ar condicionado 12.000 BTU/h

Modelo escolhido do PROCEL: Consul Split CBF12DBBC Frio 12.000 BTU/h e coeficiente de eficiência igual a 3,24

Figura 8 – Pesquisa de Mercado para Ar-Condicionado Split Consul 12.000 BTUs

Ar-Condicionado Split Consul CBF12DBBNA Ciclo Frio 12.000 BTUs Função Sono Bom – 220V (Cód. Item 1000066849)	R\$ 1.499,90 ou em 10x de R\$ 149,99
---	--

Fonte – EXTRA (2017)



- Freezer Horizontal 404L

Figura 9 - Pesquisa de Mercado para Freezer Horizontal 404L

item(s)	quantidade	subtotal
 Freezer Horizontal Consul 404 Litros 87.8 Kwhmês - Chb42C - 110V - Consul Vendido e entregue por Gazin	- 1 + Remover	R\$ 1.850,80

Fonte – Walmart (2017)

- Refrigerador 579L

Figura 10 - Pesquisa de Mercado para refrigerador 579L

Item	Valor	Quantidade
 Refrigerador Frenchdoor Electrolux de 03 Portas Frost Free com 579 Litros Pannel Eletrônico Inox - DM83X Voltagem: 110V	R\$ 5.999,00 R\$ 4.544,39	- 1 +
Remover produto Comprar depois ? Adicionar Serviços ?		
		Subtotal (1 itens) R\$ 4.544,39

Fonte – FASTSHOP (2017)

- Refrigerador 214L

Figura 11 - Pesquisa de Mercado para refrigerador 214L

Produto(s)	Quantidade	Valor Total
 Refrigerador 1 porta Electrolux RE31 110v - 214 Litros - Branco Vendido e entregue por: Lojas MM <input type="checkbox"/> instalação de geladeira	1 Retirar da Cesta	R\$ 999,90

Fonte – Lojas Americanas (2017)



- Descarte de Eletrodomésticos

Figura 12 - Pesquisa de Mercado para descarte de eletrodomésticos

Descarte Ecológico
Eletrodomésticos

★★★★☆ 2

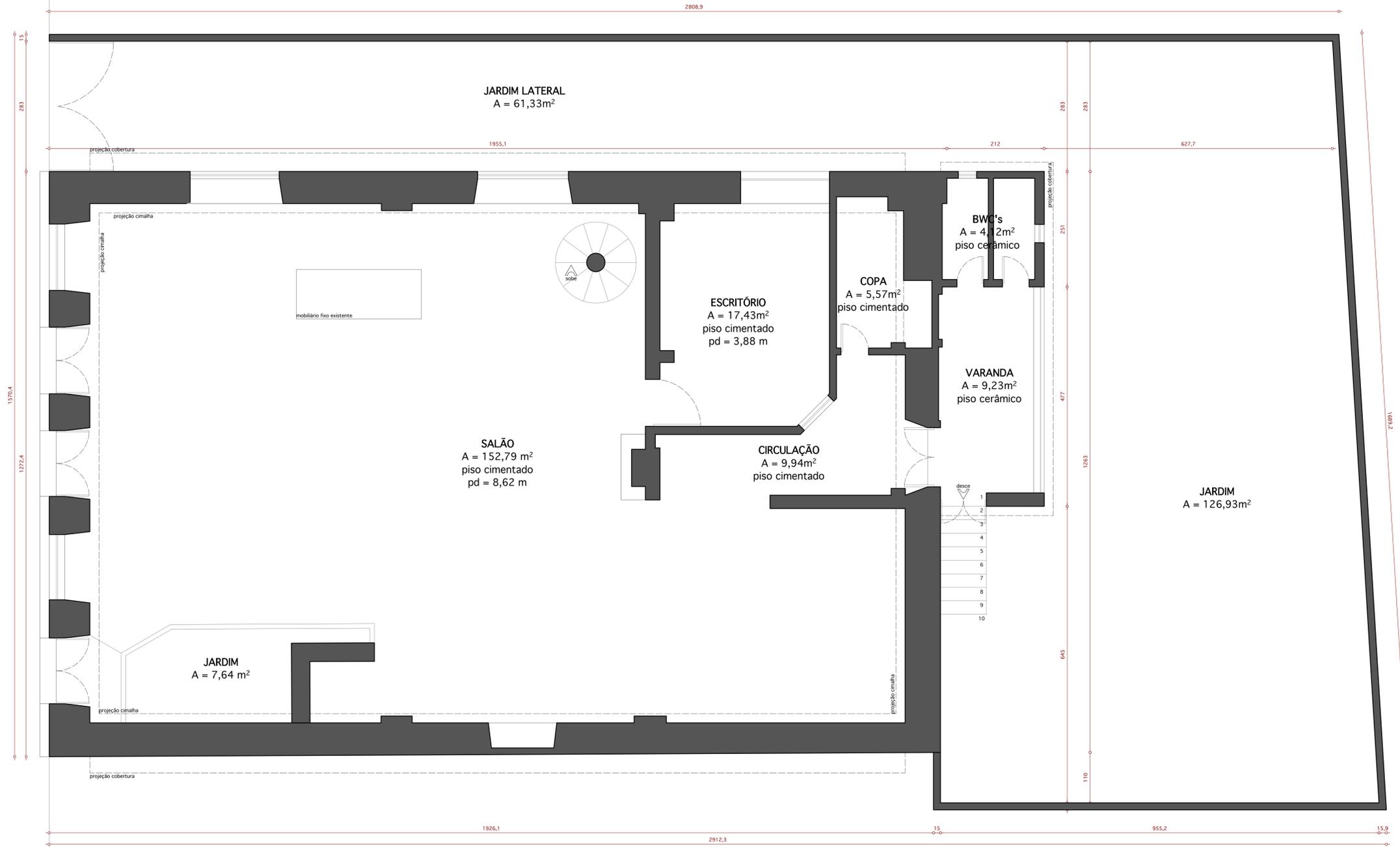
R\$ 179,90
R\$ 149,90
2x de R\$ 74,95 sem juros

Fonte – Ecoassist (2017)

A Ecoassist é uma empresa especializada na prestação de diversos tipos de serviços integrados que visam o desenvolvimento sustentável e o consumo consciente e responsável. Realiza serviço de descarte que engloba produtos, como, por exemplo, aparelho de ar-condicionado, armário, fogão e geladeira.

ANEXO A – PROJETO PREDIAL ADEMADAN

RUA HEITOR SOARES GOMES



LEVANTAMENTO - Planta pavimento Térreo
Esc.: 1/50

PROJETO ARQUITETÔNICO DE AMPLIAÇÃO COM COBERTURA VERDE	
proprietário	Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina
projeto:	Arq. Adriane Cordoni Savi CAU: A - 64.510-9
execução	Arq. Ormy Hütner Jr CAU: A - 56.688-8
referência:	LEVANTAMENTO Planta Térreo
prancha:	ARQ 1/5
data:	21 de junho de 2015
escala:	indicada
arquivo:	P15_02_EX.vwx